学生手册 | 2026–2028

IGCSE 化学小白书

Cambridge IGCSE Chemistry · 0620

目　录

物质的状态 6
1.1 固体、液体和气体 6
题型 1：用粒子运动解释状态变化与加热、冷却曲线 6
题型 2：由温度、压力和体积变化解释气体粒子行为 12
1.2 扩散 15
题型 1：用粒子运动与相对分子质量比较扩散 15
原子、元素和化合物 20
2.1 元素、化合物和混合物 20
题型 1：从粒子图分清元素、化合物与混合物 20
2.2 原子结构与元素周期表 23
题型 1：由原子序数、电荷和电子层确定粒子数 23
2.3 同位素 31
题型 1：比较同位素并用丰度计算相对原子质量 31
2.4 离子与离子键 37
题型 1：用电子转移画离子及其电子式 37
题型 2：用离子晶格和离子移动解释物性 41
2.5 简单分子与共价键 44
题型 1：用共用电子对画单键、多重键与孤电子对 44
题型 2：区分分子内共价键与分子间作用来解释物性 52
2.6 巨型共价结构 57
题型 1：由巨型共价结构解释石墨、金刚石和二氧化硅 57
2.7 金属键 64
题型 1：用金属离子层与离域电子解释金属键 64
化学计量 68
3.1 化学式与方程式 68
题型 1：从原子比或离子电荷写化学式 68
题型 2：守恒配平方程式并写状态和离子方程式 71
3.2 相对质量 76
题型 1：计算相对分子质量或式量，并用质量比求反应量 76
3.3 物质的量与定量计算 80
题型 1：在质量、物质的量和粒子数之间换算 80
题型 2：由方程式摩尔比和限量物求质量或气体体积 84
题型 3：联用浓度、体积和反应比处理溶液与滴定 89
题型 4：由组成求最简式并进一步求分子式 93
题型 5：把组成、纯度和产率写成对应的百分比 97
电化学 106
4.1 电解 106
题型 1：追踪电荷移动并预测熔融物电解产物 106
题型 2：区分水溶液、浓度与电极材料来判断电解 110
题型 3：由镀层目的确定电镀装置和电极变化 119
4.2 氢氧燃料电池 122
题型 1：解释氢氧燃料电池并比较燃料方案 122
化学能量 127

5.1 放热、吸热与键能 127
题型 1：用热流方向与能量图判断放热、吸热和活化能 127
题型 2：用断键吸能与成键放能计算焓变 135
化学反应 140
6.1 物理变化与化学变化 140
题型 1：按物质身份区分物理变化与化学变化 140
6.2 反应速率 143
题型 1：用碰撞频率与有效碰撞解释反应快慢 143
题型 2：测量反应速率并比较数据与曲线斜率 152
6.3 可逆反应与平衡 160
题型 1：区分可逆反应、动态平衡与改变条件后的移动 160
题型 2：对应 Haber 与 Contact 工艺，并解释条件的折中 169
6.4 氧化还原 177
题型 1：追踪氧、电子与氧化数，辨认氧化还原和试剂角色 177
酸、碱和盐 188
7.1 酸和碱 188
题型 1：用离子、pH 与指示剂判断酸碱反应 188
题型 2：用电离程度区分强弱酸与浓稀 193
7.2 氧化物 196
题型 1：根据反应性质区分酸性、碱性和两性氧化物 196
7.3 盐的制备与结晶水 200
题型 1：选择制备可溶盐的原料，解释过量、过滤、滴定与结晶 200
题型 2：选择沉淀法制备、分离与纯化不溶盐 210
题型 3：辨认结晶水、无水物并解释加热与复水 214
元素周期表 219
8.1 周期表的排列与趋势 219
题型 1：从周期表位置判断电子排布、离子和元素性质 219
8.2 第 I 族元素 224
题型 1：使用碱金属趋势，解释与水反应并辨别数据例外 224
8.3 第 VII 族元素 231
题型 1：辨认卤素状态，用置换结果推断活泼性 231
8.4 过渡元素 235
题型 1：用一组性质辨认过渡元素并选择催化剂 235
8.5 稀有气体 239
题型 1：用完整外层解释稀有气体，并按给定数据预测 239
金属 243
9.1 金属、用途与合金 243
题型 1：由性质选择金属和合金并解释原子层结构 243
9.4 金属活动性 249
题型 1：用水、稀酸和置换结果推金属活动性 249
9.5 金属腐蚀 256
题型 1：用水和氧条件、屏障与失电子解释防锈 256
9.6 金属的提取 261
题型 1：追踪高炉中供热、还原和除杂的反应 261
题型 2：用活动性与电解原理解释铝的提取 266

环境化学 272
10.1 水 272
题型 1：区分水的检测、纯度判断与生活用水处理 272
10.2 肥料 279
题型 1：从名称与化学式判断 NPK 供应及水体影响 279
10.3 空气与气候 282
题型 1：用气体组成和反应前后体积求空气比例 282
题型 2：把污染物来源、影响与治理反应对应起来 286
题型 3：用碳转移与热辐射解释光合作用和气候变化 290
有机化学 295
11.1 分子式、结构式与官能团 295
题型 1：从原子、官能团与通式辨认有机物家族 295
11.2 有机物命名与同分异构 304
题型 1：把名称画成结构，再数键并排除重复异构体 304
11.3 燃料与石油 312
题型 1：沿石油分馏塔解释馏分性质和用途 312
11.4 烷烃 316
题型 1：保留碳骨架写烷烃单取代产物 316
11.5 烯烃与裂化 319
题型 1：用裂化条件、用途和原子守恒判断产物 319
题型 2：从 C=C 结构写加成产物并判断溴水现象 322
11.6 醇 328
题型 1：比较发酵与乙烯水合的条件、优缺点和用途 328
11.7 羧酸与酯 332
题型 1：根据有机物反应确定产物、现象与用量 332
题型 2：拆分酯名并画出全部原子与酯连接 338
11.8 聚合物 343
题型 1：由单体画重复单元，再由聚合物恢复完整单体 343
题型 2：画聚酯和聚酰胺，再恢复单体与氨基酸结构 350
题型 3：从材料性质解释环境问题并辨别回收路线 365
实验技术与化学分析 369
12.1 测量仪器与数据记录 369
题型 1：选择量具并准确读数、记录单位与数据表 369
12.2 滴定、液面读数与终点 373
题型 1：用滴定管读数和指示剂完成定量反应 373
12.3 纸色谱 387
题型 1：由色谱装置、斑点和 Rf 鉴别混合物 387
12.4 分离、提纯与纯度 395
题型 1：按溶解性和沸点安排分离、提纯步骤 395
12.5 离子、气体与焰色鉴别 401
题型 1：用沉淀颜色和过量试剂的结果识别阳离子 401
题型 2：按酸化、试剂和沉淀或气体鉴别阴离子 410
题型 3：选择气体检验并区分操作与阳性现象 416
题型 4：由焰色并联用其他证据确定金属离子 420
12.6 综合实验：设计、作图与评价 424
题型 1：把研究目标写成可执行、可比较的实验计划 424

题型 2：作最佳拟合图线并用内外插、梯度和截距读数据 433
题型 3：解释实验变化怎样影响测量结果 452
式名中英对照附录 460
1 元素名称与符号 460
2 单质的分子与不同结构 461
3 阳离子 461
4 阴离子 462
5 无机化合物 462
6 水溶液、无水物与水合物 465
7 有机物的名称与式子 465
8 基团、通式与结构范围 467
9 材料、混合物与指示剂 468
附录 B 考试常用参考表 469
B.2 元素周期表 470

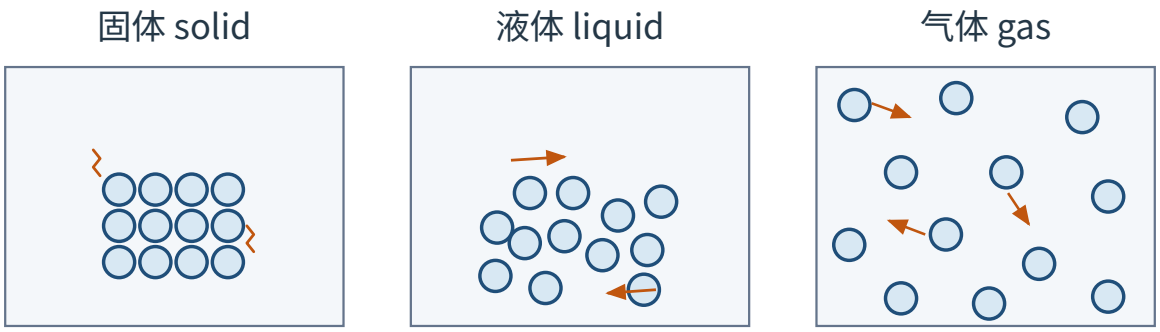
物质的状态

1.1 固体、液体和气体

题型 1：用粒子运动解释状态变化与加热、冷却曲线

知识点 一块冰有自己的形状；冰融成的水会随杯子的形状铺开；水变成气体后能散布到可到达的空间。固体、液体、气体是物质的三种状态。把构成物质的微小单位统称为粒子；水的这种粒子在题目中叫水分子（water molecules）。物态改变时，原来的水粒子仍是水粒子，改变的是它们的排列和运动方式。先比较间隔，再比较能否离开固定位置。典型固体的粒子很接近，排列较有规则，受相互吸引限制在固定位置附近，但仍会振动。液体的粒子也很接近，排列不规则，能移动并滑过邻近粒子。气体粒子相距很远，快速、无规则地向各个方向运动。

同样的粒子，排列和运动方式可以不同

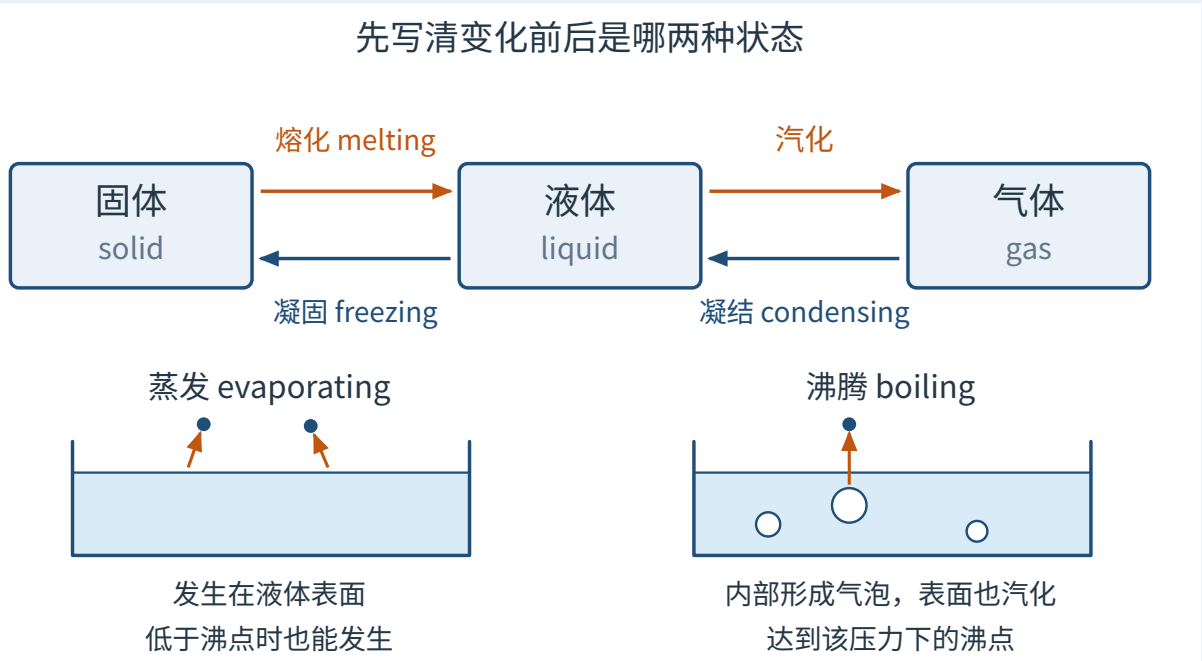


橙色短线示意运动；固体粒子也没有停止运动。

三个框表示观察区域；各画同一种物质的 12 个粒子，用来比较排列和运动，不表示真实大小或密度数据。

粒子能否整体改变位置，解释了物体的外观：固体有固定形状和体积；液体有固定体积，形状随容器改变；气体没有固定形状或固定体积，能充满可到达的容器空间。固体和液体粒子之间空隙较小，不容易被压缩；气体粒子间有较多空隙，较容易被压缩。压缩主要改变粒子之间的距离，并不是把每个粒子压成更小的粒子。

相变名称由起点和终点确定。 固体变液体叫熔化（melting）；液体变固体叫凝固（freezing）；气体变液体叫凝结（condensing）。液体变气体统称汽化，其中蒸发（evaporating）发生在液面，低于沸点时也能发生；沸腾（boiling）时液体内部会形成气泡，表面也在汽化。晾着的水能渐渐减少，是蒸发，不要求整杯水已经烧开。

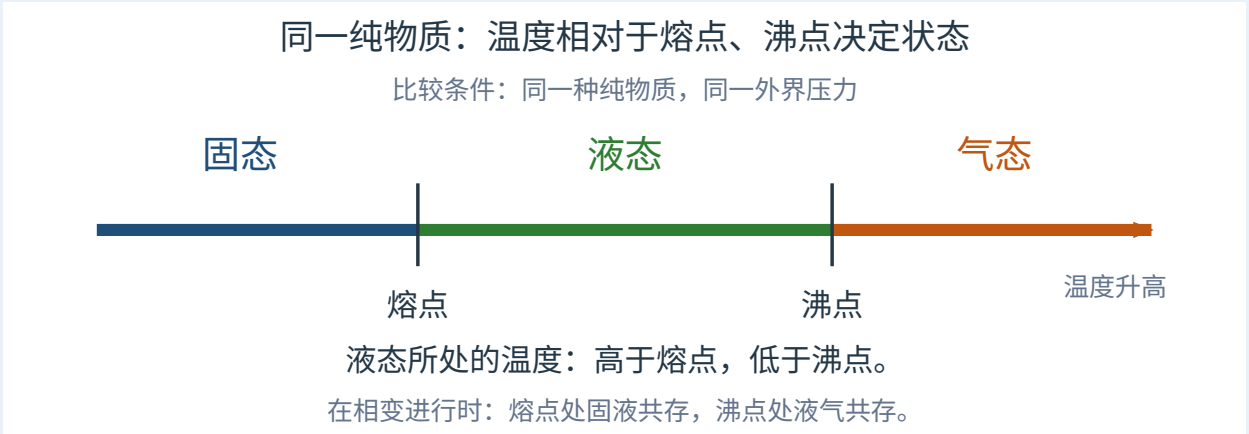


暖色相变箭头对应吸热，蓝色相变箭头对应放热。下方大圆圈表示气泡，气泡含有许多气体粒子。

熔化和汽化需要吸收能量；凝固和凝结会向周围放出能量。熔化时，粒子获得能量，能摆脱固定位置的限制，开始彼此滑动。凝固时则逐渐固定在一定位置附近，仍然振动。

例如，熔化的蜡冷却后变硬，箭头是“液体→固体”，所以是凝固；水汽遇冷在杯外形成小水滴，箭头是“气体→液体”，所以是凝结。凝结写成_____→_____；固体中的粒子仍在_____。

怎样用温度判断状态？熔点是固体熔化时的温度，沸点是液体沸腾时的温度。纯物质指样品只含一种化学物质。在相同外界压力下，纯物质有固定的熔点和沸点，不能把一整段温度范围当成该纯物质的一个沸点。题目常用℃表示摄氏温度；负温度仍按数轴大小比较，例如−7℃高于−77℃。



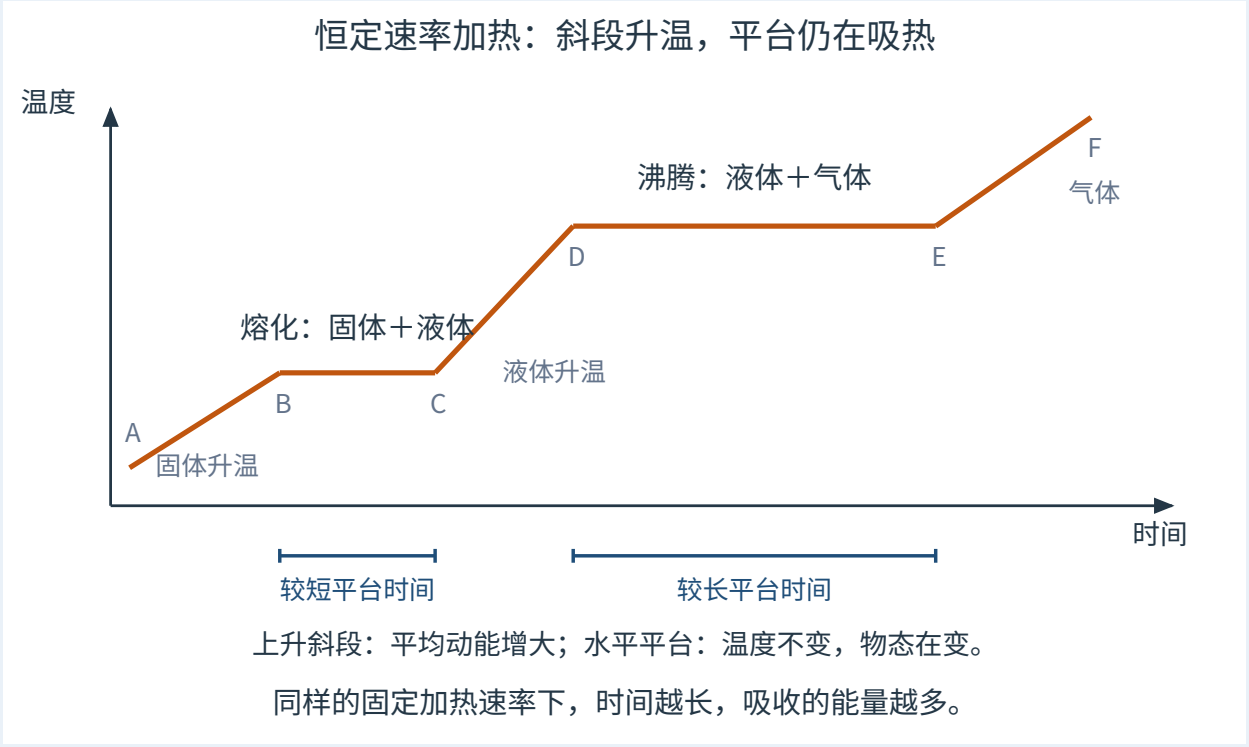
这里比较同一压力下的纯物质。图中间距不代表真实温度差；题给负温度也按数轴大小比较。

在同一压力下，温度低于熔点时通常是固体，熔点与沸点之间是液体，高于沸点时是气体。若题目已经说样品在室温下是液体，就能反推出它的沸点高于室温。颜色可以帮助辨认物质，却不能代替这个温度边界。

例如，某纯物质在 20℃时为液体。若备选沸点是−10℃、50℃或 70～80℃，先排除低于 20℃的−10℃，再排除宽温度区间，剩下固定温度 50℃。这不是从颜色猜物质名称。

温度与吸收的能量，要分别判断。粒子因为运动而具有的能量叫动能。温度反映粒子的平均动能；在同一种状态中升温，粒子的运动通常加快或振动更剧烈。物质吸收的能量也能用于克服粒子之间维持原状态的吸引作用，使排列和状态改变。因此，吸热并不要求每一时刻温度都升高。

把样品温度随时间的变化画成图，就得到加热曲线。先认横轴是时间、纵轴是温度，再沿曲线从左向右读。下图 AB 是固体升温；BC 达到熔点后熔化，固体与液体共存；CD 是液体升温；DE 达到沸点后沸腾，液体与气体共存；EF 是气体继续升温。



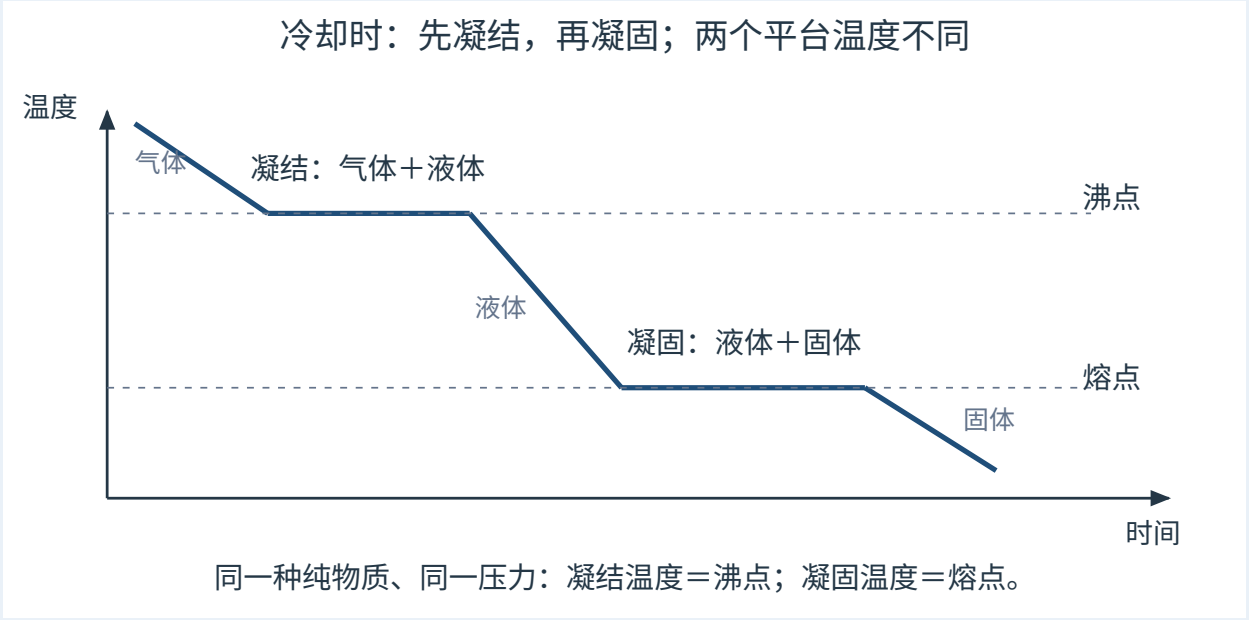
A→F 表示同一样品随加热时间变化。平台仍持续吸收能量，用于改变状态；不能从平台推断“没有吸热”。

斜段向上表示温度升高，平均动能增大。水平平台表示温度暂时不变，物态正在变化，能量仍然传入样品，主要用于克服粒子之间的吸引作用。平台不能被读成“停止加热”，也不能说平台上粒子的平均动能一直增大。粒子由固定位置振动变为能彼此滑动，是运动方式和活动自由程度的变化；要与“温度升高、平均运动速度增加”分开理解。

题目若给出“以恒定速率加热”，意思是每单位时间向样品提供的能量相同。因此，比较两段吸收的总能量时，可以比较横轴上的时间长度。

例如，同一加热器每秒给样品 10 单位能量，持续 20 秒和 50 秒分别传入 200 与 500 单位能量。较长的一段传入更多；这两个区间可以都是温度不变的平台。没有恒定传热速率等条件时，不能只看平台长短就这样比较能量。

冷却按相反的先后过程读。气体先降温，到沸点对应的温度时凝结；凝结完成后，液体继续降温，到熔点对应的温度时凝固；凝固完成后，固体还可以继续降温。同一种纯物质在同一压力下，凝结温度等于沸点，凝固温度等于熔点。



示意样品由高温气体逐步冷却。先在较高温度凝结，再在较低温度凝固；平台时间没有给定实际数值。

例如把较热的水蒸气逐渐冷却，先出现气体变液体的平台，温度继续降低后，才可能出现液体变固体的平台。若一个图先画加热、随后画冷却，横轴仍始终从左向右读；只是在最高温度的转折点，把“加热时吸能”的判断切换成“冷却时放能”的判断，再沿冷却步骤继续往右读。同一个图中的沸腾与凝结平台，应处于相同的温度高度；凝固平台较低。曲线可以在某个阶段结束，不要求所有题图都画到最后一段固体降温。

答案：气体；液体；固定位置附近振动

怎么认 先把变化前后的状态写清，再对应相变名称。读曲线时沿时间从左往右标出斜段和平台；结合加热或冷却方向判断相态，再分别核对温度、吸放热和持续时间。遇到纯物质与已知温度下的状态，还要核对固定相变温度及状态范围。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q1） · 1 级

Which process happens when water vapour changes to rain?

A boiling

B condensing

C evaporating

D freezing

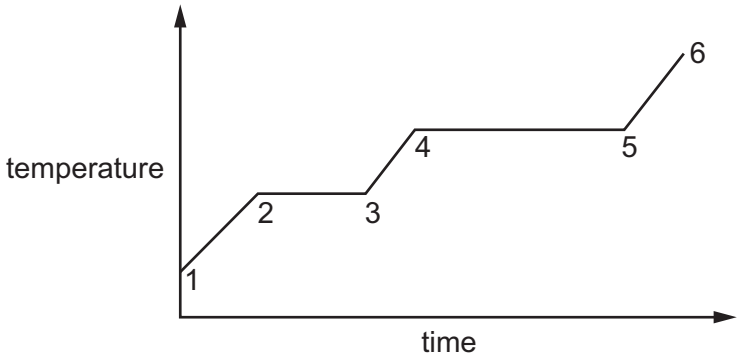
解：先把英文条件翻成状态：water vapour 是水蒸气，属于气态；rain 是雨滴，属于液态。题目发生的是“气体→液体”，对应凝结（condensing），所以选 B。

沸腾和蒸发都把液体变成气体，方向相反；凝固把液体变成固体，也与雨滴的液态终点不符。判断名称时要同时核对变化前、后的状态。

例题 2 （2025·May/June 0620/21 Q2） · 3 级

A sample of ethanol is heated at a constant rate.

The heating curve for this sample is shown.



Which statement about the heating curve is correct?

A Ethanol changes its physical state between 3 and 4.

B Ethanol condenses between 2 and 3.

C Energy is absorbed between 3 and 4 but **not** absorbed between 4 and 5.

D More energy is absorbed between 4 and 5 than between 2 and 3.

解：第一步：读坐标与条件。横轴是时间，纵轴是温度；题面说 ethanol（乙醇）以恒定速率加热，所以相同时间获得相同能量。图中 1→6 依次出现“上升、平台、上升、平台、上升”。

第二步：给各段对应状态。1→2 是固体升温；2→3 是熔化平台；3→4 是液体升温；4→5 是沸腾平台；5→6 是气体升温。状态变化发生在两个水平平台，斜段是同一种状态下的温度变化。

第三步：分别检查四个说法。A 把 3→4 说成改变物态，但这一段是液体升温，故 A 错。B 把 2→3 说成凝结，但这里沿加热过程由固体变液体，是熔化，故 B 错。C 说 4→5 不吸热，但沸腾平台仍持续吸热，只是温度不变，故 C 错。

比较 D 时要看横向时间：4→5 的平台明显比 2→3 的平台长。加热速率恒定，较长时间意味着吸收较多能量，因此 D 正确，选 D。这里没有把“平台温度更高”当作吸能更多的理由；决定这个比较的是相同的供能速率和不同的持续时间。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q1） · 1 级

Liquid iron is cooled to form solid iron.

Which statement about the particles in iron is correct?

A The particles move further apart.

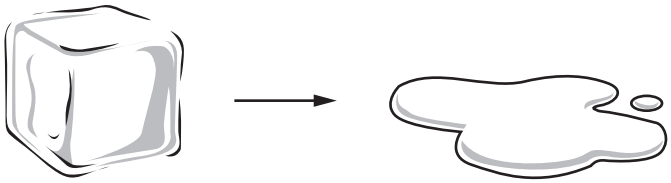
B The particles move faster.

C The position of the particles becomes fixed.

D The attractions between the particles become weaker.

2. （2025·May/June 0620/22 Q1） · 1 级

An ice cube melts.



ice cube　　pool of water

What happens to the molecules of water in the ice cube?

A They evaporate.

B They dissolve.

C They gain energy.

D They lose energy.

3. （2025·May/June 0620/12 Q1） · 2 级

Substance L melts at –7 °C and is a brown liquid at room temperature.

What is the boiling point of pure L?

A –77 °C

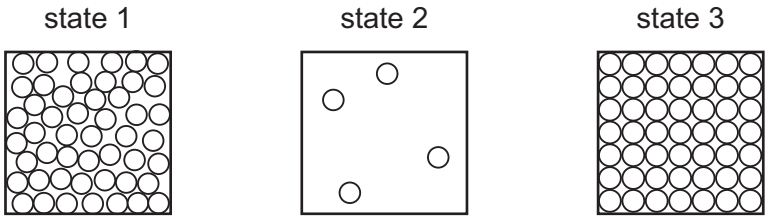
B –7 °C to +7 °C

C 59 °C

D 107 °C to 117 °C

4. （2025·May/June 0620/11 Q2） · 3 级

The diagrams show the arrangement of particles in three different states of matter.



Which row describes the change in energy of the particles and in particle motion for the given change in state?

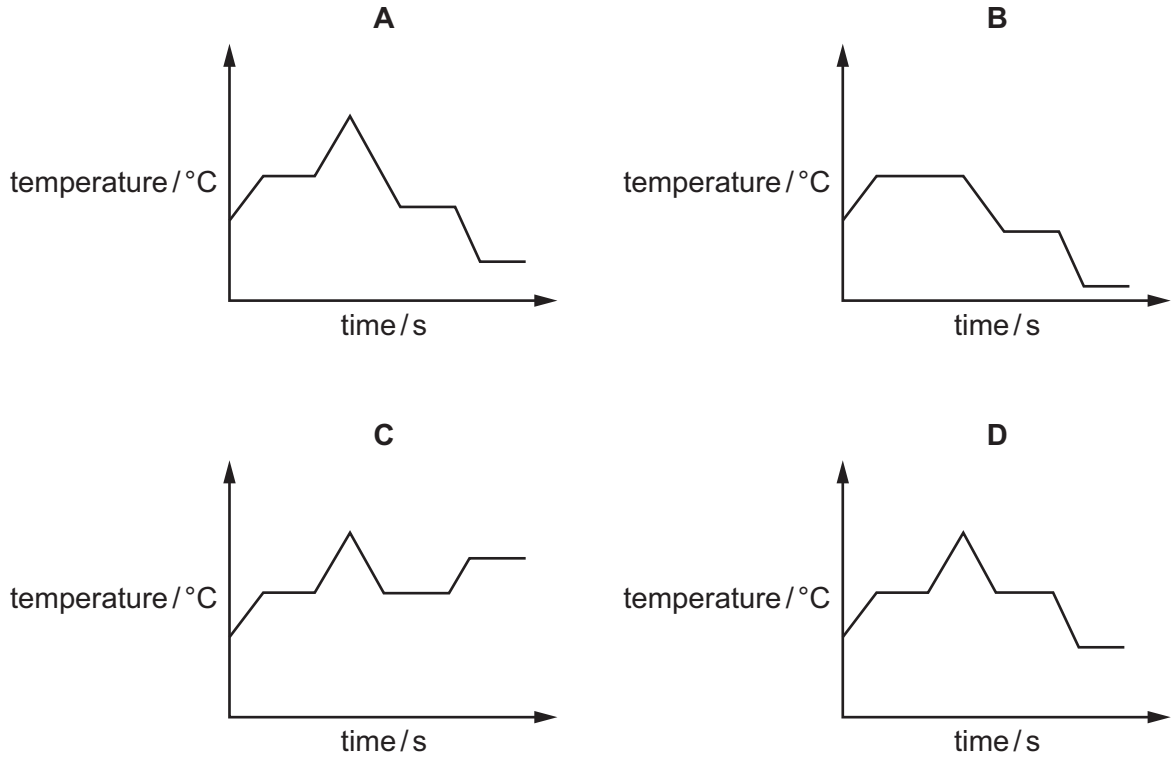
	change in state	energy of particles	particle motion
A	1 → 2	decreases	decreases
B	2 → 1	decreases	increases
C	3 → 1	increases	increases
D	1 → 3	increases	decreases

5. （2025·May/June 0620/22 Q2） · 3 级

A sample of a liquid, X, is heated to a temperature above its boiling point.

X is then cooled, so that it condenses and then freezes.

Which graph describes the change in temperature of X over time?

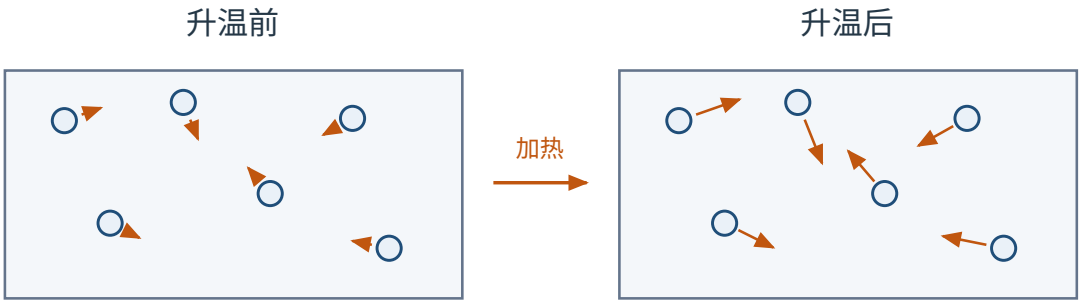


题型 2：由温度、压力和体积变化解释气体粒子行为

知识点 气体粒子一直在向各个方向运动。它们撞到容器壁时，会对壁产生作用；单位面积上受到的平均作用形成气体的压强（题目常称 pressure）。气体粒子运动越快，撞壁通常越频繁，平均每次碰撞传递的作用也越大。可是，升温后究竟是压强增大还是体积增大，还要看容器能不能扩大。

先圈出保持不变的条件。“一定量气体”表示比较中没有粒子进出、粒子总数不变。“密闭容器”提示不会漏气；“体积固定（fixed volume）”表示容器大小不能改变。对这样一份气体加热，平均动能增大，粒子运动加快；它们在同样空间内撞壁更频繁，碰撞的平均作用更大，压强因而升高。此时体积仍是原来的体积。

密闭、定容：升温改变运动，不改变容器大小



同样体积、同样粒子数

平均运动更快，撞壁更频繁

平均每次碰撞传递的作用也更大 → 单位面积所受作用增大 → 压强升高

橙箭头表示粒子运动；不能在这幅定容图中把升温解释成体积变大。

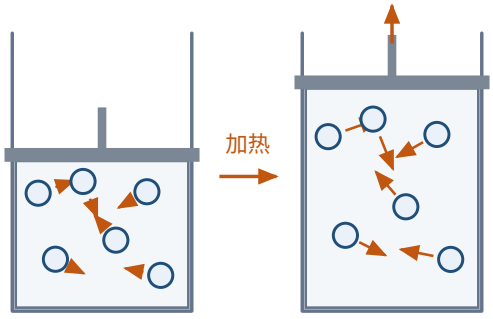
比较同一种、同样数量的气体。两容器体积相同；加热箭头表示能量输入，粒子箭头示意运动。

若容器能扩大，要检查外界压力是否固定。想象气体装在带可移动活塞的筒内：活塞是一块能沿筒壁滑动的板。外界以相同压力压着活塞时，给气体加热会使粒子运动加快，气体向外推动活塞，获得较大的空间；到内外压力重新平衡时，气体体积已经增大。因此，在气体数量和压力不变时，升温使体积增大，降温使体积减小。这里不能同时写“体积固定”，那是另一种条件。

另一种比较保持温度不变。温度不变意味着粒子的平均动能不变。把外界压力增大，活塞向内移动，气体体积减小；同样数量的粒子挤在较小空间，平均间隔减小，撞壁更频繁，直到气体压强与外界重新平衡。把外界压力减小则可让气体体积增大。被压缩的是粒子之间的空隙，单个粒子没有被压小，也没有因这个定温比较而自动增加平均动能。

体积可以改变时，先问哪个条件固定

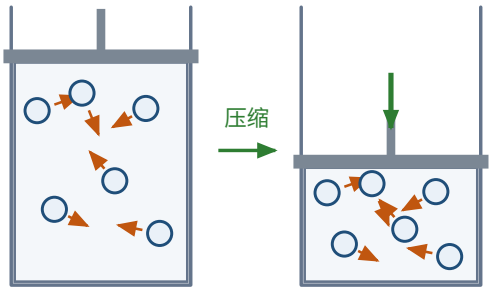
外界压力不变，给气体加热



运动加快，推动活塞向外

体积增大，直到内外压力平衡

温度不变，增大外界压力



粒子数不变，活动空间缩小

间隔减小，撞壁更频繁

定压升温 → 体积增大；定温升压 → 体积减小

压缩不把单个粒子压小；定温比较时，平均动能不因压缩而改变。

同一面板前后是同一种、同样数量的气体；灰横板表示可移动活塞。

左侧保持外界压力不变；右侧保持温度不变。粒子大小与总数不变，活塞位置表示体积变化。

例如，两份相同数量的同种气体都被加热。甲在刚性的密闭瓶里，乙在外界压力不变、活塞可移动的筒里。甲的体积不能增大，只能表现为撞壁作用增强、压强升高；乙可以推开活塞，最后在相同压力下具有较大体积。两者都因加热而运动加快，却不能给出完全相同的体积结论。

若两个条件同时改变，把两条作用先分开，再合并。对同一份气体，减压与升温都能促进体积增大；增压与降温都能促进体积减小。若一条促进增大、另一条促进减小，两种作用的方向相反，不能只读其中一条就断定最后的体积，更不能把百分数简单相加或直接抵消。

两个条件同时改变：先分别看方向，再合并比较

压力改变	温度改变	对体积的作用
降低	升高	都使体积增大
升高	降低	都使体积减小
降低	降低	作用相反，不能直接相加

比较同一份固定量气体；没有另给关系时，不把百分数当作体积变化。

保持气体的量不变，分别判断压力与温度的作用方向，再比较合并后的条件。

例如，甲、乙两份等量同种气体从相同状态开始。甲降低压力并升高温度；乙升高压力并降低温度。甲的两个改变都使体积增大，乙的两个改变都使体积减小，所以比较终态时甲的体积较大。若题目给四种组合，先找“两个因素都支持所问方向”的组合，再逐一核对其他行是否可能超过它。没有给出相应计算关系时，不需要自己引入气体方程式。

遇到表格题，每一列可能是一次独立比较：把“定压升温”和“定温增压”分别处理，再把两列答案合并。若题目是定容条件下问运动和压强，则把“温度→平均运动→撞壁→压强”连起来。题目没有给出换算关系时，先比较变大、变小或不变；不能把摄氏温度数值翻倍直接当作体积也翻倍。

怎么认 先标清气体数量、温度、压力、体积中哪些固定，再决定能否膨胀或压缩；用运动、撞壁和间隔解释实际改变的量。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q2） · 2 级

Which row describes how the volume of a gas changes when its temperature is increased at constant pressure and when its pressure is increased at constant temperature?

	temperature is increased at constant pressure	pressure is increased at constant temperature
A	volume decreases	volume decreases
B	volume decreases	volume increases
C	volume increases	volume decreases
D	volume increases	volume increases

解： 先看第一列：temperature is increased at constant pressure 表示压力不变、温度升高。气体粒子平均运动加快，体积能够增大，直到仍与外界压力平衡。因此第一列应为 volume increases。

第二列是 pressure is increased at constant temperature，温度保持不变而压力增大。这会使一定量气体被压缩到较小体积，粒子间隔减小。因此第二列应为 volume decreases。

把两次独立比较合并，只有 C 行是“体积增大；体积减小”，选 C。第一列不能套用密闭刚性容器的定容结论；第二列也没有说温度跟着升高。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/21 Q1） · 2 级

A gas is placed in a sealed container with a fixed volume.

The gas is heated.

Which statements are correct?

1 The gas molecules move around faster.

2 The gas particles collide with the walls of the container more frequently.

3 The pressure in the container decreases.

A 1 and 2 **B** 1 only **C** 2 and 3 **D** 2 only

2. （2025·May/June 0620/23 Q1） · 3 级

Which two changes, when applied **at the same time** to a fixed amount of gas, cause the greatest increase in volume of the gas?

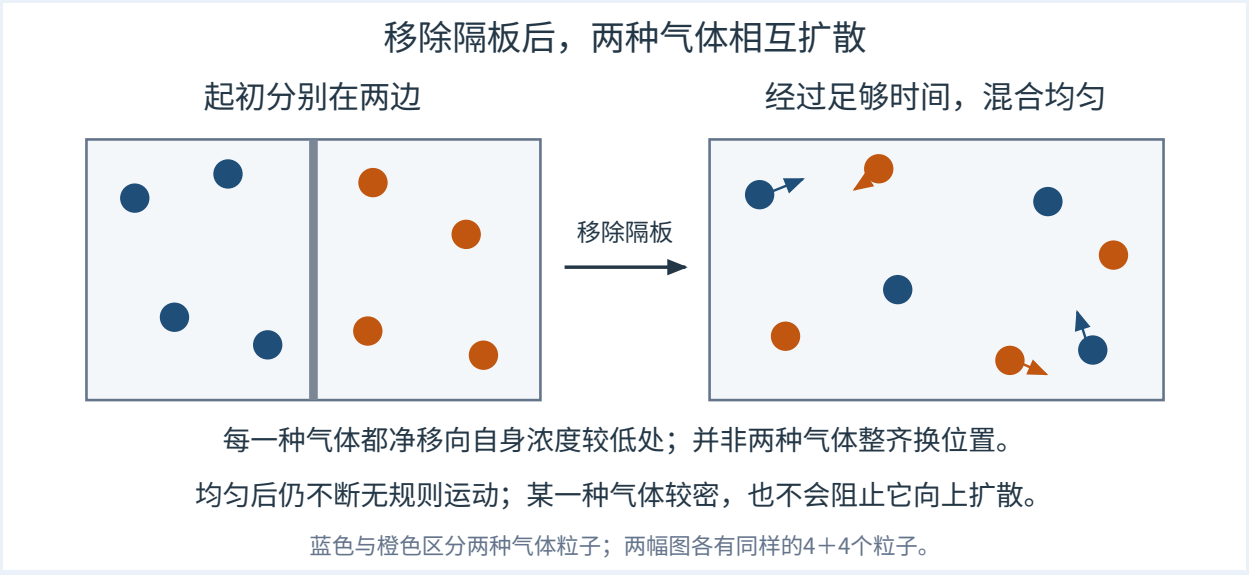
	change in pressure	change in temperature
A	decrease by 10%	decrease by 10%
B	increase by 10%	decrease by 10%
C	decrease by 20%	increase by 10%
D	increase by 20%	increase by 10%

1.2 扩散

题型 1：用粒子运动与相对分子质量比较扩散

知识点 把带有气味的物质放在房间一侧，较远处后来也可能闻到气味。原因不是每个粒子都认准某一个方向，而是气体粒子不断向各个方向作无规则运动，逐渐进入原来没有这种粒子的区域。不同物质的粒子因此混在一起，这个过程叫扩散（**diffusion**）。

为了描述“哪边更多”，把单位体积内某一种粒子的多少叫作这种物质的浓度。在浓度较高的一侧，能随机越过边界到另一侧的这种粒子更多；反方向也有粒子移动，但数量较少。因此，整体上出现从这种粒子的高浓度处向低浓度处的净移动。“净”是把两个相反方向的移动相比较之后，剩下的整体趋势，并不是说所有粒子只往同一个方向走。

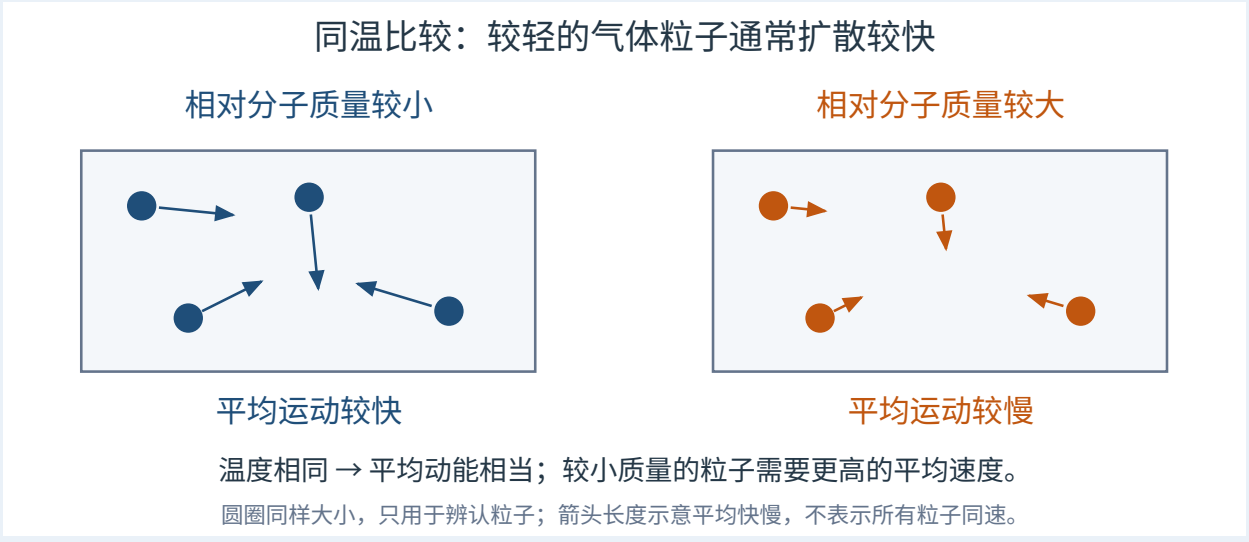


颜色表示气体种类；混合前后粒子数不变。小箭头仅示意无规则运动的部分方向。

气体可以相互扩散，液体中的粒子也能借无规则运动逐渐混合。经过足够时间，密闭容器内各处通常混合得比较均匀；此时粒子仍在运动，只是相反方向移动的数量大致相等，不再出现持续使一侧变浓的净趋势。

看颜色图要比较同一种有色气体在各处的浓度。若原来下瓶装有色气体，上瓶装无色气体，移除隔板后，有色气体会向上扩散，无色气体也会向下扩散。最终两瓶颜色趋于一致，而且比原来单独装有色气体时更浅。某种气体比空气密，并不表示粒子不能向上运动；密度不是一道把两种气体分开的隔板。若图只是上下颜色对调，也没有体现充分混匀。

比较快慢还要比较气体粒子的质量。一个分子是由原子结合成的一个整体。相对分子质量写作 Mr，用共同的质量基准比较一个分子有多重，是没有单位的相对数；相同温度下，较小 Mr 的气体一般平均运动较快，扩散也较快。温度相同的气体粒子平均动能相当，质量较小的粒子对应较高的平均速度。不能把“比较分子质量”误做成“比较装了多少气体”，后者是样品总量。



固定气体温度进行比较。图示箭头仅表达快慢关系，不给出精确速度比，也不以圆圈大小表示分子质量。

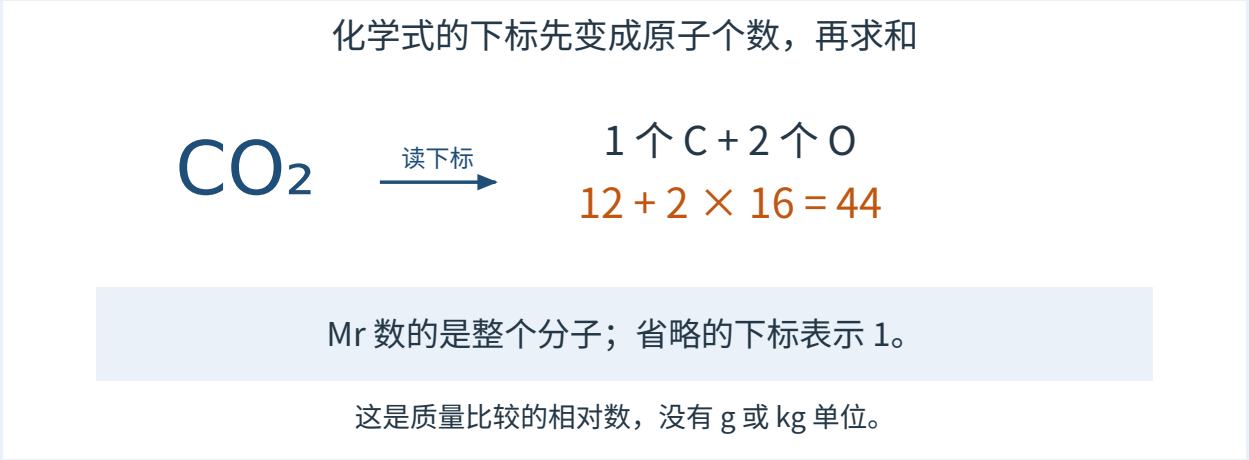
若题目直接给出几种气体的 Mr，比较数值即可。若只给化学式，就要先把这个分子中所有原子的相对质量相加。化学式里的字母表示元素，字母右下的小数字表示一个粒子含有几个该种原子；没有小数字就表示 1 个。例如 CO_2 中的 C 是碳，O 是氧，含 1 个碳原子和 2 个氧原子。用周期表给出的碳 12、氧 16，得到：

$$M_{r(CO_2)} = 12 + 2 \times 16 = 44$$

第 3 章会系统讲相对质量与化学式；这里先用这一个求和动作就能比较扩散快慢。

这里用得到的符号与题卷周期表数值先列在一起，读到新分子式时可以直接查。H 是氢，C 是碳，N 是氮，O 是氧，S 是硫；Cl 的第二个字母是小写 l，表示氯，不是把 C 与另一个元素接在一起。

H 氢	C 碳	N 氮	O 氧	S 硫	Cl 氯
1	12	14	16	32	35.5



箭头把化学式转换成原子个数；碳 12、氧 16 用于求整个 CO_2 分子的 Mr。

不熟悉名字也可以先按题目给的式子数原子。例如 CH_4 表示 1 个 C 和 4 个 H，C_2H_6 表示 2 个 C 和 6 个 H；它们分别叫甲烷和乙烷，但此处比较扩散不需要先学完整的有机物命名。CO 是一氧化碳，SO_2 是二氧化硫，HCl 是氯化氢，H_2S 是硫化氢，NO_2 是二氧化氮；本组真题都会同时提供所需的分子式。

例如，在同温下比较 CO_2 与 O_2。O_2 含 2 个氧原子，相对分子质量为：

$$M_{r(O_2)} = 2 \times 16 = 32$$

CO_2 的 M_r 为 44，而 32 小于 44，所以 O_2 通常扩散较快。比较时没有把 CO_2 中的下标 2 误认为它与 O_2 一样重，也没有把化学式中字母种类多当作扩散快的理由。对于只含单个原子的气体，直接比较这个原子的相对质量即可。

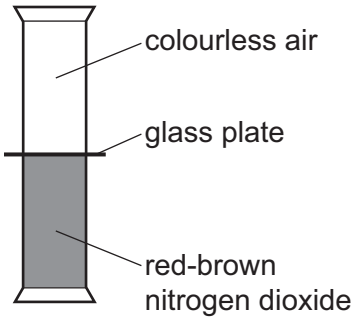
做扩散题时，先分清问题是在问“最终在哪些地方出现”还是“谁先到、谁较快”。前者靠持续无规则运动和浓度差判断；后者还要用题目给出的温度及气体粒子质量条件，不能只看颜色深浅或密度便下结论。

怎么认 问终态时看无规则运动导致混匀；问快慢时固定温度并比较整个气体粒子的相对质量。不要把颜色、密度或样品总量替代分子质量。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q3） · 2 级

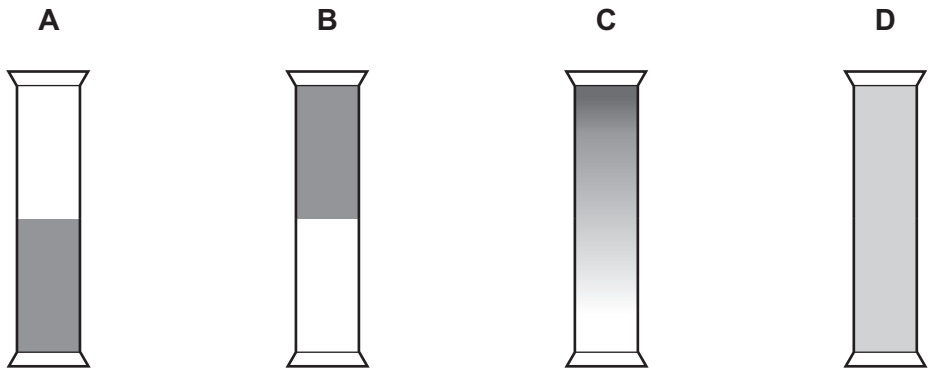
Nitrogen dioxide is a red-brown gas which is more dense than air.

The diagram shows the arrangement of two gas jars which contain nitrogen dioxide and air separated with a glass plate.



The glass plate is removed, and the gas jars are left for 24 hours.

Which diagram shows the gas jars after 24 hours?



解：原来下瓶有红棕色二氧化氮，上瓶是无色空气。移走玻璃板后，两种气体的粒子都持续作无规则运动：二氧化氮能进入上瓶，空气也能进入下瓶。放置 24 小时后，两瓶会混合得较均匀。

二氧化氮分布到原先两倍左右的空间，所以最终两瓶应呈一样的较浅颜色；图 D 符合。它比空气密，并不禁止其粒子向上扩散。

图 A 几乎保留原先上下分层，图 B 只是把两种气体的位置交换，图 C 仍有明显的深浅梯度，均不表示充分扩散后的均匀混合。选 D；均匀之后，粒子仍在运动。

例题 2 （2025·October/November 0620/23 Q2） · 2 级

Which gas diffuses most quickly at room temperature and pressure?

A CH_4 **B** C_2H_6 **C** CO **D** SO_2

解：题目固定 room temperature and pressure，所以比较的是同样温度、压力下几种气体的扩散。使用已教的关系：相对分子质量 Mr 较小，通常扩散较快。

先从式子数原子，再用题卷周期表 H=1、C=12、O=16、S=32 计算：

气体	原子组成	相对分子质量
CH_4	1 个 C、4 个 H	$12 + 4 \times 1 = 16$
C_2H_6	2 个 C、6 个 H	$2 \times 12 + 6 \times 1 = 30$
CO	1 个 C、1 个 O	$12 + 16 = 28$
SO_2	1 个 S、2 个 O	$32 + 2 \times 16 = 64$

把 16、30、28、64 比较，最小是 CH_4的 16。因此甲烷 CH_4扩散最快，选 A。乙烷 C_2H_6虽然也只含 C 和 H，但原子个数不同；CO 的字母较少也不代表它比 CH_4轻。应计算整个分子的质量，不能只数元素种类。

针对练习

1. （2025·October/November 0620/42 Q1(c)） · 2 级

The three states of matter are solid, liquid and gas.

(c) Gases diffuse.

(i) Describe, in terms of particles, why gases diffuse.

(ii) State what determines the relative rate of diffusion of gases at constant temperature.

2. （2025·February/March 0620/22 Q3） · 2 级

Samples of four gases are released in a room at the same time.

The gases are carbon dioxide, CO_2, hydrogen chloride, HCl, hydrogen sulfide, H_2S, and nitrogen dioxide, NO_2.

Which gas diffuses fastest?

A carbon dioxide

B hydrogen chloride

C hydrogen sulfide

D nitrogen dioxide

原子、元素和化合物

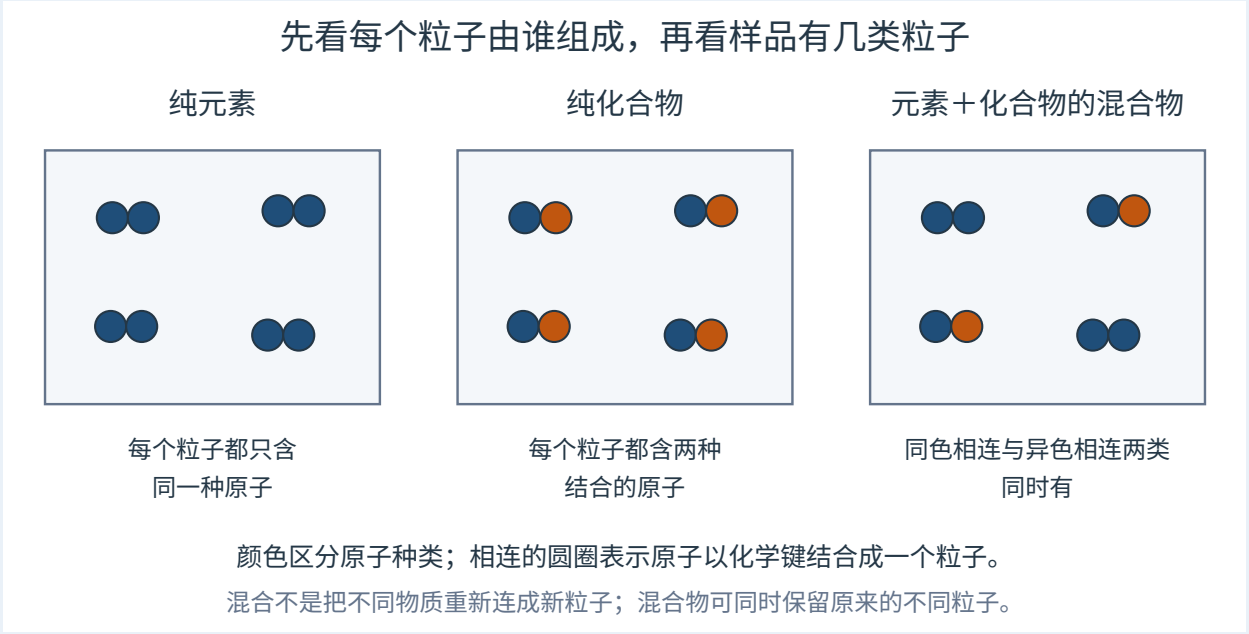
2.1 元素、化合物和混合物

题型 1：从粒子图分清元素、化合物与混合物

知识点 前面用“粒子”统称构成物质的小单位。现在再分清两个层次：原子是构成元素的基本粒子；几个原子以化学键结合成一个独立整体，就构成一个分子。在本节的圆球图中，一种颜色代表一种原子，相连的一组圆球表示原子已经化学结合，不是两个偶然靠近的粒子。

元素（**element**）只含一种原子。氧气的一个分子含两个氧原子，但这两个原子仍是同一种，所以氧气仍是元素。化合物（**compound**）含两种或更多元素，它们以化学方式按一定比例结合。例如一个水分子中有两个氢原子和一个氧原子，氢和氧是不同元素，所以水是化合物。两个字母名字不同并不是判断根据，要看实际包含几种元素以及是否化学结合。

混合物（**mixture**）由两种或更多物质混在一起构成。这些物质没有因此必须全部变成一种新的化合物；在粒子图中，常能看见不同种类的原有粒子同时存在。纯的化合物也可以含不同种颜色的原子，所以不能只看整框“有两种颜色”就断定是混合物。



相连的一组是一个分子；此图每框都有 4 个分子，比较的是组成和种类，未规定真实大小或浓度。

例如，一盒只有许多蓝—橙相连的相同二原子分子，它是纯化合物；若盒中同时有蓝—蓝分子和蓝—橙分子，就分别存在一种元素与一种化合物，整体是混合物。若只有蓝—蓝和橙—橙两类，则是两种元素的混合物。先逐个辨认粒子的组成，再数整盒包含几种物质，这两步不能颠倒。

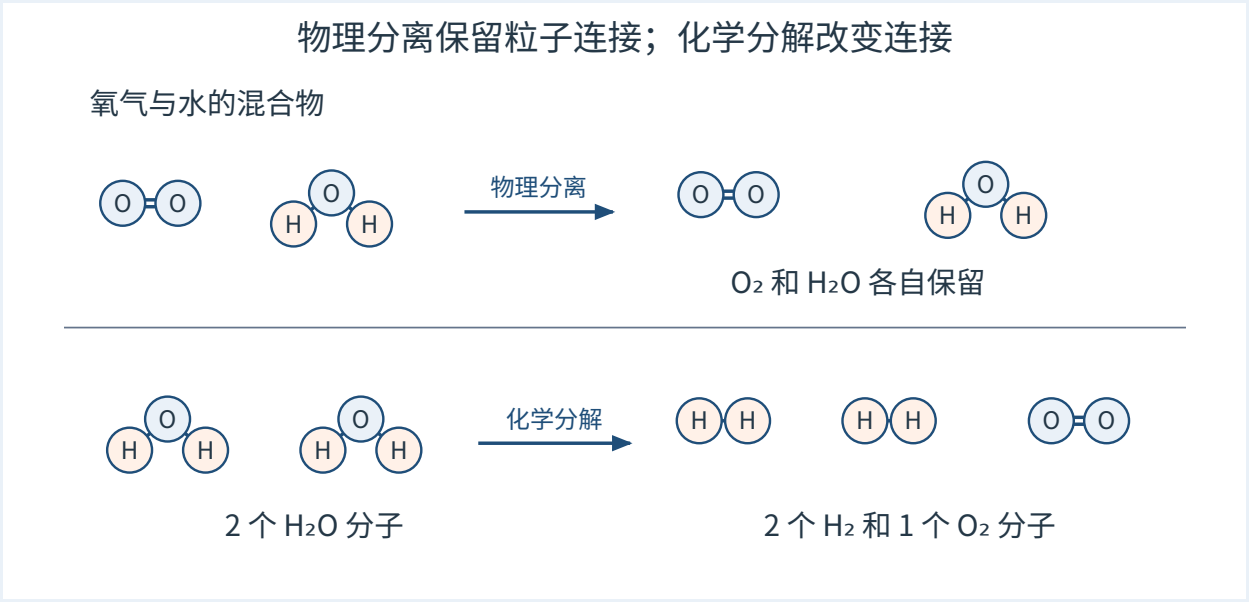
题目也可能给物质名称而不给圆球图。**aqueous** 表示水溶液，因此除了写在前面的溶质，还必须把水作为一种成分算进去。溶质是被溶解的物质，水是此时用来溶解它的溶剂；溶解是混合过程，不等同于所有成分都化学结合生成另一种纯物质。

先认识本组原题会使用的成分事实。氢 H、氧 O、碳 C、氮 N、铁 Fe、铬 Cr 都是元素名称；氧气 O_2和氮气 N_2分别由同种原子组成的分子构成，仍是元素。水 H_2O 由氢、氧组成，葡萄糖 $C_6H_{12}O_6$由碳、氢、氧组成，二者都是化合物。干净、干燥的空气仍含氮气、氧气、少量氩气 Ar 和二氧化碳 CO_2等不同气体；

“干净”不表示纯，“干燥”只是除去水蒸气。不锈钢是铁与铬等元素形成的合金；合金是一种混合物，不能把“看上去是一整块金属”当作纯元素的证据。

把这些事实用于文字条件时，先把成分写开。例如葡萄糖水溶液含葡萄糖与水，是化合物与化合物的混合物；氧气溶在水中则保留氧气这一元素与水这一化合物。若问的是“恰好一种元素和一种化合物”，还要排除含有多种元素气体的空气。

元素、化合物和混合物还有一个有用区别：化合物中各元素按一定比例化学结合；混合物的成分比例可以改变，而且可利用物理性质差别分开成分。例如蒸馏利用沸点差别分离混合物，不是把水分子拆成氢和氧。把一种化合物变成另外的物质，需要发生化学变化；这个区别会在后面的反应与分离章节继续使用。



上行分离混合物时没有把水分子拆开；下行是化学分解的连接变化示意，前后 H、O 原子数相等。

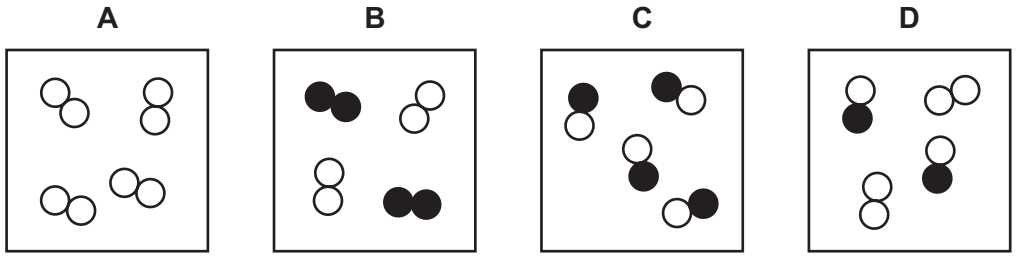
例如，将“所有原子属于同一种元素”“不同元素已经化学结合”“成分能用物理过程分开”分别放到元素、化合物、混合物三列。第一条描述元素，第二条描述化合物，第三条描述混合物。若题目把三列拼成一行选择，必须每列都对应正确；其中两列正确、另一列写反，整行仍不成立。

化合物可以通过化学变化变成其他物质；元素不能再通过普通化学过程分解成更简单的物质。这里讨论的是化学过程，不是把原子核改变的其他过程。混合物的物理分离则利用沸点、溶解性等差别，成分本身不必变成新物质。

怎么认 先看每个粒子含几种原子、怎样结合，再看整份样品含几类物质；文字题先把名称展开成实际成分。

例题 1 （2025·May/June 0620/13 Q2） · 2 级

Which diagram shows a mixture of an element and a compound?



解：白色和黑色圆圈代表两种不同原子，相连的一对表示一个分子。

A 全是白—白分子，只含一种元素，是纯元素。B 同时有白—白和黑—黑分子，两类都只含一种原子，所以是两种元素的混合物。C 全是同样的黑—白分子，每个分子含两种元素，是纯化合物。

D 同时有白—白分子和黑—白分子：前者是一种元素，后者是一种化合物，正好符合要求，所以选 D。不能只因为 C 也画了黑白两色，就把纯化合物误判为混合物。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q4） · 2 级

Which substance is a mixture of **one** element and **one** compound?

A aqueous glucose

B clean, dry air

C oxygen dissolved in distilled water

D stainless steel

2. （2025·October/November 0620/22 Q4） · 3 级

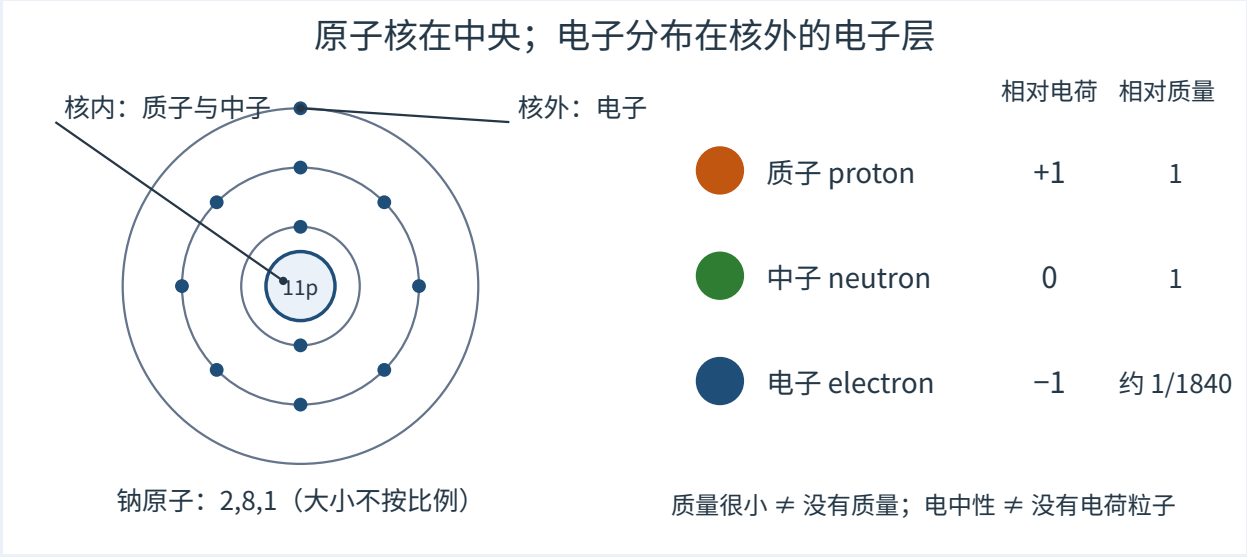
Which row describes elements, compounds and mixtures?

	elements	compounds	mixtures
A	all the atoms are the same type	contain different atoms chemically joined together	can be separated using physical processes
B	all the atoms are the same type	can be separated into new substances using chemical processes	contain different atoms chemically joined together
C	can be separated into new substances using chemical processes	all the atoms are the same type	contain different atoms chemically joined together
D	contain different atoms chemically joined together	all the atoms are the same type	can be separated using physical processes

2.2 原子结构与元素周期表

题型 1：由原子序数、电荷和电子层确定粒子数

知识点 前面用圆点表示粒子，现在把一个原子继续放大。原子中央很小的区域叫原子核（nucleus），其中有带正电的质子（proton）和不带电的中子（neutron）。带负电的电子（electron）排布在核外的电子层中。图中的核和电子被画得很大，是为了看清位置；不是原子真实大小的比例图。最常见的氢原子核只有一个质子，没有中子。



原子核的质子带正电，中子不带电；核外电子带负电。电子相对质量按首道原题所给的 1/1840 记录。

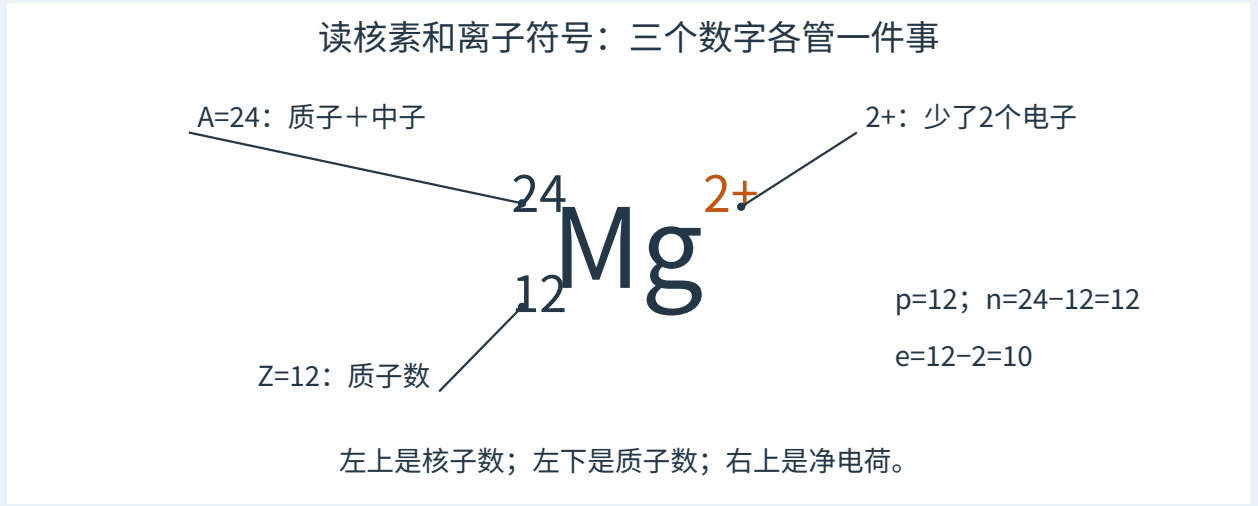
电荷和质量是两个不同的性质。把一个质子的电荷记作＋1，一个电子的电荷就是–1，中子的相对电荷是 0。一个质子与一个中子的相对质量都约为 1，电子小得多，首道原题把它给成 1/1840。电子不是“没有质量”；中子也不是“没有质量”，它只是没有净电荷。填表时要读清表头，不能把“电荷 0”写到“相对质量”一栏。

质子数决定它是哪一种元素。一个原子核中质子的个数叫原子序数，也叫质子数，用 Z 表示。周期表中各元素按 Z 排列，查元素时看质子数，例如 Z=11 的是钠 Na，Z=19 的是钾 K。练习还会用到锌 Zn 的 Z=30 和铷 Rb 的 Z=37；这两个数也是质子数。增加或减少中子不会把元素名称改成另一种；改变质子数才会改变元素身份。

核内质子与中子合称核子。质量数又叫核子数，用 A 表示，是一个给定原子核中质子数与中子数之和。已知质量数 A 和质子数 Z，就能求中子数：

$$\text{中子数} = A - Z$$

电子不列入核子数。周期表中的平均相对原子质量不能自动当成每个原子的质量数；平均值与一个原子核的核子总数是不同信息。



质量数 A 减去质子数 Z 得到中子数；离子电荷只改变本题电子数，不改变原子核。

符号左上角 24 是质量数 A，左下角 12 是质子数 Z，Mg 说明元素是镁。右上角 2+表示离子带两个单位正电。

先读原子核：质子数为 12，中子数为：

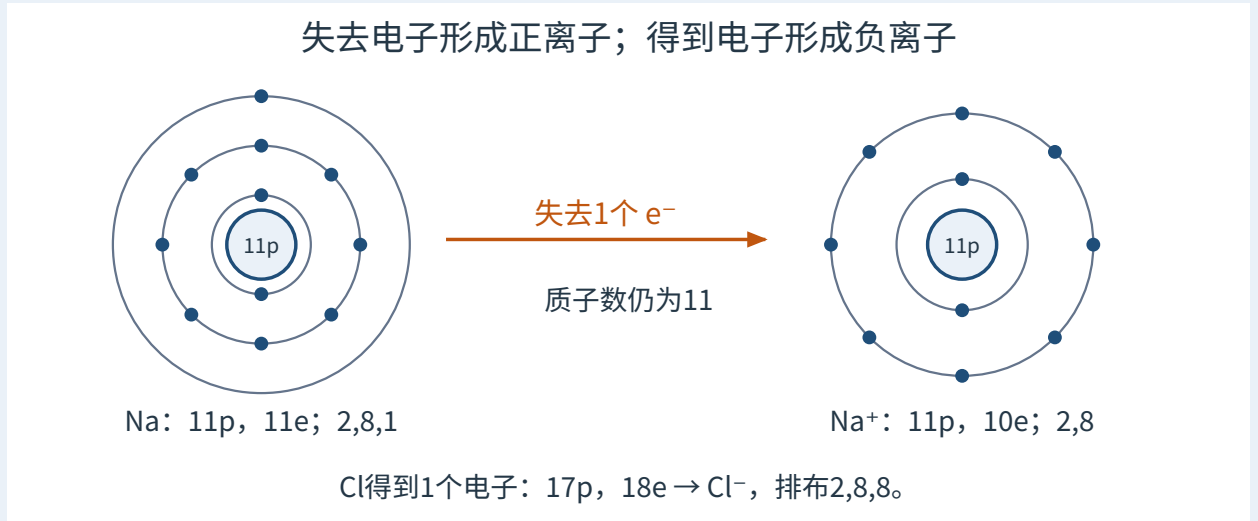
$$\text{中子数} = 24 - 12 = 12$$

再读电子。中性镁原子本有 12 个电子，形成 Mg^{2+}时失去 2 个，因此：

$$\text{电子数} = 12 - 2 = 10$$

不能从质量数 24 中扣去电荷 2；离子带 2+并不表示原子核少了两个核子。

原子整体不带电，因为正负电荷数目相等。一个中性原子中，电子数等于质子数。若原子或一组原子得到或失去电子，形成有净电荷的粒子，就叫离子（ion）；本型先处理单原子离子。失去带负电的电子后显正电，叫阳离子；得到电子后显负电，叫阴离子。得失电子时，核内的质子数与中子数保持不变。



电子带负电，失去负电后整体显正电；原子核保持不变。底部氯的例子沿相反的电子变化方向判断。

逐题计算时，先由 Z 写质子数，再用 A–Z 求中子数，最后根据右上电荷求电子数：

离子电荷	+1	+2	−1	−2
电子数	$Z-1$	$Z-2$	$Z+1$	$Z+2$

电荷只写+或–时，省略的电荷数是 1。

例如，F^-的 A=19、Z=9。原子核有 9 个质子，中子数为：

$$\text{中子数} = 19 - 9 = 10$$

负一价离子比中性原子多 1 个电子，因此：

$$\text{电子数} = 9 + 1 = 10$$

9 个正电荷与 10 个负电荷相抵后剩–1，符合 F^-。

如果题目只给元素名，却没有给某个原子的质量数，仍可确定它的质子数；若还说明是原子，就能确定电子数。但一般不能凭这些信息唯一确定中子数。选择题可能只需质子数与电子数已经能够排除其余各行，不必补造一个题目没有给的核素。

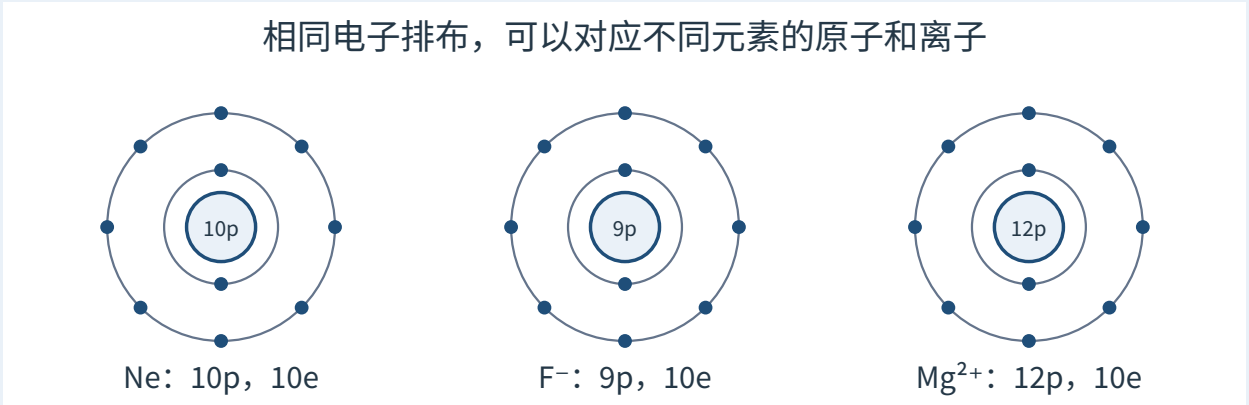
电子层怎样排？电子排布（electronic configuration）列出由内向外每一层的电子数，逗号分隔。例如 2,8,1 不是三个原子，而是同一钠原子的三层分别有 2、8、1 个电子，合计 11。对本课程前 20 号元素的基态原子，按下面的排布读图和写数；不能把“第三层最多只容纳 8 个电子”当成所有元素都适用的普遍规律。

Z 与元素	排布	Z 与元素	排布
1 H 氢	1	11 Na 钠	2,8,1
2 He 氦	2	12 Mg 镁	2,8,2
3 Li 锂	2,1	13 Al 铝	2,8,3
4 Be 铍	2,2	14 Si 硅	2,8,4
5 B 硼	2,3	15 P 磷	2,8,5
6 C 碳	2,4	16 S 硫	2,8,6
7 N 氮	2,5	17 Cl 氯	2,8,7
8 O 氧	2,6	18 Ar 氩	2,8,8
9 F 氟	2,7	19 K 钾	2,8,8,1
10 Ne 氖	2,8	20 Ca 钙	2,8,8,2

离子先算电子总数，再写电子排布。例如 Mg^{2+} 有 10 个电子，写 2,8；Cl^- 有 18 个电子，写 2,8,8。阳离子失电子先从原子最外层减去；若该层被减空，离子的已占据电子层就比原子少一层。Na 的 2,8,1 变成 Na^+ 的 2,8，就是这一情况。

周期表还能读出什么？对这里学习的第 I 至 VII 族主族元素，族数对应原子的最外层电子数；例如第 I 族有 1 个，第 VII 族有 7 个。第 VIII 族稀有气体的外层已满：He 第一层有 2 个；Ne 和 Ar 外层有 8 个。周期是周期表的横行，周期数对应原子已占据的电子层数。Na 的 2,8,1 有 3 层、最外 1 个，所以在第 3 周期、第 I 族。用这一关系判断的是中性原子的位置，不能用 Na^+ 只剩两层把钠改放到第 2 周期。

第 I 族金属常失去其最外层的一个电子，形成 +1 离子；第 VII 族非金属常得到一个电子，形成 −1 离子。这是本型铷题所需的桥接：题目已给 Rb 属于第 I 族，不必背它全部内层电子，就能判断它失去一个电子形成 Rb^+。离子之间怎样结合成化合物，会在 2.4 继续解释。



先数电子，再排电子层；不能因为图上电子相同，就把不同原子核当成同一种元素。

反向找相同排布的粒子，要把“电子相同”与“元素相同”分开。 Ne 有 10p、10e；F^-有 9p、10e；Mg^{2+}有 12p、10e，三者都排成 2,8，但核内质子数并不相同。做“给出一个原子和一个离子”时，先算目标电子数，再找电子数恰好达到目标的候选，最后检查题目要求的是正离子还是负离子。
例如，Na^+由 11 个电子的中性钠原子失去 1 个电子形成：
Na^+的电子数 $= 11 - 1 = 10$
具有相同排布的中性原子也要有 10 个电子，因此其质子数为 10，对应 Ne。若需要负离子，可以用 F^-：
F^-的电子数 $= 9 + 1 = 10$
写 F^-时必须保留右上角负电荷。目标换成 18 个电子时，仍先计数，再分别寻找所需的原子和离子。

怎么认 先区分原子序数、质量数和离子电荷；按 p→n→e 顺序计数，再由电子总数写排布。反求相同排布的原子或离子时，保持电子数目标并另查质子数和要求的正负电荷。

例题 1 (2025·May/June 0620/41 Q2(a)) · 1 级

Atoms are made of electrons, neutrons and protons.

(a) Complete Table 2.1.

Table 2.1

particle	relative charge	relative mass
electron		$\frac{1}{1840}$
neutron	0	
proton		

解：题目已给电子的相对质量 1/1840，以及中子的相对电荷 0。需要补的是同一张性质表，先区分“带什么电”与“相对有多重”。电子的相对电荷是−1；中子的相对质量约 1；质子带＋1 电荷，相对质量约 1。
完整表为：

particle	relative charge	relative mass
electron	−1	1/1840
neutron	0	1
proton	＋1	1

电子虽比核子轻得多，仍有质量；中子电荷 0 也不表示质量 0。按原题给定值保留 1/1840，不替题目改成另一种近似。

例题 2 （2025·May/June 0620/43 Q2(b)(i)） · 3 级

Atoms are made of electrons, neutrons and protons.

(b) Atoms of the same element are known as isotopes.

$^{32}_{16}S$ and $^{34}_{16}S$ are isotopes of sulfur.

(i) Complete Table 2.1 to show the number of electrons, neutrons and protons in one atom or ion of these isotopes.

Table 2.1

isotope	electrons	neutrons	protons
$^{34}_{16}S$			
$^{32}_{16}S^{2-}$			

解：第一步：读两个核的质子数。两个硫符号左下都是 16，所以两行质子数都为 16。左上 34 或 32 才是质量数；不要把它放进质子一栏。
第二步：分别求中子数。右上角 2–不改变原子核，两种粒子分别为：
^{34}S 的中子数 $= 34 - 16 = 18$
$^{32}S^{2-}$的中子数 $= 32 - 16 = 16$
第三步：由电荷求电子数。^{34}S 未标电荷，是中性原子，电子数为 16；$^{32}S^{2-}$比中性硫多得到 2 个电子，因此：
$^{32}S^{2-}$的电子数 $= 16 + 2 = 18$
按原表实际的“electrons、neutrons、protons”顺序填入：

粒子	electrons	neutrons	protons
^{34}S	16	18	16
$^{32}S^{2-}$	18	16	16

回查第二行：16 个正电荷与 18 个负电荷合计–2，符合 S^{2-}；不是因为负离子带负电就减少电子。

例题 3 （2025·May/June 0620/41 Q2(c)） · 3 级

Atoms are made of electrons, neutrons and protons.

(c) A calcium atom has the electronic configuration of 2,8,8,2.

Give the formula of one atom and one negative ion that has the same electronic configuration as Ca^{2+}.

- atom
- negative ion

解：先把目标 Ca^{2+}的电子数算清。钙原子排布 2,8,8,2，电子总数为 20；Ca^{2+}失去最外层 2 个电子后剩 18 个，排布 2,8,8。
再找中性原子。中性原子的质子数=电子数，所以要找 Z=18 的元素。周期表中是氩，写 Ar。
最后找题目指定的负离子。氯原子 Z=17，得到一个电子形成 Cl^-，有 17＋1=18 个电子，排布也为 2,8,8，因此可写 Cl^-。不要误填同样有 18 个电子的正离子，题目要求的是 negative ion。
答案可写 atom：Ar；negative ion：Cl^-。若写 S^{2-}，则 16＋2=18；若写 P^{3-}，则 15＋3=18，也符合官方评分。只需按题目各给一个，不要把一个元素名和缺少电荷的另一个元素符号当成两类粒子。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/43 Q2(a)） · 1 级

Atoms are made of electrons, neutrons and protons.

(a) State which of these particles are found in the nucleus of an atom.

2. （2025·May/June 0620/11 Q4） · 1 级

Which part of an atom has a relative mass of 1 and a relative charge of 0?

A electron

B neutron

C nucleus

D proton

3. （2025·May/June 0620/12 Q5） · 1 级

Which statement defines the atomic number of an element?

A the group number of the element

B the mass of one atom of the element

C the number of particles in the nucleus of one atom of the element

D the number of protons in the nucleus of one atom of the element

4. （2025·May/June 0620/11 Q3） · 1 级

An atom of element Q contains 19 electrons, 19 protons and 20 neutrons.

What is Q?

A calcium

B potassium

C strontium

D yttrium

5. （2025·May/June 0620/13 Q4） · 2 级

An atom of the element erbium is represented by $^{167}_{68}\mathrm{Er}$.

Which row shows the number of protons, neutrons and electrons in this atom?

	protons	neutrons	electrons
A	68	99	68
B	68	99	99
C	99	68	68
D	99	68	99

6. （2025·May/June 0620/22 Q3） · 2 级

Which row gives the number of protons, electrons and neutrons in an atom of zinc?

	protons	electrons	neutrons
A	30	30	35
B	30	35	35
C	35	30	30
D	35	35	30

7. （2025·May/June 0620/13 Q5） · 2 级

Rubidium is in Group I of the Periodic Table and bromine is in Group VII of the Periodic Table.

Rubidium reacts with bromine to form an ionic compound.

Which row shows the electron change taking place for rubidium and the correct formula of the rubidium ion formed?

	electron change	formula of ion formed
A	electron gained	Rb^{+}
B	electron gained	Rb^{-}
C	electron lost	Rb^{+}
D	electron lost	Rb^{-}

8. （2025·May/June 0620/21 Q3） · 3 级

Which atom has an equal number of protons, neutrons and electrons?

A ^{40}Ar **B** ^{1}H **C** ^{23}Na **D** ^{14}N

9. （2025·May/June 0620/22 Q4） · 3 级

Which particles have the electronic configuration 2,8,8?

1 an argon atom, Ar

2 an aluminium ion, Al^{3+}

3 a sodium ion, Na^{+}

4 a chloride ion, Cl^{-}

A 1 and 3 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 2 and 4

10. （2025·May/June 0620/41 Q2(b)(i)） · 3 级

Atoms are made of electrons, neutrons and protons.

(b) Atoms of the same element are known as isotopes.

$^{39}_{19}K$ and $^{41}_{19}K$ are isotopes of potassium.

(i) Complete Table 2.2 to show the number of electrons, neutrons and protons in one atom or ion of these isotopes.

Table 2.2

isotope	electrons	neutrons	protons
$^{39}_{19}K$			
$^{41}_{19}K^{+}$			

11. （2025·May/June 0620/42 Q5(d)(ii)） · 3 级

Alkali metals are reactive elements.

(d) Rubidium has only two naturally occurring atoms, ^{85}Rb and ^{87}Rb.

(ii) Complete Table 5.1 to show the number of protons, neutrons and electrons in the atom and ion of rubidium shown.

Table 5.1

	^{85}Rb	$^{87}Rb^{+}$
protons		
neutrons		
electrons		

12. （2025·May/June 0620/43 Q2(c)） · 3 级

Atoms are made of electrons, neutrons and protons.

(c) Ions are atoms or groups of atoms that have gained or lost one or more electrons.

An oxygen atom has the electronic configuration of 2,6.

Give the formula of **one** atom and **one** positive ion that has the same electronic configuration as O^{2-}.

- atom
- positive ion

2.3 同位素

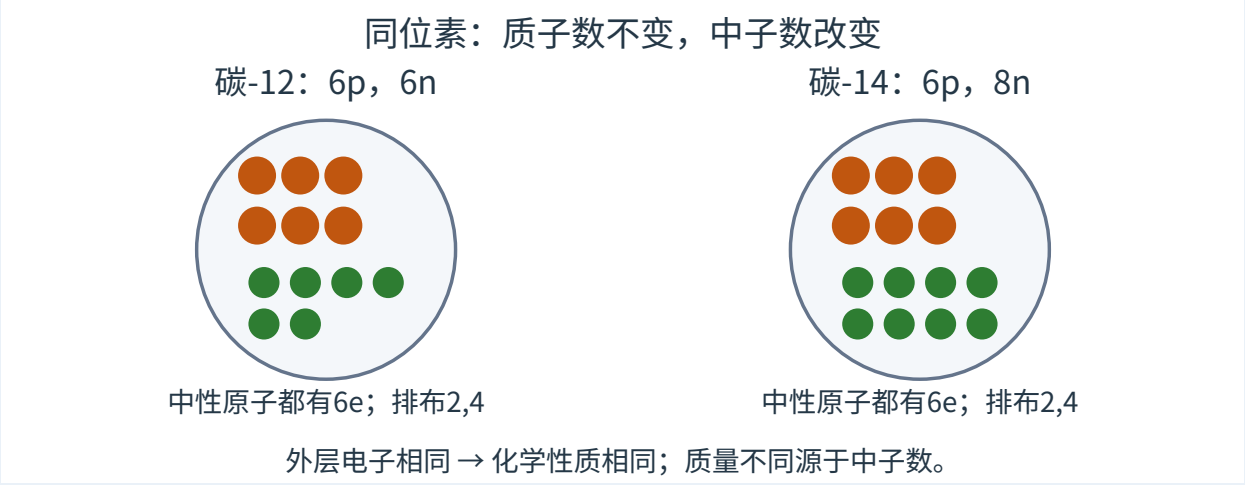
题型 1：比较同位素并用丰度计算相对原子质量

知识点 同一种元素的原子，其核内质子数固定，中子数却可以不同。同位素（**isotopes**）指同种元素中质子数相同、中子数不同的原子。

质量数由核内两种粒子共同决定：

质量数 = 质子数 + 中子数

因此同位素的质量数也不同。但只说两个原子质量不同还不够；必须先确认它们是同一种元素。



橙色点表示质子，绿色点表示中子；核内计数示意不表示原子核真实内部排列。

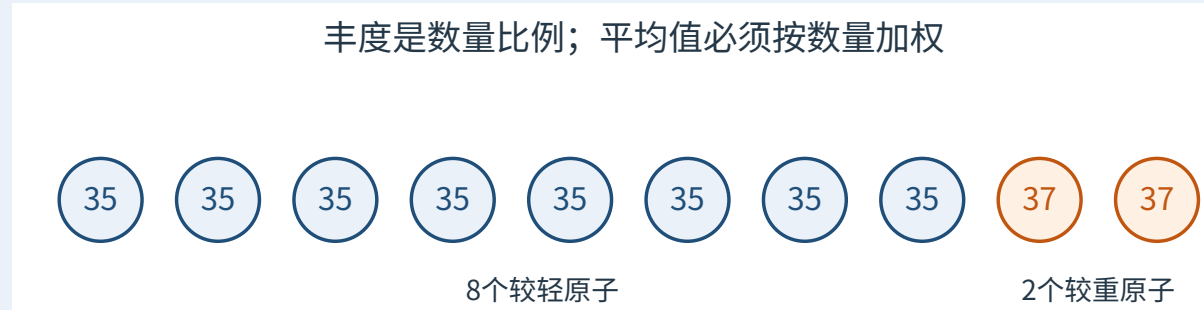
碳-12 与碳-14 都含 6 个质子，所以都叫碳；前者有 6 个中子，后者有 8 个中子。作为中性原子，它们又都有 6 个电子，排布都是 2,4。化学反应主要涉及电子，尤其外层电子；因此，同种元素的同位素有相同的电子排布和相同的化学性质。它们质量不同，并不意味着一个会像氧那样反应、另一个仍像碳那样反应。

把符号中的位置逐项读完。左上 A 写质量数，左下 Z 写质子数，右上写离子电荷。比较两行时，先问 Z 是否相同，再问 A 是否不同。若 Z 和 A 都相同，只是同一个核素的另一次表示；若 Z 不同，是不同元素。若右上电荷不同，先分清原子与离子，电子数的不同不能取代同位素所要求的中子数不同。前一型的 Mg^{2+}符号图已示范了全部位置；这里把它用于比较两个粒子。

例如，氯-35 与氯-37 都有 17 个质子，中子分别是 18 和 20，是同位素；氯-35 与氩-40 的质子数分别是 17 与 18，属于不同元素。把氯-35 变成 Cl^-，改变的是电子数，并没有把它变成氯-37。

为什么周期表常出现不是整数的相对原子质量？一个原子很轻，直接用千克比较不方便。化学选取一个碳-12 原子质量的 1/12 作为比较基准。相对原子质量（relative atomic mass，Ar）是某元素各同位素原子的平均质量与这个基准之比。它是相对比值，没有 g 等质量单位。基准来自碳-12，不是任意一个碳原子的质量，也不是一整个碳样品的总质量。

样品中一种同位素占原子总数的比例，叫它的丰度（abundance）。例如“80% 是质量 35 的同位素”指每 100 个原子中大约 80 个属于这一种；不是说它的单个原子质量变成了 35×80。数量多的同位素对平均数的影响更大，要按数量比例加权。



数量多的同位素对平均值影响更大；把 35 和 37 各取一次平均，会错误地假定二者各占一半。

例如，样品中有 8 个相对质量 35 的原子和 2 个相对质量 37 的原子。先求总相对质量：

$$35 \times 8 + 37 \times 2 = 354$$

再除以原子总数 10，得到平均值：

$$A_r = \frac{354}{10} = 35.4$$

若直接将 35 与 37 相加后除 2，会得到 36，却暗中假定两种原子数量相等，与 8∶2 不符。计算时使用题给的各同位素相对质量，不能用整个元素的平均 A_r 替代其中一种。

丰度写成百分数时，把每种同位素的“相对质量×百分丰度”相加，再除以 100。上面样品中两种丰度为 80% 与 20%，因此：

$$A_r = \frac{35 \times 80 + 37 \times 20}{100} = 35.4$$

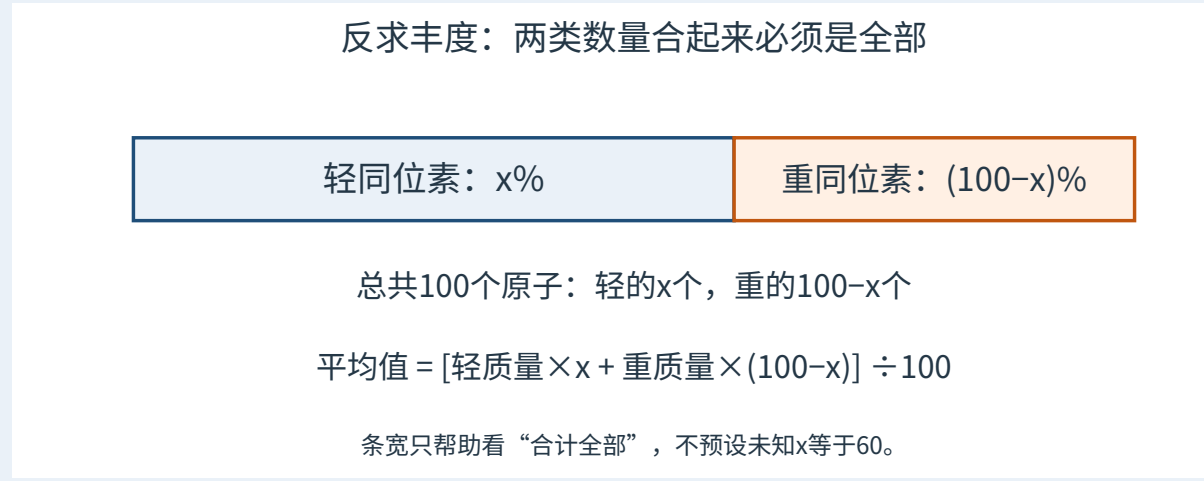
若直接使用小数比例 0.80 和 0.20，就不再除 100：

$$A_r = 35 \times 0.80 + 37 \times 0.20 = 35.4$$

两种写法相同。回查平均值在 35 与 37 之间，并更靠近占 80% 的 35。

先算出未舍入值，再按题目要求写末位。“one decimal place”是一位小数，例如 39.2。“three significant figures”是三位有效数字，从第一个非零数字起数三位，再看后一位是否达到 5；50.0 中的两个末尾 0 都用于表达保留位数。数值 240.04 取三位有效数字得到 240，可写 2.40×10^2明确这三位。不要在各项乘法还未相加时就分别大幅舍入，以免总结果偏移。

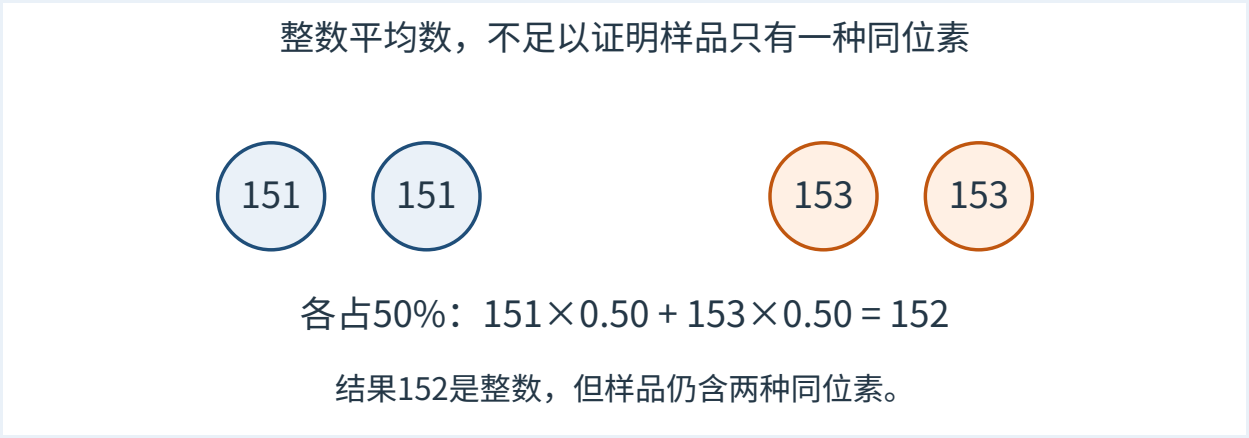
怎样由平均值反求丰度？若题目说只有两种同位素，两种百分丰度加起来必须是 100%。设较轻的一种有 x%，那么另一种就是(100−x)%。把这两个数量代入同一条加权平均关系，就只剩一个未知数。



先把另一丰度写成 100−x，才能让加权平均只剩一个未知数；示意条宽不是待求数据。

例如，两种同位素的相对质量为 10 与 12，平均值为 10.6。设质量 10 的占 x%，则质量 12 的占(100−x)%。
代入加权平均：
$$\frac{10x + 12(100 - x)}{100} = 10.6$$
两边乘 100，再展开括号：
$$10x + 1200 - 12x = 1060$$
合并含 x 的项并移项：
$$1200 - 2x = 1060 \quad \Rightarrow \quad 2x = 140$$
所以 x=70，较轻的一种占 70%，较重的一种占 30%。代回核对：
$$10 \times 0.70 + 12 \times 0.30 = 10.6$$
平均值吻合，两种百分丰度也合计 100%。

如果平均值刚好处在两质量的中点，两者丰度相等；这可作为检查，不能在平均值不居中的题里也一律填 50%。真实铕例题会演示中点情况，之后铷练习会把平均值移向较轻的一端。



本节铕题给出的 151 和 153 构成直接反例；具体元素的已知同位素组成，需要独立资料。

一个整数平均值，不足以单独证明只有一种同位素。151 与 153 各占一半时平均为 152，仍是两种同位素。因此，平均值是否带小数，与“存在几种同位素”不是同一条判断。

铝这个具体元素另有已知组成资料：CIAAW 列出的正常天然铝的标准原子量由铝-27 决定。这里限定正常天然组成，不表示其他人造或痕量放射性铝核素不存在。做本节铝题时，要把该具体元素的已知事实与“单凭平均数 27 能否一般推断”分开；不能把某道评分中的结论扩成所有元素适用的规则。资料：CIAAW · Aluminium。

怎么认 比较同位素先保持质子数、改变中子数；求平均先用题给丰度加权。反求丰度再增加总和 100% 的条件，保留未舍入值到最后；整数平均值本身不证明单一同位素。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q5） · 2 级

Which row identifies the number of electrons, neutrons and protons in a particle which is an isotope of $^{11}_{5}B$?

	electrons	neutrons	protons
A	5	5	5
B	5	6	5
C	6	5	6
D	6	6	6

解：第一步：把题给硼核素拆开。 左下 5 说明有 5 个质子，左上 11 说明质子＋中子共 11 个，所以原来有 11−5=6 个中子。要找它的另一种同位素，必须仍为 5 个质子，但中子数不同。

第二步：逐行检验。A 有 5p、5n，与原来同元素而中子数不同，是硼-10。B 有 5p、6n，仍是题给的硼-11，没有换成另一种同位素。C 和 D 都有 6p，元素身份已变，不是硼的同位素。

因此选 A。表头顺序为 electrons、neutrons、protons，最后一栏才是先用于确定元素的质子数。A 也有 5e，符合中性硼原子。

例题 2 （2025·May/June 0620/41 Q2(b)(ii)） · 1 级

Atoms are made of electrons, neutrons and protons.

(b) Atoms of the same element are known as isotopes.

$^{39}_{19}$K and $^{41}_{19}$K are isotopes of potassium.

(ii) Table 2.3 shows the relative masses and the percentage abundances of the two isotopes in a sample of potassium.

Table 2.3

relative mass of isotope	percentage abundance of isotope
39	90
41	10

Calculate the relative atomic mass of this sample of potassium to **one** decimal place.

解：先把百分丰度当作原子数量比例。 相对质量 39 的占 90%，41 的占 10%。可以把样品想成 100 个原子：90 个按 39 计，10 个按 41 计。

先求 100 个原子的总相对质量：

$$39 \times 90 + 41 \times 10 = 3510 + 410 = 3920$$

再除以原子总数，得到：

$$A_r = \frac{3920}{100} = 39.2$$

题目要求一位小数，写 **39.2**，不加 g。结果处在 39 与 41 之间，且靠近丰度较大的 39，符合检查。直接把 39 和 41 平均成 40 会误以为两者各占一半。

例题 3 （2025·May/June 0620/21 Q4） · 3 级

The only naturally occurring isotopes in a sample of europium are ^{151}Eu and ^{153}Eu. This sample of europium has a relative atomic mass, A_r, of 152.

What is the percentage of ^{151}Eu present in this sample to three significant figures?

A 0.987% **B** 50.0% **C** 76.0% **D** 98.7%

解：第一步：设一个未知丰度。 题目说明只有^{151}Eu 和^{153}Eu 两种同位素。设^{151}Eu 占 x%，那么^{153}Eu 占(100−x)%。

第二步：让加权平均等于题给 **152**。

$$\frac{151x + 153(100 - x)}{100} = 152$$

两边乘 100 并展开：

$$151x + 15300 - 153x = 15200$$

合并含 x 的项，再移项：

$$15300 - 2x = 15200 \quad \Rightarrow \quad 2x = 100$$

所以 x=50。

第三步：按三位有效数字写答案。 百分丰度为 **50.0%**，选 **B**。代回原式核对：

$$151 \times 0.500 + 153 \times 0.500 = 152$$

两种相对质量到 152 的距离同为 1，丰度相等也符合中点检查。

本题的整数平均值 152 来自两种同位素共同贡献，不能据此推成只存在一种质量 152 的同位素。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q6） · 1 级

What is different for isotopes of the same element?

A nucleon number

B number of electron shells

C number of electrons in the outer electron shell

D proton number

2. （2025·May/June 0620/42 Q5(d)(i)） · 1 级

Alkali metals are reactive elements.

(d) Rubidium has only two naturally occurring atoms, ^{85}Rb and ^{87}Rb.

(i) State the term given to these naturally occurring atoms of rubidium.

3. （2025·May/June 0620/43 Q2(b)(iii)） · 1 级

(iii) The relative atomic masses of all elements are compared to one atom of an isotope.

Identify this isotope.

4. （2025·May/June 0620/13 Q10） · 1 级

What is the definition of relative atomic mass?

A It is the average mass of the isotopes of an element compared to $\frac{1}{12}$th of the mass of an atom of ^{12}C.

B It is the total mass of the isotopes of an element compared to $\frac{1}{12}$th of the mass of an atom of ^{12}C.

C It is the average mass of an element compared to $\frac{1}{12}$th of the mass of an atom of ^{12}C.

D It is the total mass of an element compared to $\frac{1}{12}$th of the mass of an atom of ^{12}C.

5. （2025·May/June 0620/43 Q2(b)(ii)） · 1 级

Atoms are made of electrons, neutrons and protons.

(b) Atoms of the same element are known as isotopes.

$^{32}_{16}S$ and $^{34}_{16}S$ are isotopes of sulfur.

(ii) Table 2.2 shows the relative masses and the percentage abundances of the two isotopes in a sample of sulfur.

Table 2.2

relative mass of isotope	percentage abundance of isotope
32	95
34	5

Calculate the relative atomic mass of this sample of sulfur to **one** decimal place.

6. （2025·May/June 0620/41 Q2(b)(iii)） · 2 级

(iii) An isotope of aluminium has a nucleon number of 27.

Aluminium has a relative atomic mass of 27.

State what conclusion can be made from this information.

7. （2025·May/June 0620/22 Q5） · 2 级

A sample of element Q has two isotopes.

Their relative masses and abundances are shown.

relative mass of isotope	abundance / %
238	66
244	34

What is the relative atomic mass of this sample of Q to three significant figures?

A 240 **B** 241 **C** 242 **D** 243

8. （2025·May/June 0620/42 Q5(d)(iii)） · 3 级

Alkali metals are reactive elements.

(d) Rubidium has only two naturally occurring atoms, ^{85}Rb and ^{87}Rb.

(iii) The relative atomic mass of rubidium to one decimal place is 85.5.

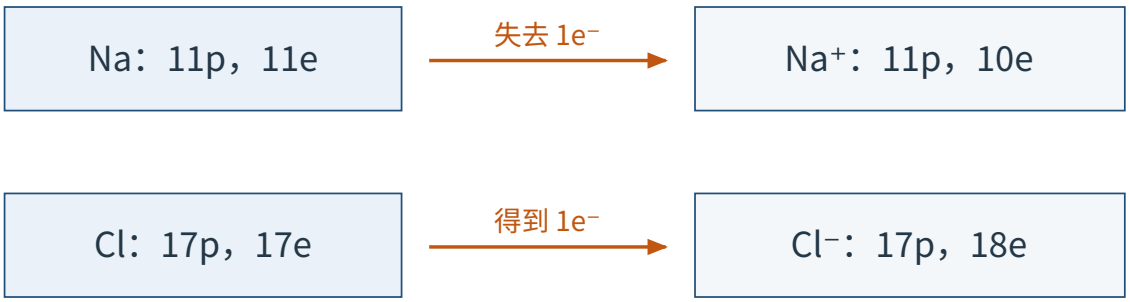
Determine the relative abundance of ^{85}Rb in rubidium. Express your answer as a percentage.

2.4 离子与离子键

题型 1：用电子转移画离子及其电子式

知识点 一个中性原子的质子数与电子数相等，正、负电荷相互抵消。离子（**ion**）是因失去或得到电子而带电的原子或原子团；这一型先处理单个原子形成的离子。失去电子，留下的正电多于负电，形成阳离子（**cation**）；得到电子，负电多于正电，形成阴离子（**anion**）。正负电荷不能靠“名字听起来像哪一类”来判断，要比较质子和电子。

失去电子带正电；得到电子带负电；原子核不变



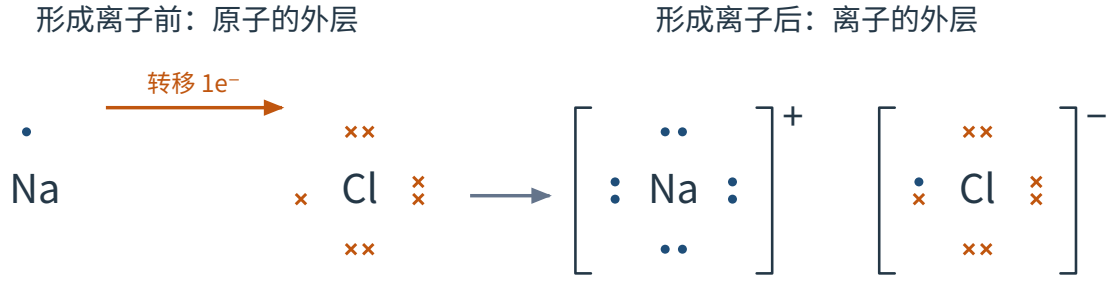
阳离子 cation 带正电；阴离子 anion 带负电。

箭头记录电子数改变；两行的质子数各自不变，所以元素身份保持。

形成离子只改变电子，不改变原子核。例如 Na 有 11 个质子，失去 1 个电子后仍有 11 个质子，但只剩 10 个电子，所以是 Na^+。Cl 有 17 个质子，得到 1 个电子后有 18 个电子，所以是 Cl^-。右上角的+表示少 1 个电子，2+表示少 2 个；−表示多 1 个，2−表示多 2 个。它们不是质量数，也不是另添几个质子。

先从最简单的一对看电子转移。钠原子的排布为 2,8,1，氯原子为 2,8,7。钠失去最外层的 1 个电子，排布成为 2,8；氯得到这 1 个电子，排布成为 2,8,8。二者都获得满的最外层。第 Ⅰ 族金属通常各失去 1 个电子，第 Ⅶ 族非金属通常各得到 1 个电子；例如钾与碘形成 K^+和 I^-，碘的阴离子英文叫 iodide。

NaCl：一个钠给一个氯 1 个电子



NaCl：失去的电子总数 = 得到的电子总数

正离子的外层是原先已填满的内一层；不是把转走的电子画回来。

点、叉只记录来源；离子彼此不共用电子对。

只画形成前后最外层。每个离子加方括号和电荷；金属离子保留的满层电子来自原先的内层。

读点叉图时，点与叉只用来追踪电子来源。它们不是两种不同的电子。图中先把钠提供的电子画成点，把氯原来的电子画成叉。形成 Cl^-后，它最外层的 7 个叉加 1 个点共 8 个电子。离子外面画方括号，右上写清电荷。

要特别注意：形成前后所说的“最外层”可能不是原来同一层。Na 失掉最外层唯一的电子后，原先已经填满的内一层变成新的最外层；那 8 个电子原本就存在，并非反应中新生成。若只画最外层，前后图上可见的点数不一定相等；核对电子守恒要比较完整的电子排布。

电子转移形成了带电离子，离子键则是相反电荷离子之间的强静电吸引。“静电吸引（electrostatic attraction）”表示正负电荷互相吸引。Na^+与 Cl^-相吸引而结合，不是两个粒子共用一对电子。大量离子会组成向各方向延伸的晶格，下一型紧接着看这种结构；这里的点叉图只表示离子的电子及最小数量比，不表示一个孤立的 NaCl 分子。

若一个金属要失去两个电子，逐个追踪这两个电子。镁 Mg 的排布为 2,8,2，失去 2 个电子形成 Mg^{2+}，排布为 2,8；氧 O 为 2,6，得到 2 个电子形成 O^{2-}，排布也为 2,8。一个 Mg 给一个 O 两个电子，两个离子的电荷大小相等、符号相反，所以氧化镁 MgO 中的最小离子比例是 1:1。

MgO：一个镁给一个氧 2 个电子



MgO：失去的电子总数 = 得到的电子总数

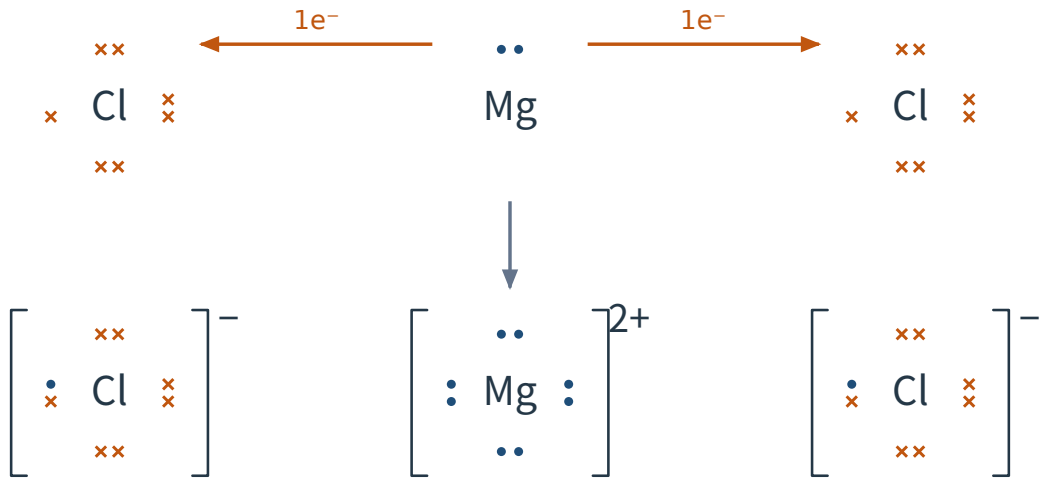
正离子的外层是原先已填满的内一层；不是把转走的电子画回来。

点、叉只记录来源；离子彼此不共用电子对。

只画形成前后最外层。每个离子加方括号和电荷；金属离子保留的满层电子来自原先的内层。

若把氧换成氯，情况发生改变：一个 Mg 仍要失去 2 个电子，但每个 Cl 只需得到 1 个电子。所以要由两个 Cl 各接受一个，形成一个 Mg^{2+}和两个 Cl^-，写作氯化镁 $MgCl_2$。下标 2 表示有两个氯离子，不是把一个氯离子的电荷改成 2−。

$MgCl_2$：一个镁失去 $2e^-$，两个氯各得到 $1e^-$



一个 Mg^{2+} 配两个 Cl^-：$(+2) + 2\times(-1) = 0$

右下的2表示有两个Cl，不表示每个Cl带2−。

两个橙箭头分别转移一个电子；下行三个离子的电荷总和为 0。只画最外层。

例如，硫 S 的原子序数为 16，排布 2,8,6，需要得到 2 个电子成为 S^{2-}。若与每个只失 1 个电子的 Na 结合，就需要两个 Na，各给 1 个，形成硫化钠 Na_2S。若与每个失 2 个电子的 Mg 结合，只需一个 Mg 配一个 S。方法是先确定每个原子失得多少，再让总失电子数等于总得电子数，不是总让“一种原子配一种原子”。

数量比必须使总失电子 = 总得电子，且总电荷为0

NaCl	$1Na^+ + 1Cl^-$	$(+1)+(-1)=0$
MgO	$1Mg^{2+} + 1O^{2-}$	$(+2)+(-2)=0$
Na_2S	$2Na^+ + 1S^{2-}$	$2\times(+1)+(-2)=0$
$MgCl_2$	$1Mg^{2+} + 2Cl^-$	$(+2)+2\times(-1)=0$

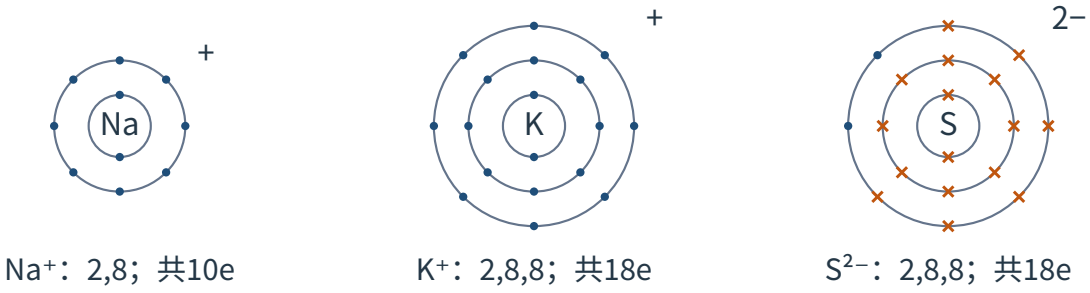
这里写最小离子数量比；不是在画一个独立的离子“分子”。

同一电中性原则适用于一价、二价离子的不同组合。下标记录数量，不改写单个离子的电荷。

常见的第 II 族金属形成 2+离子，第 VI 族非金属形成 2–离子。若题目直接给出其他离子的电荷，也按同样方法平衡总电荷；例如 2 个 Al^{3+}的总电荷+6，正好与 3 个 O^{2-}的总电荷–6 抵消，得到氧化铝 Al_2O_3 的 2:3 比例。第 3 章会把这种比例系统写成化学式，本型先用它确定要画几个离子。

题目给了部分电子层时，先数已经印出的完整内层。Na^+最终只有 2,8 两层；K 原子为 2,8,8,1，失去 1 个电子后 K^+有 2,8,8 三层；S^{2-}也有 2,8,8 三层，但它的电荷来自硫得到 2 个电子，不能因为和 K^+电子数相同就把电荷也写成相同。

读预印模板前：先知道最终应有几层、每层几个电子



Na^+：2,8；共10e　　K^+：2,8,8；共18e　　S^{2-}：2,8,8；共18e

原图已印的内层保留；只补缺失的完整外层和电荷。

三个图显示最终全部电子层。S 外层的两个点来自转移；不能把缺失的 8 个电子叠加到已满的内层。

假如原图已给某个 K 的最内层 2 个电子和下一层 8 个电子，最终离子却应有三层，就必须在外面补完整第三层及 8 个电子，不能把新 8 个点塞回已经填满的第二层。若原图只给 Na 的第一层 2 个电子，补的是第二层 8 个电子。最后逐个回查元素符号、层数、每层电子数、点叉来源与右上电荷，并检查全部离子的总电荷是否为 0。

怎么认 先写原子的电子排布与要失得的电子数，再平衡转移总数。读清模板已印的内层，只补缺失外层、来源正确的点叉与每个括号右上电荷。

例题 1 (2025·February/March 0620/42 Q2(b)) · 3 级

This question is about ionic compounds.

(b) Potassium sulfide, K_2S, is an ionic compound.

Complete the dot-and-cross diagram in Fig. 2.1 of the ions in potassium sulfide.

Show the charges on the ions.

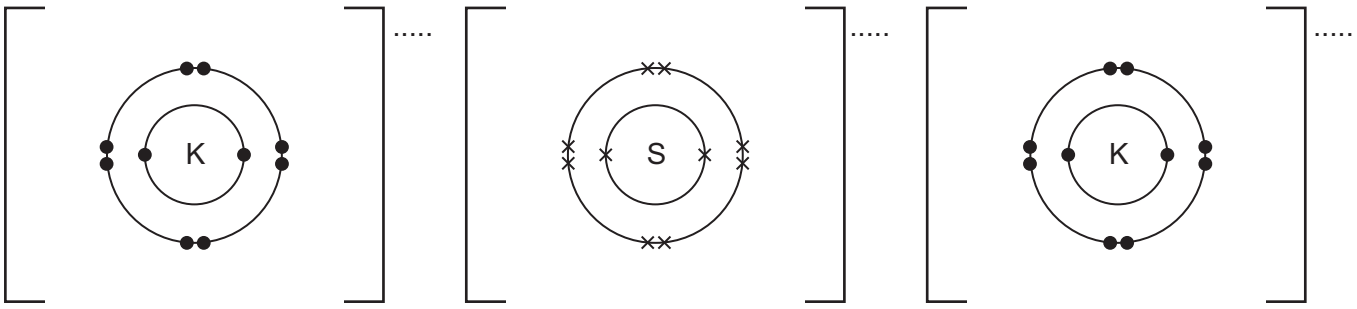


Fig. 2.1

解：第一步，先判断形成哪些离子。钾 K 的原子序数是 19，中性原子的排布为 2,8,8,1；它失去最外层 1 个电子，形成 K^+，剩余排布为 2,8,8。硫 S 的原子序数是 16，中性原子的排布为 2,8,6；它需要得到 2 个电子，形成 S^{2-}，排布也成为 2,8,8。

第二步，把转移数配平。一个 K 只能提供 1 个电子，一个 S 需要 2 个，所以两个 K 各提供 1 个，正好给同一个 S。得到两个 K^+和一个 S^{2-}，总电荷为(+1)+(−2)+(+1)=0，与 K_2S 中的 2:1 相符。

第三步，逐个查看原图已经画了什么。两边 K 内部已画第一层 2 点和第二层 8 点，不能再往这两层多添电子；应在每个 K 外面补第三个电子层，并在新层上画 8 个点。中间 S 也已画好内两层，应补第三层，在这层画硫原来的 6 个叉和两个来自钾的点。

第四步，在原方括号右上指定位置填电荷：左 K 为+，中间 S 为 2−，右 K 为+。不要把 K_2S 的下标 2 写成每个钾的 2+；两个钾离子各带一个正电荷。

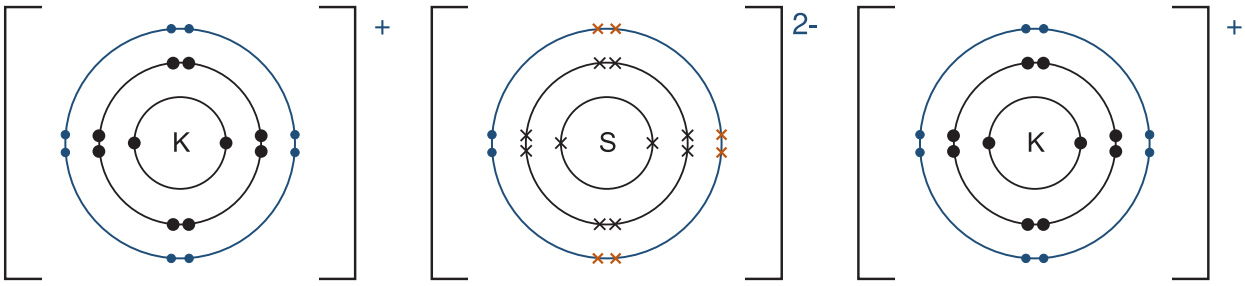


Fig. 2.1

在原模板外补缺失电子层：两个 K 的第三层各 8 点；S 的第三层 6 叉+2 点，三个电荷分别为+、2−、+。

最后回查：三个离子各有 18 个电子，共 54 个；原来的两个 K 和一个 S 也共有 19+16+19=54 个电子。电子发生转移，总数没有增加或消失。这里画的是离子的电子排布与数量比例，不是三个离子共用电子对的分子。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q7） · 1 级

When sodium chloride is formed from its elements, each chlorine atom .....1..... one .....2..... .

Which words correctly complete gaps 1 and 2?

	1	2
A	gains	electron
B	gains	proton
C	loses	electron
D	loses	proton

2. （2025·May/June 0620/42 Q5(c)） · 3 级

Alkali metals are reactive elements.

(c) Sodium sulfide, Na_2S, is an ionic compound.

Complete Fig. 5.1 to show the electronic configurations of the ions in sodium sulfide.

Show the charges on the ions.

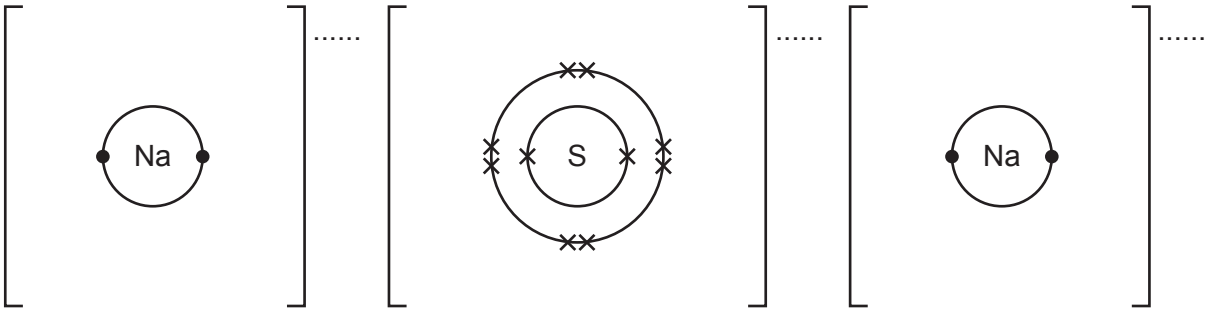
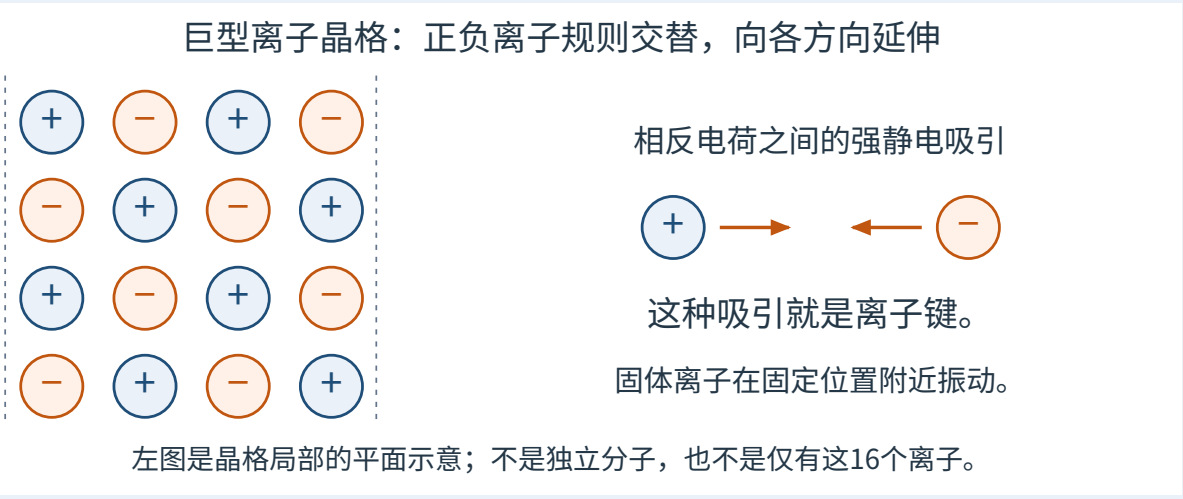


Fig. 5.1

题型 2：用离子晶格和离子移动解释物性

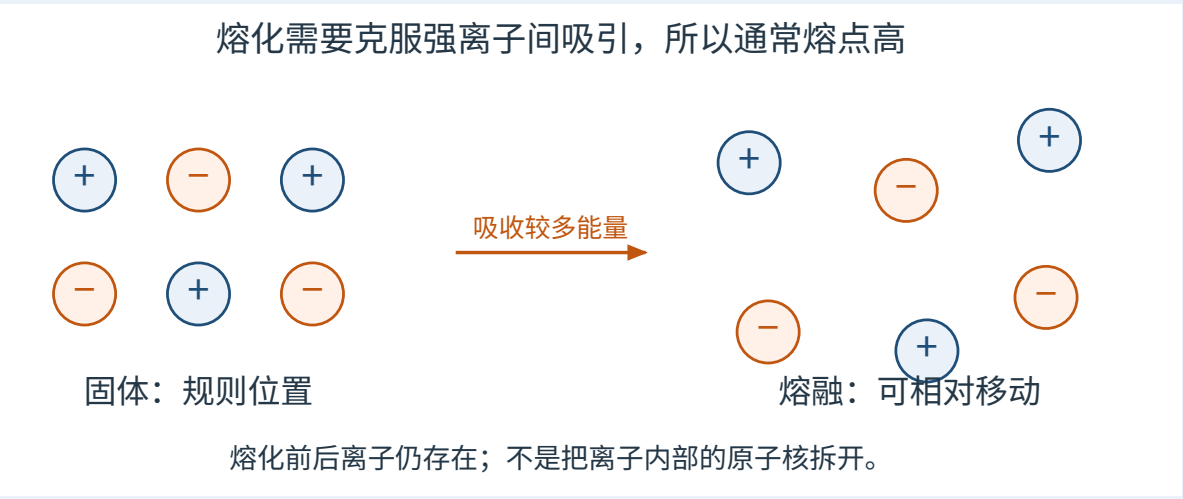
知识点 上一型把离子的电子数画清了。现在把视野从几个离子扩大到整块物质：巨型离子晶格（**giant ionic lattice**）是大量正、负离子规则交替排列、向各方向延伸的结构。“巨型”表示它是连续的整体，并非由许多个独立的小分子堆积而成；“晶格”指这种规则排列。



左图显示规则交替排列；右侧箭头只表示相反电荷相吸引，不表示固体离子能自由移动。

相邻的相反电荷离子之间有强静电吸引，即离子键。同号电荷则会排斥。稳定晶格的排列使正负离子相互吸引，并维持规则位置；图中的平面网格只是三维晶格的局部示意，不是完整晶体只有图上这一小块。

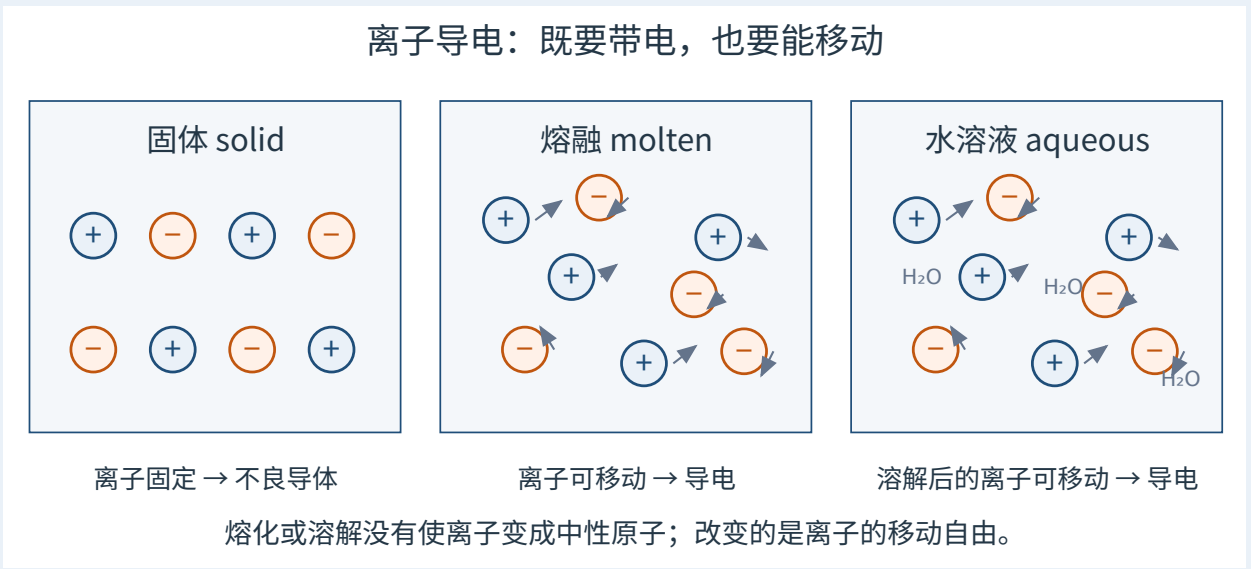
要让固体熔化，必须提供足够能量克服晶格中强的离子间吸引。这些作用较强，所需能量较多，因此离子化合物通常熔点高、沸点也高。解释时要把“强”明确给到相反电荷离子之间的吸引，不能写成强共价键或“离子分子之间的力”。



橙箭头表示吸收能量并克服晶格中的强静电吸引。熔化后的离子仍保留电荷。

熔化使离子离开原先固定的晶格位置并能相对移动；离子仍然带电，不是所有离子都变回中性原子。沸腾使粒子进一步分开，也需要较多能量。因此，高熔沸点的解释由“巨型晶格→强离子间吸引→需要较多能量”连起来。

导电还要多问一句：带电粒子能不能移动？电流需要电荷通过物质移动。固体离子化合物里有带电离子，但它们只在固定位置附近振动，不能自由穿过晶格，因此导电差。熔融（**molten**）表示固体已经熔化为液体；熔融的离子可以移动，因而能携带电荷导电。这里的载流粒子是离子，不是凭空出现的自由电子。

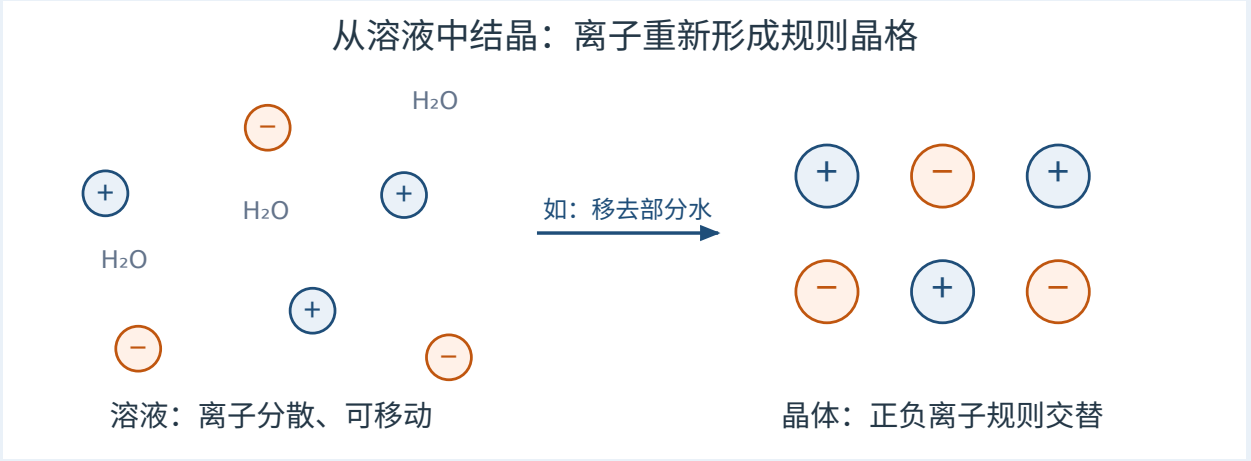


箭头表示液体或溶液中的离子可以移动。接入电路时，可移动离子携带电荷；固体中的离子不能在晶格中自由迁移。

水溶液（**aqueous solution**）中，已经溶解的正负离子也能够移动，因此能导电。例如氯化钾 KCl、氯化钠 NaCl 和碘化钾 KI 都可溶于水。不能只看固体中键强就断言它们都不溶；溶解时，水分子与离子之间也有吸引，溶解性要依据具体物质判断。这里并不意味着所有离子化合物都易溶，或所有物质只要加了水就会变成良好导体。

例如，同一种氯化钠分成三份：固体盐、熔融盐和澄清盐水。三份都有 Na^+与 Cl^-，但第一份的离子不能在晶格中自由移动，后两份的离子可以移动。所以第一份导电差，后两份能导电。若有人说“固体盐带有正负电，所以一定导电”，缺少的就是“这些电荷能否移动”这一条件。

结晶（**crystallisation**）是粒子形成规则晶体的过程。离子化合物从溶液中结晶时，例如移去部分水后析出晶体，离子重新以正负交替的规律排列，形成巨型晶格；不能把它描述成大量独立的 NaCl 或 KCl 小分子。



本图以移去部分水后结晶为例。晶体的对象是交替排列的离子，不是成对的小分子。

最后区分两个容易混淆的电子比较。一个金属原子失去电子成为阳离子，只说明这个离子的电子数比它自己的原子少，不能由此判断它一定比旁边阴离子的电子总数少。

例如，K 的原子序数为 19，K^+有 18 个电子；Cl 为 17，Cl^-也有 18 个电子。二者都是满层，却电荷相反。因此，遇到“所有离子化合物中的金属离子都比非金属离子电子少”这种全称说法，一个可靠反例就可以否定它。

怎么认 先辨认交替排列的正负离子晶格。解释熔沸点看吸引强弱与能量；解释电导必须同时核对离子带电和在固体、熔融或溶液中能否移动。

例题 1 （2025·May/June 0620/21 Q5） · 2 级

Which statement about potassium chloride is correct?

A It has a high melting point because it is a giant structure with strong covalent bonds.

B It conducts electricity when solid because of its oppositely charged ions.

C It conducts electricity when molten because its ions can move.

D It is insoluble in water because of its strong bonding.

解：氯化钾 KCl 由 K^+和 Cl^-构成巨型离子晶格。固态时，离子虽然带电，却被固定在晶格位置附近，不能在材料中定向移动；熔化后离子可以移动并携带电荷。

因此 C 的“熔融时能导电，因为离子能移动”正确，选 C。A 把离子之间的强静电吸引误称为强共价键；B 忽略固态离子不能自由移动；D 也错误，KCl 能溶于水，不能单凭固体中键强就说它一定不溶。

判断导电必须同时问两件事：有没有带电粒子，以及这些粒子在题目所给状态下能不能移动。只看到 ions 这个词不足以说明固体能导电。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/11 Q6） · 3 级

Which statements about potassium iodide are correct?

1 It is formed from potassium anions and iodide cations.

2 It is a good electrical conductor when molten or in aqueous solution.

3 Potassium atoms share electrons with iodine atoms.

A 1 and 3 **B** 1 only **C** 2 and 3 **D** 2 only

2. （2025·May/June 0620/23 Q6） · 3 级

Which statement about ionic compounds is correct?

A Giant lattices are formed when ionic compounds crystallise from solution.

B In all ionic compounds, the metal ions have fewer electrons than the non-metal ions.

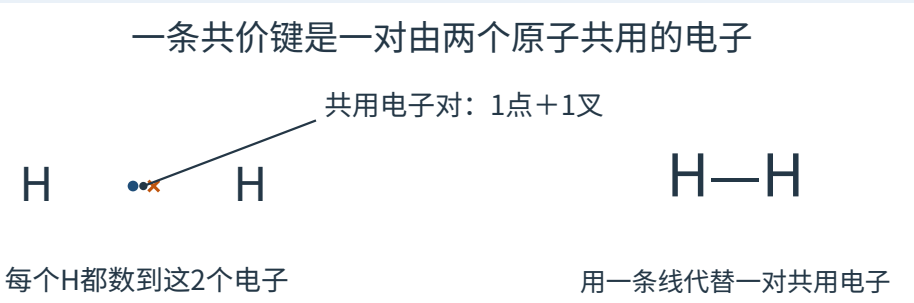
C In a giant lattice, ions of the same charge are closer together than ions of opposite charge.

D When ionic compounds melt, strong intermolecular forces are broken.

2.5 简单分子与共价键

题型 1：用共用电子对画单键、多重键与孤电子对

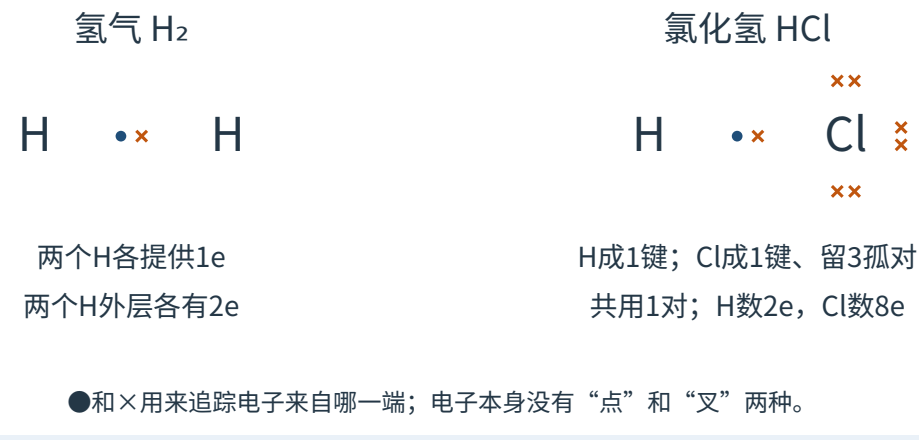
知识点 有些原子结合时，并不把电子完全转给另一方，而是共用电子。两个原子共用一对电子，形成一条共价键（covalent bond）。带正电的两个原子核都吸引这一共用电子对，使原子结合在一起。共用电子在检查任意一端原子的外层时，都要算入；它不是只能轮流属于其中一端。



两核吸引共用电子对，使原子结合；同一共用电子对在检查两个原子的外层时都要计入。

点叉图（dot-and-cross diagram）把一端原子原有的电子画成点，另一端画成叉，方便追踪来源；电子本身没有点和叉之分。图中的一个“点＋叉”是一对电子，不是两个键。也可以用一条短线表示这一对，写 H—H。点叉图若要求 outer-shell electrons only，就只画最外层电子，不把内层电子一并加进去。

先知道原子原有多少外层电子。H 原有 1 个，C 有 4 个，N 有 5 个，O 有 6 个，Cl 有 7 个。前一电子排布表能找到这些数。氢的第一层满层只需 2 个电子；本型其余这些原子通过共用电子达到外层 8 个电子的稀有气体式排布。未参与成键、留在同一原子一侧的一对电子，叫孤电子对（lone pair）。它们仍属于外层，画图时不能漏掉。



氢原子需要两个外层电子；氯原子原有七个，参与一对共用后仍保留三对未成键电子。

H_2与 HCl：先从一个共享区域开始。氢气 H_2的两个 H 各提供一个电子，两个 H 都数到共用的一对，第一层都满了。氯化氢 HCl 中，H 贡献 1 个，Cl 贡献其 7 个中的 1 个；Cl 剩余 6 个电子组成 3 对孤电子。检查 H 时只数 2 个；检查 Cl 时，6 个孤电子加上共用的 2 个，合计 8 个。

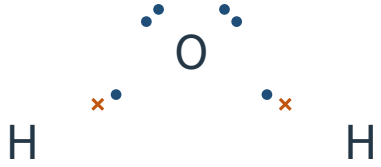
单键示范②：Cl_2与H_2O

氯气 Cl_2



每个Cl：1键＋3孤对

水 H_2O



O：2键＋2孤对；H各1键

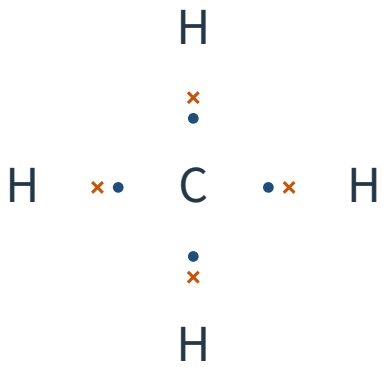
孤电子对留在一个原子一侧；不能把它们当成连接两原子的键。

●和×用来追踪电子来自哪一端；电子本身没有“点”和“叉”两种。

画图后分别清点：Cl 原有 7 个外层电子，O 原有 6 个；共享时每个原子都数到键内的两个电子。

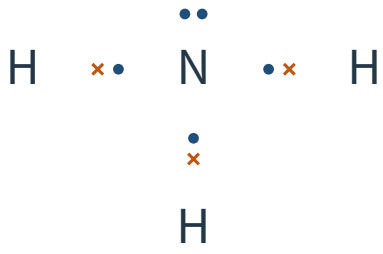
Cl_2与 H_2O：共享对以外的电子也要安排。氯气 Cl_2中，每个 Cl 原有 7 个，各拿出 1 个组成一条单键，剩 6 个各放成 3 对孤电子。水 H_2O 中，O 原有 6 个，分别拿出 1 个与两个 H 各组成一对，共有 2 条 O—H 单键。O 剩 4 个电子，放成 2 对孤电子；两个 H 各只贡献自己的 1 个。水分子总共画 6＋1＋1=8 个外层电子；检查 O 的外层时也数到 8 个，这里的“数到”包含共享区域中由 H 贡献的电子。

甲烷 CH_4



C的4个外层电子全部参与成键

氨 NH_3



N成3键，另留1孤对

●和×用来追踪电子来自哪一端；电子本身没有“点”和“叉”两种。

碳用四个电子各组成一个共享对；氮用三个电子成键，原有五个中的另外两个形成孤电子对。

CH_4与 NH_3：看原有电子是否全部用来成键。甲烷 CH_4中，C 原有 4 个电子，各与一个 H 提供的电子配成一对，于是有 4 条单键，C 没有孤电子对。氨 NH_3中，N 原有 5 个，用其中 3 个与 3 个 H 分别成键，另外 2 个留成 1 对孤电子。N 周围是 3 对共用电子＋1 对孤电子，合计 8 个；每个 H 仍只数到 2 个。若把 N 的 5 个都画到成键区域，就会画出多余的键或电子。

例如，问“哪些原子用掉全部原有外层电子成键”，不是问“谁最终满了 8 个”。上述 H 把原有 1 个用于成键，C 把原有 4 个都用于成键；O、N、Cl 还留有孤电子。作答时要比较的是原有电子的去向。

画图用三次检查。先按分子式数原子，照题给或已经教过的连接安排原子；再在每条键的两原子之间放一对电子，补好孤电子；最后分别检查每个 H 有 2 个、这些其他原子有 8 个，同时核对整张图画出的电子总数等于各原子原有外层电子之和。共享电子在“分别检查两端”时可以被两端各计一次，但在“整张图总数”中只能计一次。

多重键：两个原子可以共用不止一对电子

氧气 O_2：O=O　　氮气 N_2：N≡N



共用2对；每个O留2孤对　　共用3对；每个N留1孤对

每个原子都数到8个外层电子；总共画12e（O_2）或10e（N_2）。

●和×用来追踪电子来自哪一端；电子本身没有“点”和“叉”两种。

双键表示两对共用电子，三键表示三对；画多重键时仍须把未参与成键的电子补齐。

双键和三键仍按共享电子对数。O_2中每个 O 原有 6 个，单独共享 1 对还不能都达到 8 个；两个 O 各提供 2 个，组成 2 对共用电子，这就是双键 O=O。每个 O 剩 4 个，组成 2 对孤电子。全图是 4 个成键电子＋8 个非成键电子=12 个，正好是 6＋6。

N_2中每个 N 原有 5 个。两个 N 各提供 3 个，组成 3 对共用电子，即三键 N ≡ N；每个 N 剩 2 个，留 1 对孤电子。全图 6 个成键电子＋4 个孤电子=10 个，正好是 5＋5。一条三键画 6 个共享电子，不能只画 3 个。

二氧化碳CO_2：碳分别与两侧的氧共用两对



O=C=O；C无孤对，两端O各有2孤对

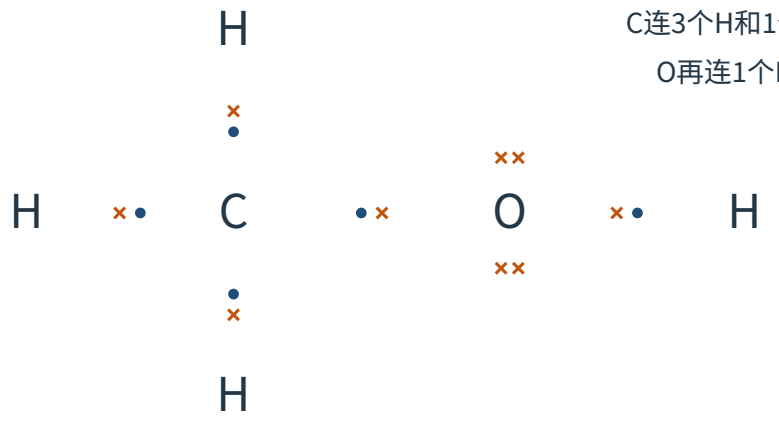
总电子数：4 + 6 + 6 =16；四对成键电子＋四对孤电子。

●和×用来追踪电子来自哪一端；电子本身没有“点”和“叉”两种。

下标 2 指两个氧原子；不是一条双键的标记。双键来自每个 C—O 连接中共用两对电子。

CO_2里两个双键分别检查。 二氧化碳 CO_2的连接是 O=C=O。中心 C 原有 4 个电子，分别向两侧的双键各贡献 2 个，没有孤电子；每个 O 向与 C 的双键贡献 2 个，剩 4 个电子形成 2 对孤电子。全图 16 个外层电子，C 与每个 O 都数到 8 个。分子式下标 2 表示有两个氧原子；“双键”则是每个 C—O 连接共享两对电子，这两种“2”表达的对象不同。

甲醇CH₃OH：先读连接，再安排外层电子



所有5条键均为单键；O另外保留2对孤电子。

●和×用来追踪电子来自哪一端；电子本身没有“点”和“叉”两种。

CH₃OH 中的 CH₃是一个碳连三个氢，OH 是一个氧再连一个氢；这里已给出连接，读图不需要预先学习有机命名。

甲醇 **CH_3OH** 在这里直接给出连接，不要求先懂有机命名。CH_3部分表示一个 C 连着 3 个 H；这个 C 还连一个 O；O 再连 1 个 H。由此 C 总共形成 4 条单键，O 形成 2 条单键并留 2 对孤电子。按 C 的 4、O 的 6 和四个 H 各 1 相加，整张点叉图应有 14 个外层电子。图中与 O 相连的 H 所用的点叉符号可与另一侧的 H 不同，目的只是分清每个相邻原子对中的电子来源。

乙烯C₂H₄：每个碳连两个氢，碳之间共用两对



H₂C=CH₂；每个C参与4对共用电子，没有孤电子对。

●和×用来追踪电子来自哪一端；电子本身没有“点”和“叉”两种。

一条 C=C 双键有两对电子；它与每个碳上的两条 C—H 单键一起，使该碳数到 8 个外层电子。

乙烯 **C_2H_4**也要先给出结构 **$H_2C{=}CH_2$**。 两个 C 之间共用 2 对；每个 C 另外与 2 个 H 各共用 1 对。每个 C 参与 4 对共用电子，正好数到 8 个，没有孤电子对。整个分子有四条 C—H 单键和一条 C=C 双键，共 6 对、12 个成键电子。不要只数“相邻原子有几对”就当作电子对数：C=C 这一对相邻原子之间包含两对共享电子。

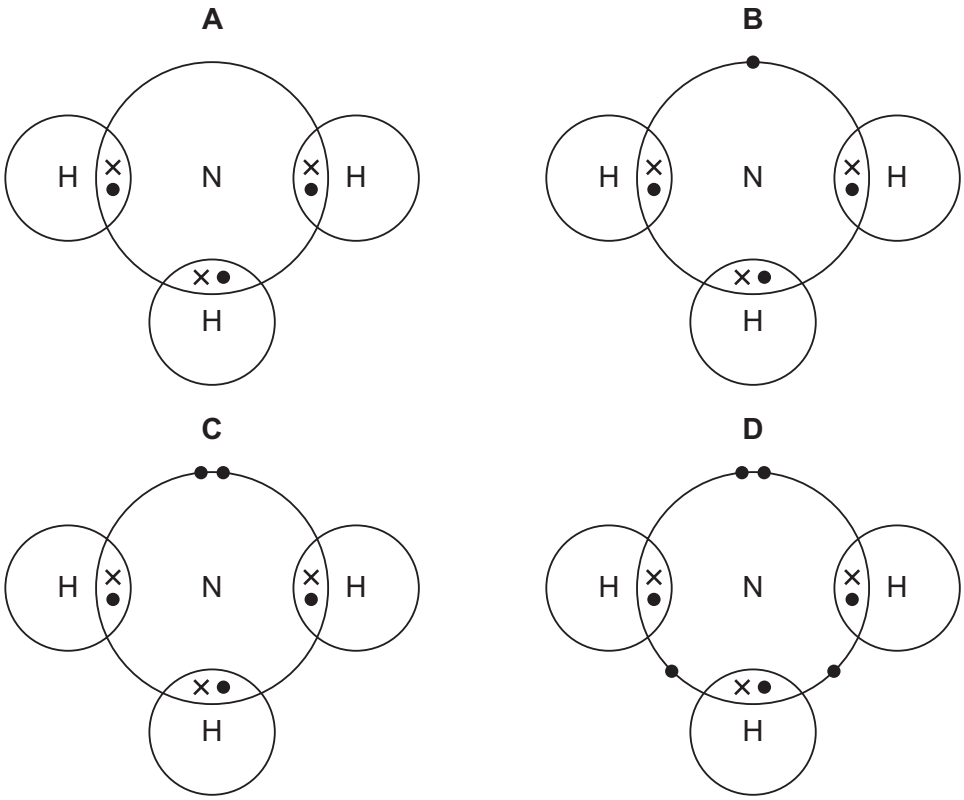
遇到给定新分子，沿相同规则迁移。 例如题目已画出 Cl—O—Cl 三个原子和两个重叠区域时，O 分别与每个 Cl 成 1 条单键；O 留 2 对孤电子，每个 Cl 留 3 对。先使用题给连接，再核对 O 的 6 个、两 Cl 各 7 个原有电子，共 20 个。正式练习会让你把这些电子直接补到原模板中。

含共享电子对的是共价键物质，例如甲烷 CH_4和氯气 Cl_2。氩 Ar 以单原子存在，外层已满，没有这些原子间的共享对；氧化铁(III)Fe_2O_3是铁与氧形成的离子化合物，结合靠离子间的静电吸引，不把它画成若干独立共享电子对的小分子。罗马数字 III 说明铁离子的电荷为＋3，化学式与更详细离子组合会在 3.1 继续处理；此处判断不要求从名称推导整个结构。

怎么认 先数原子与原有外层电子，按已知或题给连接放共享对，再补孤对。分别检查 H 的 2 电子、其他这些原子的 8 电子，并核对整张图电子总数和点叉来源。

例题 1 （2025·May/June 0620/13 Q6） · 3 级

Which dot-and-cross diagram represents the electronic configuration for the outer shell electrons in ammonia, NH_3?



解：先确定 **NH_3**应有多少电子。N 原有 5 个外层电子，三个 H 各 1 个，全图共 8 个。三个 N—H 连接分别放 1 点和 1 叉，因此有 3 对共享电子；N 原有的 5 个中，用 3 个成键，剩 2 个组成一对孤电子。

再分别检查原子。每个 H 在重叠处数到 2 个电子，已满第一层；N 要数到 3 对共享电子加 1 对孤电子，共 8 个。N 一侧代表其来源的符号总数应为 5，而不是随意补满整圈。

最后检查选图。A 漏掉 N 的孤电子对；B 只在 N 外侧留 1 个，仍少 1 个；C 在 N 上方留完整的一对，正确；D 在上方孤对以外又多画下方两个非成键电子，数量过多。所以选 C。不能只确认三个 H 有电子就停止，还要检查 N 的剩余电子与总数。

例题 2 （2025·May/June 0620/43 Q4(a)(ii)） · 3 级

(ii) Complete the dot-and-cross diagram in Fig. 4.1 to show the electronic configuration in an oxygen molecule, O_2. Show outer-shell electrons only.

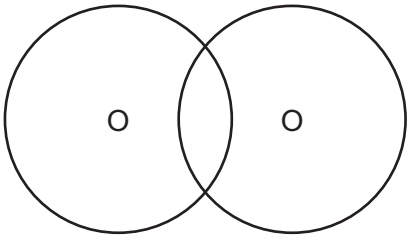


Fig. 4.1

解：第一步：确定共享电子数。每个 O 原有 6 个外层电子，两个 O 各贡献 2 个，形成 2 对共享电子，所以在两个圆的重叠区画 2 个点和 2 个叉。

第二步：把各原子剩余电子补齐。左 O 的 6 个中用掉 2 个，剩 4 个点，组成 2 对，放在左圆的非重叠部分。右 O 同理剩 4 个叉，也组成 2 对放在右圆非重叠部分。

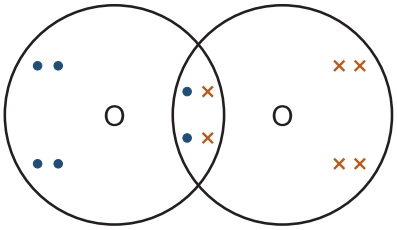


Fig. 4.1

原题模板已补全：中央两对共用电子；左右氧各有两对孤电子。

最后核对。全图共有 6 个点与 6 个叉，共 12 个；检查每个 O 时，都数到 4 个非成键电子＋4 个共享电子 =8 个。只画 O=O 的两条线不能满足本题“outer-shell electrons”的完整点叉图要求；孤电子也要画出。

例题 3 （2025·May/June 0620/41 Q4(a)） · 3 级

This question is about nitrogen and its compounds.

Nitrogen contains molecules with the formula N_2.

(a) Complete the dot-and-cross diagram in Fig. 4.1 to show the electronic configuration in a nitrogen molecule. Show outer-shell electrons only.

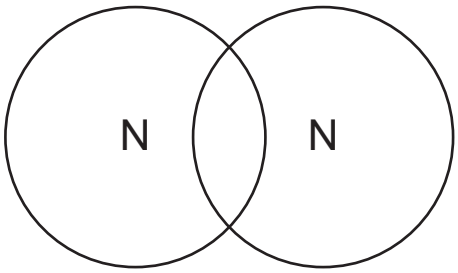


Fig. 4.1

解：先从各氮原有 **5** 个外层电子开始。两个 N 各提供 3 个，形成 3 对共用电子。重叠区画 3 个点和 3 个叉，表示三键，不是把“3”画成总共只有三个电子。

然后补剩余电子。每个 N 还剩 2 个电子，分别组成一对孤电子。左圆非重叠部分留 2 个点，右圆非重叠部分留 2 个叉：

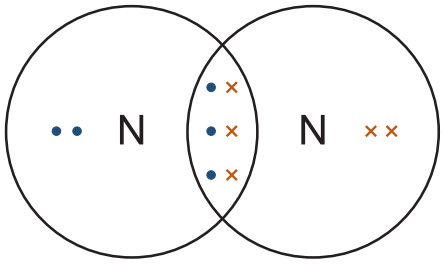


Fig. 4.1

在原题两个圆中补出三对共享电子，并在两端各留一对孤电子。

检查全图是 5 个点＋5 个叉=10 个外层电子；检查每个 N 则为 6 个共享电子＋2 个孤电子=8 个。点和叉整体互换也可，但必须始终对应各自来源。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/42 Q2(a)） · 1 级

This question is about covalent compounds.

(a) State what is meant by a covalent bond.

2. （2025·May/June 0620/11 Q7） · 2 级

Which substances contain one or more shared pairs of electrons?

1 argon

2 methane

3 iron(III) oxide

4 chlorine

A 1 and 3 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 2 and 4

3. （2025·May/June 0620/12 Q8） · 3 级

In the molecules CH_4, HCl and H_2O, which atoms use **all** of their outer shell electrons in bonding?

A C and Cl **B** C and H **C** Cl and H **D** H and O

4. （2025·May/June 0620/42 Q2(b)(ii)） · 3 级

This question is about covalent compounds.

(b) Chlorine(I) oxide, Cl_2O, is a simple molecule with covalent bonds.

(ii) Complete the dot-and-cross diagram in Fig. 2.1 of a molecule of chlorine(I) oxide.

Show outer electrons only.

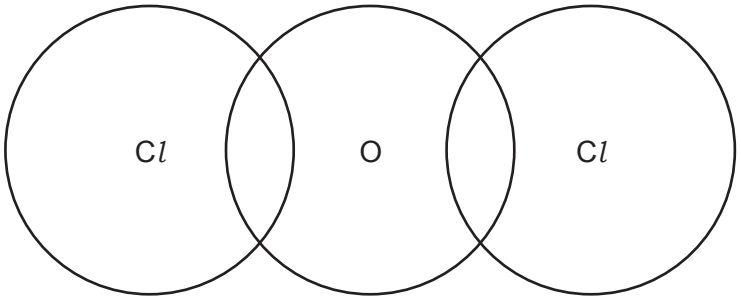
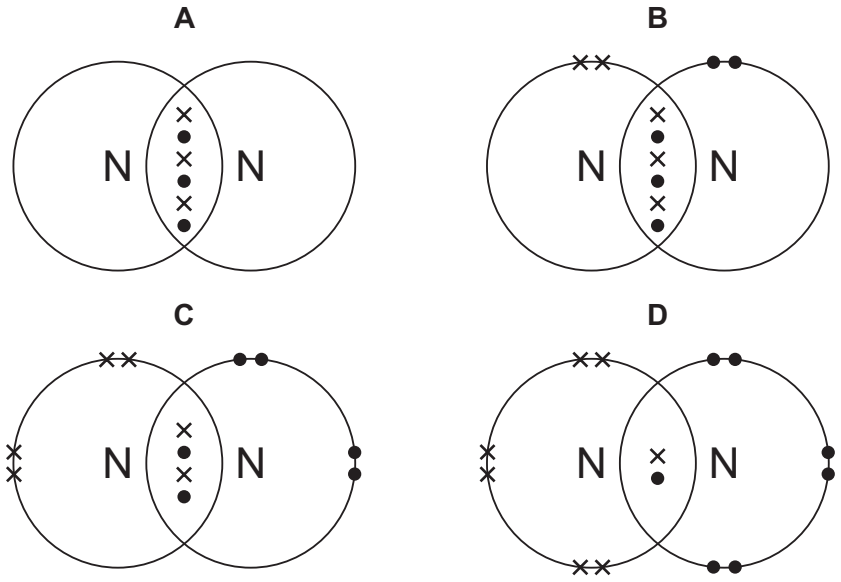


Fig. 2.1

5. （2025·May/June 0620/21 Q6） · 3 级

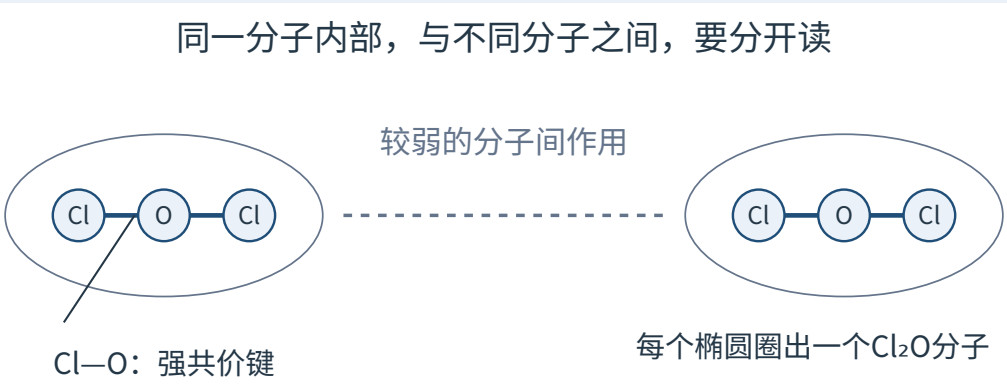
Which dot-and-cross diagram shows the outer shell electron arrangement in a molecule of nitrogen?



题型 2：区分分子内共价键与分子间作用来解释物性

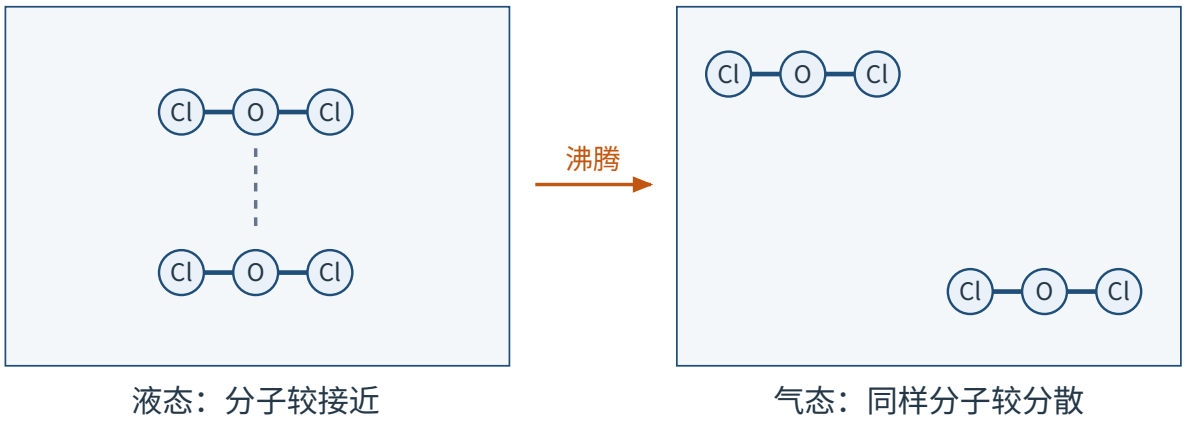
知识点 共价键的电子图表示两个原子共用一对电子。现在观察由许多独立分子组成的物质。简单分子物质含有大小有限、彼此独立的分子；分子内部的原子由强共价键连接，但不同分子之间还有较弱的吸引作用，叫分子间作用（**intermolecular forces**）。

“intermolecular”中的 inter 表示在分子与分子之间。判断一次变化需要多少能量时，必须先确定要分开的对象：是完整分子之间分开，还是把某个分子内部的原子连接改变？本课程不要求给分子间作用进一步分类，但这两个层次要明确区分。



实线表示分子内 Cl—O 共价键；虚线表示不同分子之间较弱的作用，两个层次不能互换。

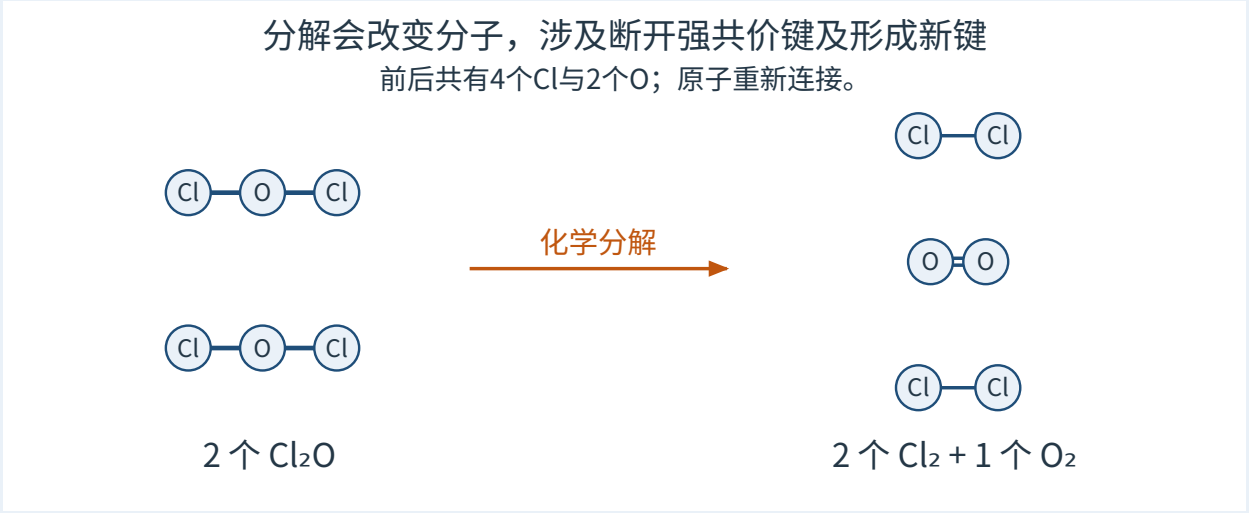
熔化和沸腾通常只让完整分子重新排列或彼此分开。 在液态氧化氯(I)Cl_2O 中，每个分子仍是氯原子和氧原子连接成的整体。使它沸腾成气体，主要是克服不同 Cl_2O 分子之间较弱的吸引，完整分子获得更大的间隔；并不需要把每一个 Cl—O 共价键拆开。



箭头表示由液态沸腾为气态。前后仍是两个完整 Cl_2O 分子；变化的是分子间隔，不是分子内的原子连接。

因为需要克服的分子间作用较弱，能量需求较少，简单分子物质通常具有较低的熔点和沸点。“低熔点”不表示它的共价键弱，也不表示分子完全没有相互吸引。

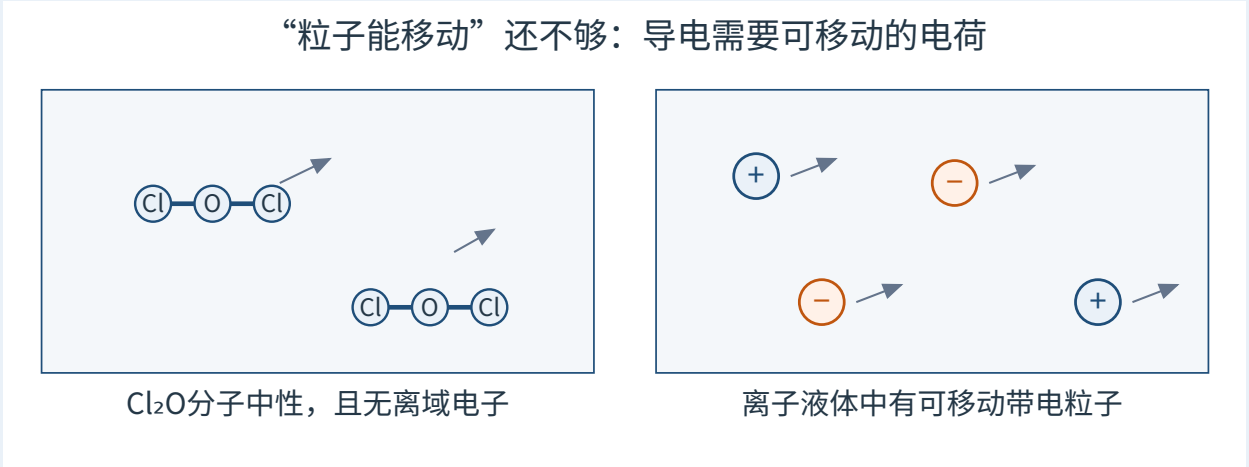
热分解（**thermal decomposition**）则是受热发生化学变化，原物质转变成其他物质。例如题目比较 Cl_2O 分解成 Cl_2和 O_2，这会改变原来分子内部的连接，需要断开强的 Cl—O 共价键，同时形成新物质中的连接。不能只把完整 Cl_2O 分子之间的距离拉大，就声称已经生成氯气和氧气。



箭头表示化学分解中的连接改变；保留原子数，但原来的 Cl—O 键需要被断开。不是实验操作图，也不表示真实键角。

例如，观察两个容器，甲中原来的分子离得更远了，但每个分子内部的原子连接未变；乙中原来相连的不同原子重新组合成了新分子。甲可以是沸腾，主要克服较弱分子间作用；乙是化学变化，涉及原共价键断开和新键形成。因此，某分子物质能在较低温度沸腾，并不意味着同一温度已足以让强共价键断裂、分解成元素。

简单分子物质为什么通常不良导电？首先，这些分子本身中性，没有离子可以携带电荷移动。其次，它们没有能在整个物质中自由移动的离域电子。电子仍存在于原子、共价键和分子的非键部分，只是没有形成贯穿材料的自由载流电子。



两边粒子都能移动，但左边整体为中性分子，右边是带电离子。左边并非没有电子，而是没有能贯穿物质自由移动的电子。

液体中的分子虽然能移动，移动的却是中性整体，所以不能把“液体粒子可以运动”直接当作导电的理由。若题目要两个原因，就分别写“没有离子”和“没有可移动电子”；只写“没有电子”是错误的。这里比较的是该状态中仍由简单分子组成的物质；某些物质与水作用后会形成离子，那种水溶液就应按其中实际存在的离子来判断。

把结构解释用到数据表，要同时筛两个有关的条件。简单分子物质通常熔点较低，熔融时仍导电差。只符合“不导电”不足够，因为也可能有高熔点的其他结构；只选较低熔点而忽略“熔融时导电”，也不能完成判断。密度一列可以描述质量与体积，却不是本型单独判定键合结构的可靠标准。

同时核对两项性质

物质	熔点/°C	熔融时电导	符合简单分子两条件?
X	1450	不导电	否：熔点很高
Y	−90	不导电	是：低熔点且不导电
Z	750	导电	否：熔融导电

不能只抓“不导电”；也不能用密度高低替代这两条。

逐行同时核对低熔点与熔融不导电，只有 Y 满足。

把这张表完整读一遍。X 虽不导电，但熔点 1450°C 很高，不能同时满足两条件；Y 的−90°C 很低，而且熔融不导电，两个条件都符合；Z 熔融时导电，排除。因此只有 Y。正式练习换成五行并要求找两种时，仍对每一行分别检查这两栏，再给出两个字母和两条对应理由。负熔点表示温度低于 0°C，不是把负号去掉后比较数值大小。

怎么认 先确定改变的是分子间距离还是分子内连接。解释熔沸点用较弱分子间作用；解释不导电分别查离子、可移动电子；数据题同时筛低熔点与熔融不导电。

例题 1 (2025·May/June 0620/42 Q2(b)(iii)) · 3 级

This question is about covalent compounds.

(b) Chlorine(I) oxide, Cl_2O, is a simple molecule with covalent bonds.

(iii) Explain, in terms of structure and bonding, why Cl_2O boils at a low temperature and does **not** thermally decompose into its constituent elements, Cl_2 and O_2.

解：先分清题目比较的两种变化。boils 表示沸腾，Cl_2O 由液态变成气态，原来的 Cl_2O 分子彼此分开；thermally decompose 表示热分解，原来的分子要改变，生成由 Cl_2和 O_2构成的新物质。

沸腾时需要克服的是不同 Cl_2O 分子之间的吸引力。这些分子间作用较弱，克服它们所需能量较少，所以 Cl_2O 的沸点较低。分子内部把 Cl 与 O 连接起来的共价键仍然保留。

若要分解成 Cl_2和 O_2，就必须断开原 Cl_2O 分子内部的 Cl—O 共价键，并形成新物质的键。原来的共价键较强，比克服分子间作用需要更多能量；因此使它低温沸腾的能量不足以同时使分子热分解。

可组织成完整英文答案：During boiling, weak forces of attraction between Cl_2O molecules are overcome. Thermal decomposition would require the strong covalent bonds between Cl and O atoms to be broken. Therefore Cl_2O can boil at a low temperature while its molecules remain intact.

这里“较弱”的是分子与分子之间的作用，不是 Cl—O 共价键。不能用“共价键弱，所以容易沸腾”来解释。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/42 Q2(b)(iv)） · 2 级

This question is about covalent compounds.

(b) Chlorine(I) oxide, Cl_2O, is a simple molecule with covalent bonds.

(iv) Give **two** reasons why liquid Cl_2O is a poor conductor of electricity.

2. （2025·May/June 0620/31 Q6(d)） · 3 级

This question is about ionic and covalent compounds.

(d) Table 6.2 shows some properties of five compounds, **A**, **B**, **C**, **D** and **E**.

Table 6.2

compound	electrical conductivity when molten	density in g/cm^3	melting point in °C
A	does not conduct	3.53	1856
B	does not conduct	1.57	–157
C	conducts	1.93	110
D	conducts	3.03	1256
E	does not conduct	4.93	–83

State which **two** of the compounds, **A**, **B**, **C**, **D** and **E**, are simple molecules.
Give **two** reasons for your answer.

compounds and

reason 1

reason 2

3. (2025·May/June 0620/33 Q5(d)) · 3 级

This question is about ionic compounds and simple molecular compounds.

(d) Table 5.1 shows some properties of five compounds, **A**, **B**, **C**, **D** and **E**.

Table 5.1

compound	electrical conductivity when molten	density in g/cm^3	melting point in °C
A	conducts	1.85	115
B	does not conduct	2.65	1713
C	does not conduct	0.42	–182
D	conducts	2.99	1190
E	does not conduct	1.56	–101

State which **two** of the compounds, **A**, **B**, **C**, **D** and **E**, are simple molecules.

Give **two** reasons for your answer.

compounds and

reason 1

reason 2

2.6 巨型共价结构

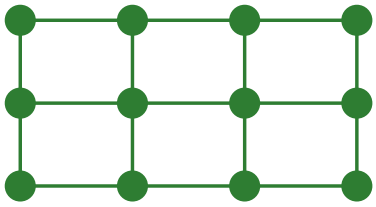
题型 1：由巨型共价结构解释石墨、金刚石和二氧化硅

知识点 共价键可以把少数原子连成独立分子，也可以不断连接，形成一个贯穿固体的网络。后者叫巨型共价结构（giant covalent structure）。“巨型”指共价键的连续范围，不是把一个独立分子画得特别大。

巨型共价结构连续延伸，不由许多独立小分子组成



分开的水分子H_2O



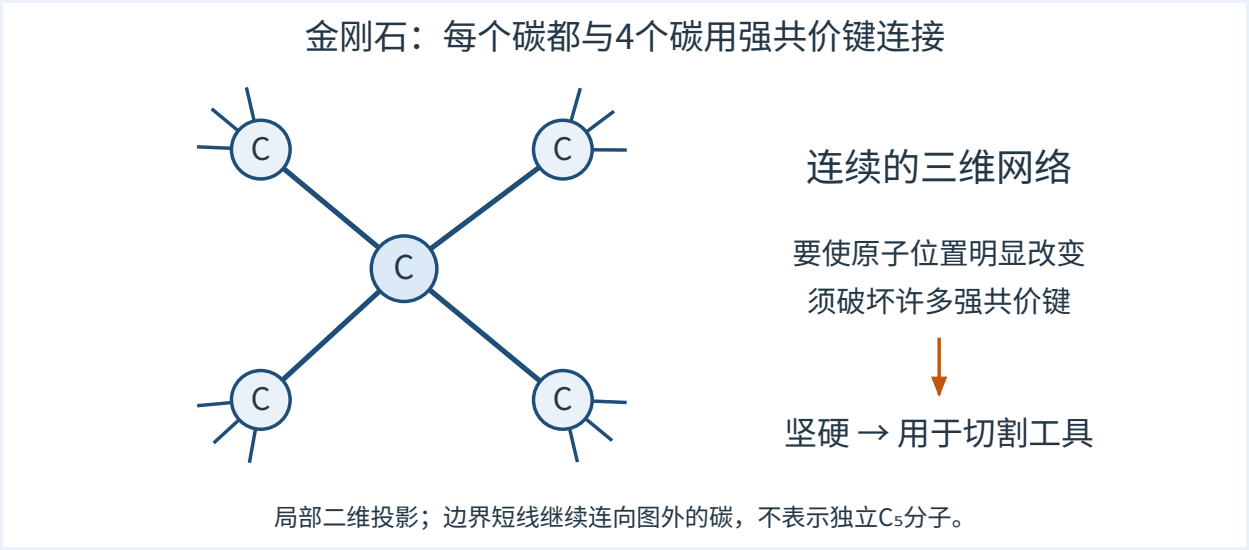
网络示意：键连到相邻原子

右图只表示“连续连接”，具体键数与排列见后面的金刚石、石墨和SiO_2。

判断“巨型”看的是共价键能否持续连成整个网络，不是把一个小分子画得更大。右侧是连接概念图，不指定某种物质的几何结构。

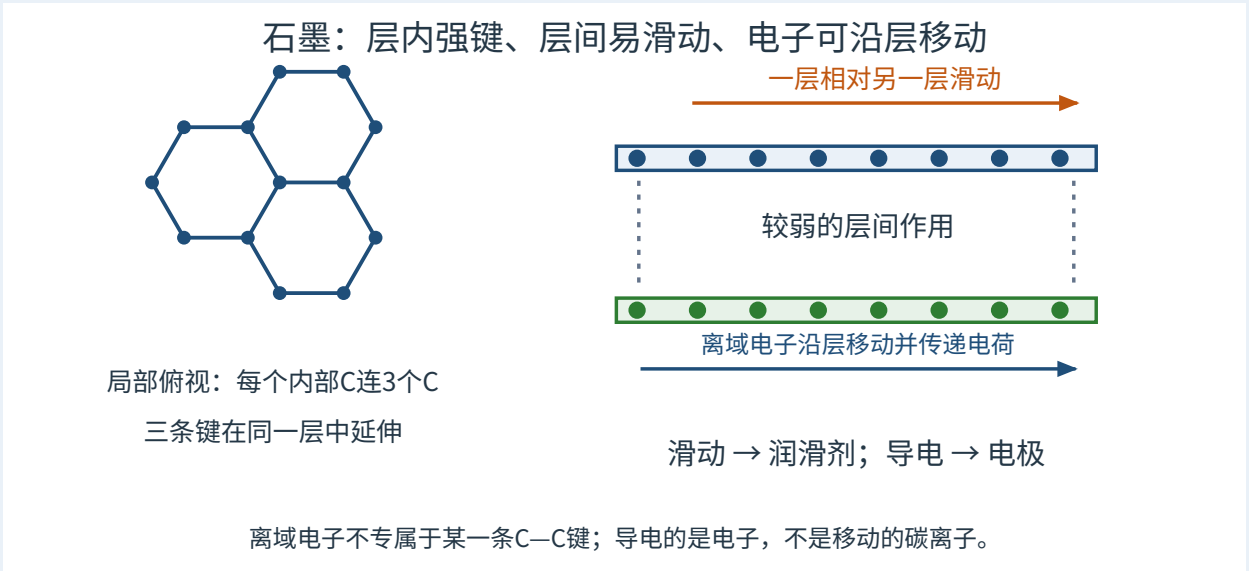
水 H_2O、氨 NH_3和二氧化碳 CO_2由独立小分子组成；金刚石、石墨和二氧化硅则是这里要学习的连续共价网络。氯化钠 NaCl 和氯化镁 $MgCl_2$虽也形成巨型晶格，连接它们的是离子间的静电吸引，不能因为“巨型”两个字就归入巨型共价结构。

同是碳，连接方法可以不同。金刚石（diamond）和石墨（graphite）都只由碳原子构成，因此是同一种元素的不同结构形式。碳原子排布和成键方式不同，会带来不同性质；它们不是因为混入另一种元素才变得不同。写组成时用 C，不把局部结构中画出的几个碳当成固定小分子的下标。



局部中心碳有四条连接。三维网络不能像石墨层一样轻易滑动；全部外层电子参与成键，也没有可自由迁移的电子。

金刚石每个 **C** 连接 **4** 个 **C**，形成三维强键网络。每个碳的 4 个外层电子参与 4 条共价键，网络向各个方向连续。要大幅改变碳原子的相对位置，需要破坏许多强共价键，所以金刚石很硬，适合做切割或钻削工具；熔化也需要很多能量，因此熔点很高。它没有可在整个结构中自由迁移的带电粒子，通常不导电。这里的“硬”是难以被刮伤或切入，不是所有情形下都不会断裂。



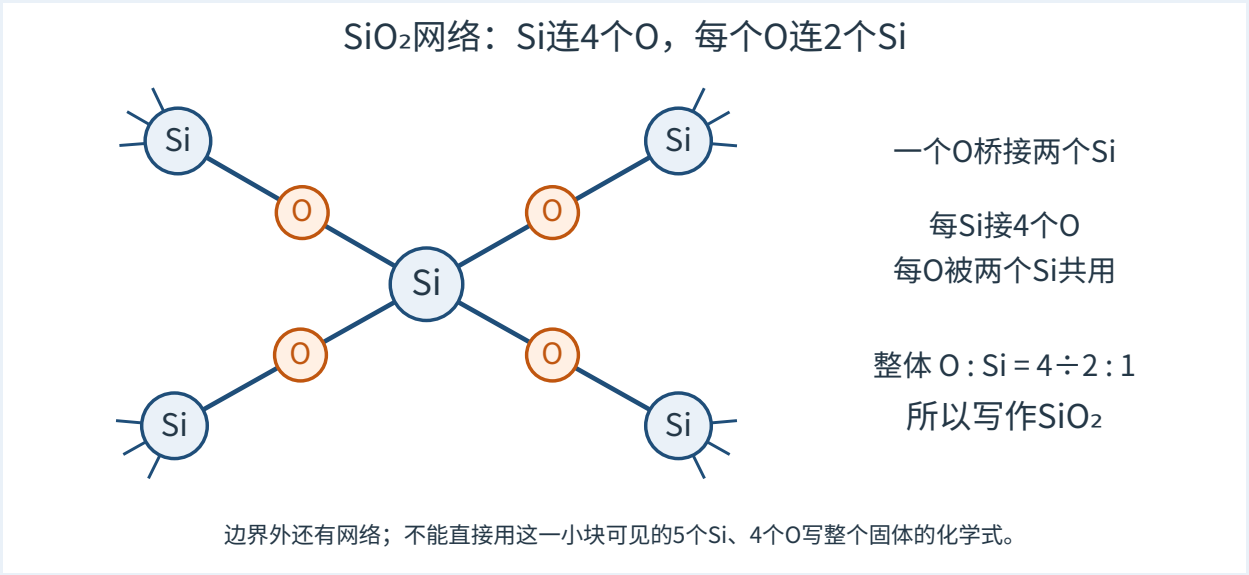
上方橙箭头表示层间相对滑动；下方蓝箭头表示电子移动。这两种运动分别解释润滑和导电。

石墨每个 **C** 在同一层内连接 **3** 个 **C**。这些强共价键连成六边形网格，许多网格层叠放在一起。层内的键强，层与层之间的作用较弱；各层可以相对滑动，所以石墨可作润滑剂（lubricant），帮助接触表面滑动。滑动时主要克服的是较弱的层间作用，不要求把整层内所有强 C—C 键逐一切断。

每个碳有 4 个外层电子，石墨中用于形成三个局部共价键之后，还有电子不局限于某一条键或某一个原子。这样的电子叫离域电子（delocalised electrons），能沿层移动，传递电荷，所以固态石墨能导电，可用作电极（electrode），把电流引入或引出装置。导电的是电子，不是碳原子变成自由移动的离子。

例如，一种材料需要在机器部件间帮助滑动，问石墨为何适合。应写“层间作用较弱，层可相对滑动”，而不是写“石墨中所有共价键都弱”。若改问它为何适合作电极，要换成“具有可移动的离域电子而导电”，不能用层滑动来解释电流。

名称中的 **oxide** 指含氧化合物，但不自动表示离子结构。二氧化硅也叫 silicon(IV) oxide，式为 SiO_2。它含硅 Si 和氧 O 两种元素，是化合物；不是只有一种元素的金刚石或石墨。它内部以强共价键相连，不画成硅离子和氧离子的交替晶格。



二氧化硅也叫 silicon(IV) oxide；短线是一个 Si—O 单键，包含一对共享电子。硅和氧在三维网络中连续相连。

二氧化硅中，**Si** 与 **4** 个 **O** 连接，每个 **O** 又连接 **2** 个 **Si**。所有 Si—O 连接都是单键，每条单键含一对共享电子。氧在两个硅之间起连接作用，所以连续网络不是一串互不接触的 SiO_2 小分子。每个 Si 附近虽接 4 个 O，但每个 O 同时被两个 Si 共用，整体平均每个 Si 对应 4÷2=2 个 O，所以化学式为 SiO_2。

它与金刚石相似，都是三维的强共价键网络，要破坏结构需要很多能量，因此坚硬、熔点高；没有可在网络中自由迁移的电子，通常不导电。它不具有石墨那种易滑动的层状结构。判断一道性质选择题时，把“局部连接—整体结构—性质”按这个顺序连起来，不能只凭名字里有“硅”就说它一定能导电。

在空白网络图中补 **Si** 或 **O**，先数连接数。一个节点引出 4 条键，应填 Si；在两个 Si 之间、只有 2 条键的节点应填 O。画到边缘的短线表示网络继续伸到图外，也要算作该边缘原子的连接。选一个连接数清楚的中心点开始，再沿每条键向外填，最后逐点回查：每个 Si 附近连的是 O，每个 O 两侧连的是 Si。

例如，上图中心引出 4 条线，所以是 Si；中心到外端每条路径的中间节点各连两条线，所以是 O；外端节点连向 O 并另有 3 条线继续伸出，也都是 Si。图里可见 5 个 Si 和 4 个 O 只是一块截取的网络，外面还有许多未画原子，不能据此把整个固体的式写成 Si_5O_4。接下来的原题会把这块网络换一个方向，你仍按连接数逐点补符号。

怎么认 先辨认独立分子、离子晶格或连续共价网络，再把局部成键连到整体性质。石墨的滑层与离域电子分别解释不同用途；SiO2 空图按四连接 Si、二连接 O 逐节点回查。

例题 1 （2025·May/June 0620/13 Q7） · 3 级

Which statements about graphite are correct?

1 Each carbon atom is covalently bonded to four other carbon atoms.

2 Graphite is an electrical conductor because it contains ions that are free to move.

3 Graphite is used as a lubricant because it has layers that slide over each other.

A 1 and 2 **B** 1 only **C** 2 and 3 **D** 3 only

解：把三句话分别连回结构。陈述 1 说每个 C 与四个 C 共价相连，这是金刚石的连接数；石墨在每层内每个 C 连接三个 C，所以 1 错。

陈述 2 说由自由移动的离子导电。石墨导电的载流粒子是离域电子，碳原子仍处在共价层中，不是自由移动的离子，所以 2 错。

陈述 3 说各层能相对滑动，因此用作润滑剂；这正对应层内强键、层间较弱作用的结构，3 对。只有 3 正确，选 D。三个判断用了不同关系，不能把“石墨能导电”这一正确结论连同后面的错误原因一起接受。

例题 2 （2025·May/June 0620/42 Q2(c)(iii)） · 3 级

This question is about covalent compounds.

(c) Carbon and silicon(IV) oxide both exist as giant covalent structures.

(iii) Silicon(IV) oxide contains silicon atoms, Si, and oxygen atoms, O.

Fig. 2.2 shows part of the giant covalent structure of silicon(IV) oxide.

Complete the diagram in Fig. 2.2 by adding the symbol for each of the 9 atoms shown.

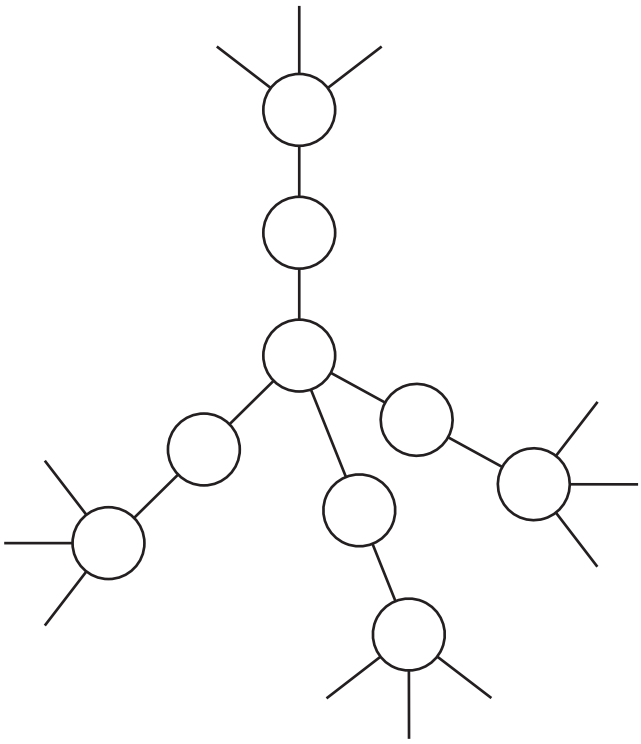


Fig. 2.2

解：第一步：从连接数清楚的中心节点开始。中间引出四条线，说明该节点与四个邻原子成键，应填 Si。
第二步：沿四条路径向外。紧邻中心、处在每条路径中间的四个节点，各连接中心和外端两条线，应填 O。各路径最外端的节点除了连向 O，还有三条短线继续伸入图外网络，合计四条连接，所以也都是 Si。
第三步：按原图逐点完成并回查。上方竖直一列由上到下是 Si、O、Si（中心）。中心向左下的路径是 O、Si；向右的路径是 O、Si；向正下偏右的路径也是 O、Si。完整标注如下：

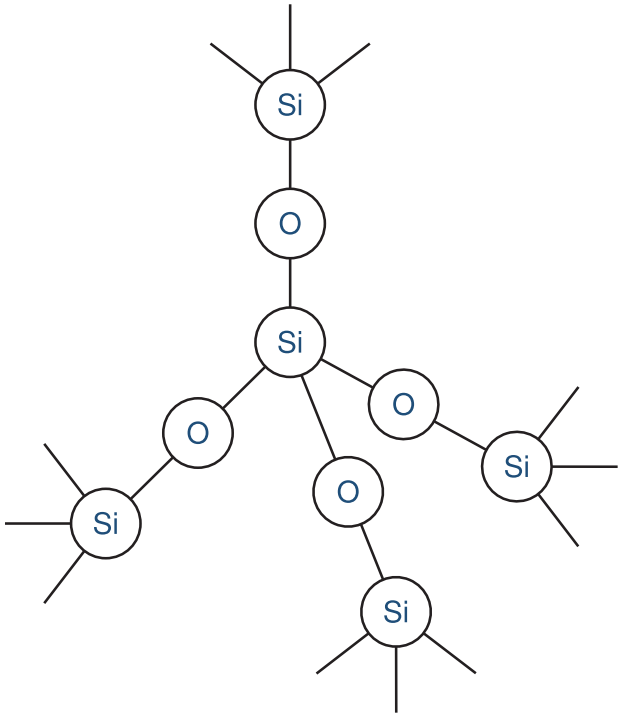


Fig. 2.2

保留原题全部九个节点与边缘延伸线：中心及四个外端填 Si，四个桥接节点填 O。

共填 5 个 Si、4 个 O。每个 O 连接两个 Si，每个 Si 合计四条键。图只是网络的一部分，不能因为可见节点数为 5∶4 就把物质化学式改成 Si_5O_4；整块网络仍为 SiO_2。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/11 Q8） · 1 级

Which substance has a giant covalent structure at room temperature and pressure?

A ammonia

B carbon dioxide

C diamond

D water

2. （2025·May/June 0620/12 Q9） · 1 级

Which substance has a giant covalent structure?

A sodium chloride

B ammonia

C magnesium chloride

D graphite

3. （2025·May/June 0620/41 Q1(b)） · 1 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(b) contains carbon atoms only

4. （2025·May/June 0620/42 Q2(c)(i)） · 1 级

This question is about covalent compounds.

(c) Carbon and silicon(IV) oxide both exist as giant covalent structures.

(i) Name a giant covalent structure of carbon which conducts electricity.

5. （2025·May/June 0620/42 Q2(c)(ii)） · 1 级

This question is about covalent compounds.

(c) Carbon and silicon(IV) oxide both exist as giant covalent structures.

(ii) Identify the particles responsible for the conduction of electricity in this covalent structure of carbon.

6. （2025·May/June 0620/43 Q1(a)） · 1 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide **calcium oxide** **chlorine** **ethanol** **graphite**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **silicon(IV) oxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(a) is a compound with a giant covalent structure

7. （2025·May/June 0620/43 Q1(d)） · 1 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide　　calcium oxide　　chlorine　　ethanol　　graphite

nitrogen　　oxygen　　propane　　propene　　silicon(IV) oxide

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(d) is a good conductor of electricity when solid

8. （2025·May/June 0620/21 Q7） · 2 级

Which statement about silicon(IV) oxide is correct?

A It contains silicon ions and oxide ions arranged in a giant lattice.

B It is used in electrical circuits because it can conduct electricity.

C Its bonds each contain one shared pair of electrons.

D Its atoms are arranged in the same way as the atoms in graphite.

9. （2025·May/June 0620/22 Q6） · 2 级

Which statement about silicon(IV) oxide, SiO_2, is correct?

A It conducts electricity because it contains delocalised electrons.

B It has a giant covalent structure with each silicon atom bonded to four oxygen atoms.

C It is a simple covalent molecule.

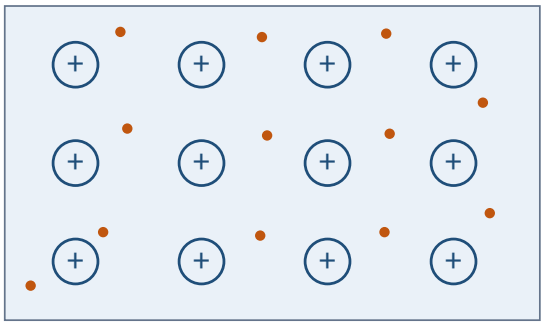
D Its structure is similar to that of graphite.

2.7 金属键

题型 1：用金属离子层与离域电子解释金属键

知识点　金属是一类新的连续结构。以铜 Cu、锌 Zn、镁 Mg 为例，一些外层电子不再只属于某一个原子，而能分布在整个金属结构中，称为离域电子（**delocalised electrons**）。“离域”表示它们没有被限制在某个原子或一条指定化学键内。留下的正金属离子规则排列，构成巨型金属晶格（**giant metallic lattice**）。

金属键：正离子晶格与离域电子之间的静电吸引



正金属离子：规则排列

离域电子：分布于整个结构

异号电荷的吸引把金属维系在一起

“电子海”是离域分布的比喻，不是金属里含有液体。

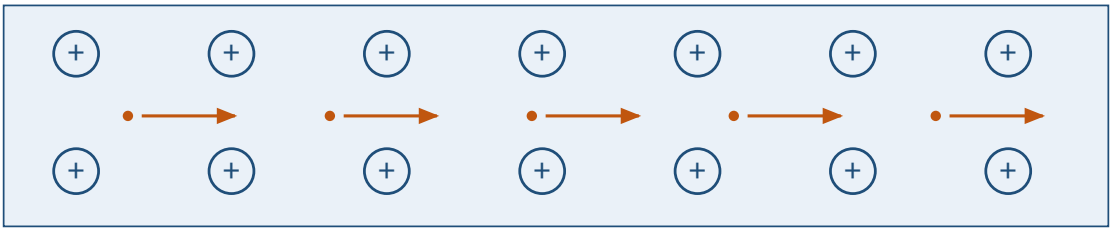
圆中+表示正离子，橙点表示离域电子。这里只显示晶格局部，电子不是每个都被单独束缚在某一个原子上。

金属键（**metallic bonding**）就是金属晶格中正离子与离域电子“海”之间的静电吸引。“电子海”是说电子分布于整个结构，是一种比喻；并非金属中真的含有一份液体。这一定义需要说清两类粒子以及它们相互吸引，不能只写“粒子有强吸引”却不说明是谁。

把它与离子键比较：离子晶格中的负电对象是阴离子，金属晶格中的负电对象是离域电子。因此，“两者都有静电吸引”不能推出它们是同一种键；判断时要把吸引的两个对象完整读出来。

固体金属中已经有能移动的载流粒子。离域电子可以穿过整个金属结构，接入电路后能携带电荷移动，所以金属通常是良好的电导体。正离子虽然也带电，但在固体导电时，它们仍在原位置附近振动，不会像液体中的离子那样自由穿过整个材料。

固体金属导电时，穿过结构移动的是离域电子



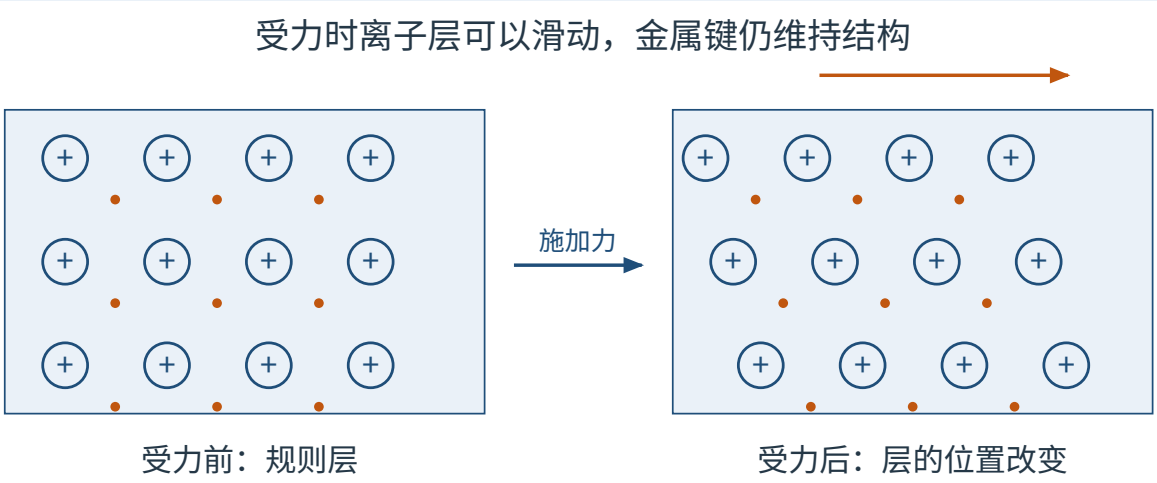
接入电路后，电子携带电荷；正离子不自由穿过整个晶格。

橙箭头表示电子的定向移动，未同时画相反的常规电流方向。

电子能够沿金属结构移动，正离子仍在原位置附近。箭头明确表示电子的移动方向。

例如，一块固体铜和一块固体氯化钠都有带电粒子，为什么电导不同？铜有能在固体中移动的离域电子，所以导电；固体氯化钠的离子固定在晶格位置，不能自由携带电荷穿过材料，因此导电差。决定性差别不是“哪一个名字中带金属”，而是该状态下有没有可移动的电荷。

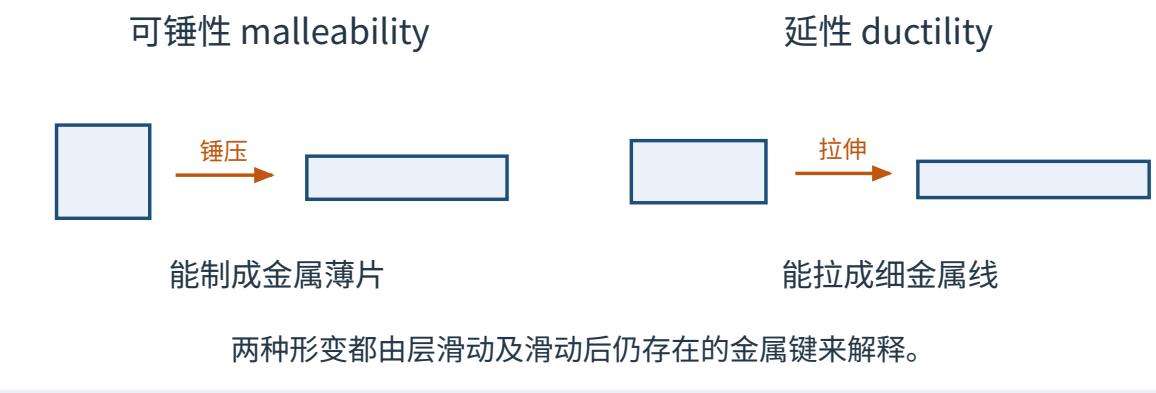
金属可以改变形状，原因与受力时的层滑动有关。金属离子在规则层中排列。受到适当机械力时，一层可以相对另一层滑动；离域电子仍分布在这些正离子周围，正离子与电子之间的吸引继续存在，所以金属可以发生形变而不立即整体碎裂。



这里的箭头表示机械力下的层滑动，与导电图中电子传递电荷的箭头不同。滑动后正离子与电子的吸引仍存在。

这里讨论的是施加力使离子层相对滑动，与上一幅导电图中“电子通过固体移动”不是同一个动作。解释导电不能写成离子层流动；解释锤压或拉伸则需要把机械力、层滑动和滑动后仍有金属键联系起来。

可锤性（**malleability**）指能被锤压成薄片，延性（**ductility**）指能被拉成细线。它们对应不同的可见结果，但都可以用上述结构机制解释。不能把 ductile 翻成“很脆”，也不能只写“金属很强”而没有说明为什么结构能调整位置。



橙箭头分别表示锤压与拉伸，给出两个英文性质词的具体动作；这是形变示意，不提供几何测量数据。

例如，若题目说铜能制成电线，要先识别需要的性质是延性，并解释离子层可滑动、离域电子仍使结构结合。如果问铜制电线后为什么能通电，则改为离域电子能移动并携带电荷。相同物体的“能拉成线”和“能导电”是两个问题，需要给出与所问性质对应的动作。

遇到新金属名称时，不必把铜例题重新背成只适用于铜的一句话。只要题目仍是普通固体金属，就核对正金属离子、离域电子及它们的相互作用；名字换成锌或镁，并不把导电粒子变成阴离子或能自由流动的金属离子。

怎么认 描述金属键写正离子、离域电子及静电吸引；解释导电找电子移动；解释锤成片或拉成线找层滑动及滑动后仍存在的吸引。

例题 1 （2025·May/June 0620/41 Q3(a)(i)） · 2 级

This question is about copper and compounds of copper.

(a) (i) Describe the bonding in a metallic element such as copper.

解：先指出金属中是哪两类带电粒子。铜的巨型金属晶格中有正的金属离子，也有能在整个金属中移动的离域电子；后者常形容为 a sea of delocalised electrons，即“离域电子海”。

再写它们怎样结合。正离子与带负电的离域电子之间有强静电吸引，这种吸引把整个金属结构维持在一起，叫金属键。

可完整写：Metallic bonding is the strong electrostatic attraction between positive metal ions in a giant metallic lattice and a sea of delocalised electrons.

这样同时交代了 positive ions、delocalised/mobile electrons 及 attraction between them。只写“铜有很强的键”没有说明键的对象；只写“电子会移动”则主要解释导电，没有完整回答 bonding。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q3(a)(ii)） · 1 级

This question is about copper and compounds of copper.

(ii) Explain how solid copper conducts electricity.

2. （2025·May/June 0620/43 Q3(a)(i)） · 1 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(a) Zinc is held together by electrostatic forces of attraction between particles.

(i) Name the type of bonding in zinc.

3. （2025·May/June 0620/43 Q3(a)(ii)） · 1 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(a) Zinc is held together by electrostatic forces of attraction between particles.

(ii) Name the **two** types of particles held together by the bonding in **(a)(i)**.

4. （2025·May/June 0620/43 Q3(a)(iii)） · 1 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(a) Zinc is held together by electrostatic forces of attraction between particles.

(iii) Name the type of particle whose movement allows zinc to conduct electricity.

5. （2025·October/November 0620/21 Q7） · 2 级

Which statement explains why solid magnesium is a good conductor of electricity?

A Magnesium has delocalised electrons that can move through the lattice.

B Magnesium has strong attractions between ions.

C Magnesium consists of a giant lattice of anions in a ‘sea’ of delocalised electrons.

D Magnesium consists of metal ions that move through the lattice.

化学计量

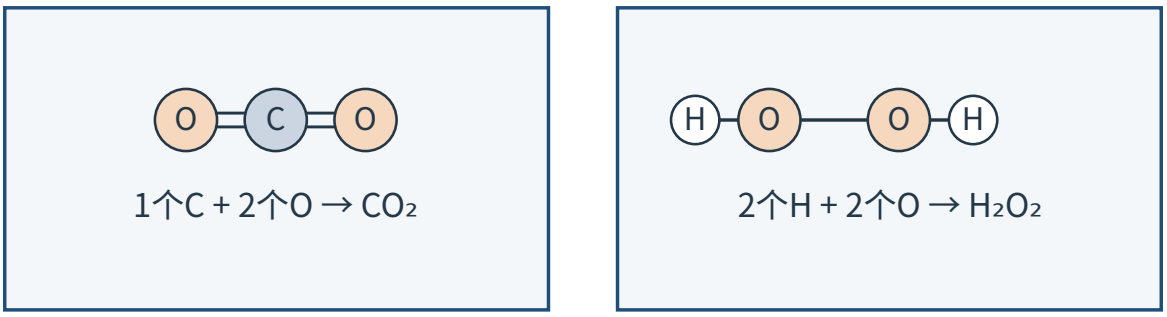
3.1 化学式与方程式

题型 1：从原子比或离子电荷写化学式

知识点　化学式先告诉我们“是什么，以及由多少相应粒子组成”。一个元素符号以大写字母开头；若有第二个字母，它是小写。例如 Co 是钴 cobalt，Cu 是铜 copper，CO 则是 C 与 O 两个元素符号，表示一氧化碳。把大小写混在一起，会直接把物质换掉。

分子式（**molecular formula**）说明一个分子中各类原子的种类与实际数目。符号右下的小数字叫下标，只数紧挨着它前面的元素；没有写下标表示 1。CO_2中有 1 个 C 和 2 个 O，NH_3中有 1 个 N 和 3 个 H。若题目给模型，先圈定一个完整分子，再逐种数原子，不把图上好几个分子的总数误写成一个分子的式子。

分子式数一个完整分子；前面的数量另外记



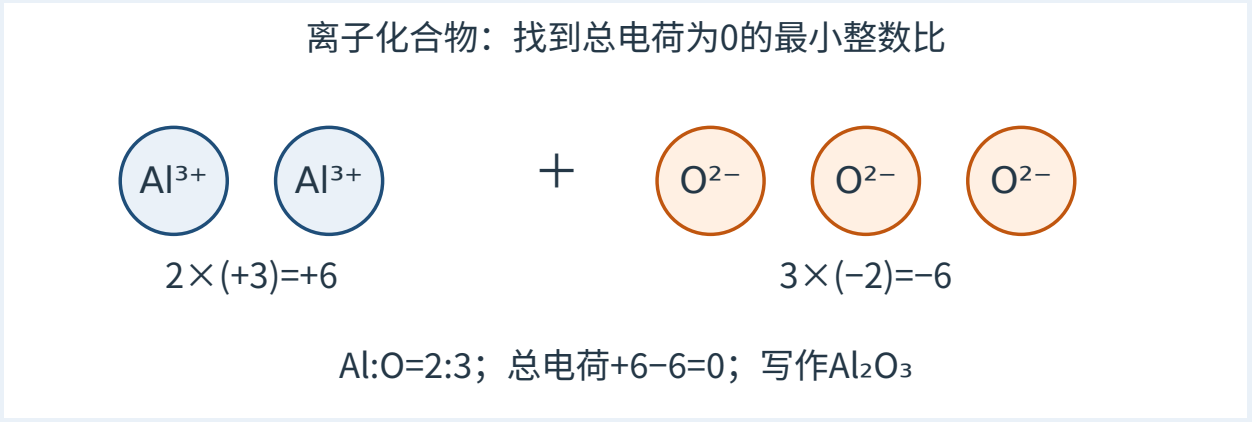
分子式保留实际原子数；不能把H_2O_2约成HO来表示这个分子。

先圈定一个分子再数原子；圆形和键长均不表示真实大小比例。

例如，图中若有 3 个彼此分开的 CO_2分子，每个仍是 1 个 C 配 2 个 O，分子式仍写 CO_2；若要表示有 3 个这种分子，在前面写 $3CO_2$。分子式给实际数目，不能像约分一样把过氧化氢 H_2O_2约成 HO。第 3.3 节会另讲只表示最简比的“最简式”。

一些常见元素以双原子分子存在，作为单质时写 H_2、N_2、O_2、F_2、Cl_2、Br_2、I_2，分别是氢、氮、氧、氟、氯、溴、碘。稀有气体如氦 He、氖 Ne、氩 Ar、氙 Xe 是单原子物质，不在后面加 2。金属单质通常直接写元素符号，如 Mg、Al、Fe、Cu；离子化合物则要用下一步的电荷平衡来确定比例。

离子化合物的化学式表示正、负离子的最简整数比。前面已经看过巨型晶格：它没有一个个孤立的“小盐分子”。只要这块物质整体不带电，就必须让正电荷总量与负电荷总量抵消。先写每个离子的电荷，再问至少要几个才能抵消；不要直接把族号或电荷抄到式子上。



图示最小数量比，不表示晶体中存在一个独立的 Al_2O_3分子。

例如，Ca^{2+}与 O^{2-}按 1：1 配合，正、负电荷恰好抵消，所以氧化钙写 CaO，不写 Ca_2O_2。

Al^{3+}与 O^{2-}的电荷数不同，要先找到 3 与 2 的最小公倍数 6：2 个 Al^{3+}共带+6 电荷，3 个 O^{2-}共带−6 电荷。因此最简离子数比是 2：3，化学式为 Al_2O_3。

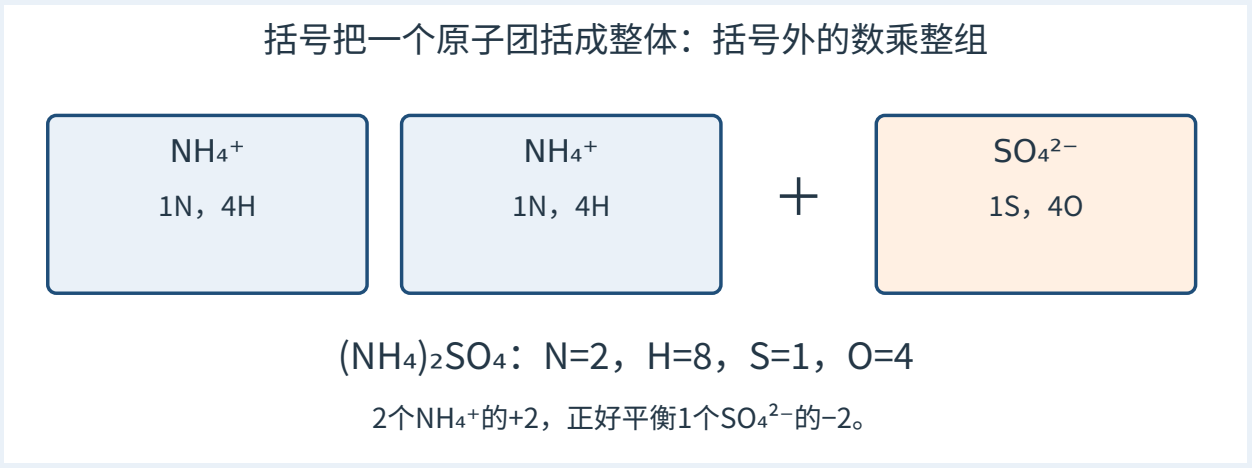
若模型画出 4 个 Ca^{2+}和 4 个 O^{2-}，先数出 4：4，再约为 1：1。有限晶格图块中的粒子总数不表示一个独立分子的组成。

罗马数字指出金属离子的电荷，不是原子个数。copper(II)表示 Cu^{2+}，cobalt(II)表示 Co^{2+}，iron(II)表示 Fe^{2+}，iron(III)表示 Fe^{3+}。例如 Co^{2+}需要 2 个 Cl^-，氯化钴(II)写 $CoCl_2$；Cu^{2+}与 1 个 O^{2-}结合，氧化铜(II)写 CuO。这里的(II)不是让前面的金属一律出现两个。

还有些离子由多个原子组成，叫多原子离子或原子团离子。它们作为一个整体带电，不能为凑电荷随意改动内部原子数。常用阴离子有：氯离子 chloride Cl^-、溴离子 bromide Br^-、碘离子 iodide I^-、氧离子 oxide O^{2-}、硫离子 sulfide S^{2-}；下面四种原子团也要连名字一起认识。

中文名称	英文名称	离子式
氢氧根	hydroxide	OH^-
硝酸根	nitrate	NO_3^-
碳酸根	carbonate	CO_3^{2-}
硫酸根	sulfate	SO_4^{2-}
铵根	ammonium	NH_4^+

铵根 NH_4^+虽然没有金属，仍是阳离子。两个铵根与一个硫酸根结合，总电荷+2−2=0，得到硫酸铵 $(NH_4)_2SO_4$。需要两个或更多同样原子团时，用括号把整个团括起来，再在括号外写数量；只有一团时通常不加括号。例如硫酸铜(II)$CuSO_4$含 1 个 Cu^{2+}与 1 个 SO_4^{2-}，不能把硫酸根的内部 O_4误看成它的电荷。



NH_4^+是铵根，SO_4^{2-}是硫酸根；括号外 2 同时乘 NH_4中的 N 和 H。

例如，写氢氧化钙时，一个 Ca^{2+} 需要两个 OH^- 平衡电荷，因此写 $Ca(OH)_2$。其中有 1 个 Ca、2 个 O、2 个 H；若写成 $CaOH_2$，下标 2 只属于 H，组成就变了。

写碳酸钠时，两个 Na^+ 配一个 CO_3^{2-}，得到 Na_2CO_3。写氯化镁时，一个 Mg^{2+} 配两个 Cl^-，得到 $MgCl_2$。每次都先检查总电荷，再确定离子个数。

本章后续计算还会用到这些阳离子：H^+、Na^+、K^+、Ag^+ 带 1+；Mg^{2+}、Ca^{2+}、Ba^{2+}、Zn^{2+} 带 2+；Al^{3+} 带 3+。Ag 是银 silver，Ba 是钡 barium，Zn 是锌 zinc；离子电荷与元素的大小写都要一起核对。

常见主族单原子离子：先由族找电荷，再配比

I 族金属	II 族金属	常见III族金属	VI族非金属	VII族非金属
失1e⁻	失2e⁻	失3e⁻	得2e⁻	得1e⁻
1+	2+	3+	2−	1−

过渡金属可有不同电荷；遇到copper(II)等名称，要用题给的罗马数字。

这是常见离子的对应表，不把任意元素的族号机械抄成化学式下标。

若题只给周期表位置，先回到第 2 章的族与电子排布：常见第 Ⅰ 族金属失 1 个电子，第 Ⅱ 族金属失 2 个；第 Ⅶ 族非金属通常得 1 个，第 Ⅵ 族通常得 2 个。之后再平衡总电荷。例如一个第 Ⅱ 族金属与一个第 Ⅶ 族非金属组成的盐，需要 1 个 2+离子配 2 个 1−离子。过渡金属不能一概按所在列猜电荷，应使用名称中的罗马数字或题目给值。

名称中的 **mono**、**di** 等也可能直接说明分子原子数。carbon monoxide 是一氧化碳 CO，carbon dioxide 是二氧化碳 CO_2；sulfur dioxide 是二氧化硫 SO_2，sulfur trioxide 是三氧化硫 SO_3。water 是水 H_2O，ammonia 是氨 NH_3，nitric acid 是硝酸 HNO_3，sulfuric acid 是硫酸 H_2SO_4，hydrochloric acid 是盐酸 HCl(aq)。这些式名在后面的反应描述中会直接使用。anhydrous 意为“无水的”，例如无水硫酸铜 $CuSO_4$；遇到题目只给无水盐，不要自己添上结晶水。

怎么认 分子模型先数一个完整分子的原子；离子化合物先写每个离子的电荷，再找总电荷为 0 的最简整数比。括号外数量乘整组，罗马数字说明电荷。

例题 1 （2025·February/March 0620/22 Q9） · 2 级

Which formula for the named compound is correct?

A calcium oxide, CaO

B cobalt(II) chloride, Co_2Cl

C sulfur dioxide, S_2O_2

D anhydrous copper(II) sulfate, $Cu(SO_4)_2$

解：先看 A。calcium oxide 是氧化钙，组成离子为 Ca^{2+} 与 O^{2-}。1 个 Ca^{2+} 的+2 与 1 个 O^{2-} 的−2 抵消，所以最小比为 1:1，式子是 CaO，选 **A**。

其余三项可以逐个说明错在哪里。B 的 cobalt(II) chloride 是氯化钴(II)：Co^{2+} 需要 2 个 Cl^-，应写 $CoCl_2$，不能写成 Co_2Cl。C 的 sulfur dioxide 是二氧化硫，一个分子有 1 个 S 与 2 个 O，应写 SO_2。D 的 anhydrous copper(II) sulfate 是无水硫酸铜(II)，Cu^{2+} 与 SO_4^{2-} 以 1:1 结合，应写 $CuSO_4$；$Cu(SO_4)_2$ 会使总电荷成为+2−4=−2，不能表示中性盐。

针对练习

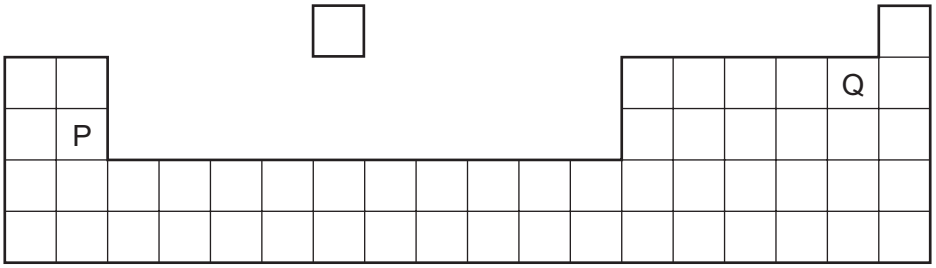
1. （2025·May/June 0620/11 Q9） · 2 级

Which row shows the correct formula for the named substance?

	substance	formula
A	cobalt(II) chloride	Cu_2Cl
B	sodium carbonate	Na_2CO_3
C	xenon	Xe_2
D	ammonium sulfate	NH_4SO_4

2. （2025·May/June 0620/23 Q5） · 3 级

The diagram shows the positions of elements P and Q in the Periodic Table.



What is the formula of the compound that is formed between P and Q?

A PQ **B** P_2Q **C** PQ_2 **D** P_2Q_7

题型 2：守恒配平方程式并写状态和离子方程式

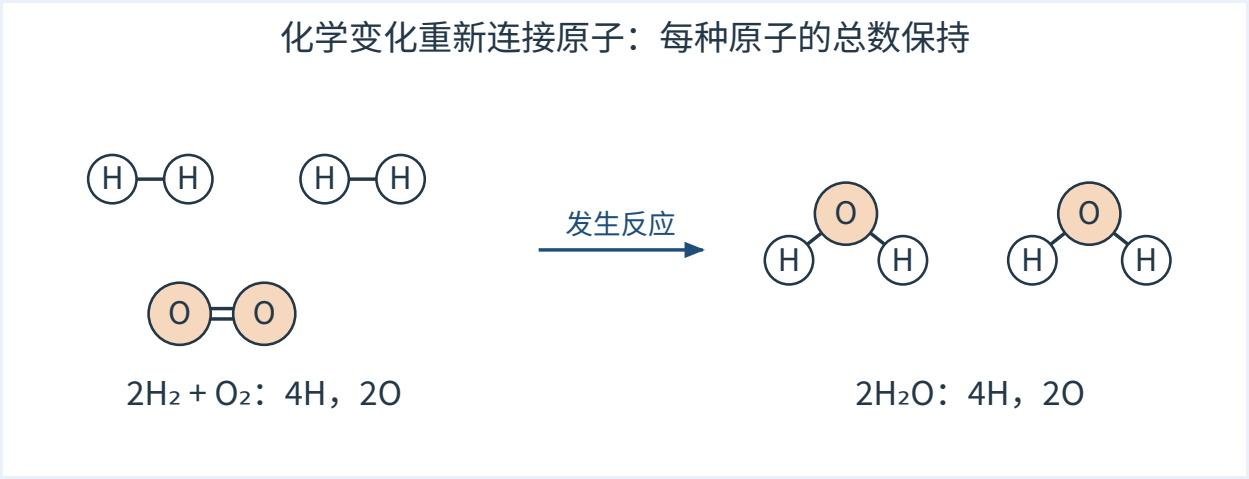
知识点

化学方程式表示反应物如何成为生成物。反应物写在左边，生成物写在右边，箭头表示变化方向。例如镁与氧气反应生成氧化镁，先用名称写出文字方程式：

镁 + 氧气 → 氧化镁

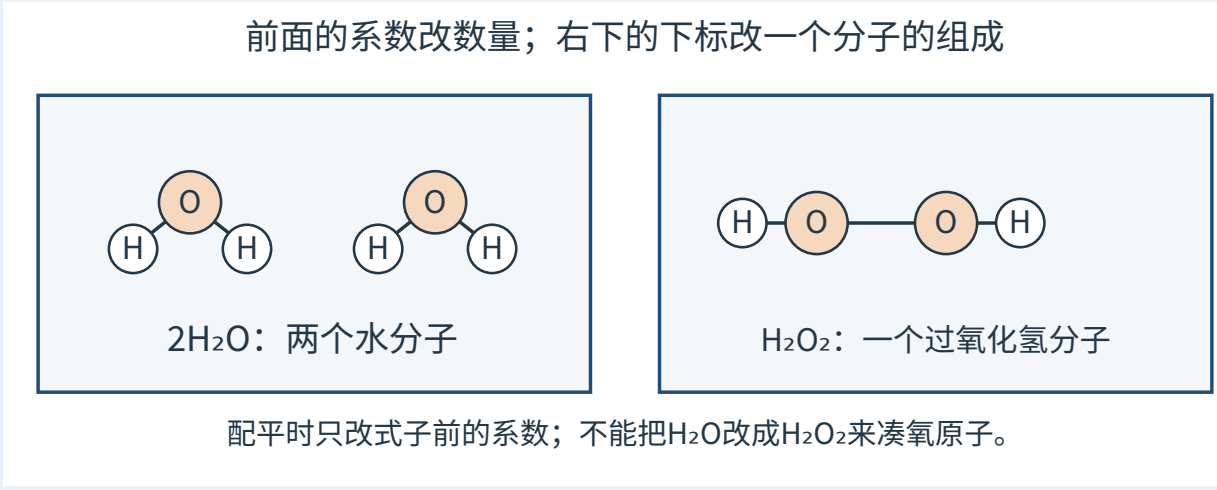
写符号方程式时，再把物质名称换成 Mg、O_2与 MgO。题目若直接给反应描述或产物，就按所给信息写式子，不凭相似题增加其他产物。

普通化学反应会改变原子间的连接，不会创造或消灭某种元素的原子。所以完整方程式左、右两边，每一种元素的原子总数必须相同，这叫原子守恒。原子重新组合后物质身份可以改变，但不能让某个原子凭空消失。



箭头表示原子重新组合成为新分子；没有创造或丢失 H、O 原子。

在化学式前面写的数字叫系数，表示这种粒子的数量比例。例如 $2H_2O$ 表示两份 H_2O，共 4 个 H 和 2 个 O；H_2O_2则是另外一种物质过氧化氢，一个分子中有 2 个 H 和 2 个 O。配平是在已经正确的化学式前选择系数，让每种原子数相等；不能通过改变下标把反应物或产物换掉。



两边都只用了 H、O，但粒子数量和每个粒子的组成不同。

例如，氢气与氧气反应生成水。先写各物质的正确化学式：

$$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$$

左侧有 2 个 O，右侧每个 H_2O 只有 1 个 O，所以先在 H_2O 前写 2。此时右侧有 4 个 H，左侧便需要 2 份 H_2，得到：

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

回查时，H 的原子数是左 4、右 4，O 是左 2、右 2。即使最先配的是 O，最后也要把 H 检查一次。

多种元素时，通常先配只出现在少数式子中的元素，再处理到处出现的 O 或 H。若中途出现 1/2、3/2 之类系数，可把整个方程式的全部系数同乘 **2**，得到最小整数系数。若题已固定 $4NH_3$或 $4FeS_2$，就沿题给的 4 来配其余项，不把原题固定项改掉。有些题给双向箭头⇌，表示反应可以向两个方向进行；配平仍只检查两侧的原子守恒，保留题给箭头即可，反应条件如何影响平衡放在后续章节讨论。

除了式子和系数，还可能要写状态符号（**state symbols**）。它们紧随化学式的括号不是原子团括号，而是说明物质此时怎样存在。

状态符号写在化学式后：溶于水与纯液体要分清

(s)	(l)	(g)	(aq)
solid 固体	liquid 液体	gas 气体	aqueous 水溶液
Mg(s)	$H_2O(l)$	$H_2(g)$	NaCl(aq)

HCl(aq)是氯化氢溶于水形成的盐酸，不是纯液体HCl(l)。

s、l、g 说明物态；aq 说明一种物质存在于水溶液中。

(s)表示固体，(l)表示液体，(g)表示气体，(aq)表示溶于水的水溶液。水 $H_2O(l)$是液态物质本身；NaCl(aq)表示氯化钠在水中，并不是纯液态氯化钠 NaCl(l)。dilute hydrochloric acid 指稀盐酸，所以应写 HCl(aq)。遇到题目说形成 gas、solid precipitate 或 aqueous solution，要把这些信息保留在方程式中。沉淀（**precipitate**）是在混合溶液的过程中形成的不溶固体，用(s)表示。

例如，氢氧化钠溶液与稀盐酸反应，生成氯化钠溶液和水。先按名称写文字方程式：

sodium hydroxide + hydrochloric acid → sodium chloride + water

对应的化学式依次是 NaOH、HCl、NaCl 和 H_2O。逐种数 Na、O、H、Cl，发现系数全为 1 时已经守恒；再把溶液与液态水的状态写明：

$$NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$$

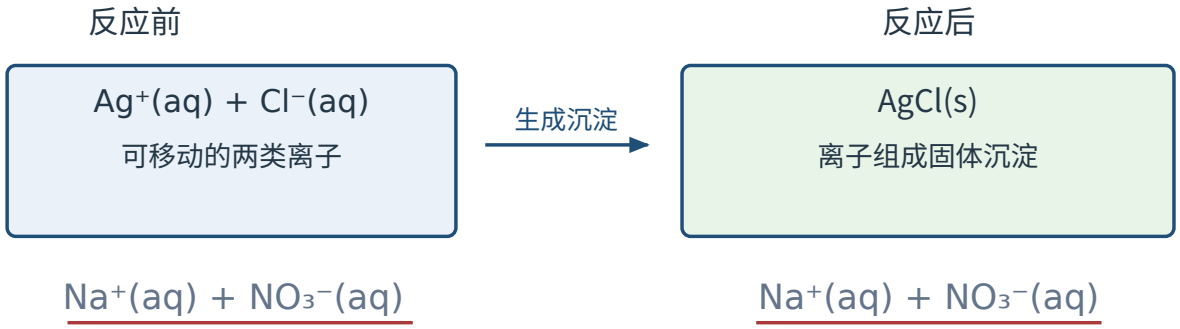
水中的两个 H 有明确来源：NaOH 贡献 1 个，HCl 再贡献 1 个。

离子方程式（**ionic equation**）突出溶液中真正改变的粒子。第 2 章已经说明，可溶离子盐在水中含可移动的正、负离子。写完整离子式时，要把这类水溶液写成对应离子。

例如，NaCl(aq)写成 $Na^+(aq)$与 $Cl^-(aq)$；$CaCl_2(aq)$写成 $Ca^{2+}(aq)$与 $2Cl^-(aq)$。式子前若还有系数，必须同时乘到所有离子上。题目涉及的稀强酸 HCl、HNO_3以及可溶强碱 NaOH、$Ba(OH)_2$也按其离子写，分别提供 H^+或 OH^-。

不能看到(aq)就把任何物质拆成离子；有些溶解的物质仍以中性分子存在。固体沉淀、纯液体水以及 Cl_2、Br_2等中性分子，在本型的离子式中保留完整式子，不能把 $Fe(OH)_3(s)$拆成几个到处移动的水溶液离子。

旁观离子在两边原样存在：只把相同的部分约去



两侧同量的Na^+、NO_3^-未改变；净离子式只保留上方的变化。

反应已给硝酸银与氯化钠生成 AgCl 沉淀；不要求从未知信息猜溶解性。

把硝酸银溶液与氯化钠溶液混合，会生成氯化银沉淀。$AgNO_3$是硝酸银，AgCl 是氯化银，$NaNO_3$是硝酸钠。所给反应为：

$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$

把溶液中的可溶离子盐写成离子，固体沉淀 AgCl 保留完整式子，得到完整离子方程式：

$Ag^+(aq) + NO_3^-(aq) + Na^+(aq) + Cl^-(aq)$

$\rightarrow AgCl(s) + Na^+(aq) + NO_3^-(aq)$

两边的 Na^+和 NO_3^-种类、数量、状态都没变，叫旁观离子（**spectator ions**）。把它们从左右两边同时约去，留下净离子方程式：

$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

约去的不是“所有正离子”或“所有金属离子”，而是左右两边完全相同且等量的粒子。Ag^+在这个反应里进入沉淀，不能约掉；Na^+未改变，才可约去。最后必须同时检查原子数与总电荷。例如 Ag^++Cl^-左侧电荷 +1−1=0，与右侧中性 AgCl 相符；后面的 Fe^{3+}若与 OH^-生成沉淀，就要 3 个 OH^-才能使总电荷为 0。

例如，卤素反应已给出：

$Cl_2 + 2KBr \rightarrow 2KCl + Br_2$

就按所给方向把溶液中的钾盐写成离子，再约去两边相同的 K^+。Cl_2是中性双原子分子，Cl^-是氯离子，二者不能混写。最后核对原子数与总电荷；此处反应方向已经给出，无需提前判断哪种卤素更活泼。

怎么认 按题给名称或反应信息写正确化学式，只调系数使各元素守恒，再加状态。离子式先按实际粒子拆分可溶电解质，约去两边等量旁观离子，最后兼查原子与电荷。

例题 1 （2025·May/June 0620/22 Q8） · 3 级

Aluminium reacts with iron(III) oxide to form aluminium oxide and iron.

Which chemical equation for the reaction between aluminium and iron(III) oxide is correct?

A $Al + FeO \rightarrow AlO + Fe$

B $2Al + Fe_2O \rightarrow Al_2O + 2Fe$

C $Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + Fe$

D $2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$

解：

题目说铝与氧化铁(III)反应，生成氧化铝和铁。Fe^{3+}与 O^{2-}以 2:3 平衡，所以氧化铁(III)是 Fe_2O_3；Al^{3+}与 O^{2-}也以 2:3 平衡，氧化铝是 Al_2O_3。先写骨架：

$Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + Fe$

Fe_2O_3与 Al_2O_3各有 3 个 O，氧已经相等。右侧 Al_2O_3有 2 个 Al，所以左侧铝前加 2；左侧 Fe_2O_3有 2 个 Fe，所以右侧铁前也加 2。得到：

$2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$

所以选 **D**。

逐项回查：两边 Al 都是 2，Fe 都是 2，O 都是 3。A 和 B 改错了化合物本身的式子；C 虽把化合物写对了，但 Al 与 Fe 的原子数还没有配平。

例题 2 （2025·May/June 0620/41 Q4(c)(iv)） · 3 级

(iv) In step 2, oxygen and water react with NO to produce nitric acid as the only product.

Write a symbol equation for this chemical reaction.

解：
第一步，把名称变成式子。oxygen 是 O_2，water 是 H_2O；NO 是一氧化氮，nitric acid 是硝酸 HNO_3。题目明确 HNO_3是唯一产物，所以骨架为：
$NO + O_2 + H_2O \rightarrow HNO_3$
第二步，先使氮和氢相等。若先在 HNO_3前写 2，右侧有 2 个 N 与 2 个 H，左侧便需要 2NO 与 $1H_2O$。此时左侧这两项已有 3 个 O，右侧 $2HNO_3$需要 6 个 O，还缺 3 个 O，因此需 3/2 个 O_2的比例。
第三步，把全部系数同时乘 2，去掉分数：
$4NO + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3$
最终两边 N 为 4、H 为 4、O 为 12。题目只要求符号方程式，没有要求加状态；不要因硝酸溶于水便另添题目未给出的产物。

例题 3 （2025·May/June 0620/23 Q7） · 3 级

The equation for the reaction between iron(III) chloride and sodium hydroxide is shown.

$$FeCl_3(aq) + 3NaOH(aq) \rightarrow Fe(OH)_3(s) + 3NaCl(aq)$$

What is the ionic equation for this reaction?

A $Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightarrow Fe^{3+}(s) + 3OH^-(s)$

B $Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightarrow Fe(OH)_3(s)$

C $3Na^+(aq) + 3Cl^-(aq) \rightarrow 3Na^+(aq) + 3Cl^-(aq)$

D $3Na^+(aq) + 3Cl^-(aq) \rightarrow 3NaCl(aq)$

解：
题给 $FeCl_3(aq)$与 NaOH(aq)，它们在水中分别提供 Fe^{3+}、Cl^-、Na^+和 OH^-；生成的 $Fe(OH)_3(s)$是固体沉淀，要保留完整式子。先写完整离子式：
$Fe^{3+}(aq) + 3Cl^-(aq) + 3Na^+(aq) + 3OH^-(aq)$
$\rightarrow Fe(OH)_3(s) + 3Na^+(aq) + 3Cl^-(aq)$
两边的 $3Na^+$与 $3Cl^-$种类、数量、状态都相同，是旁观离子，可以成对约去。真正发生的变化为：
$Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightarrow Fe(OH)_3(s)$
所以选 **B**。左侧总电荷+3−3=0，与右侧中性沉淀相符；Fe 为 1、O 为 3、H 为 3，也都守恒。
A 把固体沉淀拆成独立离子，失去了沉淀生成这个变化；C 只剩没有变化的旁观离子；D 把仍在溶液中的 Na^+、Cl^-错误地当成生成新固体的过程。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q4(c)(i)） · 2 级

(i) Balance the symbol equation for this reaction.

$$4NH_3 + ...O_2 \rightleftharpoons .....NO + ...H_2O$$

2. （2025·May/June 0620/42 Q4(a)(i)） · 2 级

(a) The main ore of chromium is chromite. Chromite contains $FeCr_2O_4$.

$FeCr_2O_4$ reacts with carbon.

(i) Complete the equation for this reaction.

$$FeCr_2O_4 + 4C \rightarrow Fe + 2Cr + ...$$

3. (2025·May/June 0620/43 Q4(a)(i)) · 2 级

(i) Iron pyrite is an ore containing sulfur. The ore contains a compound with the formula FeS_2.

FeS_2 reacts with oxygen in the air to produce sulfur dioxide.

Balance the symbol equation for this reaction.

$$4FeS_2 + ...O_2 \rightarrow .....SO_2 + ...Fe_2O_3$$

4. (2025·May/June 0620/13 Q8) · 3 级

Which equation represents the reaction of magnesium with dilute hydrochloric acid?

A $Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$

B $Mg(s) + 2HCl(l) \rightarrow MgCl_2(s) + H_2(g)$

C $2Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow 2MgCl(aq) + H_2(g)$

D $2Mg(s) + 2HCl(l) \rightarrow 2MgCl(s) + H_2(g)$

5. (2025·May/June 0620/41 Q6(d)(i)) · 3 级

(d) When bromine is added to aqueous potassium iodide a displacement reaction occurs.

The equation for the reaction is shown.

$$Br_2 + 2KI \rightarrow 2KBr + I_2$$

(i) Write an ionic equation for the reaction.

6. (2025·May/June 0620/43 Q6(e)(ii)) · 3 级

(ii) When chlorine is passed through aqueous potassium bromide, a displacement reaction occurs.

The equation for the reaction is shown.

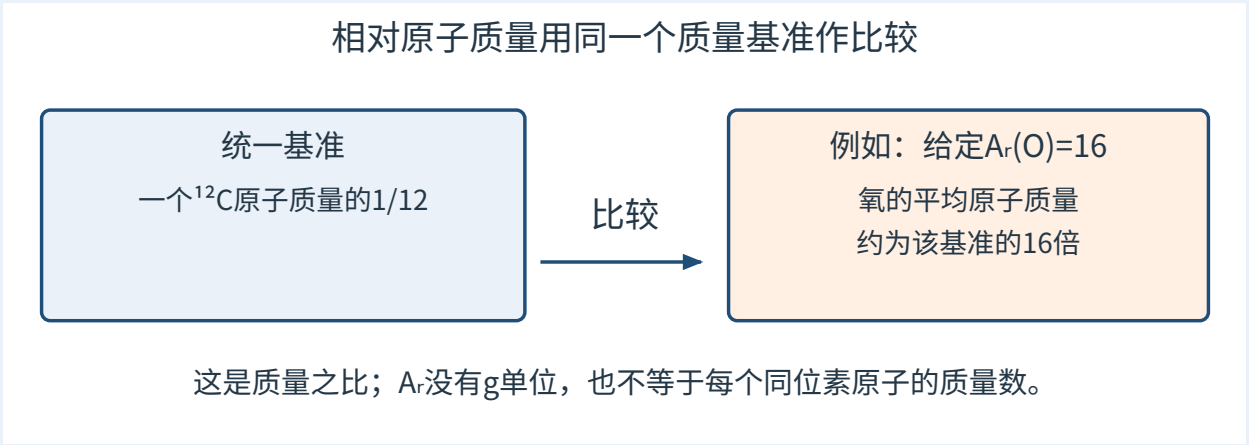
$$Cl_2 + 2KBr \rightarrow 2KCl + Br_2$$

Write an ionic equation for the reaction.

3.2 相对质量

题型 1：计算相对分子质量或式量，并用质量比求反应量

知识点 一个原子的实际质量很小，直接用克表示不方便。相对原子质量（**relative atomic mass**，$\mathbf{A_r}$）把该元素同位素的平均原子质量，与“一个碳 12 原子质量的十二分之一”比较。这个统一基准保证不同元素能放在同一把尺上比较。第 2 章已经说明，一个元素可能有多种同位素；这里使用考虑其组成后的平均质量，而不是随便挑某一个质量数。



基准是质量的十二分之一，不是实际把碳原子切开；平均质量需考虑同位素组成。

周期表给 O 的 A_r=16，表示氧的平均原子质量相对上述基准的比值为 16；不是说一个氧原子重 16g。A_r 是一个比值，没有 **g** 单位。同样，Cl 的 A_r 可为 35.5，并不表示一个原子有半个中子；相对平均质量与单个原子的质量数不是同一件事。

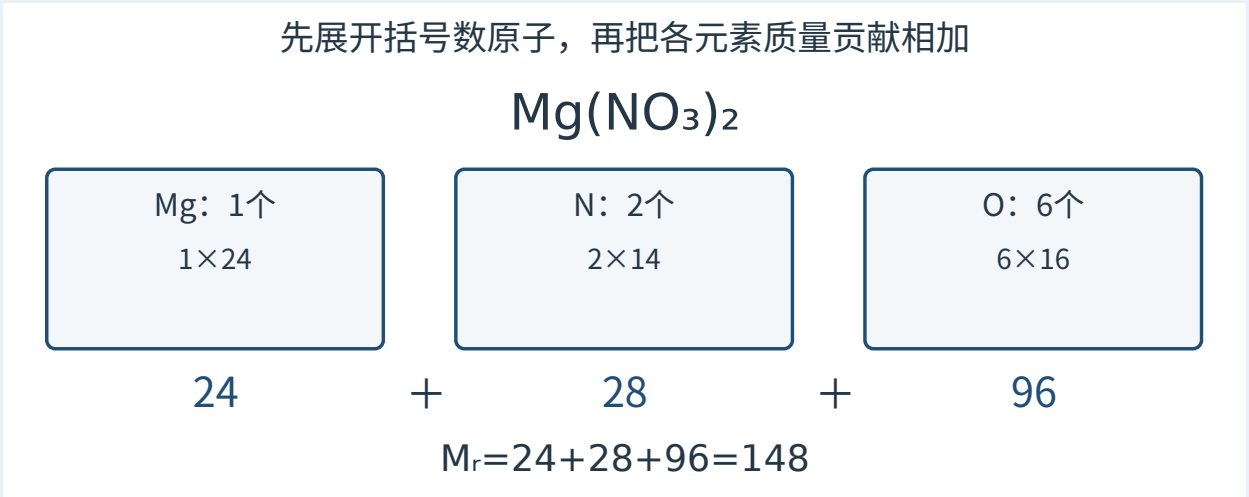
相对分子质量（**relative molecular mass**，$\mathbf{M_r}$）是一个分子式中所有原子的 A_r 之和。例如 CO_2 含 1 个 C 与 2 个 O，因此：

$$M_{r(CO_2)} = 12 + 2 \times 16 = 44$$

离子化合物没有独立分子，名称用相对式量（**relative formula mass**，$\mathbf{M_r}$）。计算仍按化学式把各原子的相对质量贡献相加，例如：

$$M_{r(NaCl)} = 23 + 35.5 = 58.5$$

先数原子，再乘，再相加。 不要看到式子就直接把几个周期表数字相加，漏掉下标或括号。$Mg(NO_3)_2$ 表示 1 个 Mg 与 2 组 NO_3，故 N 有 2 个、O 有 6 个。



硝酸镁中的 2 作用于整个 NO_3：有 2 个 N 与 6 个 O；M_r 为相对式量。

例如，$Ca(OH)_2$ 中只有 1 个 Ca，而括号外的 2 同时乘 O 和 H，所以：

$$M_{r(Ca(OH)_2)} = 40 + 2 \times 16 + 2 \times 1 = 74$$

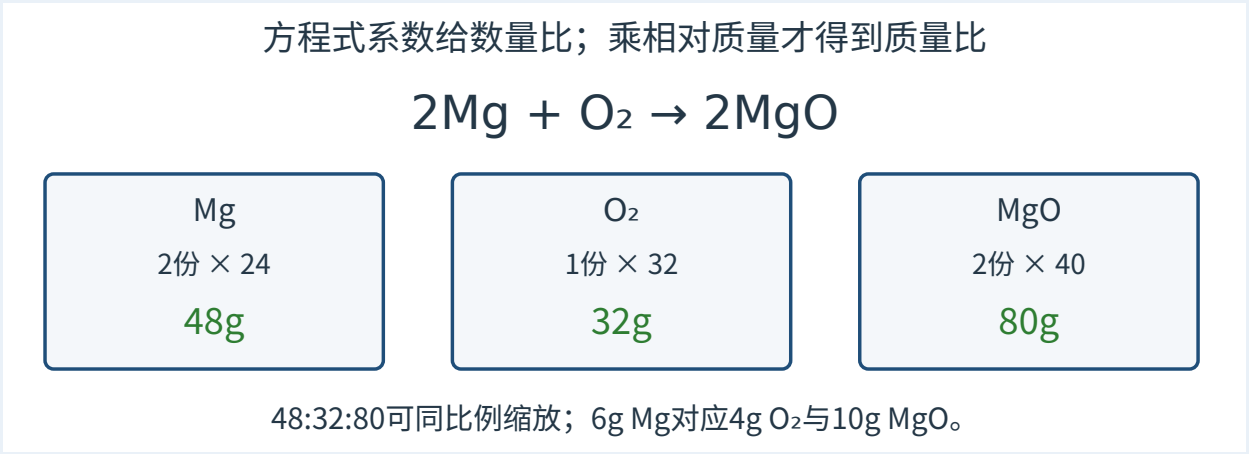
也可以先算一组 OH 的相对质量，再把两组一起加到 Ca 上：

$$M_{r(Ca(OH)_2)} = 40 + 2 \times (16 + 1) = 40 + 2 \times 17 = 74$$

两种写法都把原子数算完整。若把 Ca 也乘 2，或只让 H 乘 2，计算的就是另一个组成。

如果原题给逐行表格，每行依次是“元素的原子数”“该元素 A_r”“两者乘积”。题给的氧行也是总和的一部分，不是示范后就不用加。全部行填完，再把右侧贡献相加给出整个 M_r；M_r 仍没有 g 单位。

不用摩尔，也可以先做简单反应质量比例。平衡方程式给的是粒子数量比例。若知道每一份粒子的相对质量，就能把数量比例换成对应的质量比例，再按题给质量一起放大或缩小。



数量比 2:1:2 与质量比 48:32:80 不同；缩放质量时三项乘同一个倍数。

镁与氧气反应的平衡方程式是：

$$2\mathrm{Mg} + \mathrm{O_2} \rightarrow 2\mathrm{MgO}$$

Mg 与 $\mathrm{O_2}$的粒子数量比是 2：1。每份 Mg 的相对质量为 24，每份 $\mathrm{O_2}$为 32；用数量乘各自的相对质量，才得到质量比：

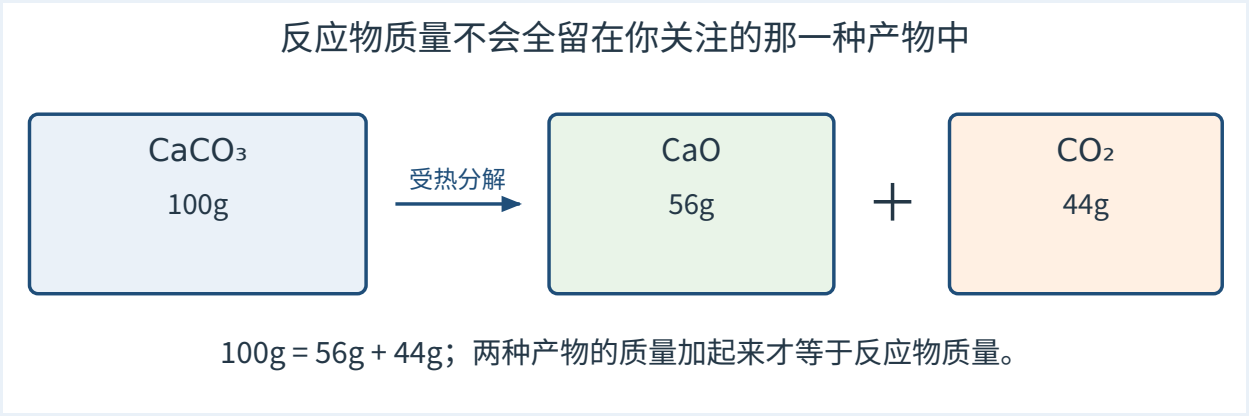
$$m(\mathrm{Mg}) : m(\mathrm{O_2}) = (2 \times 24) : (1 \times 32) = 48 : 32$$

因此 48g Mg 恰好配 32g $\mathrm{O_2}$。若只取 6g Mg，两种质量必须按同一个倍数缩小：

$$m(\mathrm{O_2}) = 32 \times \frac{6}{48} = 4\,\mathrm{g}$$

这里先求质量比，再同比例缩放，没有直接把系数 2：1 当成克数之比。

质量守恒还要包含全部反应物与生成物。若一种反应物分解成两种产物，题目问其中一种的质量，不能把全部反应物质量都归给它。



已给 $\mathrm{CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2}$，按 A_r(Ca)=40、C=12、O=16 建立质量比。

例如，碳酸钙受热分解的反应已给出：

$$\mathrm{CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2}$$

三者的相对式量分别为 100、56、44，系数均为 1，所以质量比是 100：56：44。完全分解 25g $\mathrm{CaCO_3}$时，各项质量都乘同一个比例：

$$m(\mathrm{CaO}) = 56 \times \frac{25}{100} = 14\,\mathrm{g}$$

$$m(\mathrm{CO_2}) = 44 \times \frac{25}{100} = 11\,\mathrm{g}$$

两种产物合计 14+11=25g，等于原来的总质量。第 3.3 节会用摩尔把这种比例算法写得更统一。

怎么认 先按下标和括号数每种原子，乘 A_r 后相加得到 M_r。反应质量题先用“系数×相对质量”建立质量比，再让对应质量同乘一个缩放倍数。

例题 1 （2025·May/June 0620/31 Q3(c)） · 2 级

(c) A compound of sulfur has the formula $Al_2(SO_4)_3$.

Complete Table 3.2 to calculate the relative formula mass of $Al_2(SO_4)_3$.

Table 3.2

atom	number of atoms	relative atomic mass	
oxygen	12	16	12 × 16 = 192
aluminium		27	
sulfur		32	

解：$Al_2(SO_4)_3$中，Al 后的 2 只属于 Al；括号外 3 表示有 3 组 SO_4。因此 Al 为 2 个，S 为 3×1=3 个，O 为 3×4=12 个。

题表已给氧的贡献 12×16=192。补齐另外两行如下：

原子	个数	A_r	该元素贡献
oxygen	12	16	12×16=192
aluminium	2	27	2×27=54
sulfur	3	32	3×32=96

把表中全部质量贡献相加：

$$M_r = 192 + 54 + 96 = 342$$

相对式量没有 g 单位。

不能只填两个原子个数而漏掉右栏乘积；计算相对式量还要把各行贡献全部加起来。

例题 2 （2025·May/June 0620/12 Q11） · 3 级

The equation for the reaction of magnesium with oxygen is shown.

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$

Which mass of oxygen reacts exactly with 6 g of magnesium?

A 2 g **B** 4 g **C** 8 g **D** 16 g

解：

反应的平衡方程式为：

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$

2 份 Mg 原子对应 1 份 O_2分子，但系数比 2∶1 不是质量比。Mg 的 A_r 为 24，O_2的 M_r 为 32，因此对应质量比为：

$$m(Mg) : m(O_2) = (2 \times 24) : 32 = 48 : 32$$

48g Mg 恰好消耗 32g O_2。题给 6g Mg，氧气质量也要乘同一个比例：

$$m(O_2) = 32 \times \frac{6}{48} = 4\,g$$

所以选 **B**。核对总质量，生成的 MgO 为 6+4=10g。若直接把 6 除以系数 2 得到 3g，就把粒子数量比错误地当成了质量比。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/32 Q3(c)） · 2 级

(c) A compound of phosphorus has the formula $Ca_3(PO_4)_2$.

Complete Table 3.2 to calculate the relative formula mass of $Ca_3(PO_4)_2$.

Table 3.2

atom	number of atoms	relative atomic mass	
oxygen	8	16	8 × 16 = 128
calcium		40	
phosphorus		31	

2. （2025·May/June 0620/33 Q4(c)） · 2 级

(c) A compound of nitrogen has the formula $Al(NO_3)_3$.

Complete Table 4.2 to calculate the relative formula mass of $Al(NO_3)_3$.

Table 4.2

atom	number of atoms	relative atomic mass	
oxygen	9	16	9 × 16 = 144
aluminium		27	
nitrogen		14	

3. （2025·May/June 0620/11 Q10） · 3 级

The equation shows the thermal decomposition of magnesium carbonate.

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$$

[M_r: $MgCO_3$, 84]

Which mass of magnesium oxide is formed when 21.0 g of magnesium carbonate is completely decomposed?

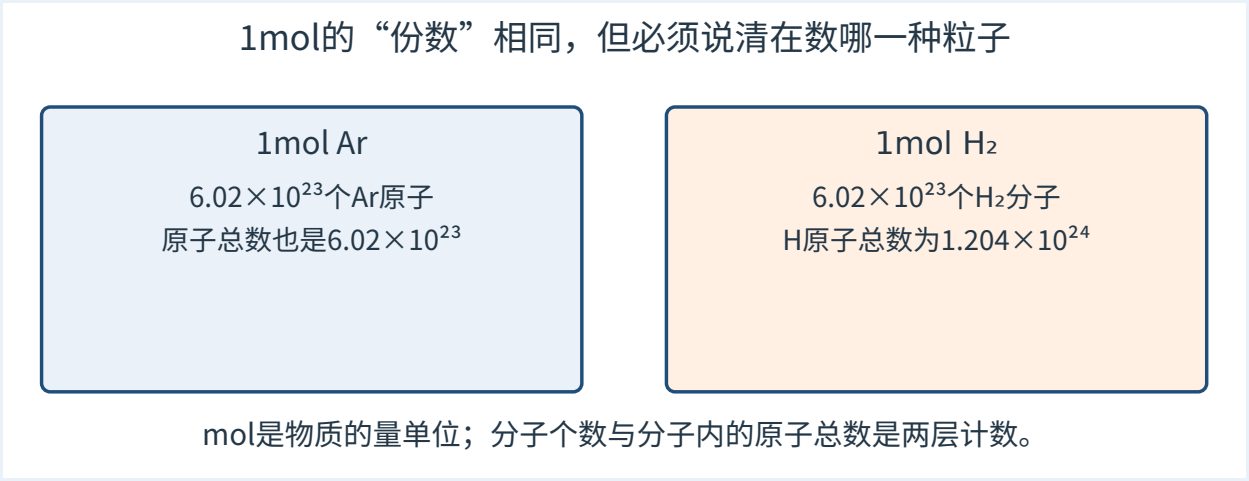
A 1.9 g **B** 4.0 g **C** 10.0 g **D** 40.0 g

3.3 物质的量与定量计算

题型 1：在质量、物质的量和粒子数之间换算

知识点 日常用“一打”表示 12 个物品；化学也需要一个固定的计数单位来处理极多的微小粒子。摩尔（**mole**，单位 **mol**）是物质的量（**amount of substance**）的单位。1mol 含 6.02×10^{23}个指定粒子，这个数

叫阿伏伽德罗常数（**Avogadro constant**）。本课程计算采用这个数值。“指定粒子”必须说清楚：可以是 Ar 原子、H_2分子，或某种离子，不能只说一堆不明确的粒子。



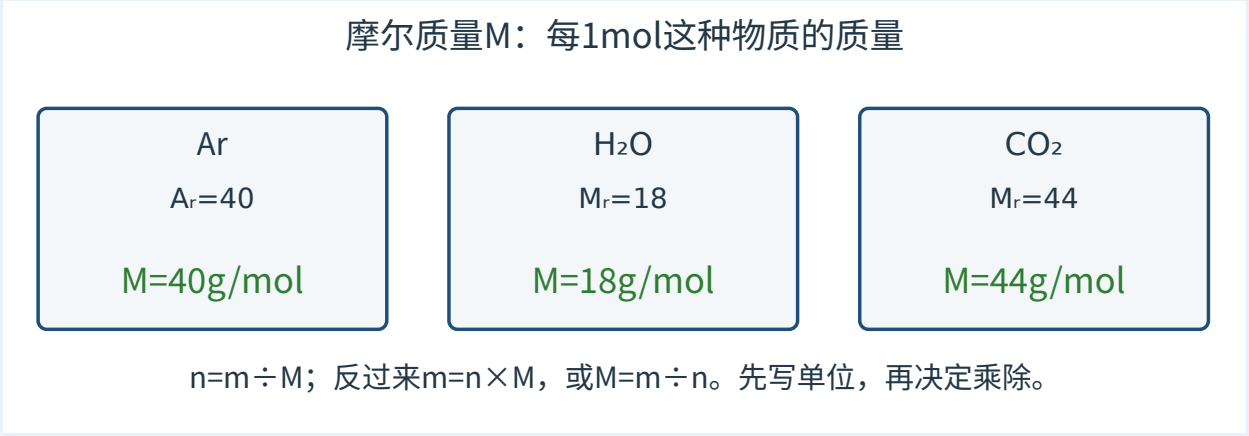
H_2每个分子有 2 个 H；相同 mol 数表示指定粒子的个数相同，不保证原子总数相同。

1mol Ar 含 6.02×10²³个 Ar 原子；1mol H_2含同样多的 H_2分子，但因为每个分子有 2 个 H，所以 H 原子总数为 2×6.02×10²³。mol 不是克，也不是体积单位；同样 1mol 的不同物质，粒子数相同，质量可以不同。

摩尔质量（**molar mass**，**M**）是每 1mol 物质的质量，常用单位 g/mol。其数值与该物质的 A_r 或 M_r 对应，但单位不同：

物质	相对质量，无单位	摩尔质量
Ar	$A_r = 40$	$M = 40\,\mathrm{g/mol}$
CO_2	$M_r = 44$	$M = 44\,\mathrm{g/mol}$

相对质量是比值；摩尔质量说明每摩尔有多少克。



A_r 或 M_r 是无单位的相对数；M 的数值对应它，但单位是 g/mol。

把样品总质量 m 除以“每 1mol 有多少克”的 M，就得到这份样品的物质的量：

$$n = \frac{m}{M}$$

式中 n 用 mol，m 用 g，M 用 g/mol。若已知物质的量，求质量就把每摩尔的质量乘以摩尔数：

$$m = nM$$

若已知质量与物质的量，求每摩尔的质量则用：

$$M = \frac{m}{n}$$

三式是同一比例关系的不同写法。先看所求量，再选择相应方向。

例如，9.0g 水的摩尔质量为 18g/mol。要求这份水的物质的量，用总质量除以摩尔质量：

$$n(\mathrm{H_2O}) = \frac{9.0}{18} = 0.50\,\mathrm{mol}$$

若给出 0.25mol CO_2，摩尔质量为 44g/mol，要找它的质量，就改用乘法：

$$m(CO_2) = 0.25 \times 44 = 11\,\mathrm{g}$$

若某分子物质 0.20mol 的质量为 8.8g，要求摩尔质量，则每摩尔的质量是：

$$M = \frac{8.8}{0.20} = 44\,\mathrm{g/mol}$$

它对应的相对分子质量 M_r 为 44。若给的是单原子元素，0.100mol 质量为 4.00g，同样计算得到：

$$M = \frac{4.00}{0.100} = 40.0\,\mathrm{g/mol}$$

这时对应的是 A_r=40.0。仅凭相对质量的数值，还不能唯一确定分子式或元素身份。

每 1mol 含 6.02×10^{23}个指定粒子。因此已知物质的量 n 时，粒子数为：

$$N = n \times 6.02 \times 10^{23}$$

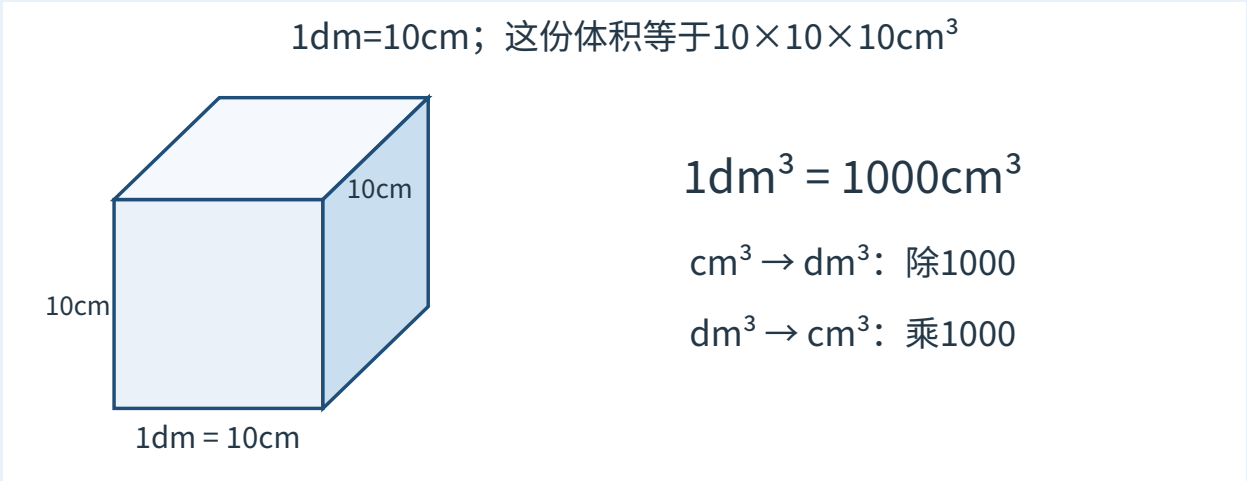
已知粒子数时，反过来除以阿伏伽德罗常数即可求 n。例如 3.01×10^{23}个水分子对应：

$$n(H_2O) = \frac{3.01 \times 10^{23}}{6.02 \times 10^{23}} = 0.50\,\mathrm{mol}$$

0.50mol Na^+也含 3.01×10^{23}个 Na^+，此时所数的对象是离子。若题给质量，应先除以摩尔质量得到 mol，再乘阿伏伽德罗常数；不能把克数直接乘这个常数。

气体题有时给体积而非质量。使用体积关系前，先看清立方单位：1dm 等于 10cm，立方体的三个方向都扩大 10 倍，因此：

$$1\,\mathrm{dm^3} = (10\,\mathrm{cm})^3 = 1000\,\mathrm{cm^3}$$



立方单位要换算三次长度；不是 $1dm^3=10cm^3$，也不是 $100cm^3$。

在室温常压（**room temperature and pressure**，**r.t.p.**）下，本课程采用气体的摩尔体积 **24dm³/mol**，也就是 24000cm³/mol。

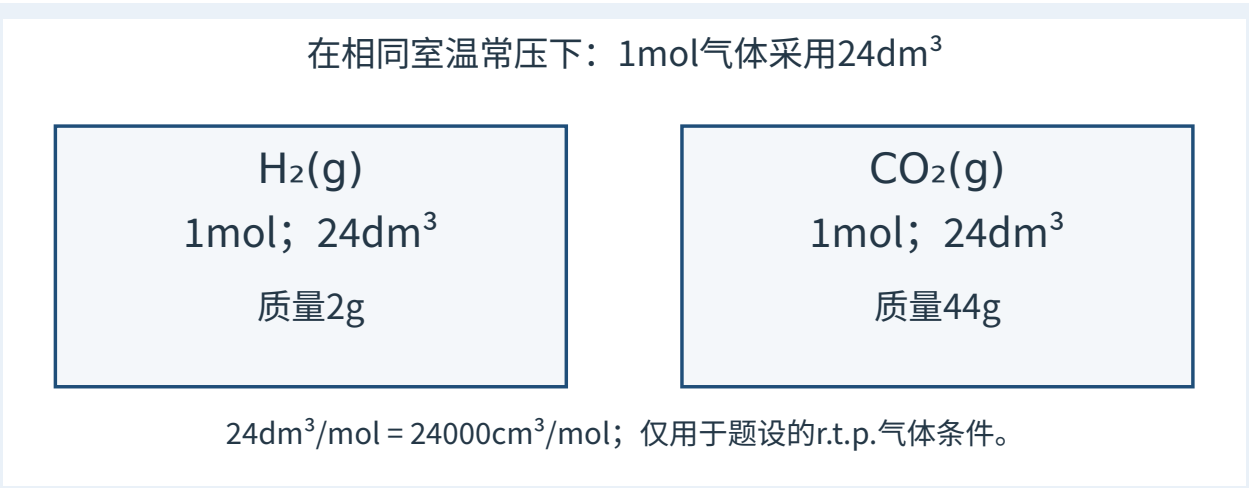
体积 V 用 dm³时，物质的量与体积的关系为：

$$n = \frac{V}{24} \quad \text{或} \quad V = 24n$$

体积 V 用 cm³时，必须使用对应的 24000：

$$n = \frac{V}{24000} \quad \text{或} \quad V = 24000n$$

两组式中的 n 都用 mol。这里的摩尔体积只适用于所述条件下的气体，不能用于盐水、液态水、固体或任意温压。



两种气体体积相同不表示质量相同；不能把这个 24 用于固体、液体或任意温压。

例如，12.0cm³ O_2处于 r.t.p.。先把体积换成氧分子的物质的量：

$$n(O_2) = \frac{12.0}{24000} = 0.000500\,\text{mol}$$

再乘阿伏伽德罗常数，得到氧分子数：

$$N(O_2) = 0.000500 \times 6.02 \times 10^{23} = 3.01 \times 10^{20}$$

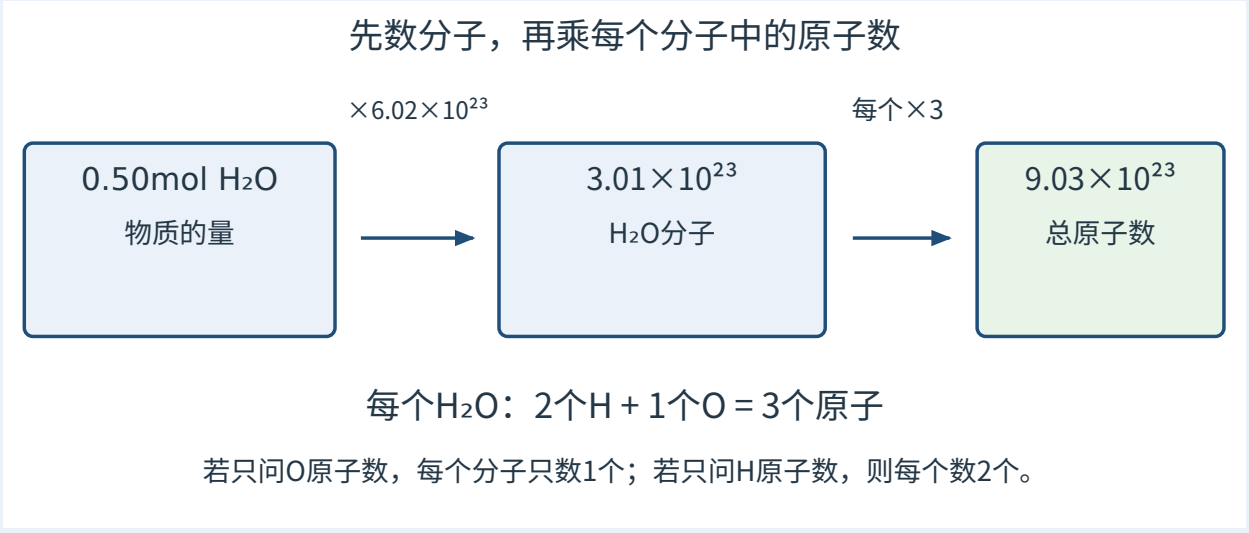
若问的是 O 原子数，每个 O_2分子有 2 个 O，所以还要乘 2，得到 6.02×10^{20}个 O 原子。

反过来，若给 0.0500mol 气体，求 r.t.p.下的体积，可先以 dm³计算：

$$V = 0.0500 \times 24 = 1.20\,\text{dm}^3 = 1200\,\text{cm}^3$$

12.0cm³与 12.0dm³的数字虽相同，体积却相差 1000 倍；计算前必须核对单位。

最后才决定是否从分子再数到原子。先读题目末尾问 atoms 还是 molecules：一个 NH_3分子有 1+3=4 个原子，一个 H_2O 分子有 2+1=3 个原子。如果只问某一种元素的原子数，就只乘这一种元素在分子里的个数。



样品的三个量指不同对象；阿伏伽德罗常数只先给出指定分子数。

大数常写成标准形式（**standard form**）：

$$a \times 10^{k} \quad (1 \le a < 10,\ \ k \text{ 为整数})$$

例如，0.301×10²³的前一个数小于 1，需要规范为：

$$0.301 \times 10^{23} = 3.01 \times 10^{22}$$

前面的数扩大 10 倍，后面的 10 次方就减少一次，数值不变。乘法先处理普通数字与 10 次方，再规范形式；最后按题给数据取有效数字，不在中间把 mol 数过早截短。

怎么认 先辨认输入是 g、mol、气体体积还是粒子个数，统一到 mol 再换算。最后核对问的是分子、指定原子还是全部原子，并检查 cm³/dm³、标准形式和单位。

例题 1 （2025·October/November 0620/41 Q1(e)） · 3 级

(e) Calculate the number of atoms in 2.00 g of argon.

Give your answer in standard form.

解：
argon 是氩 Ar，由单个原子组成。周期表给 $A_r(Ar)=40$，对应的摩尔质量为 40g/mol。先把 2.00g 换成物质的量：

$$n(\mathrm{Ar}) = \frac{2.00}{40} = 0.0500\,\mathrm{mol}$$

每 1mol Ar 含 6.02×10^{23} 个 Ar 原子，因此：

$$N(\mathrm{Ar}) = 0.0500 \times 6.02 \times 10^{23} = 0.301 \times 10^{23}$$

标准形式要求前面的数至少为 1 且小于 10。把 0.301 扩大 10 倍，10 的指数就要由 23 减为 22，得到：

$$N(\mathrm{Ar}) = 3.01 \times 10^{22}$$

答案是 **3.01×10^{22}** 个原子。Ar 是单原子物质，无需像 H_2 或 NH_3 那样再乘每个分子的原子数。

针对练习

1. （2024·October/November 0620/43 Q4(f)(ii)） · 3 级

(ii) In another experiment, 48.0 cm^3 of hydrogen gas, H_2, is produced. The experiment is carried out at room temperature and pressure, r.t.p.

Calculate the number of molecules in 48.0 cm^3 of H_2 gas measured at r.t.p.

The value of the Avogadro constant is 6.02×10^{23}.

2. （2025·February/March 0620/22 Q12） · 3 级

The value of the Avogadro constant is 6.02×10^{23}.

What is the total number of atoms in 2.00 mol of ammonia gas?

A 1.20×10^{24} **B** 2.41×10^{24} **C** 4.82×10^{24} **D** 2.89×10^{25}

题型 2：由方程式摩尔比和限量物求质量或气体体积

知识点 上一型已经把质量、mol、气体体积和粒子数连起来。反应计算多出的一步是：把一种物质的 **mol** 换成另一种物质的 **mol**。平衡方程式的系数不只给微小粒子的数量比；把所有粒子数同时放大同一个阿伏伽德罗常数后，也给出摩尔比。

平衡系数也给摩尔比；质量比仍要乘摩尔质量

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

N_2	H_2	NH_3
1mol	3mol	2mol
28g	6g	34g

系数1:3:2 → mol比1:3:2；质量比28:6:34，不是1:3:2。

反应式已给；把指定粒子数都放大同一个阿伏伽德罗常数后，比例仍不变。

例如，合成氨的方程式已给出：

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

它表示 1mol N_2恰好配 3mol H_2，生成 2mol NH_3。若 2mol N_2完全反应，就需要 6mol H_2，并生成 4mol NH_3。

方程式整体放大 2 倍时，三种物质的 mol 数都一起放大。

从已知物质换算到所求物质时，按方程式系数确定摩尔比：

$$n_{\text{所求}} = n_{\text{已知}} \times \frac{\text{所求物质的系数}}{\text{已知物质的系数}}$$

两个系数必须分别对应题中的那两种物质。若已知与所求的系数都是 2，比例 2：2 就是 1：1；不能只看产物前有 2，就直接把已知 mol 数乘 2。

把不同题给量先汇到mol，再跨方程式换物质

已知物质	得n	转成所求物质	得新n	最后回答
质量m：除M 气体体积V：除24 （V单位为dm^3）	→	n×所求系数 ÷已知系数	→	质量：乘M 气体体积：乘24 （得到dm^3）

使用气体体积关系时须满足r.t.p.；若用cm^3，24应换成24000。

中间的系数比只能作用于物质的量，不能直接让一种物质的 g 变成另一种的 dm^3。

例如，4.8g Mg 与足量氧气反应，方程式为：

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$

先求 Mg 的物质的量。Mg 的摩尔质量为 24g/mol，因此：

$$n(\mathrm{Mg}) = \frac{4.8}{24} = 0.20\,\mathrm{mol}$$

Mg 与 MgO 的系数同为 2，所以生成 MgO 的物质的量为：

$$n(\mathrm{MgO}) = 0.20 \times \frac{2}{2} = 0.20\,\mathrm{mol}$$

MgO 的摩尔质量为 40g/mol，故产物质量为：

$$m(\mathrm{MgO}) = 0.20 \times 40 = 8.0\,\mathrm{g}$$

若改问所需氧气，必须改用 O_2与 Mg 的系数比 1：2：

$$n(\mathrm{O_2}) = 0.20 \times \frac{1}{2} = 0.10\,\mathrm{mol}$$

在 r.t.p.下，对应的氧气体积为：

$$V(\mathrm{O_2}) = 0.10 \times 24 = 2.4\,\mathrm{dm^3}$$

每一步都写明正在计算哪种物质，就不会把产物质量与氧气体积混在一起。

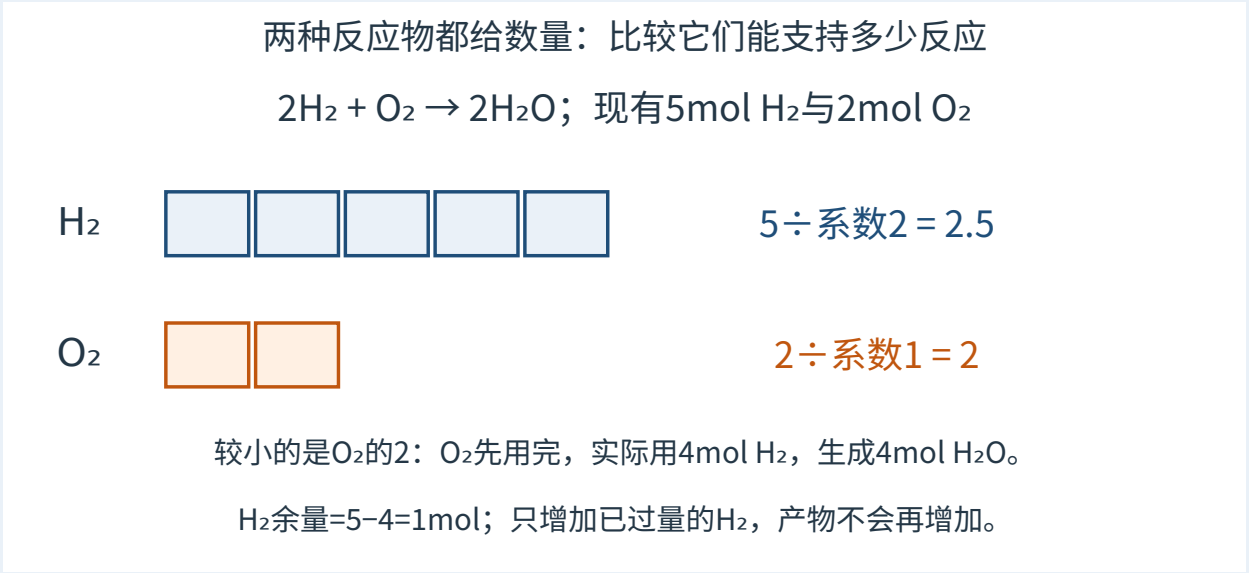
过量（**excess**）表示一种反应物比恰好反应所需的数量更多，足以让另一种反应物用完。题给“某酸过量”，就用另一种已知反应物决定产量；不是说这份过量酸的质量或 mol 数无限大，而是本题无需再担心它先耗尽。

若两种反应物都给出具体数量，就要找限量反应物（**limiting reactant**）：按反应比例先被用完、从而限制产物总量的反应物。原始质量较小或原始 mol 数较小的一方不一定限量，还要考虑各自系数。

分别计算下面的比值，再比较大小：

$$\frac{\text{该反应物的物质的量}}{\text{方程式中该反应物的系数}}$$

比值较小的一方支持的反应较少，会先耗尽。



每个小格代表 1mol 对应气体；比较 n÷各自系数，而不是只比原始 mol 数大小。

图中有 5mol $\mathrm{H_2}$和 2mol $\mathrm{O_2}$，反应式为：

$$2\mathrm{H_2} + \mathrm{O_2} \rightarrow 2\mathrm{H_2O}$$

先把两种反应物的 mol 数分别除以各自系数：

$$\mathrm{H_2}\text{：}\frac{5}{2} = 2.5 \quad ; \quad \mathrm{O_2}\text{：}\frac{2}{1} = 2$$

$\mathrm{O_2}$的比值较小，所以 $\mathrm{O_2}$限量。用完 2mol $\mathrm{O_2}$需要 4mol $\mathrm{H_2}$，并生成 4mol $\mathrm{H_2O}$。氢气的余量为：

$$n_{\text{剩余}}(\mathrm{H_2}) = 5 - 4 = 1\,\mathrm{mol}$$

只说“2 比 5 小”尚未考虑系数。在系数不同的另一反应里，直接比较原始 mol 数可能得出错误结论。

产物量算出后，可以反算所需的另一反应物，确认没有超过投料。过量反应物的剩余量按下式求，两项必须使用同一种单位：

$$\text{余量} = \text{最初量} - \text{实际消耗量}$$

限量物用完后，只继续增加另一种过量物不会增加产物。此时符合化学计量比的反应已经结束，并非还有限量物等待继续反应。

气体的体积比有时可以直接读系数，但条件要同时满足：各物质都为气体，而且在相同温度、压力下比较。此时 V 与 n 成正比，相同的摩尔体积因子约掉，才留下系数比。

只有同温同压的气体，体积比才能直接跟着系数走

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$$

摩尔比 1 : 3 : 2

r.t.p.体积比 24 : 72 : 48（dm^3）

不能把这一体积比例推广到固体、液体，或温度/压力不同的气体。

各气体都使用相同的 24dm³/mol 时，公因子约去，才留下系数比。

若题目一边是固体质量、一边是气体体积，或两份气体温压不同，就不能直接把数字按系数相乘。稳妥路线仍是先用各自正确关系到 mol，再按方程式换到目标物质。特别注意水 $H_2O(l)$的液体体积不适用 24dm³/mol；题目若问的是另一种气体，只计算那种气体即可，不把所有产物下标或系数都混进去。

怎么认 先把已知量换成 mol；若两种反应物都给数量，按 n÷系数找限量。用对应系数比求所需物质的 mol，再换成质量或 r.t.p.气体体积，最后检查单位和余量。

例题 1 (2025·May/June 0620/41 Q4(d)) · 3 级

(d) Ammonia is converted into ammonium sulfate, $(NH_4)_2SO_4$.

$$2NH_3(g) + H_2SO_4(aq) \rightarrow (NH_4)_2SO_4(s)$$

360 dm^3 of ammonia gas, measured at r.t.p., reacts with excess sulfuric acid.

Calculate the mass of ammonium sulfate produced, using the following steps.

- Calculate the number of moles of $NH_3(g)$ in 360 dm^3.

  One mole of any gas occupies 24 dm^3 at r.t.p.
- Calculate the number of moles of $(NH_4)_2SO_4$ produced.
- Calculate the mass of $(NH_4)_2SO_4$ produced.

  The M_r of $(NH_4)_2SO_4$ is 132.

解：

先求 **NH_3**的物质的量。 在 r.t.p.下， 1mol 气体占 24dm³，题给 360dm³ NH_3，因此：

$$n(NH_3) = \frac{360}{24} = 15\,\text{mol}$$

再按反应式换算。 所给反应为：

$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

硫酸过量，足以使 15mol NH_3反应完。每 2mol NH_3生成 1mol 硫酸铵，所以：

$$n((NH_4)_2SO_4) = 15 \times \frac{1}{2} = 7.5\,\text{mol}$$

最后求产物质量。 题给硫酸铵 M_r 为 132，对应摩尔质量 132g/mol：

$$m((NH_4)_2SO_4) = 7.5 \times 132 = 990\,\text{g}$$

三个要求的答案依次是 **15mol**、**7.5mol**、**990g**。气体的 24dm³/mol 不能用来求固态产物的体积。

例题 2 （2025·May/June 0620/42 Q4(c)(iii)） · 3 级

(iii) When $(NH_4)_2Cr_2O_7$ is heated the following reaction occurs.

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 \rightarrow Cr_2O_3 + 4H_2O + N_2$$

Calculate the volume of nitrogen gas produced at r.t.p., in cm^3, when 1.26 g of $(NH_4)_2Cr_2O_7$ is heated using the following steps.

The M_r of $(NH_4)_2Cr_2O_7$ is 252.

- Calculate the number of moles of $(NH_4)_2Cr_2O_7$ used.
- Determine the number of moles of N_2 formed.
- Calculate the volume of N_2 formed at r.t.p. in cm^3.

解：
第一步，题给$(NH_4)_2Cr_2O_7$的 M_r 为 252，对应摩尔质量 252g/mol。所用物质的量为：

$$n((NH_4)_2Cr_2O_7) = \frac{1.26}{252} = 0.00500\,\text{mol}$$

第二步，读取所给反应中的系数：

$(NH_4)_2Cr_2O_7 \rightarrow Cr_2O_3 + 4H_2O + N_2$

反应物与 N_2的系数都为 1，因此 **$n(N_2)$=0.00500mol**。系数 4 属于 H_2O，不能乘到 N_2上。
第三步，题目要求 r.t.p.下以 cm^3表示氮气体积，故使用 24000cm^3/mol：

$$V(N_2) = 0.00500 \times 24000 = 120\,\text{cm}^3$$

若先用 24dm^3/mol，会得到 0.120dm^3；再乘 1000 仍为 **120cm^3**，最终单位须符合题目要求。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/22 Q7） · 2 级

When 65 g of zinc reacts with 32 g of sulfur, 97 g of zinc sulfide is produced.

When 65 g of zinc reacts with 40 g of sulfur, the mass of zinc sulfide produced is still 97 g.

Which statement explains this observation?

A Some of the zinc sulfide evaporates.

B The reaction rate is slow.

C The reaction stops before it is complete.

D Zinc is the limiting reactant.

2. (2025·May/June 0620/43 Q4(d)) · 3 级

(d) Dilute sulfuric acid reacts with sodium hydrogencarbonate, $NaHCO_3$, to produce carbon dioxide gas, CO_2.

$$H_2SO_4(aq) + 2NaHCO_3(s) \rightarrow Na_2SO_4(aq) + 2CO_2(g) + 2H_2O(l)$$

4.20 g of $NaHCO_3$ is added to excess dilute sulfuric acid.

Calculate the volume of $CO_2(g)$, measured at r.t.p., produced using the following steps.

- Calculate the number of moles of $NaHCO_3$ in 4.20 g.

  The M_r of $NaHCO_3$ is 84.

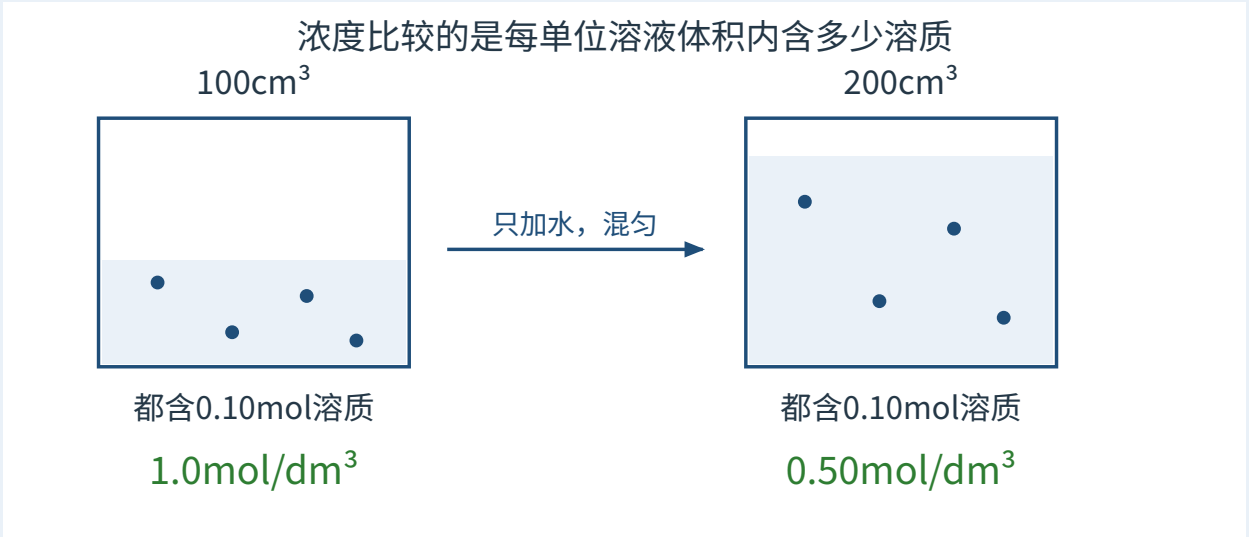
- Deduce the number of moles of $CO_2(g)$ that are produced.

- Calculate the volume of $CO_2(g)$ produced in cm^3.

  One mole of any gas occupies 24 000 cm^3 at r.t.p.

题型 3：联用浓度、体积和反应比处理溶液与滴定

知识点 溶质（**solute**）是被溶解的物质，溶剂（**solvent**）是溶解它的介质，二者组成溶液（**solution**）。例如盐水中的 NaCl 是溶质，水是溶剂；浓度所用体积是配成后的整份溶液体积，不是单独那份水的体积。浓度（**concentration**）说明每单位溶液体积里有多少溶质。相同溶质量加水稀释后，mol 数不变，但分布在更大体积中，每单位体积就含得更少。浓度与样品里溶质总量是两个量，不能只看到“浓度高”就认定整瓶溶质一定较多。



蓝点仅示意相同溶质量；稀释前后溶质 mol 数不变，最终溶液体积增大。

本课程使用两种浓度单位。**g/dm³**表示每 1dm³溶液中溶质的克数，因此：

$$\text{质量浓度} = \frac{m}{V}$$

这里 m 用 g，V 用 dm³。**mol/dm³**表示每 1dm³溶液中溶质的物质的量，所以摩尔浓度为：

$$c = \frac{n}{V}$$

若已知浓度与体积，要找溶质的物质的量；或已知物质的量与浓度，要找溶液体积，可分别改写为：

$$n = cV \quad ; \quad V = \frac{n}{c}$$

上述式中 n 用 mol，c 用 mol/dm³，V 必须用 dm³。题给 cm³时，先除以 1000。

同一溶液：g/dm³计克数，mol/dm³计物质的量



V都必须是整份溶液的体积（dm³）；不是仅加入水的体积。

同一溶液的质量浓度=摩尔浓度×摩尔质量；除法的单位也能帮助检查方向。

例如，取 250cm³、浓度为 0.200mol/dm³的 NaOH 溶液。体积先换为 0.250dm³，再求溶质的物质的量：

$$n(\mathrm{NaOH}) = cV = 0.200 \times 0.250 = 0.0500\,\mathrm{mol}$$

NaOH 的摩尔质量为 40g/mol，来自 Na、O、H 的相对质量之和 23+16+1。溶质质量为：

$$m(\mathrm{NaOH}) = 0.0500 \times 40 = 2.00\,\mathrm{g}$$

这 2.00g 溶质分布在 0.250dm³溶液中，所以质量浓度为：

$$\text{质量浓度} = \frac{2.00}{0.250} = 8.00\,\mathrm{g/dm^3}$$

也可由摩尔浓度直接换算：

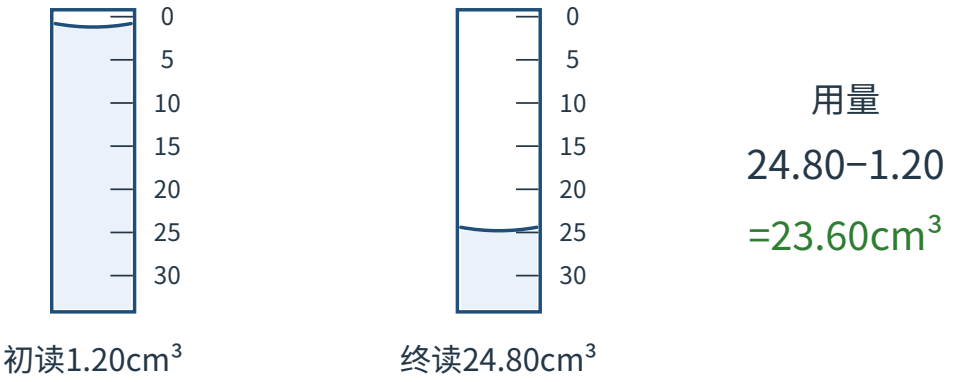
$$\text{质量浓度} = cM = 0.200 \times 40 = 8.00\,\mathrm{g/dm^3}$$

两种浓度描述同一份溶液。乘摩尔质量，只是把每单位体积中的 mol 数换成克数。

滴定（**titration**）用一份已知浓度溶液，测出与另一份溶液恰好反应所需的体积，从而计算未知量。中和（**neutralisation**）中，酸提供的 H^+与碱提供的 OH^-生成 H_2O；但一份酸或碱可能提供不止一个 H^+或 OH^-，必须先配平完整方程式，再用它的系数确定 mol 比。

实际实验常从滴定管读出两次数值。刻度向下增大，因为它表示已经送出的体积；终读数减初读数才是本次实际加入体积。读凹形弯液面时取最低处，并使视线水平，避免从上方或下方斜看造成读数误差。

滴定管读数向下增加：实际用量=终读数−初读数



弯液面凹形时读最低处，并让视线与读数水平；两次读同一刻度含义。

图中两次读数已标明，细刻度略去；液面下降、读数增大，差值才是实际加入体积。

图中 23.60cm³应先换成 0.02360dm³，再与 mol/dm³浓度相乘。若题已经直接给“required volume”或“titre（滴定体积）”，这就是用量，不应再无端相减。若题给多次可靠、彼此接近的滴定值并要求平均，先按所给有效实验求平均滴定体积，再进入计算；粗滴或明显不一致的数据要按题示决定是否采用。

例如，20.0cm³、浓度为 0.150mol/dm³的 H_2SO_4，恰好与 0.200mol/dm³的 NaOH 溶液反应。要求所需 NaOH 溶液的体积，先看平衡方程式：

$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$

将酸的体积换成 0.0200dm³，再用浓度乘体积，求酸的物质的量：

$$n(H_2SO_4) = 0.150 \times 0.0200 = 0.00300\,\text{mol}$$

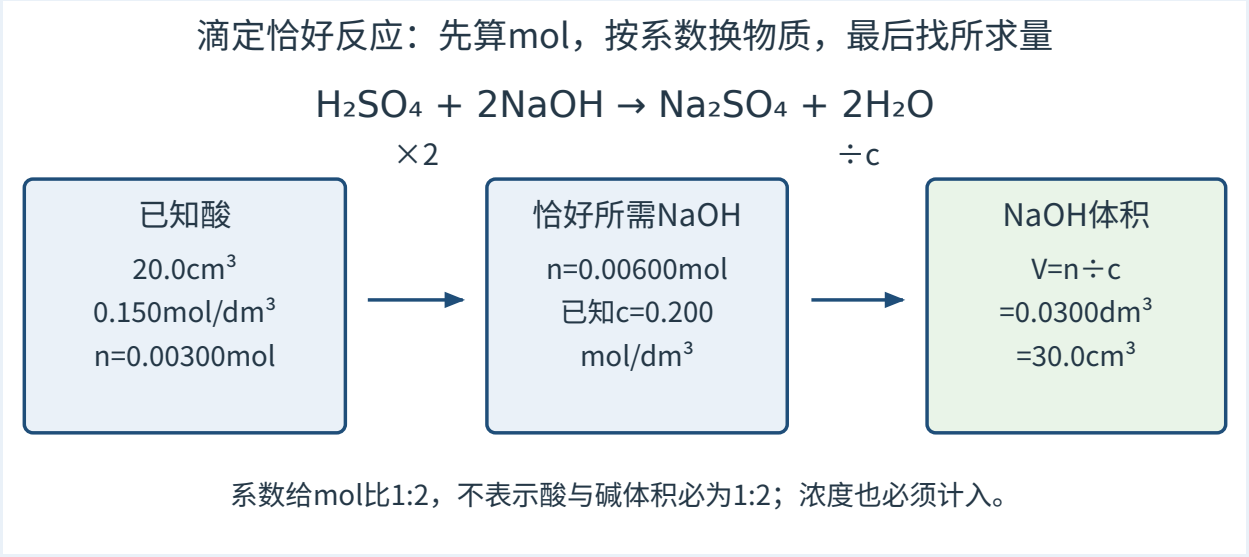
酸与 NaOH 的系数比为 1∶2，所以恰好需要：

$$n(NaOH) = 2 \times 0.00300 = 0.00600\,\text{mol}$$

最后用 NaOH 的物质的量除以它自己的浓度：

$$V(NaOH) = \frac{n}{c} = \frac{0.00600}{0.200} = 0.0300\,\text{dm}^3$$

换回题目常用的 cm³，需要 NaOH 溶液 30.0cm³。



滴定体积计算；当问题改问浓度时，最后改用 c=n÷V，前面的配比不变。

换成 $Ba(OH)_2$与 HNO_3中和时，一份 $Ba(OH)_2$提供两个 OH^-，每份 HNO_3提供一个 H^+，因此硝酸前需系数 2。

计算时仍先用已知浓度和体积求 mol，再按系数换成另一物质的 mol；若求浓度，最后除以另一物质自己的体积。所求是混合前某种溶液的浓度，不能把两份液体体积相加当成它的原体积。

若同时给固体质量和酸溶液的浓度、体积，不要默认固体或酸一定过量。先分别求物质的量：

$$n_{\text{固体}} = \frac{m}{M} \quad ; \quad n_{\text{溶质}} = cV$$

再将每种反应物的 mol 数除以各自系数，比较后找限量物，最后由限量物求气体等产物。两种输入只是换到 mol 的路线不同，进入方程式后遵守同一摩尔比。

怎么认 先确定所问是溶质质量、mol、浓度还是溶液体积；把 cm^3转 dm^3。滴定先得实际用量，用 cV 到 mol，再按配平方程式换另一物质；两种反应物都定量时仍须判断限量。

例题 1 （2025·May/June 0620/23 Q9） · 3 级

Aqueous barium hydroxide, $Ba(OH)_2$, reacts with dilute nitric acid, HNO_3. The products are aqueous barium nitrate, $Ba(NO_3)_2$, and water.

In a titration, 15.2 cm^3 of 0.75 mol/dm^3 aqueous barium hydroxide is required to neutralise 20.0 cm^3 of dilute nitric acid.

What is the concentration of the nitric acid?

A 0.29 mol/dm^3

B 0.57 mol/dm^3

C 1.14 mol/dm^3

D 2.03 mol/dm^3

解：
先配平题给中和反应：
$Ba(OH)_2 + 2HNO_3 \rightarrow Ba(NO_3)_2 + 2H_2O$
一份 $Ba(OH)_2$提供两个 OH^-，要用两份 HNO_3中和，因此摩尔比为 1：2。先将 15.2cm^3换为 0.0152dm^3，求钡碱的物质的量：
$n(Ba(OH)_2) = 0.75 \times 0.0152 = 0.0114\,mol$
恰好中和所需的硝酸为：
$n(HNO_3) = 2 \times 0.0114 = 0.0228\,mol$
这些硝酸在 20.0cm^3，即 0.0200dm^3溶液中，所以硝酸浓度为：
$$c(HNO_3) = \frac{0.0228}{0.0200} = 1.14\,mol/dm^3$$
所以选 **C**。分母是硝酸自己的体积，不是混合后的总体积。若漏掉系数 2，会错误得到 0.57mol/dm^3。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/22 Q9） · 3 级

The concentration of a solution of aqueous sodium hydroxide is 0.50 mol/dm^3.

Which mass of sodium hydroxide is used to make 500 cm^3 of this solution?

A 10 g **B** 20 g **C** 40 g **D** 160 g

2. （2025·May/June 0620/21 Q9） · 3 级

Calcium carbonate reacts with dilute hydrochloric acid.

The equation for the reaction is shown.

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

1.00 g of calcium carbonate is added to 50.0 cm^3 of 0.0500 mol/dm^3 hydrochloric acid.

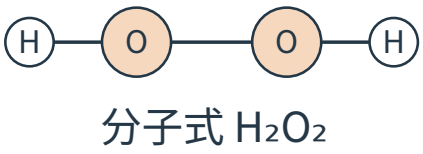
Which volume of carbon dioxide is made in this reaction?

A 30 cm^3 **B** 60 cm^3 **C** 120 cm^3 **D** 240 cm^3

题型 4：由组成求最简式并进一步求分子式

知识点 最简式（**empirical formula**）表示化合物中不同原子或离子的最简整数比。分子式给一个实际分子中各类原子的实际个数。两者可能相同，也可能相差一个整数倍率；最简式本身不表示实际分子有多大。

分子式给实际个数；最简式只保留最简整数比



分子式 H_2O_2

只比较比例

H:O = 2:2 = 1:1

最简式 HO

HO在这里表示1:1的比例，不声称过氧化氢中存在独立的HO分子。

把一个真实 H_2O_2 分子数完整，再约简 H:O 比例；两种式子的用途不同。

例如乙烷 C_2H_6 的原子数比 2:6 约成 1:3，最简式为 CH_3；这不是说乙烷分子只有一个 C 和三个 H。H_2O 的 2:1 已经最简，所以分子式与最简式都是 H_2O。离子化合物如 NaCl 用晶格中 Na^+ 与 Cl^- 的最简比 1:1 表示，没有另一个“独立 NaCl 分子”需要求大小。

给了分子式时，逐种数完，再把所有下标同除最大公因数。$C_6H_{12}O_6$ 中 6:12:6 同除 6 得到 1:2:1，最简式 CH_2O。$C_3H_6O_2$ 虽然 C 与 H 都能除 3，但 O 不能除 3，三个数没有共同因子，因此最简式仍是 $C_3H_6O_2$；不能各对各地分开约分。

给了组成质量时，先把质量比变成数量比。相同质量的 C 与 H 包含的原子数不同，因为一个 C 原子的平均质量约为 H 的 12 倍。要得到原子数量比例，必须先将每种元素质量除以对应原子的摩尔质量，也就是数值上除以它的 A_r。

质量比先除各自A_r，才能变成原子数量比

C	H	O
30.0g ÷ 12g/mol	4.00g ÷ 1g/mol	16.0g ÷ 16g/mol
2.50mol	4.00mol	1.00mol

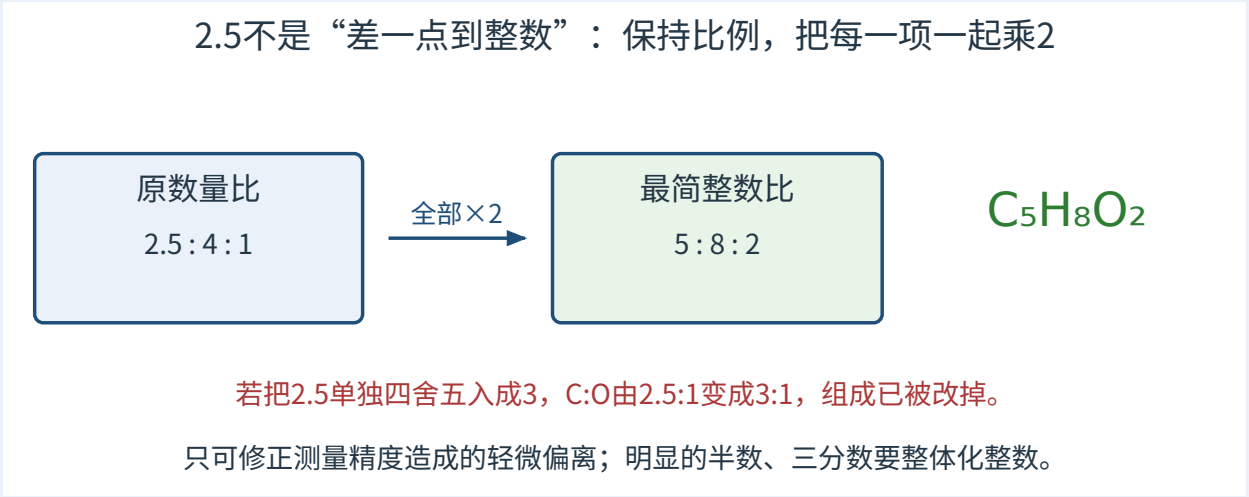
数量比C:H:O=2.5:4:1，而不是质量比30:4:16。

不同原子平均质量不同；同质量不表示有同样多的原子。

样品含 C、H、O 的质量已给；先分别除以相应原子的摩尔质量。

若给的是质量百分比，可假设取 **100g** 样品，把百分数分别变成各元素的 g 数。这不是声称原实验一定用了 100g，而是整体放大或缩小样品不会改变元素比例。例如 40.0%C、6.7%H、53.3%O 就可按 40.0g、6.7g、53.3g 开始。若某元素的质量由总质量减去其他元素得到，要先把这一步完成，再逐项除 A_r。

接下来，把得到的各元素 mol 数全部除以其中最小的一个，得到以 1 为最小项的比。若结果接近 1、2、3 等整数，轻微偏差可来自题给数据的精度；但 2.5 明显是一个半数，不应随意四舍五入为 3。要保持同一个组成比例，并让每一项成为整数，就把所有项同乘 2；出现 1/3 或 2/3 一类则考虑整体乘 3。



沿用上一图真实算出的 2.5:4:1；乘 2 后每个比例都保持。

例如，一份样品含 30.0g C、4.00g H、16.0g O。先把每种元素的质量除以相应原子的摩尔质量：

$$n(\mathrm{C}) = \frac{30.0}{12} = 2.50\,\mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{H}) = \frac{4.00}{1} = 4.00\,\mathrm{mol}$$

$$n(\mathrm{O}) = \frac{16.0}{16} = 1.00\,\mathrm{mol}$$

三者的数量比为 2.50∶4.00∶1.00。同除最小值 1.00 后，仍是 2.5∶4∶1；要让三项都成为整数，应整体乘 2：

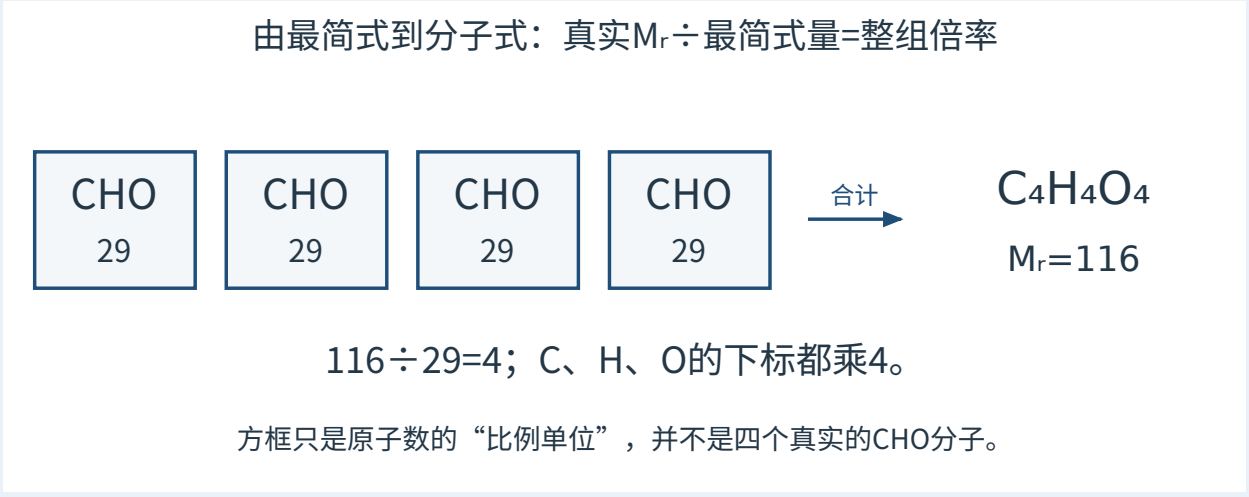
$$\mathrm{C{:}H{:}O} = 2.5 : 4 : 1 = 5 : 8 : 2$$

三项没有共同因子，所以最简式为 $C_5H_8O_2$。若只把 2.5 改成 3，就把 C∶O 改成 3∶1，不再符合原数据。

从最简式求分子式，还需要实际的相对分子质量。 先算最简式的相对式量，再求整数倍率：

$$k = \frac{\text{实际分子的 } M_r}{\text{最简式的相对式量}}$$

最后把最简式中的全部下标乘 k。k 表示一个实际分子含有几组这样的最简比，不能随意加到式子末尾。



这里实际分子的 M_r 已经给出；单有最简式不能确定这个倍率。

例如，最简式是 CH_2O，先把一个最简比中各原子的相对质量相加：

$$\text{最简式量} = 12 + 2 \times 1 + 16 = 30$$

若实际分子的 M_r=90，倍率就是：

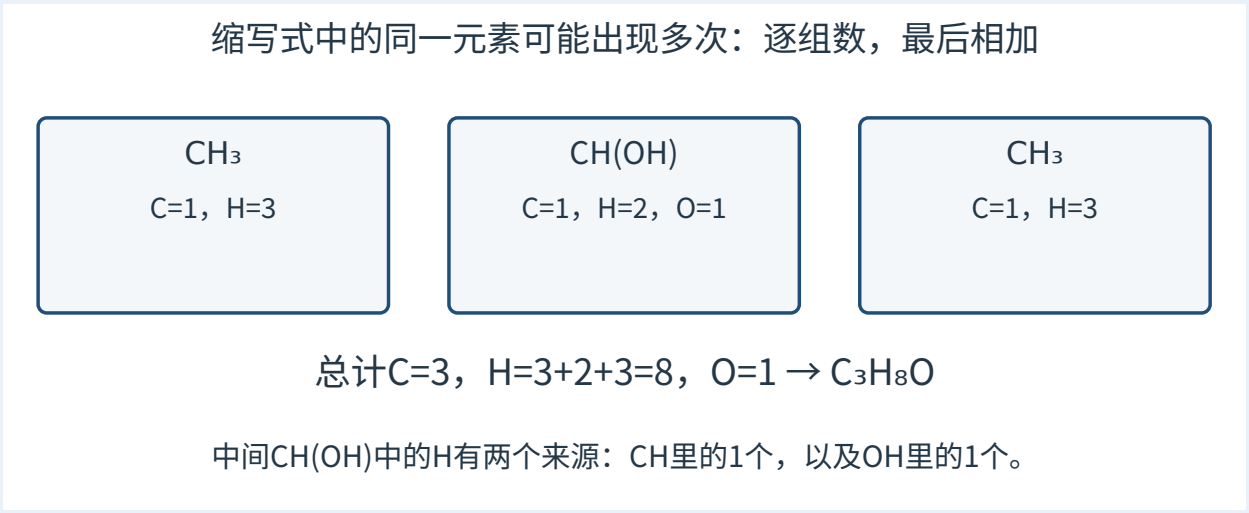
$$k = \frac{90}{30} = 3$$

CH_2O 中三个下标都乘 3，得到分子式 $C_3H_6O_3$。再核对相对分子质量：

$$M_{r(C_3H_6O_3)} = 3 \times 12 + 6 \times 1 + 3 \times 16 = 90$$

原子比 3∶6∶3 仍可约回 1∶2∶1。若只给 CH_2O，未给 M_r 或其他足够信息，就不能唯一确定分子式。

一些题目给缩写结构式，例如 $CH_3CH(OH)CH_3$。它让相同元素分散写在不同位置，数原子时应逐组展开，最后汇总；这一步只靠题给符号，不需要先学习有机物名称或反应。



缩写式已完整给出；此处只数元素，不要求先学有机物命名或反应。

图中左侧 CH_3给 1C、3H，中间 CH(OH)给 1C、1H，再加 OH 中的 1O、1H，右侧 CH_3再给 1C、3H；合计 C_3H_8O。OH、COOH 里的 H 也属于整个分子，不能只数写成 H_2或 H_3的地方。若题列出几个分子并问“谁的最简式相同”，就对每个式子独立做“数总原子→整体约简”，最后比较完整的最简式，不只比较某一种元素的个数。

怎么认 质量组成先除 A_r 成数量比，再同除最小值；分数比例整体化整数后写最简式。求分子式还需真实 M_r 确定整组倍率；缩写结构式先把各处同元素数全。

例题 1 (2025·May/June 0620/41 Q5(e)) · 3 级

(e) An organic compound has the following composition by mass:

C, 64.87%; H, 13.51%; O, 21.62%.

Calculate the empirical formula of the compound.

解：百分比描述的是质量，不能直接把 64.87、13.51、21.62 写成原子下标。设取 100g 样品，则 C、H、O 分别为 64.87g、13.51g、21.62g；这只方便换算比例，不改变组成。

元素	C	H	O
质量/g	64.87	13.51	21.62
质量÷A_r	64.87÷12	13.51÷1	21.62÷16
相应 mol 数	5.4058…	13.51	1.35125
都除以 1.35125	4.000…	9.998…	1

在题给测量精度下，原子数量比为 4:10:1，已经没有能把三者同时约小的整数因子，所以最简式是 $\mathbf{C_4H_{10}O}$。最后的 O 只有 1 个，式中不写下标 1；不要只把 H:O 单独约小而破坏 C:H:O 整体比例。

例题 2 （2025·October/November 0620/43 Q6(b)） · 2 级

(b) Organic compound **R** has the empirical formula CHO and a relative molecular mass of 116.

Determine the molecular formula of compound **R**.

解：
最简式 CHO 说明 C：H：O=1：1：1。先求这一最简比的相对式量：
$$\text{最简式量} = 12 + 1 + 16 = 29$$
实际分子的 M_r 为 116，所以倍率为：
$$k = \frac{116}{29} = 4$$
把 CHO 中三个下标 1 全部乘 4，得到分子式 $\mathbf{C_4H_4O_4}$。回查相对分子质量：
$$M_{r(C_4H_4O_4)} = 4 \times 12 + 4 \times 1 + 4 \times 16 = 116$$
原子比 4：4：4 仍能约为 1：1：1。倍率必须作用于全部元素，不能只乘其中一个。

针对练习

1. （2024·May/June 0620/41 Q7(a)(ii)） · 2 级

(ii) Compound **B** has the empirical formula CH_2 and a relative molecular mass of 70.

Determine the molecular formula of compound **B**.

2. （2025·May/June 0620/21 Q8） · 3 级

Three organic molecules are described.

- The molecular formula of propanoic acid is CH_3CH_2COOH.
- The molecular formula of lactic acid is $CH_3CH(OH)COOH$.
- A glucose molecule consists of 6 carbon atoms, 6 oxygen atoms and 12 hydrogen atoms only.

Which molecules have the same empirical formula?

A propanoic acid, lactic acid and glucose

B propanoic acid and lactic acid only

C propanoic acid and glucose only

D lactic acid and glucose only

3. （2025·May/June 0620/43 Q5(e)） · 3 级

(e) An organic compound has the following composition by mass:

C, 58.82%; H, 9.80%; O, 31.38%.

Calculate the empirical formula of the compound.

4. （2025·October/November 0620/22 Q11） · 3 级

A compound contains 40.0% carbon, 6.7% hydrogen and 53.3% oxygen only.

The relative molecular mass, M_r, of the compound is 60.

Which row shows the empirical formula and the molecular formula of the compound?

	empirical formula	molecular formula
A	CH_2O	CH_2O
B	CH_2O	$C_2H_4O_2$
C	$C_3H_7O_3$	$C_3H_7O_3$
D	C_3H_8O	C_3H_8O

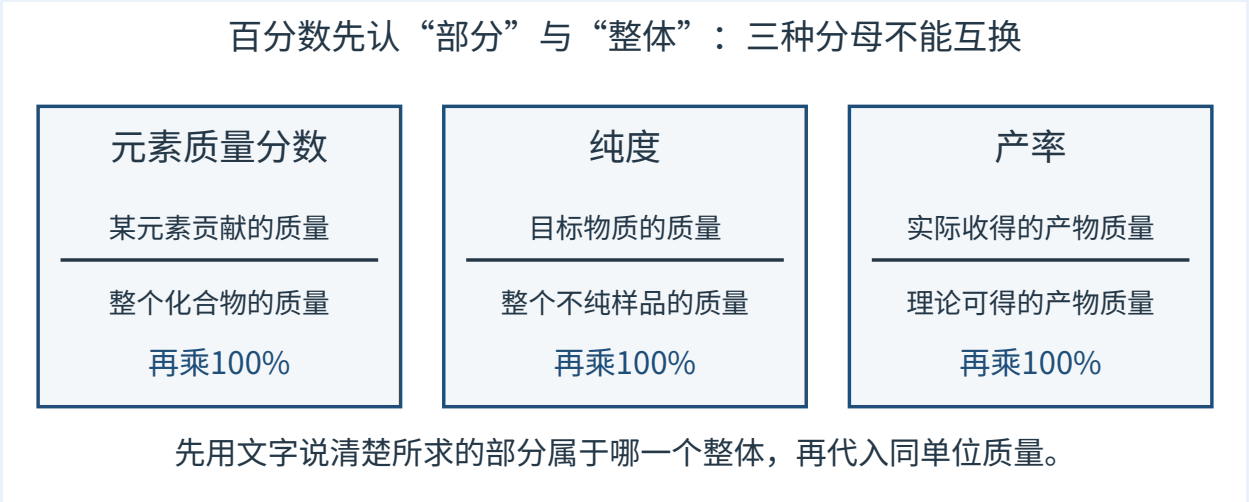
题型 5：把组成、纯度和产率写成对应的百分比

知识点

百分比表示“每 100 份整体中占多少份”。先用部分除以对应整体，再乘 100%。例如 2g 在 10g 中所占的百分比为：

$$\frac{2}{10}\times 100\% = 20\%$$

同一种质量单位在除法中相消，所以百分数本身不带 g。若一边用 kg、另一边用 g，必须先统一单位。化学里的三种常见百分比外表相似，但“部分”和“整体”不同。元素质量分数比较一种元素在化合物中贡献的质量与整个化合物质量；纯度（**percentage purity**）比较目标物质与包含杂质的整份样品；产率（**percentage yield**）比较实际得到的产物量与按反应式本来最多可得的理论量。先说清分母是谁，才开始代数。

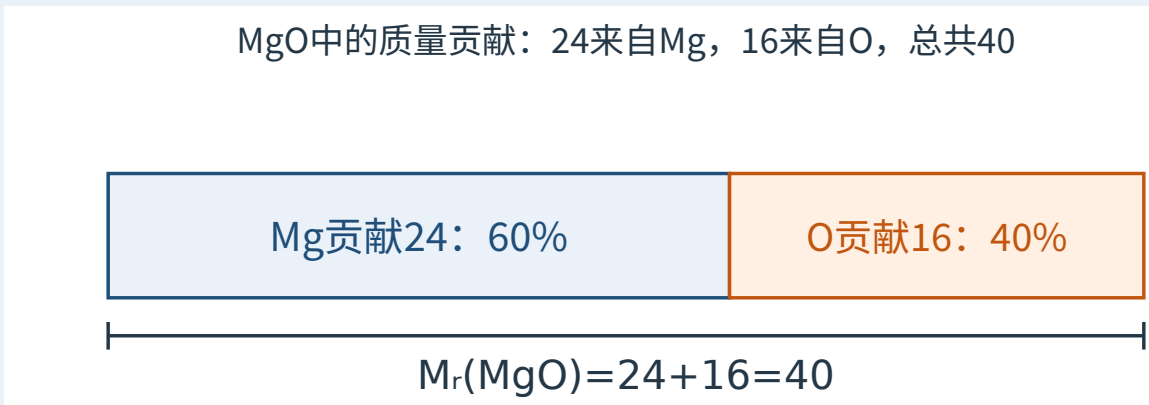


三种百分比虽然都做除法，所比较的对象不同；每个分式中的分子和分母使用相同质量单位。

一、由化学式求元素质量分数。化学式给出原子数，周期表的 A_r 给出每类原子的相对质量。某元素的总质量贡献等于它的原子个数乘 A_r；整个式子的质量贡献为 M_r。因此：

$$\text{元素质量百分比} = \frac{\text{该元素的总质量贡献}}{M_r}\times 100\%$$

这里用的是相对质量，不写 g，也不把原子数比当成质量比。



横条按 24:16 的质量贡献精确分段，不表示 MgO 是两种单质的混合物。

例如，MgO 中镁与氧的 A_r 分别为 24 和 16，因此：

$$M_{r(\mathrm{MgO})} = 24 + 16 = 40$$

每个式量中镁贡献 24，氧贡献 16。分别除以整体 40，得到：

$$\text{镁的质量百分比} = \frac{24}{40} \times 100\% = 60\%$$

$$\text{氧的质量百分比} = \frac{16}{40} \times 100\% = 40\%$$

两者合计 100%。Mg：O 的原子数虽为 1：1，质量并非各占一半，因为两种原子的质量不同。

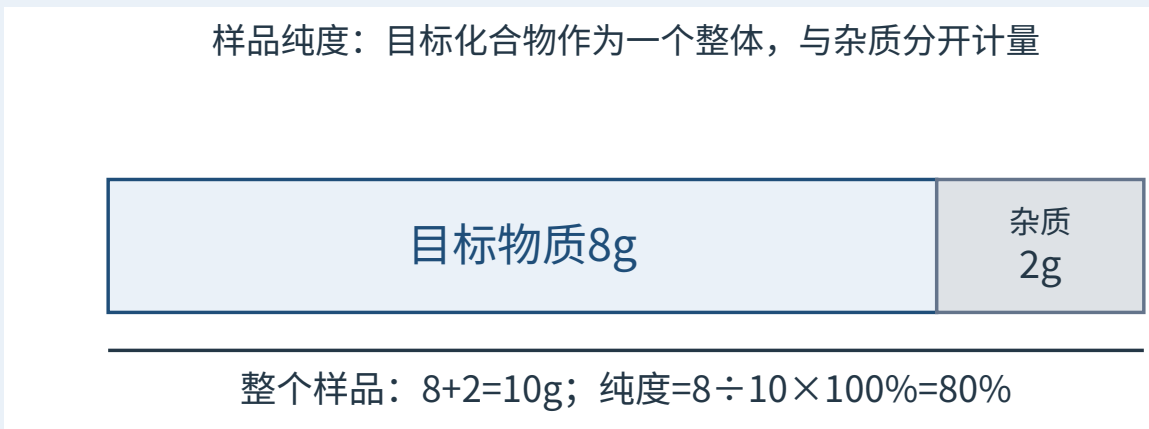
若给整份化合物质量，先求元素所占的质量比例，再乘样品质量。例如 200g 纯 MgO 中，镁元素的质量为：

$$m(\text{镁元素}) = 200 \times \frac{24}{40} = 120\,\mathrm{g}$$

这是结合于 MgO 中的镁元素质量，不表示固体里另混着 120g 镁粉。式子里同种元素有多个原子时，先乘个数；例如 Fe_2O_3中铁的质量贡献为 2×56，不能只取一个 56。

二、样品纯度。纯化合物本身可以含几种元素；它与其他物质混合时，纯度比较的是整种目标化合物在样品中占多少。例如不纯的盐含目标盐与杂质，应取目标盐的质量，不取盐内部某一种元素的质量：

$$\text{纯度} = \frac{\text{目标物质质量}}{\text{原不纯样品总质量}} \times 100\%$$



横条按样品中 8g 目标物质与 2g 杂质的实际比例绘制；目标物质本身可以是纯化合物。

例如，10.0g 样品含 8.00g 目标盐，其余 2.00g 是杂质，纯度为：

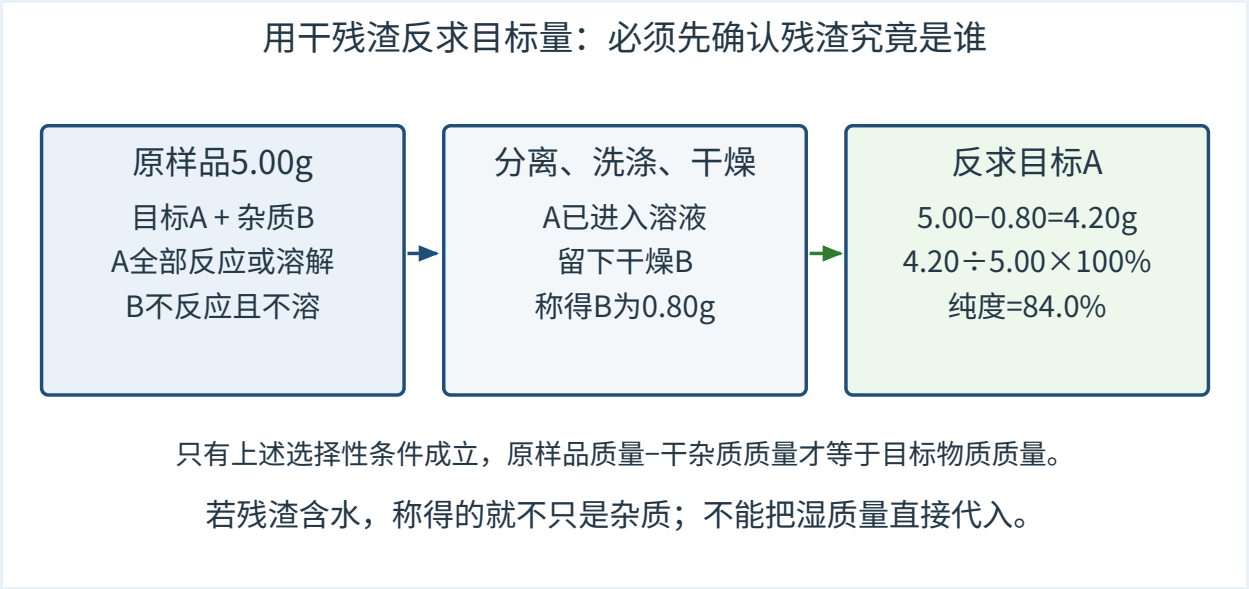
$$\text{纯度} = \frac{8.00}{10.0} \times 100\% = 80.0\%$$

若给的是杂质质量，要先用总质量减去杂质。杂质所占的 20% 不能写成目标盐的纯度。

反过来，已知纯度与总质量时，先把百分数化成比例，再求目标物质量：

$$\text{目标物质质量} = \text{样品总质量} \times \frac{\text{纯度}}{100\%}$$

有些题不直接称目标物，而让它反应或溶解，再称留下的杂质。此时必须读条件：目标物全部进入反应或溶液，杂质不反应且不溶，留下的固体已洗净、干燥。只有这样，干残渣才代表原样品里的那部分杂质，原总质量减去干残渣才是目标物原来的质量。residue 意为过滤后留下的残渣；dry 说明称量中不应再混入水的质量。



箭头表示样品处理及由干杂质质量反算目标物质的步骤；A、B 是物质代号。

图中 5.00g 原样品处理后剩 0.80g 干杂质，目标物的质量为：

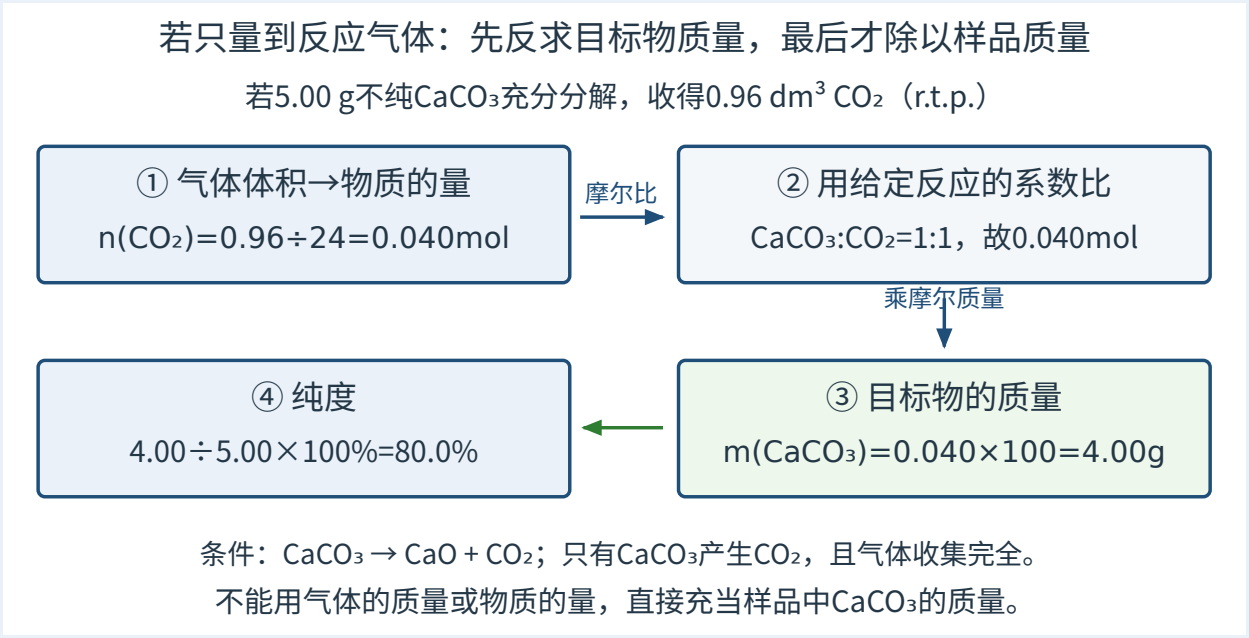
$$m_{\text{目标物}} = 5.00 - 0.80 = 4.20\,\text{g}$$

再与原样品总质量比较：

$$\text{纯度} = \frac{4.20}{5.00} \times 100\% = 84.0\%$$

若杂质也溶解，或目标物还有一部分没反应，减去干残渣就不再只得到目标物质量。若残渣未干，水会使残渣偏重，从而把目标物质量和纯度算得偏小。实验条件决定了这个减法是否成立。

另一种题只量到反应产生的气体。这时先用第 3.3 节已学的路线：气体体积→气体 mol→按方程式系数换目标物 mol→乘目标物摩尔质量得到 g，最后才除以不纯样品总质量。气体的质量、气体的 mol 和目标物的质量是三个不同数量。



图中箭头依次为体积换 mol、按系数换目标物 mol、乘摩尔质量以及代入纯度；所给条件明确杂质不产生气体。

例如，5.00g 样品中只有 $CaCO_3$产生 CO_2，且反应与收集完全。所给反应是：

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

收得的 CO_2为 r.t.p.下 0.96dm³。先将气体体积换成物质的量：

$$n(CO_2) = \frac{0.96}{24} = 0.040\,\text{mol}$$

$CaCO_3$与 CO_2的系数比为 1：1，所以反应的 $CaCO_3$也是 0.040mol。它的摩尔质量为 100g/mol，目标物质量为：

$$m(CaCO_3) = 0.040 \times 100 = 4.00\,\text{g}$$

最后才除以原样品质量：

$$\text{纯度} = \frac{4.00}{5.00} \times 100\% = 80.0\%$$

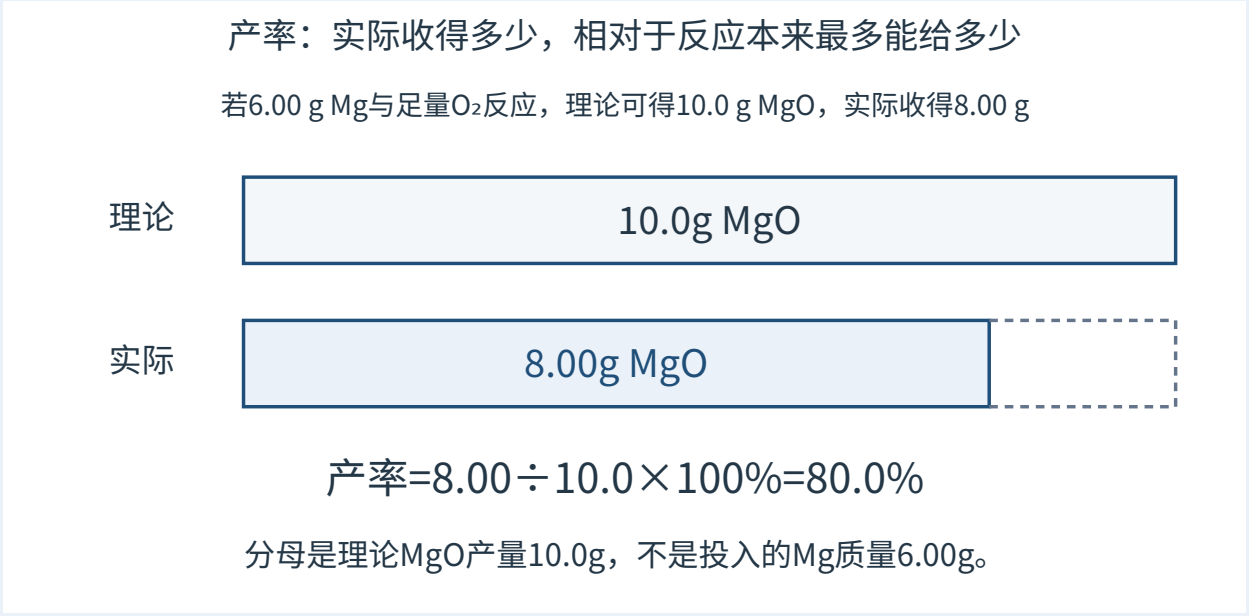
若方程式系数比变成2：1，换算目标物 mol 数的步骤也要相应改变，不能总把气体 mol 数直接照抄过去。

三、实际产量与理论产量。按投料、限制反应物和配平方程式，在给定反应完全进行且产物都收得的条件下，能够得到的产物量叫理论产量（**theoretical yield**）。实验实际收集并测得的量叫实际产量（**actual yield**）。实际量可能较小，例如反应没有完成、发生别的反应，或转移、过滤时有产物损失；不能先假定原子凭空消失。

百分产率比较实际产量与理论产量：

$$\text{百分产率} = \frac{\text{实际产量}}{\text{理论产量}} \times 100\%$$

分子和分母必须是同一种产物、相同单位。理论产量要先由方程式求得，不能用实际产物质量直接除以投入反应物质量，因为反应可能加入或放出其他物质的质量。



两条质量轴使用同一比例；虚线是尚未收得的理论份额，不断言所有差额都是已生成产物的机械损失。

例如，6.00g Mg 与足量氧气反应，实际收得 8.00g MgO。平衡方程式为：

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$

先求 Mg 的物质的量：

$$n(\mathrm{Mg}) = \frac{6.00}{24} = 0.250\,\mathrm{mol}$$

Mg 与 MgO 的系数比是 1∶1，因此理论上应生成 0.250mol MgO。用 MgO 的摩尔质量 40g/mol 求理论产物质量：

$$m_{\text{理论}}(\mathrm{MgO}) = 0.250 \times 40 = 10.0\,\mathrm{g}$$

实际收得 8.00g，与理论 10.0g 比较，得到：

$$\textbf{产率} = \frac{8.00}{10.0} \times 100\% = 80.0\%$$

若用 8.00÷6.00，就是把产物和反应物两种不同物质相比，得到的数不是产率。

理论产量若已给出，可以直接计算产率。若同时给两个反应物的量，先比较各自的 mol 数与方程式系数之比，找出限制反应物，再求理论产物量；excess 表示另一反应物足量。

若给产率和理论产量，求实际产量：

$$\textbf{实际产量} = \textbf{理论产量} \times \frac{\textbf{产率}}{100\%}$$

若给实际产量和产率，则反求理论产量：

$$\textbf{理论产量} = \frac{\textbf{实际产量}}{\frac{\textbf{产率}}{100\%}}$$

中间计算保留足够位数，最后再按题目要求取近似值。

最后回查对象和范围。元素质量分数的分母是化合物，纯度的分母是原样品，产率的分母是理论产物；所选质量都应对应题给条件。纯度和元素质量分数应在 0% 至 100% 之间；若实验算出产率超过 100%，先检查产物是否含水或杂质、称量或分母是否用错，不把它解释成创造了更多原子。

怎么认 先写出分母的中文名称：整个化合物、原样品，还是理论产物。元素组成用下标×A_r；纯度先找目标物质量；产率先按方程式求理论量，再除。

例题 1 （2024·February/March 0620/42 Q1(b)(i)） · 2 级

(i) Calculate the percentage by mass of iron in iron(III) oxide, Fe_2O_3.

解：
先确定“部分”和“整体”：分子是 2 个 Fe 的质量贡献，分母是整个 Fe_2O_3的相对式量。周期表给 A_r(Fe)=56、A_r(O)=16，所以铁的贡献为：

$$2 \times 56 = 112$$

整个氧化铁(III)的相对式量为：

$$M_{r(Fe_2O_3)} = 2 \times 56 + 3 \times 16 = 160$$

因此铁的质量百分比为：

$$\frac{112}{160} \times 100\% = 70.0\%$$

答案为 **70.0%**。不能用 2÷5 算出 40%，因为 2∶3 是原子个数比；也不能只用 56 作分子，因为每一份 Fe_2O_3 含 2 个 Fe。

例题 2 （2008·May/June 0620/02 Q5(f)） · 1 级

(f) A sample of 20 g of impure magnesium sulphate contains 19.5 g of magnesium sulphate.
Calculate the percentage purity of the magnesium sulphate.

解：题给的 20g 是整份不纯样品，19.5g 是其中的目标物质硫酸镁 magnesium sulfate。两个质量都用 g，不需要换单位，也不需要先用反应式。
以目标硫酸镁质量为分子，原样品总质量为分母：

$$\text{纯度} = \frac{19.5}{20} \times 100\% = 97.5\%$$

回查：杂质质量为 20−19.5=0.5g，占 2.5%；目标盐 97.5% 与杂质 2.5% 合计 100%。不能把这 2.5% 误当作硫酸镁纯度。

例题 3 （2024·October/November 0620/21 Q10） · 3 级

Calcium carbonate is heated. Calcium oxide and carbon dioxide gas are formed.

The equation for the reaction is shown.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

225 kg of calcium carbonate is heated until there is no further change in mass.

The yield of calcium oxide is 85 kg.

What is the percentage yield?

A 37.8% **B** 47.2% **C** 67.5% **D** 85.0%

解：
所求是 CaO 产率，分母必须是理论 **CaO** 质量，不能直接使用投入的 225kg $CaCO_3$。先求相对式量：

$$M_{r(CaCO_3)} = 40 + 12 + 3 \times 16 = 100$$

$$M_{r(CaO)} = 40 + 16 = 56$$

题给反应为：

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

$CaCO_3$与 CaO 的系数比为 1：1，每 100 份质量的 $CaCO_3$理论可得 56 份质量的 CaO。因此：

$$m_{理论}(CaO) = 225 \times \frac{56}{100} = 126\,kg$$

这里按质量比例计算，两种质量都用 kg 即可。实际得到 85kg CaO，产率为：

$$产率 = \frac{85}{126} \times 100\% = 67.460...\%$$

取 **67.5%**，选 **C**。A 的 37.8% 来自 85÷225，分母用错了物质；D 把 85kg 的数值直接当成 85%，未与理论量比较。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q9） · 2 级

The relative formula mass, M_r, of calcium carbonate, $CaCO_3$, is 100.

What is the mass of carbon present in 100 g of calcium carbonate?

A 12 g **B** 36 g **C** 40 g **D** 60 g

2. （2024·October/November 0620/43 Q3(a)） · 2 级

(a) Tin(IV) oxide has the formula SnO_2.

The relative formula mass, M_r, of SnO_2 is 151.

Calculate the percentage by mass of tin in SnO_2.

3. （2025·October/November 0620/62 Q1(b)(iii)） · 2 级

Eggshells are made from a mixture of calcium carbonate and other insoluble substances.

Calcium carbonate reacts with dilute hydrochloric acid. The equation for the reaction is shown.

$$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

The other substances in eggshells do **not** react with dilute hydrochloric acid.

A student finds the percentage by mass of calcium carbonate in an eggshell.

Fig. 1.1 shows the first three steps of the method the student uses.

step 1
Grind the eggshell into small pieces.

step 2
Find the mass of the small pieces of eggshell.

step 3
Add the small pieces of eggshell to excess dilute hydrochloric acid and warm the mixture while stirring it with a glass rod.

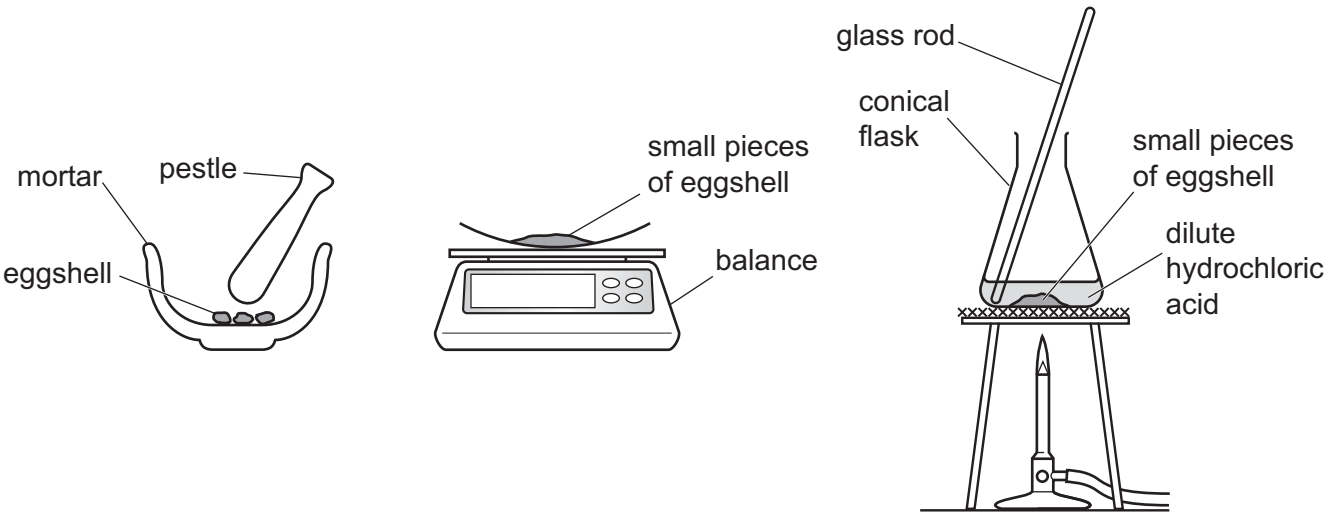


Fig. 1.1

(b) After **step 3**, the student filters the mixture to obtain the unreacted solid left from the eggshell.

(iii) After washing the residue, the student dries the residue in an oven.
The student then measures the mass of the dry residue.

The masses the student records are shown in Table 1.1.

Table 1.1

mass of small pieces of eggshell / g	2.00
mass of dry residue after filtration / g	0.11

Use the data in Table 1.1 to calculate the percentage by mass of calcium carbonate in the eggshell.

percentage of calcium carbonate =

4. （2010·May/June 0620/32 Q8(c)） · 3 级

(c) A 5.00 g sample of impure lead(II) nitrate was heated. The volume of oxygen formed was 0.16 dm^3 measured at r.t.p. The impurities did not decompose.
Calculate the percentage of lead(II) nitrate in the sample.

$$2Pb(NO_3)_2 \rightarrow 2PbO + 4NO_2 + O_2$$

Number of moles of O_2 formed =

Number of moles of $Pb(NO_3)_2$ in the sample =

Mass of one mole of $Pb(NO_3)_2$ = 331 g

Mass of lead(II) nitrate in the sample = g

Percentage of lead(II) nitrate in sample =

5. （2024·May/June 0620/21 Q10） · 3 级

When heated, copper(II) oxide, CuO, reacts with ammonia, NH_3.

$$3CuO + 2NH_3 \rightarrow 3Cu + N_2 + 3H_2O$$

8.5 g of ammonia reacts with an excess of copper(II) oxide to produce 26.4 g of copper.

What is the percentage yield of copper in this reaction?

A 27.5% **B** 32.2% **C** 55.0% **D** 82.5%

6. （2024·May/June 0620/23 Q7） · 3 级

The equation for the reaction of iron(III) oxide with carbon monoxide is shown.

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$$

What is the percentage yield of iron when 16.8 g of carbon monoxide reacts completely with iron(III) oxide to form 8.96 g of iron?

A 26.7% **B** 40.0% **C** 53.3% **D** 80.0%

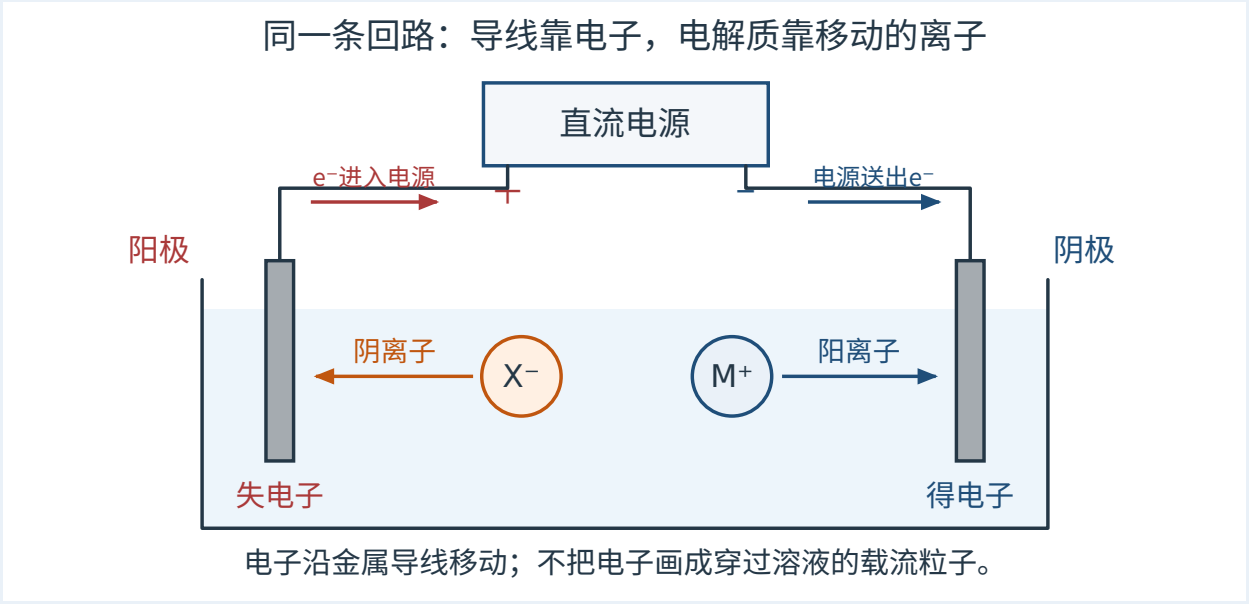
电化学

4.1 电解

题型 1：追踪电荷移动并预测熔融物电解产物

知识点 电解（**electrolysis**）是电流通过处于熔融状态或水溶液中的离子化合物，使它分解的过程。这里有三个条件要一起读：分解的是离子化合物；它已熔融或在水溶液中；分解由通过的电流引起。molten 意为“已经熔化”，aqueous 意为“溶于水”，两者不能当成同一件事。

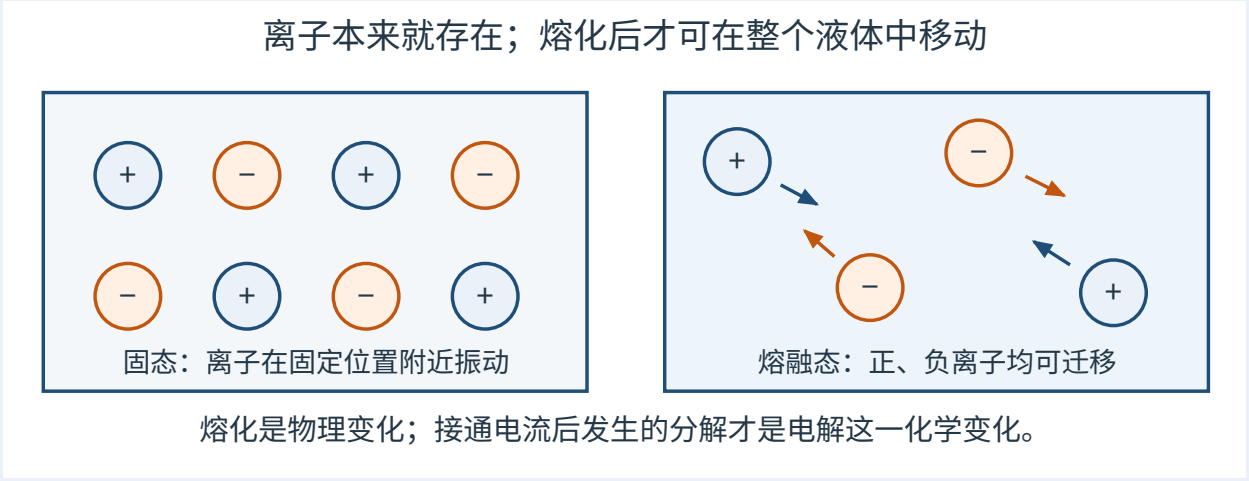
盛着熔融物或溶液的装置叫电解池。伸入其中、让电荷在金属导线与电解质之间转移的导体叫电极（**electrode**）；被电解的熔融物或水溶液叫电解质（**electrolyte**）。电解使用外接直流电源：与电源正极相连的是阳极（**anode**），与负极相连的是阴极（**cathode**）。不要按“画在左边还是右边”记名称，应沿导线找到电源的＋、–；若只有单个电池符号，长线表示正端，短线表示负端。



X^-和 M^+代表不同电荷的离子；箭头分别表示导线中电子的定向移动及溶液中离子的迁移。

导线和电解质都能传递电荷，负责移动的粒子却不同。金属导线中移动的是电子；电源从阳极取走电子，并向阴极供给电子。电解质中移动的是离子：正离子又叫阳离子 cation，被负的阴极吸引；负离子又叫阴离子 anion，被正的阳极吸引。名称中的“阳离子”不表示它去阳极。到达电极后发生电子的得到或失去，离子才能变成新的产物；不要把“电子直接穿过溶液”写成导电原因。

第 2 章已经说明，离子固体中原本就有正、负离子。固态时它们被固定在晶格位置附近，不能在整个物质中自由迁移，因此不能这样进行持续电解。熔化或溶于水使离子能够移动，并不是把中性原子全都变成电子。

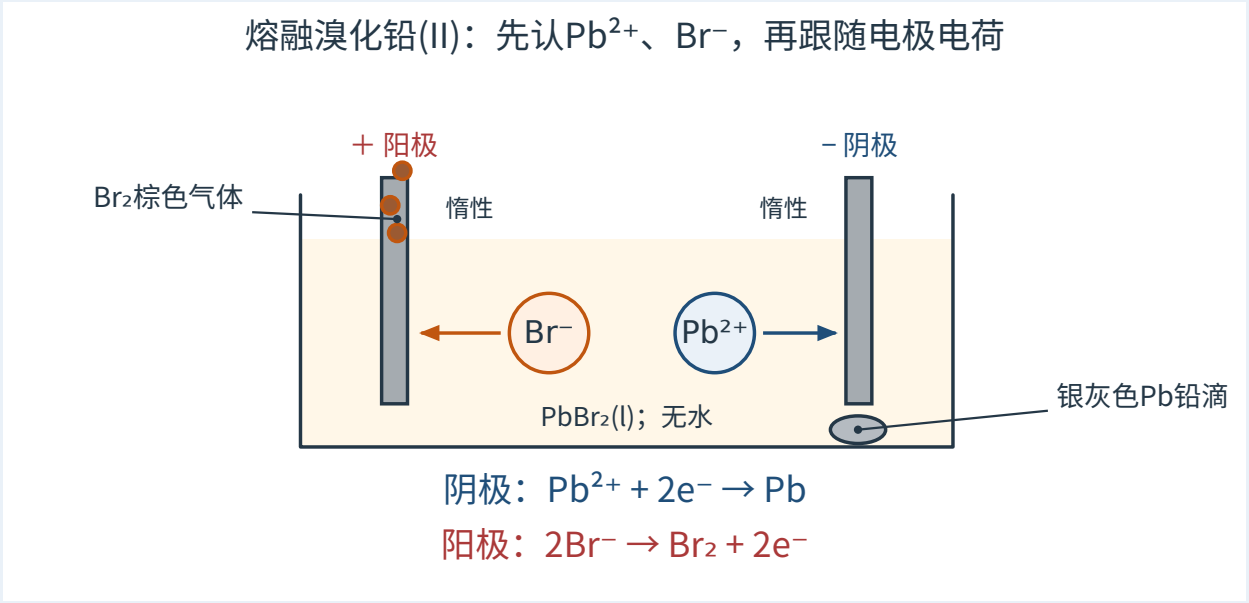


比较同一种离子物质熔化前后；箭头表示可移动的离子，不表示生成了新的电子。

惰性电极（**inert electrode**）是在题给条件下不明显参加反应的电极。铂 platinum，符号 Pt，以及碳 carbon 或石墨 graphite，符号 C，既能导电，又可在本章指定的实验中作为惰性电极。它们提供电子转移的表面，不能因为电极是碳，就在所有题里把产物写成碳。电极是否惰性是条件；后面改用铜阳极时，铜本身就会参加变化。

例如，电解熔融溴化铅(II)。lead(II) bromide 是 $PbBr_2$，由 Pb^{2+}和 Br^-组成。加热先使它熔化，让离子能够移动；真正分解还需要接通电流。

Pb^{2+}迁向阴极，得到 2 个电子后成为铅 Pb；Br^-迁向阳极，失去电子后形成双原子分子 Br_2。无水 $PbBr_2$ 中没有含氢粒子，因此不能生成氢气。



离子箭头指向各自电极；电解温度下产生铅滴，冷却后成为固体铅。图形不按粒子真实尺度绘制。

这一实验的产物是阴极的铅和阳极的溴；相应观察是阴极出现银灰色金属铅滴，阳极出现棕色的溴气体。电解温度下铅可以是液滴，冷却后变成固体。气体的颜色或金属的出现是看得见的现象，“离子得到电子”是解释，不是肉眼观察。

怎样把“得到或失去电子”写清楚？用离子半方程式（**ionic half-equation**），只记录一个电极的反应。e^-代表一个电子，电荷为−1。得到电子叫还原（**reduction**），失去电子叫氧化（**oxidation**）。所以阴极发生还原，电子写在左边；阳极发生氧化，电子写在右边。这里先用电子定义辨认氧化还原，不需要假定每个反应都有氧气。

半方程式：原子数守恒，左右总电荷也要守恒

阴极：得到电子＝还原

$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$

左电荷 +2−2=0

右电荷 0；Pb均为1

阳极：失去电子＝氧化

$2Br^- \rightarrow Br_2 + 2e^-$

左电荷 −2

右电荷 −2；Br均为2

电子是带−1电荷的粒子；补e^-时先问哪一边需要负电荷。

还原的e^-在左，氧化的e^-在右；不靠改离子下标来配平。

同一次熔融 $PbBr_2$电解的两个电极；半方程式中的 e^-直接记录电子的得到或失去。

先检查阴极半方程式：

$$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$$

两边各有 1 个 Pb；左侧的+2 与两个电子的−2 相抵，总电荷为 0，与右侧中性 Pb 相同。

阳极生成 Br_2，因此左侧需要 $2Br^-$。左侧总电荷为−2，右侧补 $2e^-$后电荷也为−2，得到：

$$2Br^- \rightarrow Br_2 + 2e^-$$

每条半方程式都要同时检查原子数和总电荷，只配平原子还不够。

如果换一个由两种元素组成的熔融离子化合物，做法保持：列离子，定去向，再写对应元素。金属离子在阴极得电子形成金属，负离子在阳极失电子形成相应非金属；这些题中氢气若出现，应在阴极，不在阳极。

二元熔融物：只能从它本身含有的离子生成产物

例：$MgCl_2(l)$

$Mg^{2+} \rightarrow$ 阴极 $\rightarrow Mg$

$Cl^- \rightarrow$ 阳极 $\rightarrow Cl_2$

$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$

$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

例：$Na_2O(l)$

$Na^+ \rightarrow$ 阴极 $\rightarrow Na$

$O^{2-} \rightarrow$ 阳极 $\rightarrow O_2$

$Na^+ + e^- \rightarrow Na$

$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$

没有水、没有含氢离子：不能凭习惯在阴极填H_2。

这些预测均以题给的惰性电极为条件；这里不把金属写到阳极。

箭头先表示离子的迁移目标，再表示所得元素；无水条件排除了把氢气当作万能答案。

例如，熔融 $MgCl_2$中有 Mg^{2+}和 Cl^-。Mg^{2+}在阴极得到电子，生成镁：

$$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$$

Cl^-在阳极失去电子，生成氯气：

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$$

若改为熔融氧化物，负离子是 O^{2-}，与氢氧根 OH^-不同。要形成一个 O_2，左侧先用 $2O^{2-}$提供 2 个 O；其总电荷为−4，所以右侧补 $4e^-$：

$$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$$

换成其他熔融氧化物时，仍按原子守恒、电荷守恒这两个要求配平。

怎么认 先看 molten 还是 aqueous，再沿导线找正、负极。熔融二元物先列本身的离子：阴极得电子，阳极失电子；半方程式同时核原子和电荷。

例题 1 （2025·May/June 0620/42 Q3(a)） · 1 级

This question is about electrolysis.

(a) Complete the definition of electrolysis by filling in the missing words.

The decomposition of _____ compounds when

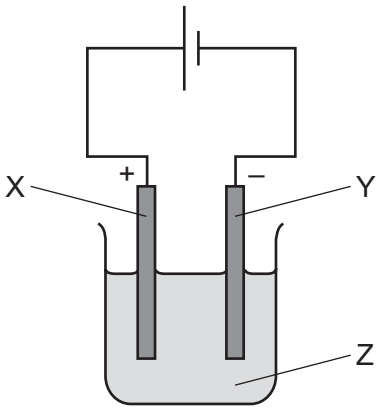
_____ or _____ by the passage of an electric current.

解：题目要恢复电解的定义。先问分解的是什么：应填 **ionic**，即离子化合物。再问离子在什么条件下能移动：处于 **molten**，即熔融状态，或 **in aqueous solution**，即在水溶液中。

三个空依次为 **ionic**；**molten**；**in aqueous solution**。完整意思是：电流通过处于熔融状态或水溶液中的离子化合物，使它分解。原句已经给 by the passage of an electric current，不需要把“加热”填作分解方式。加热可以先使物质熔化，但电解这一分解还需要通过电流。

例题 2 （2025·May/June 0620/12 Q12） · 2 级

The diagram shows a simple electrolytic cell for an electrolysis experiment.



Three parts of the electrolytic cell are labelled X, Y and Z.

Which row shows the correct labels to replace X, Y and Z in the diagram?

	X	Y	Z
A	anode	cathode	aqueous salt
B	anode	cathode	solid salt
C	cathode	anode	aqueous salt
D	cathode	anode	solid salt

解：先看图中电源极性，不按左右死记。X 指向带＋的电极，所以 X 是阳极 anode；Y 指向带–的电极，所以 Y 是阴极 cathode。

Z 指向杯中的电解质。要进行这种电解，其中的离子必须能够移动；aqueous salt 表示盐的水溶液，符合条件。solid salt 是固态盐，离子固定在晶格位置附近，不能以这种方式持续导电。

因此应同时满足 **X=anode**，**Y=cathode**，**Z=aqueous salt**，选 **A**。B 只把状态错成固态盐；C 与 D 把两个电极的名称对调。这里三个标注必须同一行都正确。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q11） · 2 级

Which row describes the electrolysis of molten potassium bromide?

	product at anode	product at cathode
A	bromine	hydrogen
B	bromine	potassium
C	hydrogen	bromine
D	potassium	bromine

2. （2025·May/June 0620/22 Q10） · 2 级

Molten zinc oxide is electrolysed using inert electrodes.

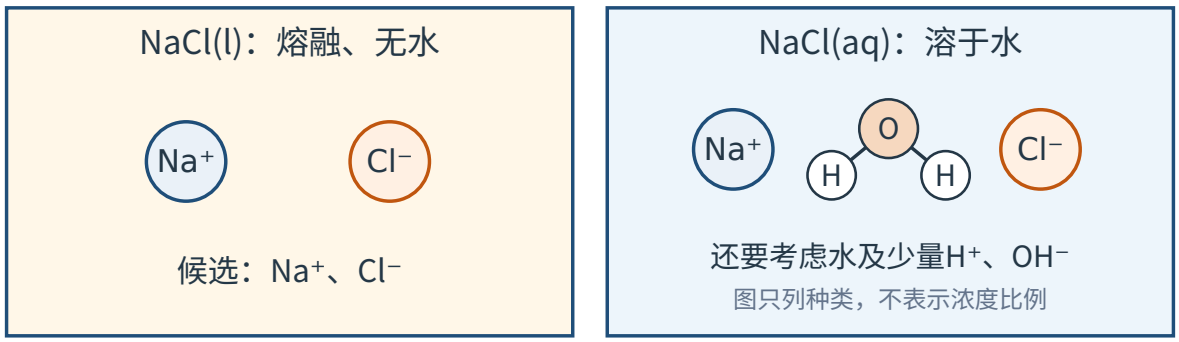
Which row identifies the product at each electrode?

	anode	cathode
A	zinc	oxygen
B	hydrogen	oxygen
C	oxygen	zinc
D	oxygen	hydrogen

题型 2：区分水溶液、浓度与电极材料来判断电解

知识点 上一型的熔融盐没有水。水溶液除了溶质给出的离子，还有水本身，并含少量 H^+和 OH^-；酸、碱会改变这些离子的浓度。H^+是氢离子，OH^-是氢氧根。水在电极上也可能参加反应，所以看到 NaCl(aq)，不能只列 Na^+、Cl^-就照搬 NaCl(l)的产物。

水溶液多了来自水的候选粒子，不能照搬熔融盐答案



同是“氯化钠”，(l)和(aq)改变了电极可参加反应的物质。

水含少量 H^+、OH^-；酸、碱还会改变这些离子的浓度。图中个数只用于列举粒子种类。

先把条件分三层：溶液含什么、浓还是稀、电极是否惰性。然后分别判断阴极与阳极。下面所说的主要产物，按本章题目给出的浓、稀及电极条件判断；实际实验还会受具体浓度、电流和电极影响，不能把一个盐名当作脱离条件的唯一答案。

在阴极，要比较金属沉积与氢气生成。此处先认识做本型必需的活泼性分界：钾 K、钠 Na、钙 Ca、镁 Mg、铝 Al、锌 Zn、铁 Fe 比氢活泼；铜 Cu、银 Ag 比氢不活泼。在本章通常的水溶液预测题中，前一类金属离子存在时生成 H_2，不能像熔融盐一样直接填 Na 或 K；Cu^{2+}、Ag^+则可得电子沉积出 Cu 或 Ag。完整金属活动性比较会在第 9 章展开，本型先用这个已经说明的分界。

在惰性阳极，浓的氯化物、溴化物或碘化物水溶液分别生成氯 Cl_2、溴 Br_2或碘 I_2。Cl^-、Br^-、I^-叫卤离子（**halide ions**），不能把它们与中性卤素分子 Cl_2、Br_2、I_2混写。本课程把溶液明确改为稀卤化物溶液的判断题，阳极主要产物改为 O_2；不要忽略题目特意写出的 dilute。硫酸根 SO_4^{2-}和硝酸根 NO_3^-在这里通常留在溶液中，由水相关粒子在阳极生成氧气，而不是把硫酸根拆出硫。

先读状态和电极，再分别决定阴极与阳极产物

以下是本章惰性电极、水溶液题的判别

阴极：金属还是H_2?

Cu^{2+}、$Ag^+ \rightarrow Cu$、Ag

Na^+、K^+等活泼金属离子

存在时，水参与生成H_2

酸中的H^+也可生成H_2

阳极：卤素还是O_2?

浓Cl^- / Br^- / I^-溶液

→ 对应Cl_2 / Br_2 / I_2

题给稀卤化物溶液 → O_2

硫酸盐、硝酸盐溶液 → O_2

若改为铜阳极，先检查铜本身是否失电子溶解，不能再套“惰性”。

浓、稀卤化物是本课程题目给出的条件分类；实际反应还受浓度、电极及操作条件影响。

比较浓 **NaCl** 与稀 **NaCl** 水溶液。两者都含水，Na 比 H 活泼，因此阴极均生成 H_2。题目常用的 H^+形式为：

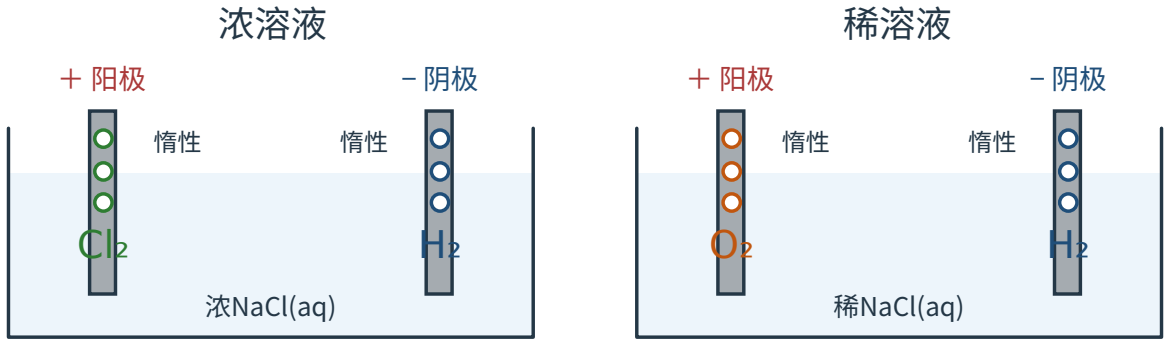
$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

浓 NaCl 溶液的惰性阳极生成氯气：

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$$

当题目明确改为稀 NaCl 溶液并使用惰性电极时，阳极按生成 O_2的分支判断。浓、稀改变的是此处的阳极产物，不能连阴极也改成钠。

只改变NaCl溶液浓度：阴极相同，阳极主要产物改变



阴极均：$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

阳极：浓时$2Cl^-$失电子；稀时按题给条件生成氧气。

固定盐的种类及惰性电极，只比较浓度条件；气泡示意产物位置，不表示两管实际生成速率。

浓盐水电解时，阴极出现无色气泡，阳极出现氯气气泡；足够量的氯气呈黄绿色。留下的溶液含 Na^+与 OH^-，即 NaOH 溶液，呈碱性。

按水分子写阴极反应，可以看出氢来自水，而 OH^-留在溶液中：

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$$

题目若给 H^+形式的选项，下式同样记录生成氢气所需的电子数：

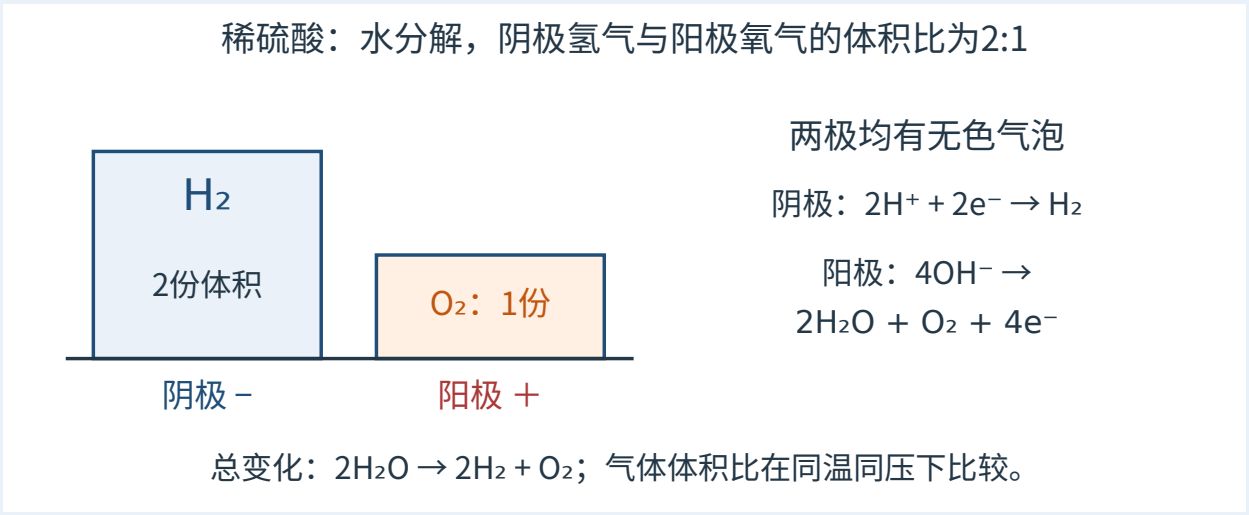
$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

两种写法都没有把 Na^+写成正在析出的金属钠。

再看稀硫酸（**dilute sulfuric acid**），**H_2SO_4(aq)**。溶液提供导电离子；用惰性电极电解时，阴极生成氢气，阳极生成氧气，两极均可见无色气泡。总变化为：

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

同温同压下，气体体积与物质的量成正比，所以氢气体积是氧气的 2 倍。这个结论来自该反应的系数，不能推广为负极永远产生更多气泡。



柱形高度表示同温同压的气体体积，不是电极长度；稀 H_2SO_4提供导电条件，硫酸根不变成硫。

例如，稀硫酸电解时，同温同压收集到 12cm³氧气，应对应 24cm³氢气。先确定氧气在阳极、氢气在阴极，再用 H_2:O_2=2:1。硫酸根没有转成硫；没有金属离子，就不能在阴极随意写一种金属。判断气体名称可用本章先需要的检验：氢气遇点燃木条产生爆鸣，氧气使带火星木条复燃，氯气使湿润石蕊纸褪色。电极材料也是独立条件。 $CuSO_4$(aq)的蓝色来自 Cu^{2+}。使用铂或石墨惰性电极时，阴极发生：

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

阴极出现红棕色铜层，并因沉积铜而增重。阳极由水相关粒子生成 O_2，可见无色气泡；惰性阳极不向溶液补入 Cu^{2+}。随着 Cu^{2+}不断移去，蓝色变浅，充分反应后可趋于无色。

若将电极换成铜，阴极仍得到铜并增重：

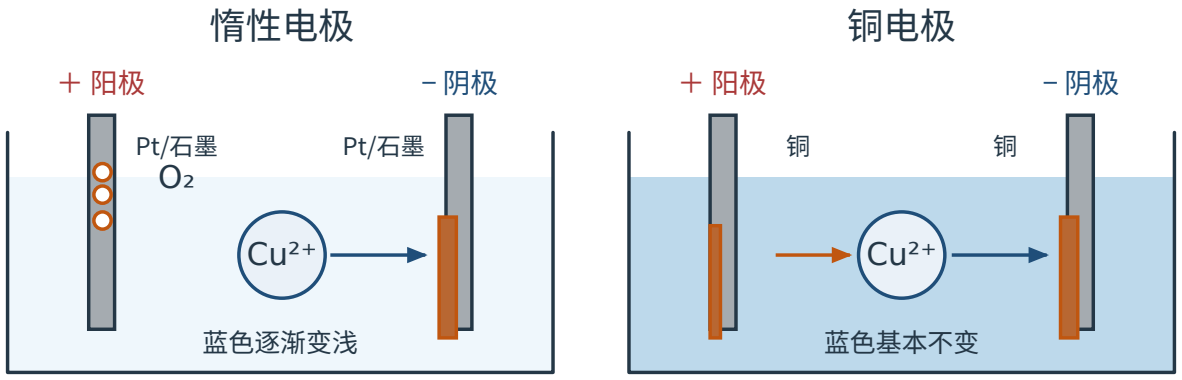
$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

阳极却由铜本身失去电子，形成 Cu^{2+}：

$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$

铜阳极失去原子，变薄、减重，并向溶液补入 Cu^{2+}。两极均按每份铜对应 2 个电子的过程配对，阴极消耗的 Cu^{2+}由阳极等量补回，所以本题条件下蓝色基本不变。

$CuSO_4$相同，阳极材料改变Cu^{2+}能否得到补充



阴极耗Cu^{2+}，阳极不补Cu^{2+}

阴极增重；阳极有气泡

阴极耗Cu^{2+}，铜阳极等量补充

阴极增重；阳极减重

右图：$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$ 与 $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ 配对发生

两组均为 $CuSO_4$水溶液；箭头表示 Cu^{2+}从阳极补入或移向阴极沉积，蓝色深浅表示浓度变化趋势。

读图后的完整判断：“阴极增重”在这两套 $CuSO_4$实验里都成立，因为两者都沉积铜；“溶液蓝色变浅”只适用于这里不补 Cu^{2+}的惰性阳极方案。不能只看见阴极有铜，便直接推出溶液一定褪色。也不能把铜阳极写成冒氧气的惰性电极：反应物已经换成铜本身。

水溶液中生成氧气的半方程式，可以按题目常见的 OH^-形式书写。产物先确定为 O_2和 H_2O；$4OH^-$含 4 个 O、4 个 H，右侧用 O_2和 $2H_2O$ 才能使原子数相等。

此时左侧电荷为−4，右侧中性产物总电荷为 0。在右侧补 $4e^-$，得到：

$$4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

电子在右侧，表示阳极发生氧化。

把OH^-写成氧气的半方程式：先配原子，再补电荷

先确定产物：O_2和H_2O

$$4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O$$

左侧：O=4，H=4

左电荷：−4

右侧：O=2+2，H=4

右侧暂为0，要补$4e^-$

↓

$$4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

两边总电荷都是−4；电子在右侧，所以这是氧化。

向下箭头表示按电荷守恒补全方程式这一步；没有把 OH^-改写成熔融氧化物中的 O^{2-}。

若用水分子表示同类阳极氧气反应，也可以写成：

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

两边原子数与总电荷仍守恒。不能用熔融氧化物中 O^{2-}失电子的半式替代题目所给 OH^-的反应；两种介质中的含氧粒子不同。

最后分清题目动词。state the product 要物质名称；describe what is seen 要可见现象；explain 还要给导致现象的粒子变化。气泡不能自动证明是氧气，写出氧气名称也不等于描述气泡。

看见的现象、物质名称、微观原因：回答的是三件不同的事

可见现象	产物或变化	粒子解释
无色气泡	H_2或O_2，需要辨别	相应粒子在电极反应
红棕色镀层	铜Cu沉积	Cu^{2+}得到电子成为Cu
溶液蓝色变浅	Cu^{2+}浓度降低	被消耗且未等量补入

检验：H_2遇点燃木条发出爆鸣；O_2使带火星木条复燃；Cl_2使湿润石蕊褪色。

气泡是所见，气体名称是鉴定结果；蓝色变化要联系水溶液中的 Cu^{2+}。

例如，若问惰性阳极 $CuSO_4$电解的阳极“看见什么”，写“出现气泡”；若再问气体是什么，写“O_2”；若问蓝色为什么变浅，写“Cu^{2+}在阴极得电子沉积，且惰性阳极不补入 Cu^{2+}，所以溶液中 Cu^{2+}浓度降低”。这三种回答分别对应观察、命名和解释。

怎么认 先标出 aqueous、concentrated/dilute 和电极材料，再分别判两极。$CuSO_4$必须追踪 Cu^{2+}是否被补回；问现象先写气泡、镀层或颜色，半方程式再核原子与电荷。

例题 1 (2025·May/June 0620/42 Q3(b)(i)) · 2 级

This question is about electrolysis.

(b) Electrolysis of aqueous copper(II) sulfate is carried out using the apparatus shown in Fig. 3.1. The electrodes are made of platinum.

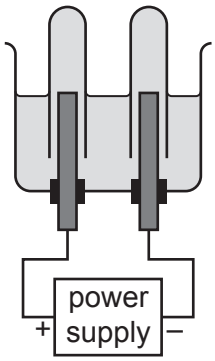


Fig. 3.1

(i) State whether the mass of the cathode increases, decreases or remains the same when platinum electrodes are used.

解：
题给 $CuSO_4$水溶液和铂电极。阴极接电源负端，发生还原：

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

生成的铜附着在铂阴极表面，成为红棕色镀层。

铂本身没有因此变成别的元素，但测量的“阴极”包含附着的铜，所以它的质量增加，**increases**。不要因为铂是惰性电极就回答“质量不变”；惰性表示铂不明显参与反应，不表示表面不能增加新沉积物。

例题 2 （2025·May/June 0620/42 Q3(b)(iv)） · 3 级

This question is about electrolysis.

(b) Electrolysis of aqueous copper(II) sulfate is carried out using the apparatus shown in Fig. 3.1. The electrodes are made of platinum.

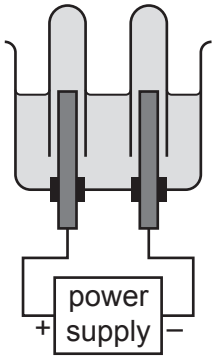


Fig. 3.1

(iv) Write the ionic half-equation for the reaction at the anode.

解：先确定电极条件：这里仍是 $CuSO_4$ 水溶液和铂阳极。铂是惰性的，不写 $Cu \rightarrow Cu^{2+}$；硫酸根也不在这里生成硫。阳极由水相关粒子生成氧气，按本型已教的 OH^- 形式，产物为 O_2 和 H_2O。

先配原子。$4OH^-$ 有 4 个 O 和 4 个 H；右侧用 $O_2 + 2H_2O$，氧为 2+2=4，氢为 4，原子全部守恒。此时左边总电荷是–4，右边中性产物总电荷为 0，所以要在右边加入 $4e^-$。

完整半方程式为：

$$4OH^- \rightarrow 2H_2O + O_2 + 4e^-$$

最后核查：两边 O=4、H=4、电荷=–4。电子出现在右边，正好表示阳极失电子的氧化。只写 $OH^- \rightarrow O_2$ 会同时漏掉水、系数和电子。

例题 3 （2025·May/June 0620/42 Q3(c)(ii)） · 3 级

This question is about electrolysis.

(b) Electrolysis of aqueous copper(II) sulfate is carried out using the apparatus shown in Fig. 3.1. The electrodes are made of platinum.

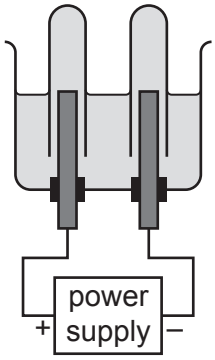


Fig. 3.1

(c) The electrolysis is repeated using copper electrodes.

(ii) Describe the change in appearance, if any, of the electrolyte when copper electrodes are used.

解：先读(c)的新条件：把原来的铂电极换成了铜电极，不能继续套用惰性阳极的颜色变化。
阴极仍消耗溶液中的 Cu^{2+}，把铜沉积出来：
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$
铜阳极同时补入新的 Cu^{2+}：
$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$
两个过程每一份铜都对应 2 个电子，所以阴极消耗的铜离子由阳极等量补充。

$CuSO_4$溶液的蓝色来自 Cu^{2+}；其浓度在本题条件下基本保持，所以电解质的外观没有变化，**no change**，仍保持蓝色。阴极在镀铜并不自动表示溶液一定变浅，关键是有没有这个补充来源。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/42 Q3(b)(iii)） · 1 级

This question is about electrolysis.

(b) Electrolysis of aqueous copper(II) sulfate is carried out using the apparatus shown in Fig. 3.1. The electrodes are made of platinum.

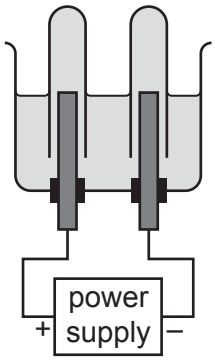


Fig. 3.1

(iii) Describe what is seen at the anode when platinum electrodes are used.

2. （2025·May/June 0620/11 Q11） · 2 级

Concentrated aqueous sodium chloride is electrolysed using inert electrodes.

What is the main product formed at the positive electrode (anode)?

A chlorine

B hydrogen

C oxygen

D sodium

3. （2025·May/June 0620/21 Q11） · 2 级

Concentrated aqueous sodium chloride is electrolysed using inert electrodes.

Which equation shows the correct ionic half-equation for the reaction at the anode?

A $Cl^- + e^- \rightarrow Cl$

B $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

C $H^+ \rightarrow H + e^-$

D $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

4. （2025·May/June 0620/22 Q11） · 2 级

Dilute aqueous sodium chloride is electrolysed using platinum electrodes.

What is the half-equation for the reaction at the cathode?

A $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

B $Na^+ + e^- \rightarrow Na$

C $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

D $4OH^- \rightarrow 2H_2O + O_2 + 4e^-$

5. （2025·May/June 0620/42 Q3(b)(ii)） · 2 级

This question is about electrolysis.

(b) Electrolysis of aqueous copper(II) sulfate is carried out using the apparatus shown in Fig. 3.1. The electrodes are made of platinum.

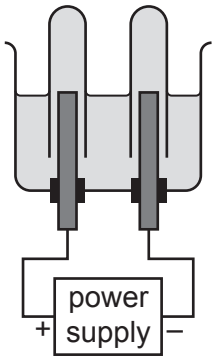


Fig. 3.1

(ii) Describe the change in appearance, if any, of the electrolyte when platinum electrodes are used.

6. （2025·May/June 0620/42 Q3(c)(i)） · 2 级

This question is about electrolysis.

(b) Electrolysis of aqueous copper(II) sulfate is carried out using the apparatus shown in Fig. 3.1. The electrodes are made of platinum.

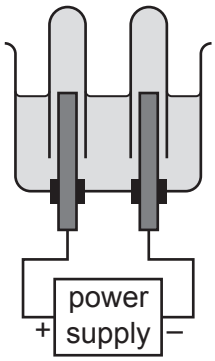


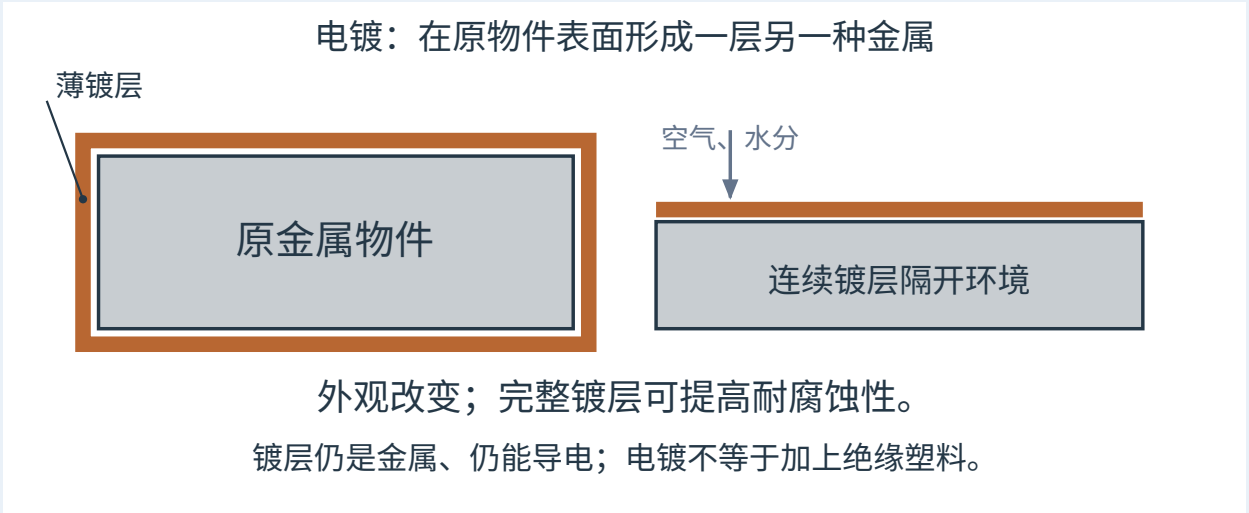
Fig. 3.1

(c) The electrolysis is repeated using copper electrodes.

(i) State whether the mass of the cathode increases, decreases or remains the same when copper electrodes are used.

题型 3：由镀层目的确定电镀装置和电极变化

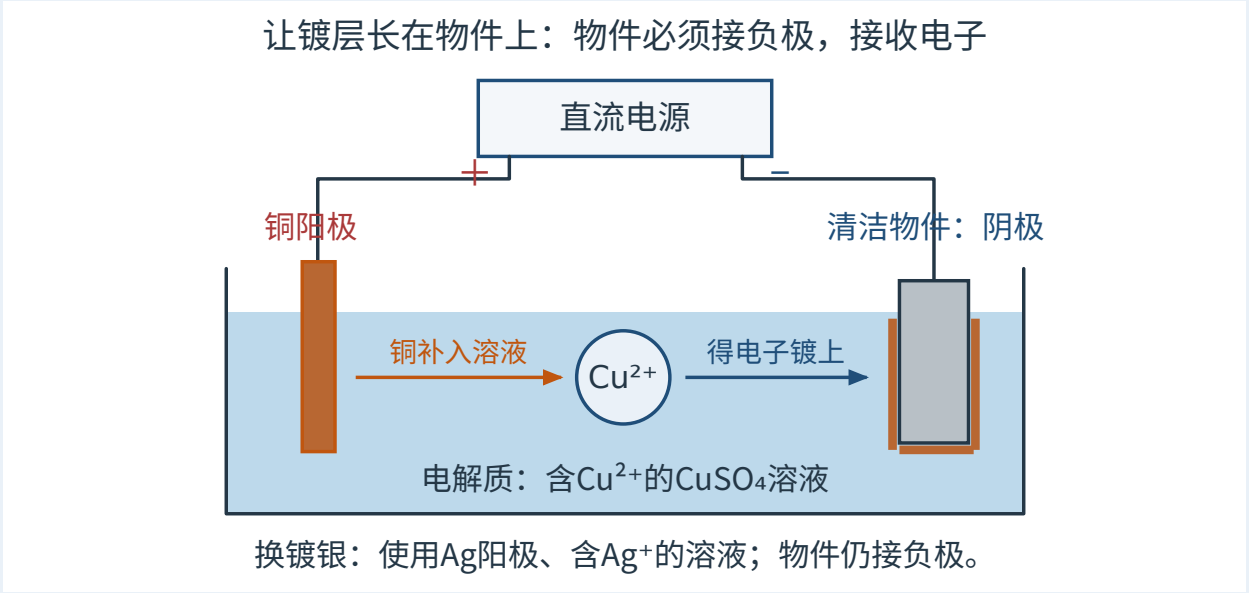
知识点 电镀（**electroplating**）是利用电解，在物件表面沉积一薄层金属。待镀物件保留原来的主体，表面变成另一种金属。这样可以改善外观，例如改变颜色和光泽；完整的镀层还能使物件更耐腐蚀。腐蚀（**corrosion**）是金属与周围环境反应而逐渐损坏，连续镀层可减少内层金属与空气、水分等接触。



截面放大了镀层厚度；箭头指环境接触方向，横向镀层表示屏障，不表示电流方向。

金属镀层仍然能导电，因此“电镀使金属物件绝缘”不是一般目的。它也不等于让整个物件变软。比较电镀的用途时，先问薄表面层实际改变了什么，不把镀层作用扩大为原物件所有性质都改变。

怎样选择装置？想让金属长在物件上，就要让溶液中的金属离子在物件表面得到电子。因此待镀物件必须接电源负极，成为阴极。把所要镀的金属接正极作为阳极，并使用含有该金属离子的溶液。阳极金属失电子补入离子，阴极物件表面得电子形成镀层，前一型铜电极的变化在这里成为有用的工艺。



左箭头表示铜阳极生成 Cu^{2+} 补充到溶液，右箭头表示 Cu^{2+} 到阴极得电子形成镀层。

例如，给钢片镀铜，先清洁钢片表面，除去油污和氧化层，使镀层能够附着。钢片接直流电源负极，铜片接正极，两者浸入 $CuSO_4$ 溶液。

通电后，Cu^{2+} 在钢片表面得到电子，形成红棕色铜层：

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

铜阳极不断补充铜离子：

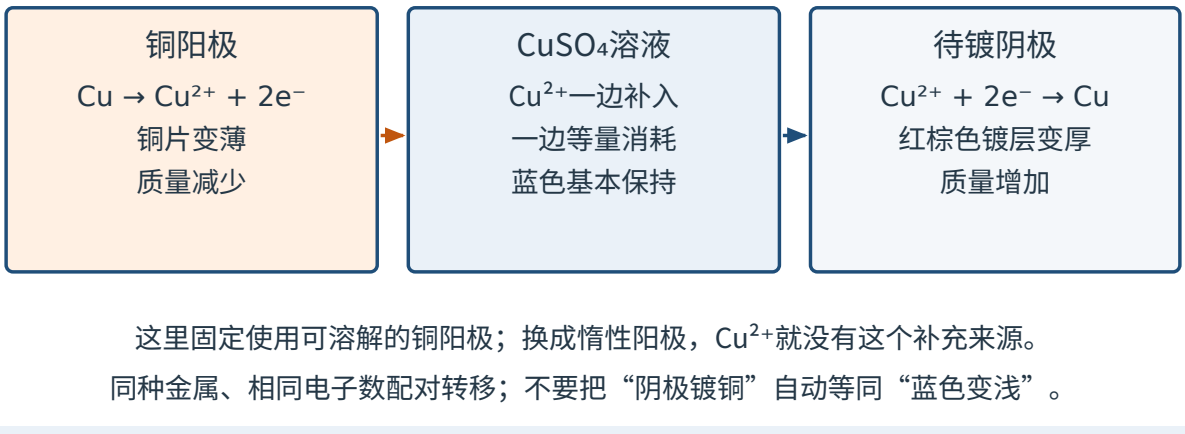
$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$

通电时间与电流会影响沉积量。仅把两种金属泡在水中，不能称为电镀。

改为镀银时，物件仍作阴极，但阳极换成银 Ag，并使用含 Ag^+ 的溶液。例如硝酸银 silver nitrate，$AgNO_3$，在水中提供 Ag^+，阴极反应为：

$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$$

物件原来是镍 nickel，Ni，还是钢，不决定镀层种类；镀层来自在表面还原沉积的离子。



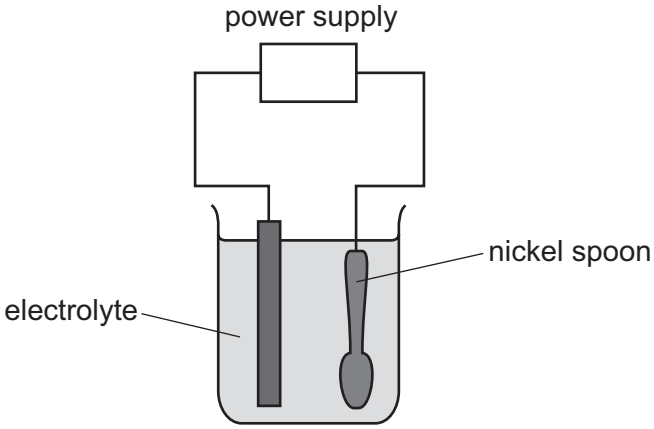
箭头追踪铜从阳极，经溶液离子，最终沉积到待镀物件的路径。

还要把三处变化连在一起读。铜镀到钢片上，所以钢片出现红棕色表面并增重；铜阳极把铜送入溶液，所以变薄、减重；溶液中的 Cu^{2+} 一边被阴极消耗，一边由阳极等量补入，蓝色基本不变。阴极增重、阳极减重、溶液颜色不变可以同时成立，它们不是互相排斥的选项。

怎么认 先问要镀哪种金属：物件接负极；镀层金属作正极；溶液含镀层金属离子。随后分别跟踪物件表面、阳极质量和溶液离子是否补充。

例题 1 （2025·February/March 0620/12 Q13） · 3 级

The diagram shows an experiment to electroplate a nickel spoon with silver.



Which row correctly describes the positive electrode, the negative electrode and the electrolyte?

	positive electrode	negative electrode	electrolyte
A	nickel spoon	pure nickel	silver nitrate solution
B	nickel spoon	pure silver	nickel nitrate solution
C	pure nickel	nickel spoon	silver nitrate solution
D	pure silver	nickel spoon	silver nitrate solution

解：题目要把镍勺表面镀成银，先问新银层应该长在哪里：在勺上。因此镍勺必须接负端，成为阴极，Ag^+ 才能在其表面得到电子。
正极使用纯银 pure silver，使银不断形成 Ag^+：
$Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$
电解质也要提供银离子，可以选用硝酸银溶液 $AgNO_3(aq)$。阴极上的镍勺表面发生：
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$
这样银才会沉积到镍勺上。

三个位置依次应为正极纯银、负极镍勺、电解质硝酸银溶液，选 **D**。A 与 B 先把镍勺接到正极就已不能满足目的；C 虽把勺接对了，却把阳极改成纯镍，不能按所需银阳极方案补充 Ag^+。

针对练习

1. （2025·October/November 0620/13 Q12） · 2 级

Which statements explain why metal objects are electroplated?

1 Electroplating improves the appearance of the object.

2 Electroplating insulates the metal object.

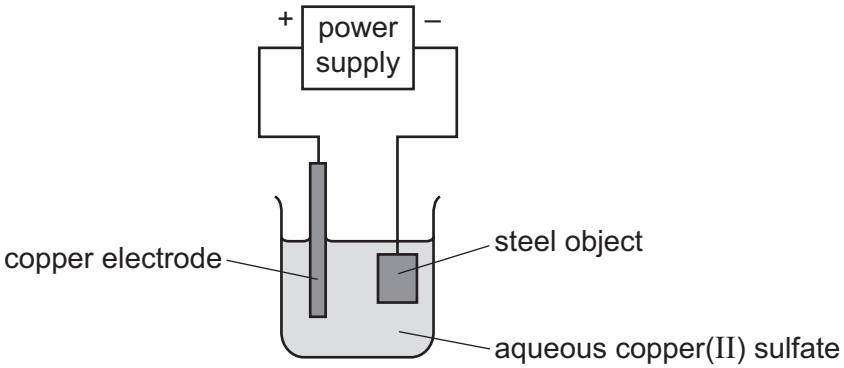
3 Electroplating makes the metal object more resistant to corrosion.

4 Electroplating makes the metal object softer.

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 2 and 4 **D** 3 and 4

2. （2025·May/June 0620/21 Q10） · 3 级

The diagram shows the electroplating of a steel object.



A student makes three statements.

1 The steel object turns a reddish-brown colour.

2 The aqueous copper(II) sulfate changes to a paler blue colour.

3 The copper electrode becomes thinner.

Which statements are correct?

A 1, 2 and 3 **B** 1 and 2 only **C** 1 and 3 only **D** 2 and 3 only

4.2 氢氧燃料电池

题型 1：解释氢氧燃料电池并比较燃料方案

知识点 氢氧燃料电池（**hydrogen–oxygen fuel cell**）把氢气与氧气反应所能提供的化学能转为电能，用来给电动机等外部装置供能。fuel 在这里是燃料，指要持续送入的氢气；氧气也需要供应，水则从电池排出。它不是把原有的一点氢气永远重复利用的装置。

总反应的反应物是 H_2和 O_2，唯一化学产物是 $\mathbf{H_2O}$。先写骨架：

$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$

O_2提供 2 个 O，所以右侧需 $2H_2O$。这样右侧有 4 个 H，左侧还需 $2H_2$，平衡方程式为：

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

氢氧燃料电池的总反应：$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$



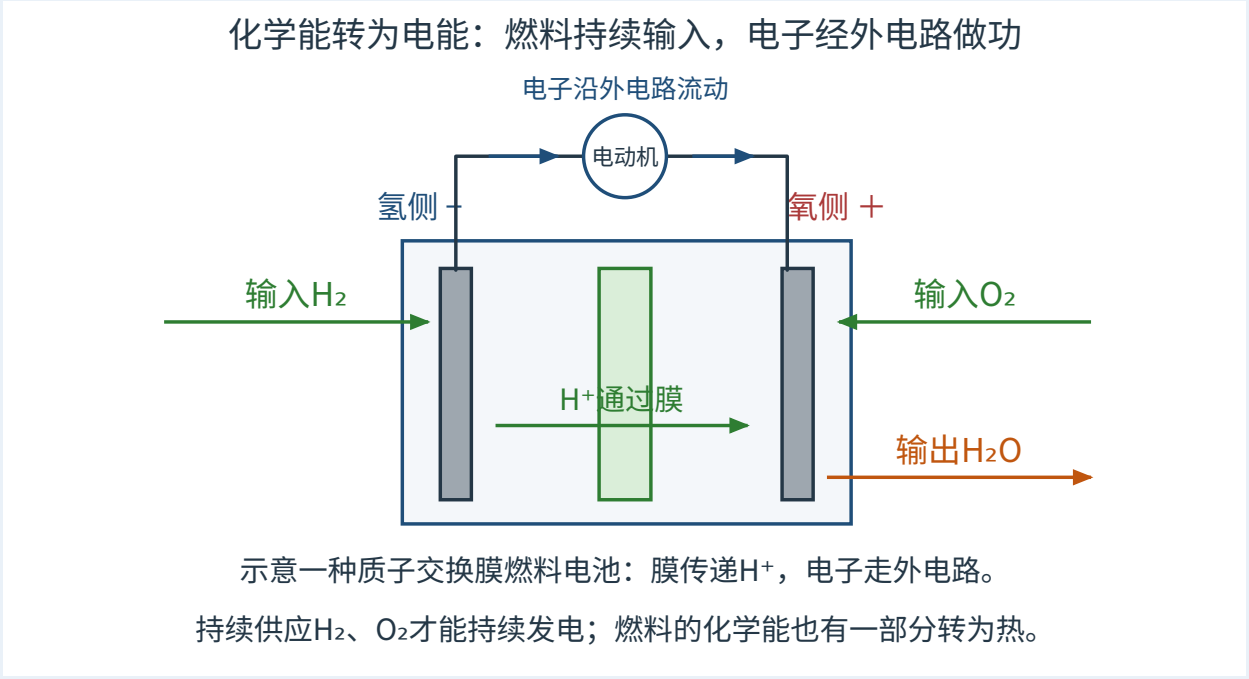
反应物：4H、2O　　唯一化学产物：水

电能是能量输出，不是另一种化学物质；H_2O_2是过氧化氢，不是水。

箭头表示燃料电池内的总化学变化；球形模型只表达原子数和连接，不表示燃烧火焰或真实尺度。

H_2O_2是过氧化氢 hydrogen peroxide，与 H_2O 不同；不能为了少写一个系数，把燃料电池产物改成 H_2O_2。电能是能量的输出形式，不是另一种化学产物。因此“水是唯一化学产物”与“同时输出电能并放出一些热”不矛盾。

燃料电池为什么能带动外电路？下面用一种质子交换膜装置说明。这里的质子就是氢原子失去电子后剩下的 H^+；膜允许 H^+通过，电子则沿外部导线流过用电器。氢侧失电子，氧侧得到来自外电路的电子，最后和 H^+一起形成水。化学反应与定向电荷转移相连，便可把一部分反应能量传给外部用电器。



箭头分别表示气体和水的物质流、膜内 H^+迁移及导线中电子流；本图是质子交换膜装置的示意。

在图示质子交换膜装置中，氢侧失去电子：

$$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$$

氧侧得到来自外电路的电子，并与 H^+生成水：

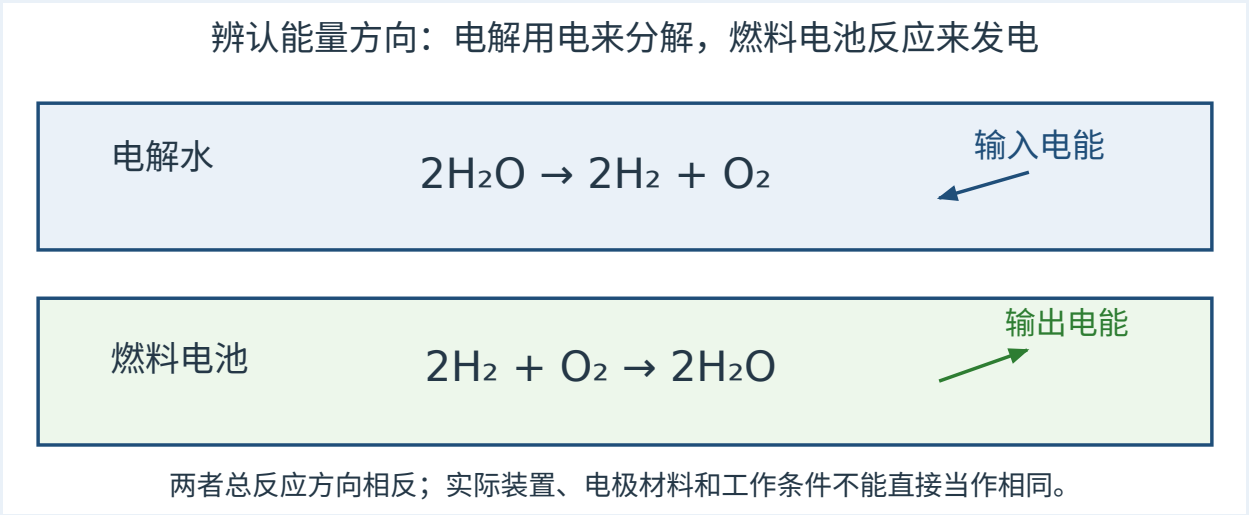
$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

两式相加，两边等量的 $4H^+$与 $4e^-$抵消，得到总反应：

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

H^+通过膜，电子沿外电路流动，不能把它们都画成跟水经过同一条管路。

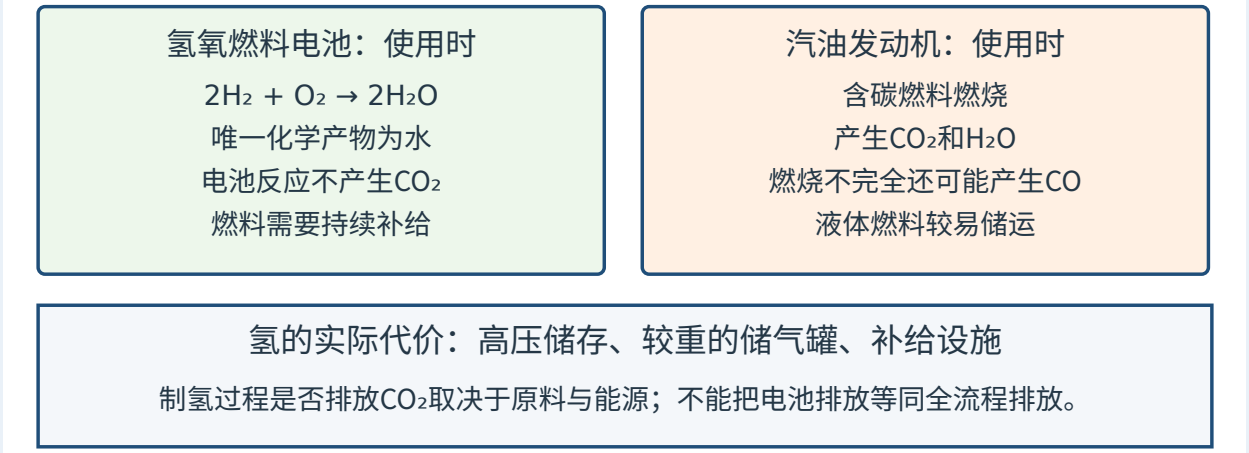
阳极、阴极的根本区别是氧化与还原。电解池由外电源强迫反应，阳极接正、阴极接负；图中的燃料电池自己向外供电，氢侧失电子的阳极是负极，氧侧得电子的阴极是正极。不要把“阳极永远为正”推广到所有电池。两类装置都遵守阳极氧化、阴极还原，改变的是怎样供给或输出能量。



斜箭头表示能量输入或输出；化学式中的箭头表示物质变化的方向。

例如，若一个装置消耗电能，把水变成氢气、氧气，这是电解；若氢气与氧气进入装置，出来的是水，并对外供电，这是燃料电池。先看物质和能量箭头，再判断是哪一个，不能只看有没有两根电极。

与汽油 gasoline 或 petrol 发动机比较时，先固定比较范围。汽油是含碳物质的混合物，燃烧时会产生 CO_2 和水；燃烧不完全还可能产生有害的一氧化碳 CO。氢氧燃料电池在车辆使用阶段只生成水，电池本身的这个反应不释放 CO_2，这是明确的优点。



上排固定比较车辆使用阶段，下排另列制氢和储氢条件；汽油的组成不在此简写成一个固定分子式。

氢气的储运是另一项实际条件。要在车辆上装下足够氢气，通常需要高压储存和较结实、较重的储气罐；它比常温下易盛装的液体汽油更难储存，补给设施也会影响使用。这些都是比较方案时可以说明的困难。“容易燃烧”不是比汽油更好的证据；燃料必须放在合适的储存和供给系统中使用。

还要区分使用氢气与制造氢气。氢气不是像煤、石油那样直接开采得到的一类化石燃料，而是可以用不同原料和能源制得。烃（**hydrocarbon**）是只含碳、氢两种元素的化合物；可以用某些烃经过化学反应制氢，但这不同于石油的分馏（**fractional distillation**）。分馏按沸点差异分离原来已有的成分，是物理分离，不是把烃中的氢原子直接变成 H_2 的化学反应。后面有机化学章节会展开这两类过程，本型先用这个区别读题。

用化石原料或有排放的电力制氢，会使前面的制氢过程产生 CO_2；用可再生能源电解水则是另一条路径。因此“燃料电池运行时不产生 CO_2”不能自动写成“从制造到使用的全过程绝无排放”。

若要求各写一项优缺点，可以分别用完整的因果句回答。优点是：车辆运行时，电池的唯一化学产物为水，电池反应不产生 CO_2。
缺点是：足量氢气通常需要高压储存，因此需要较结实、较重的储气罐，储运较困难。两点比较不同方面，可以同时成立。

怎么认 先核对氢气、氧气生成水的反应方向，再分清化学产物与电能。比较车辆方案时，分别判断使用时的排放、制氢过程与储氢条件。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q13） · 2 级

Which equation represents the overall reaction that produces electricity in a hydrogen–oxygen fuel cell?

A $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O_2$

B $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$

C $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

D $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$

解：
燃料电池消耗 H_2和 O_2并对外供电，产物应是水。先写骨架：
$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$
一个 O_2提供 2 个 O，右侧需 $2H_2O$；于是右侧共有 4 个 H，左侧也需 $2H_2$。
平衡方程式为：
$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
所以选 **C**。两边 H 均为 4、O 均为 2。

A 得到的是过氧化氢 H_2O_2，物质身份错误；B 是水分解成氢氧，方向相反；D 是过氧化氢分解，也不是以 H_2和 O_2为原料的燃料电池反应。

例题 2 （2024·October/November 0620/41 Q5(a)(ii)） · 2 级

(a) Hydrogen is used in fuel cells to produce electricity in vehicles.

(ii) Give **one** advantage and **one** disadvantage of using fuel cells instead of gasoline in vehicle engines.

advantage

disadvantage

解：先写优点：水是电池反应的唯一化学产物，运行时不产生 **CO_2**。英文可写“Water is the only chemical product.” 汽油含碳，燃烧会生成 CO_2；H_2与 O_2的总反应只涉及 H 和 O，因此这里的产物差别有明确依据。
再写缺点：氢气需要高压储存，因此储存更困难，通常需要较结实、较重的储气罐。英文可写“Hydrogen needs to be stored at high pressure.”
一项优点和一项缺点各自作答，不把“储氢困难”写到优点栏。这里的排放判断限定在车辆使用时的电池反应；制造氢气所用的原料和能源仍可能产生 CO_2，不能扩大成整个过程绝无排放。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q12） · 1 级

What is produced in a hydrogen–oxygen fuel cell?

A hydrogen and oxygen

B hydrogen only

C carbon dioxide

D water

2. （2025·May/June 0620/22 Q12） · 1 级

Hydrogen–oxygen fuel cells can be used to power vehicles.

Which statement about hydrogen–oxygen fuel cells is correct?

A The equation for the overall reaction is $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O_2$.

B The only chemical products are water and carbon dioxide.

C Chemical energy in the fuel is converted into electrical energy.

D The hydrogen used in hydrogen–oxygen fuel cells is a fossil fuel.

3. （2025·May/June 0620/21 Q12） · 2 级

Which equation represents the overall reaction in a hydrogen–oxygen fuel cell?

A $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

B $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$

C $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O_2$

D $H_2O_2 \rightarrow H_2 + O_2$

4. （2024·October/November 0620/21 Q13） · 2 级

Which statement describes an advantage of using a hydrogen–oxygen fuel cell in a car compared to a gasoline engine?

A The hydrogen is difficult to store.

B The hydrogen is highly flammable.

C The hydrogen used is made from hydrocarbons.

D The only chemical product is water.

5. （2024·May/June 0620/23 Q11） · 2 级

Hydrogen–oxygen fuel cells and gasoline are each used to power cars.

Which statement describes an advantage of using hydrogen–oxygen fuel cells in cars in comparison with gasoline engines?

A Hydrogen is a non-renewable resource.

B Hydrogen is produced during the fractional distillation of petroleum.

C Hydrogen–oxygen fuel cells do **not** release carbon dioxide.

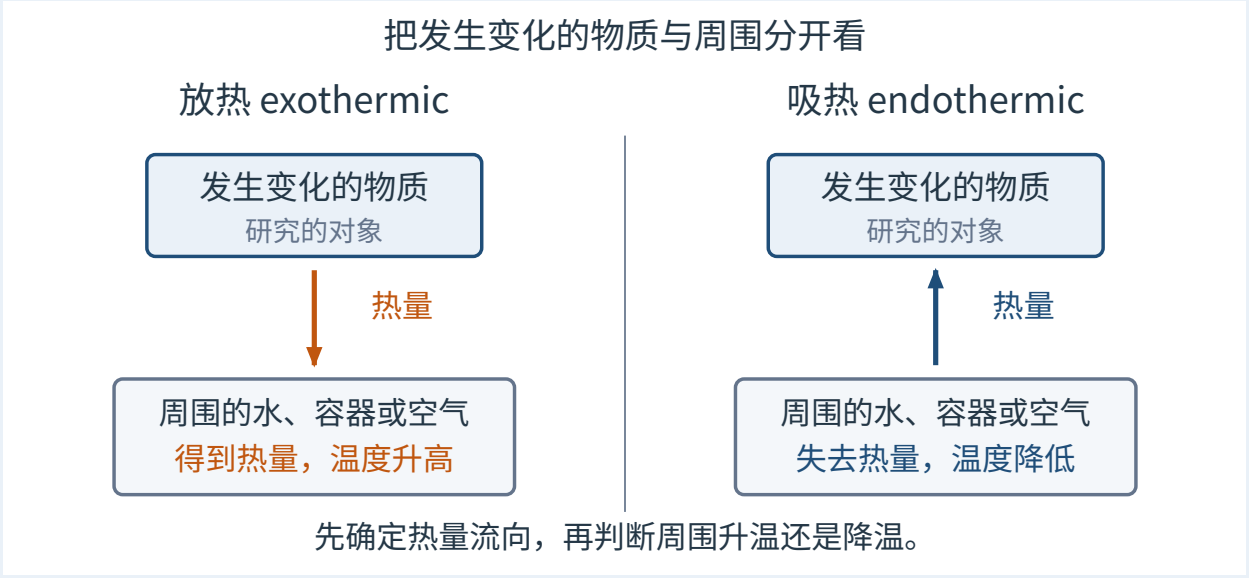
D Hydrogen–oxygen fuel cells need electricity to work.

化学能量

5.1 放热、吸热与键能

题型 1：用热流方向与能量图判断放热、吸热和活化能

知识点 某个反应使周围的水变热，说明有热量传给了水。先把正在发生变化的物质和它的周围分开看：前者是我们研究的对象，后者可以是水、容器或空气。热量向外转移的方向，决定周围怎样变化。放热反应 exothermic reaction 把热量传给周围，周围得到热量，温度升高。吸热反应 endothermic reaction 从周围吸收热量，周围失去热量，温度降低。“吸”和“放”都是站在发生反应的物质这一边说的。



箭头表示热量在发生变化的物质与周围之间转移；箭头不是物质的运动方向。

因此，看到 the surroundings become warmer，就先写“反应向周围放热”；看到 the temperature of the surroundings decreases，就先写“反应从周围吸热”。不能把“反应吸收了能量”接成“周围升温”，因为获得能量的是反应这一边。

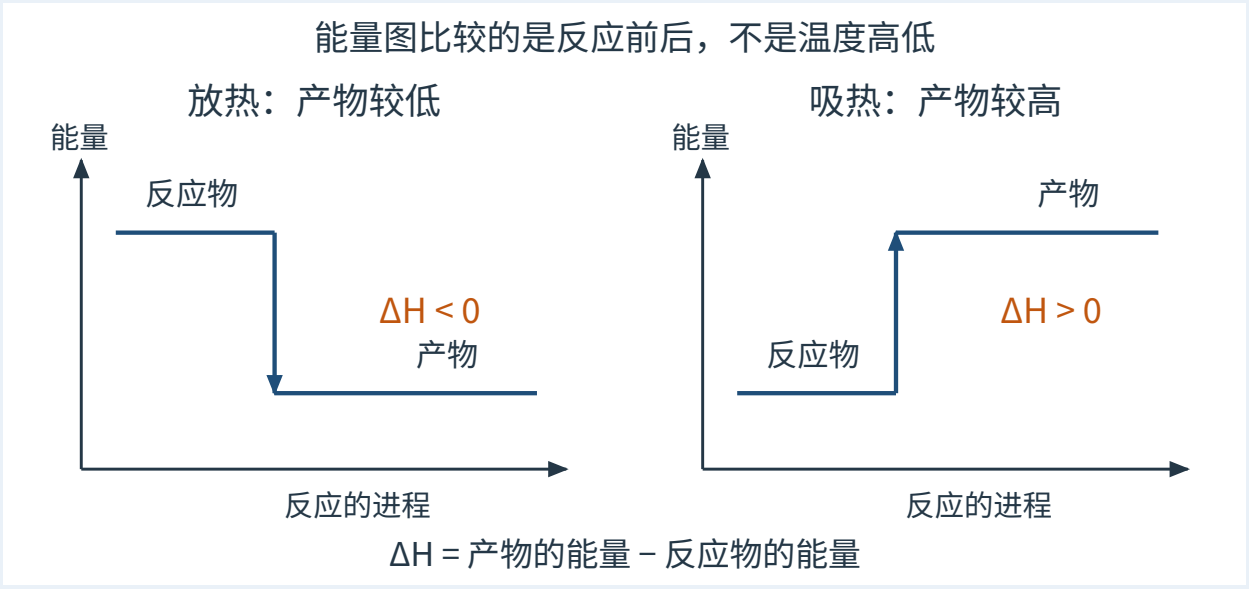
能量图又怎样表达这件事？反应物 reactants 是开始时的物质，产物 products 是反应后形成的物质。纵轴 energy 比较这些物质的能量；横轴 progress of reaction 表示由反应物到产物的进程，并没有给定经过多少秒。它不是一幅温度随时间变化的图。

放热时，一部分能量传到周围，最后产物的能级低于开始时反应物的能级。吸热时，反应物质从周围取得能量，最后产物的能级高于反应物。因此先找左端和右端，比较两个能级，不要只看曲线中间一小段是向上还是向下。

反应的净热量转移叫焓变 enthalpy change，记为 ΔH。Δ 表示“变化”，H 是焓的记号；这里用反应前后的能级差来比较。变化量按“最后减最初”计算：

ΔH = 产物的能量 − 反应物的能量

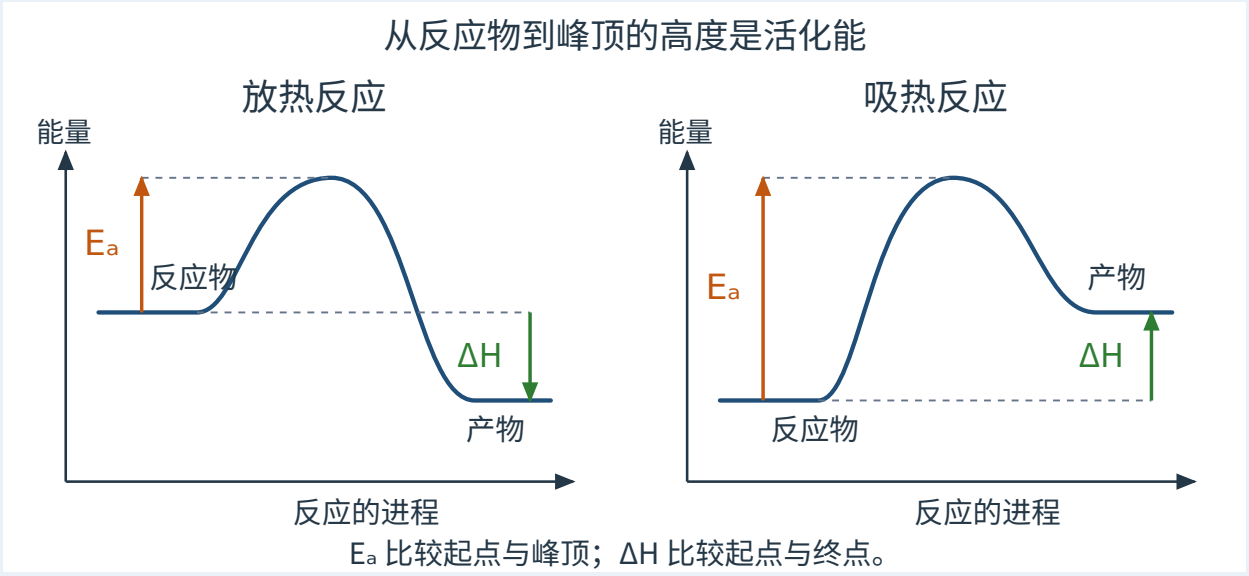
放热时末态较低，ΔH 为负；吸热时末态较高，ΔH 为正。



纵轴是能量，横轴是反应的进程；水平线之间的高度差表示净能量变化。这里先只画反应前后两个能级。

例如，产物比反应物高，就表示净吸热；反应从周围取走热量，周围温度下降。反过来，若给的是周围温度上升，就先判放热，再选择“反应物在上、产物在下”的图。这两条路线是同一关系的正向与反向使用。

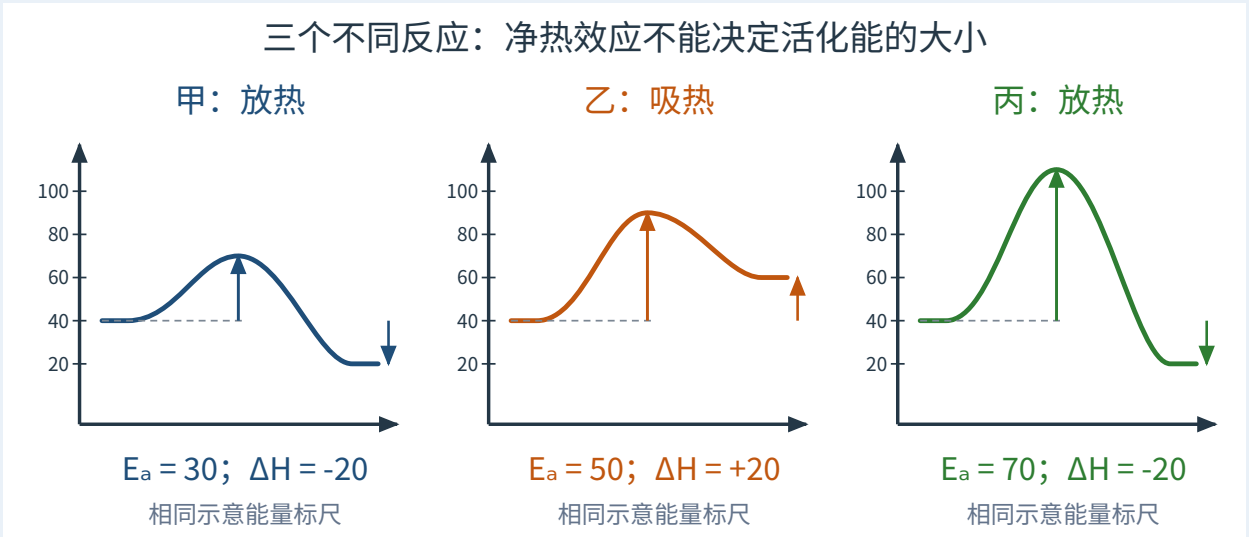
有些图不只画两个能级，还把中间的路径画成一座峰。反应物粒子碰撞时，必须至少具有一定的能量，才可能反应。这个最低能量要求叫活化能 activation energy，记为 E_a；下标 a 来自 activation。在图上，E_a 从反应物的能级量到路径最高点，箭头向上。它与 ΔH 比较的终点不同。



虚线帮助对齐能级。两种反应都要先越过能量障碍；放热反应也可能需要先点燃或加热才能明显发生。

画放热图时，先把产物线放在反应物线的下方；画吸热图时，先把产物线放在上方。再把路径最高点画在两条线的上方，用曲线连接起点、峰顶和终点。标 E_a 时从反应物线向上到峰顶；标 ΔH 时从反应物线指向产物线。放热反应的 ΔH 向下，吸热反应的 ΔH 向上。即使图先升后降，也要比较起终点才能判断整个反应的吸放热。

把活化能与净热效应再分开比较。越过能垒需要取得能量，达到活化状态这一能量输入过程是吸热的；但粒子越过峰顶后可以释放更多能量，所以整个反应仍可能净放热。不能把“需要先吸收活化能”理解成“整个反应一定吸热”。



三个不同反应共用相同的示意能量标尺，反应物能级都为 40。甲的活化能比吸热的乙小，丙的活化能又比乙大；仅凭放热或吸热，不能给不同反应的 E_a 排序。

例如，按图中给定的示意能量标尺，甲的反应物为 40、产物为 20、峰顶为 70。先在同一纵轴上画反应物与产物两条水平线；产物较低，所以净放热。再把峰顶放在 70 并连接两端。

甲的活化能从反应物量到峰顶：

$$E_a = 70 - 40 = 30$$

甲的焓变比较产物与反应物：

$$\Delta H = 20 - 40 = -20$$

乙的反应物同为 40，峰顶为 90、产物为 60。按相同方法分别计算：

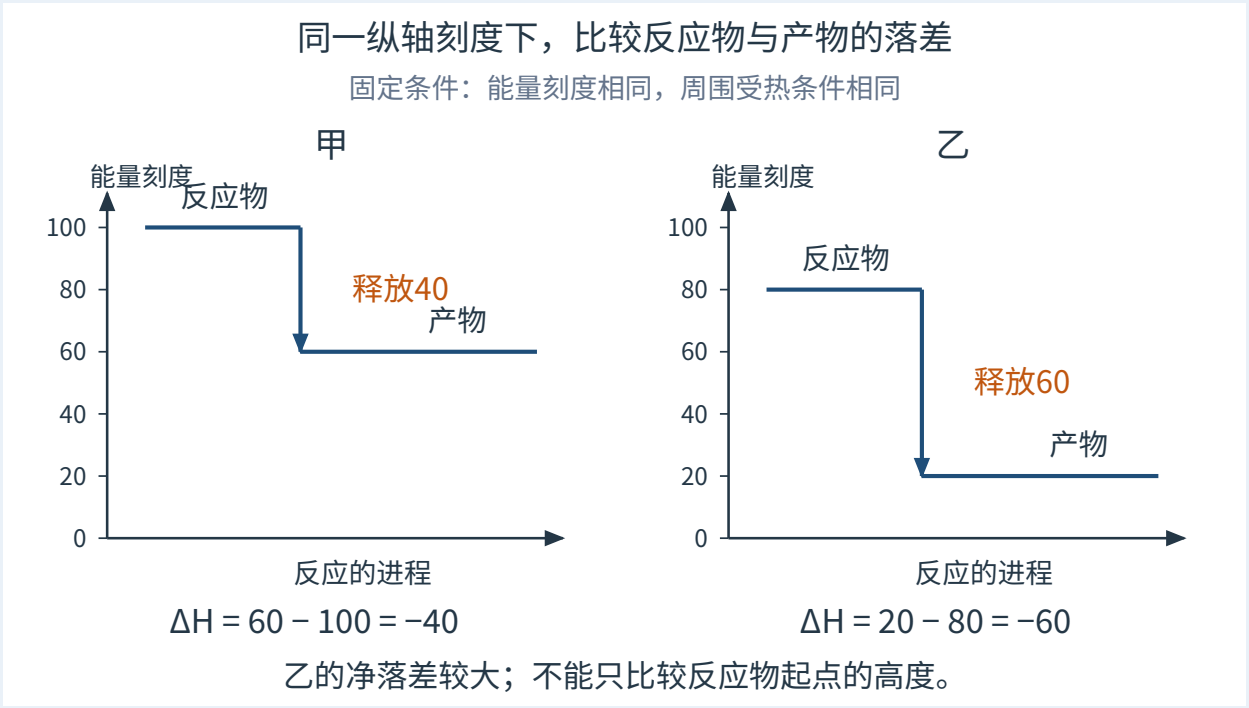
$$E_a = 90 - 40 = 50$$

$$\Delta H = 60 - 40 = +20$$

甲虽然放热，活化能 30 却比吸热的乙的 50 小。丙同样放热，活化能 70 又比乙大，因此“放热反应的活化能总比吸热反应大”不成立。

看箭头选名称时，始终检查起点与终点：量到峰顶的是活化能，量到产物的是焓变。

当题目要求比较周围升温多少时，要再比较净能级差。在周围材料、质量等受热条件相同的情况下，反应放出的热量越多，周围温度升得越多。不同图只有使用相同的纵轴刻度，竖直距离才可以直接比较。



图用简单的示意数值说明净落差。两图按相同能量刻度比较，并固定周围的受热条件。

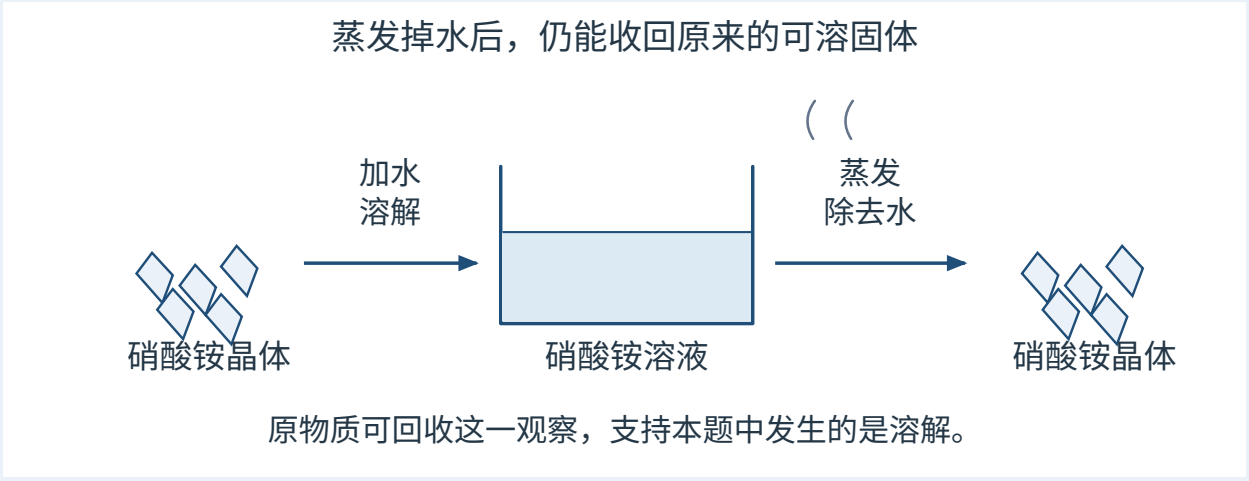
图中甲由 100 降到 60，乙由 80 降到 20。分别计算两者放出的能量：

甲：100 − 60 = 40 个示意能量单位

乙：80 − 20 = 60 个示意能量单位

乙的反应物起点虽然没有甲高，净落差却更大。在图示的相同受热条件下，乙使周围升温更多。比较时应量“反应物到产物的差”，不只看产物或反应物离横轴多远。

温度变化还可以出现在溶解等过程中，所以“吸热”本身不等于“发生了化学反应”。硝酸铵 ammonium nitrate NH_4NO_3 加入水后，混合液变冷；除去水后，能收回硝酸铵。第一条观察说明吸热，第二条说明本题中的固体是溶在水里，并没有因为溶解而全部变成另一种物质。



方块表示看得见的晶体外形，水中的分子和离子没有逐个画出。是否吸热要另用温度变化判断。

遇到同时问过程和热效应的选项，就把两个证据分别对应：能回收本例原固体，选择 dissolves；混合液降温，选择 endothermic。两者必须在同一个选项中同时成立。

放热反应使周围温度_____，产物能级比反应物_____，ΔH 为_____值。图上从反应物能级到峰顶的差表示_____。

答案：升高；低；负；活化能 E_a

怎么认 先圈出题目说的是周围温度还是反应物质的能量；能量图先找起终点。若比较升温大小，再核对纵轴刻度并比较净落差。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q13） · 2 级

Three statements about energy changes in chemical reactions are listed.

1 In an endothermic reaction, the temperature of the surroundings increases.

2 In an exothermic reaction, thermal energy is taken in from the surroundings.

3 In the reaction pathway diagram for an exothermic reaction, the energy level of the products is lower than the energy level of the reactants.

Which statements are correct?

A 1 and 2 **B** 1 only **C** 2 and 3 **D** 3 only

解：三个叙述分别说周围的温度、热量流向和反应物与产物的能级，先认清每一句在比较什么。

叙述 1：endothermic 是吸热。反应从周围吸收热量，周围失去热量，温度应降低，不是升高，故 1 错误。

叙述 2：exothermic 是放热。热量由反应向周围转移，不是从周围吸入，故 2 错误。

叙述 3：放热反应把一部分能量传给周围，结束时产物的能级低于开始时反应物的能级，故 3 正确。

只有 3 正确，对应 3 only，故选 D。

例题 2 （2025·May/June 0620/13 Q13） · 2 级

When ammonium nitrate is added to water, the temperature of the mixture decreases.

The ammonium nitrate can be recovered by evaporating the water.

Which statement explains these observations?

A The ammonium nitrate dissolves in the water, and the process is endothermic.

B The ammonium nitrate reacts with the water, and the process is endothermic.

C The ammonium nitrate dissolves in the water, and the process is exothermic.

D The ammonium nitrate reacts with the water, and the process is exothermic.

解：题目给了两条不同的观察，要分别解释。

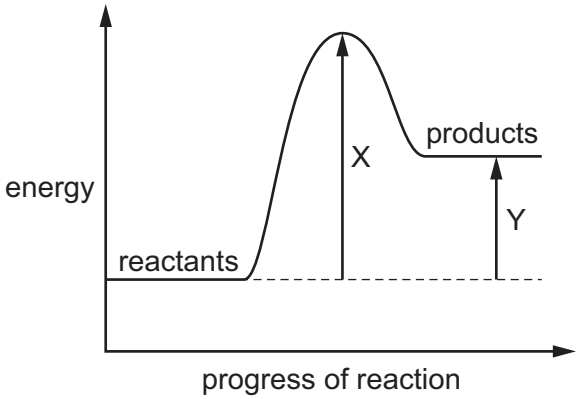
加入 ammonium nitrate（硝酸铵）后，混合液温度下降，说明这个过程从周围吸收热量，属于 endothermic。先排除写成 exothermic 的 C、D。

再看第二条：蒸发除去水后，还能收回硝酸铵。在本实验中，这是硝酸铵溶在水里、随后除去水又得到原固体的过程，因此应选 dissolves，不是 reacts with the water。剩下 A、B 中只有 A 符合。

两个观察合起来是“溶解，并且吸热”，故选 A。温度变化说明能量发生了转移；单凭降温这一现象，还不能把过程判成化学反应。

例题 3 （2025·May/June 0620/23 Q14） · 3 级

A reaction pathway diagram is shown.



Which row shows the correct labels for X and Y and the type of reaction taking place?

	X	Y	type of reaction
A	enthalpy change	activation energy	exothermic
B	activation energy	enthalpy change	endothermic
C	activation energy	enthalpy change	exothermic
D	enthalpy change	activation energy	endothermic

解：先看 X 的起点和终点：X 由反应物能级指向曲线峰顶，表示活化能 activation energy。

再看 Y：Y 由反应物能级指向产物能级，表示焓变 enthalpy change。

最后比较两条水平能级。产物高于反应物，ΔH 为正，整个反应为 endothermic。把 X、Y 与反应类型三项合在一起，对应 B。

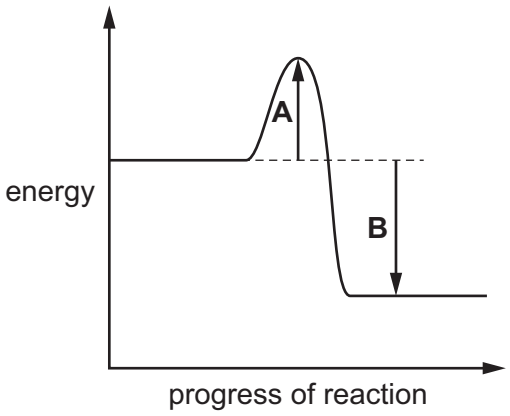
不能因为曲线从峰顶向下就叫放热，判断净热效应要比较反应物与产物。

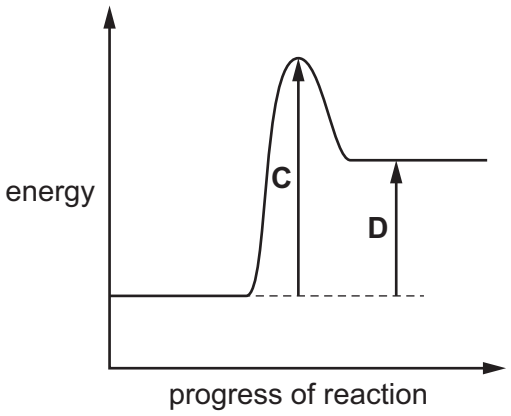
针对练习

1. （2024·October/November 0620/21 Q14） · 2 级

Two reaction pathway diagrams are shown.

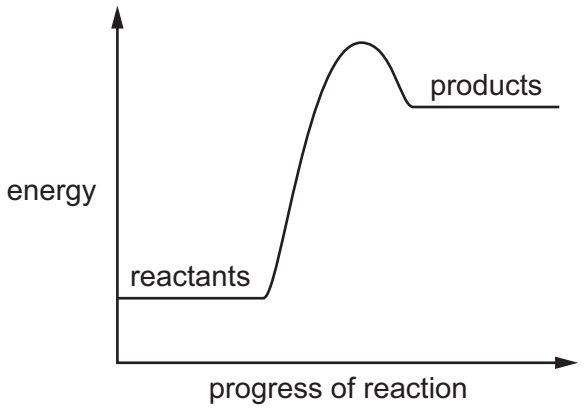
Which arrow represents the activation energy for a reaction which releases thermal energy?





2. （2025·May/June 0620/22 Q13） · 3 级

A reaction pathway diagram is shown.



Which row identifies the type of reaction and how the temperature of the surroundings changes during the reaction?

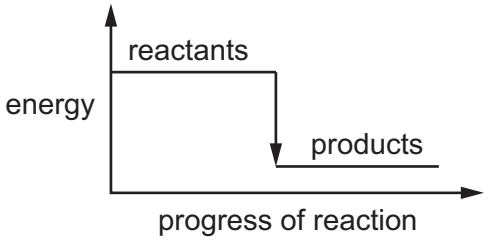
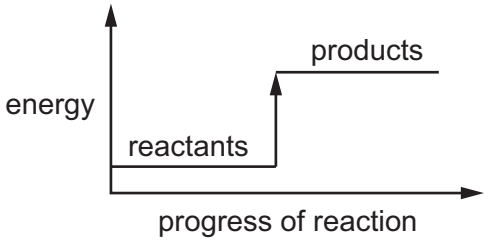
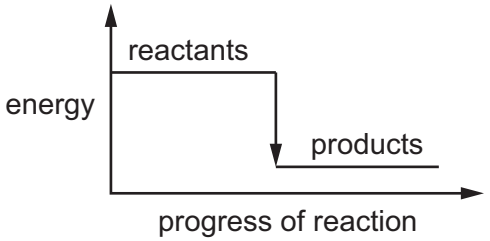
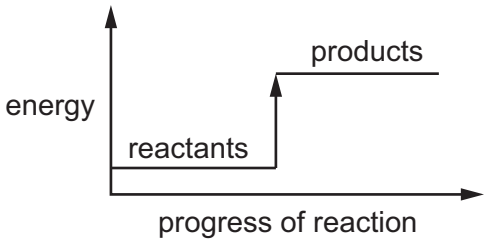
	type of reaction	temperature of the surroundings
A	endothermic	decreases
B	endothermic	increases
C	exothermic	decreases
D	exothermic	increases

3. （2025·May/June 0620/21 Q13） · 3 级

Water is added to anhydrous copper(II) sulfate in a test-tube.

The mixture becomes hot.

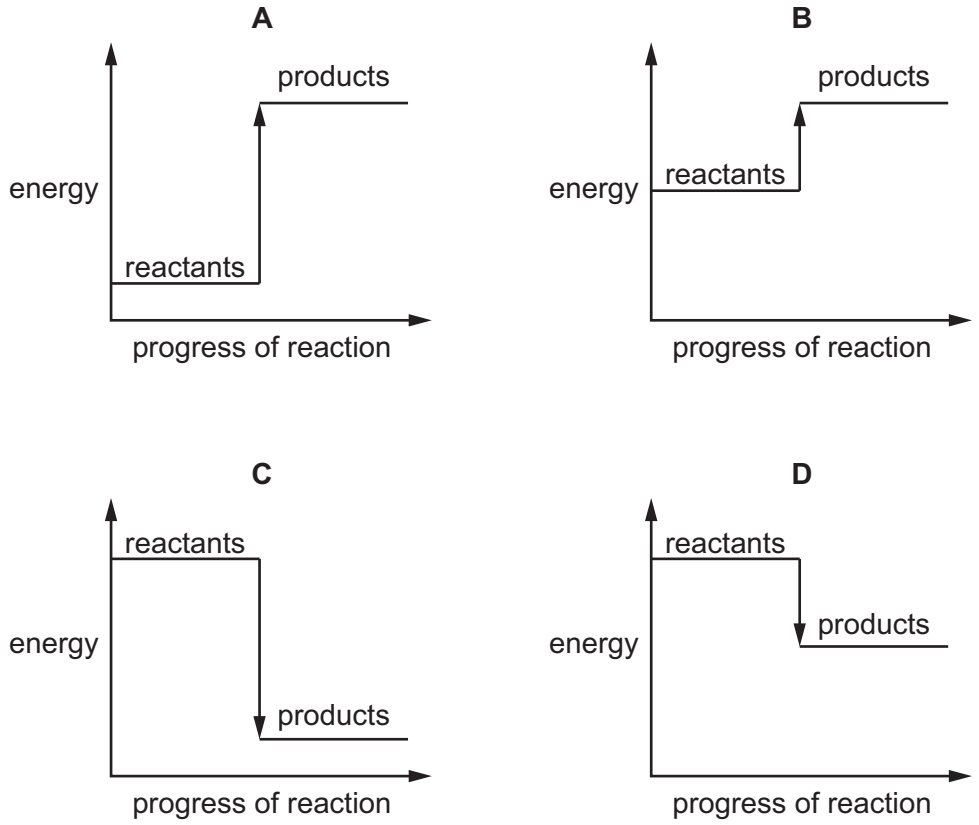
Which type of reaction and reaction pathway diagram apply to this reaction?

	type of reaction	reaction pathway diagram
A	endothermic	
B	endothermic	
C	exothermic	
D	exothermic	

4. （2025·May/June 0620/12 Q14） · 3 级

Which reaction pathway diagram shows the largest increase in the temperature of the surroundings?

(The scale on the *y*-axis is the same in each diagram.)



5. （2024·May/June 0620/22 Q12） · 3 级

Three statements about activation energy, E_a, are listed.

1 Colliding particles must have at least E_a before they can react.

2 E_a for exothermic reactions is always greater than for endothermic reactions.

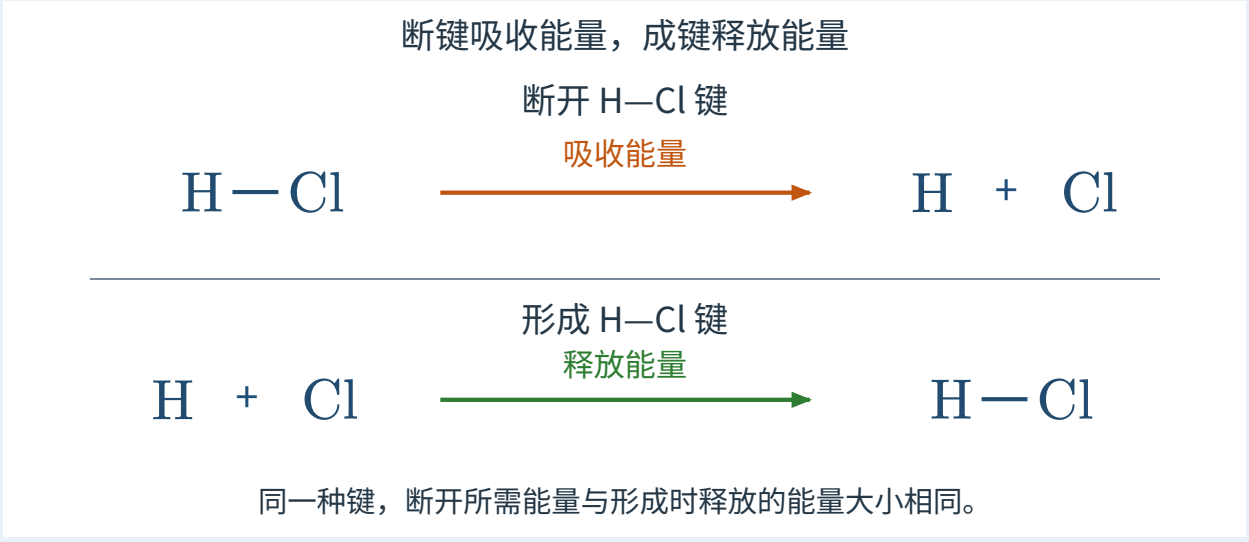
3 E_a is always endothermic.

Which statements are correct?

A 1, 2 and 3 **B** 1 and 2 only **C** 1 and 3 only **D** 2 and 3 only

题型 2：用断键吸能与成键放能计算焓变

知识点 把氯化氢分子 HCl 中的氢原子和氯原子拉开，需要克服成键原子之间的吸引。因而断开化学键要吸收能量。反过来，原子重新形成化学键，体系能量降低，并向周围释放能量。因此，断键是吸热过程，成键是放热过程。

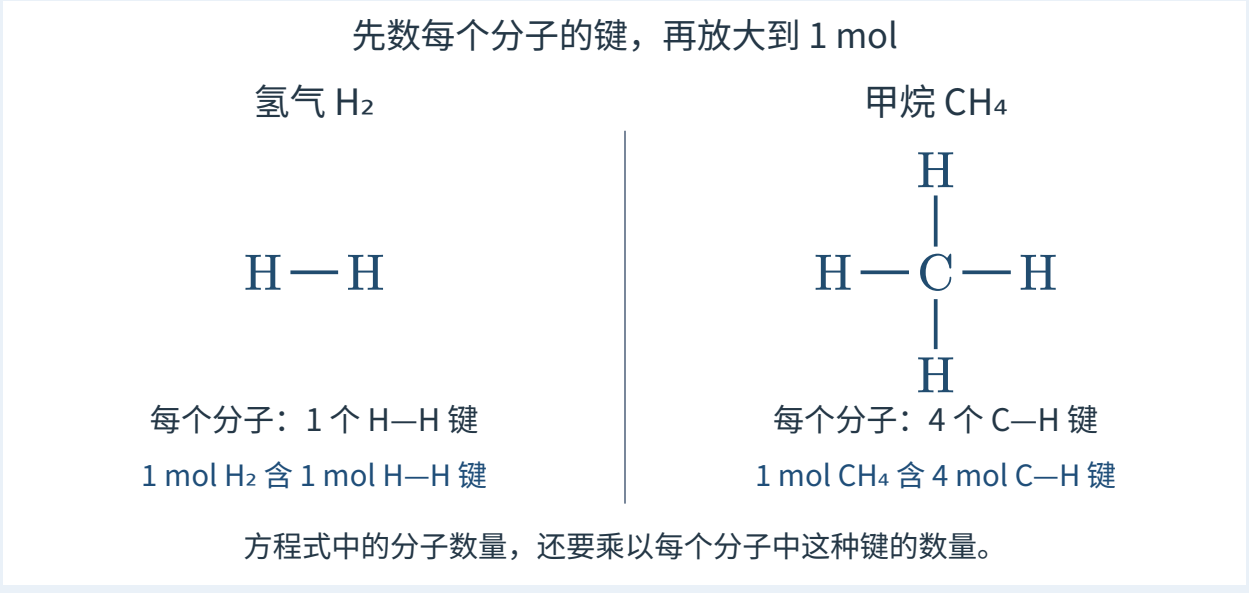


横向箭头表示从成键的分子到分开的原子，或从分开的原子到成键的分子；能量转移的方向写在箭头旁。

这里的“断开”指把相应化学键打断，并不是把两个分子之间的间隔拉大。用键能计算分子反应的焓变时，要列出反应物中断开的键与产物中形成的键。

键能 bond energy 通常按 kJ/mol 给出：断开气态分子中的 1 mol 指定化学键，需要多少千焦能量。题表给的是平均键能时，就按题给值计算。这个数值是“每 1 mol 这种键”的能量，并不一定是“每 1 mol 这种分子”的能量。

例如，一个氢气分子 H_2中只有一个 H—H 键；一个甲烷分子 CH_4中，碳原子与四个氢原子相连，共有四个 C—H 键。因此，1 mol H_2含 1 mol H—H 键，而 1 mol CH_4含 4 mol C—H 键。先把每个分子中的连接线数清，再乘方程式系数或题给的物质量。



平面结构式展示原子的连接关系，供本题数键；图上的夹角不用于判断分子的三维形状。

一次反应通常同时包含断键与成键。断键吸收的能量是付出的部分，成键释放的能量是得到的部分；二者相减，才是整个反应的净能量变化：

ΔH = 断键吸收的总能量 − 成键释放的总能量

若放出的更多，结果为负，反应放热；若吸收的更多，结果为正，反应吸热。

例如，氢气与氯气反应生成氯化氢：

$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$

(g)表示气态。给定 H—H、Cl—Cl、H—Cl 的键能分别为 436、242、431 kJ/mol。

先算断键吸收的能量。按方程式取 1 mol H_2和 1 mol Cl_2，需要断开各 1 mol 的 H—H 键和 Cl—Cl 键：

断键吸收 = 436 + 242 = 678 kJ

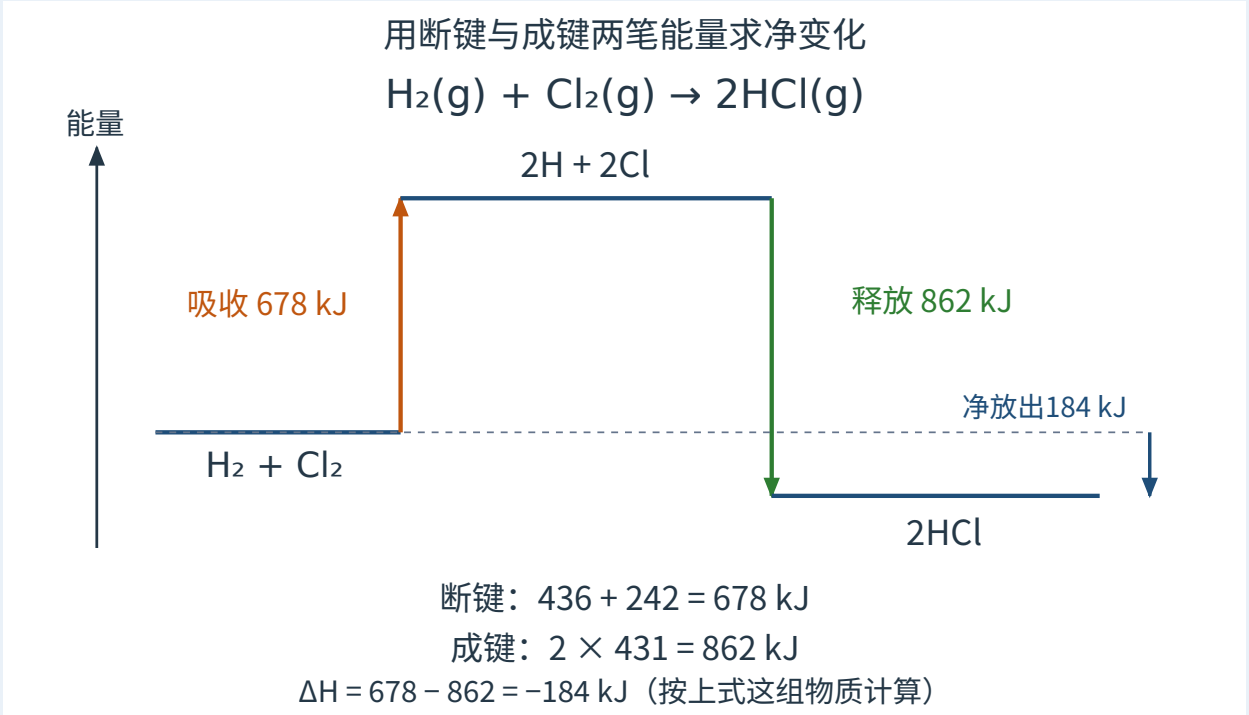
再算成键释放的能量。产物是 2 mol HCl，需要形成 2 mol H—Cl 键：

成键释放 = 2 × 431 = 862 kJ

最后用吸收量减释放量：

$\Delta H = 678 - 862 = -184$ kJ

因此，按这组反应物数量计算，反应净放出 184 kJ。



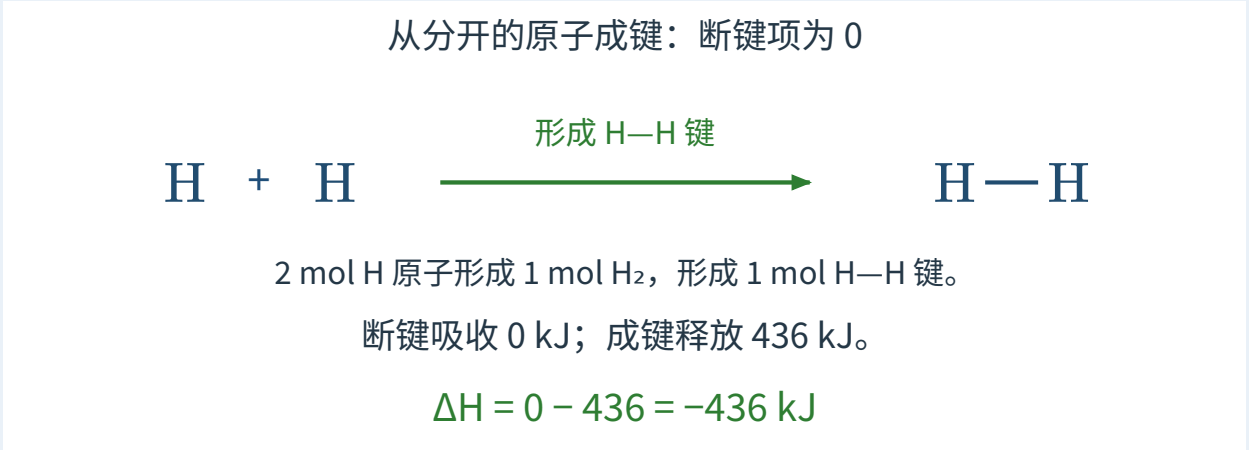
图把断键吸收与成键释放分开核算。中间的游离原子只用于能量核算，不表示实际反应必须先全部变成游离原子。

这个计算把能量分开核算，不是在说实际反应一定先把所有分子都变成游离原子；图中断键的总能量也不是上一题型的活化能 E_a。活化能比较的是反应物到实际反应路径峰顶的差，键能计算比较的是所列化学键断开或形成时的能量。

题目若分别问 energy required（所需能量）与 energy released（释放能量），先填两份能量的大小；最后求 ΔH 时才用“吸收减释放”，并保留正负号。单位也照题意区分：给定一组物质量的总能量用 kJ；题目要求反应焓变时，按给出的反应式与 kJ/mol 要求作答。

还有一种起点需要单独检查：若题目直接说“由分开的原子形成分子”，起点没有相应的化学键要打断，断键吸收项就是 0。例如，由 2 mol 分开的 H 原子形成 1 mol H_2，H—H 键能给定为 436 kJ/mol。起点是分开的原子，无须先断键；只形成 1 mol H—H 键，释放 436 kJ。因此：

$\Delta H = 0 - 436 = -436$ kJ



本例给定 H—H 键能为 436 kJ/mol，计算的是由分开的原子生成 1 mol H_2时的能量变化。

同样的检查可以迁移到由原子形成含多条键的分子：先确认起点确实是原子，再数产物中形成几种、各多少条键。若题目给的是 H_2 等分子作为反应物，就必须计入原有的 H—H 键，不能沿用“断键项为 0”。断键要_____能量，成键会_____能量。计算净焓变时，用_____的总能量减去_____的总能量。

答案：吸收；释放；断键吸收；成键释放

怎么认 先看反应起点是原子还是分子，再按结构与方程式系数数键。分别求断键吸收、成键释放，最后计算吸收减释放并核对正负号。

例题 1 (2025·May/June 0620/41 Q6(d)(ii)) · 3 级

(ii) Iodine and bromine react at high temperatures to form iodine monobromide, IBr.

The equation is shown.

$$I_2(g) + Br_2(g) \rightarrow 2IBr(g)$$

The structures of the molecules involved in the reaction are I–I, Br–Br and I–Br.

Table 6.1

bond	bond energy in kJ / mol
I–I	150
Br–Br	193
I–Br	175

Calculate the enthalpy change, ΔH, for the reaction using the bond energies in Table 6.1.

Use the following steps.

- Calculate the **total** amount of energy required to break the bonds in 1 mol of $I_2(g)$ and 1 mol of $Br_2(g)$.
- Calculate the total amount of energy released when the bonds in 2 mol of IBr(g) are formed.
- Calculate the enthalpy change, ΔH, for the reaction.
  Your answer should include a sign.

解：
先读反应式：
$I_2(g) + Br_2(g) \rightarrow 2IBr(g)$
1 mol I_2 含 1 mol I—I 键，1 mol Br_2 含 1 mol Br—Br 键。产物前面的 2 表示生成 2 mol IBr，因此会形成 2 mol I—Br 键。括号中的(g)表示气态。
第一步，计算断键吸收的能量。查表，I—I 为 150 kJ/mol，Br—Br 为 193 kJ/mol：
断键吸收 = 1 × 150 + 1 × 193 = 343 kJ
第二步，计算成键释放的能量。每形成 1 mol I—Br 键释放 175 kJ；本题形成 2 mol 这种键：
成键释放 = 2 × 175 = 350 kJ
这里问释放能量的大小，填写正的数值。
第三步，求净焓变。用断键吸收的能量减去成键释放的能量，按题目要求以 kJ/mol 表示：
$\Delta H = 343 - 350 = -7\ \text{kJ/mol}$
成键放出的 350 kJ 超过断键用去的 343 kJ，净放出 7 kJ，因此反应放热，最后的负号必须保留。
不要把前两步相加，也不要因为产物系数为 2 就把最后结果再除以 2；本题要求按所给反应式计算。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/43 Q6(e)(iii)） · 3 级

(iii) Iodine and chlorine react at high temperatures to form iodine monochloride, ICl.

The equation for the reaction is shown.

$$I_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2ICl(g)$$

The structures of the molecules involved in the reaction are I–I, Cl–Cl and I–Cl.

Table 6.1

bond	bond energy in kJ / mol
I–I	150
Cl–Cl	242
I–Cl	218

Calculate the enthalpy change, ΔH, for the reaction using the bond energies in Table 6.1.

Use the following steps.

- Calculate the **total** amount of energy required to break the bonds in 1 mol of $I_2(g)$ and 1 mol of $Cl_2(g)$.
- Calculate the total amount of energy released when the bonds in 2 mol of $ICl(g)$ are formed.
- Calculate the enthalpy change, ΔH, for the reaction.
  Your answer should include a sign.

2. （2025·May/June 0620/22 Q14） · 3 级

The average bond energy for the C–H bond is 413 kJ / mol.

What is the enthalpy change when 1.0 mol of methane molecules is formed from carbon and hydrogen atoms?

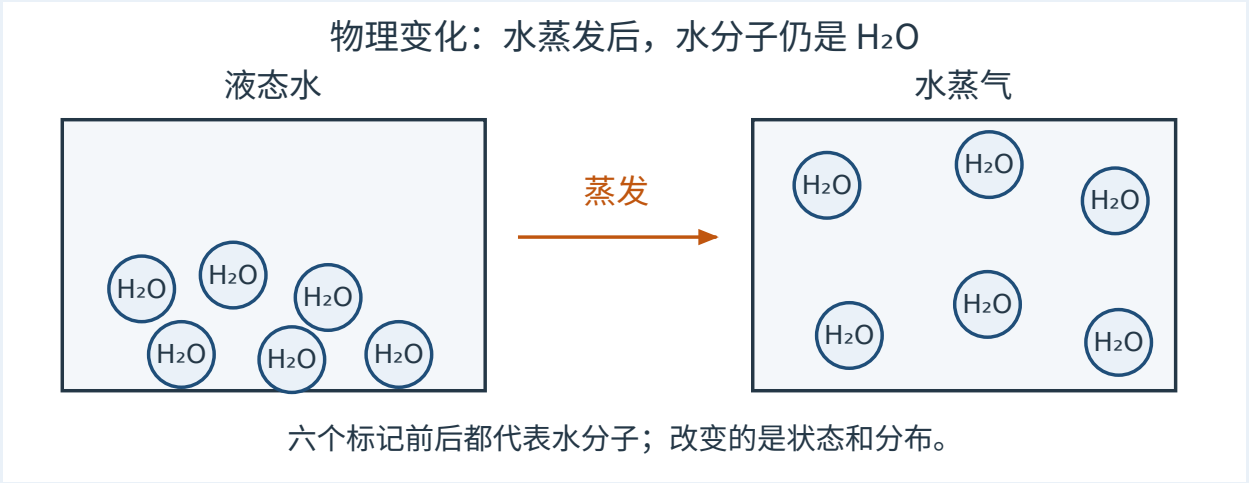
A –1652 kJ **B** –413 kJ **C** +413 kJ **D** +1652 kJ

化学反应

6.1 物理变化与化学变化

题型 1：按物质身份区分物理变化与化学变化

知识点 把水加热成水蒸气，或者把一块固体切碎，物质的状态、形状或分布发生了变化，但没有因此生成另一种物质。这类变化叫物理变化 physical change。先看变化前后“是什么物质”，再看外形有没有改变。

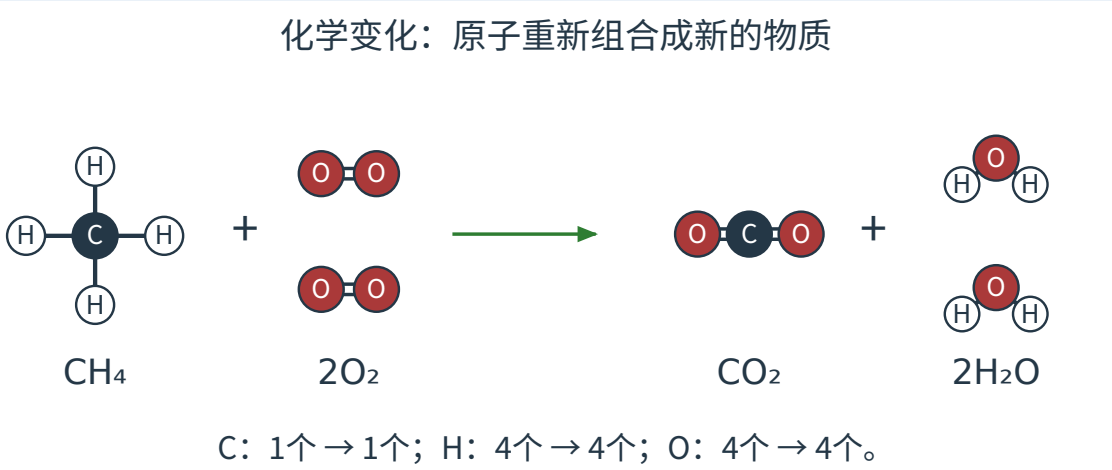


图用相同的六个 H_2O 标记比较液体与气体；气态粒子平均相距较远，但粒子种类没有变。粒子间距与大小不按真实比例绘制。

例如，水从 $H_2O(l)$变成 $H_2O(g)$。括号里的(l)与(g)分别是液态与气态，前后的化学式都为 H_2O，因此是物理变化。冷却水蒸气成为液态水也一样。蒸馏 distillation 先把液体蒸发，再把蒸气冷凝，所利用的也是状态变化；例如蒸馏乙醇 ethanol C_2H_5OH，收集到的仍是乙醇。

溶解也要看具体物质是否生成了新的反应产物。本节的食盐溶于水、硫酸铜溶于水，以及墨水与水混匀，按物理变化判断：原来的物质分散到水中，能够用适当分离方法回收溶质。不能仅凭“看不见原来的固体”就断言发生了化学反应。

化学变化 chemical change 会生成新的物质。以甲烷 methane CH_4在氧气 O_2中完全燃烧为例，产物是二氧化碳 carbon dioxide CO_2与水 H_2O。它们的组成和性质不同于原来的甲烷、氧气。原来的原子仍然存在，但组合方式变了。



甲烷燃烧的粒子模型对应 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$。原子种类和数目守恒，但甲烷与氧气转变成了二氧化碳和水。示意排布不表示甲烷的真实空间键角。

例如，按图把左边的 1 个 C、4 个 H、4 个 O 逐类数出，再数右边，原子总数相同。可是左边的 CH_4与 O_2变成了右边的 CO_2与 H_2O，形成新物质，所以甲烷燃烧是化学变化。铁 iron Fe 锈蚀时也生成新的锈蚀产物，因此是化学变化。

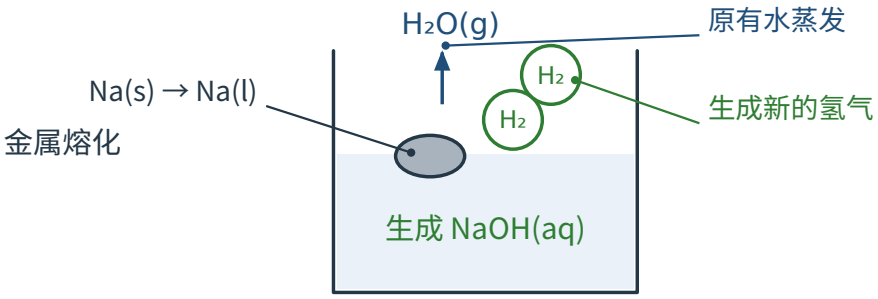
中和 neutralisation 也会生成新物质。例如黑色氧化铜(II)copper(II) oxide CuO 与稀硫酸 sulfuric acid H_2SO_4 反应，生成硫酸铜(II)copper(II) sulfate $CuSO_4$和水：

$$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$$

这里不是把 CuO 原样移进水中，而是把它转化成了盐和水，因此属于化学变化。

产生气泡、颜色变化、升温可以提示发生反应，但单独一项观察不能代替“有没有新物质”的判断。水沸腾也会冒气泡；给有色溶液加水也会使颜色变浅。物理变化通常可用物理方法逆转，但不能把“能否逆转”作为唯一标准，因为某些化学反应本身也是可逆的。

同一次实验可能包含两类变化。第 I 族金属钠 sodium Na 与水反应会生成氢氧化钠 sodium hydroxide NaOH 和氢气 hydrogen H_2；产生的热量还可能使金属熔化，并使部分原有的水蒸发。pH 是描述溶液酸碱性的数值；NaOH 使本来近中性的水溶液变为碱性，pH 上升。



钠与水反应时，金属熔化和原有水蒸发是物理变化；形成氢气和氢氧化钠是化学变化。蓝箭头仅表示水蒸气离开水面，不表示水分解成氢气。

例如，第一条“金属熔化”只把 Na(s)变成 Na(l)，是物理变化。第二条“生成 H_2”得到一种新的物质，是化学变化。第三条“形成水蒸气”把 H_2O(l)变成 H_2O(g)，仍是物理变化。本实验中溶液 pH 上升，是因为反应形成了碱性 NaOH；但不能把所有 pH 变化都无条件判成化学变化，因为给溶液加水稀释也可能改变 pH。遇到多条观察，要逐条说明各自变化的对象，再合并选项。

答案：物理变化不生成新物质；化学变化生成新物质。一次实验中的熔化、蒸发与生成新物质应分别判断。

怎么认 逐条问“原来的物质只是换了状态或分布，还是形成了新物质”；再合并所选观察，不把气泡或 pH 变化单独当作通用判据。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q15） · 1 级

Which process involves a chemical change?

A dissolving copper(II) sulfate

B distilling ethanol

C freezing water

D neutralising copper(II) oxide

解：依次检查四项变化前后的物质。

A 中硫酸铜溶于水，是把原来的溶质分散在水中，本题按物理变化处理。

B 中蒸馏乙醇只是蒸发后再冷凝，乙醇的身份没有改变。

C 中水凝固，H_2O 由液态变为固态，仍是水。

D 中氧化铜与酸中和，形成盐和水。例如：

$$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$$

反应生成了新的物质，因此化学变化是 D。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/32 Q7(a)） · 2 级

(a) Select **two** processes that show a chemical change.

Tick (✓) **two** boxes.

boiling water	☐
burning methane	☐
dissolving salt	☐
mixing ink and water	☐
rusting of iron	☐

2. （2025·May/June 0620/11 Q14） · 2 级

When a small piece of a Group I metal is placed into a large beaker of cold water, a reaction occurs.

Four statements about this reaction are listed.

1 The metal melts.

2 Hydrogen is produced.

3 Steam is produced.

4 The pH of the solution increases.

Which statements about this reaction describe a physical change?

A 1 and 3 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 2 and 4

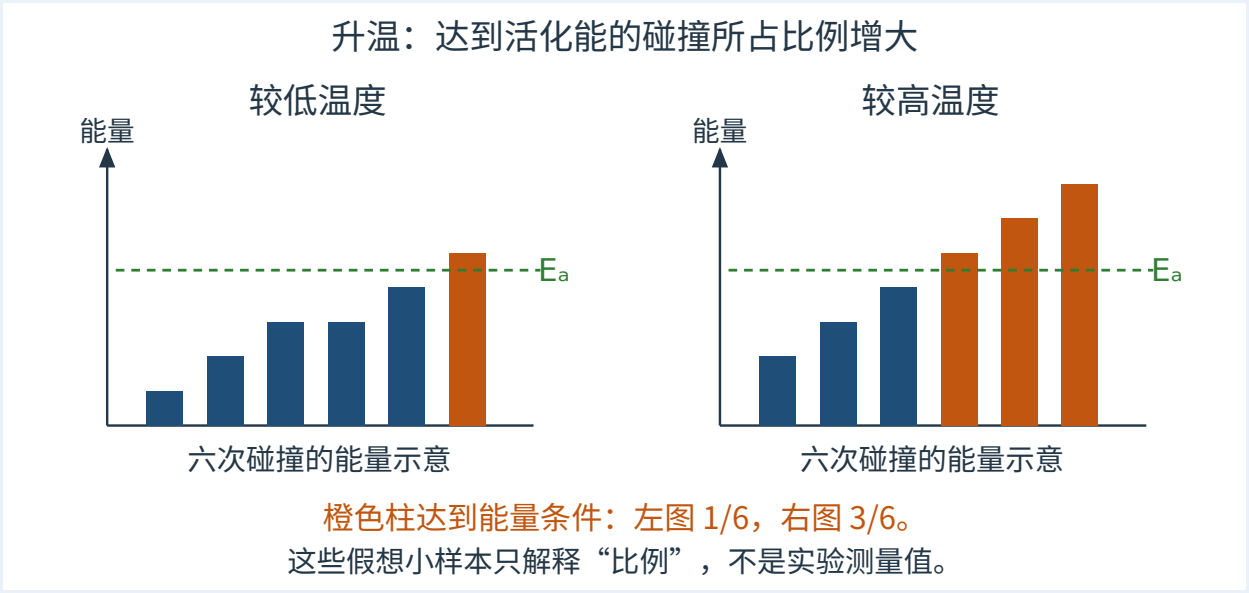
6.2 反应速率

题型 1：用碰撞频率与有效碰撞解释反应快慢

知识点 反应速率 rate of reaction 描述反应进行得多快。同样一段时间内，生成的产物越多，或消耗的反应物越多，平均反应速率就越大。例如，收集反应放出的气体时，累计气体体积在同样时间内增加得更多，表示这段时间内反应较快。

用粒子解释时，要先分清两个问题：粒子多常碰到一起，以及这些碰撞中有多少能引起反应。碰撞频率是单位时间内的碰撞次数；有效碰撞是实际引起化学反应的碰撞。粒子碰撞时，能量至少达到活化能 E_a，才具备发生反应的能量条件。许多低能量碰撞之后，粒子仍然分开，没有形成产物。

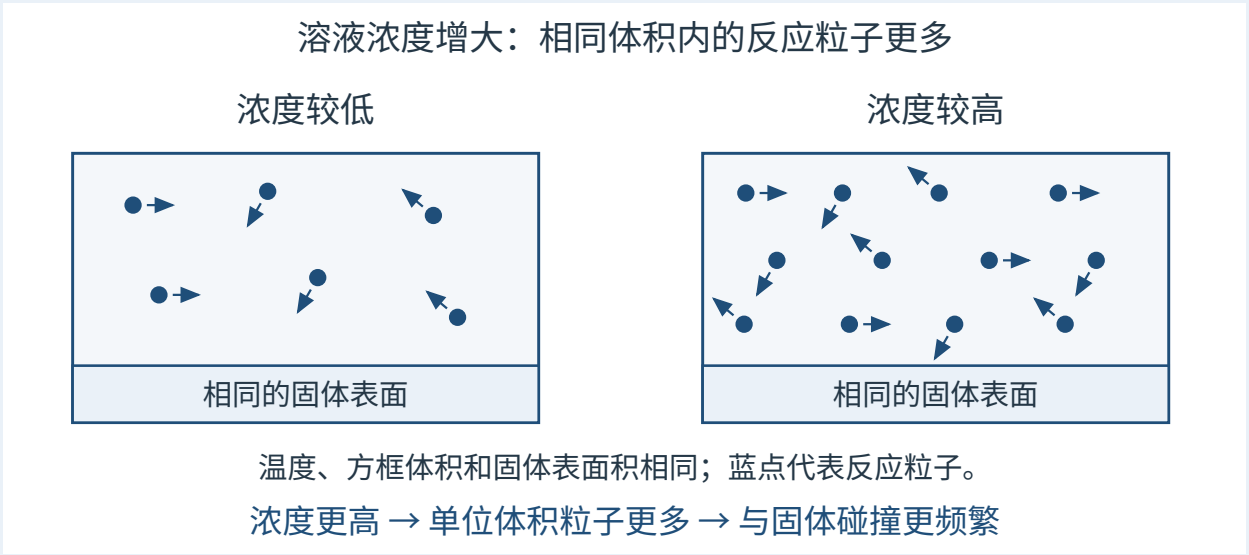
先看温度。动能是粒子运动所具有的能量；温度越高，粒子的平均动能越大，平均运动得越快。这样，单位时间内的碰撞会更多。同时，粒子的能量并非全部相同；升温还使达到或超过 E_a 的粒子或碰撞所占比例增加。下图用两组假想碰撞解释“比例”的意思：每根柱表示一次碰撞的能量，跨过同一条 E_a 线的柱符合能量条件。



两图采用相同的示意能量标尺和同一条 E_a 线，每根柱代表一次碰撞的能量。柱数用于解释所占比例，不用于比较每秒的碰撞次数。

例如，同一个反应从 30°C 升到 50°C，其他条件相同。先由温度升高推出平均动能增加、运动加快；再推出碰撞频率增加；还要补上达到活化能的比例增加。因此单位时间内的有效碰撞增多，反应更快。若题目反过来问 30°C 相对 50°C，则平均动能较小，碰撞频率也较低。两条解释要分别说清，不能只写“粒子更活跃”。

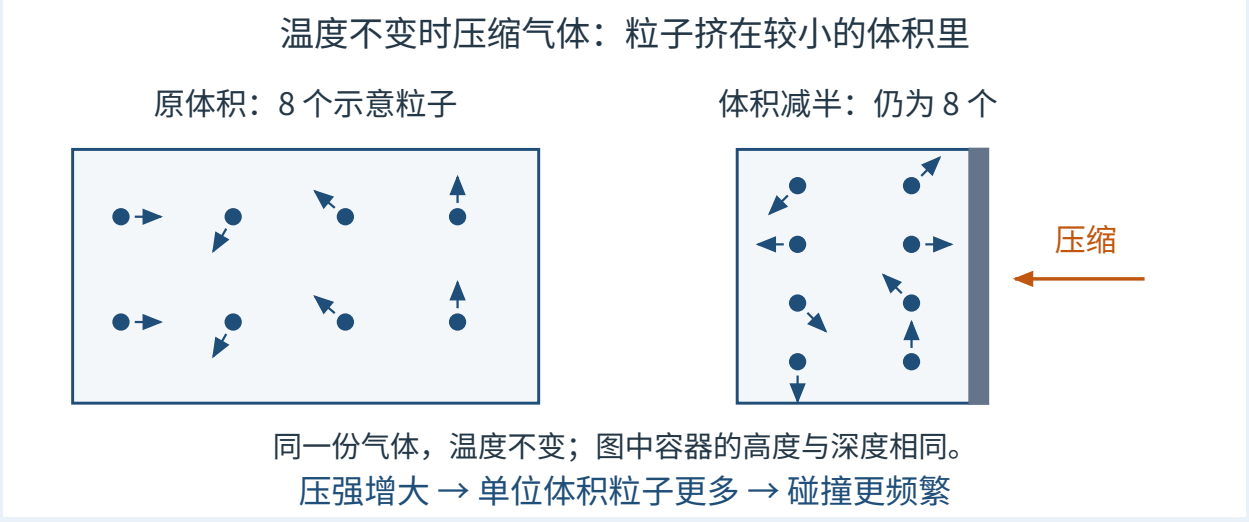
再看溶液浓度。浓度较高，表示相同体积内含有更多溶质粒子。若这些粒子参与反应，在温度与其他条件相同时，它们会更频繁地碰到另一反应物。酸与固体反应时，可比较单位体积内的酸粒子数，以及这些粒子碰到固体表面的频率。



两份相同体积的溶液接触相同的固体表面。短箭头表示粒子运动方向；固定温度下，图中箭头采用相同长度，不表示粒子因浓度增加而运动更快。

例如，用较高浓度的酸接触同样的固体粉末。先确定“每单位体积的反应粒子更多”，再写“与固体表面的碰撞频率更高”，最后得出“反应较快”。温度没有改变，因此粒子的平均动能不会仅因浓度提高而增加。浓度变为两倍也不自动证明速率恰好变为两倍；这里先作快慢及原因的判断。

气体的压强也可以用单位体积内的粒子数来解释。把同一份反应气体保持在相同温度下压缩，体积减小，气体粒子总数没有增加，却分布在较小的空间里。单位体积内的粒子更多，碰撞更频繁，反应速率增大。反过来，在其他条件相同时减小反应气体的压强，通常使粒子更分散，反应较慢。



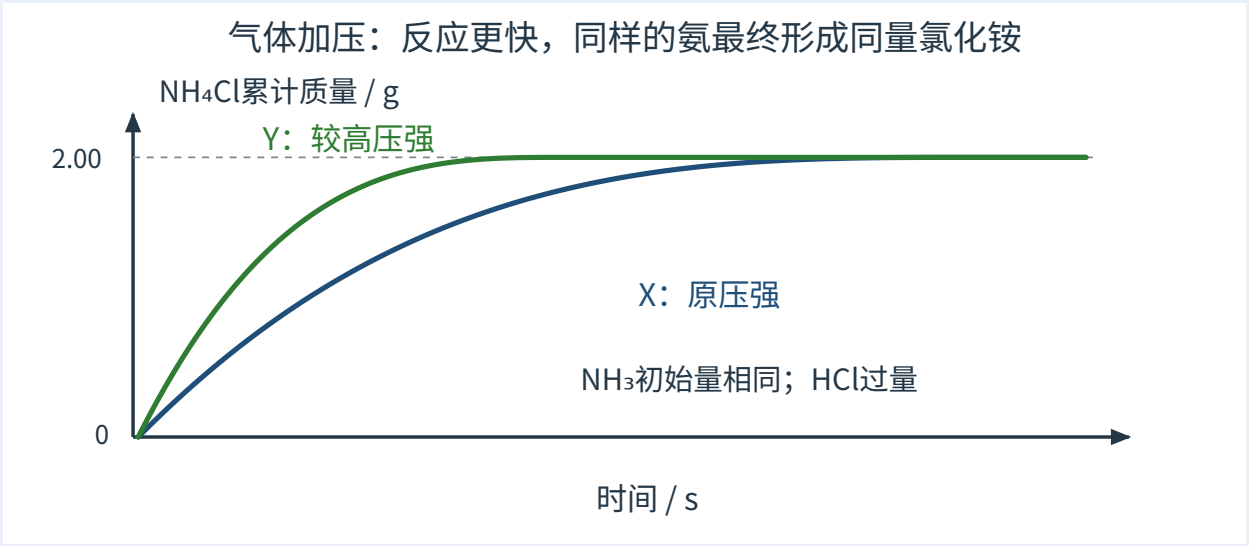
两侧表示同样数量的气体粒子，右侧体积较小。保持温度相同，平均动能不会仅因这个体积比较而增加。

例如，同一份气体在温度不变时，体积减到原来的一半。先保留“总粒子数不变”，再比较体积，得到“单位体积内的粒子数增大”；于是碰撞频率增加。此处变的是粒子拥挤程度，平均动能仍由温度决定。这个压强解释针对气体，不能直接套成“压紧固体就一定使所有反应更快”。

加压不等于增加原来的反应物总量。氨气 ammonia NH_3与氯化氢 hydrogen chloride HCl 可以生成固体氯化铵 ammonium chloride NH_4Cl：

$$NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow NH_4Cl(s)$$

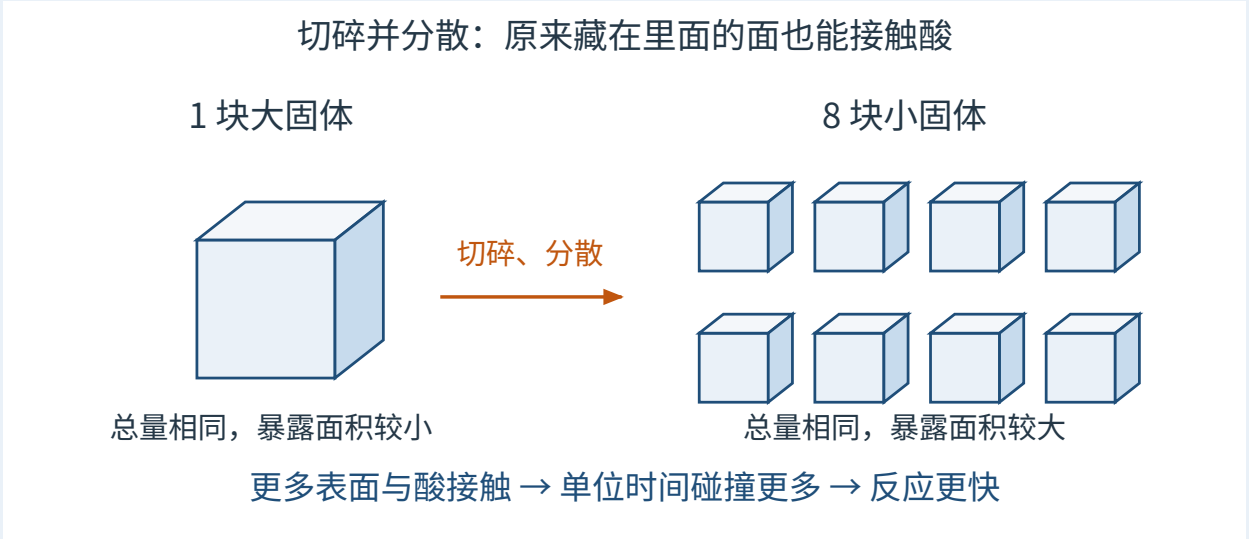
若每次开始的 NH_3量相同，HCl 始终过量，完全反应后能得到的 NH_4Cl 总量就由这份 NH_3决定。



2.00 g 为解释曲线关系而设的示意共同终点。温度、氨的初始量和其他条件相同，只提高压强；氯化氢一直过量，因此加压使平台更早到达，不增加完全反应的最终氯化铵质量。

例如，只把压强提高，先由单位体积粒子数增加推出碰撞更频繁，因此 Y 起始段比 X 陡，较早到平台。再核最终量：NH_3初始量没变，HCl 也没有不足，所以两条平台一样高。选图必须同时满足“更快”和“相同终点”，不能只找到一条较高的曲线就作答。这里纵轴是固体产物的累计质量，不是反应气体被压缩后的体积。

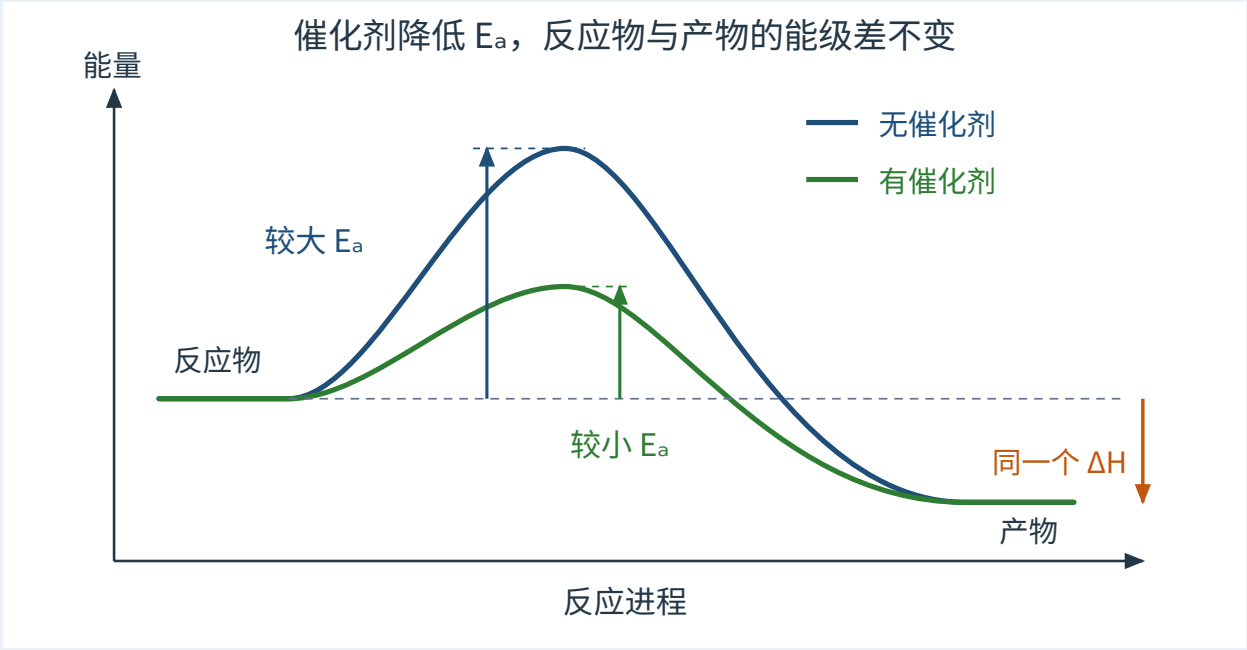
固体与溶液反应时，溶液粒子首先碰到的是固体表面。把相同总量的大块固体切碎并分散，原来藏在内部的面变成了能接触溶液的表面，总暴露面积增加。因此更多反应粒子能在单位时间内碰到固体表面，反应较快。



八块小立方体的边长都是大块的一半，合起来的体积与大块相同。图只比较暴露表面积，不据此宣称真实反应速率一定增加到某个倍数。

例如，相同总量的固体由粉末换成大块，酸的浓度与温度不变。按图反向读：大块的总暴露面积较小，单位时间内酸粒子与固体表面的碰撞较少，所以反应较慢。这里减少的是能接触酸的表面；温度和固体总量保持相同，并不是固体内部的粒子变少或运动变慢。

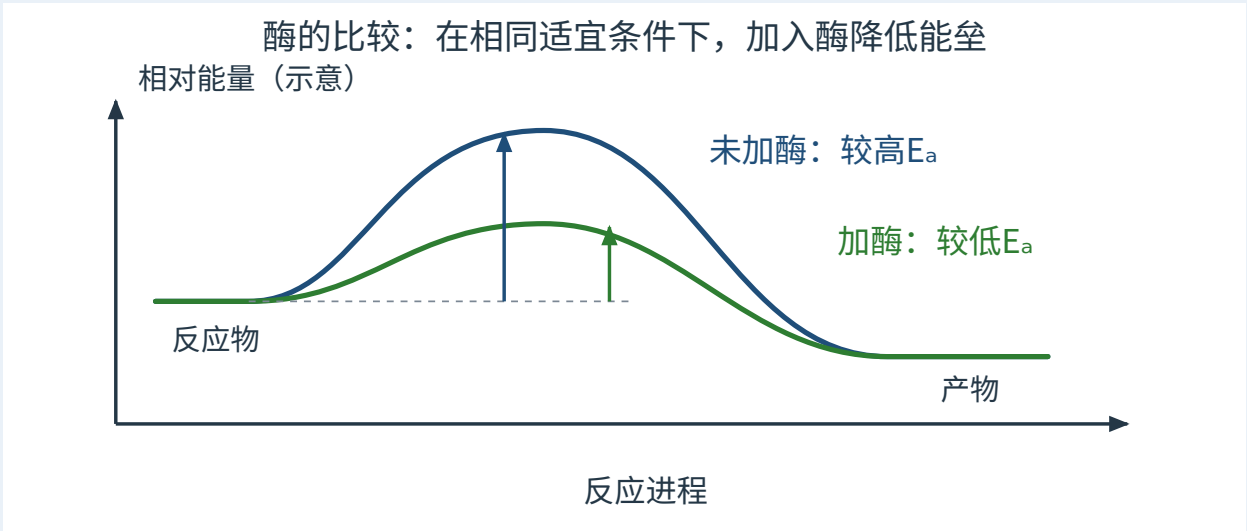
催化剂 catalyst 是能加快反应、在反应结束时本身保持不变的物质。它提供一条活化能较低的反应路径；在相同温度下，更多碰撞能达到较低的能量要求，反应就更快。除去催化剂，则失去这条由它提供的较低活化能路径。



同一反应在相同温度下比较：催化路径的峰较低，两条路径的反应物和产物能级分别相同。本图以放热反应为例，横轴不是反应时间。

例如，沿两条曲线分别从反应物能级量到峰顶。有催化剂的差较小，表示 E_a 降低；再比较反应物到产物的高度差，两条路径完全相同，表示 ΔH 不变。催化剂没有把粒子加热，因而在温度相同时不能把催化作用写成“粒子的平均动能增加”。

酶 enzyme 是一类生物催化剂，也能降低相应反应的活化能。在适合的条件下加入合适的酶，可以加快相应反应，酶不会作为反应物被全部消耗。酶若因温度过高而失去适当结构，可能失活；因此对酶催化体系，不能把一般的升温推理无限延伸成“任何温度下都是越热越快”。



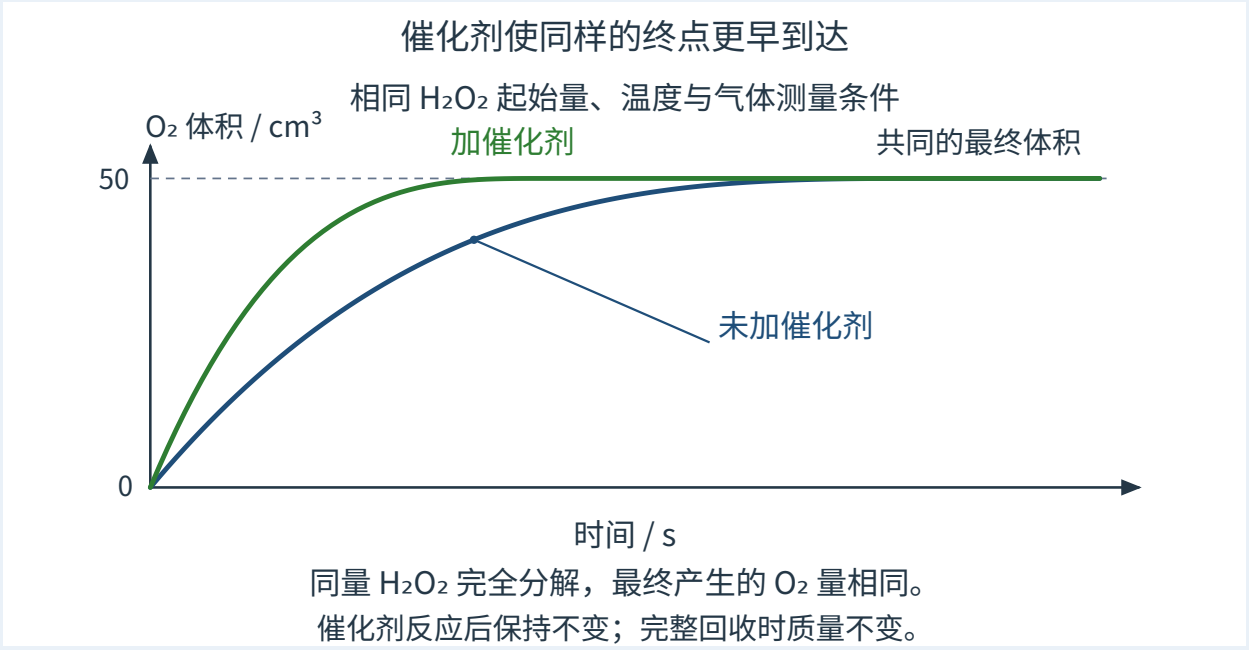
比较同一反应，两组温度、pH 和反应物起始条件相同且适合该酶。酶提供较低活化能的路径；它没有把反应物和产物的能级差改掉，也没有提高同温度下粒子的平均动能。

例如，两管装同浓度、同体积的 H_2O_2，在相同且适宜的温度与 pH 下，一管加入能催化其分解的过氧化氢酶 catalase，另一管不加酶。加酶组通过较低 E_a 路径反应；同温度下，达到该能量要求的碰撞所占比例较大，因而单位时间内生成的 O_2更多。它不是因为平均动能较大，也不是酶本身变成 O_2。若从相同的

起始条件改为完全不加这类催化剂，反应较慢，但并非必须完全停止；若两组的 H_2O_2 最终都完全分解，所得 O_2 总量相同。判断“移除酶”时要保持其他条件相同，并排除只是同时改变温度或 pH 造成的影响。最后分清反应更快与最终产物更多。过氧化氢 hydrogen peroxide 的化学式是 H_2O_2，它分解生成水 H_2O 和氧气 O_2：

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

加入催化剂后，氧气较快生成。若比较相同起始量的 H_2O_2，并且都完全分解，在相同的气体测量条件下，最终氧气体积相同。



曲线是教学示意，50 cm³是假想的共同终点。较陡的起始曲线表示氧气生成得更快；同样的最终量不等于在同一时刻已收集到同样的量。

例如，图中两组最后都收集到假想的 50 cm³氧气。有催化剂的曲线较早到达平台，因此反应较快；平台高度相同，因此最终产量没有增加。催化剂在反应结束后保持不变，若完整回收，质量也与反应前相同。判断催化剂选项时，可以依次检查“速率增大、E_a 降低、ΔH 不变、相同反应物完全反应的最终产量不变、催化剂反应后保持不变”。

题目若给出双向箭头⇌，从方程式左边物质生成右边物质的方向叫正反应 forward reaction。例如，C_2H_4 是乙烯，C_2H_5OH 是乙醇，$C_2H_4(g)$与 $H_2O(g)$向右反应可生成 $C_2H_5OH(g)$；(g)表示气态。问升温后正反应为什么更快时，仍沿“平均动能—碰撞频率—达到活化能的比例”解释该方向的速率，不需要先计算最终产率。

升温使粒子的平均动能_____，碰撞频率_____，达到活化能的比例_____。催化剂使活化能_____，但同一反应的焓变_____。

答案：增加；增加；增加；降低；不变

怎么认 先找唯一改变的条件，再说明它改变单位体积粒子数、暴露表面积、平均动能还是活化能。把这些变化接到碰撞频率或有效碰撞比例，最后解释速率。

例题 1 (2025·May/June 0620/11 Q15) · 2 级

The equation for the decomposition of hydrogen peroxide is shown.

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

The reaction is exothermic.

When a small amount of a catalyst is added, the oxygen is produced more quickly.

Which statement about the catalyst is correct?

A The catalyst makes the reaction more exothermic.

B The mass of catalyst is the same before and after the reaction.

C The catalyst increases the final volume of oxygen produced.

D All of the catalyst is used up in the reaction.

解：先读所给反应：过氧化氢 H_2O_2 分解，生成水 H_2O 和氧气 O_2。题干已经告诉我们反应放热，而且加入少量催化剂后，氧气产生得更快。这里的变化是反应速率。

催化剂提供活化能较低的反应路径，在反应结束时本身保持不变；若完整回收，反应前后的催化剂质量相同。因此 B 正确。

A 把速率与放热量混在一起。催化剂不改变反应物和产物的能级差，所以不会使同一反应变得更放热。C 把较快到达终点误认为终点更高；从相同起始量的过氧化氢完全分解，在相同气体测量条件下，最终得到的氧气量相同。D 说催化剂全部耗尽，与催化剂在反应后保持不变的性质矛盾。选 B。

例题 2 (2025·May/June 0620/41 Q3(c)(vi)) · 2 级

(c) Copper(II) sulfate crystals are made by the reaction between copper(II) carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

The sulfuric acid has a concentration of $0.100\,mol/dm^3$.

step 1 Powdered copper(II) carbonate is added to dilute sulfuric acid. The mixture is stirred. A reaction occurs.

(vi) **Step 1** is repeated using sulfuric acid of concentration $0.200\,mol/dm^3$ instead of $0.100\,mol/dm^3$.

All other conditions are the same.

The rate of reaction increases.

Explain why the rate of reaction increases. Give your answer in terms of particles.

解：先找出唯一改变的条件：硫酸浓度由 0.100 mol/dm³增加到 0.200 mol/dm³，温度、碳酸铜(II)粉末等其他条件保持相同。这里比较的是浓度，不是把溶液加热。

浓度较高，表示相同体积的溶液中含有更多能参与反应的酸粒子。碳酸铜(II)表面附近可与它反应的粒子更多，所以单位时间内发生的碰撞更多，即碰撞频率增加。

在其他条件不变时，单位时间内的有效碰撞也随之增多，碳酸铜(II)与酸反应得更快。完整作答可写：单位体积内的反应粒子数增加，使酸粒子与碳酸铜(II)表面的碰撞频率增加，所以反应速率增大。

例题 3 （2025·May/June 0620/42 Q6(d)(ii)） · 3 级

(d) C_2H_4 reacts with steam to form ethanol.

$$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g) \qquad \Delta H = -45\,kJ/mol$$

(ii) Explain, in terms of collision theory, why the rate of the forward reaction increases if the temperature increases.

解：正反应 forward reaction 指方程式从左向右：乙烯 C_2H_4 与水蒸气 H_2O 生成乙醇 C_2H_5OH。本问问的是升温后这一个方向为什么进行得更快，不是在问平衡时最终能得到多少乙醇。

第一步，温度升高，反应粒子的平均动能增加，粒子平均运动得更快。

第二步，运动加快使粒子在单位时间内发生更多碰撞，即碰撞频率增加。这说明碰撞次数变多。

第三步，升温还使具有足够能量达到或超过活化能 E_a 的粒子或碰撞所占比例增加。这说明碰撞中具备反应能量条件的比例也变大。只写“碰撞次数更多”会漏掉这一点。

因此，单位时间内发生的有效碰撞增多，正反应速率增加。完整解释应同时写出平均动能增加、碰撞频率增加，以及达到活化能的比例增加；升温本身并不把同一反应路径的活化能降低。

例题 4 （2024·May/June 0620/12 Q17） · 3 级

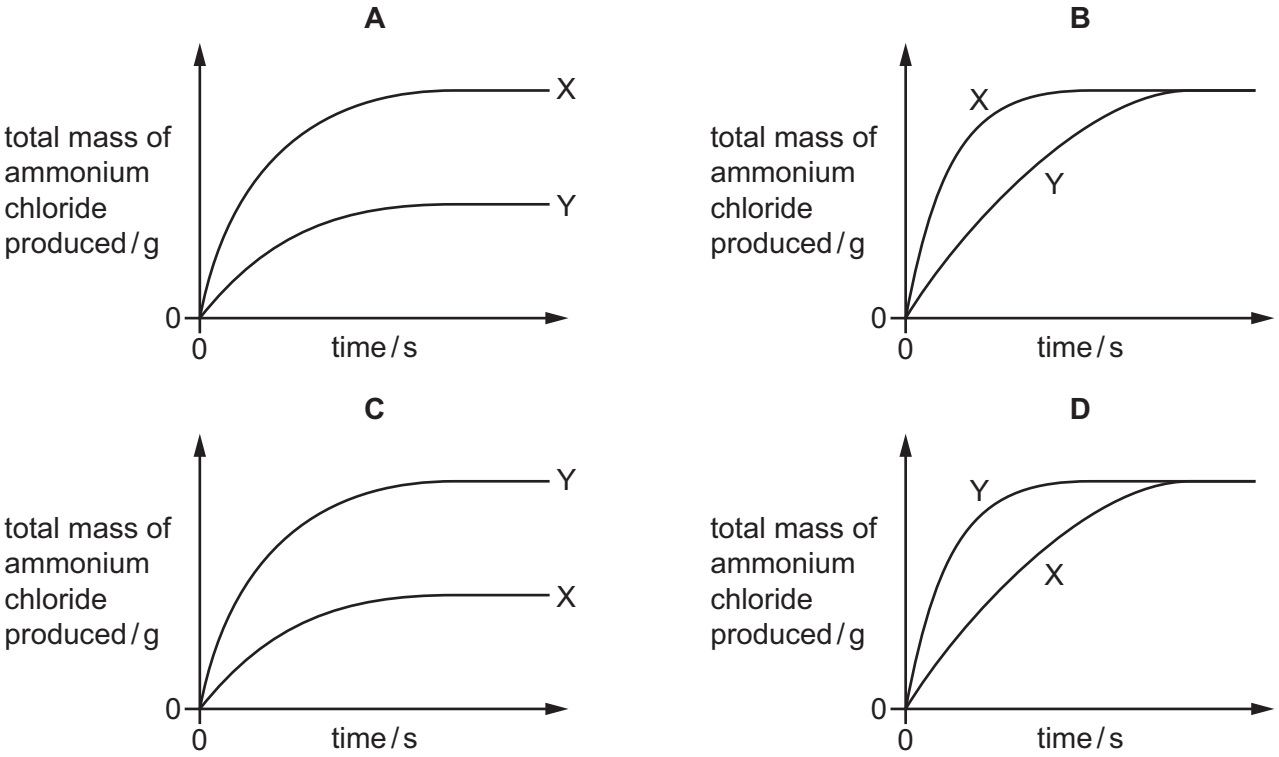
A known mass of gaseous ammonia and excess gaseous hydrogen chloride react together to make solid ammonium chloride.

Line X shows the total mass of ammonium chloride produced over time.

The reaction is repeated at a higher pressure. All other conditions are kept the same.

Line Y shows the total mass of ammonium chloride produced over time at the higher pressure.

Which diagram is correct?



解：先判断快慢。在温度等其他条件相同时提高气体压强，单位体积中 NH_3 与 HCl 粒子更多，碰撞更频繁，因此较高压强的 Y 应先上升得更陡。

再判断终量。NH_3 的初始质量相同，HCl 仍过量，NH_3 完全反应后形成的 NH_4Cl 质量不变，所以 X 与 Y 最终应达到相同高度的平台。

A 使 Y 终量更少，C 使 Y 终量更多，都不对；B 虽然平台相同，却把 Y 画得更慢。

D 同时表示 Y 更快、最终质量相同，所以选 D。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/22 Q15） · 2 级

Which statement describes the effect of adding a catalyst to a chemical reaction?

A The activation energy, E_a, of the reaction is increased.

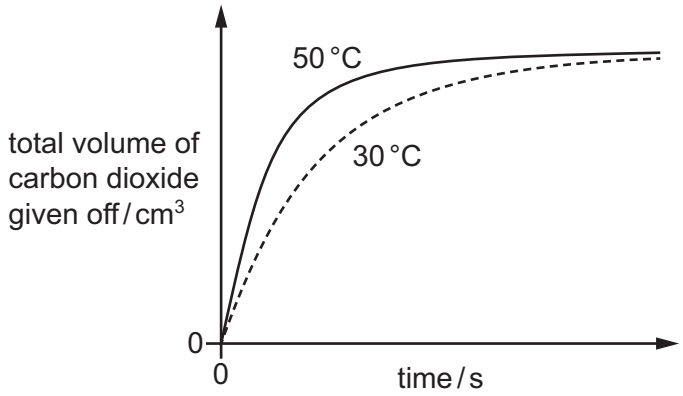
B The enthalpy change, ΔH, of the reaction stays unchanged.

C The frequency of collisions between the particles is decreased.

D The kinetic energy of the particles is increased.

2. （2025·May/June 0620/21 Q15） · 2 级

The graph shows the results of adding excess calcium carbonate to hydrochloric acid at 50 °C and at 30 °C. Only the temperature is changed.



Which row describes the reacting particles at 30 °C compared to those at 50 °C?

	frequency of collisions between particles	average kinetic energy of particles
A	higher	higher
B	higher	lower
C	lower	higher
D	lower	lower

3. （2025·May/June 0620/43 Q3(c)(v)） · 2 级

(c) Zinc sulfate crystals are made by the reaction between zinc carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

step 1 An excess of powdered zinc carbonate is added to dilute sulfuric acid.

(v) **Step 1** is repeated using large pieces of zinc carbonate instead of powdered zinc carbonate.

All other conditions are the same.

The rate of reaction decreases.

Explain why the rate of reaction decreases. Give your answer in terms of particles.

4. （2024·October/November 0620/22 Q15） · 3 级

Sulfur dioxide is converted to sulfur trioxide in the Contact process.

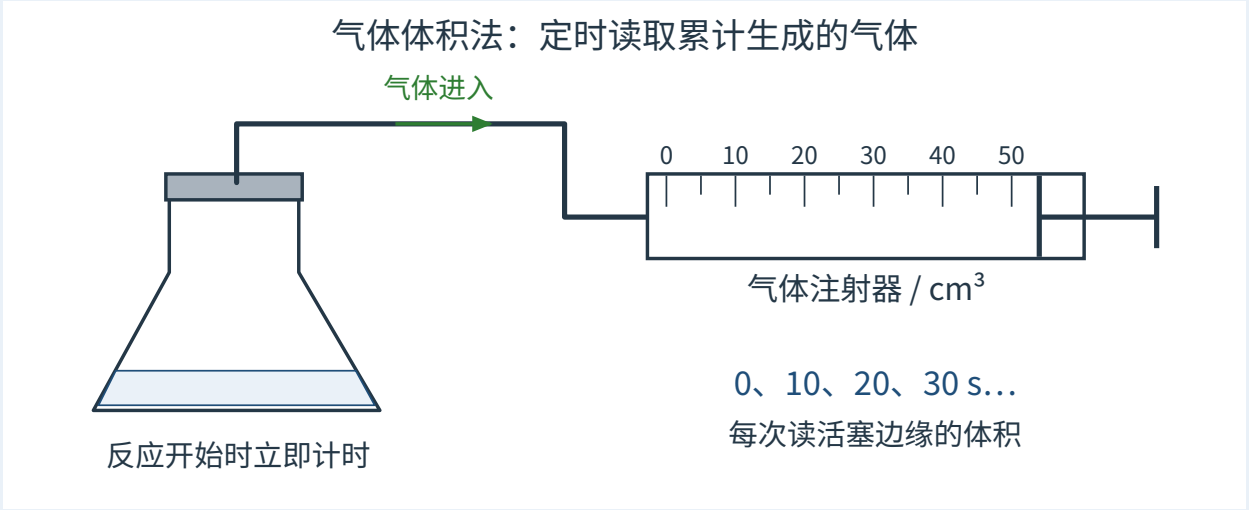
The conditions used are 450 °C and 200 kPa with a vanadium(V) oxide catalyst.

Which row describes and explains the effect of changing conditions on the rate of reaction?

	change in conditions	effect on rate	explanation
A	no catalyst	lower	the activation energy is higher
B	higher pressure	higher	the particles have more kinetic energy
C	lower temperature	lower	the particles collide more frequently
D	lower pressure	higher	there are more particles per unit volume

题型 2：测量反应速率并比较数据与曲线斜率

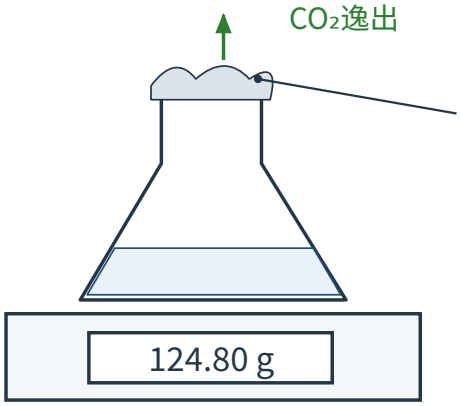
知识点 反应速率描述反应进行得多快。实际测量时，先选一种会随反应进行而改变、又能可靠测出的量，再同时记录时间。常见选择有生成气体的体积、逸出气体造成的质量下降，或者一定长度的固体完全反应所需的时间。同一题的每次比较要使用相同的测量对象和单位。
如果产物中有气体，可以把反应瓶接到气体注射器 gas syringe，反应开始时立即计时，按固定间隔读取累计体积。例如过氧化氢 hydrogen peroxide H_2O_2分解：
$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$
可用二氧化锰 manganese(IV) oxide MnO_2作为催化剂。形成的氧气推动活塞，体积读数随着反应进行而增大。



密闭反应瓶通过导管连接可自由滑动的气体注射器。读数在相同时间间隔进行；装置漏气会使收集到的体积偏小。图中的刻度用于说明读数位置。

例如，要比较两种条件下 H_2O_2的分解速率，在 0、10、20、30 s 等相同时刻读氧气体积，记录成表，再画累计体积—时间图。混合试剂与启动秒表应尽量同时进行，连接处必须气密，活塞要能自由移动。若先混合，等一会儿才塞紧接管，开始时的气体会漏掉，早期体积读数偏小。气体体积随温度、压强改变，因此两组的测量条件应相同。排水集气可用于适合的难溶气体；若气体明显溶于水，收集体积会受影响。
另一种方法是让气体从反应瓶逸出，同时用天平记录整个装置的质量。碳酸钙 calcium carbonate $CaCO_3$与稀盐酸 hydrochloric acid HCl 反应，生成氯化钙 calcium chloride $CaCl_2$、二氧化碳 CO_2和水：
$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$
逸出的 CO_2使天平示数减小；在避免飞溅、蒸发等其他损失的条件下，减少的质量反映逸出气体的质量。

质量法：记录气体逸出时整个装置的质量下降



时间 / s	装置质量 / g
0	124.80
20	124.50

失去的质量：0.30 g

以碳酸盐与酸产生 CO_2为例，在同一天平上按时读数。松放的棉花减少液滴飞溅，不能用密闭塞堵住需要逸出的气体；质量下降用于计算逸出气体的质量。

例如，0 s 时装置质量 124.80 g，20 s 时 124.50 g。先用初始质量减去末次质量，求这 20 s 内的质量损失：

质量损失 = 124.80 − 124.50 = 0.30 g

再除以对应时间：

$$\text{平均质量损失速率} = \frac{0.30}{20} = 0.015\ \text{g/s}$$

可在瓶口松放棉花以减少液滴飞溅，同时允许 CO_2逸出；不能用气密塞把它完全封住。若液滴也飞走，就会把液滴质量误算进气体质量；若生成的气体质量太小，变化可能接近天平分辨率，气体体积法可能更易读出。评估方法时要说出具体误差如何影响读数，而不是只写“实验不准确”。

平均速率 mean rate 使用一段时间的总变化量。对生成气体的题，把气体体积增加量除以对应时间：

平均速率 = 气体体积增加量 ÷ 经历的时间

单位可为 cm³/s。若给的是累计值，要把两个时刻相减；时间也必须用对应两个时刻相减。符号 Δ 读作“变化量”，这里的 ΔV 表示体积增加量，Δt 表示所经历的时间。

平均速率：用这段时间内的变化量，除以实际经历的时间

时间 / s	累计气体 / cm³
10	12
30	42

ΔV = 42 − 12 = 30 cm³

Δt = 30 − 10 = 20 s

平均速率 = 30 ÷ 20

= 1.5 cm³/s

若比较相等的时间间隔，变化量越大，平均速率越大。

示例比较 10–30 s 之间的气体增加量，两个量都用后值减前值。42 cm³是从反应开始累计的体积，不能直接把 42 除以 20 来表示这一段的速率。

例如，10 s 时已收集 12 cm³气体，30 s 时已收集 42 cm³。要求 10–30 s 这段平均速率，先分别求体积与时间的变化量：

$$\Delta V = 42 - 12 = 30\ \text{cm}^3$$

$$\Delta t = 30 - 10 = 20\ \text{s}$$

再用这段新增体积除以这段时间：

$$\text{平均速率} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{30}{20} = 1.5\ \text{cm}^3/\text{s}$$

若两段时间一样长，可以先比较增加量；若时间不同，就必须分别除以各自的实际时间，不能只看哪段增加得多。

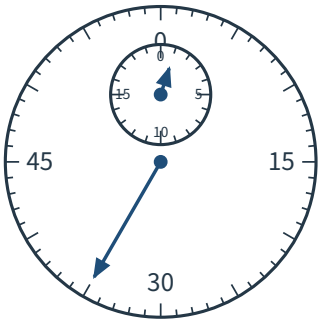
当反应终点是“固体完全消失”，可以记录达到相同终点所需的时间。例如每次用相同长度、相同粗细的镁带 magnesium ribbon Mg，保持酸足量，让镁完全反应。平均速率可按题给定义计算：

平均速率 = 镁带长度 ÷ 消失时间

单位为 cm/s。比较酸浓度时，应保持镁带长度与粗细、酸的体积、温度、搅拌方式以及判断终点的方法相同，只改变酸浓度。重复测量并检查异常结果，可以减少偶然读数差异。

原始读数若来自双表盘秒表，先看清哪个表盘标 minutes，哪个标 seconds，再换成同一时间单位。1 min 等于 60 s；“1 分 35 秒”不是十进制的 1.35 分，更不是 1.35 秒。

秒表：先读分钟和秒，再统一成秒



外圈35秒；内圈1分钟

1 min = 60 s

1 min 35 s

= 1 × 60 + 35

= 95 s

按原题形式，外圈读秒，内圈读分钟。示例为 1 min 35 s，写入要求以 s 为单位的表格时应写 95，不能写 1.35。

例如，一条 4.0 cm 长的镁带在 16 s 后完全消失。按照给定定义：

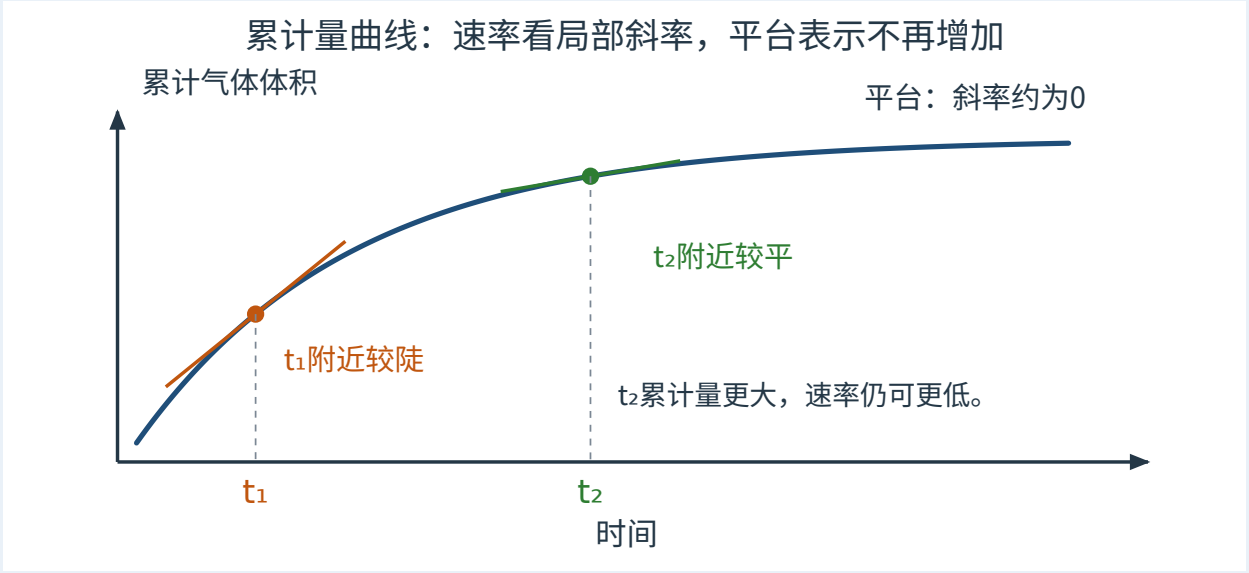
$$\text{平均速率} = \frac{4.0}{16} = 0.25\ \text{cm/s}$$

分子是本次实际反应掉的长度，分母是它完全消失所用的时间。不要把单位写成 cm³/s，因为本例量的是长度，不是气体体积。

若秒表显示 1 min 35 s，代入分母前要先统一为秒：

1 × 60 + 35 = 95 s

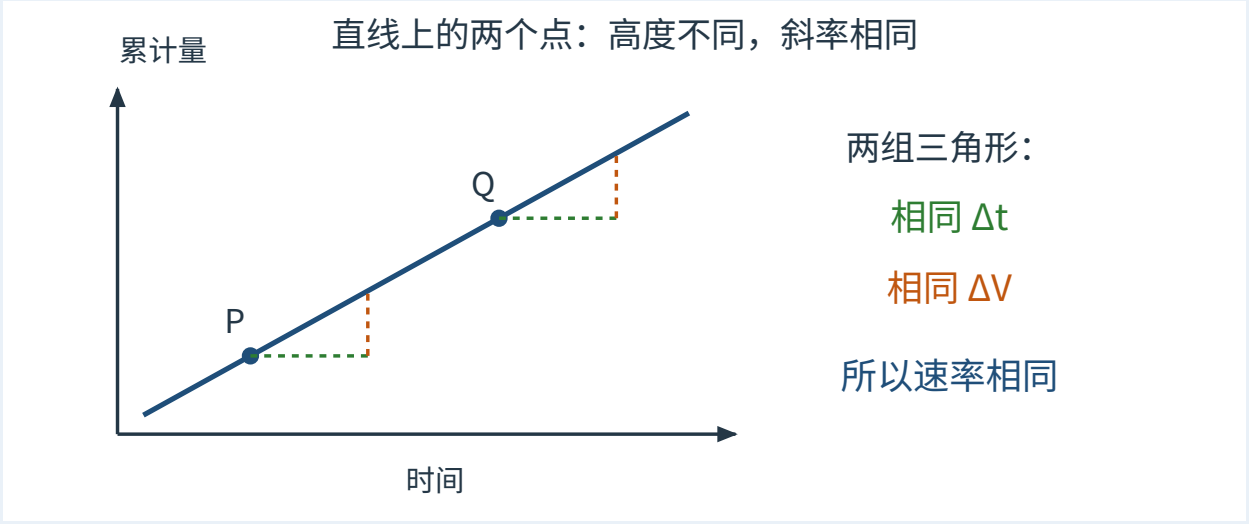
曲线上的某一时刻要看局部斜率 gradient，即该点附近每经过少量时间，累计量增加得多快。陡表示快，平缓表示慢；水平平台的斜率为 0，表示图示的产物量不再增加。曲线高度给出“此前累计多少”，不能直接说明“现在每秒生成多少”。



短直线表示曲线在相应点附近的倾斜方向。曲线的高度表示累计量，斜率表示该时刻的生成快慢；这里 t_2 的位置较高，但曲线更平。

例如，先定位 t_1 和 t_2，再各看该点附近的曲线。t_1 附近倾斜较大，单位时间内体积增加较多；t_2 附近较平，所以 t_2 的速率较低。即使 t_2 的累计体积比 t_1 大，也不改变这个结论。平台表示反应在测量范围内停止产生气体；不能只从平台断言所有反应物都耗尽，因为其中一种可能原本过量。

如果累计量随时间画成直线，直线上各点的斜率相同。比较不同实验的曲线时，还必须使用图中共同的横纵轴标尺。



在同一条直线上选取相同的横向时间间隔，会得到相同的纵向增加量。Q 虽比 P 高，代表累计量较大，并不表示速率较大。

例如，在 P 与 Q 附近各取相同长的时间间隔，两次体积增加相同，所以速率相同。Q 的位置更高，只表示到 Q 为止累计生成更多产物。若把这条直线与一条先陡后平的曲线比较，要逐点看局部斜率；水平点最慢，不能因为平台最高就选它为最快。

答案：平均速率＝本时间段的变化量÷实际时间间隔；读双盘秒表先把分钟换为秒；累计量曲线的局部斜率越大，反应越快。

怎么认　先看测量对象与单位，再区别一段平均值和一个时刻的斜率。累计值先相减，局部速率看陡峭程度，不能只看高度。

例题 1　(2025·May/June 0620/61 Q2(d)(i))　· 3 级

A student investigates how the rate of reaction of magnesium ribbon with dilute acid changes as the concentration of the acid is changed. The student uses five solutions of the same acid, **A**, **B**, **C**, **D**, and **E**. Each solution has a different concentration. The acid is in excess in all experiments.

The student does five experiments.

Experiment 1

- Use a 50 cm^3 measuring cylinder to pour 30 cm^3 of acid **A** into a 100 cm^3 conical flask.
- Add a coil of magnesium ribbon to the acid in the conical flask and immediately start a stop-watch.
- Continually swirl the mixture in the conical flask until the magnesium ribbon disappears completely. Immediately stop the stop-watch and record the time in seconds to the nearest second.
- Empty and rinse the conical flask with distilled water.

Experiment 2

- Repeat Experiment 1 using 30 cm^3 of acid **B** instead of acid **A**.

Experiment 3

- Repeat Experiment 1 using 30 cm^3 of acid **C** instead of acid **A**.

Experiment 4

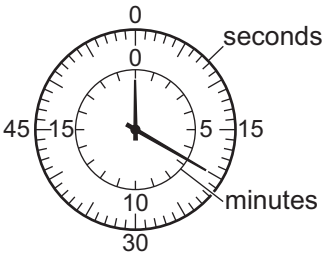
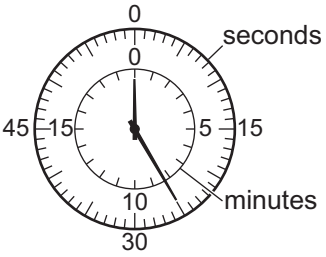
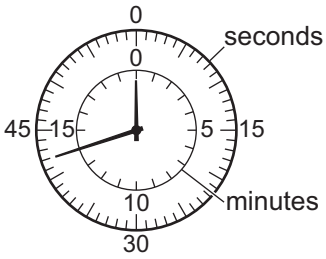
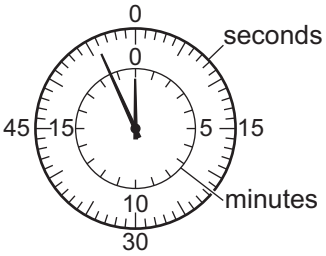
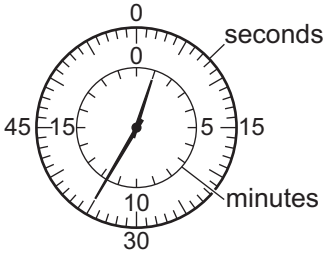
- Repeat Experiment 1 using 30 cm^3 of acid **D** instead of acid **A**.

Experiment 5

- Repeat Experiment 1 using 30 cm^3 of acid **E** instead of acid **A**.

(a) Use the stop-watch diagrams to complete Table 2.1

Table 2.1

experiment	acid	concentration of acid in mol / dm^3	stop-watch diagram	time for magnesium to disappear in s
1	**A**	2.0		
2	**B**	1.5		
3	**C**	1.0		
4	**D**	0.8		
5	**E**	0.5		

(d) The mean rate of reaction is calculated using the equation shown.

$$\text{mean rate of reaction} = \frac{\text{length of magnesium ribbon in cm}}{\text{time for magnesium to disappear in s}}$$

The length of each coil of magnesium ribbon used in all five experiments was 5 cm.

(i) Calculate the mean rate of reaction in Experiment 1. Give units for the rate you have calculated.

units

解：
(a) 外圈表示 seconds，内圈表示 minutes。实验 1–4 的内圈都为 0 min，外圈分别为 20、25、42、56 s，所以依次写 20、25、42、56。实验 5 内圈为 1 min，外圈为 35 s。先换算成秒：
$1 \times 60 + 35 = 95$ s
再在表格最后一格写 95。时间栏要求以 s 为单位，全部填写整数秒。

原题 Table 2.1：五个秒表的完整读数

实验	酸浓度 / mol dm^{-3}	分钟与秒	填写时间 / s
1	2.0	0 min 20 s	20
2	1.5	0 min 25 s	25
3	1.0	0 min 42 s	42
4	0.8	0 min 56 s	56
5	0.5	1 min 35 s	95

s25/61 Q2(a)五行全部完成。最后一行把 1 min 35 s 写成 95 s；表中时间栏只填以秒为单位的整数。

(d)(i) 实验 1 中每条镁带的长度为 5 cm，完全消失用时 20 s。按题给公式：
$$\text{平均速率} = \frac{5\ \text{cm}}{20\ \text{s}} = 0.25\ \text{cm/s}$$
数值为 0.25，单位为 cm/s；不要把 5 换成酸的体积 30，因为题目的分子明确是镁带长度。

例题 2 （2023·October/November 0620/41 Q4(b)(i)） · 2 级

Aqueous hydrogen peroxide, H_2O_2, slowly forms water and oxygen at room temperature and pressure, r.t.p. This reaction is catalysed by manganese(IV) oxide.

The equation is shown.

$$2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$$

(b) A student investigates the rate of formation of oxygen gas when manganese(IV) oxide is added to aqueous hydrogen peroxide.

The volume of oxygen gas formed is measured at regular time intervals at r.t.p. The results are plotted onto the graph in Fig. 4.1.

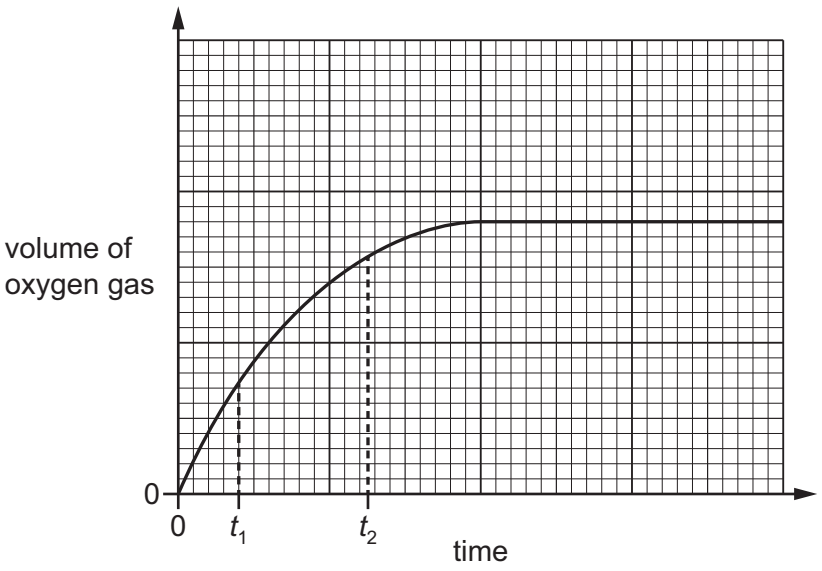


Fig. 4.1

(i) State how the graph in Fig. 4.1 shows the rate of reaction at time t_2, is lower than at time t_1.

解：先在图上找到 t_1与 t_2对应的曲线位置。t_1附近较陡，t_2附近较平，因此 t_2处的 gradient 较小。累计氧气体积—时间图的斜率表示反应速率，所以 t_2的速率比 t_1低。可写“The gradient at t_2 is lower than at t_1.” 不能只写 t_2时氧气较多；那是累计体积，不是此时的生成快慢。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q14） · 3 级

Magnesium is reacted with dilute hydrochloric acid. The table shows the total volume of hydrogen produced every 15 seconds.

time / s	0	15	30	45	60	75	90	105	120
total volume of hydrogen / cm^3	0	18	32	48	59	64	68	72	74

During which time period is the rate of reaction the fastest?

A 0–30 seconds

B 30–60 seconds

C 60–90 seconds

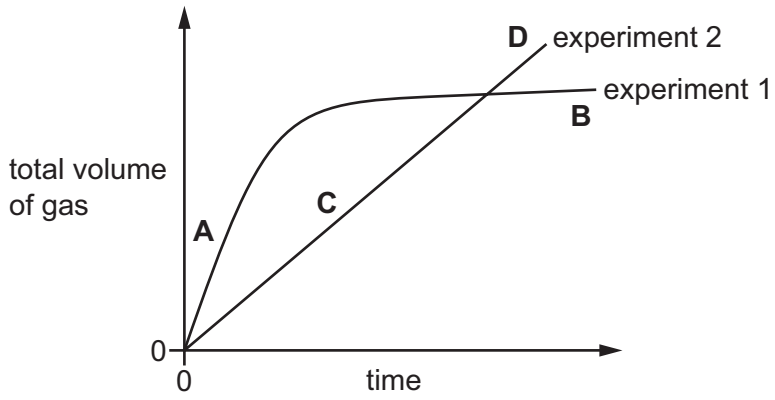
D 90–120 seconds

2. （2025·May/June 0620/12 Q16） · 3 级

The total volume of gas produced in two different experiments is measured against time.

A graph of the results of the two experiments is shown.

Which point shows the fastest rate of reaction?



6.3 可逆反应与平衡

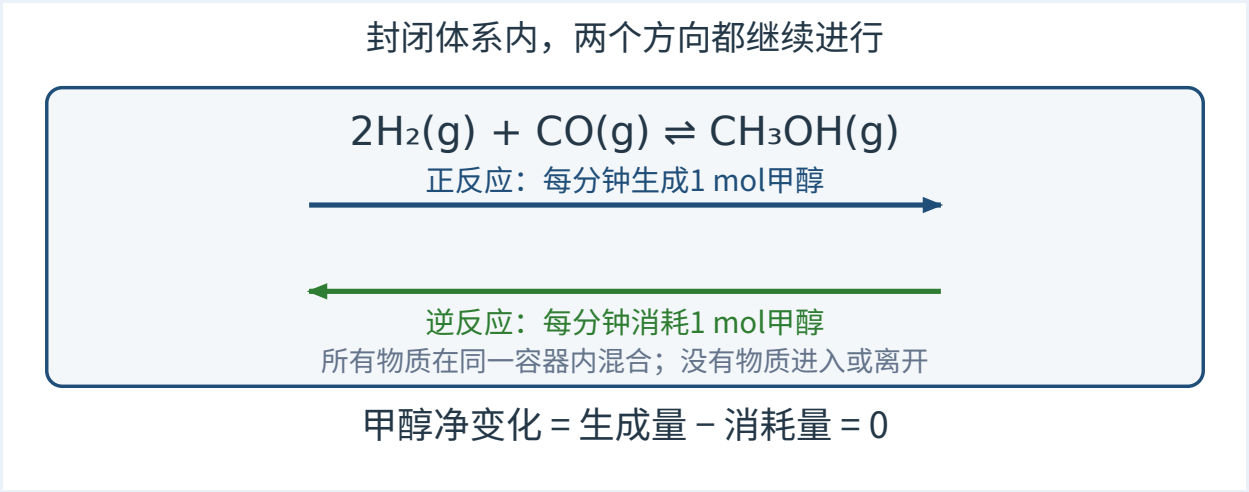
题型 1：区分可逆反应、动态平衡与改变条件后的移动

知识点

先看一个具体反应：氢气 H_2与一氧化碳 CO 可以生成甲醇 CH_3OH，而甲醇也能分解回这些反应物。方程式写成：

$$2H_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$$

(g)表示气态。⇌表示反应可逆：从左到右叫正反应 forward reaction，从右到左叫逆反应 reverse reaction。把这些物质放在封闭体系 closed system 中，物质不能进入或离开，但可以与外界交换热量。在温度等条件保持不变时，正反应和逆反应可以达到同样快：每秒生成多少甲醇，同时就消耗多少甲醇。这样的状态叫动态平衡 dynamic equilibrium。



箭头表示两个反应方向。每分钟 1 mol 只用来示意等速率；真实平衡速率由体系与条件决定。

例如，若一分钟内正反应生成 1 mol 甲醇，逆反应恰好消耗 1 mol 甲醇，先求甲醇的净变化：

甲醇的净变化 = 1 − 1 = 0 mol

因此甲醇的浓度保持不变；其他物质也各自保持恒定浓度。这里“相等”说的是两向反应速率，“不变”说的是每种物质自己的浓度，并不要求氢气、CO 和甲醇的浓度互相相等。反应仍然继续，所以称为动态平衡。

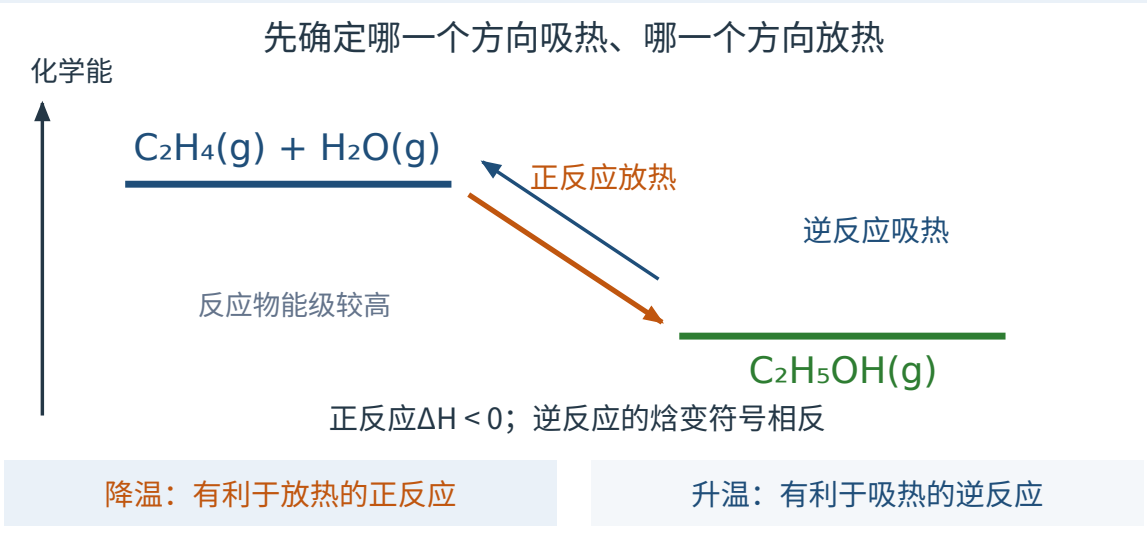
接下来改变一个条件，再让体系达到新平衡。“平衡向右移动”表示从受改动后的状态到新平衡期间，净正反应生成了产物；“向左移动”则表示净逆反应生成了左边的物质。达到新平衡后，两向速率又相等。平衡产率 equilibrium yield 问相同起始原料在平衡时能转化出多少目标产物；反应速率问转化有多快，两者应分别判断。

先处理温度。升温有利于吸热方向，降温有利于放热方向。可以这样理解：净反应会朝着部分抵抗温度改动的方向进行。若正反应放热，逆反应就吸热；若正反应吸热，逆反应就放热。题目给出正反应 ΔH 时，$\Delta H < 0$ 表示正反应放热，$\Delta H > 0$ 表示正反应吸热。

例如，乙烯 ethene 的化学式是 C_2H_4，乙醇 ethanol 的化学式是 C_2H_5OH。乙烯与水蒸气的可逆反应为：

$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g)$

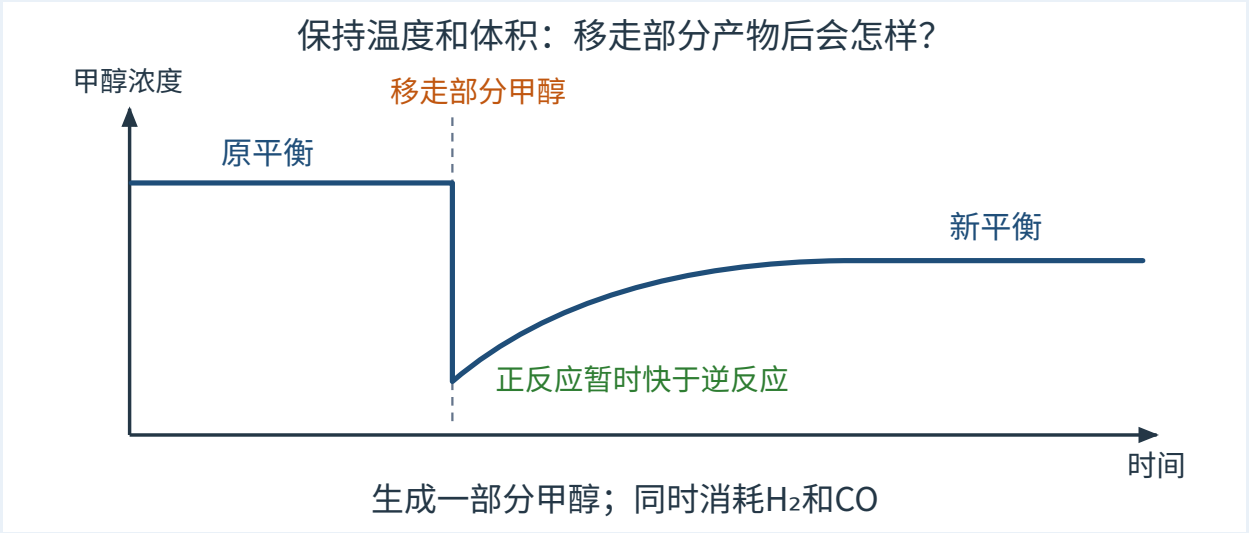
正反应放热。



能级高度只示意正反应的 ΔH 为负；此图没有给出活化能或反应速率。

例如，降低这个反应的温度。先由“正反应放热”确定放热方向是向右；降温有利于放热方向，所以乙醇的平衡产率增加。若改成升温，则有利于吸热的向左方向，乙醇平衡产率降低。与此同时，升温通常使反应更快；“更快达到平衡”并不等于“平衡时乙醇更多”。

再处理浓度。浓度表示单位体积含有多少相应物质。保持温度和体积，加入某种反应物，使它的浓度提高，随后净反应倾向于消耗一部分所加物质；移走某种产物，则倾向于补回一部分被移走的产物。作完加入或移除这一次改动后，让体系重新封闭，再比较新平衡。

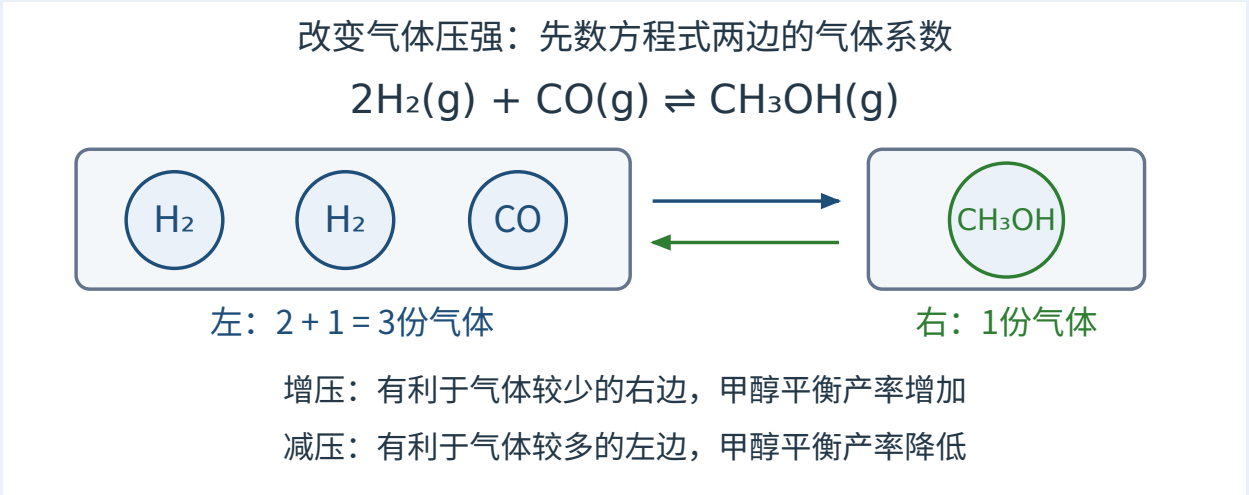


纵轴没有数值刻度，只示意先骤降、再部分回升。补回部分甲醇不表示完全恢复原浓度。

例如，从已平衡的甲醇体系中移走一些 CH_3OH。甲醇浓度先因移除而骤降，随后平衡向右移动，生成一部分甲醇，同时消耗 H_2 和 CO。在同一体积下，H_2 和 CO 的浓度因此降低。甲醇只部分回升，不应说一定完全回到原来的浓度。

把这个动作反过来也能判断：加入甲醇，净反应倾向于消耗所加的甲醇，平衡向左；移走 H_2 或 CO，也有利于向左补回该反应物。于是，加入左边物质或移走右边物质，有利于向右；加入右边物质或移走左边物质，有利于向左。直接被加入或移除的物质同时经历了外界改动和后续反应，比较它的浓度时必须说清起点。

气体压强的判断要先数配平方程式中气体的份数，只数带(g)的物质，并把前面的系数相加。本节用改变容器体积来改变压强：保持温度，把同一份反应气体压缩，平衡有利于气体物质的量较少的一侧；增大体积、降低压强，则有利于气体物质的量较多的一侧。如果两边气体系数和相同，这种压强改变不使平衡偏向某一侧。



圆圈只帮助数配平方程式的气体份数，不表示容器中只有这些分子，也不表示左右分开存放。

例如：

$2H_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$

先数两侧气体的系数：

左侧气体：2 + 1 = 3 份

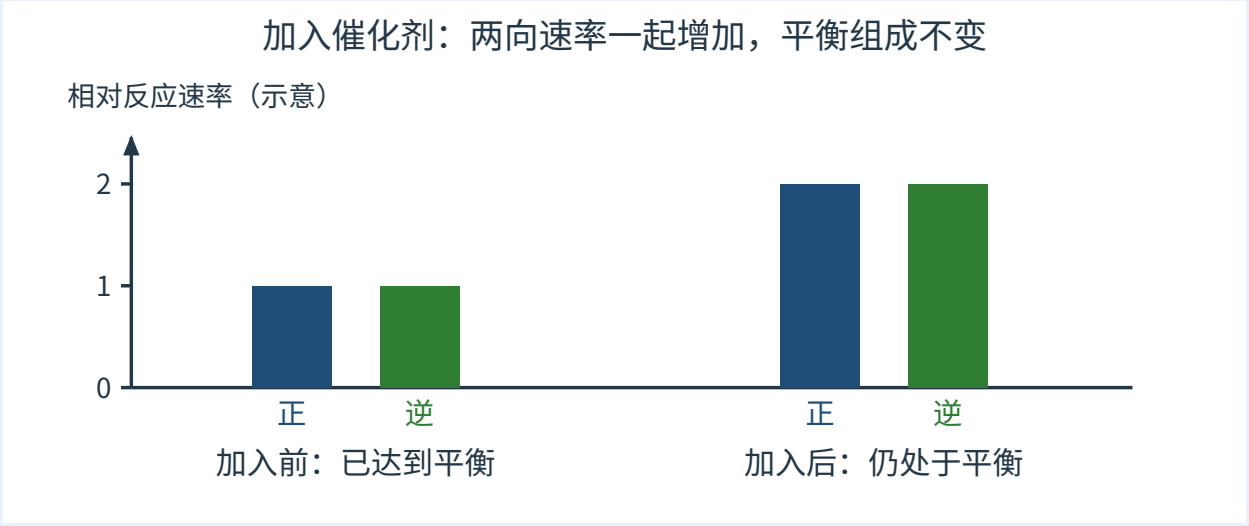
右侧气体：1 份

增大压强有利于向右生成甲醇，甲醇平衡产率增加；减小压强则有利于向左，平衡产率降低。数的是系数，不是化学式下标，也不把不同种类的数目当成气体总份数。

若同一题还问反应速率，再接上碰撞理论：在温度相同的比较中，反应气体被压缩后，单位体积内的反应粒子更多，碰撞更频繁，通常反应更快。由此，较低压强可能同时带来反应较慢、目标产物平衡产率较低这两个不同缺点。

还有一个必须分清的量：压缩会同时改变体积，因此“反应物被消耗了多少”和“每 dm³含有多少反应物”不是同一问题。平衡向右说明后续净反应消耗左边物质；若问相对压缩前的绝对浓度，就还要考虑体积变化，不能只由“向右”直接推出最终浓度必然下降。

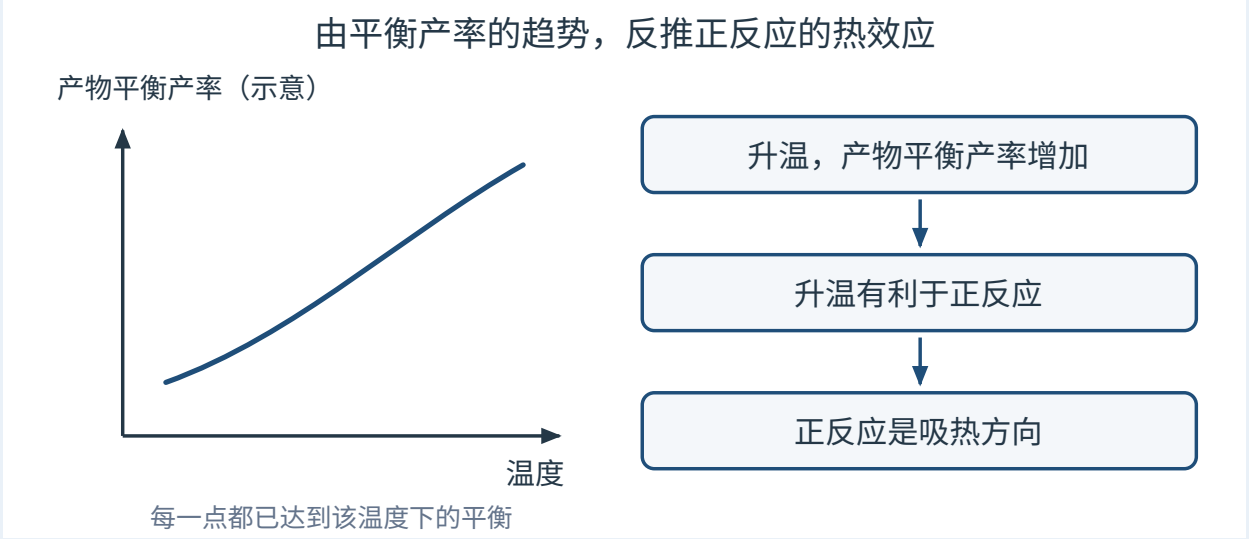
催化剂提供较低活化能的反应路径，会同时加快正反应和逆反应。温度不变时，它不改变平衡组成，也不改变目标物质的平衡产率。如果体系尚未平衡，它可以使体系更快达到平衡；如果已经平衡，两向速率会同时提高，仍然彼此相等。



两组共用同一速率尺度；柱高只示意快慢，不表示催化剂必然让速率加倍。

例如，在已平衡的甲醇反应中加入催化剂。若一列问 CH_3OH 的平衡浓度，填 no change；若另一列问逆反应速率，填 increases。两个答案可以同时成立，因为生成和消耗都变快了，净变化仍为零。不能把“平衡浓度不变”写成“逆反应速率也不变”。

有些题不给正反应的热效应，而让你从升温后的平衡产率反推。这时把前面的温度推理倒过来：先判断升温有利于正向还是逆向，再把被升温促进的那个方向判为吸热。



比较相同起始原料与压强下，不同温度的平衡产率；曲线为趋势示意，没有实验数值。

例如，升温后，右边产物的平衡产率增加。产物增加说明升温有利于向右的正反应；升温有利于吸热方向，因此正反应吸热。若观察改为升温后产物的平衡产率降低，则升温有利于逆反应，逆反应吸热，正反应放热。这个推理使用的是已经达到平衡的产率，不能用“几秒内生成产物较多”代替。

完成多行表格时，每行只处理题目指定的那一次改动，每列重新确认是在问某种物质的浓度、平衡产率还是反应速率。动态平衡时两向速率_____；加入催化剂后平衡组成_____。若正反应放热，降温使右边产物的平衡产率_____。

加热含结晶水的硫酸铜或氯化钴，以及给无水盐加水，都是可以用⇌表示的可逆变化。具体的蓝色/白色与粉红色/蓝色变化、加热和加水的两个方向，在 7.3 节的“辨认结晶水、无水物并解释加热与复水”题型中逐步配图说明，并安排完整真题示范与练习。

答案：相等；不变；增加

怎么认 先读双向方程式、气态系数和正反应热效应；再逐项判断条件改变所偏向的方向。浓度、平衡产率和速率分开回答，并明确浓度比较的体积和起点。

例题 1 （2025·May/June 0620/41 Q5(a)） · 2 级

Methanol, CH_3OH, is manufactured by the reaction between hydrogen and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$2H_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$$

(a) State what happens to the concentration of CH_3OH when the reaction is at equilibrium.

Explain your answer in terms of rate of forward and reverse reactions.

解：

先读所给双向反应：

$2H_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$

向右的正反应生成甲醇 CH_3OH，向左的逆反应消耗甲醇，重新生成氢气与一氧化碳。

达到平衡时，正反应与逆反应的速率相等。因此，在同样一段时间里，生成的甲醇与被消耗的甲醇一样多，甲醇的净变化为零，浓度保持不变。

完整答案是：CH_3OH 的浓度不再改变，因为正反应和逆反应以相等速率继续进行。这里的“不变”不是说甲醇为零，也不是说两种反应都停止；相等的是两个方向的反应速率，并不要求所有物质的浓度相等。

例题 2 （2025·October/November 0620/23 Q19） · 3 级

Ethanol is manufactured by the addition of steam to ethene.

$$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g)$$

The reaction conditions are 300 °C and 60 atm.

The forward reaction is exothermic.

Which rows describe the effect on the equilibrium yield of C_2H_5OH when the stated change is made?

	change	equilibrium yield of C_2H_5OH
1	adding a catalyst	no change
2	decreasing the temperature	increases
3	decreasing the pressure	increases

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 2 only **D** 3 only

解：

先读题目真正要比较的量：equilibrium yield of C_2H_5OH，是乙醇的平衡产率。题目给的正反应为：

$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g)$

并明确正反应放热。

第 1 行加入催化剂。催化剂同时加快正反应和逆反应，使体系更快达到平衡，但不改变平衡组成，因此乙醇的平衡产率 no change。这一行正确。

第 2 行降低温度。降温有利于放热方向；本题放热的是向右的正反应，所以有较多原料转化成乙醇，乙醇平衡产率增加。表中 increases 正确。

第 3 行降低压强。只数气体系数：左边 1 份 C_2H_4 加 1 份 H_2O，共 2 份气体；右边 1 份 C_2H_5OH，共 1 份。减压有利于气体物质的量较多的左边，因此乙醇平衡产率降低，不能写 increases。这一行错误。

行	改变条件	乙醇平衡产率	原行判断
1	加入催化剂	不变	正确
2	降低温度	增加	正确
3	降低压强	降低	错误

只有第 1 行和第 2 行正确，因此选 A（1 and 2）。三行都从原来给定条件分别作判断，不能把降温和降压叠加成一次改动。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q17） · 1 级

The equation for the reaction of sulfur dioxide with oxygen is shown.

$$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$$

What is meant by the symbol $\rightleftharpoons$?

A redox reaction

B reversible reaction

C displacement reaction

D thermal decomposition reaction

2. （2025·May/June 0620/43 Q5(a)） · 2 级

Ethanoic acid is manufactured in the reaction between methanol and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$CH_3OH(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3COOH(g)$$

(a) State **two** characteristics of an equilibrium.

3. （2025·May/June 0620/41 Q5(b)(ii)） · 2 级

Methanol, CH_3OH, is manufactured by the reaction between hydrogen and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$2H_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$$

(b) The reaction is carried out at a pressure of 75 atmospheres and a temperature of 250 °C.

(ii) Complete Table 5.1 using **only** the words **increases**, **decreases** or **no change**.

Table 5.1

	effect on the concentration of $CH_3OH(g)$ at equilibrium	effect on the rate of the reverse reaction
catalyst is added		

4. （2025·May/June 0620/41 Q5(b)(iii)） · 2 级

Methanol, CH_3OH, is manufactured by the reaction between hydrogen and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$2H_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$$

(b) The reaction is carried out at a pressure of 75 atmospheres and a temperature of 250 °C.

(iii) If a temperature of more than 250 °C is used, the yield of methanol decreases.

State what can be deduced about the forward reaction.

5. （2025·May/June 0620/43 Q5(b)(ii)） · 3 级

Ethanoic acid is manufactured in the reaction between methanol and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$CH_3OH(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3COOH(g)$$

(b) Both a high yield of ethanoic acid and a high rate of reaction are needed.

The reaction is carried out at 300 °C.

The forward reaction is exothermic.

(ii) Complete Table 5.1 using **only** the words **increases**, **decreases** or **no change**.

Table 5.1

	effect on the equilibrium concentration of $CH_3COOH(g)$	effect on the rate of the forward reaction
catalyst is added		increases
pressure is increased		

6. （2025·May/June 0620/41 Q5(b)(i)） · 3 级

Methanol, CH_3OH, is manufactured by the reaction between hydrogen and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$2H_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$$

(b) The reaction is carried out at a pressure of 75 atmospheres and a temperature of 250 °C.

(i) State **two** disadvantages of using a pressure **below** 75 atmospheres.

1. （2025·May/June 0620/42 Q6(d)(i)） · 3 级

(d) C_2H_4 reacts with steam to form ethanol.

$$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g) \qquad \Delta H = -45\,kJ/mol$$

The process happens in a closed system and the reaction reaches an equilibrium.
The conditions for this process are 300 °C and 60 atm pressure. H_3PO_4 is used as a catalyst.

(i) Complete Table 6.1 to show the effect, if any, on the concentration of $C_2H_4(g)$ when the following changes to the conditions are applied.

Only use the words **increases**, **decreases** or **no change**.

Table 6.1

change to condition	effect on the concentration of $C_2H_4(g)$ at equilibrium
temperature is decreased	
some $C_2H_5OH(g)$ is removed	
pressure is increased	
a more effective catalyst is used	

【答案】官方评分表从上到下：decreases；decreases；decreases；no change。压强一行须结合下文的浓度比较辨析阅读。

【解析】这道原题问的是 C_2H_4在平衡时的浓度。原卷给出 $C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g)$，正反应 $\Delta H = -45$ kJ/mol，条件为 300°C、60 atm，H_3PO_4为磷酸催化剂。

条件改变	官方要求填写的词
降低温度	decreases
移走一些乙醇	decreases
增大压强	decreases
使用更有效的催化剂	no change

第一行降低温度。ΔH 为负，正反应放热；降温有利于向右的正反应，消耗乙烯。若在同一体积下比较由这次平衡移动造成的改变，乙烯浓度降低，对应 decreases。

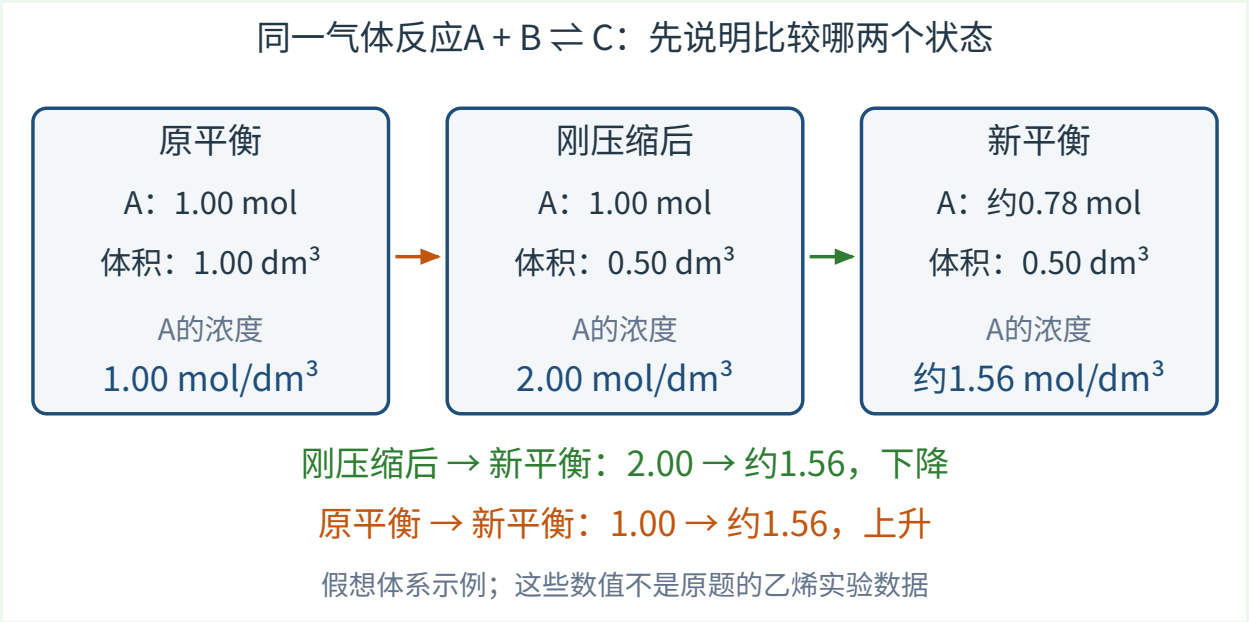
第二行移走一些乙醇。乙醇是右边产物，移走后有利于净正反应补回一部分乙醇，同时消耗乙烯。在温度和容器体积保持相同的比较中，乙烯浓度降低，对应 decreases。

第四行使用更有效的催化剂。催化剂会同时加快两向反应，不改变平衡组成，因此乙烯的平衡浓度 no change。

第三行要多检查一步。方程式左边共有 2 份气体，右边 1 份；在温度相同的压缩条件下，平衡有利于向右，重新平衡的净反应会消耗乙烯。这能说明乙烯的物质的量减少，却不能单独证明它相对压缩前的浓度下降，因为浓度还要除以体积。

把三个状态分开：压缩前的原平衡；刚把体积减小、反应尚未来得及重新平衡的状态；随后达到的新平衡。刚压缩时，乙烯还没有被额外消耗，但同样数量已经挤在更小体积中，浓度先升高。接下来的净正反应又会使乙烯浓度从这个较高值下降。

下面用一个假想的 A(g) + B(g) ⇌ C(g)体系说明比较基准。A 的浓度等于 A 的物质的量除以容器体积；图中给出了三个状态的这两个数，直接相除即可。



浓度＝物质的量÷体积。净正反应使 A 的量减少，但新体积也较小，不能单看反应方向判定相对原状态的浓度。

从“刚压缩后”到“新平衡”，A 的浓度由 2.00 下降到约 1.56 mol/dm³；从“原平衡”到“新平衡”，却由 1.00 上升到约 1.56 mol/dm³。A 被消耗与它相对原状态的绝对浓度升高，可以同时发生。

因此，官方第三行的填写预期是 decreases，但原题没有说明上述两个比较起点中的哪一个，不能据此把“增压使平衡向右，所以反应物最终浓度必然比增压前低”当作通用规律。遇到明确问平衡产率的题，按气体系数判断平衡方向；遇到浓度比较，还须同时检查数量、体积和比较起点。

延伸阅读：OpenStax Chemistry 2e，13.3：平衡移动与浓度、体积的关系。

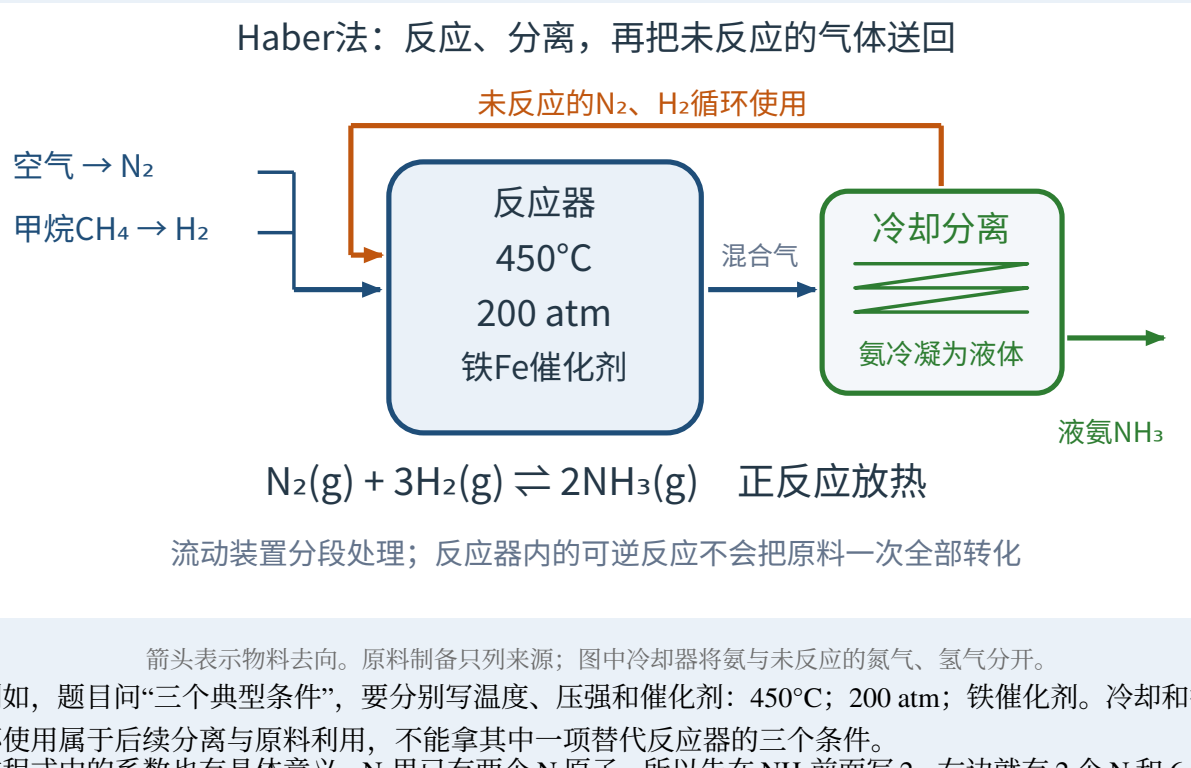
题型 2：对应 Haber 与 Contact 工艺，并解释条件的折中

知识点 先看 Haber 法 Haber process 要制造什么。它把氮气 nitrogen N_2与氢气 hydrogen H_2变成氨 ammonia NH_3。氮气取自空气，氢气可由甲烷 methane CH_4制取。本题型需要辨认原料来源，不要求先推导制氢的各步反应。

反应式是：

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

正反应放热。典型条件为 450°C、200 atm（约 20 000 kPa），并使用铁 iron Fe 催化剂。原料通过反应器后，并不是全部变成氨；将混合气冷却，氨冷凝为液体，未反应的 N_2与 H_2再送回反应器。



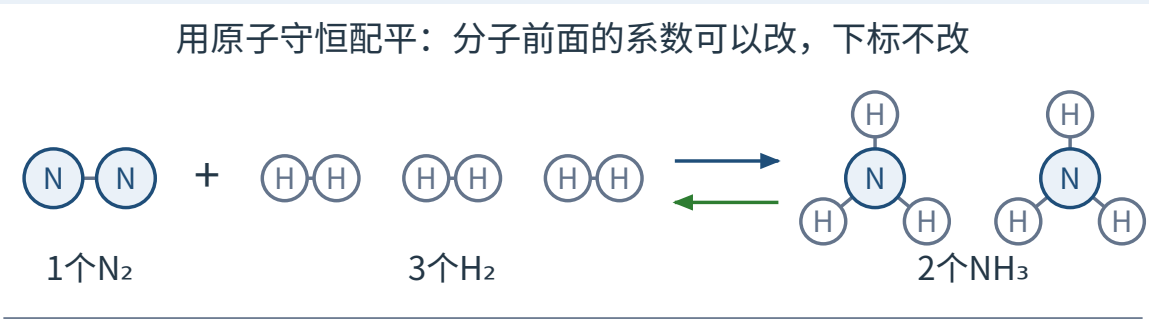
箭头表示物料去向。原料制备只列来源；图中冷却器将氨与未反应的氮气、氢气分开。

例如，题目问“三个典型条件”，要分别写温度、压强和催化剂：450°C；200 atm；铁催化剂。冷却和循环使用属于后续分离与原料利用，不能拿其中一项替代反应器的三个条件。

方程式中的系数也有具体意义。N_2里已有两个 N 原子，所以先在 NH_3前面写 2，右边就有 2 个 N 和 6 个 H。H_2每个分子含 2 个 H，左边需要 $3H_2$提供 6 个 H。于是得到：

$$1N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$$

系数 1 通常省略。



原子圆只用于计数；连接线示意哪些原子属于同一分子，不表示分子的真实三维形状或所有键的类型。

例如，检查左右两边，N 都是 2，H 都是 6，因此已经配平。不能把 NH_3改为 NH_2来凑数，那会改变物质的化学式。判断压强时还要另数气体系数：

左侧气体：1 + 3 = 4 份

右侧气体：2 份

这与数原子是两个不同动作。

Contact 法 Contact process 制造硫酸 sulfuric acid H_2SO_4。先由硫 sulfur S 燃烧，或由含硫矿石在空气中焙烧，取得二氧化硫 sulfur dioxide SO_2；下一阶段所需的氧气 O_2也来自空气。

关键的可逆反应是：

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

生成三氧化硫 sulfur trioxide SO_3，正反应放热。这个阶段的典型条件是 450°C、2 atm（约 200 kPa），催化剂是氧化钒(V) vanadium(V) oxide，化学式 V_2O_5。这里的(V)表示钒的氧化数为+5；罗马数字的判断将在下一题型详细说明。

接着让 SO_3与浓硫酸反应，生成题目称为 oleum 的发烟硫酸，以 $H_2S_2O_7$表示；再与水反应，得到更多硫酸。按题目给定的四阶段，从物料去向逐段阅读：

Contact法：先生成SO_3，再经发烟硫酸得到硫酸

1. **制取SO_2**
   硫S或含硫矿石 + 空气
   → SO_2

2. **催化转化**
   SO_2与空气中的O_2反应
   → $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$
   450°C，2 atm，V_2O_5催化剂
   正反应放热

3. **吸收SO_3**
   SO_3与浓硫酸反应
   → $SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_2S_2O_7$
   浓硫酸　发烟硫酸oleum

4. **得到硫酸**
   发烟硫酸与水反应
   → $H_2S_2O_7 + H_2O \rightarrow 2H_2SO_4$
   水　硫酸

第2阶段的可逆反应条件，与第3、4阶段的反应物不能混用

纵向箭头表示含硫物料继续进入下一阶段；每条横向方程式另外列明该阶段加入的物质。

例如，若题目问第 2 阶段的方程式，只写二氧化硫与氧气生成三氧化硫：

$$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$$

左右各有 2 个 S、6 个 O，且要保留可逆符号。若问第 3 阶段，反应物换成 SO_3和 H_2SO_4，产物是题目已给出的 $H_2S_2O_7$；不要把前一阶段的 O_2再抄过来。

第 3 阶段可先按名称写出：

$$SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_2S_2O_7$$

再分别核对 H、S、O 三个元素。硫酸在这一步是反应物；不能因为下一步又得到硫酸，就把它与第 2 阶段的 V_2O_5催化剂混为一谈。

把文字阶段写成方程式，再检查三种原子

$$SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_2S_2O_7$$

比较项	H原子	S原子	O原子
反应物合计	0 + 2 = 2	1 + 1 = 2	3 + 4 = 7
产物合计	2	2	7

各元素都已相等，所以三个物质前面的系数都是1

逐元素相加核对第三阶段的方程式。化学式中的 2、3、4、7 描述分子组成，不因配平而更改。

例如，按 H、S、O 分别核对第 3 阶段：

- H：左边有 2 个，右边有 2 个。
- S：左边两种物质各提供 1 个，合计 2 个；右边有 2 个。

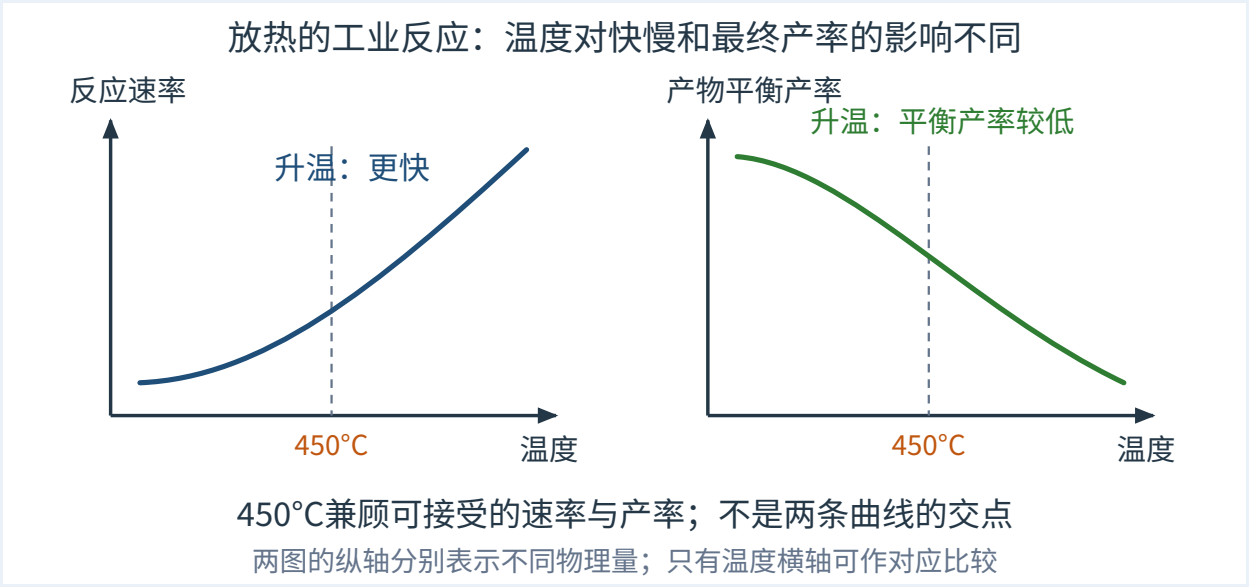
• O：左边分别提供 3 个和 4 个，合计 7 个；右边有 7 个。

三种原子的总数都相等，因此系数均为 1。第 4 阶段则是：

$$H_2S_2O_7 + H_2O \rightarrow 2H_2SO_4$$

左右 H、S、O 分别都是 4、2、8。SO_3直接遇水的反应剧烈，容易产生难以收集的酸雾，因此工业上先用浓硫酸吸收，再受控地制得所需浓度的硫酸。

为什么这两种放热工艺都采用约 450°C，而不把温度越降越低？先把“速度”和“平衡产率”分开：温度较低有利于放热的正反应，平衡时目标产物较多；可是粒子平均动能较小，单位时间内的有效碰撞减少，生产速度慢。提高温度会加快速率，却使平衡更有利于吸热的逆反应，目标产物的平衡产率下降。



曲线只示意条件变化的方向，没有实验数值；两图分别问速率和达到平衡后的产率。

例如，对 Haber 法，把温度从 450°C 降低。反应速率下降，但氨的平衡产率上升。因此“低于 450°C 会使速率和产率都下降”只对了一半。450°C 是在可接受的产率与生产速度之间作出的典型折中，并不表示此温度能同时取得最高速率和最高平衡产率。更高温度还需要更多加热能量，并提高材料与操作要求。

若换成题目给定的另一放热反应，也照同一顺序判断。例如，甲醇 methanol CH_3OH 与一氧化碳 carbon monoxide CO 可生成乙酸 ethanoic acid CH_3COOH，题目给定典型温度为 300°C。低于 300°C 的缺点是速率较慢；高于 300°C 的缺点是乙酸平衡产率较低。300°C 来自这道题的工艺条件，不能用背熟的 450°C 替换。

压强同样有收益与代价。Haber 反应的气体系数由 4 变 2，Contact 第 2 阶段由 3 变 2；在同温条件下压缩气体，均有利于生成侧，目标产物的平衡产率提高。压缩也使反应气体粒子更密集，通常增加碰撞频率，使反应更快。



式中物质均为气态，按系数数份数。工艺典型条件取自 2026–2028 教纲，不代表所有工厂都采用完全相同的数值。

例如，把 Haber 法压强提高到 200 atm 以上，不能说“氨产率反而下降”。平衡规律仍有利于生成氨；限制来自继续压缩要耗能，反应器和管道必须更坚固，设备造价、维护和安全要求都增加。因此典型高压是把产率、速度与费用一起考虑后的选择。

Contact 法在较低压强下已能获得较高的转化率，把压强大幅提高带来的额外收益不足以抵偿设备与压缩费用，所以使用约 2 atm，使气体能够通过装置即可。这种“低压”是相对于数百个大气压的工业高压，既不是没有压强，也不表示减压会把平衡推向 SO_3。选择题所说的“高温、低压”，对应这里的 450°C 与约 2 atm。

最后核对催化剂。铁与 V_2O_5 分别适合上述不同反应，提供较低活化能的路径，使体系更快达到平衡。催化剂在同温下不会改变平衡组成，不能用“催化剂提高平衡产率”解释选择它的原因。实际工厂还可借助合适催化剂在较温和条件下取得可用的速率，从而减少费用；这不改变同温比较时的平衡结论。

Haber 法的气体原料为_____和_____；Contact 第 2 阶段的催化剂为_____。对放热的正反应，降低温度通常使速率_____，产物的平衡产率_____。

答案：氮气 N_2；氢气 H_2；氧化钒(V) V_2O_5；降低；增加

怎么认 先确认工艺和所问阶段，再把温度、压强、催化剂分别对应；需要解释时，分开写速率、平衡产率、费用和安全。

例题 1 (2025·May/June 0620/41 Q4(b)(i)) · 2 级

This question is about nitrogen and its compounds.

Nitrogen contains molecules with the formula N_2.

(b) Ammonia, NH_3, is manufactured by reacting nitrogen with hydrogen, H_2, in the Haber process.

(i) State **three** typical conditions for the reaction between nitrogen and hydrogen in the Haber process.

解：题目问的是氮气与氢气在 Haber 反应器中反应的三个典型条件。先按三个栏目整理：温度、压强、催化剂。

温度为 450°C，压强为 200 atm，也可写 20 000 kPa，催化剂为铁 iron。完整作答：450°C；200 atm；iron catalyst。数值答案需带对应单位。

题干已经指定制造氨，因此不能写成 Contact 法的 2 atm 和氧化钒(V)催化剂。冷却液化氨、循环使用未反应气体属于后续处理，也不能替代这三个反应条件。

例题 2 （2025·May/June 0620/43 Q4(b)(iii)） · 2 级

This question is about compounds of sulfur.

(a) Sulfuric acid is manufactured in a four-stage process.

stage 1 Sulfur dioxide is produced from ores containing sulfur.

stage 2 Sulfur dioxide reacts with oxygen to form sulfur trioxide.

stage 3 Sulfur trioxide reacts with concentrated sulfuric acid to form oleum, $H_2S_2O_7$.

stage 4 Oleum reacts with water to form concentrated sulfuric acid.

(iii) Write the symbol equation for the reaction in **stage 3**.

解：先回到题干的 stage 3：三氧化硫与浓硫酸反应，生成 oleum，题目已给它的化学式 $H_2S_2O_7$。题目没有问第 2 阶段，所以这里不用 SO_2与 O_2的可逆方程式。
三氧化硫是 SO_3，硫酸是 H_2SO_4。把两种反应物写在左边、产物写在右边，得到：
$SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_2S_2O_7$
再逐个元素核对：

- H：左、右均为 2 个。
- S：左边两种物质各有 1 个，合计 2 个；右边也是 2 个。
- O：左边分别有 3 个和 4 个，合计 7 个；右边也是 7 个。

已经配平。因此完整答案为：
$SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_2S_2O_7$
三项前面的系数 1 均可省略。

例题 3 （2025·May/June 0620/21 Q16） · 3 级

Industrially, ammonia is made by the Haber process. The equation is shown.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \qquad \Delta H = -92\,kJ/mol$$

The conditions used are 450 °C and 200 atm.

Which statements about the conditions are correct?

1 Temperatures below 450 °C give a lower rate of reaction.

2 Temperatures below 450 °C give a lower yield of ammonia.

3 Pressures above 200 atm give a lower yield of ammonia.

4 Pressures above 200 atm are too expensive to maintain.

A 1 and 2 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 3 and 4

解：
先读方程式和热效应：
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
题给焓变为：
$\Delta H = -92\ kJ/mol$
负号表示正反应放热。再数气体系数：
左侧：$1 + 3 = 4$
右侧：2
接着逐条判断，不能把速率与产率合成一个结论。

陈述 1：温度低于 450°C，粒子平均动能较低，单位时间内有效碰撞较少，所以反应速率下降，正确。

陈述 2：降低温度有利于放热的正反应，氨的平衡产率应增加，因此“产率降低”错误。

陈述 3：提高压强有利于气体份数较少的右边，所以氨的平衡产率应增加；“高于 200 atm 使产率降低”错误。

陈述 4：继续提高压强需要更多压缩能量和更坚固的反应器、管道，维持这些条件的费用提高；题目给出的典型条件已兼顾产率与费用，因此这一工业成本陈述正确。

只有 1 和 4 正确，对应 B。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/42 Q1(b)） · 1 级

Using numbers only, state the:

(b) typical operating temperature of the Contact process in °C

2. （2025·May/June 0620/22 Q16） · 2 级

Which row describes the conditions used in the manufacture of sulfuric acid by the Contact process?

	catalyst	pressure	temperature
A	iron	high	high
B	iron	low	low
C	vanadium(V) oxide	high	low
D	vanadium(V) oxide	low	high

3. （2025·May/June 0620/43 Q4(b)(i)） · 2 级

This question is about compounds of sulfur.

(a) Sulfuric acid is manufactured in a four-stage process.

stage 1 Sulfur dioxide is produced from ores containing sulfur.

stage 2 Sulfur dioxide reacts with oxygen to form sulfur trioxide.

stage 3 Sulfur trioxide reacts with concentrated sulfuric acid to form oleum, $H_2S_2O_7$.

stage 4 Oleum reacts with water to form concentrated sulfuric acid.

(b) (i) State **three** typical conditions for the reaction between sulfur dioxide and oxygen in **stage 2**.

4. （2025·May/June 0620/41 Q4(b)(ii)） · 2 级

This question is about nitrogen and its compounds.

Nitrogen contains molecules with the formula N_2.

(b) Ammonia, NH_3, is manufactured by reacting nitrogen with hydrogen, H_2, in the Haber process.

(ii) Write the symbol equation for the chemical reaction in the Haber process.

5. （2025·May/June 0620/43 Q4(b)(ii)） · 2 级

This question is about compounds of sulfur.

(a) Sulfuric acid is manufactured in a four-stage process.

stage 1 Sulfur dioxide is produced from ores containing sulfur.

stage 2 Sulfur dioxide reacts with oxygen to form sulfur trioxide.

stage 3 Sulfur trioxide reacts with concentrated sulfuric acid to form oleum, $H_2S_2O_7$.

stage 4 Oleum reacts with water to form concentrated sulfuric acid.

(ii) Write a symbol equation for the reaction that occurs in **stage 2**.

6. (2025·May/June 0620/43 Q5(b)(i)) · 3 级

Ethanoic acid is manufactured in the reaction between methanol and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$CH_3OH(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3COOH(g)$$

(b) Both a high yield of ethanoic acid and a high rate of reaction are needed.

The reaction is carried out at 300 °C.

The forward reaction is exothermic.

(i) State the disadvantage of using a temperature:

- below 300 °C
- above 300 °C.

6.4 氧化还原

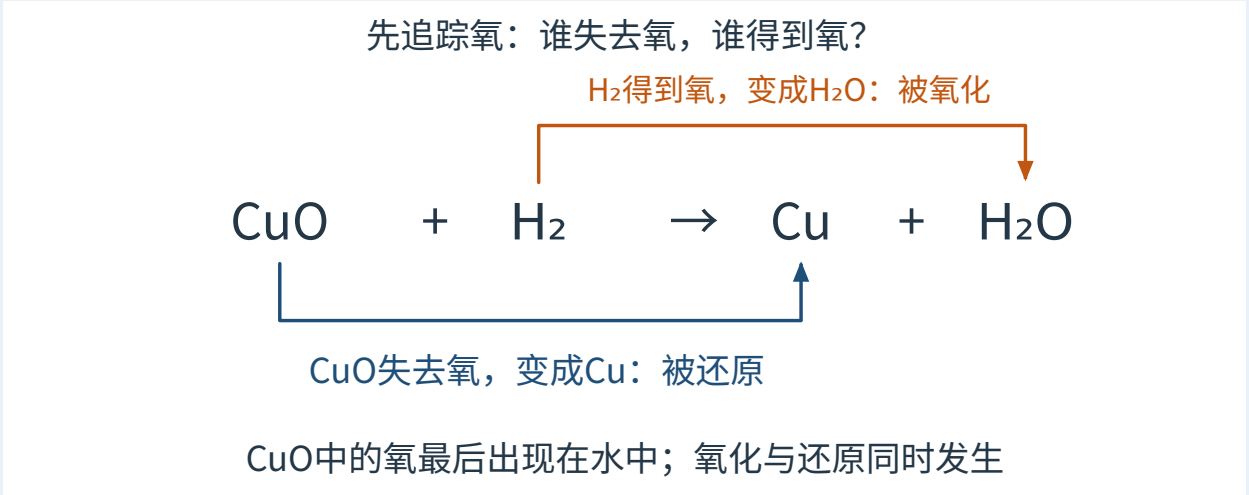
题型 1：追踪氧、电子与氧化数，辨认氧化还原和试剂角色

知识点

先从一个能追踪氧的反应开始：

$CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2O$

氧化铜(II) copper(II) oxide CuO 变成铜 Cu 时失去氧；氢气 H_2变成水 H_2O 时得到氧。得到氧叫氧化 oxidation，失去氧叫还原 reduction。

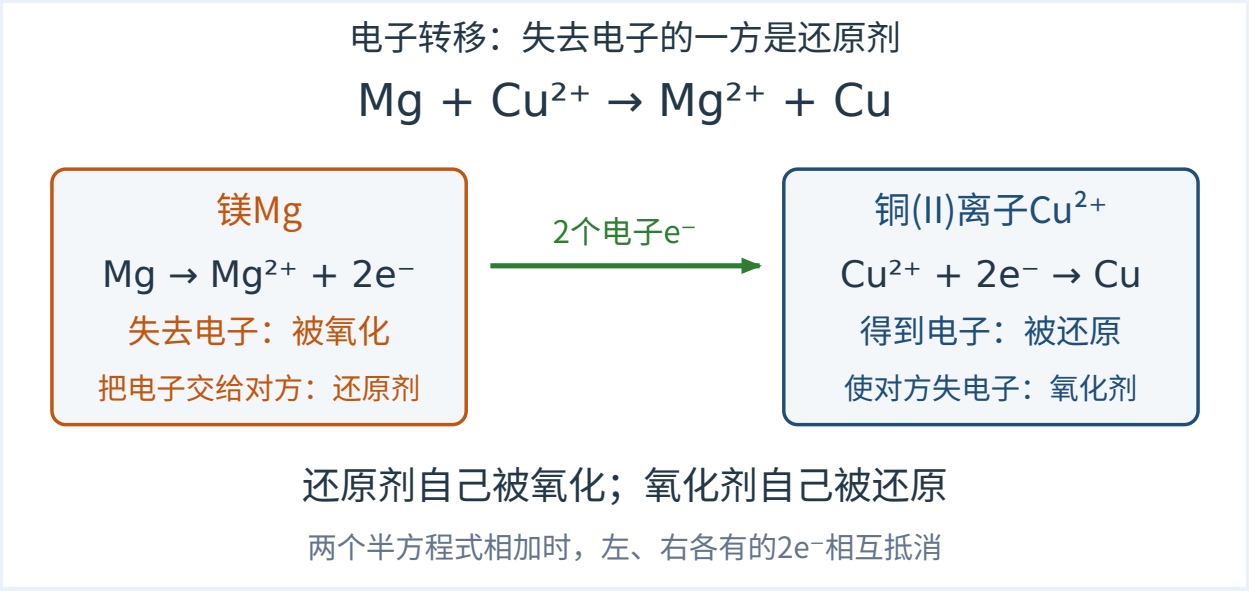


连线追踪反应物到产物的组成变化，不表示反应经过游离氧原子这一步。

例如，追踪含铜的物质，CuO→Cu，氧从它的组成中消失，所以 CuO 被还原。再追踪含氢的物质，$H_2 \rightarrow H_2O$，增加了氧，所以H_2被氧化。这两种变化在同一次反应中同时发生，合称氧化还原反应 redox reaction。回答“哪一种物质被还原”时，指出发生变化的反应物 CuO，而不是只报最终得到的 Cu。

再看电子的转移。有些氧化还原反应没有氧参与，仍然可以用电子判断。镁 magnesium Mg 与铜(II)离子 Cu^{2+}反应时，Mg 失去两个电子，变成 Mg^{2+}；Cu^{2+}得到这两个电子，变成 Cu。电子带负电，记为 e^-，得失电子不改变原子的质子数。

氧化还可以定义为失去电子，还原定义为得到电子。把一个变化单独写出的式子叫半方程式 half-equation；两个半方程式中的电子转移数量必须配得上。



中间箭头表示电子从镁转移给铜(II)离子；两侧半方程式同时保持原子数和总电荷守恒。

例如，先写镁失电子的半方程式：

$$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$$

电子写在右边，表示由 Mg 失去，Mg 被氧化。

再写铜(II)离子得电子的半方程式：

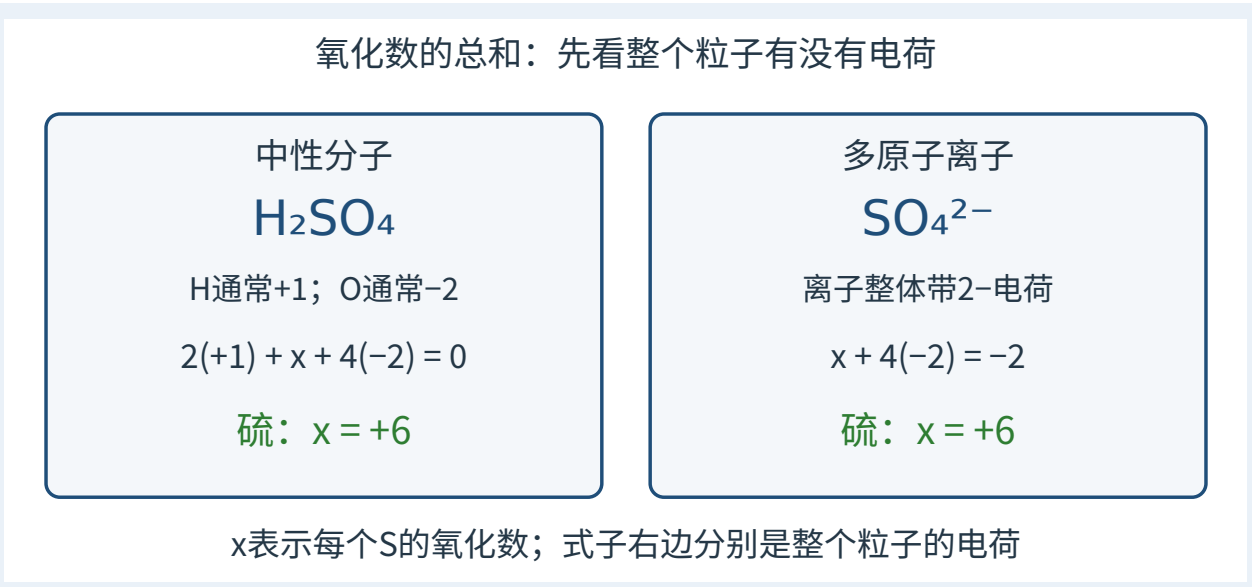
$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

电子写在左边，表示被 Cu^{2+} 得到，Cu^{2+} 被还原。两式相加，左、右的 $2e^-$ 相互抵消，得到：

$$Mg + Cu^{2+} \rightarrow Mg^{2+} + Cu$$

还原剂 reducing agent 使另一物质被还原，自己被氧化；氧化剂 oxidising agent 使另一物质被氧化，自己被还原。上例中 Mg 把电子交给 Cu^{2+}，使 Cu^{2+} 还原，所以 Mg 是还原剂。Cu^{2+} 接受电子，使 Mg 氧化，所以 Cu^{2+} 是氧化剂。名称说的是它对另一方的作用，回答时再把“自己发生了什么”补出来，就不容易颠倒。

如果题目只给化学式，电子没有直接写出，可以用氧化数 oxidation number 记账。氧化数分配给某个元素的原子，用来追踪电子归属；对共价分子，它不一定是实际存在的离子电荷。先用以下规则：单质中元素的氧化数为 0，例如 Cu、C、H_2、O_2 和 N_2；单原子离子的氧化数等于离子电荷，例如 Cu^{2+} 为+2，Cl^- 为−1。中性化合物内全部原子的氧化数总和为 0；多原子离子内全部原子的总和等于整个离子的电荷。计算本节常见化合物时，H 通常取+1，O 通常取−2；若题目另外给出某元素的氧化数，就按题目所给的值使用。这两个常用值并非没有例外，因此读到明确给值时不能跳过。先把已知原子的氧化数乘原子个数，再用总和条件求未知数。



这是氧化数记账，不是物质的结构图。中性 H_2SO_4的总和为 0，SO_4^{2-}的总和为−2。

例如，求硫酸 H_2SO_4中每个 S 的氧化数，设为x。两个 H 各为+1，四个 O 各为−2，整个分子中性，因此：

$$2(+1) + x + 4(-2) = 0$$

先算 H、O 的合计贡献，再解出 S 的氧化数：

$$2 + x - 8 = 0$$

$$x = +6$$

若改为硫酸根 SO_4^{2-}，整个离子带 2−电荷，全部原子的氧化数总和应为−2：

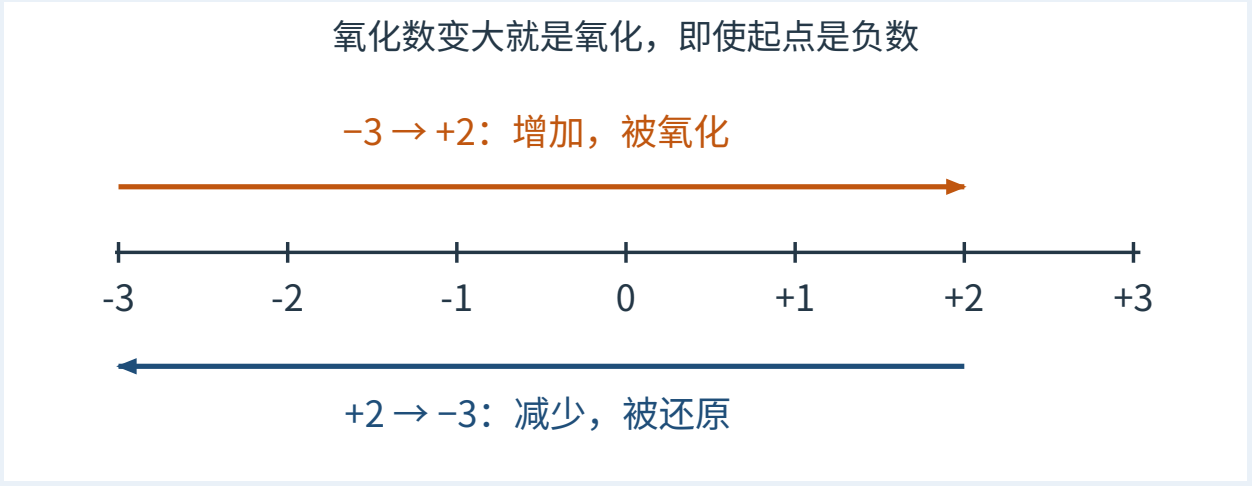
$$x + 4(-2) = -2$$

$$x - 8 = -2 \quad \Rightarrow \quad x = +6$$

每个 S 仍为+6。不能忽略右上角的 2−，也不能把整个 SO_4^{2-}的总和−2 直接报成 S 的氧化数。

化学名称中的罗马数字也指明该元素的氧化数。例如 copper(II) oxide 的 II 表示铜为+2；chlorine(I) oxide 的 I 表示氯为+1。这不是原子个数。Cl_2O 是共价分子，称氯为+1 是在说氧化数，并不是断言分子里存在游离的 Cl^+离子。

由氧化数也能定义氧化和还原：氧化数增加是氧化，氧化数减少是还原。看大小时按带符号的数值比较：从−3 到+2 是增加，不因起点带负号而变成“减少”。



数轴只比较同一元素反应前后的氧化数；箭头不表示原子在溶液中的运动方向。

例如，$Fe^{2+} \to Fe^{3+}$，同一个铁的氧化数由+2 增加到+3，因此 Fe^{2+}被氧化。它失去一个电子，半方程式为：

$$Fe^{2+} \to Fe^{3+} + e^-$$

若反应物写 $5Fe^{2+}$，5 表示有五份这样的离子，不会把每个铁的氧化数变成+10。

判断某个带下划线的物质是不是还原剂，可依次做三步：确定要追踪的元素；分别求它在反应物和对应产物中的氧化数；数值增加，说明这个反应物自己被氧化，因而是还原剂。数值减少时它是被还原的一方；若各元素数值都不变，就不能把它判为本反应的还原剂。

遇到离子团时，可先把已知的整个离子团当作一组。本节用到硫酸根 SO_4^{2-}和氢氧根 OH^-，电荷分别是 2−和 1−。例如硫酸铁(II) iron(II) sulfate $FeSO_4$与氢氧化铁(II) iron(II) hydroxide $Fe(OH)_2$，两者都不带总电荷。

带括号的离子团：先用整个离子团的电荷

硫酸根SO_4^{2-}：2−　　氢氧根OH^-：1−

$FeSO_4$	$Fe(OH)_2$
$x + (-2) = 0$	$x + 2(-1) = 0$
Fe的氧化数为+2	Fe的氧化数也为+2

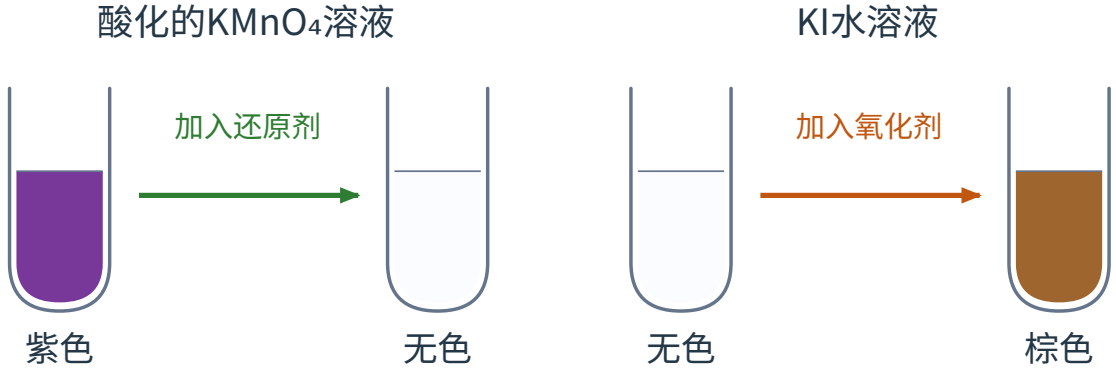
$Fe(OH)_2$里的下标2乘整个OH^-；没有把每个Fe变成+4

这里列出的 SO_4^{2-}与 OH^-是已给出的完整离子团；括号外的 2 表示有两个 OH^-。

例如，$FeSO_4$里的 SO_4^{2-}合计为−2，因此 Fe 是+2。$Fe(OH)_2$里有两个 OH^-，总负电荷也是−2，因此 Fe 仍是+2。若 $Fe(OH)_2$与硫酸 H_2SO_4反应生成 $FeSO_4$和水，铁的+2 没有改变；该反应不能仅因化学式变了就把 $Fe(OH)_2$叫作还原剂。

还有两种常用的颜色检验。每一种都要把试剂、起始颜色、最终颜色，以及谁被氧化或还原对应起来。第一种是酸化的高锰酸钾 potassium manganate(VII) $KMnO_4$水溶液，其中 MnO_4^-使溶液呈紫色。加入能与它反应的还原剂后，在足够酸性的条件下 MnO_4^-被还原为 Mn^{2+}，紫色消失，稀溶液通常观察为无色。第二种是无色的碘化钾 potassium iodide KI 水溶液。能与它反应的氧化剂使 I^-失去电子形成碘 iodine I_2，溶液呈棕色。

用已知试剂的颜色变化，识别电子得失



Mn：+7 → +2，得电子

试剂中的MnO_4^-被还原

I：−1 → 0，失电子

试剂中的I^-被氧化成I_2

酸性条件要明确；图示为适当浓度下的典型最终观察

透明区域表示无色溶液。酸性稀溶液中的 Mn^{2+}通常观察为无色；KI 溶液变棕色来自生成的碘。

例如，若某物质使酸化 $KMnO_4$溶液由紫色变无色，已知试剂得电子被还原，待测物就是提供电子的一方，即还原剂。若某物质使无色 KI 溶液变棕色，I^-被氧化，待测物使它失去电子，因此待测物是氧化剂。对应的碘半方程式为：

$2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$

这里判断的是氧化还原，不是酸碱指示剂的变色；酸化条件、试剂浓度和是否反应充分都影响实际观察。把颜色变化迁移到新的盐名时，先找实际参与反应的离子。亚硫酸钠 sodium sulfite Na_2SO_3和亚硫酸锂 lithium sulfite Li_2SO_3都含亚硫酸根 SO_3^{2-}；不要把 sulfite 亚硫酸盐误读成 sulfate 硫酸盐 SO_4^{2-}。它们能还原酸化的 $KMnO_4$，因此在相应反应中观察到紫色变无色，而不是变棕色。

例如，若把题目中的 Na_2SO_3换成 Li_2SO_3，变的是陪伴的金属阳离子；待检的还原性离子仍为 SO_3^{2-}，所用试剂仍是酸化 $KMnO_4$，所以颜色起点仍是紫色，终点仍是无色。回答 from/to 两栏时把两个颜色完整写出。

另一个真题还提供酸化的重铬酸钾 potassium dichromate(VI) $K_2Cr_2O_7$作为新试剂，并说它与 KI 反应后溶液呈深棕色。这里不用猜新试剂的颜色来定角色：由已教的 KI 无色→I_2棕色，能确定 I^-被氧化；使它氧化的 $K_2Cr_2O_7$就是氧化剂。相应地，$FeSO_4$使酸化 $KMnO_4$的紫色消失时，Fe^{2+}失电子变 Fe^{3+}，$FeSO_4$是还原剂。两种试剂的角色要根据各自反应中的电子去向分别判断。

最后处理一种新条件：题目只写反应名称，没有给方程式。此时必须先知道名称所指的反应物和产物，再追踪氧化数。下面把练习中需要的四种具体反应补齐。

丙烷 propane C_3H_8在氧气不足时不完全燃烧，可以生成一氧化碳 CO 和水 H_2O，例如：

$2C_3H_8 + 7O_2 \rightarrow 6CO + 8H_2O$

这里 O_2是单质，O 为 0；CO 和 H_2O 中的 O 均为−2，氧被还原，燃料同时被氧化，因此是 redox。

铁 iron Fe 生锈需要氧气和水，铁最终进入含水的铁(III)氧化物，铁由单质的 0 变为+3，被氧化，氧同时被还原，也属于 redox。若只记账铁与氧，氧化铁部分可以写成：

$4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$

真实铁锈含水，这条简式不表示铁能在干燥空气中正常生锈。

只给反应名称时，先补出所指的化学变化

丙烷不完全燃烧：一种生成CO的情况

$2C_3H_8 + 7O_2 \rightarrow 6CO + 8H_2O$

O：单质中的0 → CO和H_2O中的−2

铁生锈：水和氧气都需要

Fe中的铁：0 → 含水铁锈中的铁：+3

铁失去电子，被氧化；氧同时被还原

两种反应都有元素氧化数变化，因此都属于氧化还原反应

丙烷式只选一种不完全燃烧产物组合；铁锈为含水的铁(III)氧化物，此图追踪铁的状态，不把铁锈画成干燥的纯 Fe_2O_3。

例如，不完全燃烧不要求所有产物都是 CO_2才算氧化。上面的 CO 中 O 仍为−2，已经能看出氧由 0 降低到−2。生锈则从 Fe 的 0 升至铁(III)的+3，两例都存在氧化数变化，所以都属于氧化还原。原子个数与氧化数仍是不同量，不能用方程式里的 $7O_2$把氧的氧化数写成 7。

另两种反应也生成新物质，却不发生氧化数变化。向含氯离子 Cl^-的溶液加入酸化的硝酸银 silver nitrate $AgNO_3$水溶液，银离子 Ag^+与氯离子形成固体氯化银 silver chloride AgCl，即：

$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

银在前后都是+1，氯都是−1；硝酸根 NO_3^-等旁观离子不参与这一步沉淀形成。

碳酸钙 calcium carbonate $CaCO_3$受热分解成氧化钙 calcium oxide CaO 和二氧化碳 CO_2，即：

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

Ca 均为+2，O 均为−2。要求 $CaCO_3$中 C 的氧化数，设为x，利用中性化合物的总和为 0：

$$(+2) + x + 3(-2) = 0$$

$$x = +4$$

C 在 CO_2中也为+4，因此没有任何元素的氧化数改变。

形成新物质，也要检查氧化数是否改变

氯离子与银离子生成氯化银沉淀

$$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$$

Ag：+1 → +1；Cl：−1 → −1

碳酸钙受热分解

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

Ca：+2 → +2；C：+4 → +4；O：−2 → −2

所追踪元素的氧化数都不变，因此这两个反应都不是redox

(aq)表示溶于水，(s)表示固体。第一式只保留实际形成沉淀的离子；第二式表示加热分解。

例如，只凭“形成沉淀”或“受热分解”不能判断是否 redox。对上述氯化银沉淀与碳酸钙分解，逐个元素核对后发现氧化数都不变，所以这两例不是氧化还原；别把这个结论推广为所有沉淀反应或所有热分解都一定不是 redox。

电子写在半方程式右边表示_____电子，是_____。还原剂本身被_____。多原子离子内各原子氧化数的总和等于_____。

答案：失去；氧化；氧化；整个离子的电荷

怎么认 先读清要追踪的反应物或下划线物质，再比较同一元素反应前后的氧化数。若问试剂角色，最后补一句它使另一物质发生了什么变化；只有反应名称时，先还原相应反应式。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q16） · 2 级

The equation for the reaction between copper(II) oxide and carbon is shown.

$$2CuO + C \rightarrow 2Cu + CO_2$$

Which statement about this reaction is correct?

A CuO is reduced.

B CO_2 is oxidised.

C Cu is oxidised.

D C is reduced.

解：
反应为：
$2CuO + C \rightarrow 2Cu + CO_2$
先追踪含铜的物质：CuO 变成 Cu，失去氧，因此 CuO 被还原，A 正确。
再追踪碳：反应物 C 变成 CO_2，得到氧，因此被氧化的是 C。CO_2是这个氧化过程的产物，不能把本题写成“CO_2被氧化”；Cu 则是 CuO 被还原后的产物，不能说 Cu 在本反应中被氧化。
也可用氧化数复核：Cu 由 CuO 中的+2 变成单质 Cu 中的 0，是减少；C 由 0 变成 CO_2中的+4，是增加。所以 B、C、D 都不符合所给反应，选 A。

例题 2 （2025·May/June 0620/41 Q4(c)(ii)） · 2 级

This question is about nitrogen and its compounds.

Nitrogen contains molecules with the formula N_2.

(c) Ammonia is converted into nitric acid in a two-step process.

In step 1, ammonia and oxygen are passed over a catalyst.

(ii) Give the oxidation number of nitrogen in:

- NH_3
- NO.

解：这两种物质都是中性分子，因此各自全部原子的氧化数总和为 0。每一问分别设 N 的氧化数为x。
NH_3：每个 H 通常为+1，三个 H 合计+3。因此：
$x + 3(+1) = 0$
$x = -3$
氨中 N 的氧化数为–3。
NO：O 通常为–2。因此：
$x + (-2) = 0$
$x = +2$
一氧化氮 nitrogen monoxide NO 中 N 的氧化数为+2。
按题目顺序填–3、+2，正负号都要写清楚。分子整体中性不表示每个原子的氧化数都为 0。

例题 3 （2025·May/June 0620/42 Q4(c)(ii)） · 3 级

Chromium is the element with atomic number 24 in the Periodic Table.

(c) $(NH_4)_2Cr_2O_7$ is a compound containing chromium.

The negative ion in $(NH_4)_2Cr_2O_7$ is $Cr_2O_7^{2-}$.

(ii) The oxidation number of each O in $Cr_2O_7^{2-}$ ions is –2.

Determine the oxidation number of each Cr in $Cr_2O_7^{2-}$ ions. Show your working.

解：
目标是 $Cr_2O_7^{2-}$中每一个 Cr 的氧化数。题目已经给出每个 O 为–2，先求 7 个 O 的总贡献：
$$7 \times (-2) = -14$$
整个离子带 2–电荷，所以全部原子的氧化数合计必须为–2。设每个 Cr 为x；离子中有两个 Cr：
$$2x + (-14) = -2$$
两边同时加 14，得到两个 Cr 的总贡献：
$$2x = +12$$
再除以 2，求每一个 Cr：
$$x = +6$$
代回检查：
$$2(+6) + 7(-2) = 12 - 14 = -2$$
结果正好等于离子的总电荷，因此每个 Cr 的氧化数为+6。

题目要求 show your working，不能只写+6；需要展示氧的总贡献，以及用离子总和求出 Cr 的步骤。铬的原子序数 24 给的是质子数，不代入这道氧化数计算。

例题 4 （2025·May/June 0620/22 Q17） · 3 级

Which equations show the underlined species acting as a reducing agent?

1 $\underline{Fe_2O_3} + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$

2 $\underline{Fe} + CuSO_4 \rightarrow FeSO_4 + Cu$

3 $\underline{5Fe^{2+}} + MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O$

4 $\underline{Fe(OH)_2} + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + 2H_2O$

A 1 and 2 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 3 and 4

解：题目限定的是下划线物质，它们依次是 Fe_2O_3、Fe、Fe^{2+}和 $Fe(OH)_2$。还原剂的判断标准是：它使另一方被还原，自己被氧化。这里四条都可追踪 Fe 的氧化数。

第 1 条，Fe_2O_3中三个 O 共为–6，两个 Fe 共需+6，所以每个 Fe 为+3；产物单质 Fe 为 0。铁的氧化数从+3 降低到 0，Fe_2O_3自己被还原，是氧化剂，不是所问的还原剂。

第 2 条，单质 Fe 为 0；产物 $FeSO_4$中 SO_4^{2-}总负电荷为–2，故 Fe 为+2。铁从 0 升到+2，自己被氧化，所以带下划线的 Fe 是还原剂。

第 3 条，Fe^{2+}变为 Fe^{3+}，每个 Fe 由+2 升到+3，失去电子，自己被氧化，所以 Fe^{2+}也是还原剂。式子前面的 5 是离子份数，不改变每个铁的氧化数。

第 4 条，$Fe(OH)_2$中两个 OH^-合计–2，所以 Fe 为+2；产物 $FeSO_4$中的 Fe 仍为+2，H、O、S 的氧化数也没有变化。这是给定的中和反应，$Fe(OH)_2$没有因失电子而被氧化，不能判为还原剂。

因此只有第 2 和第 3 条符合，对应 C。

例题 5 （2024·October/November 0620/22 Q18） · 3 级

Aqueous iron(II) sulfate is added to acidified potassium manganate(VII). The purple colour of the potassium manganate(VII) disappears.

Aqueous potassium iodide is added to acidified potassium dichromate(VI). A dark brown solution forms.

Which row identifies the role of the iron(II) sulfate and the potassium dichromate(VI) in these reactions?

	iron(II) sulfate	potassium dichromate(VI)
A	oxidising agent	oxidising agent
B	oxidising agent	reducing agent
C	reducing agent	reducing agent
D	reducing agent	oxidising agent

解：
第一组中，酸化 $KMnO_4$的紫色消失，表明 MnO_4^-被还原。加入的 $FeSO_4$提供 Fe^{2+}，它失去电子：
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$
Fe^{2+}自己被氧化，使另一方还原，因此 $FeSO_4$是 reducing agent。
第二组中，KI 原本含 I^-，出现深棕色表示生成了 I_2：
$2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$
I^-失电子、被氧化。使它氧化的 $K_2Cr_2O_7$是 oxidising agent。
合并为“$FeSO_4$还原剂、$K_2Cr_2O_7$氧化剂”，选 D。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q4(c)(iii)） · 1 级

This question is about nitrogen and its compounds.

Nitrogen contains molecules with the formula N_2.

(c) Ammonia is converted into nitric acid in a two-step process.

In step 1, ammonia and oxygen are passed over a catalyst.

(iii) Define oxidation in terms of oxidation number.

2. （2024·May/June 0620/42 Q5(d)(ii)） · 1 级

(d) Na_2SO_3 is oxidised by acidified aqueous potassium manganate(VII).

(ii) State the colour change when this reaction happens.

from to

3. （2024·October/November 0620/61 Q3(b)） · 1 级

A student tests two solids: solid **T** and solid **U**.

Tests on solid T

Solid **T** is lithium sulfite.

Complete the expected observations.

The student dissolves the remaining solid **T** in water to form solution **T**.

The student divides solution **T** into two portions.

(b) The student adds the first portion of solution **T** to a test-tube containing acidified aqueous potassium manganate(VII).

State the colour change.

from to

4. （2025·May/June 0620/42 Q2(b)(i)） · 2 级

This question is about covalent compounds.

(b) Chlorine(I) oxide, Cl_2O, is a simple molecule with covalent bonds.

(i) State what is meant by (I) in the name chlorine(I) oxide.

5. （2025·May/June 0620/42 Q4(c)(i)） · 2 级

Chromium is the element with atomic number 24 in the Periodic Table.

(c) $(NH_4)_2Cr_2O_7$ is a compound containing chromium.

The negative ion in $(NH_4)_2Cr_2O_7$ is $Cr_2O_7^{2-}$.

(i) State the sum of the oxidation numbers in the $Cr_2O_7^{2-}$ ion.

6. （2025·May/June 0620/43 Q4(c)） · 2 级

This question is about compounds of sulfur.

(c) Sulfuric acid reacts with carbon. The equation for the reaction is shown.

$$2H_2SO_4 + C \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 2SO_2$$

Give the oxidation number of carbon in:

- C
- CO_2.

7. （2025·May/June 0620/13 Q16） · 2 级

Steam reacts with carbon to produce carbon monoxide and hydrogen.

$$C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$$

Which substance is reduced in the reaction?

A C **B** CO **C** H_2 **D** H_2O

8. （2025·May/June 0620/12 Q18） · 4 级

Which reactions are redox reactions?

1 the incomplete combustion of propane

2 the rusting of iron

3 the reaction of aqueous chloride ions with acidified aqueous silver nitrate

4 the thermal decomposition of calcium carbonate

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 2 and 4 **D** 3 and 4

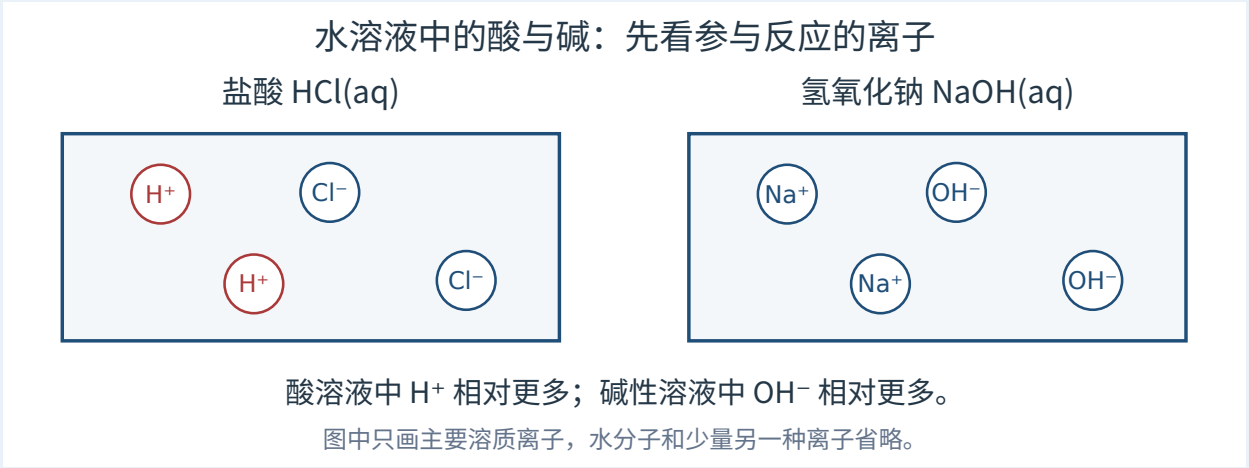
酸、碱和盐

7.1 酸和碱

题型 1：用离子、pH 与指示剂判断酸碱反应

知识点　先比较两种熟悉的水溶液：盐酸 hydrochloric acid HCl(aq)与氢氧化钠 sodium hydroxide NaOH(aq)。酸的水溶液含氢离子 H^+，碱性溶液含氢氧根离子 OH^-。更准确地比较时，酸性溶液的 H^+相对更多，碱性溶液的 OH^-相对更多；不能把“含 H^+”误读成绝对没有 OH^-。

本节常见的碱 base 包括能与酸反应的金属氧化物和金属氢氧化物，如氧化铜(II)CuO、氢氧化钠 NaOH。可溶于水的碱叫 alkali。NaOH 能溶于水，溶液中有 Na^+、OH^-，所以是 alkali；CuO 不溶于水，虽是 base，却不是 alkali。后面还会用接受质子的定义解释氨的碱性。



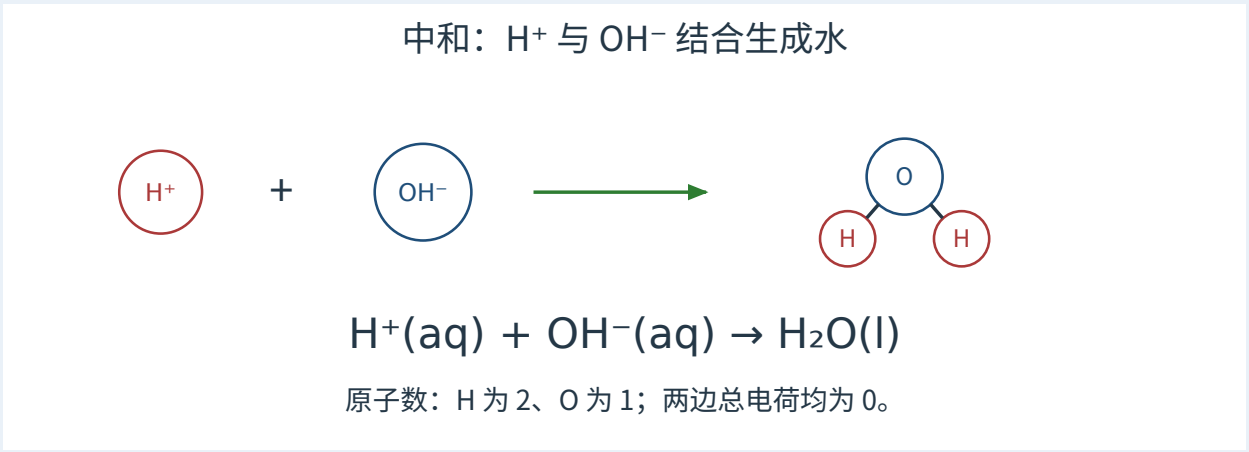
HCl 和 NaOH 水溶液中的主要溶质离子不同；酸性不表示绝对不存在 OH^-，碱性也不表示绝对不存在 H^+。

例如，问盐酸的酸性与哪种离子有关，要指向 H^+，而不是 Cl^-。问 NaOH 溶液的碱性与哪种离子有关，要指向 OH^-，而不是 Na^+。Na^+与 Cl^-可以在盐水中同时存在，不能单靠它们判断这杯水是强酸性还是强碱性。

把酸与碱混合，H^+可与 OH^-结合生成水，这叫中和 neutralisation。用离子方程式写为：

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$$

原子的种类、数量和总电荷都守恒。



OH^-接受一个 H^+后变成 H_2O；这是质子转移，不能仅因离子消失就叫还原。

例如，盐酸与 NaOH 反应的完整方程式为：

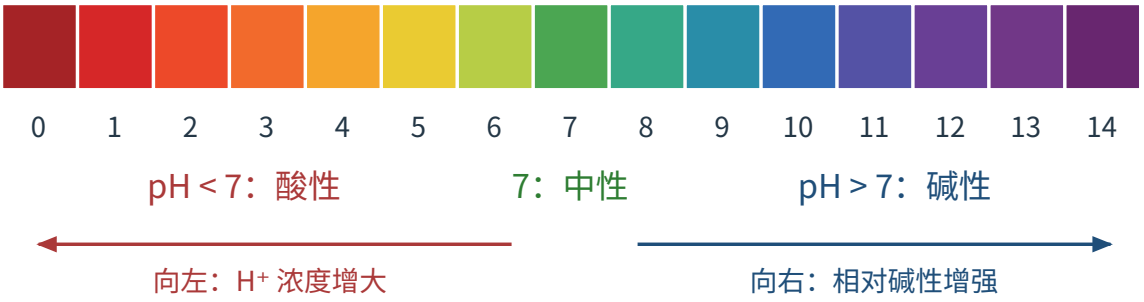
$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

盐是氯化钠 sodium chloride NaCl。Na^+和 Cl^-在反应前后仍在水中，净变化是 H^+与 OH^-生成水。向盐酸逐步加 NaOH，H^+被消耗，酸性减弱，pH 上升。加的量还不足时，混合物仍可呈酸性；对这对酸碱，恰好反应时接近中性；NaOH 过量后又呈碱性。因此“发生了中和”并不等于“无论用量多少，最终一定中性”。

用质子 proton 还可以给出更一般的定义：酸是质子提供者 proton donor，碱是质子接受者 proton acceptor。常见氢原子失去电子形成 H^+后，只剩一个质子，所以这里说“转移一个质子”，就是转移 H^+。上图中 OH^-接受 H^+形成水，体现它的碱性；电子没有在两种元素间转移，所以不应把中和直接叫作还原。

pH 把水溶液的相对酸碱性表示为一个数。在本节室温条件下，pH 7 为中性，低于 7 呈酸性，高于 7 呈碱性；pH 越低，H^+浓度越大。比较 pH 2 与 pH 5，前者更酸；pH 5 仍不是中性。这里是在比较溶液的酸性程度，不等于仅凭 pH 就判断酸的分子是否“强酸”，后面会把强弱与浓稀分开。

pH 与通用指示剂：先定位 7，再比较两侧



本图为室温常见色阶示意；实验时应与所用试纸的色卡比对。

常温下以 pH 7 作中性参照；颜色用来估计范围，不是所有指示剂都共用这条色阶。

例如，通用指示剂 universal indicator 在明显酸性条件通常呈红、橙或黄，在中性附近呈绿，在碱性条件逐渐呈蓝至紫。若 pH 为 9，就处于碱性一侧，不能把它写成通常代表酸性范围的黄色。做实际实验应把湿润试纸的颜色与它自带的色卡比对，得到近似 pH，而不是把任何蓝色都精确报为同一个数。

并非所有指示剂都按同一条色阶变色。本节要分别认识石蕊 litmus、百里酚酞 thymolphthalein 与甲基橙 methyl orange。在题目常见的稀盐酸和 NaOH 溶液中，它们的颜色如下。

先确定是哪一种指示剂，再查颜色

指示剂	本节稀 HCl	本节 NaOH(aq)
石蕊 litmus	红	蓝
thymolphthalein	无色	蓝
methyl orange	红	黄

无色不是白色；通用指示剂的红—绿—紫色阶不能套给上表每一种试剂。

单一指示剂在特定 pH 范围内变色，不能把所有变色点都设为 pH 7。

表中比较的是本节明确酸性的稀 HCl 与明确碱性的 NaOH 溶液；较接近变色范围的溶液应按该指示剂资料判断。

例如，同一杯明显碱性的 NaOH 溶液，thymolphthalein 呈蓝色，methyl orange 呈黄色。不能因为前一种是蓝色，就把后一种也填蓝色。稀盐酸则使 thymolphthalein 无色、methyl orange 红色；无色指没有可见染色，不是出现白色。单一指示剂各有自己的变色 pH 范围，不是所有指示剂都恰好在 pH 7 变色；接近其变色区间时，应按所给资料判断，不能用“酸性”或“碱性”两个词替代所有细节。

酸的反应还取决于另一种反应物。镁 magnesium Mg、锌 zinc Zn 等适合的活泼金属与稀盐酸或稀硫酸反应，形成盐并放出 H_2；金属氧化物或氢氧化物与酸反应，形成盐和水；碳酸盐 carbonate 与酸反应，除盐和水外还生成 CO_2。

酸的三种常见反应：生成的气体并不相同

$$Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2$$

活泼金属 + 稀酸　　气泡；H_2 遇点燃木条有爆鸣声

$$CuO + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O$$

金属氧化物 + 酸　　氧化物被消耗；不必产生气体

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

碳酸盐 + 酸　　气泡；CO_2 使澄清石灰水变浑浊

先由反应物类别决定生成物，再用相应气体检验区分 H_2和 CO_2；不是酸与任何物质反应都放出氢气。

例如，先把镁、碳酸钙和氧化铜三种反应分开看。

镁是适合与稀盐酸反应的金属，生成氯化镁和氢气：

$$Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2$$

气体是氢气，可用点燃的木条检验爆鸣声。

碳酸钙是碳酸盐，与稀盐酸反应生成盐、水和二氧化碳：

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

气体是二氧化碳，能使澄清石灰水变浑浊。

氧化铜是碱性氧化物，与稀盐酸反应生成盐和水：

$$CuO + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O$$

这条反应不要求产生气体。先辨“金属”“碳酸盐”或“碱”，才能决定产物。并非每一种金属都与这类稀酸放出 H_2，例如 Cu 不与稀 HCl 或稀 H_2SO_4按这个方式反应；也不把本例的产氢规则盲套给硝酸。

碱还能与铵盐 ammonium salt 反应释放氨 ammonia NH_3，通常可通过温和加热促进观察。铵盐含 NH_4^+，例如氯化铵 ammonium chloride NH_4Cl。净离子变化是：

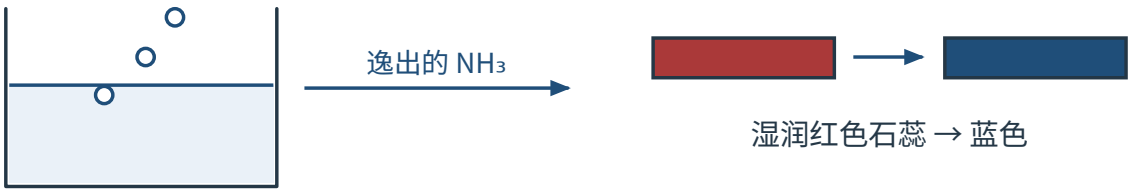
$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O$$

NH_4^+失去 H^+形成 NH_3，OH^-接受这个 H^+形成水。

碱与铵盐：释放的氨使湿润红色石蕊变蓝

$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O$$

铵离子提供一个 H^+　　OH^- 接受 H^+ 形成水



氢氧化物或能形成碱的碱性氧化物，均可使铵盐释放氨。

图中先由铵离子与 OH^-的反应确定 NH_3，再用湿润石蕊检验其碱性；红色石蕊需湿润。

例如，把 NH_4Cl 与 NaOH 溶液混合并温和加热，反应为：

$$NH_4Cl + NaOH \rightarrow NaCl + NH_3 + H_2O$$

逸出的 NH_3使湿润红色石蕊变蓝。检验纸需要湿润，是因为氨先溶于纸上的水，再使其中呈碱性。若只把 potassium salt 与碱混合，里面没有 NH_4^+，便不能按这条反应释放 NH_3。

在潮湿土壤中，氧化钙 calcium oxide CaO 等碱性氧化物可以形成碱性条件，使铵盐释放 NH_3。比如：

$$CaO + 2NH_4Cl \rightarrow CaCl_2 + 2NH_3 + H_2O$$

这样会把原本在铵盐中的氮变成逸散的氨，解释了为什么不能把这类碱性材料与铵肥同时加入。反过来，NH_3也能从水接受 H^+，形成 NH_4^+和 OH^-，即：

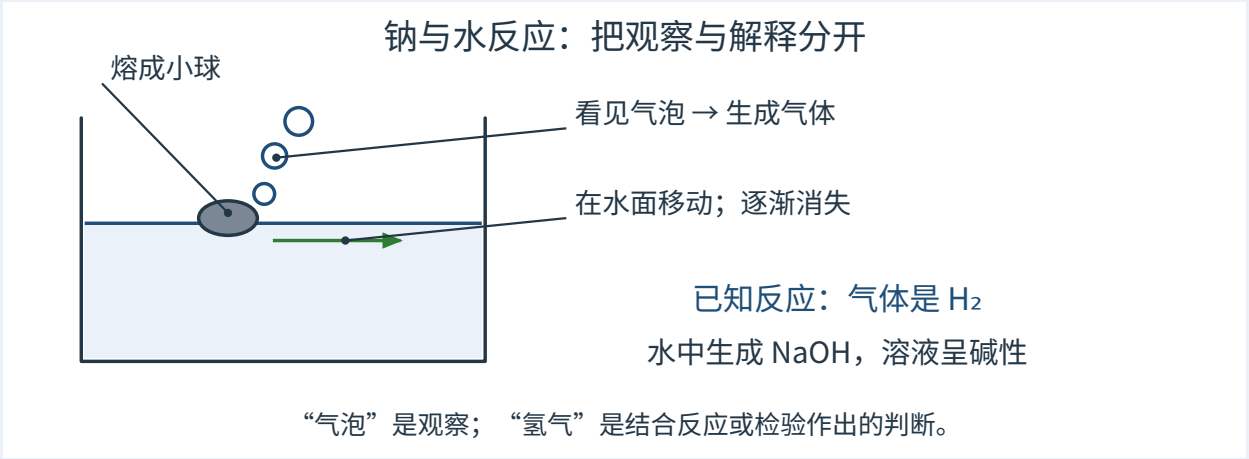
$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

因此氨水呈碱性，NH_3符合质子接受者的定义。

最后补足一道跨到第 I 族反应的桥：钠 Na 与水反应生成 NaOH 与 H_2，方程式是：

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$$

反应结束后，留下的 NaOH 溶液是碱性的，不能因为起初加入的是“金属”，就说最终溶液不是碱。



Na 与水生成 NaOH 和 H_2；本型先用这条具体反应识别最终溶液的碱性，再判断指示剂颜色。

例如，读到“Na 与水反应完后加入指示剂”，先找最终溶液中的 NaOH，再判断 OH^-造成的碱性，最后查所问的那一种指示剂。例如 methyl orange 呈黄；若换成 thymolphthalein，则应查它在碱性溶液中的颜色，不能照抄甲基橙的黄。

中和的净离子方程式是 $H^+ +$ _____ → _____。pH 5 比 pH 2 的酸性_____。能使湿润红色石蕊变蓝的氨，常由_____盐与碱反应释放。

答案：OH^-；H_2O；弱；铵

怎么认 先识别实际溶液或最终产物，再判断酸碱性、pH 与指定指示剂；气体题先由反应物类别确定气体，再用相应检验核对。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q17） · 2 级

Which row gives the colours observed when thymolphthalein and methyl orange are added separately to the named solution?

	solution	colour with thymolphthalein	colour with methyl orange
A	dilute HC*l*	colourless	yellow
B	dilute HC*l*	blue	red
C	aqueous NaOH	colourless	red
D	aqueous NaOH	blue	yellow

解：先确定溶液类别：dilute HCl 是酸性，aqueous NaOH 是碱性。然后分别查两种指示剂，不把它们当成同一色阶。

稀 HCl 中，thymolphthalein 无色，methyl orange 红色。因此 A 第一项无色正确，但 yellow 错误；B 的 methyl orange 红色正确，却把 thymolphthalein 错写成 blue。

NaOH 溶液中，thymolphthalein 蓝色，methyl orange 黄色。C 两项都不符，D 两项均符合，所以选 D。

例题 2 （2025·May/June 0620/22 Q18） · 2 级

A farmer incorrectly adds two substances to the soil at the same time.

They react together to form a gas which turns damp red litmus paper blue.

What are the two substances?

A a basic oxide and a potassium salt

B a basic oxide and an ammonium salt

C an acidic oxide and a potassium salt

D an acidic oxide and an ammonium salt

解：气体使 damp red litmus paper 变蓝，说明这是氨 NH_3的特征检验。先由这个观察确定气体，再找能生成它的反应。
铵盐含 NH_4^+，与碱反应可释放 NH_3，净变化为：
$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O$
潮湿条件下，CaO 等碱性氧化物能提供碱性条件，因此 basic oxide 与 ammonium salt 的组合符合。
例如：
$CaO + 2NH_4Cl \rightarrow CaCl_2 + 2NH_3 + H_2O$
Potassium salt 并不提供 NH_4^+，而 acidic oxide 不提供本反应所需的碱性条件。选 B。这也解释了为什么同时加入会使铵肥中的氮以氨逸散。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q19） · 2 级

Which row describes an aqueous solution for the pH shown?

	pH	description
A	1	has a very high alkalinity
B	5	is neutral
C	9	turns universal indicator yellow
D	14	contains OH^- ions

2. （2025·May/June 0620/13 Q18） · 2 级

A solution containing hydroxide ions, $OH^-(aq)$, is added to a solution containing hydrogen ions, $H^+(aq)$. An equation representing the reaction is shown.

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$$

Which statement about the reaction is correct?

A The hydrogen ions represent an alkali.

B The reaction is a neutralisation reaction.

C The reaction is a reduction.

D As the OH^- ions are added, the pH of the reaction mixture falls.

3. (2025·May/June 0620/41 Q6(e)(ii)) · 4 级

This question is about the Periodic Table.

(e) Sodium is in Group I of the Periodic Table.

When sodium is added to water a chemical reaction occurs.

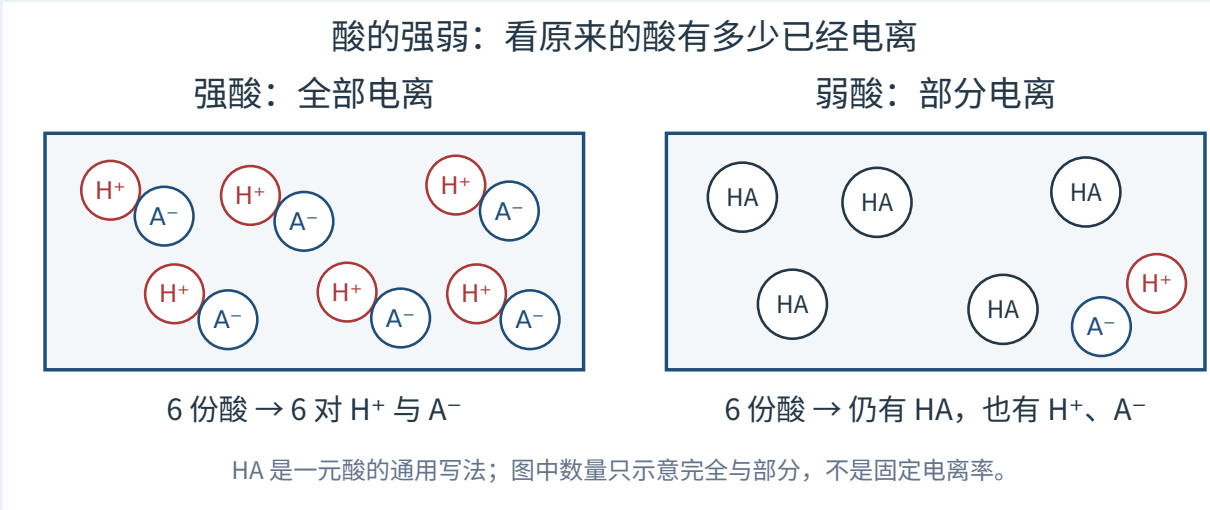
(ii) Thymolphthalein is added to the solution when the reaction has finished.

State the final colour of the thymolphthalein in the solution.

题型 2：用电离程度区分强弱酸与浓稀

知识点 同样说“一杯酸”，有两个不同的问题。第一个是酸加进水里后，原来的酸分子有没有全部形成离子。第二个是每单位体积的溶液里，放了多少酸。前者决定这里说的强弱，后者决定浓稀。

以一种一元酸 HA 作模型。HA 表示一个酸分子；它把一个 H^+ 提供出去后，余下部分记成 A^-。在水中形成 H^+ 与 A^- 的过程叫电离 dissociation。图中的 HA、H^+ 和 A^- 用来分清是否还有未电离分子，水分子暂时省略。

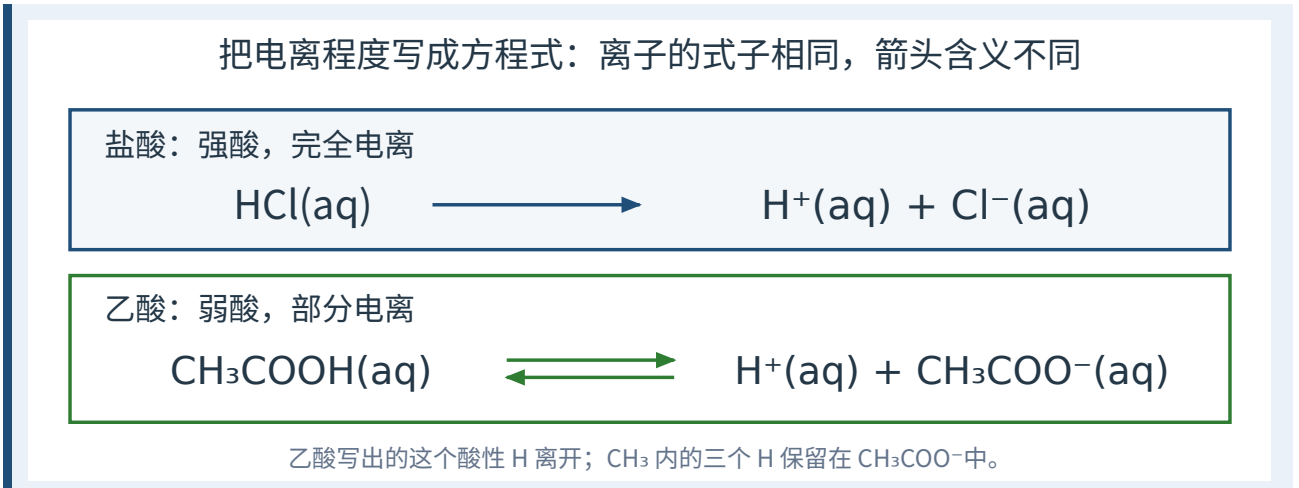


HA 是一元酸的通用写法；图中数量只示意完全与部分，不是固定电离率。

两框体积相同、起初酸的份数相同；左框完全形成离子，右框仍保留未电离的 HA。水分子省略，A^- 代表失去 H^+ 后留下的阴离子。

强酸 strong acid 在水溶液中完全电离 completely dissociated；弱酸 weak acid 在水溶液中部分电离 partially dissociated。例如，左框原来的 6 份 HA 都变成了 H^+ 和 A^-，所以符合强酸的定义。右框同时有 HA、H^+ 和 A^-，说明只有一部分电离，符合弱酸的定义。不能说右框没有 H^+，也不能把“弱”解释成完全不与碱反应。

本课程明确要求认识两种酸。盐酸 hydrochloric acid 是 HCl 的水溶液，是强酸；乙酸 ethanoic acid CH_3COOH 是弱酸。为了把“完全”和“部分”写进方程式，分别使用单向箭头→和可逆箭头⇌。



HCl 用单向箭头表达完全电离；CH_3COOH 用可逆箭头表达离子与未电离分子同时存在。两种情况均生成 H^+，弱酸不等于不能电离。

例如，先读：

$HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$

左边一个 H 和一个 Cl，右边原子数不变；+1 与−1 的总电荷为 0，等于左边。单向箭头体现本章对强酸完全电离的表示。

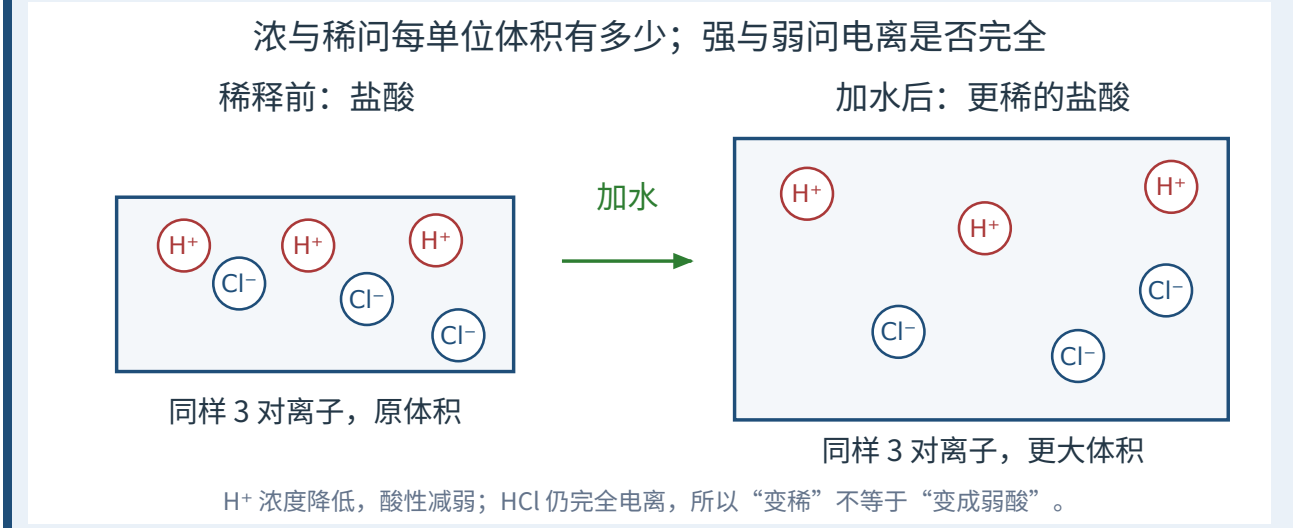
再读：

$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$

这里转移一个酸性 H，CH_3中的三个 H 仍在阴离子里。可逆箭头表示在水中既有分子，也有离子，电离与结合能够往两个方向发生。判断选项时，要分别核 HCl 一列与 CH_3COOH 一列；不能只找出某一列正确就选整行。

溶解 dissolving 与电离不是同一个动作。酸全部溶进水里，说明它均匀进入溶液；这并没有证明每个酸分子都已经形成离子。题目若特意说 completely dissolves，还要继续读后面给出的 dissociated amount。

浓溶液 concentrated solution 表示单位体积里总溶质较多；稀溶液 dilute solution 表示较少。判断浓稀时，总量包括未电离分子和由酸产生的离子所代表的酸，不是只数 H^+。给盐酸加水，体积增大，单位体积里的 H^+减少，pH 会上升，但在本节模型中 HCl 仍完全电离。



把同一杯盐酸加水，只改变每单位体积的溶质数量；在本章模型中盐酸仍完全电离。图的体积变化用于说明稀释，不用于读数计算。

例如，稀释前后的图中都画 3 个 H^+和 3 个 Cl^-；加水后它们分布在更大的体积中，所以盐酸变稀、酸性减弱。两边都没有保留未电离 HCl 的模型分子，因此不能把变稀改说成“盐酸变成弱酸”。同样，浓的弱酸仍可只部分电离；仅凭一个 pH 值，缺少浓度等条件时，不能确定酸是强酸还是弱酸。

题目给物质的量 mol 时，先找“起初酸的总量”，再找“已电离的酸的量”。对每一种酸单独比较：已电离量等于总量，表示完全电离；小于总量，表示部分电离。不需要先把所有 mol 换成粒子个数。

给出物质的量时：用已电离量与原来总量比较

溶液	原来酸的总量	已电离的量	先直接比较	再下结论
示例甲	0.200 mol	0.008 mol	0.008 < 0.200	部分 → 弱酸
示例乙	0.200 mol	0.200 mol	0.200 = 0.200	完全 → 强酸

甲的电离比例 = 0.008 ÷ 0.200 = 0.04 = 4%；不是 100%。

已经全部溶进水里，仍可以只有一部分酸分子电离。

每杯都与自己的原总量比较；电离得较多并不自动等于完全电离。百分比是进一步说明，先比较是否相等已能判断。

例如，甲原来有 0.200 mol 酸，其中 0.008 mol 电离。已电离量小于原总量，所以未全部电离，是弱酸。

求电离比例时，分子取已电离量，分母取原总量：

$$\text{电离比例} = \frac{0.008}{0.200} = 0.04 = 4\%$$

乙原来和已电离的量都为 0.200 mol，说明完全电离，是强酸。

若第三种酸原来为 0.200 mol，其中 0.050 mol 电离，它虽然比甲电离得多，但仍未全部电离，也应判弱酸。每一次都与自己的总量比较，不能把两种酸中的“较大值”直接贴成强酸。

答案：强弱看完全还是部分电离，浓稀看单位体积的总溶质；HCl 用→，CH_3COOH 用⇌。数据题逐一比较已电离量与该酸的原总量。

怎么认 先把 dissolves 与 dissociates 分开；定义题看完全/部分，方程式题逐列看箭头，数据题每种酸都与自己的总量比较。

例题 1 （2024·October/November 0620/22 Q19） · 1 级

Which row shows the difference between a weak acid and a strong acid?

	weak acid	strong acid
A	fully dissociated	partially dissociated
B	concentrated	dilute
C	dilute	concentrated
D	partially dissociated	fully dissociated

解：先按表头分开 weak acid 和 strong acid。

弱酸在水中部分电离，所以 weak 一列要找 partially dissociated；强酸完全电离，所以 strong 一列要找 fully dissociated。只有 D 同时满足。

A 把两者颠倒。B、C 把浓稀误当强弱；稀溶液仍可能是强酸，浓溶液也可能是弱酸。

选 D。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/22 Q19） · 2 级

Which row shows the equations for the dissociation of hydrochloric acid and of ethanoic acid in aqueous solution?

	hydrochloric acid	ethanoic acid
A	$HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$	$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$
B	$HCl(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + Cl^-(aq)$	$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$
C	$HCl(aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$	$CH_3COOH(aq) \rightarrow H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$
D	$HCl(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + Cl^-(aq)$	$CH_3COOH(aq) \rightarrow H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$

2. （2025·May/June 0620/21 Q18） · 3 级

Two experiments involving acids R or S are done.

- 0.10 mol of acid R completely dissolves in 500 cm^3 of water. 0.0048 mol of acid R is dissociated in the solution.
- 0.10 mol of acid S completely dissolves in 500 cm^3 of water. 0.0179 mol of acid S is dissociated in the solution.

Which statement about acids R and S is correct?

A Acid R is a strong acid, and acid S is a weak acid.

B Acid R is a weak acid, and acid S is a strong acid.

C Acid R and acid S are both strong acids.

D Acid R and acid S are both weak acids.

7.2 氧化物

题型 1：根据反应性质区分酸性、碱性和两性氧化物

知识点 氧化物 oxide 是氧与另一种元素组成的化合物。名称中的 oxide、dioxide 以及化学式中的 O，能帮助先识别候选，但不能把任意含氧物质都叫氧化物：例如碳酸盐还含碳酸根，盐与氧化物不是同一类别。

判断酸性或碱性，看的是它能参与哪类酸碱反应。碱性氧化物 basic oxide 与酸反应形成盐和水，例如氧化铜(II)copper(II) oxide CuO 与 HCl 反应；酸性氧化物 acidic oxide 与碱反应形成盐和水，例如二氧化碳 carbon dioxide CO_2与 NaOH 反应。

用反应来分：碱性氧化物与酸性氧化物

碱性氧化物 CuO	酸性氧化物 CO_2
$CuO + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O$	$CO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$
与酸反应，形成盐和水	与碱反应，形成盐和水

“酸性 / 碱性”描述氧化物的反应性质；并非先要求它能溶于水。

CuO 虽然不溶于水，仍因能与酸反应而属碱性氧化物；酸性氧化物则与碱反应。

例如：

$CuO + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O$

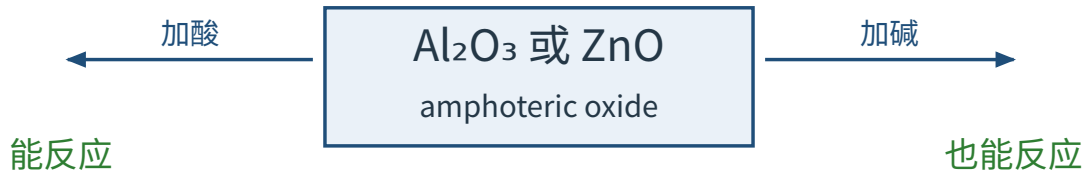
因此 CuO 是碱性氧化物。CuO 不溶于水，不妨碍它与酸反应，所以“碱性氧化物”不等于“能溶于水形成 alkali 的氧化物”。

$CO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$

显示 CO_2与碱反应，因此为酸性氧化物；产物碳酸钠 sodium carbonate Na_2CO_3是盐，不能把它再与 CO_2混为一类。

金属氧化物通常呈碱性，非金属氧化物常呈酸性，这是有用的初步方向，但必须保留具体例外。本节最重要的两项是氧化铝 aluminium oxide Al_2O_3与氧化锌 zinc oxide ZnO，它们能与酸反应，也能与碱反应形成相应的盐和水，叫两性氧化物 amphoteric oxides。

两性氧化物：对酸与碱两边都能反应



生成相应的盐和水；不能只因金属 + 氧就一律判断为碱性。

amphoteric ≠ neutral；两性不是“什么都不反应”。

Al_2O_3与 ZnO 是本节必须辨认的两性氧化物，两条反应方向都要成立。

例如，Al 是金属，但 Al_2O_3不仅能与酸反应，也能与碱反应，因而不能只凭“金属＋氧”把它归为普通碱性氧化物。ZnO 同样有两种反应方向。amphoteric 表示“两边都能反应”，不是 neutral，也不是“对酸和碱都没有作用”。

做给名称或化学式的选择题时，可先查具体物质，再用组成作复核。碱性一组包括氧化钠 Na_2O、氧化镁 MgO、氧化钙 CaO、氧化钡 barium oxide BaO 和 CuO；酸性一组包括 CO_2、二氧化硫 sulfur dioxide SO_2、二氧化氮 nitrogen dioxide NO_2和二氧化硅 silicon dioxide SiO_2；Al_2O_3与 ZnO 要单独放到两性。

先识别氧化物，再查具体类型

类别	本型与练习需要的具体例子
碱性	Na_2O、MgO、CaO、BaO、CuO
酸性	CO_2、SO_2、NO_2、SiO_2
两性	Al_2O_3、ZnO

“三个都酸性”要求逐个检查；只要一项为碱性或两性，就排除该组。

具体清单把金属/非金属的常见趋势与 Al_2O_3、ZnO 两项必要例外并列，支持逐项判断。

例如，若一组选项为 CaO、CO_2、SO_2，CO_2和 SO_2虽是酸性，但 CaO 为碱性，所以这组不满足“all acidic”。题目中的 all 要求三项分别通过，不能只在这一行找到两个熟悉的酸性氧化物就停止检查。若从一长列物质中找 basic oxide，先筛出氧化物，再找本表中的 CaO 或 CuO 等；氯气、氧气和石墨本身是单质，不能因为熟悉这些名字就把它们当氧化物。

本节只把已知常见成员放进具体清单，不把趋势改成没有例外的定律。例如一氧化碳 CO 不是酸性氧化物，提醒我们“非金属氧化物通常酸性”也必须结合具体物质判断。

CuO 与_____反应，因此属碱性氧化物。Al_2O_3、ZnO 与酸和碱_____，因此属_____氧化物。

答案：酸；都能反应；两性

怎么认 先判断候选是否为氧化物，再依据具体反应分类；遇到 all 逐项核对，Al_2O_3与 ZnO 保留为两性例外。

例题 1 （2025·May/June 0620/13 Q19） · 1 级

Which compound is an acidic oxide?

A barium oxide

B carbon dioxide

C copper(II) oxide

D magnesium oxide

解：Carbon dioxide 是 CO_2，属于酸性氧化物，可以与碱反应生成盐和水，因此选 B。
例如：
$CO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$
其余 barium oxide BaO、copper(II) oxide CuO 和 magnesium oxide MgO 都是本节常见碱性氧化物，与酸反应。

例题 2 （2025·May/June 0620/43 Q1(c)） · 1 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide　　calcium oxide　　chlorine　　ethanol　　graphite

nitrogen　　oxygen　　propane　　propene　　silicon(IV) oxide

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(c) is an amphoteric oxide

> 解：本节两种必须掌握的两性氧化物为 Al_2O_3和 ZnO。原题名单中有 aluminium oxide，没有 zinc oxide，所以从名单选 aluminium oxide。
> Al_2O_3能与酸反应，也能与碱反应，符合 amphoteric 的定义。不要仅因 Al 是金属就把它误判为普通碱性氧化物。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q1(a)） · 1 级

A list of substances is shown.

bauxite　　calcium oxide　　ethanol　　graphite　　methane

nitrogen　　oxygen　　propane　　propene　　sulfur dioxide

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(a) is a basic oxide

2. （2025·May/June 0620/22 Q20） · 2 级

Which three oxides are **all** acidic?

A CaO, NO_2, SO_2

B CaO, CO_2, Na_2O

C CO_2, NO_2, SO_2

D CO_2, Na_2O, SO_2

7.3 盐的制备与结晶水

题型 1：选择制备可溶盐的原料，解释过量、过滤、滴定与结晶

知识点 制盐先回答两个问题：目标盐由什么离子组成？它在水中是否可溶？盐 salt 中，酸里的 H^+被金属离子或 NH_4^+等替代；例如盐酸形成氯化物 chlorides，硫酸 sulfuric acid H_2SO_4形成硫酸盐 sulfates，硝酸 nitric acid HNO_3形成硝酸盐 nitrates。

可溶 soluble 指在给定条件下能有较多物质溶于水；不溶 insoluble 在本节是溶解度很低、可以留下或形成可过滤固体的意思，不是断言一个粒子都不溶。下面先列出选择方法要用的常见规则。

先查盐能否溶于水，才能选择分离方法

盐或碱的类别	常见溶解性与例外
Na^+、K^+、NH_4^+的盐	可溶
硝酸盐 NO_3^-	可溶
氯化物 Cl^-	通常可溶；AgCl、$PbCl_2$ 不溶
硫酸盐 SO_4^{2-}	通常可溶；$BaSO_4$、$CaSO_4$、$PbSO_4$ 除外
碳酸盐 CO_3^{2-}	通常不溶；Na^+、K^+、NH_4^+的盐除外
氢氧化物	通常不溶；NaOH、KOH 可溶，$Ca(OH)_2$ 微溶

氨水也含 OH^-；“氢氧化铵”是氨的水溶液表示，不当成要过滤出的固体。

这些是本节使用的常见溶解性规则；硫酸钙按教纲列为可溶性规则的例外，氢氧化钙仅微溶。

例如，$CuSO_4$不在硫酸盐的 Ba^{2+}、Ca^{2+}、Pb^{2+}例外中，所以可用其水溶液再结晶制取。$CuCO_3$不是 Na^+、K^+或 NH_4^+的碳酸盐，因此不溶，过量部分可过滤。$Cu(OH)_2$也不溶，它是 base，却不是可溶的 alkali。硫酸钙 $CaSO_4$按本节规则列为例外；氢氧化钙 $Ca(OH)_2$只微溶，不能把两种钙化合物混用。

氨溶于水后能形成 NH_4^+、OH^-，有时写作“氢氧化铵”溶液；这里表示氨水，不是说能从水中滤出一种 NH_4OH 固体。铵盐如 NH_4Cl、$(NH_4)_2SO_4$则按可溶盐处理。

选择反应物时，先把目标盐分成阳离子与阴离子两半。以硫酸铜(II)copper(II) sulfate $CuSO_4$为例，需要 Cu^{2+}与 SO_4^{2-}。阴离子要求用 H_2SO_4；供铜的原料还必须真正能与这类稀酸反应。

目标盐先拆两半：铜离子与硫酸根从哪里来？

目标：硫酸铜(II) $CuSO_4$

Cu^{2+}

来自含铜的反应物

SO_4^{2-}

来自硫酸 H_2SO_4

$CuCO_3$、CuO、$Cu(OH)_2$ 可与稀 H_2SO_4 反应

Cu 金属不与稀 H_2SO_4 按“放出 H_2”的方式反应

$Cu(OH)_2$ 不溶：它是 base，但不是可溶的 alkali。

先确定目标盐中的阳离子与阴离子，再筛选真正能反应的原料；“酸＋金属”并非对铜总能使用。

例如，要制备硫酸铜，可以选择下列三种含铜的原料。

碳酸铜(II)copper(II) carbonate $CuCO_3$与稀硫酸反应：

$$CuCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + CO_2 + H_2O$$

氧化铜(II)CuO 与稀硫酸反应：

$$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$$

氢氧化铜(II)$Cu(OH)_2$与稀硫酸反应：

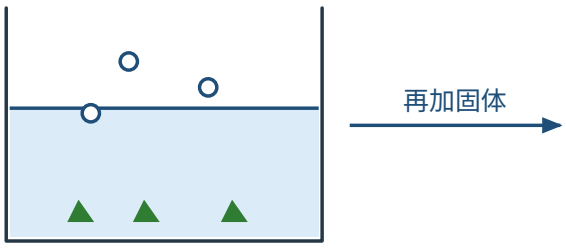
$$Cu(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + 2H_2O$$

三种原料都提供铜，硫酸提供硫酸根。但 Cu 金属不与稀 H_2SO_4按放出 H_2的方式反应，不能仅因目标盐含 Cu，就任意选“酸＋铜金属”。

对不溶性碱或不溶性碳酸盐，可以边搅拌边分批加入，使固体过量 excess。过量不是“固体一开始看起来很多”，而是反应完成后，酸已经耗尽，仍剩有未反应的固体。

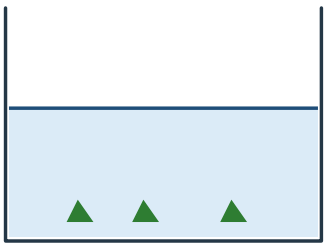
加入过量不溶固体：让酸成为先用完的一方

仍有酸：继续反应



再加固体

酸已耗尽：固体有剩余



固体减少，有气泡

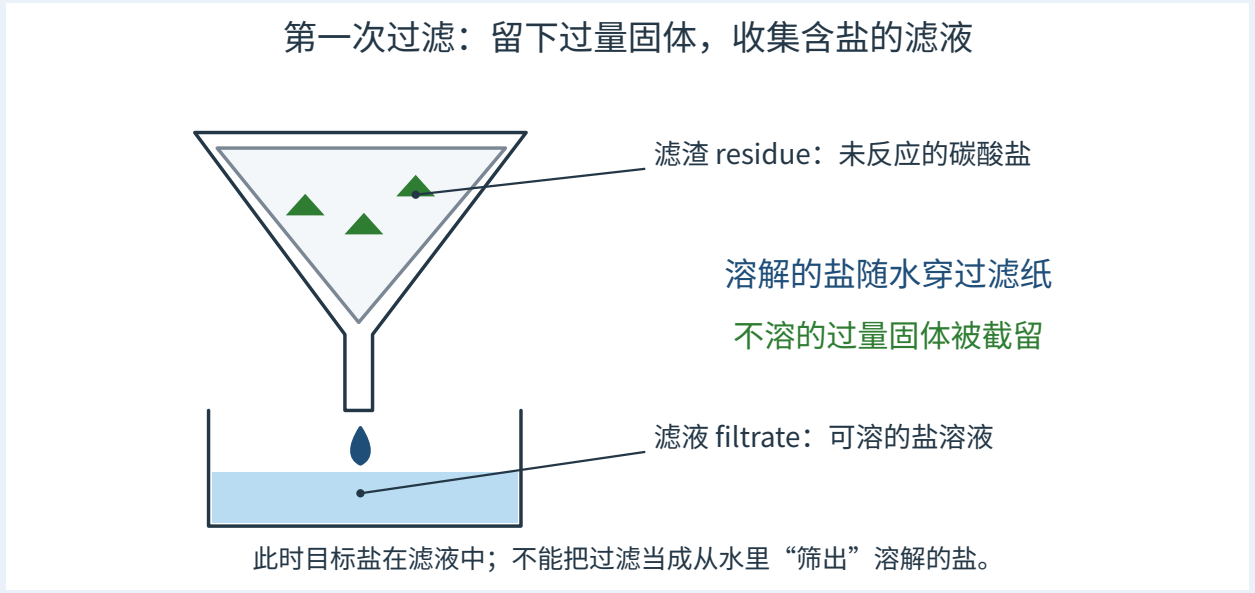
不再溶解，不再产生气泡

停的是酸与碳酸盐的反应；不是已经证明溶液达到饱和。

持续搅拌并继续加入后仍有固体、不再起泡，说明酸已被消耗而碳酸盐过量。

例如，初加 $CuCO_3$时，固体减少，有 CO_2气泡，形成蓝色 $CuSO_4$溶液。继续加入并搅拌，直到新加固体不再消失、也不再产生气泡，表示酸已被用完。因为固体仍有剩余，它是过量的；不是固体用完使反应停止。也不能把这个时刻直接叫“饱和”：酸耗尽是反应物用量的问题，饱和是盐在水中最多能溶多少的问题。

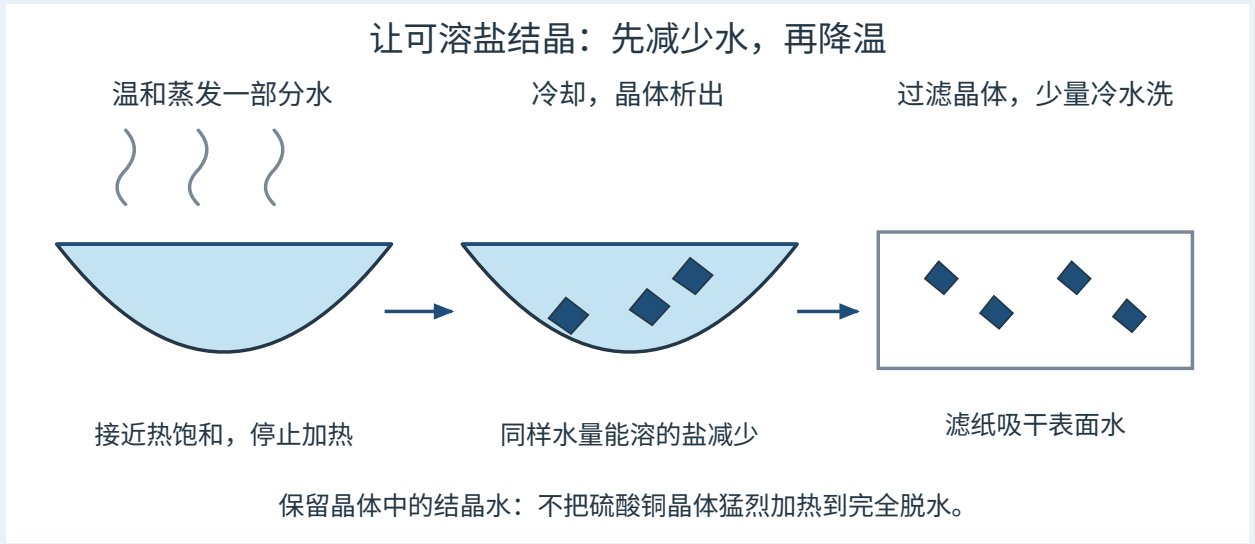
过量固体留在混合物里会污染产品，因此下一步过滤 filtration。滤纸截留不溶的剩余固体，水和溶解的盐通过，收集在下方。



滤纸上是多加的碳酸盐；下面的滤液才含目标盐，随后从滤液中结晶。

例如，滤纸上的滤渣 residue 是多加的 $CuCO_3$，烧杯里的滤液 filtrate 含 $CuSO_4$。本次要保留滤液，因为目标盐仍溶在水里；把滤液倒掉、只留绿色碳酸盐，会失去要制备的硫酸铜。过滤不能把溶解的 Cu^{2+}和 SO_4^{2-}像砂粒那样筛在纸上。

再从滤液获得晶体。溶质 solute 是溶解的盐，溶剂 solvent 是水。在指定温度下，溶液已含有该水量能溶解的最大量溶质，称为饱和溶液 saturated solution。定义必须包含“在指定温度”，因为温度改变时溶解度也可能改变。



对硫酸铜或硫酸锌溶液，温和浓缩后冷却析晶；收集晶体与先前收集滤液是不同阶段。

例如，温和加热 $CuSO_4$滤液，蒸发掉一部分水，盐的浓度升高；接近热饱和时停止加热，冷却。$CuSO_4$在较低温度下可溶的量较少，多出来的盐形成晶体。随后过滤并保留晶体，用少量冷蒸馏水洗去表面母液，再用滤纸吸干表面的水。洗水太多或太热，会溶掉较多目标盐，使产量下降。

硫酸铜晶体可带结晶水，后面会解释 $CuSO_4·5H_2O$。这里的“干燥”是去掉晶体表面附着的水，不是把晶体猛烈加热到完全脱水。因此不能把“蒸发一部分水后冷却结晶”无条件改成“烧到全干”。第一次过滤保留含盐滤液，最后过滤则保留已经形成的晶体，同一个操作在不同阶段保留的部分不同。

换成锌的同类反应，仍可沿相同步骤迁移。碳酸锌 zinc carbonate $ZnCO_3$与稀硫酸反应：

$$ZnCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + CO_2 + H_2O$$

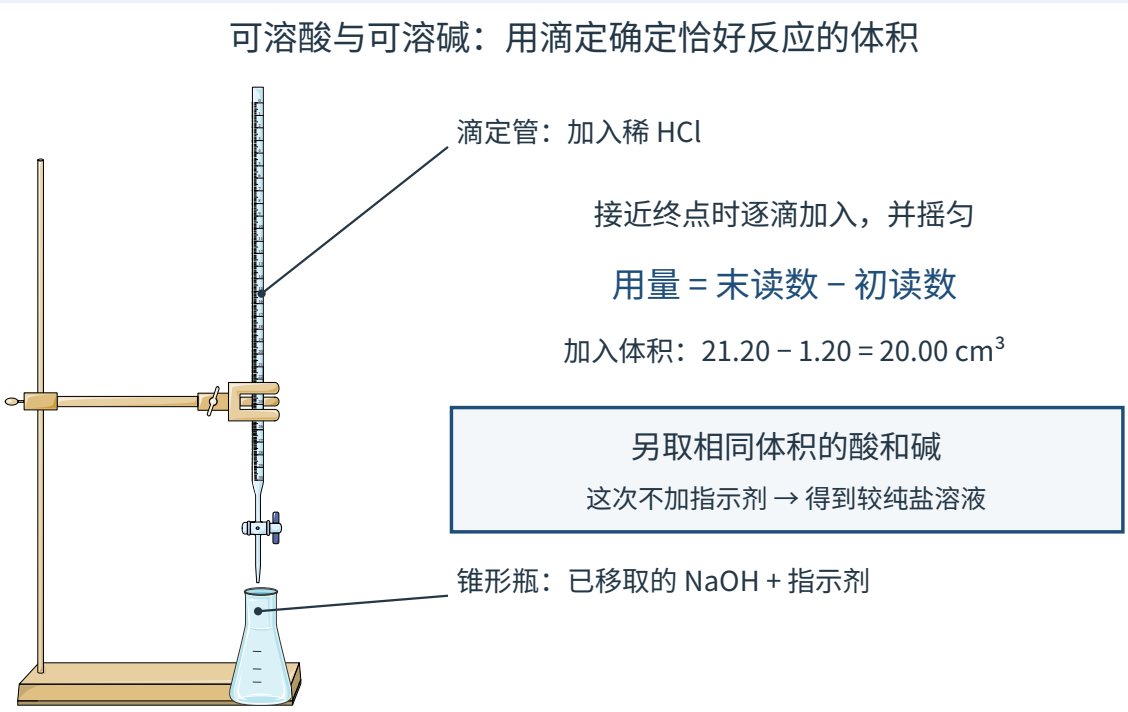
酸耗尽后 $ZnCO_3$留下且不再起泡；过滤后保留硫酸锌 zinc sulfate $ZnSO_4$溶液，再浓缩、冷却、结晶。ZnO 或 $Zn(OH)_2$也能提供锌与硫酸反应；只需重新核对目标盐和反应物，而不必改变整套分离理由。

还有一条可用过量固体的路线是合适金属。例如：

$$Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$$

过量未反应 Zn 可过滤掉，再从 $ZnSO_4$滤液结晶。要同时满足金属能与该稀酸反应、所生成盐可溶这两个条件；不能把 Zn 的做法直接换成 Cu。

如果另一种原料是可溶碱，例如 NaOH，过量 NaOH 也会溶在产品盐水中，过滤无法去掉。此时用滴定 titration 确定恰好反应所需的体积，随后按这个配比制备较纯的盐溶液。



滴定先测定配比，再用新取试剂按同样体积无指示剂重复，防止所得盐混入指示剂。

例如，制备 NaCl 时，用移液管 pipette 量取 25.0 cm³ NaOH 溶液到锥形瓶 conical flask，加入几滴合适指示剂，例如 methyl orange。滴定管 burette 中装稀 HCl，先读初始刻度。边摇匀边加入酸，接近终点时逐滴加入，观察到持续的指示剂颜色改变便停止，再读末刻度。

假设初读数 1.20 cm³、末读数 21.20 cm³。滴定管刻度随向下放出液体而增加，因此实际加入的酸体积用“末减初”：

$$\text{酸的体积} = 21.20 - 1.20 = 20.00\ \text{cm}^3$$

不能直接把 21.20 当作加入量。终点由所选指示剂的变色判断，不把每种指示剂的终点都固定成 pH 7。

为了得到不被指示剂染污的盐，另取同样 25.0 cm³ NaOH，加入已确定的 20.00 cm³ HCl，这次不加指示剂。反应：

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$

后得到盐溶液，再蒸发浓缩、结晶、分离并干燥。不能把第一次加了指示剂的液体不加区分地当成纯盐产品，也不能为“确保酸反应完”随意把可溶 NaOH 加过量。

换用稀 H_2SO_4与 NaOH 制备 Na_2SO_4时，要保持“酸在滴定管、碱在锥形瓶”这一实际方向。方程式为：

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$$

百里酚酞 thymolphthalein 在起始碱液中呈蓝色，随着酸加入，到终点呈无色。

NaOH中加入硫酸：百里酚酞由蓝色变为无色



起初：NaOH + 指示剂　　终点：颜色持续消失

指示剂用于识别终点；随后按测得体积无指示剂重复制盐。

本例把酸加入含 NaOH 的锥形瓶，百里酚酞 thymolphthalein 由蓝色变无色。方向取决于本次从碱性溶液开始加酸；无色区域表示透明溶液。

例如，用百里酚酞观察蓝色刚好持续消失时停止滴加，记录酸体积。通用指示剂 universal indicator 会经过多种颜色变化，不易把一个终点清楚、锐利地辨认出来，因此不适合本次滴定终点判断。若已提供 Na_2SO_4 水溶液，制晶体仍是温和加热蒸发至接近饱和或结晶点，再冷却形成晶体，过滤收集并用滤纸吸干；不能只写“蒸发”而不交代何时停止、怎样结晶和怎样干燥。

选制盐路线时，先看过量试剂能不能滤走

与酸反应的原料	能否加入过量？	除去多余原料的方法
合适的金属，如 Zn	可以（生成可溶盐时）	过滤未反应金属
不溶性碱，如 CuO	可以	过滤不溶固体
不溶性碳酸盐，如 $ZnCO_3$	可以	过滤不溶固体
可溶碱，如 NaOH	不能用过滤补救过量	滴定确定用量后无指示剂重复

是否可过滤除去过量试剂，是选择“过量固体法”或“滴定法”的关键条件。

例如，选择过量固体法还是滴定法，关键检查多余原料能否过滤。CuO、$ZnCO_3$或合适 Zn 金属的剩余固体可以滤走；NaOH 和酸均可溶，过量者会与目标盐留在同一滤液中，因此要先测用量。无论哪条路线，最后都要清楚目标盐在滤液中还是已经成为晶体，才能决定收集哪一部分。

酸已耗尽而碳酸盐有剩余，称碳酸盐_____。第一次过滤应保留含目标盐的_____。饱和溶液含指定_____下能溶解的最大量溶质。用滴定制纯盐时，测出配比后须无_____重复。

答案：过量；滤液；温度；指示剂

怎么认 先拆目标盐的离子来源，再看反应能否发生、过量试剂能否过滤；解释每一步保留的物质，不把酸耗尽与溶液饱和混为一谈。

例题 1 （2025·May/June 0620/41 Q3(c)(ii)） · 2 级

This question is about copper and compounds of copper.

(c) Copper(II) sulfate crystals are made by the reaction between copper(II) carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

The sulfuric acid has a concentration of 0.100 mol / dm^3.

step 1 Powdered copper(II) carbonate is added to dilute sulfuric acid. The mixture is stirred. A reaction occurs.

step 2 More copper(II) carbonate is added, with stirring, until the reaction stops.

step 3 Unreacted copper(II) carbonate is separated from aqueous copper(II) sulfate by filtration.

step 4 Aqueous copper(II) sulfate is heated until some of the water evaporates.

step 5 The remaining solution is allowed to cool and crystallise.

step 6 The crystals are removed and dried.

(ii) State why the reaction stops in **step 2**.

解：步骤 2 说继续加入 $CuCO_3$并搅拌，直到反应停止。由于固体仍可继续加入，而加入后不再反应，说明另一种反应物 H_2SO_4已经全部被消耗。

因此答 all the sulfuric acid has reacted。此时 $CuCO_3$过量，剩余部分在步骤 3 过滤掉。

不能答“碳酸铜全部用完”，因为步骤 3 明确仍有 unreacted copper(II) carbonate；也不能把原因写为“硫酸铜溶液已饱和”，饱和与酸被消耗是不同问题。

例题 2 （2025·May/June 0620/41 Q3(c)(iv)） · 2 级

This question is about copper and compounds of copper.

(c) Copper(II) sulfate crystals are made by the reaction between copper(II) carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

The sulfuric acid has a concentration of 0.100 mol / dm^3.

step 1 Powdered copper(II) carbonate is added to dilute sulfuric acid. The mixture is stirred. A reaction occurs.

step 2 More copper(II) carbonate is added, with stirring, until the reaction stops.

step 3 Unreacted copper(II) carbonate is separated from aqueous copper(II) sulfate by filtration.

step 4 Aqueous copper(II) sulfate is heated until some of the water evaporates.

step 5 The remaining solution is allowed to cool and crystallise.

step 6 The crystals are removed and dried.

(iv) Name a substance, other than copper(II) carbonate, that can be added to dilute sulfuric acid to produce aqueous copper(II) sulfate.

解：目标仍是 $CuSO_4$，硫酸已经提供 SO_4^{2-}，另一种原料须含铜，并且能与稀 H_2SO_4反应。
可用 copper(II) oxide CuO：
$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$
也可用 copper(II) hydroxide $Cu(OH)_2$：
$Cu(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + 2H_2O$
答其中一种即可。

不能仅换成 Cu 金属，因为 Cu 不与这里的稀硫酸按产氢路线反应；也不能给不含铜的碱，否则得到的是另一种金属的盐。

例题 3 （2024·October/November 0620/43 Q4(c)） · 3 级

(a) Dilute sulfuric acid and aqueous sodium hydroxide can be used to prepare sodium sulfate crystals using a method that involves titration.

The apparatus for titration is shown in Fig. 4.1.

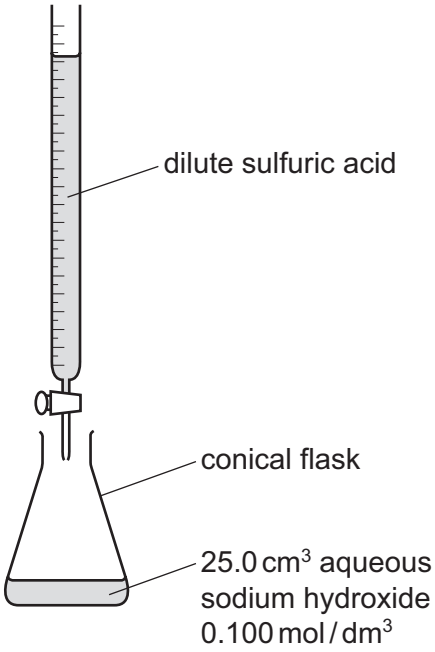


Fig. 4.1

Thymolphthalein is used as an indicator for this titration.

(i) State the colour change of thymolphthalein at the end-point of this titration.

from to

(ii) Suggest why universal indicator is **not** used for this titration.

(c) A student is provided with an aqueous solution of sodium sulfate.

Describe how to prepare a **pure** sample of sodium sulfate crystals from this solution.

解：(a)(i) 锥形瓶最初装 25.0 cm^3 NaOH 水溶液，标出的 0.100 mol/dm^3是 NaOH 的浓度。百里酚酞在碱液中呈 blue；滴定管中的稀 H_2SO_4逐滴加入，使碱被中和，到终点颜色消失，呈 colourless。因此 from 填 blue，to 填 colourless。

(a)(ii) Universal indicator 会出现多种颜色变化，难以清楚、锐利地辨认一个终点，因此不用于这次滴定；可写“too many colour changes”。

(c) 将提供的 Na_2SO_4水溶液放在蒸发皿中温和加热，使一部分水蒸发，直到接近饱和或达到结晶点。停止加热，放冷，让 Na_2SO_4晶体析出。过滤分离并保留晶体，必要时用少量冷蒸馏水快速洗去表面母液，再将晶体夹在干净滤纸间吸干表面的水，得到纯、干的晶体。不是持续烧到全干：必须保留“加热至合适浓度—冷却结晶—具体干燥”的完整链。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q3(c)(v)） · 1 级

This question is about copper and compounds of copper.

(c) Copper(II) sulfate crystals are made by the reaction between copper(II) carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

The sulfuric acid has a concentration of 0.100 mol / dm^3.

step 1 Powdered copper(II) carbonate is added to dilute sulfuric acid. The mixture is stirred. A reaction occurs.

step 2 More copper(II) carbonate is added, with stirring, until the reaction stops.

step 3 Unreacted copper(II) carbonate is separated from aqueous copper(II) sulfate by filtration.

step 4 Aqueous copper(II) sulfate is heated until some of the water evaporates.

step 5 The remaining solution is allowed to cool and crystallise.

step 6 The crystals are removed and dried.

(v) The solution at the end of **step 4** contains the maximum amount of copper(II) sulfate that will dissolve at that temperature.

State the term used to describe this type of solution.

2. （2025·May/June 0620/41 Q3(c)(i)） · 2 级

This question is about copper and compounds of copper.

(c) Copper(II) sulfate crystals are made by the reaction between copper(II) carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

The sulfuric acid has a concentration of 0.100 mol / dm^3.

step 1 Powdered copper(II) carbonate is added to dilute sulfuric acid. The mixture is stirred. A reaction occurs.

step 2 More copper(II) carbonate is added, with stirring, until the reaction stops.

step 3 Unreacted copper(II) carbonate is separated from aqueous copper(II) sulfate by filtration.

step 4 Aqueous copper(II) sulfate is heated until some of the water evaporates.

step 5 The remaining solution is allowed to cool and crystallise.

step 6 The crystals are removed and dried.

(i) Give **two** observations in **step 1**.

3. （2025·May/June 0620/11 Q19） · 2 级

Which reactants are used to make the salt copper(II) sulfate?

A dilute acid + alkali

B dilute acid + metal carbonate

C dilute acid + metal

D dilute acid + non-metal oxide

4. （2025·May/June 0620/43 Q3(c)(i)） · 2 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(c) Zinc sulfate crystals are made by the reaction between zinc carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

step 1 An excess of powdered zinc carbonate is added to dilute sulfuric acid.

step 2 Excess zinc carbonate is separated from aqueous zinc sulfate by filtration.

step 3 Aqueous zinc sulfate is heated until a saturated solution is formed.

step 4 The saturated solution is allowed to cool and crystallise.

step 5 The crystals are removed and dried.

(i) Give **two** observations which show that the zinc carbonate is in excess in **step 1**.

5. （2025·May/June 0620/43 Q3(c)(iii)） · 2 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(c) Zinc sulfate crystals are made by the reaction between zinc carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

step 1 An excess of powdered zinc carbonate is added to dilute sulfuric acid.

step 2 Excess zinc carbonate is separated from aqueous zinc sulfate by filtration.

step 3 Aqueous zinc sulfate is heated until a saturated solution is formed.

step 4 The saturated solution is allowed to cool and crystallise.

step 5 The crystals are removed and dried.

(iii) Name a compound, other than zinc carbonate, that can be added to dilute sulfuric acid to produce aqueous zinc sulfate in **step 1**.

6. （2025·May/June 0620/43 Q3(c)(iv)） · 2 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(c) Zinc sulfate crystals are made by the reaction between zinc carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

step 1 An excess of powdered zinc carbonate is added to dilute sulfuric acid.

step 2 Excess zinc carbonate is separated from aqueous zinc sulfate by filtration.

step 3 Aqueous zinc sulfate is heated until a saturated solution is formed.

step 4 The saturated solution is allowed to cool and crystallise.

step 5 The crystals are removed and dried.

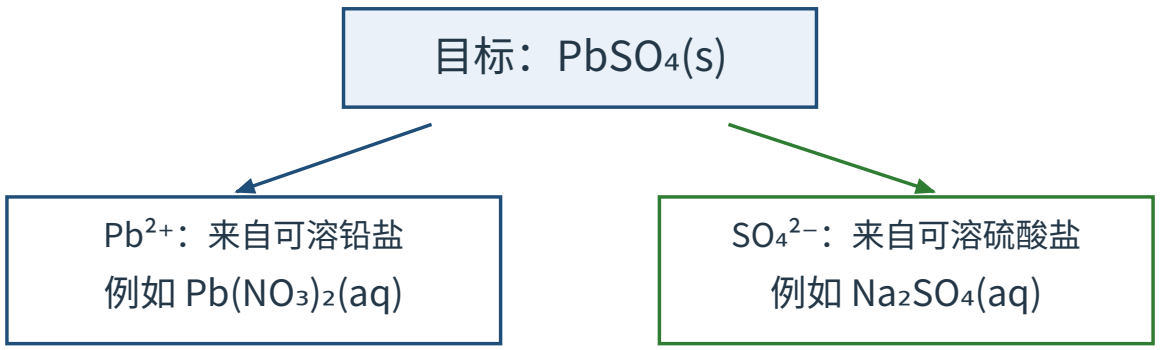
(iv) State what is meant by the term saturated solution.

题型 2：选择沉淀法制备、分离与纯化不溶盐

知识点 前一种路线先制得可溶盐的溶液，再让盐结晶。如果目标盐本来就不溶于水，可以让它在两种溶液混合时直接生成固体。水中原来的离子结合，形成不溶固体的过程叫沉淀 precipitation；生成的固体叫沉淀物 precipitate。

以硫酸铅(II)lead(II) sulfate $PbSO_4$为例。硫酸盐通常可溶，但铅、钡、钙是前表中特别列出的例外，所以 $PbSO_4$不能用一般可溶盐的路线从大量滤液中结晶回收。先把它拆成目标离子 Pb^{2+}与 SO_4^{2-}，再选择能把这两种离子送进水中的可溶试剂。

选反应物：让目标沉淀的两种离子都先进入水中

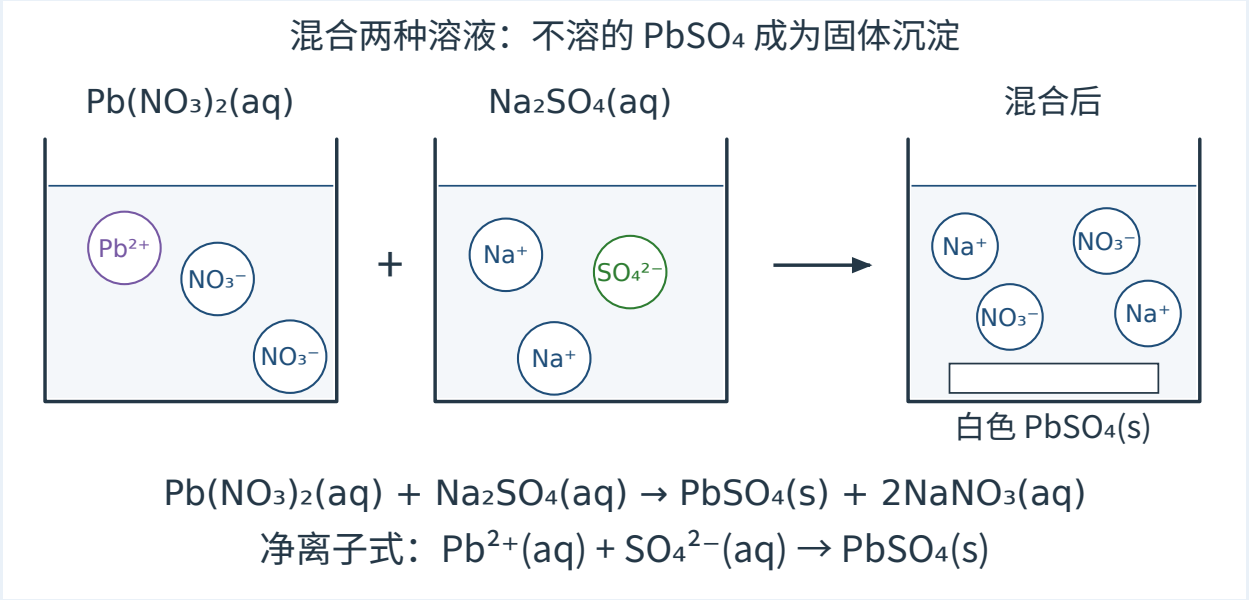


硝酸盐可溶，钠盐可溶；$PbSO_4$ 则是硫酸盐规则中的不溶例外。

目标盐不溶，但供给其离子的两种反应物要能形成水溶液。用可溶的硝酸铅与硫酸钠，分别提供 Pb^{2+}和 SO_4^{2-}。

例如，硝酸铅(II)lead(II) nitrate $Pb(NO_3)_2$符合“硝酸盐可溶”，可提供 Pb^{2+}；硫酸钠 sodium sulfate Na_2SO_4符合“钠盐可溶”，可提供 SO_4^{2-}。反应物可溶与产物不溶并不矛盾，正是这种不同让目标固体从混合物中分离出来。

把两种溶液混合并搅拌，Pb^{2+}与 SO_4^{2-}结合成白色 $PbSO_4$固体；Na^+、NO_3^-仍留在溶液中。这些反应前后不改变的离子是旁观离子。分子方程式把所有物质写出，净离子方程式只保留实际形成沉淀的离子。



混合后，Pb^{2+}和 SO_4^{2-}形成白色固体；Na^+和 NO_3^-仍在水中。粒子示意保持电中性，并与下面配平的分子式和净离子式对应。

例如：

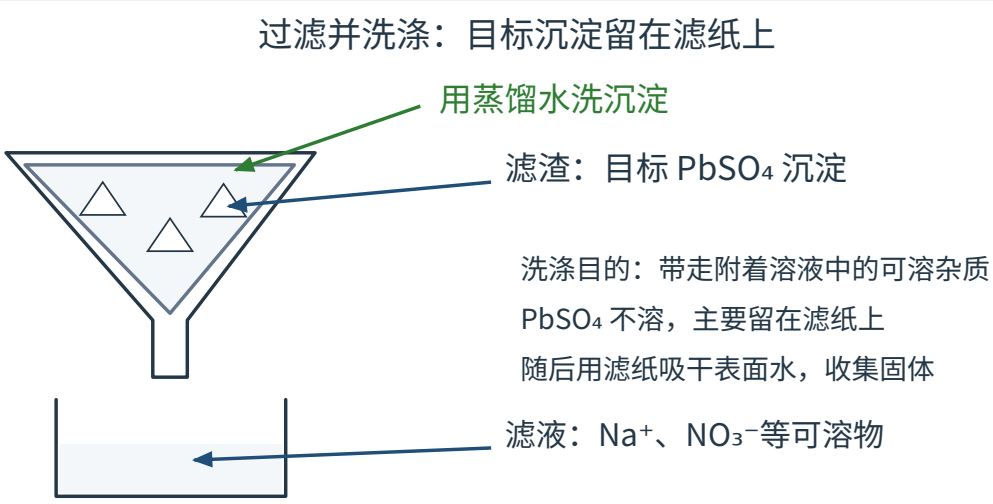
$$Pb(NO_3)_2 + Na_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2NaNO_3$$

左边 2 个 Na 与 2 组 NO_3，右边要写 $2NaNO_3$才守恒。$NaNO_3$仍是水溶液，$PbSO_4$标成(s)，表示固体。删去反应前后都有的 $2Na^+$、$2NO_3^-$，得到：

$$Pb^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow PbSO_4(s)$$

左边+2 和−2 相加为 0，右边盐整体也不带电。

沉淀已经是固体，但刚形成时与水、其他溶解物混在一起，仍需分离和纯化。用滤纸过滤，沉淀留在滤纸上成为滤渣 residue；溶液穿过滤纸成为滤液 filtrate。接着用蒸馏水洗涤沉淀，带走表面附着溶液里的可溶盐或多余试剂，再用滤纸吸干表面水，得到较纯的干燥盐。



此时目标是滤渣中的不溶盐。洗涤让残留溶液中的可溶物通过滤纸，干燥后收集沉淀，不能蒸发滤液来代替这一步。

例如，制 $PbSO_4$时，过滤后要收集的是白色滤渣。如果只把滤液加热蒸干，主要得到的是溶解着的其他盐，而不是刚刚要制的 $PbSO_4$。洗涤也不能省成“沉淀不溶，所以天然纯净”：湿沉淀表面仍可能沾着含 $NaNO_3$或过量试剂的溶液。

对照可溶硫酸铜与不溶硫酸铅，过滤的作用和目标位置不同。



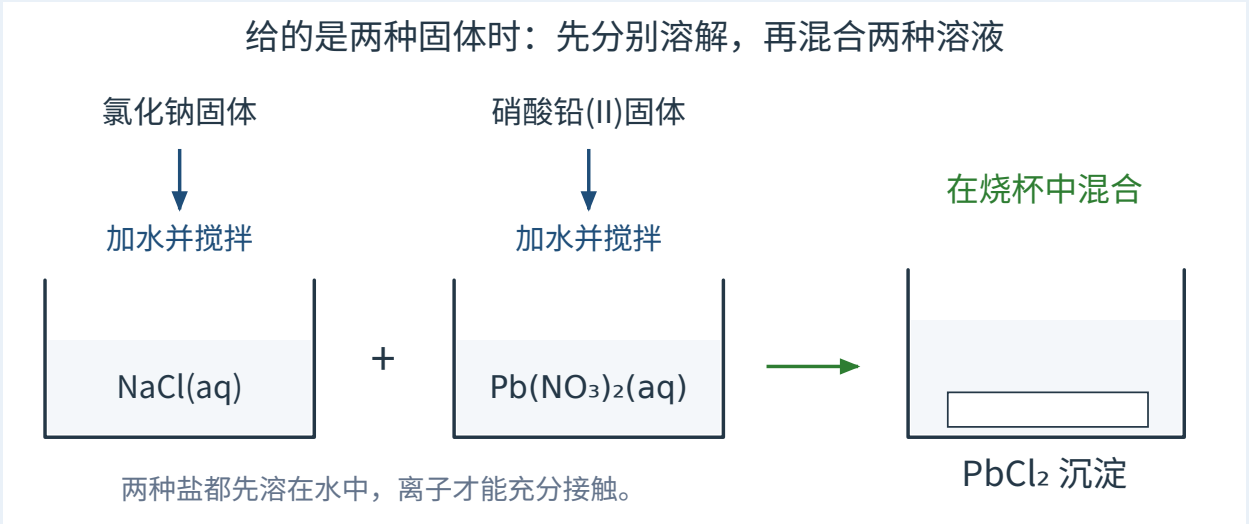
可溶盐与不溶盐的制备都可能用过滤，但在相应这一步要保留的部分不同。制 $PbSO_4$时，不靠蒸发滤液来获得目标盐。

例如，制 $CuSO_4$时，过量 $CuCO_3$是不溶的杂质。第一次过滤把它留在滤纸上，目标 $CuSO_4$仍在滤液中，之后需要蒸发一部分水、冷却结晶。

制 $PbSO_4$时，白色不溶固体本身就是目标。过滤立即收集它，再洗涤、干燥。

因此，题目问制纯 $PbSO_4$“不使用”的方法时，应排除从溶液结晶 crystallisation，而保留 precipitation、filtration 和 drying。

若题目提供的是两种可溶盐的固体，还要补上“先配成溶液”这一步。例如提供固体氯化钠 NaCl 与固体硝酸铅 $Pb(NO_3)_2$，要把它们分别放在两个烧杯里，加入适量蒸馏水，搅拌至溶解，再混合两种溶液。



原料是固体 NaCl 与 $Pb(NO_3)_2$时，先在两个容器中分别用蒸馏水溶解并搅拌，再混合溶液形成 $PbCl_2$。不能只混合干粉就跳到过滤。

例如，NaCl 溶液提供 Cl^-，$Pb(NO_3)_2$溶液提供 Pb^{2+}；目标氯化铅(II)lead(II) chloride 为 $PbCl_2$。它与 $PbSO_4$都属于本节的不溶盐，但一个 Pb^{2+}需要两个 Cl^-来配成 $PbCl_2$，所以净离子式是：

$$Pb^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) \rightarrow PbCl_2(s)$$

之后仍是过滤、用少量冷蒸馏水洗沉淀、用滤纸吸干；没有把两种干粉直接混合后就省略溶解步骤。

换成其他不溶盐时，仍先找目标离子，再选可溶来源；将溶液混合后，依次过滤、洗涤、干燥。

例如，氯化银 silver chloride AgCl 需要 Ag^+与 Cl^-，可把 $AgNO_3(aq)$与 $NaCl(aq)$混合，形成 $AgCl(s)$。

硫酸钡 barium sulfate $BaSO_4$需要 Ba^{2+}与 SO_4^{2-}，可把 $BaCl_2(aq)$与 $Na_2SO_4(aq)$混合，形成 $BaSO_4(s)$。

每次都先用溶解性规则核对：供离子的试剂可溶，目标产物不溶。

答案：由两种可溶试剂提供目标离子，混合形成不溶盐；过滤保留沉淀，洗去可溶杂质，再干燥。目标盐在滤渣中，不靠蒸发滤液结晶。

怎么认 先按溶解性识别不溶目标盐，再检查两种供离子试剂是否可溶；分离题先确定目标在滤渣还是滤液。

例题 1 （2025·May/June 0620/63 Q4） · 3 级

Lead(II) chloride, $PbCl_2$, is an insoluble salt. Solid lead(II) chloride can be made by reacting aqueous sodium chloride with aqueous lead(II) nitrate.

$$2NaCl(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \rightarrow 2NaNO_3(aq) + PbCl_2(s)$$

Describe how to make a pure, dry sample of solid lead(II) chloride.

You are provided with solid sodium chloride, solid lead(II) nitrate, distilled water and common laboratory apparatus.

解：先检查原料：题给的是两种固体，不能直接假设已经有两杯溶液。

先分别溶解。把固体 NaCl 放进一个烧杯，加入适量蒸馏水并用玻璃棒搅拌至溶解；在另一个烧杯中用同样方法把固体 $Pb(NO_3)_2$配成水溶液。

再混合沉淀。 将两杯溶液在烧杯中混合并搅拌，形成白色 $PbCl_2$沉淀：

$2NaCl(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \rightarrow 2NaNO_3(aq) + PbCl_2(s)$

过滤后保留沉淀。 将混合物倒入装有滤纸的漏斗，过滤，保留滤纸上的 $PbCl_2$固体。

洗涤，去掉可溶杂质。 向沉淀上倒少量冷蒸馏水，让附着溶液中的 $NaNO_3$和多余可溶试剂随洗液穿过滤纸。

干燥后收集。 取出沉淀，夹在干净滤纸之间吸去表面水并干燥，收集纯、干的 $PbCl_2$。

必须交代烧杯等容器、搅拌溶解、混合、过滤保留滤渣、洗涤和具体干燥方法，不能只列“过滤、干燥”两个词。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/21 Q19） · 2 级

Lead(II) sulfate is an insoluble salt.

Which process is **not** used to prepare a pure sample of this salt?

A crystallisation

B drying

C filtration

D precipitation

2. （2025·October/November 0620/43 Q5(a)） · 3 级

This question is about metallic compounds.

(a) Insoluble metal salts, such as lead(II) sulfate, are made by precipitation.

When aqueous lead(II) ions react with aqueous sulfate ions, a precipitate of lead(II) sulfate forms.

A sample of pure lead(II) sulfate can be obtained from the precipitate formed.

(i) Write an ionic equation for this precipitation reaction. Include state symbols.

(ii) State the name of an aqueous solution containing lead(II) ions.

(iii) State the name of an aqueous solution containing sulfate ions.

(iv) The lead(II) sulfate precipitate is separated from the rest of the reaction mixture by filtration. The impure lead(II) sulfate remains on the filter paper.

State the general term given to an insoluble substance that remains on the filter paper during filtration.

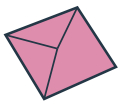
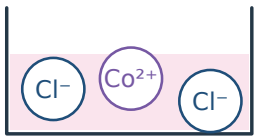
(v) Describe how the lead(II) sulfate is purified after filtration.

题型 3：辨认结晶水、无水物并解释加热与复水

知识点 前面从盐溶液中冷却得到晶体，再把晶体表面沾着的液体吸干。这样的固体内部仍可能含水，因为有些水分子是晶体组成的一部分，不能把它们当作表面未擦干的水。

含水物 hydrated substance 指与水化学结合的物质；无水物 anhydrous substance 指不含水的物质。描述盐晶体时，这些水分子叫结晶水 water of crystallisation，即存在于含水晶体中的水分子。aqueous 则表示物质溶在水中，是水溶液；它与 hydrated 不是同义词。

有水、没水、溶在水里：三种描述指向不同状态

hydrated：含结晶水	anhydrous：无水	aqueous：水溶液
		
$CoCl_2 \cdot 6H_2O(s)$	$CoCl_2(s)$	$CoCl_2(aq)$
固体	固体	已溶在水中

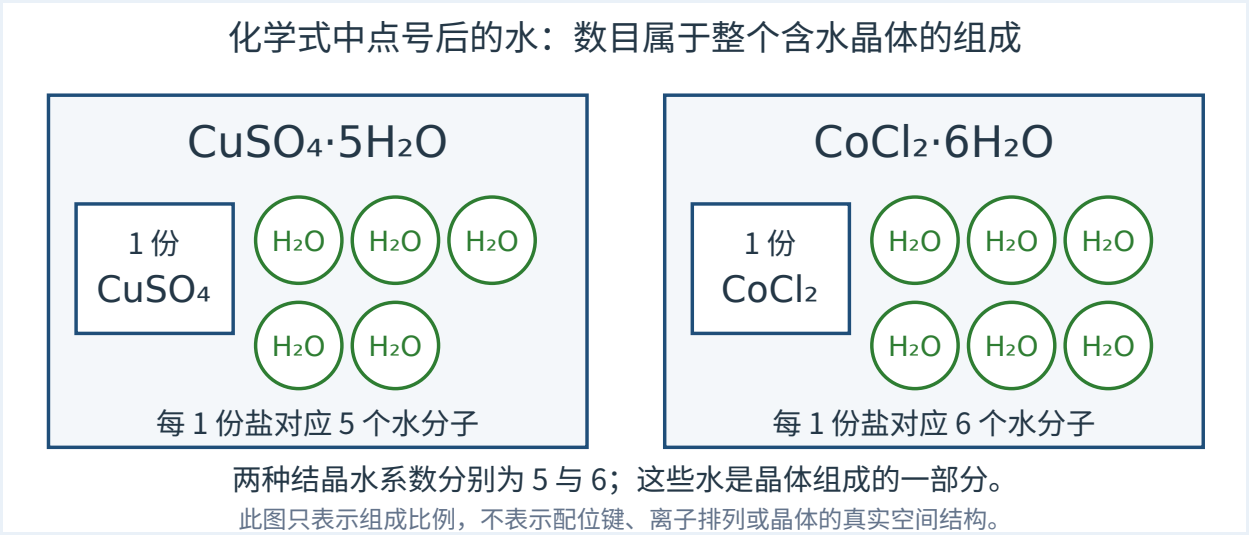
结晶水是晶体组成的一部分；水溶液中的水是大量的溶剂。

晶体外形和溶液粒子数量均为示意；溶液中的水分子省略。

含结晶水与无水描述固体的组成；aqueous 描述物质已溶入水中。氯化钴(II)常见的含水固体和稀水溶液呈粉红色，无水固体呈蓝色。

例如，把“solid salt chemically combined with water”连到 hydrated。把“solid salt containing no water”连到 anhydrous。把“salt dissolved in water”连到 aqueous。含结晶水的固体并没有因此变成一杯水溶液；“被水分解”也不是 hydrated 的定义。

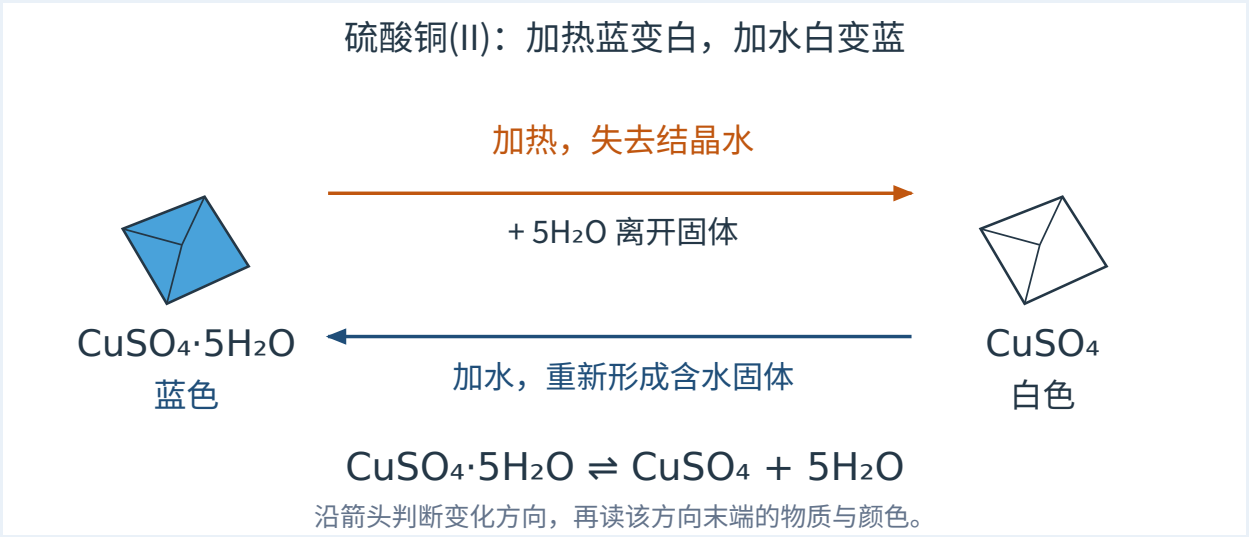
本节需要认识两种含水晶体：含结晶水的硫酸铜(II)hydrated copper(II) sulfate，式子为 $CuSO_4·5H_2O$；含结晶水的氯化钴(II)hydrated cobalt(II) chloride，式子为 $CoCl_2·6H_2O$。中间的点号把无水盐的组成与固定比例的水写在同一个式子中。



$CuSO_4·5H_2O$ 与 $CoCl_2·6H_2O$ 分别含 5 份和 6 份结晶水。点号后面的数目不等于该溶液中水的总体积。

例如，看到 $CuSO_4·xH_2O$，x 应填 5；看到 $CoCl_2·yH_2O$，y 应填 6。若按物质的量比较，1 mol $CuSO_4·5H_2O$ 中有 5 mol 结晶水，2 mol 这种含水物中有 10 mol 结晶水。不是所有盐都带 5 个水，也不能因为都叫 hydrated 就把两个系数写成相同数目。图里的小圆只帮助计数组成，不表示这些水分子一定全以同一种键连到金属离子上。

结晶水可以在适当加热时离开晶体。蓝色的含水硫酸铜 $CuSO_4·5H_2O$ 脱去结晶水后，形成白色的无水硫酸铜 $CuSO_4$；向无水物加入水，可以恢复蓝色含水物。同一反应能在条件改变时向两个方向进行，叫可逆反应 reversible reaction。



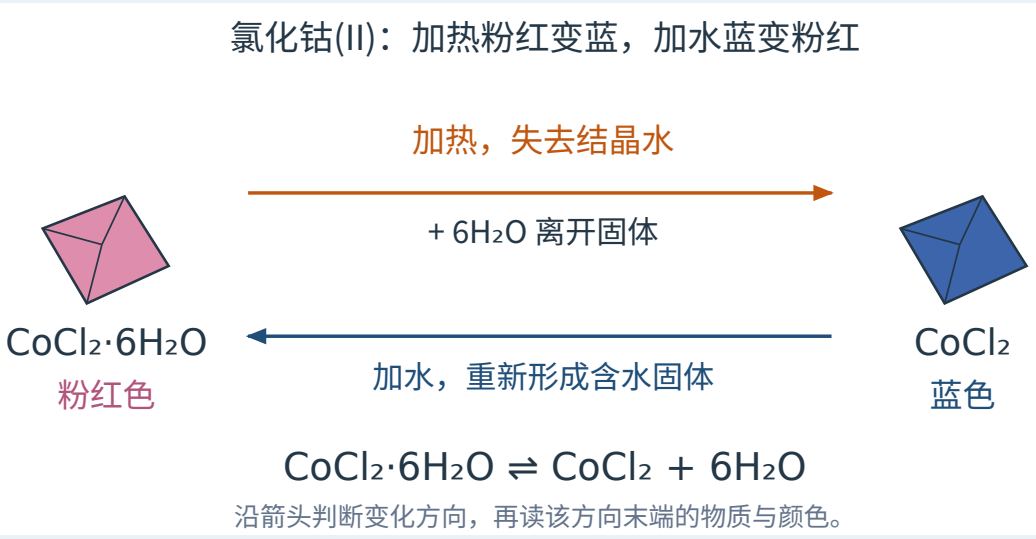
同一对物质可在不同条件下往返：蓝色含水硫酸铜失去结晶水形成白色无水硫酸铜；加水可恢复蓝色含水物。

例如，从左边蓝色 $CuSO_4·5H_2O$ 出发，沿“加热”箭头到右边，水离开，固体变白。若题目下一步又加水，要从右边沿下方箭头回到左边，结果恢复蓝色。式子：

$$CuSO_4·5H_2O \rightleftharpoons CuSO_4 + 5H_2O$$

把两个方向放在一起；条件不同才会推动不同方向，不能把可逆误读成两个方向的量永远相等。

氯化钴也能失水和复水，但颜色顺序不同：含水 $CoCl_2·6H_2O$ 是粉红色，无水 $CoCl_2$是蓝色。加热时从粉红变蓝；加水时从蓝变粉红。



氯化钴的颜色顺序与硫酸铜不同。先认盐的名称和有无结晶水，再判断操作，不能只记“加水变蓝”。

例如，题目说“加水后由蓝变粉红”，先从操作确定这是无水物复水，再对照两种盐。硫酸铜的复水是白→蓝，不能符合；氯化钴的复水是蓝→粉红，符合，所以原来的蓝色固体是无水氯化钴。若题目还说复水时放热，这是该方向把能量释放到周围的观察；可逆性的依据仍是失水与复水能够恢复彼此。

一道选择题可能把“加水”和“加热”混在不同选项中。先按盐的名称与操作，分别判断产物：

- $CuSO_4·5H_2O$ 加热后成为无水 $CuSO_4$，固体由蓝色变成白色。
- 无水 $CuSO_4$加水后成为含水物，由白色变成蓝色。
- $CoCl_2·6H_2O$ 加热后成为无水 $CoCl_2$，固体由粉红色变成蓝色。
- 无水 $CoCl_2$加水后成为含水物，由蓝色变成粉红色。

若问产物为白色，只有硫酸铜脱水这条方向符合。

还有一种问法是“加入水后得到什么颜色的溶液”。这里是在问盐溶解后的水溶液，而非单问原来无水固体的颜色。硫酸铜的常见水溶液是蓝色；氯化钴的常见稀水溶液是粉红色。



硫酸铜加入水可得到蓝色溶液，氯化钴的常见稀水溶液呈粉红色；水溶液颜色与无水固体颜色要分别记。

例如，白色无水 $CuSO_4$加入足够水后能得到蓝色 $CuSO_4$溶液，所以不能用原固体的白色作答。反过来，无水 $CoCl_2$虽为蓝色，但不能因此选它来表示常见蓝色水溶液。若选项有指示剂，还要回到 7.1：纯水近中性，thymolphthalein 通常无色，universal indicator 在中性附近呈绿；不能把“遇碱变蓝”的条件擅自加到纯水中。

把晶体弄干时还要分清两个动作：用滤纸吸干表面水，是制盐实验的 drying；强热到失去结晶水，则改变了含水物的组成。题目需要收集含水晶体时，不能把“干燥”解释为把所有结晶水都赶走。

答案：hydrated 是与水化学结合，anhydrous 不含水；$CuSO_4·5H_2O$ 含 5 份结晶水，$CoCl_2·6H_2O$ 含 6 份。硫酸铜加热蓝→白、加水白→蓝；氯化钴加热粉红→蓝、加水蓝→粉红。

怎么认 先判题目问固体组成、水溶液，还是操作后的颜色；颜色题先认盐的名称，再沿加热或加水方向读末端。

例题 1 （2025·May/June 0620/13 Q20） · 1 级

Which statement describes a hydrated salt?

A It is an aqueous solution of a salt.

B It is a solid salt that is chemically combined with water.

C It is a solid salt that contains no water.

D It is a salt that has been broken down by water.

解：hydrated salt 是与水化学结合的固体盐，B 完整给出 solid salt 和 chemically combined with water。A 描述的是盐的水溶液 aqueous solution；C 不含水，描述 anhydrous；D 说被水分解，并非结晶水的定义。选 B。

例题 2 （2025·October/November 0620/11 Q15） · 1 级

Blue hydrated copper(II) sulfate produces a white solid when it is heated.

The white solid turns blue when water is added.

Which word describes the reaction of hydrated copper(II) sulfate?

A neutralisation

B oxidation

C reduction

D reversible

解：先追踪第一次变化：蓝色含水硫酸铜加热，失去结晶水，形成白色无水硫酸铜。再追踪第二次变化：白色固体加水，又恢复蓝色含水硫酸铜。改变条件能让生成物变回原来的物质，说明该反应是 reversible，选 D。它的关键是结晶水的失去和补回；不能仅因水中含氧就把这种往返叫作 oxidation 或 reduction。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q15） · 1 级

Which substance forms a blue solution when it is added to water?

A cobalt(II) chloride

B copper(II) sulfate

C thymolphthalein

D universal indicator

2. （2025·May/June 0620/21 Q20） · 1 级

The formulae of two hydrated salts are shown.

- $CuSO_4 \cdot xH_2O$
- $CoCl_2 \cdot yH_2O$

What are the values of *x* and *y*?

	x	*y*
A	5	5
B	5	6
C	6	5
D	6	6

3. （2025·May/June 0620/41 Q3(c)(vii)） · 1 级

(vii) Copper(II) sulfate crystals have the formula $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

State the term used to describe a substance that is chemically combined with water.

4. （2025·May/June 0620/43 Q3(c)(vi)） · 1 级

step 4 The saturated solution is allowed to cool and crystallise.

(vi) Hydrated crystals form in **step 4**.

State what is meant by the term hydrated.

5. （2025·October/November 0620/12 Q17） · 2 级

When pink cobalt(II) chloride is heated, it forms a blue solid and water.

When water is added to the blue solid, it releases heat and a pink solid is formed.

Which row describes the type of reaction that occurs and the pink cobalt(II) chloride?

	type of reaction	pink cobalt(II) chloride
A	non-reversible	anhydrous
B	non-reversible	hydrated
C	reversible	anhydrous
D	reversible	hydrated

6. （2024·May/June 0620/13 Q17） · 2 级

Which reaction produces a white-coloured substance?

A adding water to anhydrous cobalt(II) chloride

B adding water to anhydrous copper(II) sulfate

C heating hydrated cobalt(II) chloride

D heating hydrated copper(II) sulfate

元素周期表

8.1 周期表的排列与趋势

题型 1：从周期表位置判断电子排布、离子和元素性质

知识点 元素周期表 Periodic Table 把元素按质子数 proton number 由小到大排列。质子数也叫原子序数 atomic number，决定元素身份；不是按某种原子的核子数 nucleon number，也不是严格按相对原子质量 relative atomic mass 排序。

先读格子的位置：横向一行叫周期 period，竖向一列叫族 group。本册沿用题目的主族标法 I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII；最后一列 VIII 就是稀有气体所在族，有些周期表把它标为 18。下面的格子给出本节直接要用的前 3 周期元素。



格内小数字是质子数；同一横行为同一周期，同一竖列为同一族。

例如，钠 sodium Na 的格子写 11，表示每个钠原子核有 11 个质子。Na 在第 3 横行、第 I 族。沿第 3 周期再向右走到镁 magnesium Mg，质子数变为 12；两者仍处于同一周期。题目若说周期表按核子数排列，要先分清：核子数是质子加中子，同一种元素的同位素可以有不同核子数，但不会因此被拆成不同元素格子。

对于本节主族元素，周期数告诉我们原子已经占据的电子层数；I 到 VII 族的族数告诉我们最外层电子数。例外要单独处理：氦 helium He 在 VIII 族，但它只占据第一层，两个电子已经使第一层完整；不能把 VIII 直接读成 He 有 8 个电子。

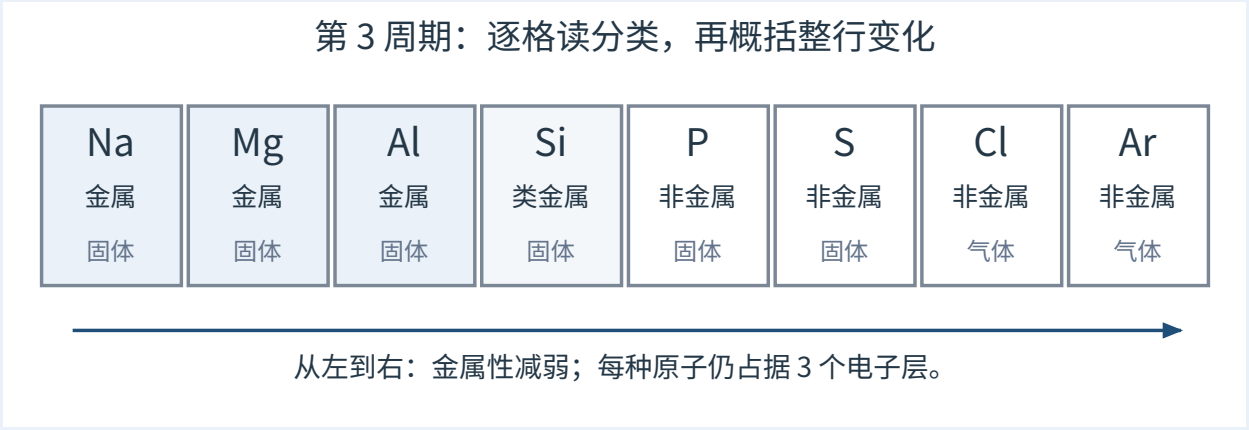
电子排布 electronic configuration 例如“2,8,1”，按从内到外依次写每一层的电子数。逗号隔开的是不同的层，最右边的 1 才是最外层电子数。原子在通常化学反应中主要改变最外层电子，所以同一族的元素往往有相似的化学性质；完整排布仍然可能不同。



每个小点代表一个电子；Li 与 Na 的完整排布不同，最外层电子数相同。

例如，锂 lithium Li 是 2,1，钠 Na 是 2,8,1。两者都以 1 结尾，最外层均有 1 个电子，所以都属于 I 族；但 Li 只有两层，Na 有三层，不能说它们的完整电子排布相同。Mg 是 2,8,2，与 Na 一样有三层，因此同在第 3 周期；最外层 2 与 1 不同，因此不属于同一族。

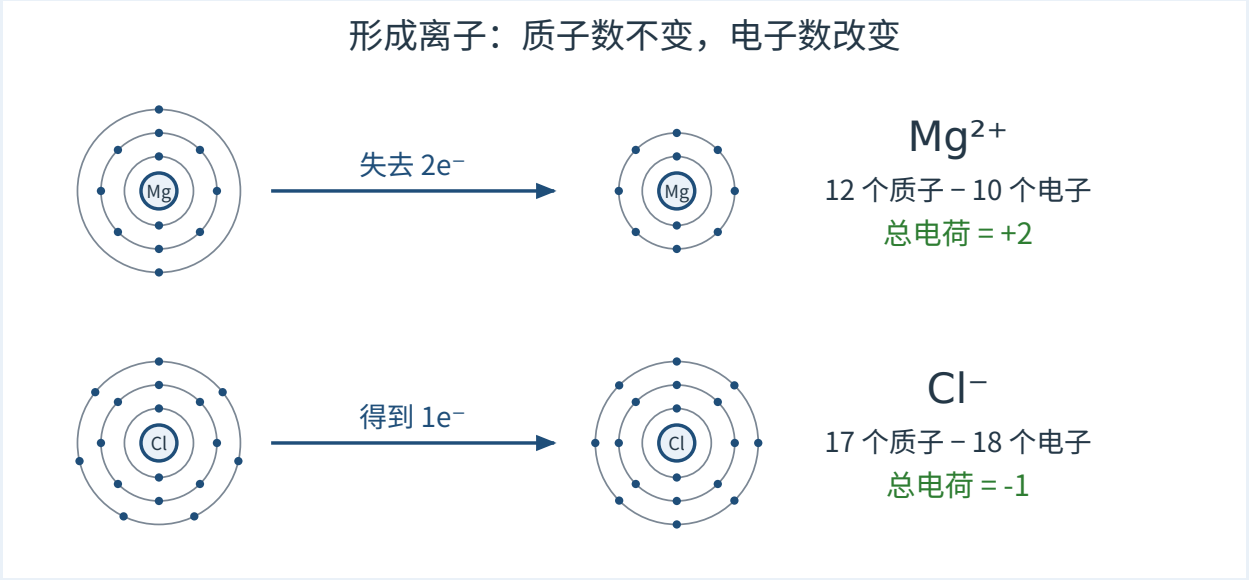
同一周期从左到右，元素的金属性 metallic character 总体减弱，从金属过渡到非金属。判断时，先确认比较的格子是否在同一行，再比较左右位置。不能把“同周期”理解成“化学性质相似”；同族元素才因最外层电子数相同而常有相似化学性质。



第 3 周期中的金属是 Na、Mg、Al；Si 为类金属，不能计入这三个金属。

例如，第 3 周期依次有 Na、Mg、铝 aluminium Al、硅 silicon Si、磷 phosphorus P、硫 sulfur S、氯 chlorine Cl、氩 argon Ar。其中 Na、Mg、Al 是金属，Si 是类金属 metalloid，P、S、Cl、Ar 是非金属。因此数第 3 周期的金属得到 3 个，不把 Si 也计入。整行原子的电子层数始终为 3；变化的是质子数和最外层电子数，不是逐格减少电子层。常温下这一行由左边的固体走到右边的气体，不能反写为“气体变成固体”。

原子形成离子 ion 时，质子数不变，改变的是电子数。失去负电的电子后带正电，得到电子后带负电。I 族金属常失去 1 个电子形成 1+离子，II 族常失去 2 个形成 2+离子；本节常见的 Al 失去 3 个形成 Al^{3+}。VI 族非金属通常得到 2 个电子形成 2−离子，VII 族通常得到 1 个形成 1−离子。



Mg 失去电子形成 2+ 离子；Cl 得到电子形成 1– 离子，原子核中的质子不变。

例如，Mg 原子有 12 个质子、12 个电子，总电荷为 0。失去 2 个电子后剩 10 个电子。以一个质子的电荷为单位，总电荷为：

$$12 - 10 = +2$$

因此写 Mg^{2+}。

氯原子 Cl 有 17 个质子、17 个电子，最外层有 7 个电子。再得到 1 个电子后，电子总数变成 18，总电荷为：

$$17 - 18 = -1$$

因此写 Cl^-。

在这些非金属形成完整 8 电子外层的情形，也可由“原来最外层电子数减 8”计算形成离子的电荷。例如 VII 族：

$$7 - 8 = -1$$

不能因此把所有元素都套成“族数减 8”；金属失电子时要按其实际得失判断。

位置还可帮助预测族内变化，但不同族的变化方向不一定相同。本章需要的一组对照是：I 族由 Li 到 Na 到 K，反应性增加；VII 族由 Cl 到 Br 到 I，反应性降低。同样向下移动，不能概括成两族都更活泼。后两节会用与水反应和卤素置换逐个解释这些变化。

最后接上一个需要第 7 章知识的判断。碱性氧化物 basic oxide 与酸反应形成盐和水；酸性氧化物 acidic oxide 与碱反应；两性氧化物 amphoteric oxide 既能与酸反应，也能与碱反应。例如氧化钠 sodium oxide Na_2O、氧化镁 magnesium oxide MgO 是碱性，氧化铝 aluminium oxide Al_2O_3是两性，二氧化硅 silicon dioxide SiO_2、磷(V)氧化物 phosphorus(V) oxide P_4O_{10}和二氧化硫 sulfur dioxide SO_2是酸性。

把周期位置与已学的氧化物性质接起来

对应元素	普通氧化物举例	与酸、碱的关系
Na、Mg	Na_2O、MgO	碱性：与酸反应
Al	Al_2O_3	两性：与酸和碱均能反应
Si、P、S	SiO_2、P_4O_{10}、SO_2	酸性：与碱反应

反例足以排除“第 3 周期的氧化物全部是碱性”。

第 VIII 族通常不反应；不能把它称为“形成碱性氧化物的一族”。

Na_2O、MgO、Al_2O_3 与非金属氧化物的对照，提供跨章节判断所需的具体反例。

例如，若判断“第 3 周期的元素只形成碱性氧化物”，先找反例。Al_2O_3两性，SO_2酸性，都说明这个整行断言不成立。I 族的普通氧化物如 Li_2O、Na_2O 则为碱性。VIII 族的外层完整、通常不活泼，通常不形成这些常见氧化物，不能把“通常不形成氧化物”读成“形成的都是碱性氧化物”。这样的题必须把周期位置和具体氧化物知识联用。

元素按_____数排列。同一周期原子已占据的电子层数_____；同一主族元素的_____电子数相同。氦的完整外层含_____个电子。

答案：质子；相同；最外层；2

怎么认 先定位周期和族，再选择实际需要的关系：占据层数、最外层电子、得失电子后的电荷，或具体性质趋势。出现“全部”“只形成”时逐个寻找反例。

例题 1 （2025·May/June 0620/13 Q3） · 2 级

Which statement about elements and their atoms is correct?

A Aluminium is in the second period of the Periodic Table and has two occupied electron shells.

B Helium is in Group VIII of the Periodic Table and has eight outer shell electrons.

C Lithium is in Group I of the Periodic Table and has one occupied electron shell.

D Sulfur is in the third period of the Periodic Table and has six outer shell electrons.

解：先把每句话拆成“表中位置”和“电子排布”两部分，分别核对。

A：Al 的电子排布是 2,8,3，有 3 个已占据电子层，因此在第 3 周期，不是第 2 周期。A 错误。

B：He 确实在 VIII 族，但它只有 2 个电子，第一层已经完整，不能说有 8 个最外层电子。B 错误。

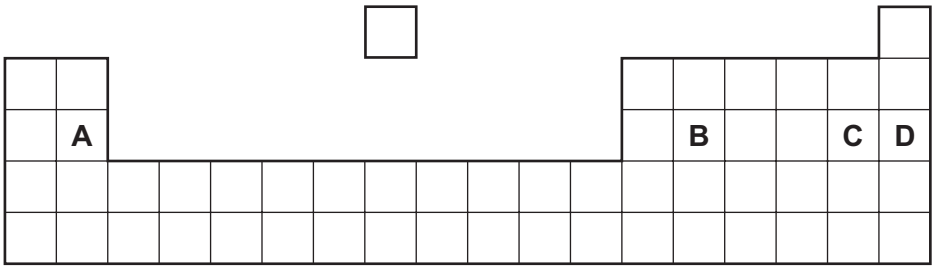
C：Li 在 I 族说明最外层有 1 个电子；其完整排布为 2,1，实际占据 2 层，不是 1 层。C 错误。

D：S 的排布为 2,8,6，占据 3 层，最外层有 6 个电子，正好同时符合第 3 周期和 6 个外层电子。选 D。

例题 2 （2025·May/June 0620/11 Q21） · 2 级

Part of the Periodic Table is shown.

Which element shows the most metallic character?



解：先看原图中字母所在的横行。A、B、C、D 都在同一周期，A 位于左侧 II 族位置，B、C、D 依次在更右的位置。

同一周期从左向右，金属性总体减弱。因此四个候选里最靠左的 A 表现出最强的金属性，选 A。

不必把整张空表补满，也不能按字母先后顺序猜答案；关键证据是四个实际格子的相对位置。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q21） · 1 级

In the Periodic Table, how does the metallic character of the elements vary from left to right across a period?

A It decreases.

B It increases.

C It increases then decreases.

D It stays the same.

2. （2025·May/June 0620/42 Q1(c)） · 2 级

Using numbers only, state the:

(c) number of metals in Period 3 of the Periodic Table

3. （2025·May/June 0620/11 Q20） · 2 级

Which statement about the Periodic Table is correct?

A The elements are arranged in order of increasing relative atomic mass.

B The reactivity of the elements in Group I and in Group VII increases as the groups are descended.

C Elements in the same period have similar chemical properties.

D Elements in Group II form ions with a 2+ charge.

4. （2025·May/June 0620/12 Q21） · 2 级

Which statement about elements in the Periodic Table is correct?

A Elements in the same group of the Periodic Table have the same electronic configuration.

B The atoms of the elements in Group VII form ions with a charge equal to the number of outer shell electrons minus 8.

C The metallic character of the elements increases from left to right across a period.

D The Periodic Table is an arrangement of elements in order of increasing nucleon number.

5. （2025·May/June 0620/21 Q21） · 2 级

The properties of the elements change from left to right across the Periodic Table.

Which statement describes how the properties change across Period 3?

A Elements change from gases to solids.

B Elements change from non-conductors to electrical conductors.

C Elements change from metal to non-metal.

D Elements have a decreasing number of electron shells.

6. （2025·May/June 0620/12 Q20） · 4 级

Which parts of the Periodic Table contain elements that **only** form basic oxides?

A Group I and Period 3

B Group I only

C Group VIII and Period 3

D Group VIII only

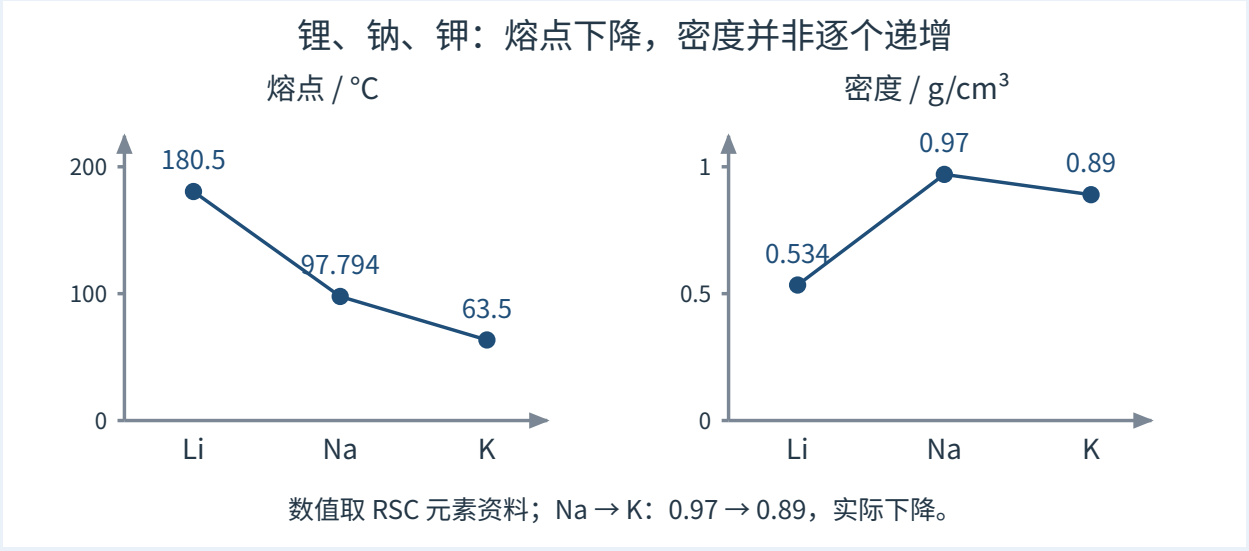
8.2 第 I 族元素

题型 1：使用碱金属趋势，解释与水反应并辨别数据例外

知识点 锂 lithium Li、钠 sodium Na、钾 potassium K 属于第 I 族，统称碱金属 alkali metals。沿这一族向下还会遇到铷 rubidium Rb、铯 caesium Cs 和钫 francium Fr。氢 H 虽常画在 I 族上方，但不是这里所说的碱金属。

先把三种性质分开。熔点 melting point 是固体开始熔化的温度；密度 density 是单位体积的质量，常用 g/cm³；反应性 reactivity 是发生特定化学反应的倾向或反应表现，不能拿熔点或密度直接当成它的数值。Li、Na、K 都是较软的金属，能导电、导热，通常表现出金属的延展性，例如 malleable 表示能受压形成薄片。

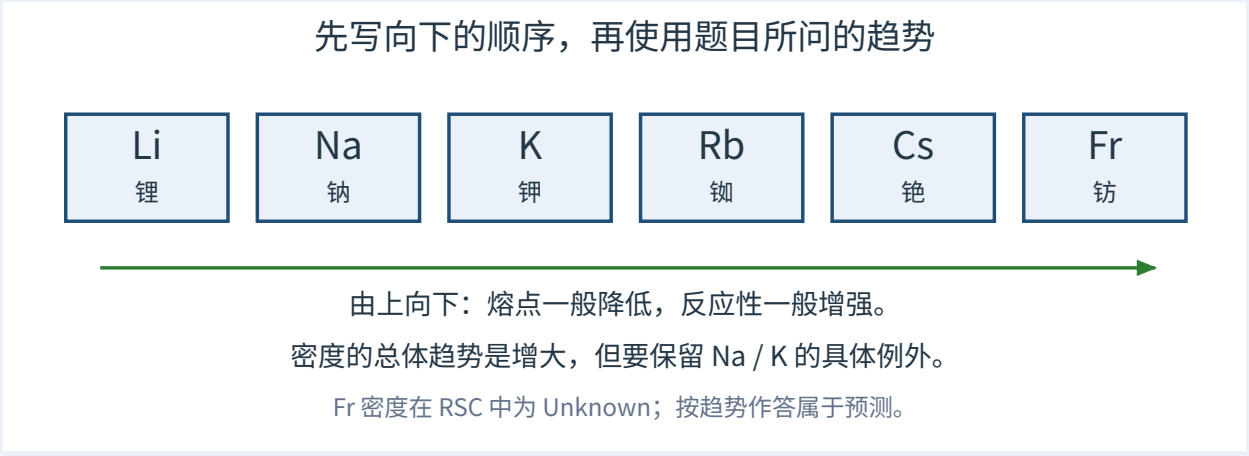
从 Li 到 Na 到 K，熔点下降，与水反应的剧烈程度增加。密度在整个族中的总体趋势是向下增加，但“总体趋势”不是说每一对相邻元素的实测数值都一定增加：Na 的密度约 0.97 g/cm³，K 约 0.89 g/cm³，K 实际比 Na 低。



横轴按 Li、Na、K 向下族顺序排列，两个纵轴分别表示熔点与密度，不能混用刻度。

例如，沿左图从 Li 读到 Na 再到 K，熔点由约 180.5°C 降到 97.794°C，再降到 63.5°C，所以这三个元素中 Li 熔点最高。右图中密度先从 0.534 升到 0.97，再降到 0.89；若问题明确问 Na 与 K 的实际比较，就必须回答 K 较低，不能用“总体向下增加”抹掉这一段下降。两幅图纵轴含义不同，不能比较它们的线有多高来判断谁“更活泼”。数值来源为 RSC 的 Li、Na、K 元素资料。

用趋势预测较少见元素时，先写族内由上至下的顺序，再选题目所问的性质；答案应说明是在依据趋势作预测。尤其是 Fr，RSC 资料把其密度列为 Unknown。因此按总体趋势把位于最下方的 Fr 预测为高密度端点，与宣称已经测出 Fr 的密度，是两件不同的事。



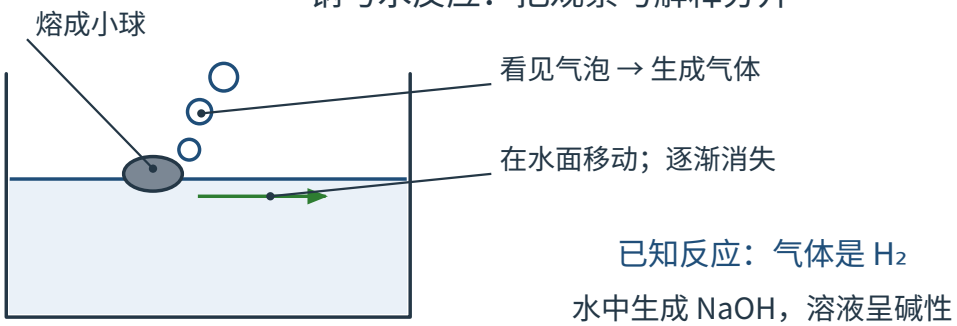
用族内顺序判断趋势时，仍须区分已知数据与向未测元素外推的预测。

例如，比较 Li 与 K 的反应性，Li 在上，K 在下，而此族向下反应性一般增加，因此 Li 较不活泼。若比较它们的熔点，所用趋势反而是向下减小，所以 Li 熔点较高。题目只换了所问的性质，不能沿用同一个“最大在下面”的答案。

碱金属与水反应生成金属氢氧化物 metal hydroxide 和氢气 hydrogen H_2。例如钠与水生成氢氧化钠 sodium hydroxide NaOH 和 H_2。NaOH 溶于水后提供 OH^-，所以溶液呈碱性；这个共同结果也帮助理解“alkali”一词。

遇到 observations，先写看得见的现象。Na 放入水中可见气泡，金属在水面移动，熔成小球，并逐渐消失。气泡本身不直接写着化学名称；把它判断为 H_2，是进一步结合反应知识，或用点燃的木条检验听到爆鸣声。

钠与水反应：把观察与解释分开



已知反应：气体是 H_2

水中生成 NaOH，溶液呈碱性

“气泡”是观察；“氢气”是结合反应或检验作出的判断。

画面表示反应过程中的可见现象；气泡的化学身份由反应知识或气体检验确定。

例如，要求“两种观察”时，写“有气泡产生”与“金属在水面移动”，是两个不同的可见结果。只写“生成氢气”和“生成 NaOH”，是在写产物身份，没有完成可见现象的表达。Li 也可见气泡、漂浮、移动和逐渐消失，但不要照搬 Na 的“熔成小球”：常见的 Li 与水反应并不出现这一熔化现象。

再把文字反应写成方程式。先确定 Na、H_2O、NaOH、H_2各自正确的化学式，再平衡每种原子总数。得到：

$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$

先确定生成物，再用系数平衡原子

钠 + 水 → 氢氧化钠 + 氢气

$$2Na + 2H_2O \longrightarrow 2NaOH + H_2$$

原子	左边总数	右边总数
Na / O / H	2 / 2 / 4	2 / 2 / 4

只调整化学式前的系数；不能把 H_2O 或 NaOH 的下标改掉。

配平后 Na、O、H 各自的原子总数守恒；碱金属换为 Li 时仍须重新核对。

例如，右边一个 H_2分子需要两个 H 原子；另有氢留在 NaOH 中，所以在左边放 $2H_2O$ 共提供 4 个 H。右边 2NaOH 用掉 2 个 H，H_2用掉另 2 个 H，同时 2NaOH 需要 2 个 Na，因此左边用 2Na。两边 Na 为 2、O 为 2、H 为 4，全部相等。金属换为 Li 时，产物换成氢氧化锂 lithium hydroxide LiOH，不能把氢氧根拆错为 LiO；再用相同的逐元素计数检查配平。

比较碱金属和其他金属时，要把比较对象写出来。典型过渡金属 transition elements 如铁 Fe 通常较硬、密度较高；Li、Na、K 相对更软、密度更低。两类都能导电、导热，不能因碱金属较轻就说它们“不导电”。

比较金属：说清“比谁高 / 低”

性质	Li、Na、K	典型过渡金属（如 Fe）
硬度	较软，易切开	通常较硬
密度	较低	通常较高
导电、导热	能	也能

碱金属的低密度、较软是相对于典型过渡金属的比较；两类都具有金属的导电、导热性质。

例如，若题目已经说碱金属熔点和沸点较低，再要求 two other physical properties，不能重复这两个已给性质。可写“碱金属通常比过渡金属更软”和“密度更低”，既有两个不同性质，也交代了比较方向。

碱金属与水生成金属_____和_____。由 Li 到 K，熔点总体_____，反应性_____。具体比较 Na 与 K 密度时，较低的是_____。

答案：氢氧化物；氢气；降低；增加；K

怎么认 先区分熔点、密度和反应性，再决定用实际数值还是族内总体趋势；观察题写现象，方程式题先辨产物再数原子。

例题 1 （2025·May/June 0620/42 Q5(b)(i)） · 2 级

Alkali metals are reactive elements.

(b) Identify the alkali metal which:

(i) has the highest melting point

解：碱金属由上至下的顺序是 Li、Na、K、Rb、Cs、Fr。此族熔点总体向下减小，因此最高熔点在上端。上端的碱金属是 lithium，写 Li 也可以。这里问的是熔点，不是反应性；不能因较下方反应更剧烈就把它判断为熔点更高。

例题 2 （2025·May/June 0620/41 Q6(e)(i)） · 2 级

This question is about the Periodic Table.

(e) Sodium is in Group I of the Periodic Table.

When sodium is added to water a chemical reaction occurs.

(i) Give **two** observations when sodium is added to water.

解：题目要求 two observations，需要写两个直接能看到的结果。例如：

1. 有气泡产生（bubbling / fizzing / effervescence）。
2. 钠在水面移动（moves on the surface）。

这两个现象分别描述气体逸出和金属运动，并不重复。也可用“熔成小球”“漂浮”或“固体逐渐消失”替换其中一种，保留两个不同观察即可。

反应生成 H_2 和 NaOH，能解释这些现象；但单独写“生成氢气”和“生成 NaOH”没有把要求的可见现象表述出来。

例题 3 （2025·May/June 0620/43 Q6(c)(ii)） · 2 级

This question is about the Periodic Table.

(c) Lithium is in Group I of the Periodic Table.

When lithium is added to water a chemical reaction occurs.

(ii) Write a symbol equation for this reaction.

解：先确定反应物：锂 Li 和水 H_2O。碱金属与水生成相应金属氢氧化物及氢气，因此产物是 LiOH 和 H_2。
先写骨架：
$Li + H_2O \rightarrow LiOH + H_2$
再数原子。为了给右侧 H_2留下两个 H，同时保留氢氧化物中的 H，用 $2H_2O$ 提供 4 个 H；右侧 2LiOH 占 2 个 H，H_2占另外 2 个 H。2LiOH 还需要 2 个 Li，所以左边用 2Li。
完整方程式为：
$2Li + 2H_2O \rightarrow 2LiOH + H_2$
核对两边：Li 均为 2，O 均为 2，H 均为 4。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/42 Q5(a)） · 1 级

Alkali metals are reactive elements.

(a) State the group number of the alkali metals.

2. （2025·May/June 0620/43 Q6(a)） · 1 级

This question is about the Periodic Table.

(a) State the name given to Group I elements.

3. （2025·May/June 0620/43 Q6(b)） · 1 级

This question is about the Periodic Table.

(b) State which Group I element is least reactive.

4. （2025·May/June 0620/22 Q22） · 1 级

Sodium is a Group I metal.

What is a physical property of sodium?

A non-conductor of electricity

B high melting point

C high density

D malleable

5. （2025·May/June 0620/42 Q5(b)(ii)） · 2 级

Alkali metals are reactive elements.

(b) Identify the alkali metal which:

(ii) has the highest density

6. （2025·May/June 0620/42 Q5(b)(iii)） · 2 级

Alkali metals are reactive elements.

(b) Identify the alkali metal which:

(iii) has the lowest reactivity

7. （2025·May/June 0620/13 Q22） · 2 级

Lithium, sodium and potassium are elements in Group I of the Periodic Table.

Which statements about these elements are correct?

1 They react with water to produce hydrogen.

2 The melting point increases down the group.

3 The density decreases down the group.

4 The reactivity increases down the group.

A 1 and 2 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 3 and 4

8. （2025·May/June 0620/43 Q6(c)(i)） · 2 级

This question is about the Periodic Table.

(c) Lithium is in Group I of the Periodic Table.

When lithium is added to water a chemical reaction occurs.

(i) Give **two** observations when lithium is added to water.

9. （2025·May/June 0620/43 Q6(d)） · 2 级

This question is about the Periodic Table.

(d) Group I elements have lower melting points and lower boiling points than transition elements.

Describe **two other** physical properties of Group I elements that are different from transition elements.

原题辨析

1. （2025·May/June 0620/11 Q22） · 3 级

E is an element from Group I of the Periodic Table. Two properties of E are listed.

- It has a higher melting point than caesium.
- It has a lower density than sodium.

What is the identity of E?

A lithium

B potassium

C rubidium

D francium

【答案】A

【解析】官方评分答案是 A，lithium。若依族内总体趋势“向下熔点减小、密度增大”推断，密度低于 Na 会引导到较上方的 Li，而 Li 熔点高于 Cs。

但题目给出的两个条件，按实际数据并不能唯一确定 Li：Li 密度约 0.534 g/cm³，K 约 0.89，二者都小于 Na 的 0.97；Li 熔点约 180.5°C，K 约 63.5°C，二者都高于 Cs 的 28.5°C。因此 A 的 Li 符合条件，B 的 K 也符合。

本题必须同时保留两层结论：原卷官方给分答案为 A；若按题干两条实际物性条件严格筛选，A 与 B 都满足，不能据此唯一推出 A。原因是 K 与 Na 的密度有例外，不能把总体族趋势当成逐对数据定律。

上述比较数据来自 RSC：Li、K、Na 和 Cs 的元素资料。

2. （2025·May/June 0620/12 Q22） · 3 级

Which row identifies the trends in properties of the elements lithium to sodium to potassium?

	melting point	density	reactivity
A	decreasing	increasing	increasing
B	increasing	increasing	decreasing
C	increasing	decreasing	increasing
D	decreasing	decreasing	increasing

【答案】A

【解析】官方评分给 A，对应 melting point decreasing、density increasing、reactivity increasing。

其中熔点下降与反应性增加符合 Li→Na→K 这三个元素的比较。需要辨析的是密度一栏：实际数值约为 Li 0.534、Na 0.97、K 0.89 g/cm³，先增加再减少。因此若题干“from lithium to sodium to potassium”要求描述每一步真实变化，不能说密度在这两步都 increasing。

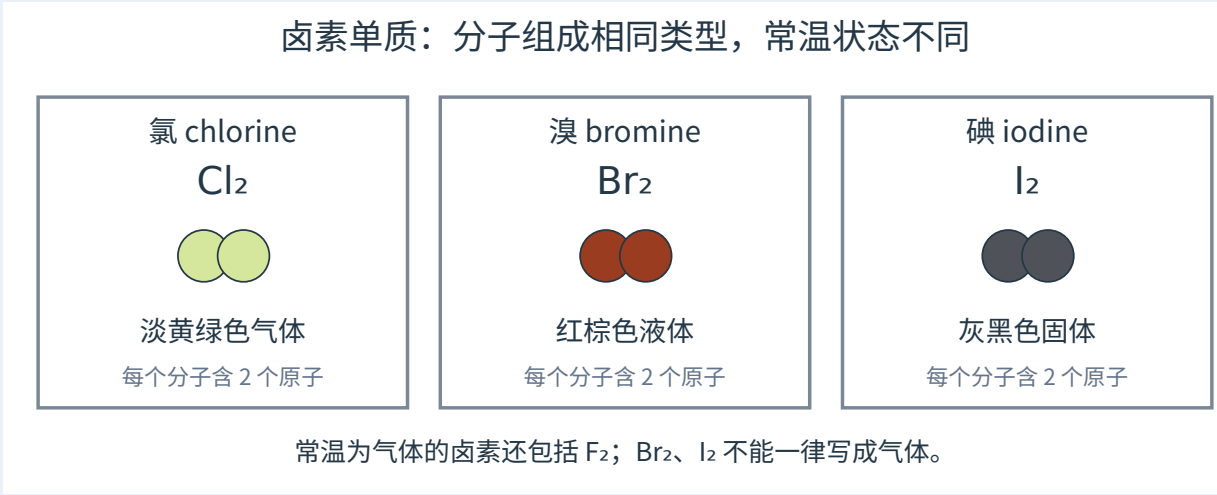
四个选项没有提供“密度先增后减”一行；A 记录的是原卷按总体趋势设置的给分答案，不能拿它证明 K 密度高于 Na。正确学习结论是：族内密度有总体趋势，Na/K 这对实测例外仍必须保留。来源：RSC：Li、Na、K。

8.3 第 VII 族元素

题型 1：辨认卤素状态，用置换结果推断活泼性

知识点 第 VII 族称为卤素 halogens，常见成员包括氟 fluorine F、氯 chlorine Cl、溴 bromine Br、碘 iodine I。卤素是非金属，单质通常由两个同种原子组成一个分子，叫双原子 diatomic，例如 F_2、Cl_2、Br_2、I_2。化学式里的 2 数的是一个分子中有几个原子，不表示它一定是气体。

室温常压 room temperature and pressure，常缩写 r.t.p.，指的是观察时的温度和压力条件。此时 Cl_2为淡黄绿色气体，Br_2为红棕色液体，I_2为灰黑色固体；F_2也是气体。因此数常温为气体的卤素时，要数 F_2与 Cl_2，不能只数氯，也不能把整族都算成气体。

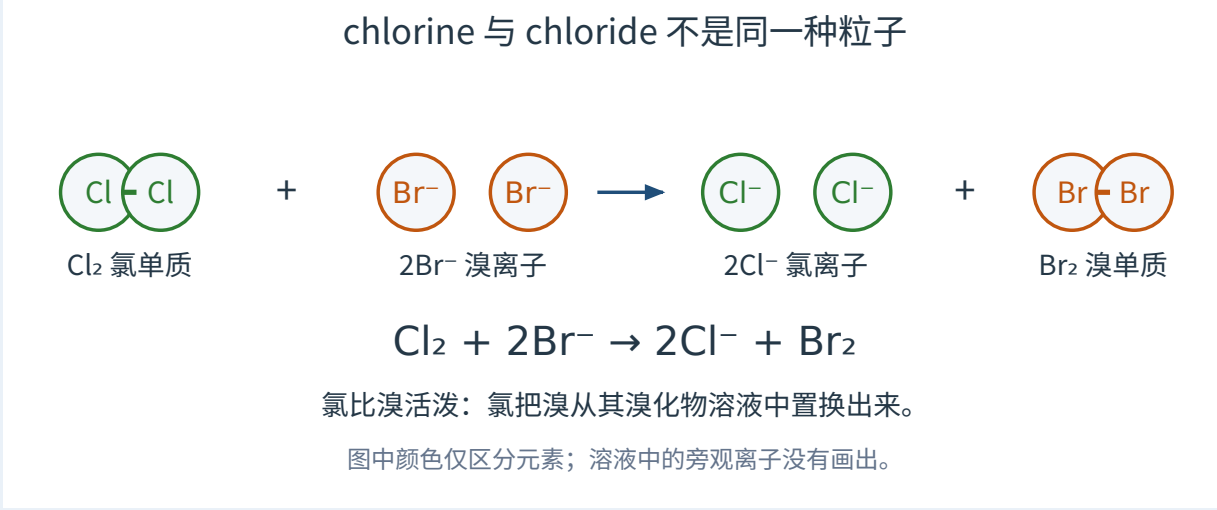


每对圆表示一个双原子分子；旁边的文字给出室温常压下单质的颜色与状态。

例如，题目问碘在 r.t.p.的 state 和 colour，回答 solid 和 grey-black。I_2受热形成的紫色蒸气、溶液中碘造成的棕色，都不是题目这次指定的常温单质固体状态；先固定观察条件，再写颜色。

必须分清单质与离子。chlorine 是氯单质 Cl_2；chloride 是氯离子 Cl^-，也用于氯化物名称，例如氯化钠 sodium chloride NaCl。bromine 是 Br_2，bromide 是 Br^-；iodine 是 I_2，iodide 是 I^-。后缀不同，所指粒子的电荷和组成也不同。

活泼性较强的卤素能把较弱的卤素从其卤化物水溶液中置换出来。对 Cl、Br、I，顺序为 Cl > Br > I。“>”在这里表示比右边更活泼。例：向溴化钠 sodium bromide NaBr 溶液中通入 Cl_2，Cl_2使 Br^-失去电子形成 Br_2，自己得到电子形成 Cl^-。



单质 Cl_2 变成 Cl^-，Br^- 变成单质 Br_2；描述为 chlorine displaces bromine。

例如：

$$Cl_2 + 2Br^- \rightarrow 2Cl^- + Br_2$$

反应前有氯单质和溴离子，反应后出现溴单质，因此用文字说“chlorine displaces bromine”。不能说“chloride displaces bromide”：那会把加入的中性 Cl_2和生成的中性 Br_2都错写成离子。两边 Cl、Br 原子各两个，总电荷都是 2−；未参加净变化的 Na^+可以在离子方程式中省略。

如果给出的单质比溶液中相应卤素更弱，就不能完成该置换。例如 Br_2加入氯化物溶液，没有这种净反应，因为 Br 没有 Cl 活泼。把所有比较放在同一个表中，就能正向预测，也能从观察反推顺序。

用“有反应 / 无反应”判断活泼性

加入单质	Cl^- 溶液	Br^- 溶液	I^- 溶液
Cl_2	—	有反应	有反应
Br_2	无反应	—	有反应
I_2	无反应	无反应	—

Cl_2 能置换 Br^- → Cl 比 Br 活泼；Br_2 不能置换 Cl^- → Br 较弱。

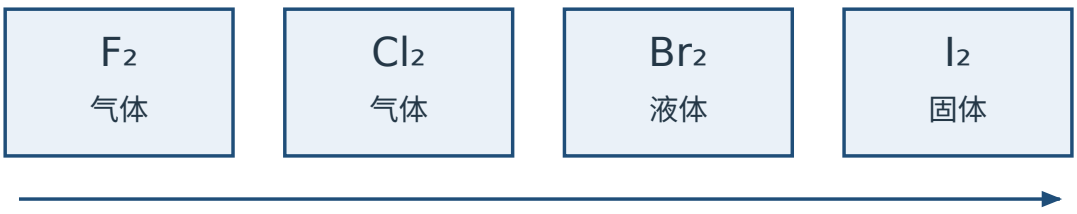
“—”是同一种卤素，没有净置换；比较未知元素时先确认它们不同。

读行是加入的卤素单质，读列是溶液中的卤离子；同种粒子不构成净置换。

例如，先知道“Br_2与 Cl^-没有置换”，而 Br 与 Cl 是不同元素，可推 Br 比 Cl 弱。又知道“I_2与 Br^-没有置换”，可推 I 比 Br 弱。两条连在一起得到 Cl > Br > I。若换成字母 P、Q、R，仍先把每句话翻成一条强弱关系，再把共有的字母接上；不要只凭一条观察猜三者身份。对同一种卤素本身，例如 Cl_2与 Cl^-，没有净置换并不表示“Cl 比自己弱”，所以逆推时要先确认比较的是不同元素。

完整 VII 族中 F 在 Cl 上方，是本节所比较的最活泼卤素。由 Cl 向下到 Br、I，反应性降低，而密度、熔点和沸点总体增加。这与 I 族反应性向下增强的方向不同。

从族内位置预测：先确定变化方向



向下：熔点、沸点和密度总体增加；反应性减弱。

若未知卤素在碘以下，可按这个趋势预测它在常温为固体。

“预测”说明推断依据，不等于已经测得这种新元素的性质。

同一族的已知状态与趋势支持对未知位置的预测，预测与实测应分别表达。

例如，若题目给一个尚不熟悉的卤素在碘以下，要预测它在 r.t.p.的状态，就从已知 Cl_2气体、Br_2液体、I_2固体及熔沸点向下增加的趋势推断，预期为固体。这里回答的是 expected state，应保留“按趋势预测”的含义；不能把预测写成已经完成了实测。

卤素通常是_____原子分子。r.t.p.时 Br_2是_____色的_____。Cl_2把 Br^-变成 Br_2，说明 Cl 比 Br 更_____。

答案：双；红棕；液体；活泼

怎么认 先分清单质 X_2与卤离子 X^-；有置换表示加入的单质更活泼，无置换时须先确认是两种不同元素，再将多条强弱关系接成完整顺序。

例题 1 （2025·May/June 0620/41 Q6(c)） · 1 级

This question is about the Periodic Table.

(c) Give the physical state and colour of iodine at room temperature and pressure.

state

colour

解：先固定题目条件：room temperature and pressure。此时碘单质 I_2是固体，颜色灰黑。
state 写 solid，colour 写 grey-black。不要写 purple gas，那是碘受热形成蒸气时的描述；也不要写棕色溶液，因为本题问的是常温常压碘单质的状态和颜色。

例题 2 （2025·May/June 0620/11 Q23） · 2 级

An equation for the displacement reaction between aqueous halogen, X_2, and aqueous halide ions, Y^-, is shown.

$$X_2(aq) + 2Y^-(aq) \rightarrow 2X^-(aq) + Y_2(aq)$$

Which row identifies X_2 and Y^- and explains why the reaction takes place?

	X_2	Y^-	explanation
A	chlorine	iodide	chlorine is less reactive than iodine
B	chlorine	iodide	chlorine is more reactive than iodine
C	iodine	chloride	chlorine is less reactive than iodine
D	iodine	chloride	chlorine is more reactive than iodine

解：方程式左边 X_2是卤素单质，Y^-是另一卤素的卤离子；右边生成 X^-和 Y_2，说明 X 把 Y 从其卤化物溶液中置换出来。因此 X 必须比 Y 更活泼。
氯比碘活泼，所以 X_2可为 chlorine，Y^-为 iodide：
$Cl_2 + 2I^- \rightarrow 2Cl^- + I_2$
A 虽给了相同的粒子，却把活泼性理由反写为 chlorine is less reactive；C、D 把加入的单质换成更弱的碘，它不能把氯从 Cl^-中置换出来。只有 B 的粒子身份和理由同时正确，选 B。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q6(a)） · 1 级

This question is about the Periodic Table.

(a) State the name given to Group VII elements.

2. （2025·May/June 0620/41 Q6(b)） · 1 级

This question is about the Periodic Table.

(b) State which Group VII element is most reactive.

3. （2025·May/June 0620/21 Q22） · 1 级

Which property decreases down Group VII of the Periodic Table, from chlorine to iodine?

A atomic number

B density

C reactivity

D melting point

4. （2025·May/June 0620/43 Q6(e)(i)） · 1 级

This question is about the Periodic Table.

(e) The Group VII elements are known as the halogens.

(i) Give the physical state and colour of chlorine at room temperature and pressure.

state

colour

5. （2025·May/June 0620/42 Q1(d)） · 2 级

Using numbers only, state the:

(d) number of halogens which are gases at r.t.p.

6. （2025·May/June 0620/12 Q23） · 2 级

Which statements about the halogens are correct?

1 They are all diatomic molecules.

2 They are all gases at room temperature and pressure.

3 The density of the elements increases down the group.

4 The reactivity of the elements increases down the group.

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 2 and 4 **D** 3 and 4

7. （2025·May/June 0620/22 Q23） · 2 级

Tennessine (atomic number 117) is a manufactured element that is below astatine in Group VII of the Periodic Table.

What is the expected state of tennessine at room temperature and pressure?

A a diatomic gas

B a liquid

C a monatomic gas

D a solid

8. （2025·May/June 0620/22 Q24） · 2 级

When chlorine is bubbled into aqueous sodium bromide, a displacement reaction occurs.

Which description of this reaction is correct?

A Chloride displaces bromide.

B Chlorine displaces bromine.

C Chloride displaces bromine.

D Chlorine displaces bromide.

9. （2025·May/June 0620/13 Q23） · 3 级

X, Y and Z are each one of the elements chlorine, bromine and iodine.

When aqueous X is mixed with aqueous ions of Y, there is no reaction.

When aqueous Y is mixed with aqueous ions of Z, there is no reaction.

Which statement is correct?

A X is more reactive than Y.

B X is a pale yellow-green gas at room temperature and pressure.

C Y is a red-brown liquid at room temperature and pressure.

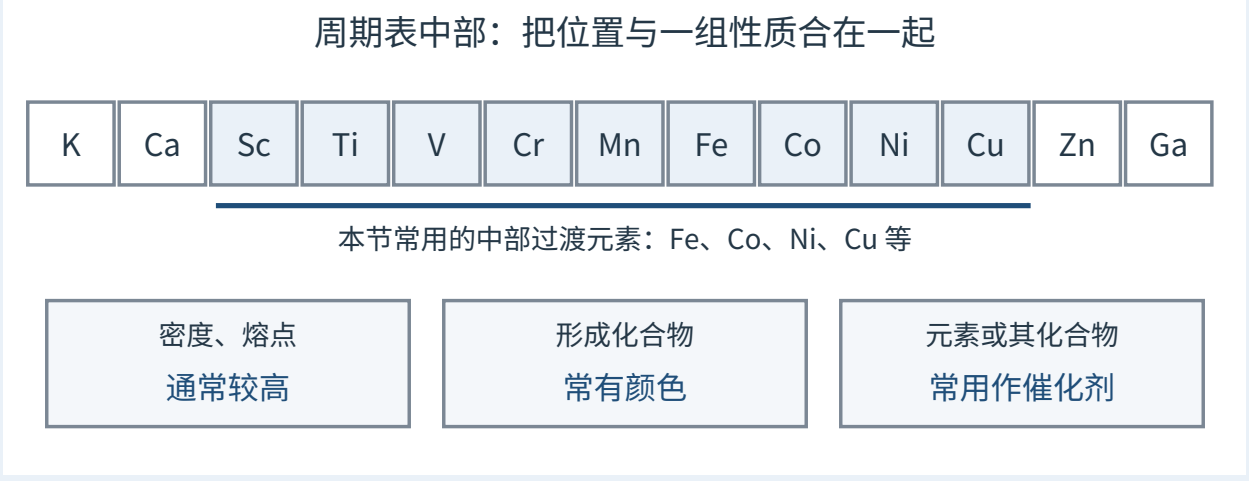
D Z is less reactive than Y.

8.4 过渡元素

题型 1：用一组性质辨认过渡元素并选择催化剂

知识点 周期表中部有许多过渡元素 transition elements，本节常用的例子是铁 iron Fe、钴 cobalt Co、镍 nickel Ni 和铜 copper Cu。它们属于金属，通常能导电、导热；相对于 Li、Na、K 等碱金属，典型过渡金属密度较高、熔点较高，也通常较硬。

还有两条常见线索：它们常形成有颜色的化合物，其元素或化合物常用作催化剂 catalysts。催化剂加快速率而在反应结束后保留下来，不改变同温下的平衡位置；这里用的是前面已学的催化剂含义。



图示第 4 周期的一个连续片段，用 Fe、Co、Ni、Cu 等常见例子定位过渡元素；“常”不等于每一种化合物都一定有颜色。

例如，某未知金属熔点很高、密度很高，又常用于催化反应，这一整组线索支持它位于过渡元素区域。不能只见到“高密度”就忽略其余条件，也不能把“常形成有色化合物”改成“每一种化合物都一定有色”。有些过渡元素的具体化合物可以是白色或无色，题目描述的是典型性质组合。

与 I 族、VII 族、VIII 族比较也能排除错误类别：I 族金属通常较软、熔点和密度较低；VII 族是卤素非金属；VIII 族是通常不活泼的单原子气体。高熔点金属并常用作催化剂，与后两类的总体特征不符。

过渡元素还常有可变氧化数 variable oxidation states。以铁为例，铁(II)化合物中的 Fe 为+2，铁(III)中的 Fe 为+3。罗马数字 II、III 说明氧化数，不是原子个数；要理解为什么不同，可从完整化学式核对电荷。

同一种铁，可以具有不同的正氧化数

$FeCl_2$	$FeCl_3$
Fe^{2+}	Fe^{3+}
$x + 2(-1) = 0 \rightarrow x = +2$	$x + 3(-1) = 0 \rightarrow x = +3$

Fe(II) 与 Fe(III)：罗马数字分别表示 +2 与 +3。

每个 Cl^- 是 −1；由整个氯化物中性，分别求得 Fe 的 +2 与 +3，体现可变氧化数。

例如，氯化铁(II) iron(II) chloride $FeCl_2$整体中性，两份 Cl^-总电荷是−2，因此 Fe 必须是+2。氯化铁(III) iron(III) chloride $FeCl_3$有三份 Cl^-，总电荷−3，因此 Fe 为+3。同样都是铁，在不同化合物中却呈现两种氧化数，这就是本例的“可变”。

若题目列出若干元素，要求 suggest a catalyst，可以先在周期表中分类，再选具有常见催化性质的候选。Na 和 K 是 I 族；Mg 和钡 barium Ba 是 II 族；Al 为 III 族；碳 carbon C 和硫 sulfur S 是非金属；Fe、Co、Ni、Cu 则是本节常见过渡元素。

候选催化剂：先在元素表中找到类别

候选物	所在位置 / 类别	按本节性质筛选
Na、K	第 I 族	不是过渡元素
Mg、Ba	第 II 族	不是过渡元素
Fe、Co、Ni、Cu	周期表中部的过渡元素	常见催化剂候选

具体反应仍需合适的催化剂；不能把“同为过渡元素”当作任意替换的保证。

按周期表位置从选项中提出合适类别的催化剂，并把“过渡元素”写作选择理由。

例如，从 Na、Mg、Ni、S 四种元素中按类别提出催化剂候选，先分别归类，Ni 属于过渡元素，其他三种不属于，因此选 nickel，理由为“it is a transition element”。题目要求元素名称时应写 Ni，而不只写“a transition metal”。这是根据所给选项和类别作出的合理选择；不同反应需要适合的催化剂，不能推成任意过渡金属在任意反应中都有效。

已学的工业实例可以帮助核对：合成氨使用 Fe；接触法中 SO_2氧化为 SO_3使用钒(V)氧化物 vanadium(V) oxide V_2O_5。前者是过渡元素本身，后者是其化合物，说明催化剂不一定只是一块纯金属。面对甲醇 methanol CH_3OH 或乙酸 ethanoic acid CH_3COOH 等新反应的选项，本题仍先比较所列元素类别，不需要凭反应物名字去猜产品颜色。

过渡元素通常具有较_____的密度和熔点，常形成_____化合物，并常用作_____。Fe(III)中铁的氧化数为_____。

答案：高；有色；催化剂；+3

怎么认 先把表中几种性质合看，确认其类别；选择催化剂时给具体元素名称，再用其过渡元素身份说明理由。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q24） · 1 级

Some information about an element is shown.

melting point / °C	1555
boiling point / °C	2963
colour of oxide	brown
use of element	as a catalyst

What is the position of this element in the Periodic Table?

A Group I

B Group VII

C Group VIII

D transition elements

解：原表给出熔点 1555°C、沸点 2963°C，说明熔沸点很高；其氧化物为棕色，属于有色化合物；该元素还用作催化剂。

高熔沸点、常形成有色化合物、常用作催化剂，这组性质符合 transition elements。I 族金属通常熔点较低，VII 族卤素和 VIII 族稀有气体也不符合这种高熔点催化金属的组合。选 D。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q24） · 1 级

Zirconium is a transition element.

What is a property of zirconium?

A high density

B does **not** conduct heat

C forms white compounds only

D low melting point

2. （2025·May/June 0620/13 Q24） · 2 级

Which row describes the properties of a transition element?

	melting point / °C	density at r.t.p.	colour and state of its oxide at r.t.p.
A	–210	low	brown gas
B	113	high	white solid
C	650	low	white solid
D	1085	high	red solid

3. （2025·May/June 0620/41 Q5(b)(iv)） · 2 级

Methanol, CH_3OH, is manufactured by the reaction between hydrogen and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$2H_2(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$$

(iv) Suggest which of the elements from the list is a suitable catalyst for the reaction. Give a reason for your answer.

barium **carbon** **copper** **potassium** **sulfur**

catalyst

reason

4. （2025·May/June 0620/43 Q5(b)(iii)） · 2 级

Ethanoic acid is manufactured in the reaction between methanol and carbon monoxide.

An equilibrium mixture is produced.

$$CH_3OH(g) + CO(g) \rightleftharpoons CH_3COOH(g)$$

(iii) Suggest which element from the list is a suitable catalyst for the reaction.

Give a reason for your answer.

aluminium **carbon** **cobalt** **magnesium** **sodium**

catalyst

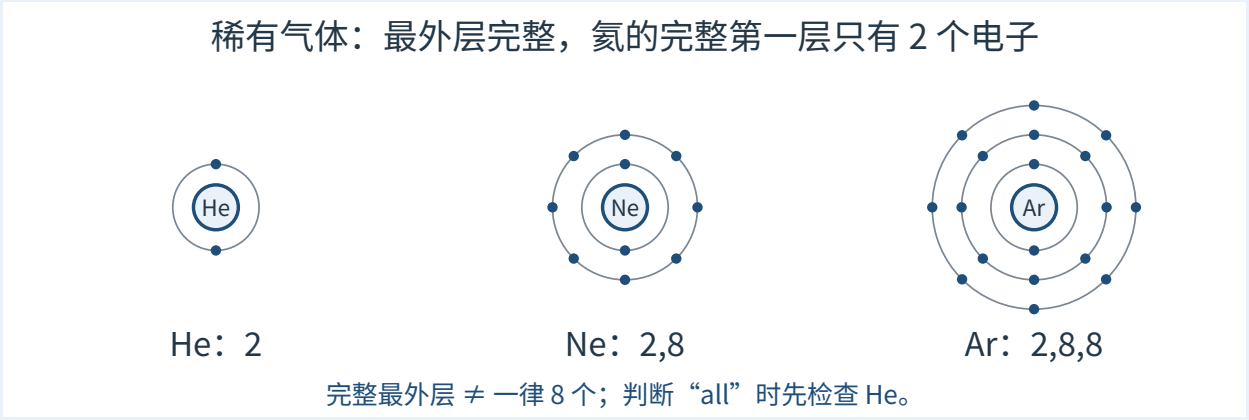
reason

8.5 稀有气体

题型 1：用完整外层解释稀有气体，并按给定数据预测

知识点 第 VIII 族是稀有气体 noble gases，包括氦 helium He、氖 neon Ne、氩 argon Ar、氪 krypton Kr、氙 xenon Xe 等。它们在通常条件下很不活泼 unreactive，这与完整的最外电子层有关：一般化学反应很难使这种排布再通过简单得失电子变得更稳定。

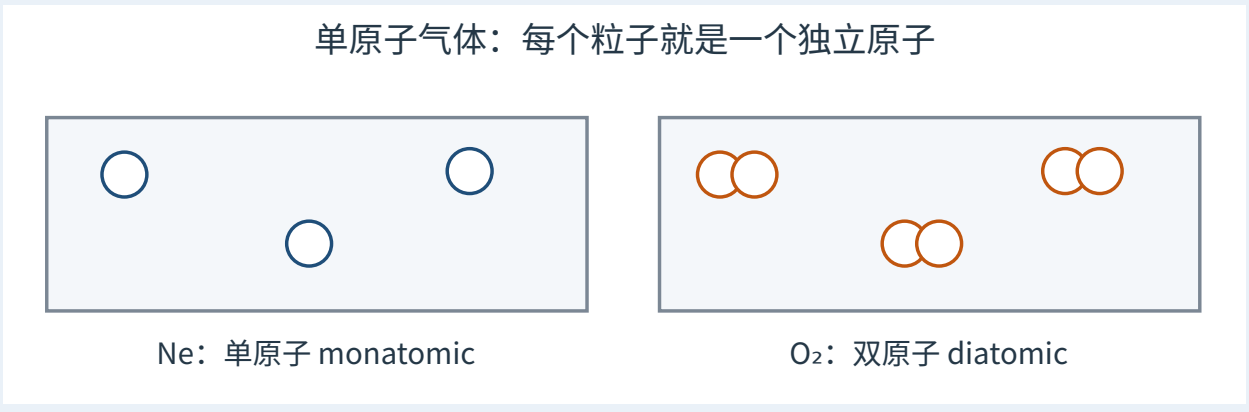
“最外层完整”与“最外层一律有 8 个电子”必须分开。He 只有第一层，两个电子就已占满；Ne 为 2,8，Ar 为 2,8,8，最外层各为 8。



He 的第一层已满只需 2 个电子；Ne、Ar 的最外层各有 8 个，三者均具有完整外层。

例如，判断“all noble gases have eight outer electrons”，先检验 He。He 是稀有气体，却只有 2 个外层电子，所以这一全称断言错误。若改成“all have a full outer shell”，He 也满足，便不再有这个反例。较重的常见稀有气体如 Kr、Xe 也有 8 个最外层电子，不能因为它们总电子数更多，就把总数当作外层数。

在通常条件下，稀有气体以单独原子组成气体，叫单原子 monatomic。这个词说明“一个粒子中有一个原子”，并不表示一个容器里只有一个原子。相对地，氧气 oxygen O_2的一个粒子含两个氧原子，是双原子分子，虽也是气体，却不是稀有气体。



两幅图都表示气体；左边每个粒子只有一个原子，右边每个粒子含两个原子。

例如，一条叙述若同时说某类气体“reactive, monatomic”，两部分都要核对。稀有气体符合 monatomic，却不符合 reactive，所以整条叙述仍错误。也不能因 He 外层不是 8，就把它从稀有气体或单原子气体中排除；它的两电子第一层本来就完整。

有些题不要求背未知元素的密度或沸点，而提供一列数据让我们预测。先看表中元素的族内顺序，再分别检查每一列是增加还是减少。若上下两个相邻已知值之间缺一项，在该趋势成立的区间内，可把缺项夹在两者之间；两列数据必须同时满足各自的范围。

根据表中趋势夹范围：负温度仍按数轴比较

示范：用 He 和 Ar 的数据，为中间的 Ne 限定范围

元素	He	Ne	Ar
密度 / g/dm³	0.2	?	1.8
沸点 / °C	−269	?	−186



0.2 < 密度 < 1.8；−269 < 沸点 < −186。

例如 0.9 和 −246 同时在范围内；不必假设相邻差值相等。

沿表中向下增加的趋势夹住中间元素；温度越靠近零越大，不能只比较负号后的数字。

例如，在图中 He、Ne、Ar 的顺序里，He 密度 0.2、Ar 为 1.8 g/dm³，且这段数据向下增加，所以 Ne 的预测值要介于 0.2 与 1.8 之间。沸点从−269 到−186°C 同样增加；−186 较接近零，是较大的数，不能因 269 的绝对值更大就说−269 较热。因此 Ne 的预测沸点介于−269 与−186 之间，0.9 g/dm³和−246°C 满足两列条件。

若选项把正确密度与错误沸点放在同一行，整行仍要排除。仅凭向下增加，也不能断定每相邻两行必定增加同样的数值；本题做的是按给定趋势筛范围，不是强行取上下两数的平均值。

稀有气体通常以_____原子粒子存在。它们不活泼的电子排布特征是_____；其中 He 有_____个最外层电子。−186°C 比−269°C_____。

答案：单；最外层完整；2；高

怎么认 全称叙述先检查 He 这个必要例外；多条件叙述逐项核对。数据预测则为每列分别夹范围，再检查一个选项是否同时满足。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q25） · 2 级

Some gases exist as single atoms, are unreactive and have eight electrons in their outer electron shell.

Which gases fit this description?

1 helium

2 argon

3 oxygen

4 krypton

A 1, 2 and 4 **B** 1 and 3 **C** 2 and 4 only **D** 3 only

解：三个条件必须同时满足：以单原子存在、不活泼、最外层有 8 个电子。

1 helium 虽然是单原子稀有气体且不活泼，但只有 2 个最外层电子，因此不满足全部条件。

2 argon 是稀有气体，最外层有 8 个电子，符合。

3 oxygen 常以 O_2双原子分子存在，也不是不活泼的稀有气体，不符合。

4 krypton 为稀有气体，最外层有 8 个电子，符合。

因此仅 2 和 4 符合，选 C。这里排除 He 的理由是明确的“eight electrons”条件，不是把 He 排除出稀有气体。

例题 2 （2025·May/June 0620/22 Q21） · 3 级

The table shows some properties of noble gases.

noble gas	density in g / dm^3	boiling point in °C
helium	0.2	–269
neon	0.9	–246
argon	1.8	–186
krypton		
xenon	5.9	–108

Which row predicts the density and the boiling point of krypton?

	density in g / dm^3	boiling point in °C
A	1.4	–75
B	2.4	–195
C	3.8	–153
D	8.5	–213

解：先读元素顺序：Kr 在 Ar 与 Xe 之间。表中密度从 He 到 Ne 到 Ar 再到 Xe 总体增加，所以 Kr 的预测密度应在 1.8 与 5.9 g/dm³之间。
沸点也向下增加：Ar 为–186°C，Xe 为–108°C，因此 Kr 的预测沸点要满足以下范围，单位为°C：
–186 < 沸点 < –108
负温度按数轴比较，–153 在这两者之间，–195 和–213 则比–186 更低。
逐行核对：A 密度 1.4 低于 1.8，沸点–75 又高于–108，两列都不合范围。B 密度 2.4 可行，但–195 不在沸点范围。C 的 3.8 与–153 两列都满足。D 密度 8.5 高于 5.9，–213 也不满足。
只有 C 同时符合，选 C。不必假定相邻元素的数值差相等，也不能只看密度一列就决定。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q25） · 2 级

Which statements about the elements in Group VIII are correct?

1 They all have eight electrons in their outer electron shell.

2 They all react with sodium to form ionic compounds.

3 They are all monatomic gases.

A 1 and 2 **B** 1 only **C** 2 and 3 **D** 3 only

2. （2025·May/June 0620/21 Q24） · 2 级

Two statements about noble gases are listed.

1 Noble gases are reactive, monatomic gases.

2 Noble gases all have a full outer shell of electrons.

Which statements about noble gases are correct?

A Both statements are correct, and statement 2 explains statement 1.

B Both statements are correct but statement 2 does **not** explain statement 1.

C Statement 1 is correct but statement 2 is **not** correct.

D Statement 2 is correct but statement 1 is **not** correct.

金属

9.1 金属、用途与合金

题型 1：由性质选择金属和合金并解释原子层结构

知识点 先说物体能做什么，再给性质起名字。金属能把热从较热的一端传向较冷的一端，叫导热性良好（good thermal conductivity）；电荷容易通过，叫导电性良好（good electrical conductivity）。这两项性质分别关系到热传递和电流，不是在问金属与酸反应快不快。

比较通常性质时，也要保留重要例外

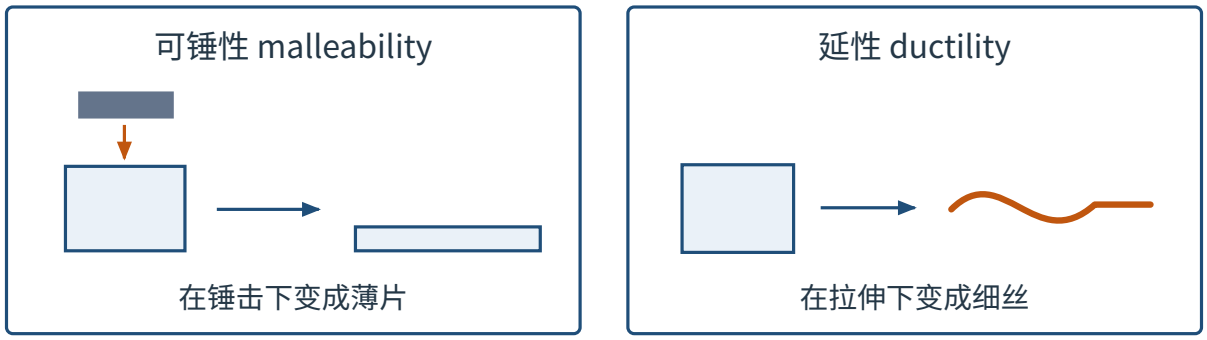
性质	金属通常表现	非金属通常表现
导热、导电	良好	较差（石墨能导电）
锤击与拉伸	可锤成片、可拉成丝	固态时通常较脆
熔点、沸点	通常较高	通常较低
重要例外	第 I 族金属熔点较低	金刚石、石墨熔点很高

这里比较通常性质；例外另列，不能把“所有金属熔点都高”当成普遍真命题。

金属通常容易加工成片或丝，熔点、沸点也通常较高；非金属通常导热、导电较差，固态时较脆，熔点和沸点通常较低。但“通常”有例外：第 I 族金属如锂的熔点相对较低；金刚石和石墨的熔点很高，石墨还能导电。判断“铁和锂共同具有哪些性质”时，不能把铁的所有特点都直接复制给锂。

可锤性与延性分开记。能在锤击下变成薄片，叫可锤性（malleability）；能被拉成细丝，叫延性（ductility）。固体硫等脆性非金属受力时容易碎裂，不能像金属一样加工成连续薄片或金属丝。

可锤成片与可拉成丝，是两种不同的加工动作

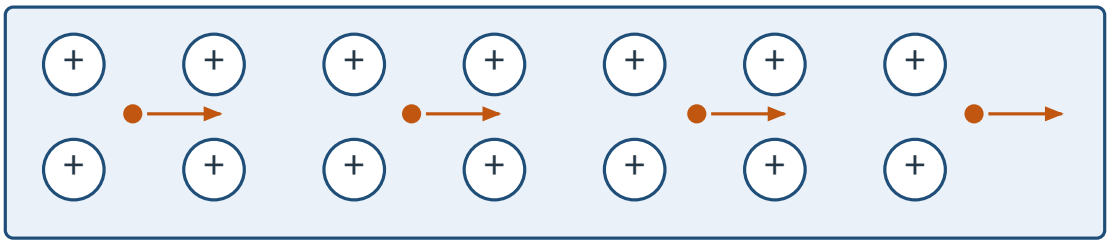


两组蓝箭头各表示同一种材料加工前后的形状变化；左图橙箭头表示锤击方向。

例如，题目说一种材料能被拉成电线，先圈出“拉成丝”，对应 ductile；若说锤成薄片，则对应 malleable。比较钾与硫时，钾是金属，通常导热较好；硫是非金属，可锤性较低。higher 和 lower 分别问相反方向，要逐列读。

金属内部是谁在携带电荷？金属结构中，正金属离子排列在一起，自由电子（delocalised electrons）能在结构中移动。接上电压后，电子的定向运动形成电流。不是“金属原子在导线中自由移动”，也不是靠正金属离子穿过整根固态导线。

金属导电，移动的电荷来自自由电子



正金属离子在原位附近振动；自由电子可在结构中移动。

大圆表示正金属离子，小橙点只示意部分自由电子，不用于计数电荷。橙箭头表示外加电压下电子定向移动的一个示例方向。

例如，“铜导电是因为铜原子可以到处移动”把载流对象写错了。应改为“铜中有可以移动的自由电子”。金属受外力时原子层能够相对滑动，是另一个现象，要与通电时电子运动分开。

一种性质为什么能解释一种用途？密度表示单位体积的质量。在体积相同时，密度越低，质量越小；这有助于减轻飞机和架空电缆的重量。铝（aluminium）密度低，又导电良好；铜（copper）导电良好，还有延性。

选材料：先写使用场景需要什么性质

材料与场景	需要的性质
铝：飞机	密度低，减轻重量
铝：架空电缆	密度低，而且导电良好
铝：食品容器	耐腐蚀
铜：电线	导电良好，而且有延性

密度低表示相同体积的材料质量较小。选择材料时，性质既要正确，也要能解释该用途。

铝用于飞机，关键是密度低；用于架空电缆，需要同时考虑密度低和良好的导电性；用于食品容器，要考虑耐腐蚀。铜用于电线，要同时能导电、能拉成连续细丝。铝表面形成的致密氧化层保护内部金属，所以能耐腐蚀；不能因为“表面看起来不易反应”就断言铝活动性很低。

例如，若比较铝和铜做架空电缆，且题目说铜的导电性比铝更高，这句话即使正确，也不能拿来解释“为什么选铝”。要选能支持选铝的理由，例如相同体积铝的质量更小。题目问“解释选择”，不等于问“找出所有事实正确的叙述”。

合金不是一种纯化合物。将金属与其他元素混合，得到的材料叫合金（alloy）。它至少含一种金属，另外的元素可以是金属，也可以是碳这样的非金属。合金是混合物，没有必须固定的组成比例。

合金是混合物；不要求所有原子大小相同

合金名称	组成	本节要用的性质或用途
黄铜 brass	铜 + 锌	通常比纯铜硬
不锈钢 stainless steel	铁 + 铬、镍、碳等	硬、耐锈蚀；用于餐具
青铜 bronze（辨错补充）	铜 + 锡	与黄铜的组成不同

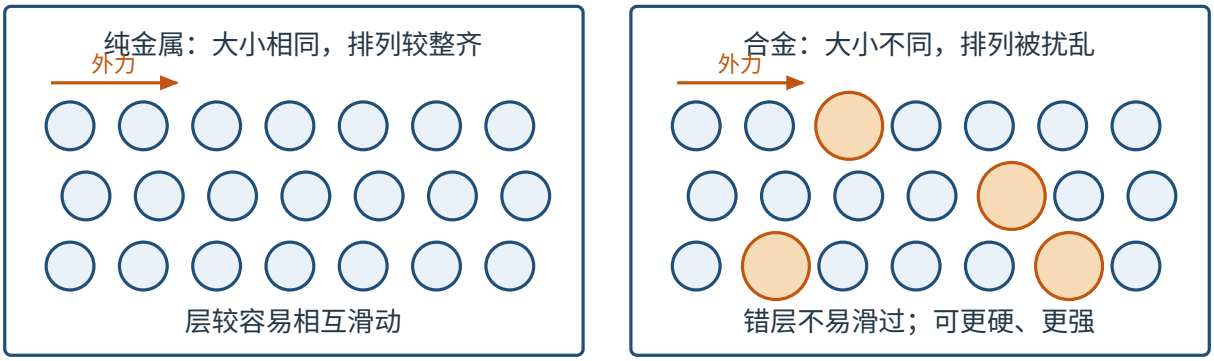
“金属与其他元素的混合物”包含钢中加入碳的情况。

表中“+”表示混合的成分，不表示反应方程式，也不规定固定组成比例。青铜用于辨别例题的干扰项。

黄铜是铜和锌的混合物；不锈钢主要是铁，并含铬、镍、碳等其他元素。青铜则含铜和锡，不能把它的成分拿去回答黄铜。例如，“含铜的黄铜中另一种金属是什么？”先还原黄铜的“铜＋锌”组合，再除去题目已给的铜，剩下 zinc；若题目已给锌，剩下 copper。

为什么加入其他元素后可能更硬？纯金属的原子大小相同，层排列较整齐，受力时层与层较容易相互滑过。合金中原子大小不同，会扰乱整齐的层排列，使原子层不容易滑过。

为什么合金的原子层更难滑动？



圆只比较原子的大小与排列；图中没有画自由电子。

两幅使用相同的圆形原子模型。橙箭头表示外力方向；合金图以不同大小的原子表现层排列受到扰乱。

因此合金可以比纯金属更硬、更强，更能保持所需形状。“更硬”指较难被刮划或压出凹痕；“更强”指能承受较大的作用力而不破坏。不能写成“所有合金都比所有纯金属强”，也不能用“原子全部一样大”来解释合金。

不锈钢用于餐具，是因为它硬而且耐锈蚀；刀叉需要保持形状，又经常接触水和食物。如果表中某种钢虽然强，却脆而容易腐蚀，就不能只凭“强”这一点选它。例如，给两种材料，一种硬但会生锈，一种硬且耐锈蚀，后者才同时满足餐具的这两个要求。

金属中移动并携带电荷的是_____。能拉成丝叫_____。黄铜含铜和_____；不锈钢适合餐具的两个性质是_____和_____。

答案：自由电子；延性 ductility；锌；硬；耐锈蚀

怎么认 先把用途变成需要的性质，再核对材料是否满足。合金题先认组成和混合物身份；解释硬度时按“原子大小不同→层排列受扰→不易滑动”完成因果链。

例题 1 （2025·May/June 0620/21 Q25） · 1 级

Which statement about the properties and uses of copper is correct?

A It is used in electrical wiring, and it is ductile.

B It is mixed with tin to make the alloy brass.

C It is used in overhead electrical cables because it has a low density.

D It is used in takeaway food containers because of its resistance to corrosion.

解：题目同时问铜的性质和用途，要让一句话中的两部分匹配。铜导电良好，而且 ductile 表示有延性，能被拉成电线，因此 A 正确。

B 把黄铜的组成写错了：黄铜是铜与锌的合金，铜与锡的组合属于青铜。C 给出“低密度、架空电缆”的组合，对应本节所学的铝，不是铜。D 给出食品容器与耐腐蚀的用途组合，也是本节要求掌握的铝的用途。只有 A 正确描述铜，故选 A。不要只看到 electrical 就选任意一句；还要核对材料、性质及具体用途。

例题 2 （2025·May/June 0620/22 Q25） · 2 级

Brass is an alloy of copper.

Which statement about brass or copper is correct?

A Brass does **not** conduct electricity because it is a compound.

B Copper conducts electricity because its atoms are free to move.

C Brass is harder than copper because its layers of atoms **cannot** easily slide over each other.

D Copper is stronger than brass because it is a pure metal.

解：黄铜 brass 是铜与锌组成的合金。与纯铜较整齐的原子层相比，黄铜中不同大小的原子扰乱层排列，使各层不容易相互滑过，所以黄铜可以比铜硬。C 把结构原因与性质正确连接，选 C。

A 错在把合金当成化合物，并由此断言不导电；黄铜是混合物，仍能导电。B 说铜原子可以自由移动，却写错了载流对象：应是自由电子。D 仅凭“纯金属”就说铜一定更强，也不符合本题比较；这里合金的结构使滑动更困难。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q3(b)(i)） · 1 级

This question is about copper and compounds of copper.

(b) Copper is in alloys such as brass.

(i) State **one** reason why alloys are more useful than pure metals.

2. （2025·May/June 0620/41 Q3(b)(ii)） · 1 级

This question is about copper and compounds of copper.

(b) Copper is in alloys such as brass.

(ii) Name the substance that is present in brass, other than copper.

3. （2025·May/June 0620/42 Q4(b)） · 1 级

Chromium is the element with atomic number 24 in the Periodic Table.

(b) Chromium can be mixed with nickel and other elements to form stainless steel.

Name the type of substance formed when a metal is mixed with other elements.

4. （2025·May/June 0620/43 Q3(b)(i)） · 1 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(b) Zinc is present in alloys such as brass.

(i) State the meaning of the term alloy.

5. （2025·May/June 0620/43 Q3(b)(ii)） · 1 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(b) Zinc is present in alloys such as brass.

(ii) Name the substance that is present in brass, other than zinc.

6. （2025·May/June 0620/12 Q29） · 2 级

Pure metals can be combined to make alloys.

Why are the alloys sometimes used rather than the metals they are made from?

A Alloys are easier to extract and cheaper.

B Alloys are easier to hammer into different shapes.

C Alloys are harder and keep their shape better.

D Alloys contain only atoms of the same size but pure metals do **not**.

7. （2025·May/June 0620/13 Q26） · 2 级

Sulfur and potassium are two elements in the Periodic Table.

Which row identifies the element with the higher thermal conductivity and the element with the lower malleability?

	higher thermal conductivity	lower malleability
A	sulfur	potassium
B	sulfur	sulfur
C	potassium	sulfur
D	potassium	potassium

8. （2025·May/June 0620/13 Q27） · 2 级

Three statements about aluminium and copper are listed.

1 The density of aluminium is less than that of copper.

2 The electrical conductivity of copper is higher than that of aluminium.

3 Aluminium is more reactive than copper.

Which statements explain why aluminium is used instead of copper to make overhead power cables?

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 1 only **D** 2 and 3

9. （2025·May/June 0620/21 Q23） · 2 级

Some properties of elements are listed.

1 They have good electrical conductivity.

2 They have high melting points.

3 They are malleable.

4 They have ions with variable oxidation numbers.

Which properties are correct for **both** iron and lithium?

A 1 and 3 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 2 and 4

10. （2025·May/June 0620/11 Q28） · 2 级

Steel is a mixture of iron and one or more other elements.

The table gives some information about three common types of steel.

	type of steel	elements added to iron	properties
1	high-carbon steel	carbon only	strong, brittle and corrodes
2	low-carbon steel	carbon only	soft, easily shaped and corrodes slowly
3	stainless steel	carbon, chromium and nickel	hard and resistant to corrosion

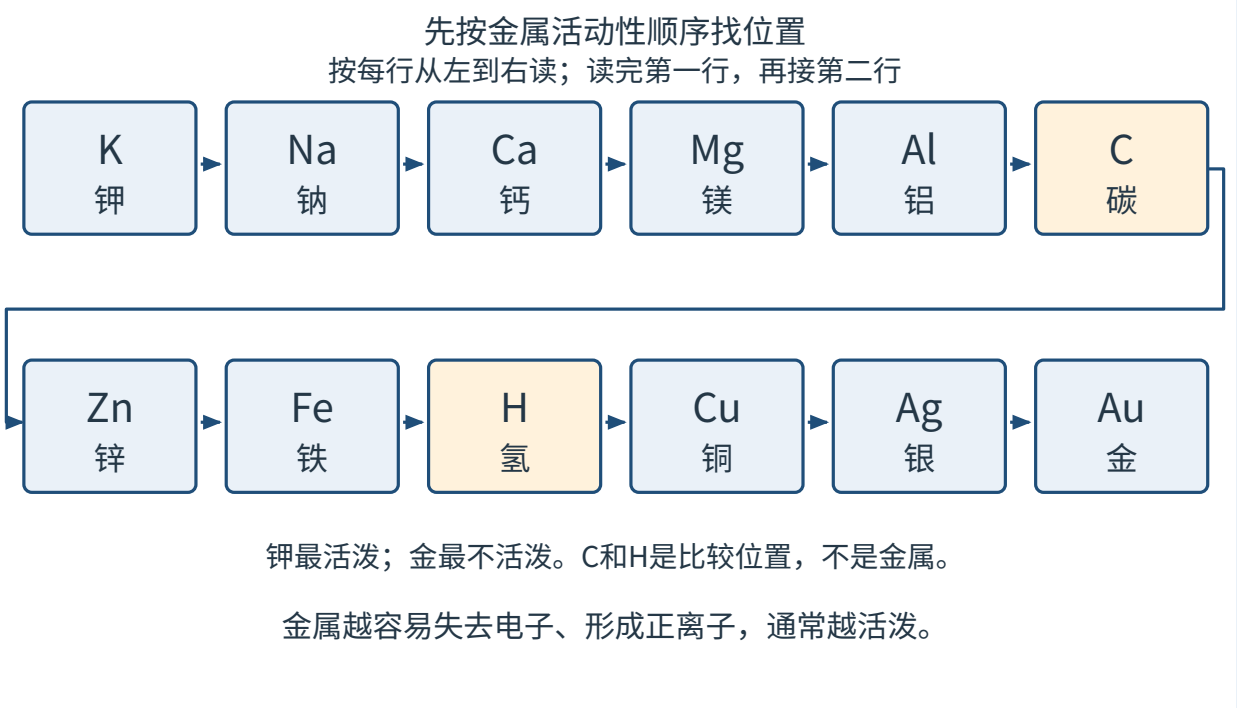
Which rows identify a type of steel that is suitable to make cutlery?

A 1 and 2 **B** 1 only **C** 2 and 3 **D** 3 only

9.4 金属活动性

题型 1：用水、稀酸和置换结果推金属活动性

知识点 反应更活泼是什么意思？ 在相同、可比较的条件下，有些金属更容易与水、稀酸或其他金属的离子发生反应。把这些金属按活动性排列，就得到金属活动性顺序（reactivity series）。下面的 C 和 H 不是金属，是用来比较碳提取金属、金属与酸反应的两个参照位置。



箭头只表示活动性从强到弱的阅读顺序，不表示这些元素互相转化。C 和 H 保留作提取及与酸反应的比较位置。

顺序从强到弱是：钾、钠、钙、镁、铝、碳、锌、铁、氢、铜、银、金。比较两个名字时，先在顺序里定位，排在前面的较活泼。例如，钙在镁前，钙与冷水反应比镁明显；铁在铜前，不能把铜与稀盐酸的反应说成比铁更快。

先区分反应条件。 冷水（cold water）与水蒸气（steam）温度和状态不同，反应结果也可能不同。稀盐酸（dilute hydrochloric acid）和稀硫酸（dilute sulfuric acid）中的酸根不同，所得盐的名称也不同。

与水、蒸气和稀酸反应时，逐项看条件和产物

金属与条件	主要产物	观察与判断
K、Na、Ca + 冷水	金属氢氧化物 + H_2	放出气泡；K、Na更剧烈
Mg + 水蒸气	MgO + H_2	加热镁与蒸气反应
Mg、Zn、Fe + 稀盐酸	金属氯化物 + H_2	放出气泡；金属逐渐溶解
Cu、Ag、Au + 稀盐酸	通常不反应	不放出H_2
金属 + 氧气	金属氧化物	例如Mg燃烧生成MgO

表中冷水、蒸气、稀盐酸和氧气是不同条件；产物不能只根据“都含水”或“都是酸”互换。

钾、钠、钙能与冷水反应，生成相应的金属氢氧化物和氢气；钾、钠反应较剧烈，钙持续冒泡。例如：

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$$

$$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2$$

氢氧化物使所得溶液呈碱性。镁与冷水反应很慢，遇水蒸气并加热时反应明显：

$$Mg + H_2O(g) \rightarrow MgO + H_2$$

这里生成氧化镁，不是把蒸气反应的产物照抄成氢氧化物。

镁、锌、铁在氢前，能与稀盐酸生成相应氯化物和氢气；铜、银、金在氢后，通常不与稀盐酸反应。比如：

$$Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2$$

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2$$

把稀盐酸改为稀硫酸时，相应盐改为硫酸盐，如：

$$Mg + H_2SO_4 \rightarrow MgSO_4 + H_2$$

不能把这里的结论不加条件地推广到所有酸。

例如，镁分别遇稀硫酸和水蒸气，两个反应都会生成 H_2；不同之处是前者还生成 $MgSO_4$，后者还生成 MgO。判断“有没有氢气”时，两栏都应填“有”，不能因为另外一个产物不同就否认氢气。

金属与氧气反应时生成金属氧化物。例如镁在氧气中燃烧，发出耀眼白光，得到白色氧化镁：

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$

与氧气反应是在生成氧化物，不是在放出氢气。先认清所加的反应物，再写相应产物。

从实验现象排顺序。 在相同酸浓度、温度和金属暴露表面积等条件下，可以比较单位时间内冒泡的快慢；较快的反应通常对应较活泼的金属。“一共得到多少气体”还与反应物的量有关，不能直接当成反应快慢。

从实验结果排序，要比较同一列条件

代号	在相同稀盐酸中单位时间的现象	活动性比较
X	大量气泡	最强
Y	少量气泡	中间
Z	不放出气泡	最弱

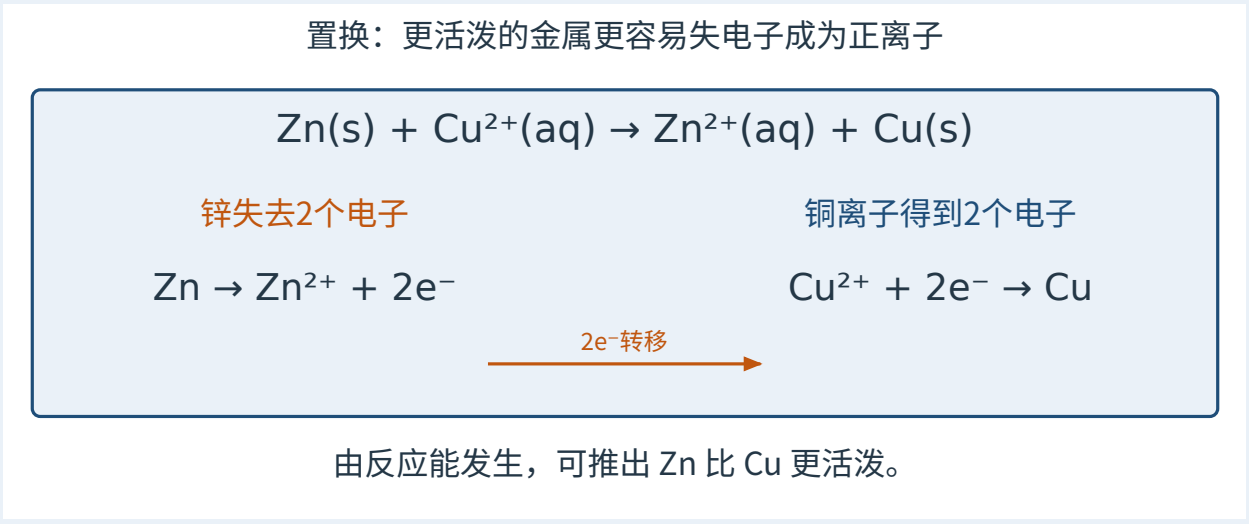
同样温度、浓度和金属表面积下：X > Y > Z。

X、Y、Z 表示三种待比较的金属；“>”表示更活泼。判断快慢看单位时间的产气情况，不能只比反应最终总气量。

读一个同时给冷水、蒸气或稀酸的表格时，先比较同一列，再合并各列的信息。能与冷水明显反应的较活泼；不能明显与冷水反应但能与蒸气反应的次之；只与稀酸反应的更弱；连给定稀酸也不反应的放在最后。若题目明确说镁与冷水反应“很慢”，要保留“很慢”，不能一概改写成绝对不反应。

读出强弱以后，还要看题目要求是 most to least（强到弱），还是 least to most（弱到强）。例如，图中得到 X > Y > Z。问最活泼到最不活泼，写 X、Y、Z；问最不活泼到最活泼，就写 Z、Y、X。排序方向改变，实验关系本身没有改变。

置换为什么能反映活动性？ 金属原子失去电子，会变成正离子。例如一个锌原子失去两个电子，成为 Zn^{2+}。较活泼的金属更容易失电子、形成正离子，能把较不活泼金属的水溶液离子置换出来。



方程式保留原子、电荷和电子数守恒；中央橙箭头表示电子由锌转移给铜离子，不表示锌原子变成铜原子。

锌能与铜离子反应：

$$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$$

锌失电子，铜离子得电子；据此得到 Zn 比 Cu 活泼。镁、锌、铁、铜、银的相对顺序也遵循这个规则：更前的金属通常能从后面金属的离子溶液中置换出该金属。离子式里的 aq 表示水溶液，s 表示固体；金属名称相同的原子和离子不能混为一个反应物。

怎样读置换矩阵？先找行标题，它表示加入的金属；再找列标题，它表示溶液里的金属离子。某格打勾，表示这一行的金属能置换这一列的离子，所以“行金属”比“列所对应的金属”活泼。打叉表示在给定条件下不发生这次置换；同一种金属遇自己的离子，也不形成这样的净置换。

例如，若“镁”行、“Zn^{2+}”列打勾，写 Mg > Zn；若“锌”行、“Cu^{2+}”列也打勾，写 Zn > Cu。两条合在一起是 Mg > Zn > Cu。题目若问“谁更容易形成正离子”，就把较活泼的那一个写出来，而不是选更容易得到电子的离子。

信息不够时，只补缺少的一对。有时几条反应只能确定部分顺序，还不能比较所有金属。两种金属都能置换同一较不活泼金属，并不能据此比较这两者谁更活泼。

已有比较不一定足够排出完整顺序

已知实验条件	能推出什么	仍不知道什么
X能置换Y^{2+}	X > Y	X与Z谁更活泼?
Z能置换Y^{2+}	Z > Y	仅这两项不能确定

补做X与Z^{2+}的比较，可直接检验缺少的X和Z关系。

X、Y、Z 表示三种金属。X 与 Z 都比 Y 活泼，并不意味着 X 和 Z 之间已经有确定顺序。

上图已有 X > Y 和 Z > Y，但缺 X 与 Z 的比较。再确认一次 X 能置换 Y 没有增加新信息；测试 X 与 Z^{2+}，才可能给出缺少的关系。例如，若补充实验发生置换，便得到 X > Z，再与 Z > Y 合并，才有完整的 X > Z > Y。

活动性高，有时却看起来反应慢。铝排在锌、铁和铜前，但表面能形成薄而致密、附着牢固的氧化铝层，阻止内部铝继续接触水或空气。所以铝在一些观察中表现得不活泼，是表面受到保护，不是铝在活动性顺序中排得很后。

铝表面的氧化层，可以挡住进一步反应



观察到表面反应慢，不能据此把铝排到铜的后面。

上方箭头表示外来物质接近表面，停止在保护层处。横截面只是示意，氧化层厚度没有按比例绘出。

活动性还影响提取金属的难易。越活泼的金属越容易以正离子形式与其他元素结合；要从矿石中的化合物重新得到金属，通常更困难，需要更强的还原条件或电解。因此铝比铁活泼，并不意味着铝比铁更容易从矿石里提取。后面的提取单元会把这个关系落实到高炉和电解过程。

金属失电子后形成_____。能从 Cu^{2+} 溶液中置换出铜的锌，比铜更_____。Mg 与蒸气生成的固体是_____。铝表观不活泼的原因是表面有_____。

答案：正离子；活泼；氧化镁 MgO；致密氧化铝层

怎么认 先读试剂与条件；观察表按同一列比较后再合并，置换表先认行金属与列离子。把每个反应写成强弱关系，核对排序方向；若不能排全，找尚缺的一对比较。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q25） · 2 级

The table shows the observations when four metals, Q, R, S and T, are added separately to cold water and to dilute hydrochloric acid.

metal	observation with cold water	observation with dilute hydrochloric acid
Q	slow fizzing	fizzing
R	no reaction	fizzing
S	no reaction	no reaction
T	vigorous fizzing	vigorous fizzing

Which row gives the order of reactivity of the metals?

	least reactive → most reactive			
A	S	Q	R	T
B	T	R	Q	S
C	S	R	Q	T
D	T	Q	R	S

解：先看排序方向。表下方从 least reactive 指向 most reactive，要求由最不活泼排到最活泼。

先比较冷水这一列。T 与冷水剧烈冒泡，Q 缓慢冒泡，所以 T 比 Q 活泼；R 和 S 与冷水都不反应，不能只靠这一列区分 R、S。Q 能与冷水反应，而 R、S 不能，所以 Q 在这两者前。

再用稀盐酸区分剩下的一对。R 与稀盐酸冒泡，S 仍不反应，因此 R 比 S 活泼。合并得到强到弱为 T > Q > R > S。

题目要求的方向相反，应写 S、R、Q、T，正好是 C 行，故选 C。只按冷水列猜 R 和 S 的顺序会漏用酸这一列的必要信息。

例题 2 （2025·May/June 0620/21 Q27） · 3 级

Four metals J, K, L and M are added separately to aqueous solutions of their ions.

The results are shown.

	aqueous ions			
metal	J^{2+}	K^{2+}	L^{2+}	M^{2+}
J	✗	✓	✓	✓
K	✗	✗	✗	✓
L	✗	✓	✗	✓
M	✗	✗	✗	✗

key

✓ = reaction

✗ = no reaction

Which statement about the metals is correct?

A J has a greater tendency to form positive ions than K.

B L has a greater tendency to form positive ions than J.

C K has a greater tendency to form positive ions than L.

D M has a greater tendency to form positive ions than K.

解：先认行、列和图例。左边 J、K、L、M 是加入的金属；上方 J^{2+}、K^{2+}、L^{2+}、M^{2+}是溶液里的离子。打勾表示反应，打叉表示不反应。某一行能置换某一列，表示行金属更活泼、更容易失电子形成正离子。J 这一行能与 K^{2+}、L^{2+}和 M^{2+}反应，所以 J 在三者前。L 能置换 K^{2+}和 M^{2+}，但不能置换 J^{2+}，因此：

J > L > K

同时，L 比 M 活泼。K 只能置换 M^{2+}，又得到 K 比 M 活泼。将这些关系接起来：

J > L > K > M

A 说 J 比 K 更容易形成正离子，与所得顺序一致，所以正确。B 把 L 与 J 的关系倒置；C 把 K 与 L 倒置；D 把 M 与 K 倒置。因此选 A。

这里比较的是金属原子失去电子的倾向，不能把“正离子得到电子形成金属”这一另一半反应，当成金属活动性的定义。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/11 Q26） · 2 级

Magnesium is reacted separately with dilute sulfuric acid and with steam.

Which row correctly identifies if hydrogen is formed as a product in each reaction?

	reaction with dilute sulfuric acid	reaction with steam
A	✓	✓
B	✓	✗
C	✗	✓
D	✗	✗

key

✓ = hydrogen is formed

✗ = hydrogen is **not** formed

2. （2025·May/June 0620/12 Q27） · 2 级

Four metals, P, Q, R and S, are separately reacted with dilute hydrochloric acid.

The table shows the observation for each metal.

metal	observation
P	lots of bubbles produced
Q	few bubbles produced
R	no bubbles produced
S	very few bubbles produced

What is the order of reactivity of these four metals, from most reactive to least reactive?

A R → S → Q → P

B P → S → Q → R

C P → Q → S → R

D Q → R → P → S

3. （2025·May/June 0620/21 Q26） · 2 级

Three statements about solid Z are listed.

- It reacts with dilute hydrochloric acid to produce hydrogen.
- It reacts very slowly with cold water and quickly with steam.
- It is a good thermal conductor.

What is solid Z?

A gold

B magnesium

C potassium

D silver

4. （2025·May/June 0620/12 Q26） · 3 级

Which statements about metals are correct?

1 Calcium reacts faster than magnesium with cold water.

2 Aluminium is more easily extracted than iron from its ore.

3 Copper reacts faster than iron with dilute hydrochloric acid.

4 Potassium and silver are both good conductors of electricity.

A 1 and 2 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 3 and 4

5. （2025·May/June 0620/13 Q28） · 3 级

The table gives some information about the reactions of four metals, J, K, L and M.

metal	reactions
J	reacts with steam and hydrochloric acid but **not** with cold water
K	reacts with hydrochloric acid but **not** with steam or cold water
L	reacts with hydrochloric acid and with cold water
M	does **not** react with hydrochloric acid

What is the order of reactivity of metals J, K, L and M?

	most reactive ⟶ least reactive			
A	L	J	K	M
B	L	K	J	M
C	M	J	K	L
D	M	K	J	L

6. （2025·May/June 0620/22 Q26） · 3 级

The ionic equations for some reactions between metals and aqueous metal ions are shown.

$$Cu + 2Ag^{+} \rightarrow 2Ag + Cu^{2+}$$

$$Mg + Zn^{2+} \rightarrow Mg^{2+} + Zn$$

$$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Cu + Zn^{2+}$$

$$Sn + Cu^{2+} \rightarrow Sn^{2+} + Cu$$

Which further information can be used to place copper, magnesium, silver, tin and zinc in order of their reactivity?

A Zinc reacts with Sn^{2+} ions.

B Copper does **not** react with Sn^{2+} ions.

C Magnesium reacts with Cu^{2+} ions.

D Magnesium reacts with Ag^{+} ions.

9.5 金属腐蚀

题型 1：用水和氧条件、屏障与失电子解释防锈

知识点 先确定铁锈是什么，以及生锈需要什么。 腐蚀（corrosion）是材料与环境发生反应而逐渐受损；铁和钢生锈是其中一种情况。铁锈在本课程中称为水合氧化铁(III)，英文是 hydrated iron(III) oxide。“hydrated”表示含水，“III”表示这里铁的氧化数为＋3。

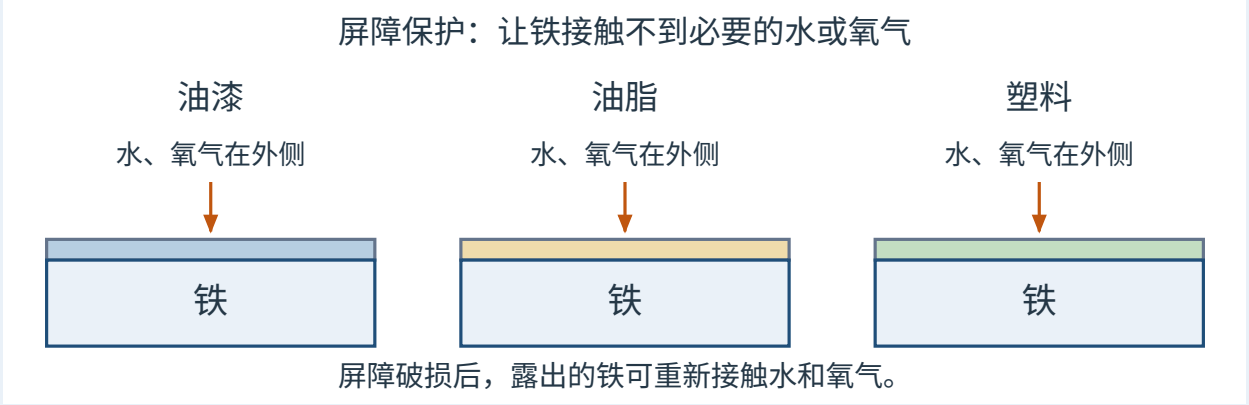
铁要生锈，需要能接触到氧气和水。只有干燥空气，缺水；只有已除去溶解氧并隔绝空气的水，缺氧气。这两种情况都不满足生锈的两个必要条件。



比较同类铁样品在不同水、氧条件下的结果。煮沸赶走溶解氧，油层阻止空气中的氧气重新进入水中。

例如，有水又接触空气的铁钉，水和氧气都存在，会生锈。放在干燥空气里的铁钉，缺水；放在煮沸过的水中并盖油层的铁钉，水中的溶解氧被赶走，而油层阻止空气重新提供氧。后两种不能只因为“有空气”或“有水”就判断会生锈。

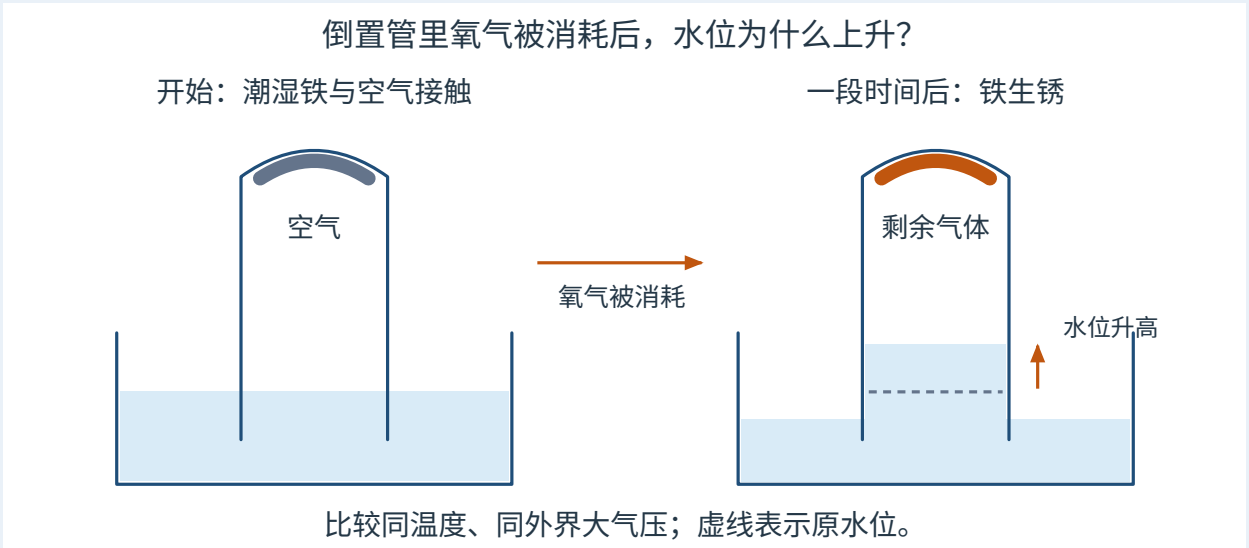
屏障保护要挡住必要的接触。 涂漆、涂油脂、包塑料都能在铁与外界之间形成屏障（barrier）。它们隔绝水或氧气，使铁接触不到生锈所需的反应物。这里不是把铁变成另一种更不活泼的金属。



每组竖箭头表示水和氧气接近保护层，均止于层外。图比较覆盖方式，不表示油漆、油脂和塑料互相转化。

例如，一根铁条涂上完整的油脂后，空气和水不易接触铁，所以不易生锈。若普通油漆被划破，露出的铁重新接触到水和氧气，该处仍可能生锈。屏障的完整性本身就是判断条件。

有些防锈实验用水位报告气体变化。把潮湿铁放在倒置、管口浸入水中的管内，铁生锈时会消耗被困空气里的氧气。先保持温度和外界大气压等条件不变，再追踪气体的去向：氧气进入固体锈蚀产物，不再作为原来那部分气体留在管中。

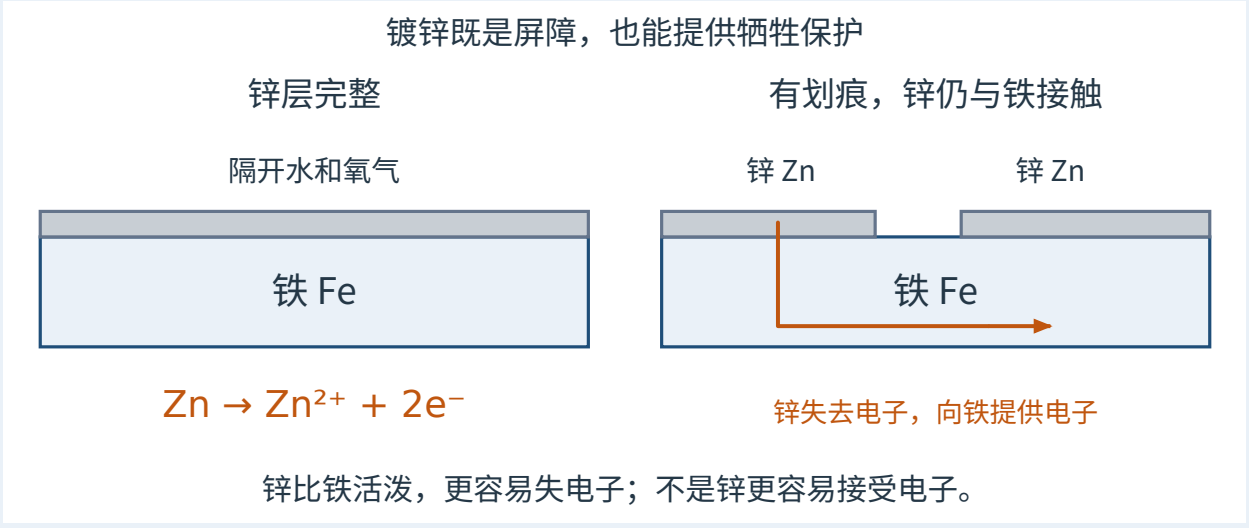


中间箭头表示生锈过程的先后，右侧短箭头表示水面上升。剩余气体体积变小；图未给定体积分数。

氧气被消耗后，管内气体压强会先降低，外界大气压推动水进入管内，直到达到新的平衡。结果是剩余气体占的体积变小，管内水位上升。不能把“气体变少”说成“水也向下掉”；这里正是水进入原先由气体占据的空间。

例如，两支管中铁的面积、温度等条件相同，一支铁表面涂完整油脂，另一支是潮湿的裸露铁。前者不易生锈，不明显消耗氧气，水位基本不变；后者消耗氧气，管内水位上升。这一判断要先回答“哪支会生锈”，再回答“哪支的气体体积会变小”。

镀锌多了一种保护原因。在铁表面覆盖一层锌，叫镀锌（galvanising）。锌层完整时，先作为屏障，把铁与水和氧气分开。即使出现小划痕，只要锌仍与铁接触且没有耗尽，锌还可以优先失电子，保护露出的铁。



截面示意完整与划伤的锌层。橙箭头表达锌向铁提供电子的保护作用；需要锌仍与铁接触且尚未耗尽。

锌在活动性顺序中位于铁前，比铁更容易失电子：

$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$

它向铁提供电子，抑制铁自身的氧化；被优先消耗的是锌，所以叫牺牲保护（sacrificial protection）。“牺牲”指保护金属先发生氧化，不是说铁被迫更快生锈。

例如，“锌比铁活泼，所以更容易接受电子”的结论写反了。活泼金属更容易失去电子形成正离子，应改为 loses electrons more readily，才能解释牺牲保护。

铁锈的英文全名是_____。涂油脂属于_____保护；镀锌还可提供_____保护。牺牲保护时，锌更容易_____电子。

答案：hydrated iron(III) oxide；屏障；牺牲；失去

怎么认 先查铁能否同时接触水和氧气。遇倒置管，再把耗氧连到气体体积和水位；遇镀锌，同时核对屏障作用、锌与铁接触以及锌失电子的方向。

例题 1 （2025·May/June 0620/21 Q29） · 2 级

Galvanising prevents iron from rusting.

Which statements about galvanising are correct?

1 Galvanising involves coating the iron with silver.

2 Galvanising prevents oxygen and water from coming into contact with the iron.

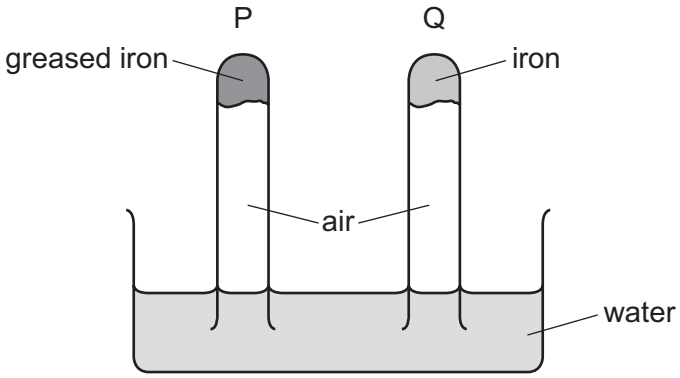
3 Galvanising works because the metal coating loses electrons more readily than iron.

A 1, 2 and 3 **B** 1 and 3 only **C** 2 and 3 only **D** 2 only

解：镀锌 galvanising 是在铁上覆盖锌，不是银，所以叙述 1 错误。锌层完整时能把铁与氧气、水隔开，属于屏障保护，叙述 2 正确。
锌比铁活泼，更容易失去电子：
$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$
只要锌仍与铁接触，它能通过优先氧化提供牺牲保护，因此叙述 3 的 loses electrons more readily 正确。
正确的是 2 和 3，选 C。这个答案需要同时认出镀层材料、屏障作用和失电子机制，不可只记一个“隔绝空气”。

例题 2 （2025·May/June 0620/11 Q29） · 3 级

The diagram shows an experiment to investigate the corrosion of iron.



What happens to the water level in tubes P and Q?

	tube P	tube Q
A	rises	falls
B	no change	rises
C	falls	rises
D	no change	no change

解：先辨认两支管里的铁。P 顶端是 greased iron，表面涂油脂；Q 顶端是裸露铁。两支管都倒置在水中，内有空气。
再判断是否消耗氧气。P 的油脂阻止水和氧气接触铁，铁不易生锈，因此管内没有因锈蚀而明显消耗氧气，水位基本不变。Q 中的铁接触潮湿空气，会生锈并消耗氧气。

Q 中氧气减少后，气体占据的体积减小，外界大气压使水进入管内，所以 Q 的水位上升。两列合起来是 P no change、Q rises，对应 B，故选 B。

水位变化的原因不是铁把水“吸上去”，也不是所有空气都被用完；需要的链条是“铁生锈→消耗氧气→管内气体减少→水进入管内”。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q29） · 1 级

What is the chemical name for rust?

A anhydrous iron(II) oxide

B anhydrous iron(III) oxide

C hydrated iron(II) oxide

D hydrated iron(III) oxide

2. （2025·May/June 0620/22 Q27） · 2 级

Zinc is used to galvanise iron to prevent it from rusting.

Which statements are correct?

1 Galvanising is an example of a barrier method.

2 If the zinc is scratched, the iron will rust very quickly.

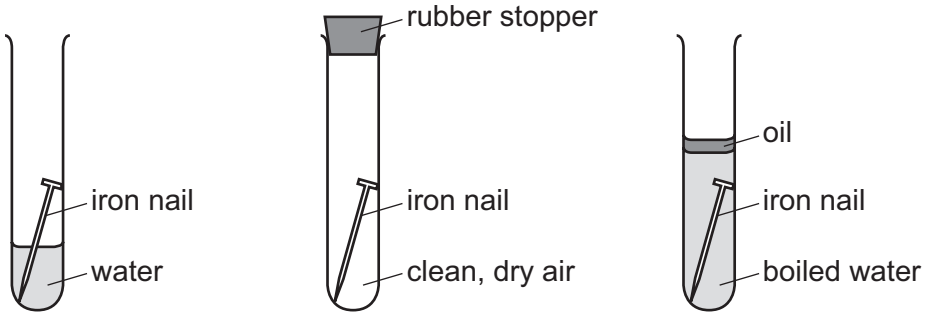
3 Galvanising is an example of sacrificial protection.

4 Zinc is more reactive than iron and so accepts electrons more readily.

A 1, 2 and 4 **B** 1 and 3 **C** 2, 3 and 4 **D** 2 and 3 only

3. （2025·May/June 0620/12 Q28） · 3 级

The diagram shows iron nails which are left for one week in separate test-tubes with the conditions shown.



Which test-tubes show evidence of rusting after one week?

A 1 and 3 **B** 1 only **C** 2 and 3 **D** 2 only

9.6 金属的提取

题型 1：追踪高炉中供热、还原和除杂的反应

知识点 提取金属，先看金属原来以什么形式存在。矿石（ore）是用于提取金属的矿物原料，通常含金属的化合物，还混有其他物质。若铁以氧化铁的形式存在，我们要做的是把铁从这种化合物中转成金属铁。单纯把矿石磨细或过滤，并不会完成这种化学变化。

金属越活泼，通常越难从其化合物中获得金属。先用活动性顺序定位：铝在碳前，不能用碳把氧化铝还原为铝；铁在碳后，可利用还原反应提取。这里的“难易”讨论化学提取，不是看矿石是否容易挖到。

先用活动性判断：碳能不能把金属还原出来？

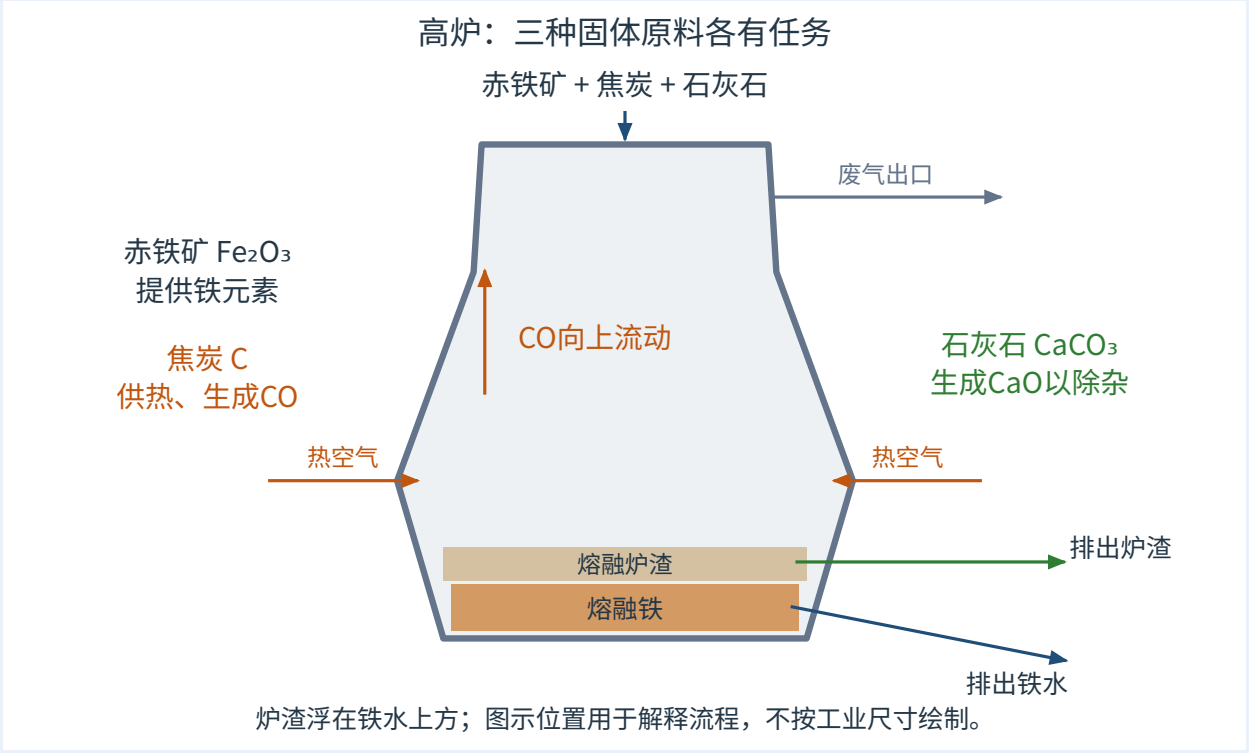
位置	本课程的典型提取判断
铝在碳前，活动性较高	氧化铝不能用碳还原；采用电解
铁在碳后，活动性较低	氧化铁可被碳生成的CO还原
活动性越高	通常越难从其化合物中获得金属

顺序片段：Mg → Al → C → Zn → Fe

这里只比较本课程中的典型氧化物提取；箭头沿活动性由强到弱，不是反应方向。

例如，问“为什么铁与铝不能照搬同一种提取方法”，先找碳的位置。Al 在 C 前，而 Fe 在 C 后；所以铝的氧化物需要电解，铁的氧化物可由高炉中生成的 CO 还原。不能用“铝看起来不易腐蚀”把铝排到铁之后，铝表面的保护层已在前一节解释。

高炉里投入的三种固体，先各自认名字。赤铁矿（hematite）提供氧化铁(III)，化学式 Fe_2O_3；焦炭（coke）的主要成分是碳 C；石灰石（limestone）的主要成分是碳酸钙 $CaCO_3$。它们从炉顶加入，热空气从下部鼓入。铁水和炉渣在下部聚集后分别排出。



蓝箭头表示投料或排出铁水，橙箭头表示热空气或含 CO 气流，绿箭头表示排渣；不以箭头粗细表示流量。

例如，若问“哪种投料提供铁元素”，回答赤铁矿；若问“哪种物质为除去 SiO_2 杂质提供 CaO”，回答石灰石。焦炭虽然重要，但它的任务是供热并生成还原剂，不能把三种原料都写成“用来还原铁”。

先供热，再制成能还原氧化铁的 **CO**。焦炭中的碳与热空气中的氧气燃烧，生成二氧化碳：

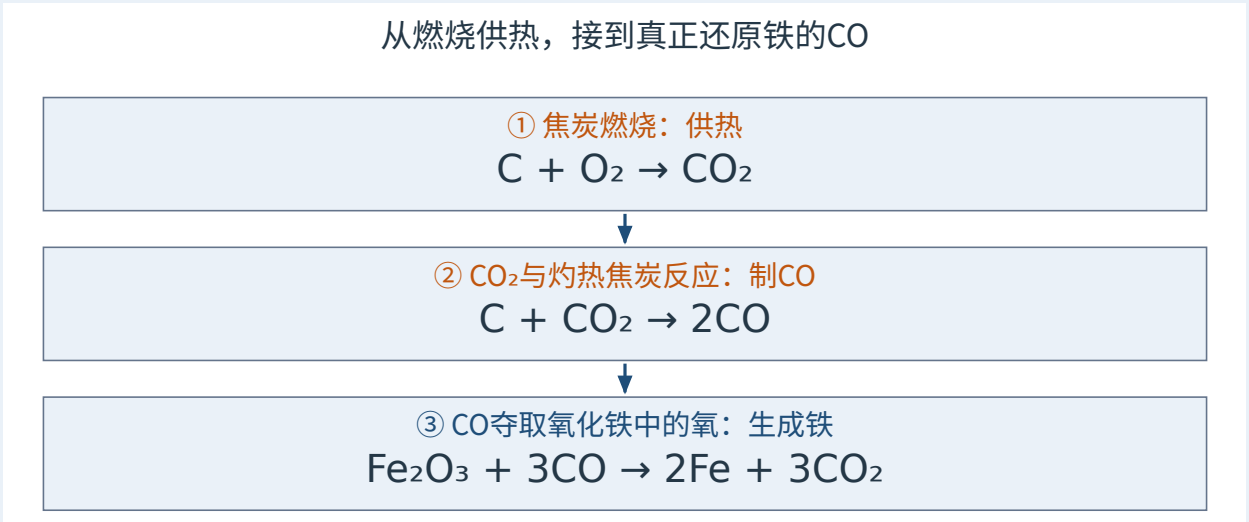
$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

这一步放热，为高炉提供高温。

生成的二氧化碳再与灼热焦炭反应，生成一氧化碳：

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO$$

CO_2 失去一部分氧而变成 CO，所以这一过程中 CO_2 被还原。



竖箭头表示前一步提供后一步所需的物质；①释放热，②与③不是同一反应。

一氧化碳接着与氧化铁(Ⅲ)反应，生成铁与二氧化碳：

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$$

Fe_2O_3 失去氧，发生还原（reduction）；CO 得到氧变成 CO_2，发生氧化。使另一种物质被还原的 CO 叫还原剂（reducing agent）。

例如，若把“焦炭燃烧”“CO 还原氧化铁”“CO_2与焦炭制 CO”依次编号①②③，物质依赖顺序应是①→③→②。因为要先有 CO_2才能用它制 CO，又要先有 CO 才能让它还原 Fe_2O_3。单独问供热反应时，选：

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

不能因为某式含碳，就都说成供热反应。

除杂另有一条反应线。石灰石中的碳酸钙受热分解，生成氧化钙和二氧化碳：

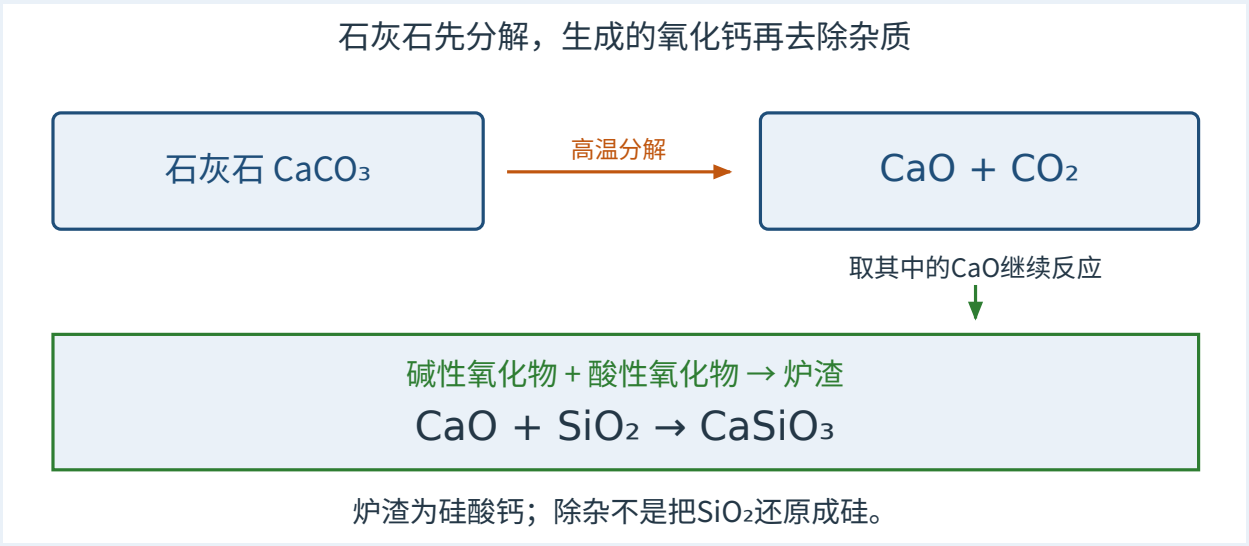
$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

这是热分解（thermal decomposition）：一种物质在加热下分成两种产物。

接着，碱性氧化物 CaO 与矿石中的酸性氧化物 SiO_2反应，生成硅酸钙：

$$CaO + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$$

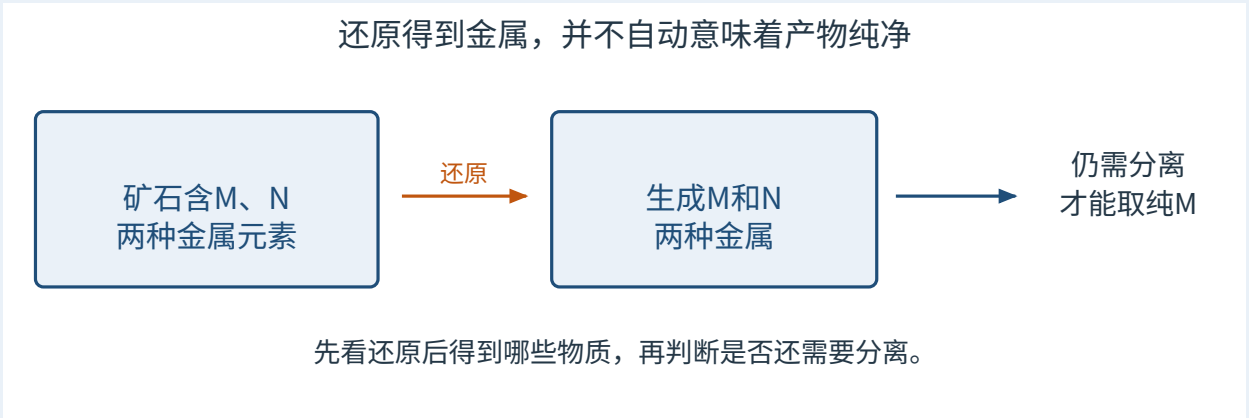
硅酸钙形成炉渣（slag），与铁水分开排出。



$CaCO_3$的分解产物有两种；箭头下接的是 CaO 与矿石中 SiO_2杂质的反应。

例如，问“形成炉渣的两种反应物”，写 CaO 和 SiO_2；问“生成炉渣所需 CaO 的来源”，才追溯到 $CaCO_3$。别把 $CaCO_3$、CaO、$CaSiO_3$这三个名称互换：它们分别是投入的主要成分、中间产物和炉渣主要成分。英文 silicon(IV) oxide 就是 SiO_2，calcium oxide 是 CaO。

还要看得到的金属是不是纯的。一种矿石可能含不止一种金属元素。如果还原反应同时生成两种金属，要得到其中一种纯金属，仍需设法分离它们。这个缺点来自题目实际给出的产物，不需要凭空猜出新的物质。



M 与 N 表示同时生成的两种金属；要取得目标金属 M，还需要将它与 N 分离。

例如，图中目标是 M，但反应产物同时有 M 和 N。可写的缺点是“M 还要与 N 分离”；“已经得到金属，所以没有后续步骤”并不成立。后面的矿石题，也先读方程式已经给出的金属产物。

高炉中供热的反应是_____。直接还原 Fe_2O_3的物质是_____。$CaCO_3$分解产生_____和_____；形成炉渣的两种反应物是_____与_____。

答案：$C + O_2 \rightarrow CO_2$；CO；CaO；CO_2；CaO；SiO_2

怎么认 先分清所问是供铁、供热、制 CO、还原铁还是除杂；再写对应反应。顺序题追踪上一反应提供下一反应所需的哪种物质。问产物纯度时，读给定产物中是否还有别的金属。

例题 1 （2025·May/June 0620/43 Q1(f)） · 1 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide　　calcium oxide　　chlorine　　ethanol　　graphite

nitrogen　　oxygen　　propane　　propene　　silicon(IV) oxide

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(f) react together to form slag in the blast furnace

解：题目要求从给定列表中选出“彼此反应生成高炉炉渣”的物质，react together 表明要写两个反应物。先写已学的除杂反应：

$CaO + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$

左边 CaO 是 calcium oxide，SiO_2是 silicon(IV) oxide；右边 $CaSiO_3$是炉渣中的硅酸钙。因此填写 **calcium oxide and silicon(IV) oxide**。

两种名称分别对应两个给分点。不要把矿石中的铁氧化物或作还原剂的碳写进这一除杂反应；它们在高炉里承担的是别的任务。

例题 2 （2025·May/June 0620/22 Q28） · 2 级

Which equation represents a reaction that occurs in a blast furnace during the extraction of iron from hematite?

A　$Ca + CO_2 \rightarrow CaO + CO$

B　$Fe_2O_3 + 3Ca \rightarrow 2Fe + 3CaO$

C　$Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$

D　$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$

解：先抓 hematite：赤铁矿提供 Fe_2O_3。题目问高炉提铁实际发生的反应，必须让其中的铁变成金属 Fe。CO 从 Fe_2O_3中夺取氧，反应是：

$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$

对应 D。逐项核对原子：两边均含 2 个 Fe、3 个 C 和 6 个 O，正确。

A 把金属 Ca 当成高炉中参与此步骤的物质；B 虽写出一种可配平的还原形式，却不是课程中的高炉提铁流程，高炉不以金属钙作还原剂。C 写的是 $Ca(OH)_2$，石灰石的主要成分应为 $CaCO_3$。因此选 D。

例题 3 （2025·October/November 0620/23 Q32） · 2 级

Iron is extracted from iron(III) oxide in the blast furnace.

Three steps in the process are listed.

1 Carbon (coke) is completely oxidised.

2 Iron(III) oxide is reduced.

3 Carbon dioxide is reduced to carbon monoxide.

What is the correct order of the steps in the extraction of iron?

A $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ **B** $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$ **C** $2 \rightarrow 1 \rightarrow 3$ **D** $3 \rightarrow 1 \rightarrow 2$

解：按物质的前后来源排列，不能只按原题列出的数字顺读。
步骤 **1**，焦炭被完全氧化：
$C + O_2 \rightarrow CO_2$
这一步先提供 CO_2，并释放热量。
步骤 **3**，**CO_2**与更多灼热焦炭反应：
$CO_2 + C \rightarrow 2CO$
这一步形成后续所需的 CO。
步骤 **2**，**CO** 还原 **Fe_2O_3**：
$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$
因此顺序为 1、3、2，对应 B。若把 2 放在 3 前，就还没说明用来还原铁氧化物的 CO 从哪里来。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/21 Q28） · 1 级

Which process is used in the extraction of iron from hematite?

A electrolysis

B precipitation

C reduction

D fractional distillation

2. （2025·October/November 0620/22 Q28） · 1 级

Iron is extracted from hematite in the blast furnace.

Which reaction increases the temperature in the blast furnace to over 1500 °C?

A calcium carbonate → calcium oxide + carbon dioxide

B calcium oxide + silicon(IV) oxide → calcium silicate

C carbon + oxygen → carbon dioxide

D carbon dioxide + carbon → carbon monoxide

3. （2025·May/June 0620/41 Q1(h)） · 2 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(h) is produced when limestone thermally decomposes in the blast furnace

4. （2025·February/March 0620/22 Q30） · 2 级

Which row gives the symbol equation for the formation of carbon monoxide and for the reduction of iron(III) oxide in a blast furnace?

	equation for the formation of carbon monoxide	equation for the reduction of iron(III) oxide
A	$2C + O_2 \rightarrow 2CO$	$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$
B	$CO_2 + C \rightarrow 2CO$	$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$
C	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$
D	$CO_2 + C \rightarrow 2CO$	$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$

5. （2025·May/June 0620/42 Q4(a)(ii)） · 2 级

Chromium is the element with atomic number 24 in the Periodic Table.

(a) The main ore of chromium is chromite. Chromite contains $FeCr_2O_4$.

$FeCr_2O_4$ reacts with carbon.

$$FeCr_2O_4 + 4C \rightarrow Fe + 2Cr + ...$$

(ii) Suggest **one** disadvantage of extracting chromium by reacting chromite with carbon.

题型 2：用活动性与电解原理解释铝的提取

知识点 铝在碳前，提取时要用电能推动反应。铝比碳活泼，不能按高炉炼铁的做法，用碳还原氧化铝。铝的主要矿石是铝土矿（bauxite），其中含氧化铝 Al_2O_3。工业上先得到较纯的氧化铝，再进行电解；本课程不要求展开铝土矿提纯的工业细节。

铝的原料、溶剂与产物，名称不能互换

物质	在提取过程中的身份
铝土矿 bauxite	含氧化铝的主要矿石
氧化铝 Al_2O_3	提纯后提供铝离子的原料
熔融冰晶石 cryolite	溶解氧化铝，使操作温度降低
铝 Al	电解后在阴极得到的金属

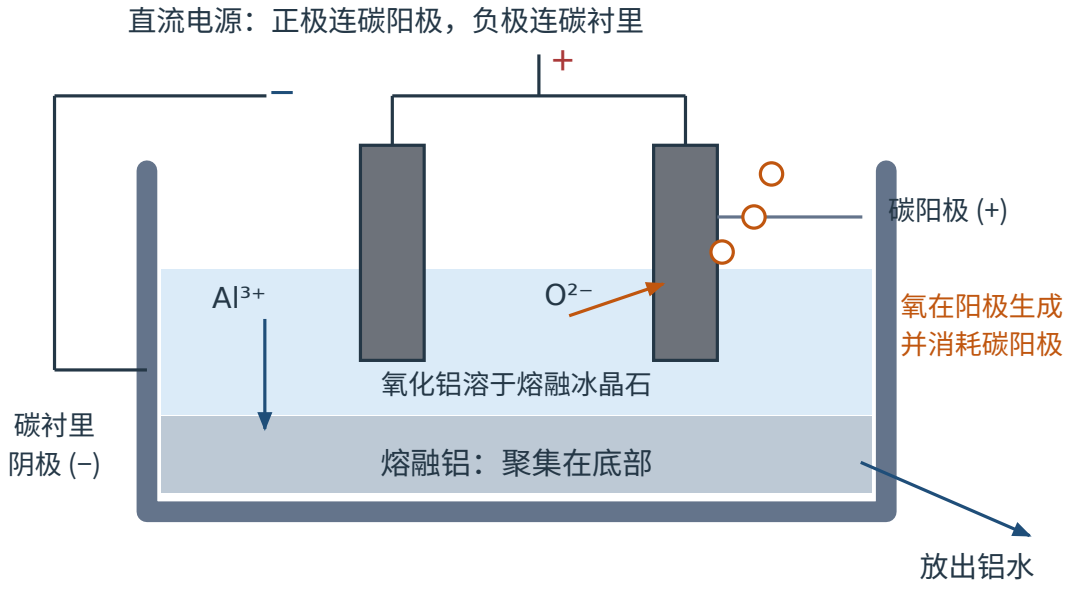
冰晶石不是铝的主要矿石，也不是金属铝；本课程不要求铝土矿提纯的工业细节。

冰晶石解决的是操作温度。 直接使氧化铝熔化需要很高温度；将氧化铝溶于熔融冰晶石（cryolite，Na_3AlF_6）后，可在较低温度下进行电解，减少维持高温所需的能量。要记住完整的因果：“氧化铝溶于熔融冰晶石→所需操作温度降低→加热能耗减少”。冰晶石不是催化剂，也不能使反应不再需要电能。

例如，题目问“铝的主要矿石叫什么”，答案是 bauxite；问“加入什么来降低操作温度”，答案是 cryolite；问“直接提供铝离子的已提纯物质”，答案是 aluminium oxide。这三问都在同一流程里，但所求身份不同。

电解时，先标电极的正负。碳阳极与电源正极相连，碳衬里的阴极与负极相连。电解液中可移动的 Al^{3+} 向阴极运动，得到电子生成铝；O^{2-} 向阳极运动，失去电子生成氧气。铝以熔融状态聚集在底部，随后被放出。电解液靠离子移动导电，外部导线中则由电子传递电荷。

电解池：正阳极放氧，负阴极得铝



熔融离子移动导电；电子经外部导线传递，不在电解液中自由穿行。

图中蓝箭头表示 Al^{3+} 向阴极运动及铝水排出，橙箭头表示 O^{2-} 向阳极运动；圆圈表示生成的气体，不用来计数。

例如，若题目把“正阳极得到铝、负阴极放出氧气”写在一起，两处都应改。先抓 Al^{3+} 带正电，向负阴极运动，在那里得到电子成为 Al；氧离子带负电，向正阳极运动。不能因为铝是金属，就把它与“正极”按字面配对。

半方程式要同时核对原子和电荷。 在阴极，1 个 Al^{3+} 要接受 3 个电子才能成为电中性的 Al，因此写：

$$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$$

电子写在左边，表示被接受，这就是还原。

在阳极，最终气体是 O_2，不是单个 O。先让两个 O^{2-} 提供两个氧原子，再把它们失去的 4 个电子写在右边：

$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$

左边总电荷为−4，右边 O_2 不带电而 $4e^-$ 合计−4，电荷守恒，这就是氧化。

写半方程式，原子数与两边总电荷都要相等

阴极：铝离子得电子	阳极：氧离子失电子
$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$
电荷：+3 − 3 = 0	电荷：2 × (−2) = −4
还原 reduction	氧化 oxidation

O_2中有两个氧原子，所以从2个O^{2-}开始；它们共失去4个电子。

左右两栏分别为不同电极反应；将两式相加前须使电子数相等，这里先各自核对。

例如，有同学写：

$O^{2-} \rightarrow O_2 + 2e^-$

电荷虽然两边都是−2，但左边只有 1 个氧原子、右边有 2 个，仍然错误。先改为 $2O^{2-}$，再使电子数改为 4；不能只检查电荷而漏掉原子数。写状态符号时，铝为 Al(l)，生成的氧为 $O_2(g)$。

为什么碳阳极会越来越少？阳极产生的氧气处在高温下，会与碳阳极反应生成二氧化碳：

$C + O_2 \rightarrow CO_2$

碳从固体阳极转入气体产物，阳极被消耗，所以需要定期更换。这里是碳发生化学反应，不能写成“阳极熔化”，也不能只说“温度很高”而漏掉氧气与 CO_2。

碳阳极不是只变热：它被氧气反应消耗



C + O₂ → CO₂；碳进入气体产物，阳极逐渐减少，需要更换。

粗灰柱表示固体碳阳极；产物箭头表示 CO_2 以气体离开，解释了固体材料的损耗。

例如，“阳极需要更换，因为产生了气体”缺少因果中间一环。补成“阳极生成的氧气与碳反应，形成 CO_2，消耗了阳极材料”，才能解释为什么固体阳极减少。图中的 O_2 是先生成、再与碳反应的气体；碳阳极并非惰性电极。

铝的主要矿石是_____。降低操作温度加入的是_____。阴极半方程式为_____；阳极半方程式为_____。碳阳极与_____反应生成_____，所以需要更换。

答案：bauxite；cryolite；$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$；$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$；氧气；$CO_2$

怎么认 矿石名、降低操作温度的物质名先分开；电极题标正负并读离子电荷，再写电子在左还是右；更换阳极须接到氧气与碳生成 CO_2、消耗碳的完整因果。

例题 1 （2025·May/June 0620/42 Q3(d)(iii)） · 2 级

This question is about electrolysis.

(d) Aluminium is extracted from its purified ore by electrolysis.

(iii) Explain why the anodes need to be continually replaced during this process.

解： 这问要解释碳阳极为什么持续需要更换。先追踪阳极附近的产物：氧离子在正阳极失去电子，生成氧气。

在高温下，氧气会与碳或石墨阳极反应，生成二氧化碳：

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

碳原子进入气体产物，阳极材料不断被消耗，所以要更换。

可完整写：**The carbon anodes react with oxygen to form carbon dioxide, so the anodes are consumed and need replacing.** 给分所需的两项是“碳阳极与氧气反应”和“形成 CO_2”。只写“很热”“氧化”或“有气体生成”，没有把材料损耗的原因讲完整。

例题 2 （2025·October/November 0620/22 Q29） · 3 级

Aluminium is extracted by the electrolysis of purified bauxite.

Which row shows the half-equations at the electrodes and explains why one of the electrodes has to be replaced regularly?

	half-equation at anode	half-equation at cathode	electrode replacement
A	$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	cathode replaced as it gets coated with aluminium
B	$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	anode replaced as it burns away in oxygen
C	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$	cathode replaced as it burns away in oxygen
D	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$	anode replaced as it gets coated with aluminium

解：

按表头逐列检查。anode 是阳极，氧离子在这里失去电子：

$$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$$

cathode 是阴极，铝离子在这里得到电子：

$$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$$

因此前两列应选 A 或 B，C 与 D 把两个电极反应互换了。

再检查为什么更换电极。氧气在阳极产生，并与碳阳极反应生成 CO_2，所以更换的是被氧消耗的 anode。B 的 anode burns away in oxygen 符合，选 B。

A 虽然前两列正确，第三列却说更换被铝覆盖的阴极，未说明本过程实际发生的碳阳极损耗。不能只看半方程式都眼熟，就漏读最后一列。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q1(e)） · 1 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(e) contains aluminium oxide

2. （2025·May/June 0620/42 Q3(d)(i)） · 1 级

This question is about electrolysis.

(d) Aluminium is extracted from its purified ore by electrolysis.

(i) Name this ore of aluminium.

3. （2025·May/June 0620/42 Q3(d)(ii)） · 1 级

This question is about electrolysis.

(d) Aluminium is extracted from its purified ore by electrolysis.

(ii) Name the substance added to this process to reduce the operating temperature.

4. （2025·October/November 0620/43 Q3(a)(iv)） · 2 级

This question is about aluminium and other metallic elements.

(a) Aluminium is extracted from purified bauxite by electrolysis. Fig. 3.1 shows a diagram of the electrolytic cell used.

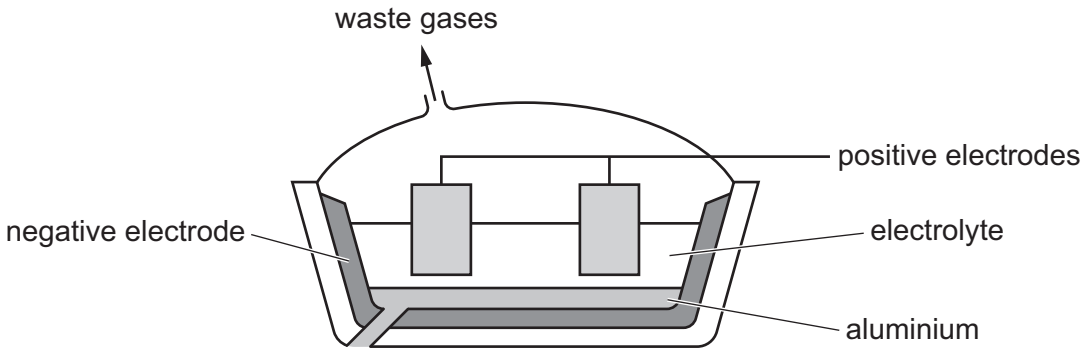


Fig. 3.1

(iv) Write the ionic half-equation for the production of aluminium at the negative electrode.

5. （2025·May/June 0620/11 Q27） · 2 级

Which statements about aluminium are correct?

1 It is more reactive than calcium.

2 The main ore of aluminium is bauxite.

3 It can be extracted from its oxide using carbon.

4 Brass is an alloy of aluminium and copper.

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 2 only **D** 3 and 4

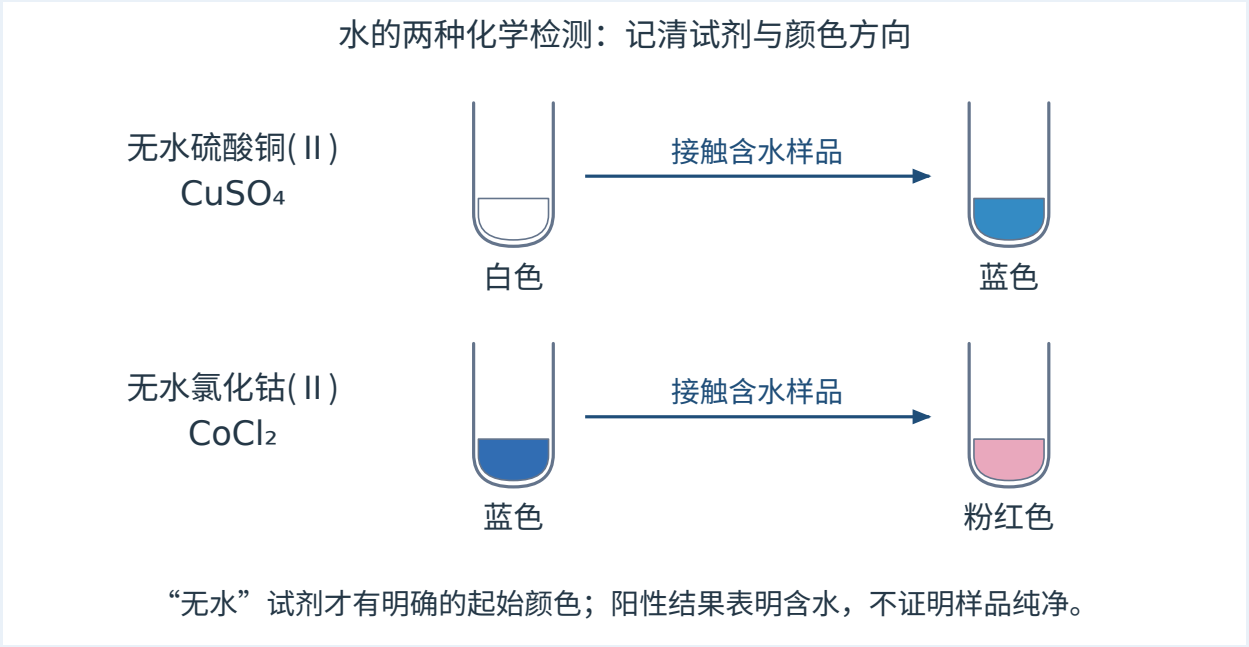
环境化学

10.1 水

题型 1：区分水的检测、纯度判断与生活用水处理

知识点 “有水”与“是纯水”是两个不同判断。 水的化学式是 H_2O。盐水含有 H_2O，也含有溶解的盐，因此盐水可以使水的检测试剂变色，却仍然不是纯水。读题先圈出 presence of water（有水存在）或 pure（纯净），再决定用什么方法。

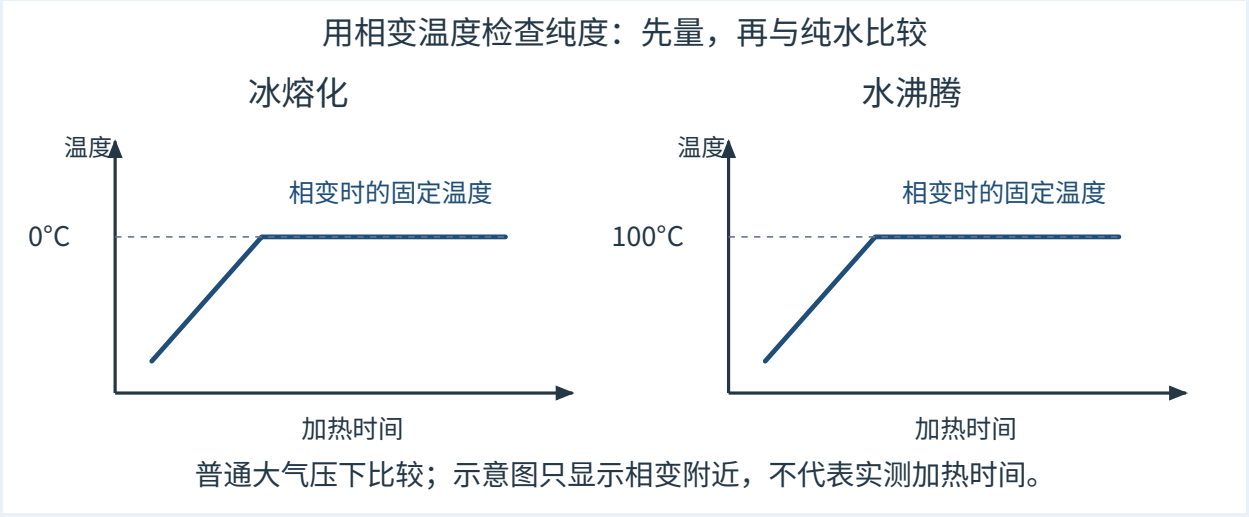
检测水的存在，要把试剂名称和颜色变化成对记住。无水（anhydrous）表示这种试剂原本不含结晶水。无水硫酸铜(Ⅱ)是 anhydrous copper(II) sulfate，化学式 $CuSO_4$，原来白色，遇水变蓝。无水氯化钴(Ⅱ)是 anhydrous cobalt(II) chloride，化学式 $CoCl_2$，原来蓝色，遇水变粉红色。



白色粉末用灰色边界显示。两行各比较同一种试剂接触含水样品前后，不能交叉交换起始颜色。

把一滴样品加入白色无水 $CuSO_4$，固体变蓝，可判断样品含水。若换成蓝色无水 $CoCl_2$，阳性现象应是变粉红色。题目要写“test”和“observation”时，前者写试剂，后者写对应的颜色变化；只写“变色”不够具体。石蕊 litmus、甲基橙 methyl orange 用来判断酸碱性，不能代替上述水的检测试剂。

判断纯度，要先实测相变温度。熔化是固体变成液体，熔点 melting point 是熔化时的温度；沸腾是液体内部也不断形成气泡而变成气体，沸点 boiling point 是沸腾时的温度。在普通大气压下，纯水的熔点为 0°C，沸点为 100°C。描述检验方法不能只报出“100°C”，还要说明先加热样品、用温度计测其沸点，再与纯水的已知值比较。

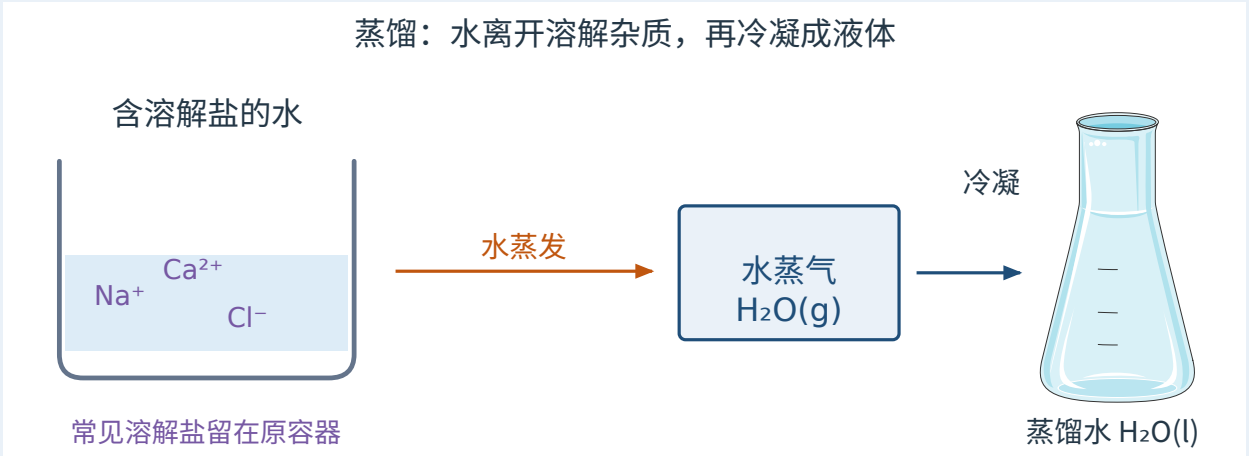


左图先把样品变成冰再加热测熔点；右图加热液体测沸点。两幅横轴无数值，不比较加热用时。

若题目指定熔点，而手中的样品原来是液态水，要先冷却使它成为冰，再慢慢加热并测熔化温度。纯冰在 0°C 有明确的熔点；含杂质的样品可能在较低温度熔化，或出现较宽的熔化温度范围。比较时保持相同压力，不能把高山上较低的水沸点直接归因于杂质。

在普通大气压下，一份水样测得沸点明显高于 100°C，就不符合纯水的参考沸点；另一份冰样在一段温度范围内逐渐熔化，也不符合纯物质的明确熔点。若问“是否含水”，这些相变测量不能替代题目指定的化学检测试剂。温度吻合是本课程检验纯度的依据，不意味着仪器能发现任意微量杂质。

实验为什么常用蒸馏水？ 自来水 tap water 通常含一些溶解的矿物质等杂质；这些物质可能参加实验反应，干扰观察或改变测量结果。蒸馏水 distilled water 经水的蒸发和蒸气冷凝得到，含较少这类杂质，所以更适合配制溶液或进行需要控制成分的实验。



烧瓶图形来自 Bioicons（Servier）。箭头表示蒸发和冷凝的物质流向，这不是蒸馏装置的连接图；盐中离子仅作示例。

问“为什么用蒸馏水而不用自来水”，核心答案是“蒸馏水含较少杂质”。再解释用途：这样由未知矿物质引起的反应或浓度变化较少。不要把理由写成“自来水没有水分子”，两者都含 H_2O；差别是伴随水的杂质。

天然水不只含 **H_2O**，先区分有益成分与有害成分。 溶解氧 O_2通常有益，水生动物等用它进行呼吸。一些溶解的金属化合物提供生命需要的矿物质；另一些金属化合物可能有毒，不能单凭“含金属”或“天然”就判定有益。

天然水还可能含塑料、污水 sewage、有害微生物、来自肥料的硝酸盐，以及来自肥料和洗涤剂的磷酸盐。塑料会伤害水生生命；污水与有害微生物可传播疾病；过量硝酸盐、磷酸盐进入水体后，可能导致水中氧含量下降，损害水生生物。本课程不要求展开这一缺氧过程的所有生物学步骤。

天然水中有什么：逐项判断作用和风险

天然水中的成分	可能的作用或风险
溶解氧 O_2	供水生生物呼吸，通常有益
一些金属化合物	提供生命需要的矿物质
另一些金属化合物	可能有毒；不能把所有矿物质都视为有益
塑料、污水和有害微生物	塑料伤害水生生物；污水与病菌传播疾病
过量硝酸盐、磷酸盐	可能降低水中氧含量，伤害水生生命
营养盐的常见来源	硝酸盐：肥料；磷酸盐：肥料、洗涤剂

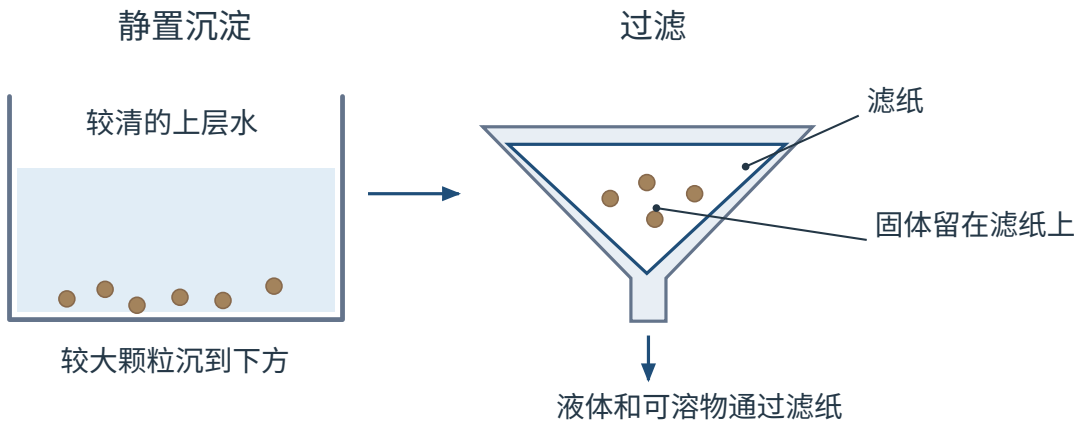
“含有溶解物”本身不能决定有益或有害，要看具体物质与含量。

表中区分通常有益的成分与有害成分；过量营养盐的危害通过水中氧减少来说明。

比较“溶解氧、过量硝酸盐、过量磷酸盐”，溶解氧本身通常有益；后两类过量营养盐可能引起缺氧。看起来透明的水仍可含有溶解物与微生物，所以“没有看见固体”不能完成安全或纯度判断。

生活用水处理，先除固体，再处理其他问题。沉淀 sedimentation 是让悬浮的较大固体颗粒沉到底部。过滤 filtration 则让水通过滤纸或过滤层，不溶固体被截留。水和许多溶解物能通过过滤层，因此过滤后的清水仍可能含盐或微生物。

除去不溶固体：沉淀与过滤承担相连的任务



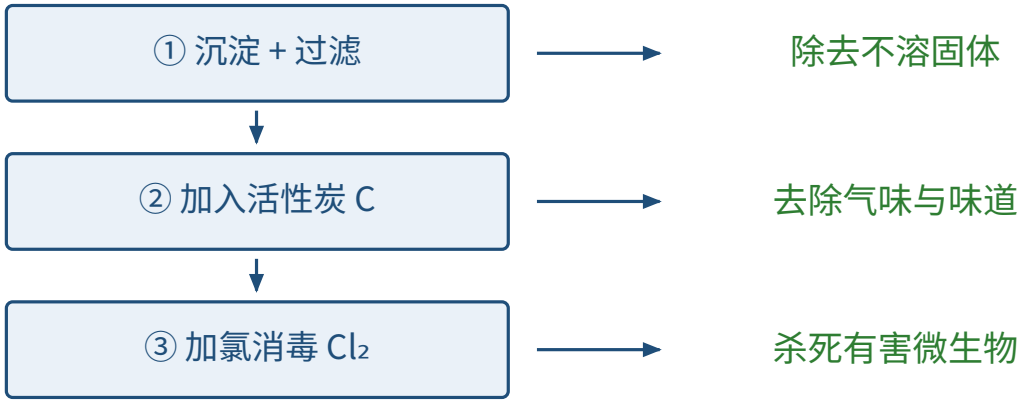
普通过滤不能去掉所有溶解盐，也不能代替后续消毒。

液体中的不溶颗粒用棕点表示。箭头表示继续处理上层水及滤液流出，不表示固体穿过滤纸。

水中有泥沙，也有溶解盐。静置并过滤，可除去泥沙；不能据此说“盐也全部留在滤纸上”。问“to remove solids”时，可对应沉淀或过滤；若问“to kill microbes”，就还没有回答到那个处理目的。

活性炭与氯，分别解决味道和微生物问题。加入活性炭 carbon（主要成分 C），用来去除不适的味道与气味；这些物质可被吸附在炭的表面。加氯消毒 chlorination 则用氯 chlorine（Cl_2）杀死有害微生物，降低病原体传播的风险。不能把两种作用互换，也不能把“杀死微生物”写成“除去所有溶解盐”。

生活用水处理：每一步去掉的问题不同



处理后可达到生活用水要求；这不等于只剩H_2O这一种物质。

竖箭头表示处理的先后顺序；横箭头把每个步骤连接到其目的。这里把沉淀与过滤并列归入除固体环节。

流程题给出“除固体→加入炭→最后处理”，最后一格应填 chlorination；如果前面已经有过滤，不要在最后一格重复填 filtration。连线题则分别连“carbon—tastes and odours”“sedimentation—solids”“chlorination—microbes”。经过适当处理达到生活用水要求，与化学意义上的纯 H_2O 仍是不同概念。

先认题目要判断什么，再选方法

问法	主要方法	能支持的结论
是否含水？	无水$CuSO_4$或无水$CoCl_2$	发生相应颜色变化：含水
是否纯净？	测熔点或沸点，与纯水比较	相变温度是否吻合
怎样处理成生活用水？	沉淀过滤、活性炭、加氯	各自除固体、除味、消毒

同一杯水可以含水、仍有杂质，同时也可能经过消毒。三个问题的结论不同，不能彼此替代。

一份经消毒的含盐水可使无水 $CuSO_4$ 变蓝，说明它含水；这个现象不表示盐已经被除掉。若题目改问纯度，应改为实测熔点或沸点；若问净水流程中加炭的作用，应回答除味，不能写检验沸点。先读所求，才能让方法与结论对应。

无水 $CuSO_4$ 遇水由_____变_____；无水 $CoCl_2$ 遇水由_____变_____。普通大气压下纯水熔点为_____，沸点为_____。净水时加炭去除_____，加氯用于_____。

答案：白色；蓝色；蓝色；粉红色；0°C；100°C；味道与气味；杀死有害微生物

怎么认 先圈出 presence、pure 或 treatment。检出水要写无水试剂及颜色；纯度要写测量与参考温度；处理题把沉淀过滤、炭、氯分别接到除固体、除味、杀菌。

例题 1 (2025·May/June 0620/31 Q8(a)) · 1 级

This question is about water and air.

(a) River water needs to be treated to make it safe to drink.

Two of the stages used in the treatment of domestic water are the addition of carbon and chlorination.

Describe the reason for each of these stages.

addition of carbon

chlorination

解：先读题目给出的两个 stage。addition of carbon 是加入炭，chlorination 是加氯消毒，题目要求分别说明 reason，不能只概括成“净化水”。

炭的作用是去除味道与气味，英文可写 **to remove tastes and odours**。这一项对应导致味道和气味的杂质，而不是把炭当成杀菌剂。

加氯的作用是杀死微生物，英文可写 **to kill microbes**。将两个目的各写在相应横线上：carbon—remove tastes and odours；chlorination—kill microbes。这样每个处理步骤都有自己的具体目的。

例题 2 (2025·May/June 0620/31 Q8(c)) · 1 级

This question is about water and air.

(c) Explain why distilled water is used in practical chemistry rather than tap water.

解：题目比较 distilled water 与 tap water 用于实验的差别。两者都含水，所以不能回答“蒸馏水有 H_2O、自来水没有”。

蒸馏水含较少杂质，自来水通常仍含一些溶解的矿物质。实验中这些杂质可能参加反应或改变溶液成分，因此选择蒸馏水更容易控制条件。

本问的核心作答句是：**Distilled water contains fewer impurities than tap water.** 题目没有要求写整套蒸馏装置；解释应落在杂质较少这一性质上。

例题 3 (2025·May/June 0620/31 Q8(b)) · 2 级

This question is about water and air.

(b) Describe how to test whether a sample of water is pure using boiling point.

解：题目已经指定 using boiling point，因此需要描述测沸点的方法并说明判断标准。只写“100°C”没有交代怎样检验样品。

第一步，加热水样至沸腾，用温度计测其沸点。第二步，把测得的温度与相同压力下纯水的已知沸点比较。在普通大气压下，纯水的沸点是 100°C；明显不符合这个数值的样品不符合纯水的沸点特征。

可完整写：**Heat the sample until it boils and measure its boiling point. Compare this with 100°C, the boiling point of pure water at ordinary atmospheric pressure.** 前一句交代操作与测量，后一句交代参考值和纯度判断。不要改成加入无水 $CuSO_4$；那是在检出水，而不是按本问要求检验纯度。

例题 4 （2025·May/June 0620/22 Q29） · 2 级

Water is added separately to anhydrous copper(II) sulfate and to anhydrous cobalt(II) chloride.

Which row shows the colour changes?

	anhydrous copper(II) sulfate	anhydrous cobalt(II) chloride
A	blue to white	blue to pink
B	blue to white	pink to blue
C	white to blue	blue to pink
D	white to blue	pink to blue

解：题目把 water 分别加入两种 anhydrous（无水）试剂，要判断两个颜色变化都正确的一行。

第一列是无水硫酸铜(Ⅱ)$CuSO_4$：开始白色，遇水变蓝，所以应找 **white to blue**。A 和 B 把方向写成 blue to white，先排除。

第二列是无水氯化钴(Ⅱ)$CoCl_2$：开始蓝色，遇水变粉红色，所以应找 **blue to pink**。在剩余 C、D 中，只有 C 符合。两列一起核对，选 **C**。

蓝色在这道题里出现两次，但身份不同：它是 $CuSO_4$遇水后的颜色，同时也是无水 $CoCl_2$遇水前的颜色。必须把颜色与试剂成对读取。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/11 Q31） · 1 级

Which substances can be used to detect the presence of water?

1 anhydrous cobalt(II) chloride

2 anhydrous copper(II) sulfate

3 litmus

4 methyl orange

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 2 and 4 **D** 3 and 4

2. (2025·May/June 0620/32 Q8(a)) · 2 级

This question is about water and air.

(a) Water needs to be treated to make it safe to drink.

Draw a line from each stage in the treatment of domestic water to the reason why it is carried out.

stage	reason
addition of carbon	to kill microbes
sedimentation	to remove tastes and odours
chlorination	to remove solids

3. (2025·May/June 0620/33 Q7(a)) · 2 级

This question is about air and water.

(a) Water needs to be treated to make it safe to drink.

Complete Fig. 7.1 to show the three stages needed in the treatment of domestic water. The second stage has been completed.

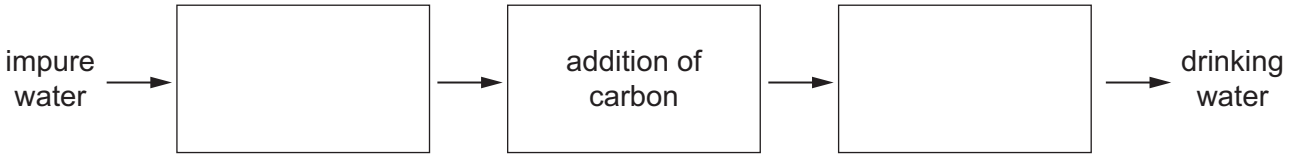


Fig. 7.1

4. (2025·May/June 0620/32 Q8(b)) · 2 级

This question is about water and air.

(b) Describe how to test whether a sample of water is pure using melting point.

5. (2025·May/June 0620/33 Q7(b)) · 2 级

This question is about air and water.

(b) Describe a chemical test for the presence of water.

test

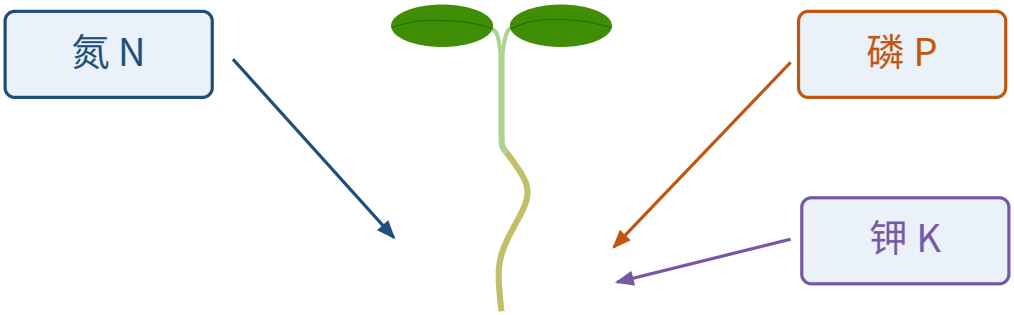
observations

10.2 肥料

题型 1：从名称与化学式判断 NPK 供应及水体影响

知识点 肥料补充的是元素，不能只记一串字母。农作物生长后被收获，一些养分也从土壤中移走；肥料（fertiliser）用于补充所需养分。NPK 分别表示氮（nitrogen，N）、磷（phosphorus，P）和钾（potassium，K），这三种元素有助于植物生长。这里的 K 是钾，不是 calcium 的 Ca。

NPK指三种元素；植物通过含这些元素的物质获得养分



箭头表示含N、P、K的可吸收养分到达根部，不表示施用三种元素单质。

植物轮廓来自 Bioicons；N、P、K 为养分所含元素的符号，示意图不表示浓度或施肥剂量。

铵盐（ammonium salts）和硝酸盐（nitrates）都可用作肥料。NH_4^+是铵根离子，NO_3^-是硝酸根离子，它们都含氮；常用肥料并不是把氮气、单质磷或金属钾直接放到根边。判断一种肥料提供哪些元素，读它的名称或化学式中的元素符号即可。

potassium nitrate 是硝酸钾 KNO_3，能提供 K 与 N，但没有 P；ammonium nitrate 是硝酸铵 NH_4NO_3，两个部分虽然都含 N，仍然不能因此补出 P 或 K。问“肥料中的碱金属是哪一个”时，N、P 都不是金属，所需是 potassium，符号 K。

只问是否含N、P、K时，逐个读化学式中的元素

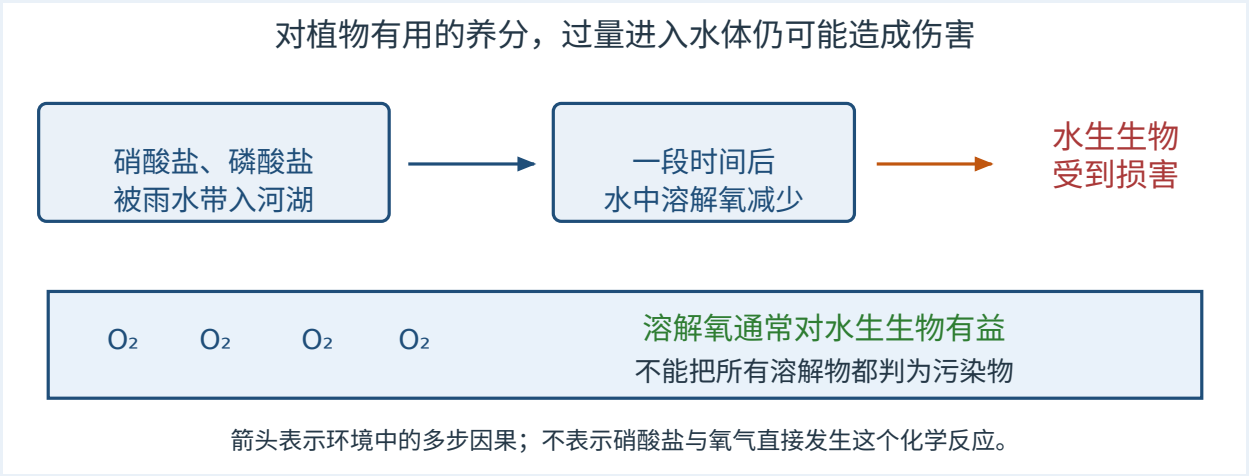
物质	化学式	N / P / K
硝酸钾 potassium nitrate	KNO_3	有 / 无 / 有
硝酸铵 ammonium nitrate	NH_4NO_3	有 / 无 / 无
磷酸铵 ammonium phosphate	$(NH_4)_3PO_4$	有 / 有 / 无
氯化钾 potassium chloride	KCl	无 / 无 / 有
磷酸钙 calcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$	无 / 有 / 无
硫酸钾 potassium sulfate	K_2SO_4	无 / 无 / 有
氯化铵 ammonium chloride	NH_4Cl	有 / 无 / 无
磷酸钾 potassium phosphate	K_3PO_4	无 / 有 / 有

本表只核对元素是否存在，未比较养分含量；两个 N 也仍只是“含氮”，不会代替缺少的 P 或 K。

两种肥料混合，要把它们的元素合起来看。先写出第一种含 N、P、K 中的哪些，再加入第二种，最后检查三种是否齐全。只要题目问“提供全部三种元素”，就不是在求每种元素的质量百分数；含有重复的 N 不会弥补缺失的 K。

将 KNO_3 与 $Ca_3(PO_4)_2$ 混合：前者提供 K、N，后者提供 P，三种齐全。若改为 NH_4NO_3 与 K_2SO_4，则前者提供 N，后者提供 K，仍缺 P。硫酸根中的 S 是硫，不能看见一个较复杂的化学式，就当它“什么养分都有”。

有益的养分过量进入河湖，也可能有害。天然水中的溶解氧通常对水生生物有益；一些金属化合物提供生命必需的矿物质。但过量硝酸盐、磷酸盐进入水体后，可造成水中氧含量降低，损害水生生命。硝酸盐可来自肥料；磷酸盐可来自肥料和洗涤剂。这里要掌握教纲要求的缺氧结果，不必把完整富营养化过程背成一长串额外步骤。



图只解释教纲要求的缺氧结果；箭头概括一段时间内的过程，不构造虚假的单步反应。

若列出“溶解氧、硝酸盐、磷酸盐”让你选通常有害的物质，先保留溶解氧的有益作用，再识别后两种过量营养盐引起缺氧的风险。不能因为三种物质都溶在水中，就一并选为污染物。

NPK 对应_____、_____、_____。NH_4NO_3 与 KCl 混合仍缺少_____元素。过量硝酸盐和磷酸盐可使水中_____减少，危害水生生命。

答案：氮；磷；钾；磷 P；溶解氧

怎么认 把两种肥料所含的 N、P、K 合并，再查是否缺项；遇天然水，分别判断溶解氧的益处与过量硝酸盐、磷酸盐造成缺氧的风险。

例题 1 （2025·May/June 0620/21 Q30） · 2 级

Nitrogen, phosphorus and potassium are essential elements for improved plant growth.

Which mixture provides all **three** essential elements?

	mixture	formulae
A	ammonium phosphate + potassium chloride	$(NH_4)_3PO_4$ + KCl
B	ammonium phosphate + ammonium nitrate	$(NH_4)_3PO_4$ + NH_4NO_3
C	ammonium phosphate + ammonium chloride	$(NH_4)_3PO_4$ + NH_4Cl
D	ammonium nitrate + potassium chloride	NH_4NO_3 + KCl

解：题目明确要求同时提供 N、P、K。先读每行的两个化学式，合并其中出现的三种目标元素。

A：$(NH_4)_3PO_4$含 N 与 P，KCl 含 K，所以三种齐全。B：两种物质合起来仍只有 N 和 P，缺 K。C 同样缺 K。D：NH_4NO_3提供 N、KCl 提供 K，却没有 P。

因此选 A。这里问“是否含有所需元素”，不是计算质量分数；重复出现的 N 不能补上缺失的 K，O 也不能代替 P。

例题 2 （2025·May/June 0620/13 Q30） · 2 级

Water from natural sources can contain many dissolved substances.

Which substances are often harmful to aquatic life?

1 dissolved oxygen

2 nitrates

3 phosphates

A 1, 2 and 3 **B** 1 and 2 only **C** 1 and 3 only **D** 2 and 3 only

解：先区分有益成分与有害营养盐。1 溶解氧可供水生生物利用，通常有益，因此不应选入题目所问“经常有害”的组合。

2 硝酸盐、3 磷酸盐过量进入水体后，可引起水中氧含量降低，危害水生生命；两项均符合本题。应选 2 和 3 only，对应 D。

关键不是“溶于水的东西一律有害”，而是逐项看其对水生环境的作用。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q32） · 1 级

Farmers use fertilisers to replace elements in the soil that have been removed by the crops they grow.

Which elements in the soil are replaced by adding fertilisers?

A Ca, P, O　　**B** K, O, S　　**C** N, O, S　　**D** N, K, P

2. （2025·May/June 0620/42 Q5(b)(v)） · 1 级

Alkali metals are reactive elements.

(b) Identify the alkali metal which:

(v) is found in fertilisers to improve plant growth.

3. （2025·May/June 0620/11 Q30） · 2 级

Fertilisers are used to provide the three elements needed for improved plant growth.

Which two compounds would provide **all three** of these elements?

A ammonium nitrate and calcium phosphate

B ammonium nitrate and potassium sulfate

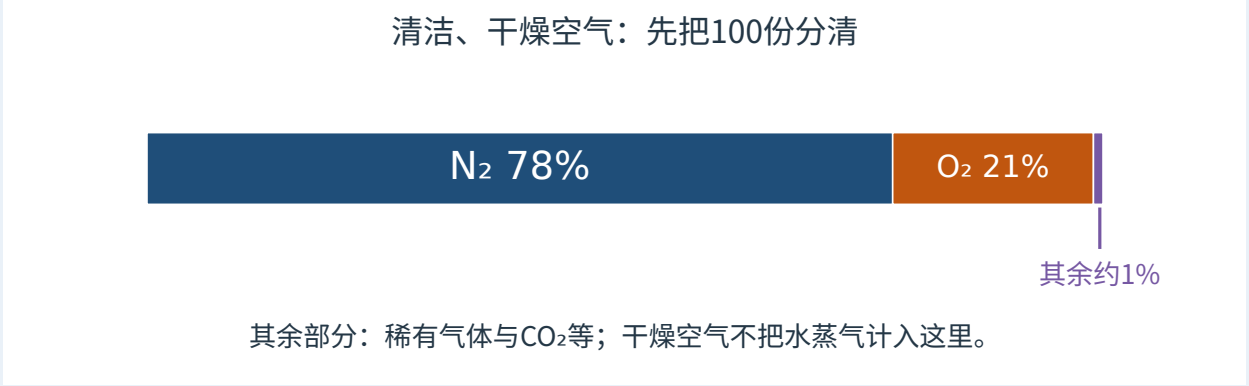
C potassium nitrate and calcium phosphate

D potassium phosphate and potassium sulfate

10.3 空气与气候

题型 1：用气体组成和反应前后体积求空气比例

知识点　空气是混合物，先记清比例是在分什么。清洁、干燥空气按体积大约含 78% 氮气 N_2、21% 氧气 O_2，其余约 1% 主要是稀有气体和二氧化碳等。“干燥”表示这里不把水蒸气计入；“清洁”表示不是把烟尘和额外污染物也纳入这组标准比例。



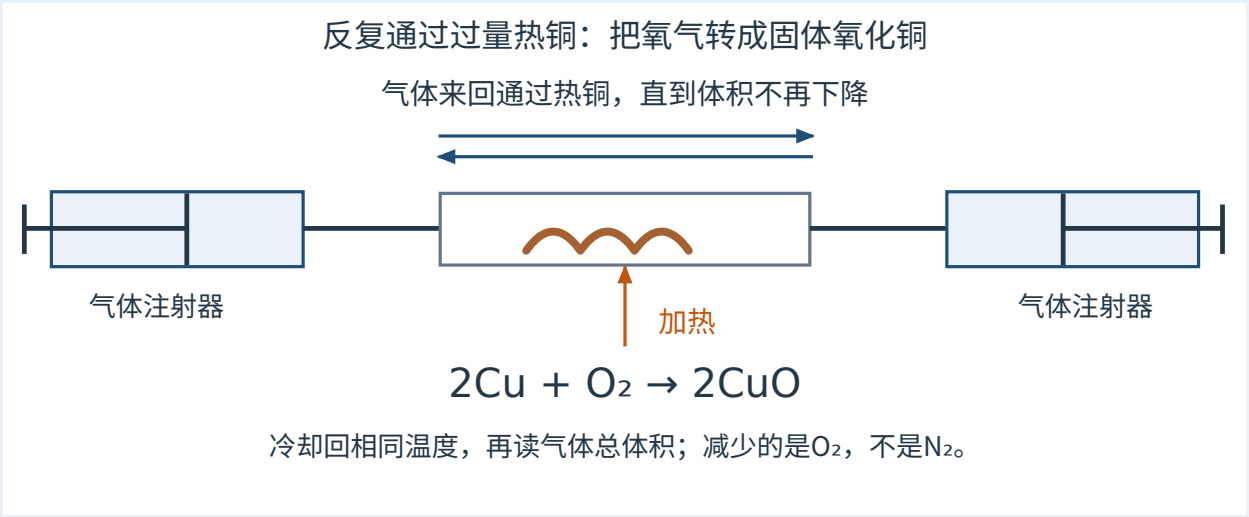
彩条长度按 78：21：1 绘制。1% 不是全为 CO2，也不代表氧气只有五分之一这个近似在所有题中都可替代 21%。

100 cm^3清洁干燥空气中大约有 78 cm^3 N_2、21 cm^3 O_2、1 cm^3其他气体。若问“哪种气体超过 30%”，只有 N_2符合；21% 没有超过 30%。若把全部 O_2移走，剩 79 cm^3，里面仍有 N_2与其他气体，不能把 79% 都说成氮气。

怎样测出空气中被消耗的氧气？让一份空气反复通过过量的热铜。铜与氧气生成固体氧化铜(Ⅱ)，通常由红棕色变黑：

$$2Cu + O_2 \rightarrow 2CuO$$

氧进入固体产物，不再作为气体占据注射器体积；氮气及大部分其他气体仍保留。



装置为无刻度原理示意，数值来自正文的体积条件。操作比较须保持气密，使用过量铜，并在同温同压下读数。

反复推气直到总体积不再下降，使 O_2 充分反应。读数前冷却回最初温度，在相同压力下比较，避免气体热胀的影响。装置气密、铜足量，才能把减少体积归于氧气被消耗。

先记初始总体积，再记反应冷却后的总体积。体积减少的部分对应被消耗的氧气：

$$\text{消耗的 } O_2 \text{ 体积} = \text{初始体积} - \text{最终体积}$$

要把这部分写成空气中的百分比，再除以最初的全部空气体积：

$$\text{氧气百分比} = \frac{\text{消耗的 } O_2 \text{ 体积}}{\text{初始空气体积}} \times 100\%$$

分母是最初的全部空气，不是最后的剩余气体。

若最初有 150 cm³空气，完全反应并冷却后剩 118.5 cm³，先用初始体积减去剩余体积，得到被消耗的氧气体积：

$$150 - 118.5 = 31.5 \quad \text{cm}^3$$

再把这 31.5 cm³与最初的 150 cm³比较：

$$\text{氧气百分比} = \frac{31.5}{150} \times 100\% = 21\%$$

若问“最终读数”，写 118.5；若问“消耗了多少氧”，写 31.5。数字都来自同一实验，但所求不同。

已知氧气需求，怎样倒推空气需求？ 21% 写成小数是 0.21。氧气只占空气的一部分，因此先有：

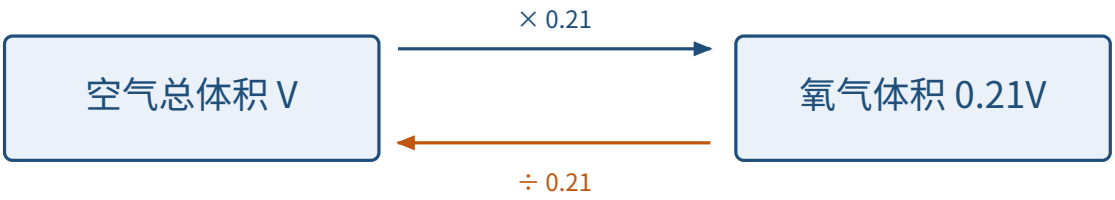
$$\text{氧气体积} = \text{空气总体积} \times 0.21$$

已知所需氧气体积时，把这个关系反过来用：

$$\text{空气总体积} = \frac{\text{所需氧气体积}}{0.21}$$

这里比较的气体体积须使用相同单位与相同温压条件。

已知全部求氧气：乘0.21；已知氧气求全部：除0.21



若需42 dm^3 O_2，空气体积至少为42 ÷ 0.21 = 200 dm^3。

复核：200 × 0.21 = 42；所得空气体积应大于其中的氧气体积。

两边采用相同体积单位和相同温压条件；反向计算不能再乘一次 21%。

例如，需要 42 dm^3氧气，按其中氧气能全部取出利用计算，空气至少为：

$$\frac{42}{0.21} = 200 \quad dm^3$$

用空气体积的 21% 复核，确实得到所需氧气体积：

$$200 \times 0.21 = 42 \quad dm^3$$

若错把 42 乘 0.21，会得到 8.82 dm^3，空气总体积竟比所含氧气还小，方向就错了。“至少”按氧气全部取出利用计算；有损耗时需要更多空气。

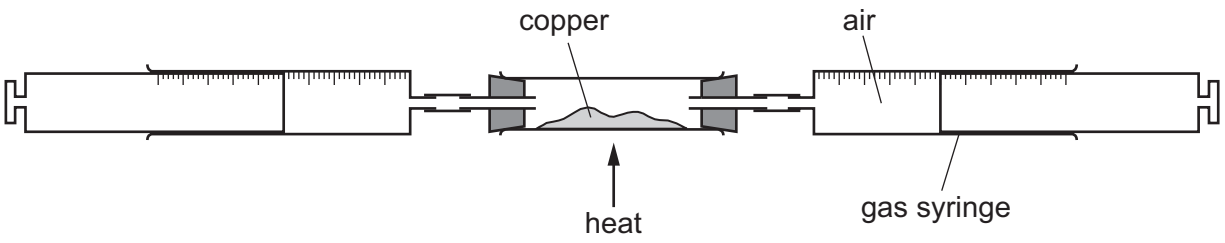
清洁干燥空气中 N_2约占_____%，O_2约占_____%。热铜实验中氧气百分比＝（_____－_____）÷_____×100%。已知 O_2体积求空气总体积，应_____0.21。

答案：78；21；初始总体积；最终总体积；初始总体积；除以

怎么认 先读所求是氧气、剩余气体还是原有空气；热铜实验取前后差，百分比用原总体积作分母。已知氧气需求反求空气时，除以 0.21 并核对量级。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q30） · 2 级

In the experiment shown, 100 cm^3 of clean, dry air is passed backwards and forwards through a tube containing heated copper until there is no further decrease in the volume of the air.



All of the gas is pushed into **one** syringe.

What is the final reading on this gas syringe?

A 0 cm^3 **B** 21 cm^3 **C** 79 cm^3 **D** 100 cm^3

解：

初始有 100 cm^3清洁干燥空气，其中氧气约占 21%。先求这部分氧气的体积：

$$100 \times 0.21 = 21 \quad cm^3$$

气体反复经过热铜，直到体积不再下降，表示氧气已被充分消耗，进入固体 CuO；其余气体仍保留。最后把所有气体推入一支注射器，读到的是剩余气体总体积。由初始空气体积减去被消耗的氧气体积：

$$100 - 21 = 79 \quad cm^3$$

所以选 C。

> 21 cm^3是被移除的氧气体积，并非最终读数。剩余 79 cm^3也不全是氮气，还包括稀有气体等。按这种体积比较，读数应在与初始可比较的温压条件下取得。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q31） · 1 级

Which gas is over 30% of clean, dry air?

A argon

B carbon dioxide

C nitrogen

D oxygen

2. （2025·May/June 0620/43 Q1(i)） · 1 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide **calcium oxide** **chlorine** **ethanol** **graphite**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **silicon(IV) oxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(i) is a gas that is approximately 78% of clean, dry air.

3. （2025·May/June 0620/42 Q1(a)） · 1 级

Using numbers only, state the:

(a) percentage of nitrogen in clean, dry air

4. （2025·May/June 0620/41 Q1(i)） · 1 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(i) is a gas that is approximately 21% of clean, dry air

5. （2025·May/June 0620/11 Q12） · 2 级

A hydrogen–oxygen fuel cell uses 630 dm^3 of oxygen.

The oxygen for the reaction is extracted from clean, dry air.

What is the minimum volume of clean, dry air needed to provide this volume of oxygen?

A 788 dm^3 **B** 808 dm^3 **C** 3000 dm^3 **D** 3316 dm^3

题型 2：把污染物来源、影响与治理反应对应起来

知识点

含碳燃料燃烧，先看氧气供应。甲烷 CH_4等含碳燃料在氧气充足时完全燃烧，生成 CO_2；含氢的燃料还生成水。甲烷完全燃烧的方程式为：

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

氧气不足时可能发生不完全燃烧，产生有毒的一氧化碳 CO，也可能产生炭颗粒等颗粒物。

含碳燃料的产物，取决于氧气是否充足

情况	甲烷的代表性反应
完全燃烧：氧气充足	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
不完全燃烧：可能生成CO	$2CH_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO + 4H_2O$
不完全燃烧：也可能生炭粒	$CH_4 + O_2 \rightarrow C + 2H_2O$

实际不完全燃烧可产生混合产物；表中每行分别举一种守恒的情形。

两条不完全燃烧方程式分别表示可能途径，不能将它们误当作一份产物的定比组成。

“不完全燃烧甲烷可生成 SO_2”为什么不成立？甲烷 CH_4含 C 和 H，反应氧气只提供 O，反应物中没有 S，不能凭空生成含硫产物。它可以生成 CO；如果题目另外说燃料含硫化合物，才有形成 SO_2的硫来源。先核对元素守恒，再判断燃烧条件。

污染物的来源与影响要成对区分。CO_2主要联系含碳燃料的完全燃烧；CO 和颗粒物联系不完全燃烧。CO 有毒；颗粒物会增加呼吸问题和癌症风险。甲烷 CH_4可来自植被在缺氧条件下的分解，以及动物消化产生的废气。CO_2和 CH_4含量增加会增强全球变暖，进而影响气候。

氮氧化物（oxides of nitrogen，常概括为 NO_x）可导致酸雨、光化学烟雾及呼吸问题；燃烧含硫化合物的化石燃料会生成 SO_2，它也会导致酸雨。NO_x 表示一类氮氧化物，不是某一个确定分子的化学式。

污染物：来源和影响要成对记

污染物	主要来源	本课程要求的影响
CO_2	含碳燃料完全燃烧	增强全球变暖
CO	含碳燃料不完全燃烧	有毒
颗粒物	含碳燃料不完全燃烧	呼吸问题、癌症风险
CH_4	植被分解、动物消化	增强全球变暖
氮氧化物 NO_x	汽车发动机高温反应	酸雨、光化学烟雾、呼吸问题
SO_2	含硫化石燃料燃烧	酸雨

NO_x概括不止一种氮氧化物，不是一个固定分子的化学式。

表按教纲限定范围组织；CO 的毒性、SO2/NOx 的酸雨作用与 CO2/CH4 的温室作用不能互换。

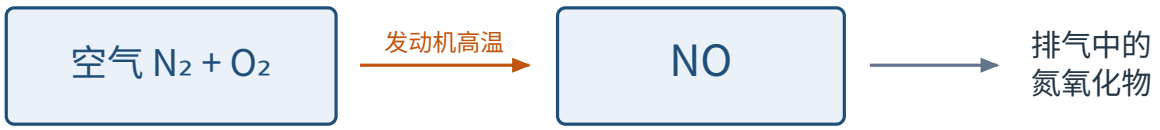
要从 CO、SO_2、NO_x 中选酸雨相关污染物，选 SO_2和 NO_x。CO 虽然有毒，但不能因为“有害”就把它也按本课程要求列为酸雨来源。反过来，问全球变暖时，应想到 CO_2和 CH_4，不能把“酸雨”“毒性”“温室作用”当成同一个后果。

发动机的氮氧化物从哪里来？汽车吸入空气，空气本来就含 N_2与 O_2。发动机内的高温使两者反应，形成氮氧化物。以 NO 为例：

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

关键是“来自空气的氮、氧”和“发动机内高温”两个条件，不能把氮的来源随意改为汽油。

发动机很热时，空气里的N_2和O_2可以反应



$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

氮、氧来自吸入的空气；催化转化器用于处理尾气，不是这里的生成处。

箭头连接反应物来源、形成条件和产物；这里只画 NO 作为氮氧化物的例子。

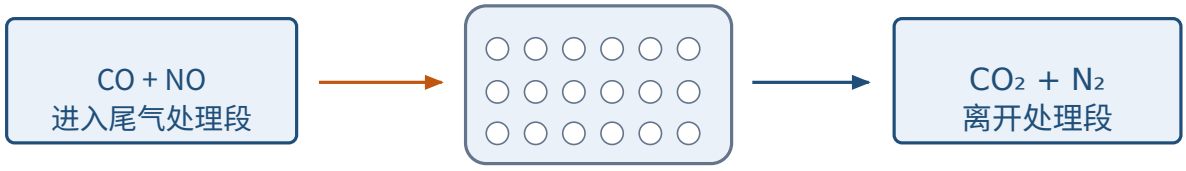
若一项说“N_2与 O_2在发动机高温下反应”，它正确连接了来源、条件与结果；若另一项说“在催化转化器中产生 NO”，它把治理装置写成了主要生成处。催化转化器位于尾气处理环节，其目的正是减少这些污染物。

治理时要看污染物真的变成了什么。催化转化器（catalytic converter）使尾气中的 CO 与 NO 反应：

$$2CO + 2NO \rightarrow 2CO_2 + N_2$$

CO 得到氧，被氧化为 CO_2；NO 失去氧，被还原为 N_2。这样同时减少有毒 CO 和氮氧化物，但生成的 CO_2仍有温室作用，不能说尾气因此完全没有环境影响。

催化转化器：让CO与NO反应，得到CO_2与N_2



$$2CO + 2NO \rightarrow 2CO_2 + N_2$$

CO被氧化，NO被还原；CO_2仍具有温室作用。

蜂窝只示意催化剂可供接触的表面，不表示孔径或具体金属配方。

再看另一条方程式：

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

这条反应虽然原子数守恒，却只是把一种氮氧化物变成另一种，不能作为本题要求的“去除氮氧化物”的答案。选反应时不只看它能否配平，还要确认右边出现 N_2，左边的 NO 被转变成非氮氧化物产物。

减少 **SO_2**，还可从源头或烟气下手。用低硫燃料，减少燃料中的硫来源；也可以用碱性氧化物 CaO 处理烟气，使酸性的 SO_2与其反应而被除去，这叫烟气脱硫（flue gas desulfurisation）。汽车氮氧化物用催化转化器，SO_2可用低硫燃料和 CaO 处理，措施应与污染物对应。

减少酸雨：分别处理氮氧化物与二氧化硫

污染物	措施	原因
氮氧化物	汽车使用催化转化器	将NO等转变为N_2
二氧化硫	使用低硫燃料	从源头减少可被氧化的硫
二氧化硫	烟气通过氧化钙	CaO与酸性SO_2反应，除去SO_2

CaO是碱性氧化物；这与高炉中CaO除去酸性SiO_2的思路相通。

治理措施必须对准污染物来源或反应性质；本图不把催化转化器当作去除全部温室气体的装置。

工厂烟气含 SO_2，提出“让烟气与 CaO 接触”后，要补上“CaO 与酸性的 SO_2反应，降低 SO_2排放”，才说明了措施为何有用。只写“加一种化学品”没有指明物质与作用；只写“植树”也没有直接解释这道酸雨治理题。

甲烷不完全燃烧可产生有毒气体_____。酸雨相关的两类污染物是_____与_____。发动机中的 NO 由空气中的_____和_____在高温下反应生成；催化转化器把 NO 转变成_____。

答案：CO；SO_2；NO_x；N_2；O_2；N_2

怎么认 来源题找反应物中有没有相应元素，再看燃烧条件；影响题区分毒性、酸雨和温室作用；治理方程式既要守恒，也要真正把目标污染物转为所需产物。

例题 1 （2025·May/June 0620/21 Q32） · 2 级

The exhaust gases from cars contain oxides of nitrogen.

How are these oxides of nitrogen formed?

A Nitrogen and oxygen from the air react together at the high temperatures in the engine.

B Nitrogen and oxygen from the petrol react together in the car exhaust.

C Nitrogen from the petrol reacts with oxygen at the high temperatures in the engine.

D Nitrogen reacts with oxygen from the air in the catalytic converter.

解：先核来源：发动机吸入空气，空气中已有 N_2与 O_2；再核条件：发动机内高温使两种气体反应形成氮氧化物。因此 A 同时满足来源和条件，选 A。

B 与 C 把反应所需氮的来源改成 petrol，不符合本题的形成机制。D 把反应放在 catalytic converter 内；催化转化器用于处理并去除尾气中的氮氧化物，不是题目所问的主要生成位置。

形成 NO 的反应可写为：

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

判断时必须保留“空气”和“发动机高温”两个关键信息。

例题 2 （2025·May/June 0620/22 Q30） · 2 级

Gases which cause acid rain form in car engines.

These gases can be removed using a catalytic converter.

Which equation represents the removal of one of these gases using a catalytic converter?

A $CO_2 + C \rightarrow 2CO$

B $2CO + 2NO \rightarrow 2CO_2 + N_2$

C $N_2 + 2O_2 \rightarrow 2NO_2$

D $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$

解：要选择的是“去除一种酸雨相关气体”的催化转化反应。汽车氮氧化物中的 NO 应在反应后转成 N_2，尾气中的 CO 则可接受它提供的氧。

B 给出的反应为：

$$2CO + 2NO \rightarrow 2CO_2 + N_2$$

NO 被消耗并转成 N_2，同时 CO 变成 CO_2，符合要求，选 B。核对原子数，两边 C 均为 2、N 均为 2、O 均为 4。

A 没有去除 NO，反而生成有毒 CO；C 是由 N_2与 O_2生成 NO_2；D 只是将 NO 氧化成 NO_2，仍保留氮氧化物，不能满足本题的去除目的。生成的 CO_2仍可能产生温室影响，但这不改变 B 能降低 NO 排放这一结论。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/11 Q32） · 1 级

What is produced by the incomplete combustion of methane?

A carbon monoxide

B hydrogen

C lead compounds

D sulfur dioxide

2. （2025·May/June 0620/41 Q1(f)） · 1 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(f) causes acid rain

3. （2025·May/June 0620/12 Q31） · 2 级

Sulfur dioxide, carbon monoxide and oxides of nitrogen are gaseous pollutants found in the air.

Which pollutants contribute to acid rain?

A carbon monoxide and sulfur dioxide

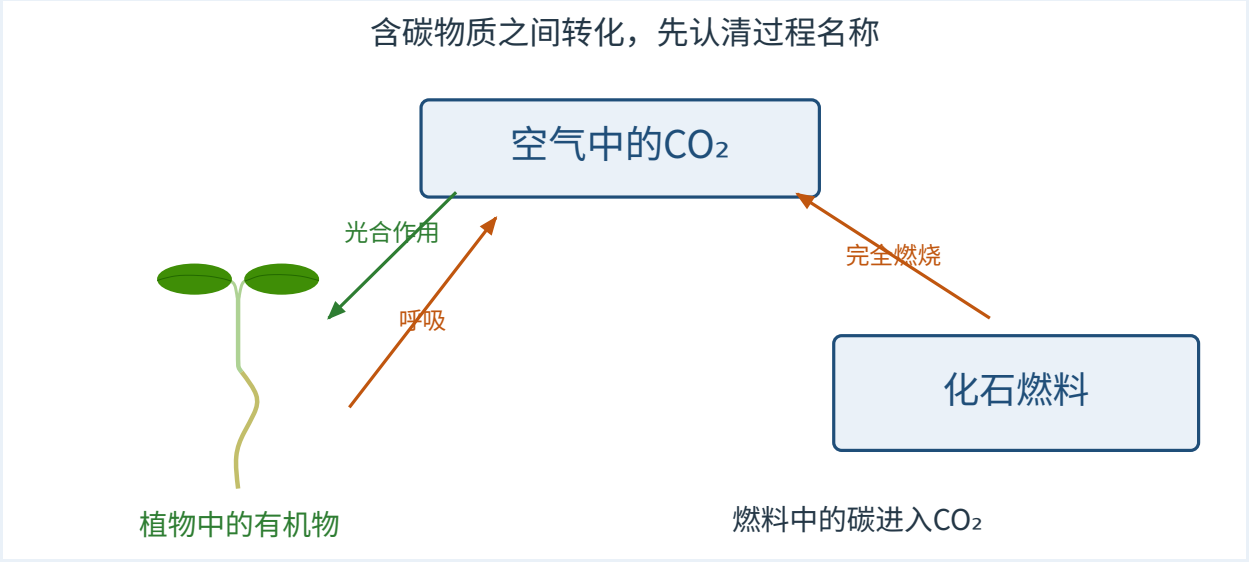
B oxides of nitrogen and sulfur dioxide

C oxides of nitrogen only

D sulfur dioxide only

题型 3：用碳转移与热辐射解释光合作用和气候变化

知识点 先把碳的来源与去向连起来。含碳燃料完全燃烧时，燃料中的碳转入 CO_2，进入空气。植物进行光合作用时消耗空气中的 CO_2，把其中的碳组成葡萄糖等有机物；植物和动物进行呼吸时也会释放 CO_2。植物不是只吸收 CO_2而永远不释放它。

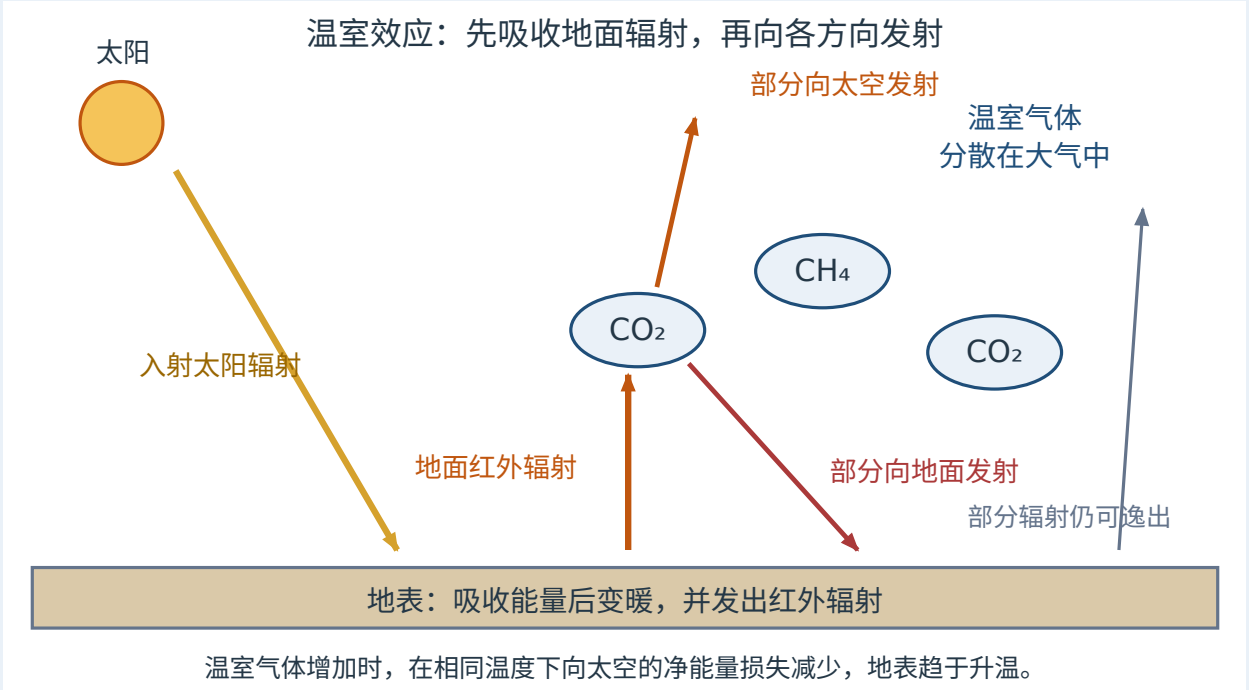


只画本题链需要的三个碳转移过程；植物也会呼吸。图不表示化石燃料能在短期内重新形成。

问“燃烧化石燃料为什么使大气 CO_2 增多”，要写燃料中的碳在燃烧中转为 CO_2 并释放；问“生长中的树木如何有助于减缓这一问题”，则写光合作用吸收 CO_2。图中两个箭头的碳转移方向相反。

还有另一种重要温室气体：甲烷 CH_4。它可在植被缺氧分解时产生，也可来自动物消化的废气。题目只说“decomposition of vegetation”时，要认出这条甲烷来源；不能把所有含碳物质的变化都写成燃烧或只产 CO_2。

地球怎样获得能量，又怎样向外散失能量？地表吸收太阳辐射后变暖，会发出红外辐射，即题目常说的 thermal energy from the Earth。大气中的 CO_2、CH_4 能吸收一部分地面发出的红外辐射，并向各个方向发射能量；其中一部分朝向地面与低层大气，一部分朝向太空。



温室气体增加时，在相同温度下向太空的净能量损失减少，地表趋于升温。

各箭头只表示能量传递方向，不表示定量比例。温室气体按气体粒子分散绘制，不画成可见镜面或不透光外壳。

在其他条件相同、地表温度暂未改变时，温室气体增多会减少向太空的净能量损失，地表随后趋于升温。长期的全球变暖可导致气候变化。天然温室效应与人为增加温室气体所造成的增强作用要分清；这里重点是“含量增加，使原有保温作用增强”。

“CO_2增加，使地球更快向太空散失能量”把方向写反，应改为“减少向太空的能量损失”。“只有 CO_2能造成全球变暖”也不对，因为本节同时讲了 CH_4。

旧题有时用 reflects 或“反射回地面”描述能量返回的结果。做这类原题时，保留它考查的“部分地面热辐射返回、能量损失减少”关系；理解机理时应使用吸收与再发射，不要把气体分子想成镜子。也不要把“来自地面的辐射”悄悄换成“所有来自太阳的辐射”。这一物理区分参见 NASA《Global Warming》中对天然温室效应的解释。

措施要连接到具体气体的来源或吸收。植树与保护植被，使生长中的植物通过光合作用吸收 CO_2；减少化石燃料使用、更多使用风能和太阳能，减少燃烧排放。减少畜牧业相关排放，可降低动物消化产生的 CH_4。使用氢燃料时产物是水，但评估总排放仍要考虑氢是怎样生产的。

减少温室气体：每一种措施都要说明减少了哪一项

措施	解释
植树、保护植被	生长中的植物通过光合作用吸收CO_2
减少化石燃料使用	减少含碳燃料燃烧产生的CO_2
更多采用风能、太阳能	发电时不需燃烧含碳燃料
合理减少畜牧业排放	减少动物消化相关的CH_4排放
增加合适的氢能应用	使用H_2时产物为水；总排放还取决于制氢方式

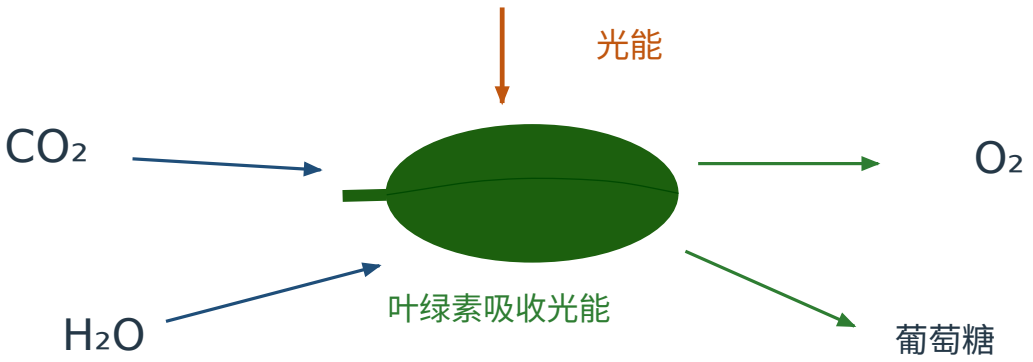
植被缺氧分解与动物消化都可产生CH_4；不能只记CO_2这一种温室气体。

本表解释教纲所列措施的作用环节；没有假定任意制氢方式都不排放 CO2，也没有给出未经来源支持的减排数值。

题目提出“减少畜牧业排放”，理由应与 CH_4来源相连；提出“用风能代替燃煤发电”，理由是减少燃烧含碳燃料产生的 CO_2。两项措施都可帮助应对气候变化，但不能交换成“风机吸收甲烷”这种没有因果依据的说法。

光合作用的物质与条件分开写。二氧化碳和水是反应物，葡萄糖与氧气是产物；叶绿素存在、获得光能是发生过程的条件。光提供能量，不能把光当成一种提供碳原子的化学物质。

光合作用：物质来自CO_2和水，能量来自光



二氧化碳 + 水 → 葡萄糖 + 氧气

$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

蓝箭头表示反应物进入，绿箭头表示生成的物质，橙箭头表示能量输入。叶绿素为条件，不写在物质守恒式的反应物一边。

先用物质名称写出光合作用的文字方程式：

carbon dioxide + water → glucose + oxygen

再写出配平后的符号方程式：

$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

反应条件为 chlorophyll 与 light。核对原子数：两边 C 均为 6、H 均为 12、O 均为 18。

若原题给出“CO_2＋水，在叶绿素和阳光下生成葡萄糖＋氧气”，根据反应物、产物和条件就能辨认为 photosynthesis。它不是燃烧，因为能量输入条件与物质变化方向不同；也不是置换，因为没有一种元素从化合物中替换另一种元素。

本节两种温室气体是_____和_____。它们吸收地面_____辐射，使向太空的净能量损失_____。光合作用的反应物为_____、_____，产物为_____、_____，所需能量来自_____。

答案：CO_2；CH_4；红外；减少；CO_2；水；葡萄糖；O_2；光

怎么认 先区分物质变化与能量变化：燃烧、分解、光合作用决定碳去哪；温室题追踪地面发出的辐射及向太空的净损失，注意原题的地面/太阳、增加/减少限定。

例题 1 （2025·May/June 0620/21 Q31） · 2 级

Which statements help explain why an increasing amount of carbon dioxide or methane in the atmosphere causes global warming?

1 Carbon dioxide absorbs thermal energy from the Earth.

2 Methane does **not** absorb thermal energy from the Sun.

3 Carbon dioxide does **not** reflect thermal energy from the Sun to the Earth.

4 Methane reflects thermal energy from the Earth back to the Earth.

A 1 and 3 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 2 and 4

解：本题考查地面散热与能量返回。叙述 1 说 CO_2吸收来自地面的热辐射，符合温室作用；叙述 4 把甲烷使部分地面热能返回地面写成 reflects，按这道原题的表述与官方答案，1 和 4 构成所需解释，选 B。

理解时把 4 读成“地面发出的部分辐射能量返回地面这一结果”。更准确的过程是：CH_4吸收红外辐射，再向各方向发射，其中一部分朝向地面。气体并不是一面将射线原样弹回的镜子。

> 2、3 都转向太阳辐射，而且只说“不吸收”或“不反射”，没有建立本题所需的“地面向太空的净能量损失减少”的因果，因此不是官方所选解释。保留原题措辞的同时，写自己的解释时使用吸收与再发射这一物理过程。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q1(d)） · 1 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(d) is produced by the decomposition of vegetation

2. （2025·May/June 0620/13 Q33） · 1 级

The equation for the reaction between carbon dioxide and water in the presence of chlorophyll and sunlight is shown.

$$\text{carbon dioxide + water} \xrightarrow[\text{sunlight}]{\text{chlorophyll}} \text{glucose + oxygen}$$

Which process does this equation represent?

A combustion

B decomposition

C displacement

D photosynthesis

3. （2025·May/June 0620/22 Q31） · 2 级

Which statements about carbon dioxide are correct?

1 Carbon dioxide absorbs thermal energy from the Earth.

2 Carbon dioxide increases the thermal energy loss to space.

3 The level of carbon dioxide in the atmosphere has increased due to the burning of fossil fuels.

4 Carbon dioxide is the only gas that causes global warming.

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 2 and 3 **D** 2 and 4

有机化学

11.1 分子式、结构式与官能团

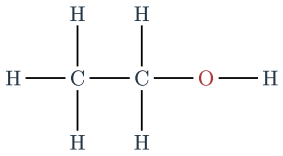
题型 1：从原子、官能团与通式辨认有机物家族

知识点 先把一个分子看成“哪些原子，怎样连接”。有机化学中常见的碳原子用 C 表示，氢用 H，氧用 O。我们先研究由它们组成的一些简单分子。碳通常形成 4 条共价键，氢形成 1 条，氧形成 2 条；画展开式时要逐个核对，不能只让整个分子的总数看起来合适。

展开式、结构简式、分子式各自回答一个问题。展开式 displayed formula 画出全部原子和全部键；结构简式 structural formula 把一些 C—H 键合写成 CH_3、CH_2等，但仍明确连接次序；分子式 molecular formula 只汇总各元素有几个原子。例如乙醇 ethanol 的 CH_3CH_2OH，表示一个 CH_3接一个 CH_2，再接 O—H。

同一个乙醇分子，可以用三种式子表示

展开式：所有原子和键



结构简式：保留连接次序

CH_3CH_2OH

左边C—中间C—O—H

分子式：只报原子总数

C_2H_6O

C：2；H：3+2+1；O：1

短线表示共价键；结构图显示连接关系，不是实际空间形状。三个框始终表示同一种乙醇分子。

由 CH_3CH_2OH 求分子式，先按元素分别数。CH_3和 CH_2各带 1 个 C，合起来有 2 个 C；OH 中有 1 个 O。氢要连 OH 里的 H 一起数：

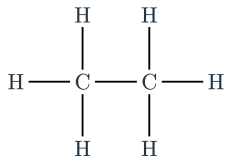
$$\text{H 的总数} = 3 + 2 + 1 = 6$$

因此分子式为 C_2H_6O。反过来，只知道 C_2H_6O 还不能唯一确定连接顺序，所以分子式不能自动替代展开式。

官能团是结构中决定某一同系物家族化学性质的原子或原子团。 functional group 对应“官能团”。烯烃 alkene 含 C=C；本节的一元醇 alcohol 含与碳相连的—OH；羧酸 carboxylic acid 含—COOH，里面有一个 C=O 和一个 O—H。—COOH 要作为完整羧基辨认，不能因为里面也有 OH，就把羧酸直接归为醇。烷烃 alkane 则按只含 C、H 且碳碳均为单键的饱和碳氢骨架辨认。

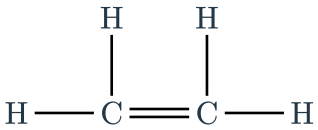
找官能团：先找到决定这一家族反应特点的部位

乙烷 · alkane



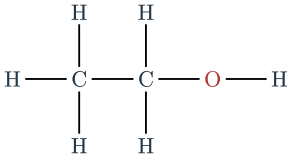
C—C均为单键

乙烯 · alkene



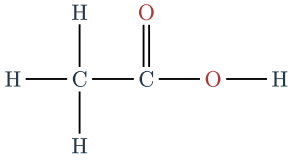
官能团：C=C

乙醇 · alcohol



官能团：—OH

乙酸 · carboxylic acid



官能团：—COOH

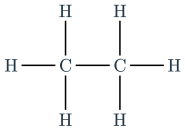
C=C 是碳碳双键；—OH 须接在合适的碳骨架上；羧基—COOH 含一个 C=O 和一个 O—H。烷烃以饱和碳氢骨架辨认。

结构 CH_3CH_2OH 中，O 以单键连接 C 和 H，属于醇；结构 CH_3COOH 中，末端 C 同时连一个双键 O 和一个 O—H，属于羧酸。两者都含 C、H、O，仍然可以有不同反应特点，关键是连接成了什么官能团。

“烃”与“饱和”分两步判断。烃 hydrocarbon 是只含碳和氢的化合物；含氧的乙醇不是烃。饱和 saturated 指分子中所有碳碳键都是单键；不饱和 unsaturated 指至少有一处碳碳键不是单键，本节最常见的是 C=C。检查的是两个碳之间的键，不能把 C=O 当作 C=C。

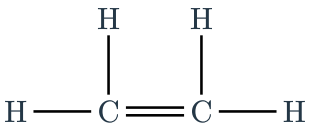
判断饱和与否，只检查碳—碳之间的键

乙烷



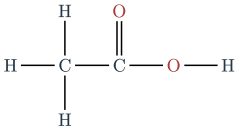
C—C全是单键
饱和；也是烃

乙烯



有C=C
不饱和；也是烃

乙酸



C—C是单键；C=O不是C=C
饱和；含氧，所以不是烃

饱和与不饱和按本课程的碳碳键定义判断；“烃”另按是否只含 C、H 判断。

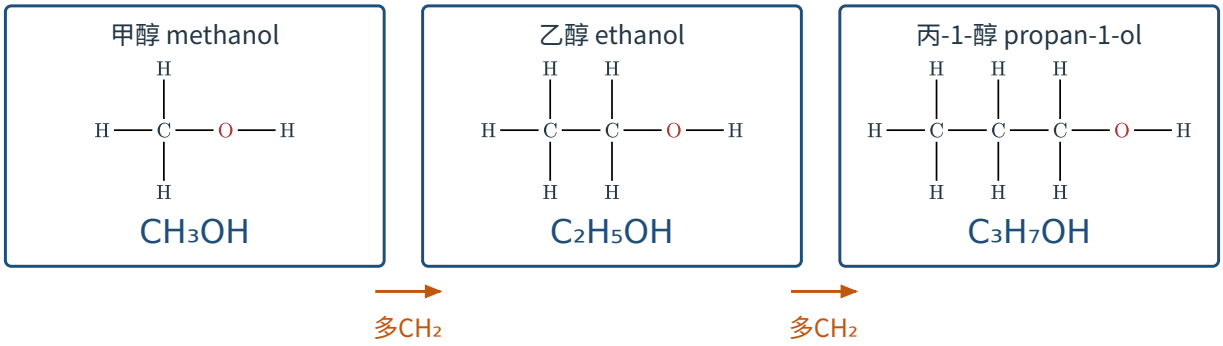
CH_3CH_3只有 C、H，碳碳为单键，所以既是烃又饱和。

$CH_2{=}CH_2$也只有 C、H，但有 C=C，所以是烃且不饱和。

CH_3COOH 虽然有 C=O，碳碳之间仍只有单键；它按碳碳键定义是饱和化合物，但含氧，不是烃。

同系物是一家结构有共同特点、化学性质相似的化合物。homologous series 叫“同系物系列”。具有相同官能团的成员会有相似的化学性质；成员还符合相同通式 general formula。从一个成员到下一个成员，组成增加一个—CH_2—。物理性质 physical properties 会呈现有规律的变化，而不是所有成员具有相同沸点。

同系物：相邻成员增加一个—CH_2—，保留同一种官能团



箭头表示比较相邻成员时增加 CH_2，不表示把甲醇直接反应成乙醇。相邻成员的相对分子质量差为 12＋2＝14。

甲醇 CH_3OH 与乙醇 C_2H_5OH 都含醇的 OH；乙醇比甲醇多 1 个 C、2 个 H，即多 CH_2。相邻成员多出的 CH_2 由 1 个 C 和 2 个 H 组成，因此相对分子质量增加：

$$12 + 2 \times 1 = 14$$

沿本节直链醇系列，碳链增长时沸点通常升高，但仍共享醇的相似化学反应。答“两项特点”时可写“相同官能团”和“相邻成员相差 CH_2”，不要把“同一沸点”写进去。

通式里的字母先要有明确含义。本节烷烃、开链单烯烃和一元饱和醇的通式，分别为 C_nH_{2n+2}、C_nH_{2n}、$C_nH_{2n+1}OH$，其中 n 是分子的总碳数。烯烃至少要有两个碳，才能形成 C=C。醇通式在 OH 前的 H 数是 2n＋1，再加 OH 中的 1 个 H，总氢数才是 2n＋2。

羧酸的课程通式写为 $C_nH_{2n+1}COOH$；这里 n 数的是 COOH 旁边的碳氢部分，COOH 本身还含一个碳。比如 n＝1 是 CH_3COOH，总共两个碳，叫乙酸；甲酸 HCOOH 的碳氢部分只有 H，相当于 n＝0。若改用整个分子的总碳数 N，则这些一元饱和羧酸有 N 个 C、2N 个 H、2 个 O。

先说明n数的是哪些碳，再代入通式

烷烃 n：整个分子的碳数	C_nH_{2n+2}	n＝3 → C_3H_8
烯烃 这里指开链、一个C=C的系列	C_nH_{2n}	n＝3 → C_3H_6
一元饱和醇 OH中还有1个H，须计入总数	$C_nH_{2n+1}OH$	n＝3 → C_3H_7OH → C_3H_8O
一元饱和羧酸 n数侧链；COOH还含1个C	$C_nH_{2n+1}COOH$	n＝3 → C_3H_7COOH → $C_4H_8O_2$

醇的 OH、羧酸的 COOH 是通式的一部分，不能在求分子式时漏数。羧酸若改用整个分子的总碳数，须把羧基中的碳也纳入，再重新计算 H 数。

先看三碳一元饱和醇：在醇的通式中代 n＝3，得到 C_3H_7OH。把 OH 中的 H 并入总数，分子式为 C_3H_8O。

再看三碳一元饱和羧酸：总碳数 N＝3，所以有 3C、6H、2O，分子式 $C_3H_6O_2$；若用课程的侧链通式，则侧链 n＝2，得到 C_2H_5COOH，数原子后仍是 $C_3H_6O_2$。

含多个官能团或 C=C 的复杂结构，不应强行套这些简单家族通式，应直接按图计数。

读名称时，先用前缀确定碳数，再用后缀确定家族。meth-、eth-、prop-、but-依次对应 1、2、3、4 个碳；-ane 提示烷烃，-ene 提示烯烃，-ol 提示醇，-oic acid 提示羧酸。羧酸的碳数包含 COOH 的那个 C。例如 methanoic acid 是甲酸 HCOOH，共一个碳；ethanoic acid 是乙酸 CH_3COOH，共两个碳。

先认碳数前缀，再认家族后缀

碳数	前缀	烷烃 -ane	烯烃 -ene	羧酸 -oic acid
1	meth- 甲	methane CH_4	至少2个C	methanoic acid HCOOH
2	eth- 乙	ethane C_2H_6	ethene C_2H_4	ethanoic acid CH_3COOH
3	prop- 丙	propane C_3H_8	propene C_3H_6	propanoic acid C_2H_5COOH
4	but- 丁	butane C_4H_{10}	butene C_4H_8	butanoic acid C_3H_7COOH

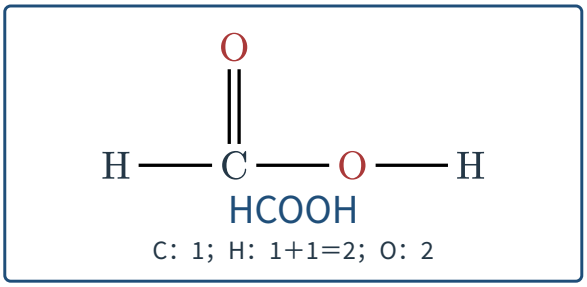
-ol表示醇；1—4个碳依次为methanol、ethanol、propanol、butanol，必要时再给OH位置。

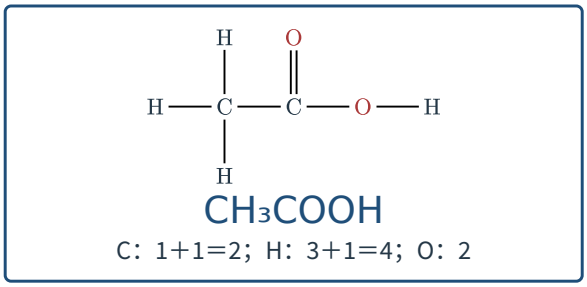
同一前缀表示同样的总碳数；butene、propanol、butanol 还需要位置号才能指明具体连接方式。展开式在下一题型逐一给出。

propene 中的 prop-表示 3 个碳，-ene 提示烯烃；在本节家族中分子式是 C_3H_6。propane 同样 3 个碳，但-ane 表示烷烃，分子式变为 C_3H_8。两词只差一个字母，却对应不同键型和氢原子数。ethanol 是 C_2H_6O，不能因名字里也有 eth-，就把它与乙烯 C_2H_4混同。

从复杂展开式求分子式，按元素分三次清点。先只数所有 C，再数所有 H，最后数 O 等其他元素。把每个显式画出的元素符号算一次；连接线不是原子，双键的两条线也不是额外的原子。遇到 COOH，要同时计入它的 C、两个 O 和一个 H。

数原子：每个元素符号只算一个原子，键线不算原子





两条平行线是一条双键的画法，并不多出两个氧原子。O—H 里的 H 也要计入分子式。

HCOOH 中，第一个 H 与最后 OH 里的 H 分别提供一个 H，总共 H_2；中间只有一个 C，却有两个 O，因此为 CH_2O_2。

CH_3COOH 则有两个 C。CH_3中的 3 个 H 加上 OH 中的 1 个 H，共 4 个 H，另有两个 O，所以写作 $C_2H_4O_2$。

若题目问一个分子有多少原子，还须将分子式的各下标相加；不能只报相对分子质量。

单体这个词描述分子的用途。monomer 是能连接形成大分子的小分子，叫单体；polymer 是由许多这样的单元组成的长链，叫聚合物。乙烯可以进行加成聚合，形成聚乙烯 poly(ethene)。因此，同一个乙烯分子既可称“烃”，也可称“单体”；这两个词并不互相排斥。

乙烯可以作单体：小分子连接成很长的链



单体 monomer：用来连接成长链的小分子。

方括号内是重复单元；两端伸出的键要接向相邻单元。

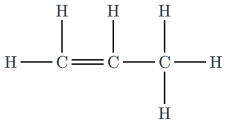
反应箭头表示乙烯加成聚合。图中 CH_2 是结构简写；n 表示许多重复单元，不是一个额外原子。

判断“乙烯是烃、是单体、是饱和的、完全不易反应”这几类描述时，先分别查组成、用途、碳碳键和反应性。乙烯只含 C 和 H，且可连接成长链；它有 C=C，不能称为饱和。C=C 能参与加成，所以不能把它描述为本节所说的通常不易反应的烷烃。

“符合某通式”不等于“唯一确定结构”。在本课程给定的简单开链家族中，C_2H_4 与 C_4H_8 可按 C_nH_{2n} 归入烯烃系列。但如果题目允许其他连接方式，仅凭 C_nH_{2n} 不能在所有情形下证明一定含 C=C。判断 could be（可能是）只需存在一种符合条件的结构；要说 must be（必定是），还需排除其他连接可能。

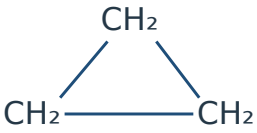
分子式相同，并不能单独确定碳原子怎样连接

丙烯：$CH_2=CH-CH_3$



C_3H_6，有C=C

另一种可能的环状连接



也有C_3H_6，但碳碳均为单键

右图只说明分子式的判断边界，本节不要求给环状结构命名；每个 CH_2 含 1 个 C、2 个 H。

$C_4H_8O_2$ 符合本节一元饱和羧酸的原子比例，故“可能是羧酸”可以成立；但仅凭分子式不能断言一定含 COOH。C_3H_8O 虽然有氧，却只有一个 O，不满足羧酸至少需要两个 O 这一结构要求；C_6H_{14} 完全没有 O，更不可能是本节的醇或羧酸。

同系物有_____的官能团、_____的化学性质；相邻成员相差_____。烃只含_____两种元素。判断不饱和应寻找_____。C_3H_7OH 合并后的分子式为_____；HCOOH 共含_____个原子。

答案：相同；相似；CH_2；碳和氢；碳碳非单键（如 C=C）；C_3H_8O；5

怎么认 先读所求是家族、分子式还是原子数。家族找官能团，分子式逐元素清点；套通式先说明碳数范围，遇 could 与唯一结构的判断分开。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q33） · 1 级

Which row identifies compounds in the same homologous series?

	chemical properties	functional group
A	different	different
B	different	same
C	similar	different
D	similar	same

解：题表要求同一行同时正确描述 chemical properties（化学性质）和 functional group（官能团）。同系物含相同的官能团，所以发生相似的化学反应。第一列应为 similar，第二列应为 same，对应 D。A、B 把化学性质写成 different；C 虽然写 similar，却把官能团写成 different。逐列核对后只有 D 两项都成立，因此选 D。相似化学性质不要求沸点等物理性质全部相同。

例题 2 （2025·May/June 0620/41 Q5(c)(ii)） · 2 级

(c) Methanol is a member of the homologous series of alcohols.

(ii) State the molecular formula of an alcohol that contains five carbon atoms.

解：题目问一个含五个碳的 alcohol 的 molecular formula。这里使用本课程一元饱和醇通式 $C_nH_{2n+1}OH$，n 是整个分子的碳数。
代入 n＝5，得到 $C_5H_{11}OH$。把 OH 中的 H 也并入总氢数：
H 的总数 $= 11 + 1 = 12$
氧有 1 个，因此分子式为 $\mathbf{C_5H_{12}O}$。
这问没有要求给五碳醇命名或画所有异构体，只要正确分子式。不能写 $C_5H_{11}O$，因为那样漏掉了 OH 中的一个 H。

例题 3 （2025·May/June 0620/42 Q6(e)(i)） · 2 级

(e) Compound **B** has the displayed formula shown in Fig. 6.1.

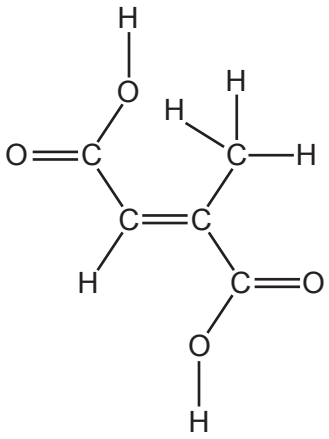


Fig. 6.1

(i) Deduce the molecular formula of compound **B**.

解：按 Fig.6.1 逐元素数，不能因为看见两个 COOH 就直接套一元饱和羧酸通式：本分子还含 C=C，结构比那个通式的家族复杂。
先数 C：上方左侧羧基有 1 个，中间 C=C 有 2 个，右上方 CH_3有 1 个，右下方羧基有 1 个，把这四部分相加：
$$\text{C 的总数} = 1 + 2 + 1 + 1 = 5$$
再数 H：两个 O—H 各 1 个，共 2 个；C=C 左侧碳下方有 1 个；右上方 CH_3有 3 个，把这三部分相加：
$$\text{H 的总数} = 2 + 1 + 3 = 6$$
最后数 O：每个羧基有 2 个 O，两个羧基共 4 个 O。因此分子式是 $\mathbf{C_5H_6O_4}$。图中的键线不计为原子，双键也不使 C 或 O 的个数翻倍。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/13 Q34） · 1 级

Which statement about members of a homologous series is correct?

A They are elements with the same chemical properties.

B They are compounds with the same functional group.

C They are atoms with the same number of outer shell electrons.

D They are molecules with the same boiling point.

2. （2025·May/June 0620/42 Q6(a)） · 1 级

Ethene, C_2H_4, is the first member of a family of similar compounds which contains the alkene functional group.

(a) State the term for a family of similar compounds which contain the same functional group.

3. （2025·May/June 0620/42 Q6(e)(ii)） · 1 级

(e) Compound **B** has the displayed formula shown in Fig. 6.1.

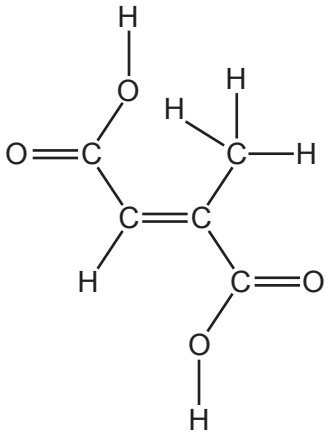


Fig. 6.1

(ii) State why compound **B** is unsaturated.

4. （2025·May/June 0620/43 Q1(b)） · 1 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide **calcium oxide** **chlorine** **ethanol** **graphite**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **silicon(IV) oxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(b) is an unsaturated hydrocarbon

5. （2025·May/June 0620/43 Q1(g)） · 1 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide **calcium oxide** **chlorine** **ethanol** **graphite**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **silicon(IV) oxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(g) belongs to a homologous series whose general formula is C_nH_{2n+2}

6. （2025·May/June 0620/43 Q5(c)(i)） · 1 级

(c) Ethanoic acid is a member of the carboxylic acid homologous series.

(i) Name the carboxylic acid that contains only one carbon atom.

7. （2025·May/June 0620/12 Q32） · 2 级

The formulae for three organic compounds are listed.

1 C_2H_4

2 C_4H_8

3 C_4H_{10}

Which compounds belong to the same homologous series?

A 1, 2 and 3 **B** 1 and 2 only **C** 1 and 3 only **D** 2 and 3 only

8. （2025·May/June 0620/41 Q1(g)） · 2 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(g) is a simple molecule with 11 atoms

9. （2025·May/June 0620/41 Q5(c)(i)） · 2 级

(c) Methanol is a member of the homologous series of alcohols.

(i) State **two** characteristics of all members of a homologous series.

10. （2025·May/June 0620/42 Q6(b)） · 2 级

Ethene, C_2H_4, is the first member of a family of similar compounds which contains the alkene functional group.

(b) Determine the difference in relative molecular mass between C_2H_4 and the next member in this family of similar compounds.

11. （2025·May/June 0620/43 Q1(e)） · 2 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide **calcium oxide** **chlorine** **ethanol** **graphite**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **silicon(IV) oxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(e) contains simple molecules with 9 atoms

12. （2025·May/June 0620/43 Q5(c)(ii)） · 2 级

(c) Ethanoic acid is a member of the carboxylic acid homologous series.

(ii) State the molecular formula of a carboxylic acid that contains four carbon atoms.

13. （2025·May/June 0620/11 Q37） · 2 级

Some words used to describe organic compounds are listed.

1 hydrocarbon

2 monomer

3 saturated

4 unreactive

Which words describe ethene?

A 1 and 2 **B** 1 and 3 **C** 2 and 4 **D** 3 and 4

14. （2025·May/June 0620/13 Q35） · 3 级

The molecular formulae of four organic compounds, W, X, Y and Z, are shown.

W	X	Y	Z
C_3H_8O	C_3H_6	$C_4H_8O_2$	C_6H_{14}

Which statement about compounds W, X, Y and Z is correct?

A W and Z could both be alcohols.

B Y is the only compound that could be a carboxylic acid.

C W is a hydrocarbon.

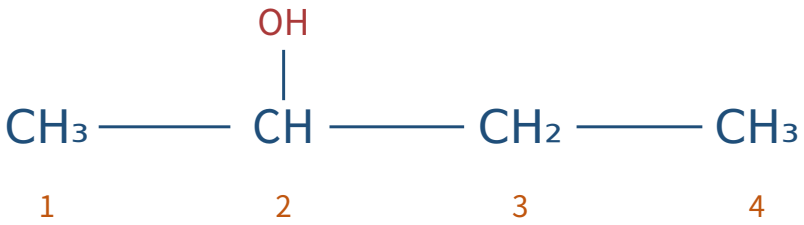
D X is ethene.

11.2 有机物命名与同分异构

题型 1：把名称画成结构，再数键并排除重复异构体

知识点 名字先拆成三条信息：碳数、家族、位置。butan-2-ol 中的 but-要求四个碳，-ol 表示醇，数字 2 表示 OH 连在 2 号碳上。先画四碳链，再把 OH 放到指定碳上，最后按 C 形成 4 条键、O 形成 2 条、H 形成 1 条补齐氢。数字不是分子个数，也不是碳的电荷。

butan-2-ol：四个碳，OH连在2号碳上



从离OH较近的一端编号：把右端当起点会得到3，应改用2。

$CH_3CH(OH)CH_2CH_3$ 与 $CH_3CH_2CH(OH)CH_3$ 是同一个分子反向书写。

横线和竖线表示连接；数字是碳的位置号，不是系数或碳原子的电荷。

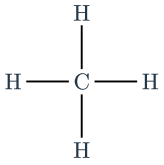
propan-2-ol 要求三个碳，OH 在中间碳上，写成 $CH_3CH(OH)CH_3$。中间 C 已与左右两个 C 及 O 成键，只剩一条键可连 H，所以写 CH 而非 CH_2。propan-1-ol 的 OH 在末端，应写 $CH_3CH_2CH_2OH$，两者的分子式相同，连接不同。

直链烷烃，先连接碳，再补满每个碳的四条键。一个碳的 methane 是 CH_4；两个碳相连时，C—C 已经占去各一条键，所以两端各接三个 H，ethane 写作 CH_3CH_3。直链内部的 C 与两个 C 相连，剩两条键各接一个 H，故写 CH_2。

1—4个碳的直链烷烃

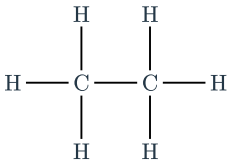
methane · 甲烷

CH_4



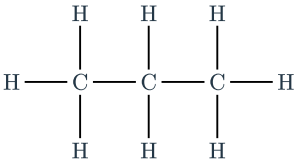
ethane · 乙烷

CH_3CH_3



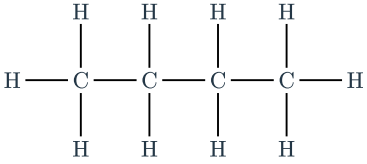
propane · 丙烷

$CH_3CH_2CH_3$



butane · 丁烷

$CH_3CH_2CH_2CH_3$



右侧每个 C、H、O 及每条键均已画出；分子在纸面上的朝向不改变其连接方式。

画丁烷，先排 C—C—C—C，两端各补三个 H，中间各补两个 H，得到 $CH_3CH_2CH_2CH_3$。再把各个碳上连接的 H 相加：

$$\text{H 的总数} = 3 + 2 + 2 + 3 = 10$$

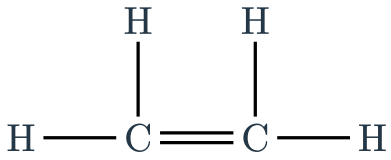
结果与四碳烷烃通式 C_4H_{10}相符。只写 C_4H_{10}没有告诉读者碳怎样连接，不能代替题目指定的展开式。

烯烃的位置号指出双键从哪个碳开始。C=C 使参与的每个 C 都用两条键额度连向另一个 C，所以相较相应烷烃少两个 H。给双键编号时，从使双键位置号较小的一端开始；but-1-ene 的双键在 1 与 2 号 C 之间，but-2-ene 在 2 与 3 号 C 之间。

含一个C=C的直链烯烃：2—4个碳

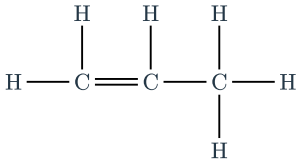
ethene · 乙烯

$CH_2=CH_2$



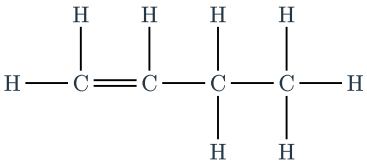
propene · 丙烯

$CH_2=CHCH_3$



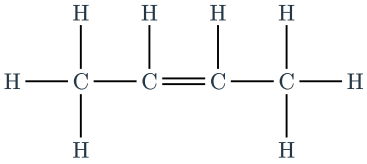
but-1-ene · 丁-1-烯

$CH_2=CHCH_2CH_3$



but-2-ene · 丁-2-烯

$CH_3CH=CHCH_3$



右侧每个 C、H、O 及每条键均已画出；分子在纸面上的朝向不改变其连接方式。

$CH_3CH_2CH=CH_2$若从右向左数，双键从 1 号 C 开始，应叫 but-1-ene；不能因式子从左往右写，就叫 but-3-ene。

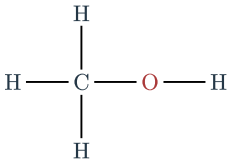
$CH_3CH=CHCH_3$的双键在中间，不论从哪端编号都为 2，叫 but-2-ene。两者都为 C_4H_8，差别在双键连接位置。

醇的 **OH** 位置，改变的是哪个碳上的一个 **H** 被 **OH** 替代。甲醇 methanol、乙醇 ethanol 的简单直链结构无需另给 OH 位置号；三碳链开始，末端和中间的 OH 会给出不同连接。画展开式时把 O 与 H 分别画出，O 不能同时连三条普通共价键。

1—3个碳的直链醇：OH的位置也要看

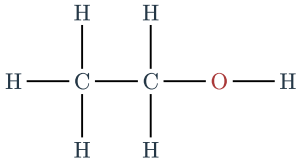
methanol · 甲醇

CH_3OH



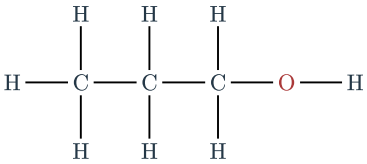
ethanol · 乙醇

CH_3CH_2OH



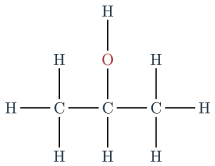
propan-1-ol · 丙-1-醇

$CH_3CH_2CH_2OH$



propan-2-ol · 丙-2-醇

$CH_3CH(OH)CH_3$



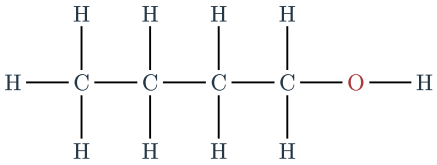
右侧每个 C、H、O 及每条键均已画出；分子在纸面上的朝向不改变其连接方式。

$CH_3CH_2CH_2OH$ 的 OH 在末端，反向写成 $HOCH_2CH_2CH_3$ 仍是 propan-1-ol。$CH_3CH(OH)CH_3$ 的 OH 在中间，是 propan-2-ol。二者均有 3C、8H、1O，不能用分子式 C_3H_8O 来区分具体是哪一种。

4个碳的直链醇：反向编号先排除重复

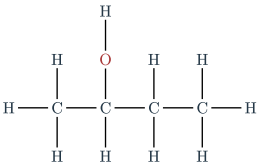
butan-1-ol · 丁-1-醇

$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$



butan-2-ol · 丁-2-醇

$CH_3CH(OH)CH_2CH_3$



右侧每个 C、H、O 及每条键均已画出；分子在纸面上的朝向不改变其连接方式。

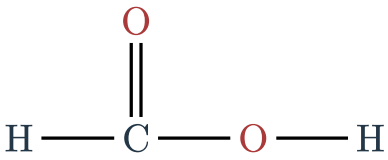
四碳直链上，OH 若在写出来的“3 号碳”，从另一端编号就是 2 号碳，因此它与 butan-2-ol 相同；OH 在“4 号碳”则相当于 1 号。去掉这种反向重复后，本节需要掌握的直链丁醇 OH 位置是 1 和 2。

羧酸名称中的碳数包含羧基那个碳。画羧基时，末端碳以双键连一个 O、以单键连 O—H，再用剩下一条键接 H 或碳链。甲酸只有羧基这个碳，故左边接 H；乙酸有两个碳，故羧基左边再接 CH_3。

1—4个碳的直链羧酸：COOH中的碳也计入名称

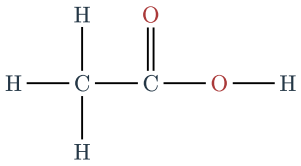
methanoic acid · 甲酸

HCOOH



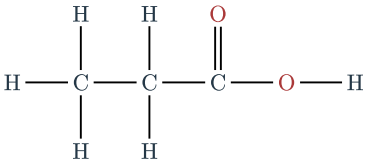
ethanoic acid · 乙酸

CH_3COOH



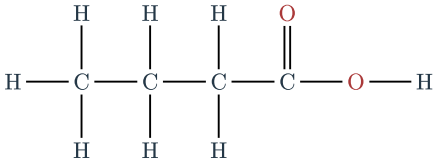
propanoic acid · 丙酸

CH_3CH_2COOH



butanoic acid · 丁酸

$CH_3CH_2CH_2COOH$



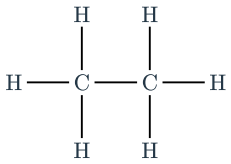
右侧每个 C、H、O 及每条键均已画出；分子在纸面上的朝向不改变其连接方式。

要画三碳的 propanoic acid，先留出一个 C 给 COOH，另外两个 C 构成 CH_3CH_2—，合成 CH_3CH_2COOH。若误写 $CH_3CH_2CH_2COOH$，就总共四个碳，变成 butanoic acid。用“先数总碳，再分给羧基”可以避免名称和结构相差一个碳。

总键数要把每一种连接都数到。展开式中 C—H、C—C、C—O 和 O—H 都是共价键。只含单键时，每条线表示一条共价键；先分组计数，再相加，最后在结构上逐条复核。原子数与键数是两个不同计数，不能把分子式中各下标相加后就作为总键数。

数键：逐类数线段，不把原子数直接当作键数

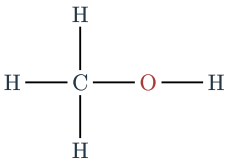
乙烷 C_2H_6



6条C—H + 1条C—C

总共7条共价键

甲醇 CH_3OH



3条C—H + 1条C—O + 1条O—H

总共5条共价键

这里两个示范均只有单键，因此每条连接线计 1 条共价键；含双键时须先读清题目问键还是电子对。

甲醇 CH_3OH 有 3 条 C—H、1 条 C—O、1 条 O—H，共 5 条键。若问原子总数，就要分别数 C、H、O：

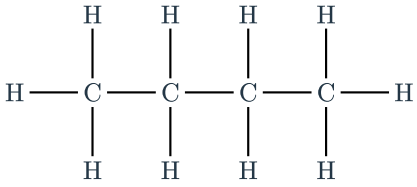
$$\text{原子总数} = 1 + 4 + 1 = 6$$

这说明“原子总数”和“共价键总数”必须分开读取。遇原式有双键，还要检查题目到底要求连接、共价键还是成键电子数，不能机械沿用只有单键时的计数。

结构异构，先核对总数，再比较连接。structural isomers 指分子式相同、结构式不同的化合物。判断时，先把两结构的每一种元素数清；若原子总数不同，立即排除。数目相同后，再检查哪些原子相互连接。反向书写或转动画法，并没有改变邻接关系，不能制造一个新的异构体。

结构异构：分子式相同，原子连接方式不同

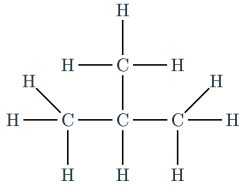
四个碳排成连续直链



$CH_3CH_2CH_2CH_3$

均为C_4H_{10}，但连接不同

中间碳接向三个碳支路



$CH_3CH(CH_3)CH_3$

均为C_4H_{10}，但连接不同

结构异构要同时满足同分子式与不同连接方式。只把一幅结构反向或旋转，不算新的结构异构体。

$CH_3CH_2CH_2CH_3$与$CH_3CH(CH_3)CH_3$均为C_4H_{10}；后一结构中，中间碳接三个碳，前一结构没有这样的碳，因此连接不同，是结构异构体。括号中的CH_3接在紧邻括号前的 CH 上；它不表示整条链都乘以 3。

含氧结构简式也按实际原子逐项展开。CH_3COOCH_3中，COO 表示 1 个 C 与 2 个 O，不是一个新的元素符号。题目可能直接给出一种酯的结构，如 methyl ethanoate（乙酸甲酯）CH_3COOCH_3；比较分子式时，可以从所给结构直接计数，不必先推导酯的制法。酯的命名与合成在后续题型详细学习。

把结构简式拆成原子账单，再判断是否可能同分子式

CH_3COOCH_3	C：1+1+1=3	H：3+3=6	O：2
$HCOOCH_2CH_3$	C：1+1+1=3	H：1+2+3=6	O：2
CH_3CH_2COOH	C：1+1+1=3	H：3+2+1=6	O：2
$HOCH_2CH_2CH_2OH$	C：1+1+1=3	H：1+2+2+2+1=8	O：2

括号外、OH内、HCOO开头的H都要计入；分子式相同后还需比较连接。

COO 表示 1 个 C 和 2 个 O，不能读成一个新元素符号；图表显示逐个累计过程。

$HOCH_2CH_2CH_2OH$看起来也有三个碳、两个氧，但两个端部 OH 各含一个 H。连同三个CH_2中的 H，总氢数为：

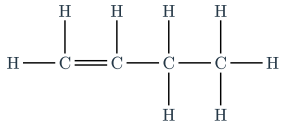
$$1+2+2+2+1=8$$

若参照分子只有 6 个 H，就不能成为它的结构异构体。不要因“都有三个碳、两个氧”而忽略氢数。

同时有几个限制，就逐条筛选。unbranched 表示碳链不带支链；decolourise aqueous bromine 表示使溴水褪色。在本节通常的烃类检验中，含 C=C 的烯烃能发生加成，使溴水由橙棕色变为无色，烷烃不发生这种加成。这个现象因此可以先筛出含 C=C 的候选，再按碳数与直链条件画结构。

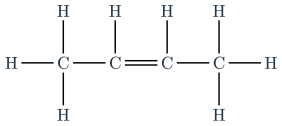
C_4H_8：保留直链，把C=C放到不重复的位置

1号位：but-1-ene



$CH_2{=}CHCH_2CH_3$

2号位：but-2-ene



$CH_3CH{=}CHCH_3$

把双键放在“3号位”，从另一端编号后仍是1号位，不能再数一次。

两种结构都含 C=C，均能使溴水褪色；本图只计结构异构，不计同一连接的不同空间排布。

四个碳排成直链，把 C=C 依次放在最左、中间、最右。最右的结构从另一端读与最左相同，应删去重复；支链结构不满足 unbranched，也不加入。最后再按每个 C 四条键补 H，并核对总数仍是 C_4H_8。题目若问结构异构，只数连接变化，不把同一连接的不同空间摆法另算。

but-表示_____个碳；-ol 提示_____。OH 位置号应从使号码_____的一端开始编号。结构异构体必须有相同的_____，不同的_____。数乙烷的键时，除 C—H 以外，还须计入_____。

答案：4；醇；较小；分子式；结构式（原子连接）；C—C 键

怎么认 先按前缀画碳链，再定官能团与位置，最后补 H。异构先核同分子式，再比连接；只旋转、反向编号产生的重复要删去；数键不能只数 C—H。

例题 1 （2025·May/June 0620/22 Q32） · 2 级

What is the structural formula of butan-2-ol?

A $CH_3CH_2CH_2OH$

B $CH_3CH(OH)CH_3$

C $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$

D $CH_3CH_2CH(OH)CH_3$

解：先拆 butan-2-ol：but-要求 4 个碳，-ol 要求醇的 OH，2 要求 OH 在第二个碳上。

A 的 $CH_3CH_2CH_2OH$ 只有 3 个碳；B 的 $CH_3CH(OH)CH_3$ 也只有 3 个碳，均排除。C 有 4 个碳，但 OH 在末端，是 butan-1-ol。

D 为 $CH_3CH_2CH(OH)CH_3$，从右向左编号，OH 在 2 号碳；全链也正好 4 个碳，因此选 **D**。它反向写成 $CH_3CH(OH)CH_2CH_3$ 仍是同一个结构，不能固定从纸面左边编号。

例题 2 （2025·May/June 0620/21 Q34） · 2 级

What is the **total** number of covalent bonds in one molecule of propane?

A 8　　**B** 9　　**C** 10　　**D** 11

解：propane 是三碳烷烃，先把名称变成结构 $CH_3—CH_2—CH_3$。

先数各个碳上的 C—H 键：

$$\text{C—H 键数} = 3 + 2 + 3 = 8$$

三个碳连成一条链，还需要 2 条 C—C 键。把两类键相加：

$$\text{共价键总数} = 8 + 2 = 10$$

因此选 **C**。

A 只数了 8 条 C—H 键，漏掉 C—C；D 的 11 等于 3+8 个原子的总数，却不是键数。结构中每条连接都要数一次，不能把一种熟悉计数直接当成所求。

例题 3 （2025·May/June 0620/21 Q33） · 3 级

The structural formula of methyl ethanoate is CH_3COOCH_3.

Which compounds are structural isomers of methyl ethanoate?

1 $HCOOCH_2CH_3$

2 CH_3CH_2COOH

3 $HOCH_2CH_2CH_2OH$

A 1, 2 and 3 **B** 1 and 2 only **C** 2 and 3 only **D** 3 only

解：先清点参照物 methyl ethanoate 的 CH_3COOCH_3：C 有 3 个，H 有 3+3=6 个，O 有 2 个，所以分子式 $C_3H_6O_2$。结构异构体必须与它具有相同分子式，并且连接方式不同。
1 是 $HCOOCH_2CH_3$。三个位置各有 1 个 C，合计 3 个 C；O 为 2 个。氢数为：
$1+2+3=6$
分子式 $C_3H_6O_2$相同，但碳在酯连接两侧的分配不同，是结构异构体。
2 是 CH_3CH_2COOH。C 为 3 个，O 为 2 个；氢数为：
$3+2+1=6$
分子式同样为 $C_3H_6O_2$，但两个 O 组成 COOH，与参照物的酯连接不同，也是结构异构体。
3 是 $HOCH_2CH_2CH_2OH$。C 为 3 个，O 为 2 个；两个端部 OH 的 H 都要计入：
H 的总数 $=1+2+2+2+1=8$
分子式是 $C_3H_8O_2$，氢数不同，排除。因此只有 1 和 2，选 **B**。OH 里的 H 不能漏数；只看到都有 3C、2O 还不足以判断异构。

针对练习

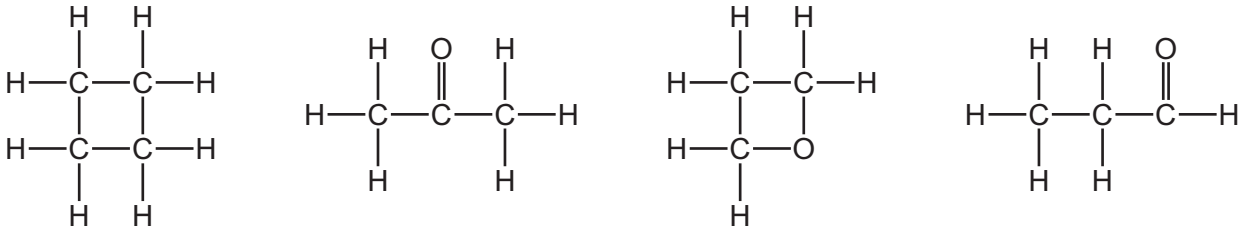
1. （2025·May/June 0620/42 Q1(g)） · 2 级

Using numbers only, state the:

(g) number of covalent bonds in one molecule of ethanol

2. （2025·May/June 0620/12 Q10） · 3 级

The diagrams show the structures of four molecules.



Which statement about these molecules is correct?

A All four molecules have different molecular formulae.

B All four molecules have the same molecular formula.

C Only two molecules have the same molecular formula.

D Only three molecules have the same molecular formula.

3. （2025·May/June 0620/42 Q1(f)） · 3 级

Using numbers only, state the:

(f) number of unbranched structural isomers of C_4H_8 which decolourise aqueous bromine

11.3 燃料与石油

题型 1：沿石油分馏塔解释馏分性质和用途

知识点 先认清石油是什么。煤（coal）、天然气（natural gas）和石油（petroleum）是化石燃料。天然气的主要成分是甲烷（methane），化学式 CH_4；“主要”不等于整份天然气只含甲烷。石油是由许多种烃混在一起形成的混合物，没有一个能代表整份石油的化学式。

先分清三个化石燃料名称

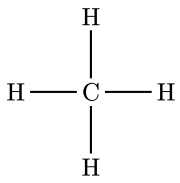
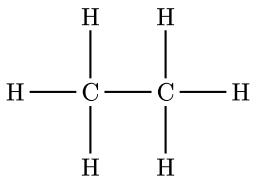
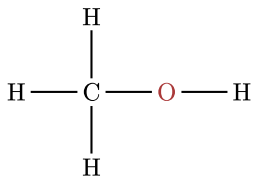
煤	天然气	石油
coal	natural gas	petroleum
主要成分是碳，也含其他物质	主要成分：甲烷 CH_4	许多种烃的混合物

三个并列框列出化石燃料及本节需要辨认的组成；框之间没有转化箭头。

题目问“天然气的主要成分”，应写 methane；若问“由许多种烃组成的化石燃料”，应写 petroleum。先分清问的是一种物质名称，还是混合燃料的名称。

烃的“只有”不能漏。烃（hydrocarbon）是只含碳元素和氢元素的化合物。判断时，先看是不是化合物，再逐个检查元素符号：除了 C 和 H 以外，不能再有 O、N、Cl 等其他元素。

是不是烃，检查组成元素是否只有 C 和 H

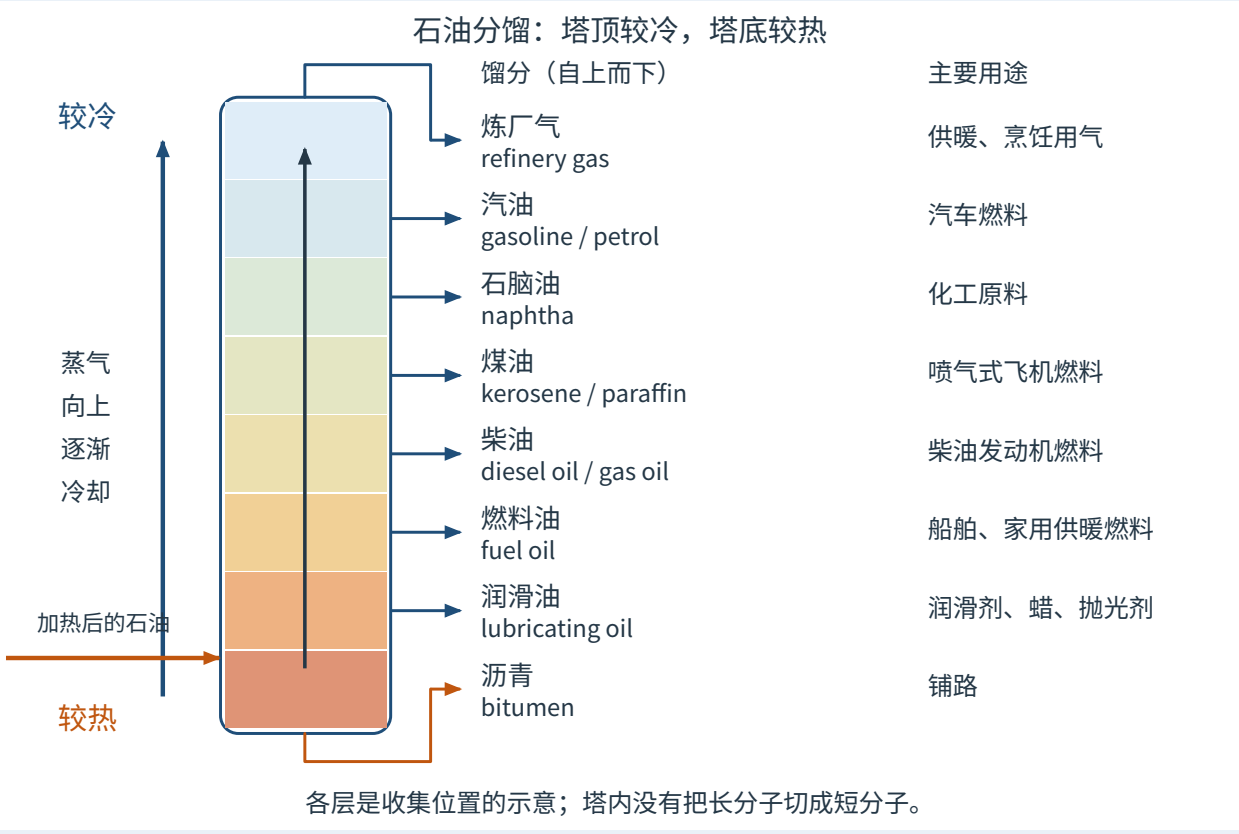
甲烷 methane	乙烷 ethane	甲醇 methanol
		
CH_4	C_2H_6	CH_3OH
只有 C、H：是烃	只有 C、H：是烃	还有 O：不是烃

结构中的短线表示共价键；C 为碳，H 为氢，O 为氧。画的是连接关系，不是分子的真实形状。

甲烷 CH_4和乙烷 C_2H_6都只有 C、H，所以是烃。甲醇 CH_3OH 虽然也含碳和氢，却多了氧元素，因此不是烃。C_3H_8只列 C、H，是烃；C_2H_5Cl 还含 Cl，不是烃。不能只看到一个 C，就立即判成烃。

怎样把混在一起的石油分开？不同大小的烃分子，其沸点不同。先把石油加热，使其中大部分物质汽化，再将热的混合蒸气送入分馏塔（fractionating column）。塔底温度较高，塔顶较低；蒸气往上走时逐渐冷却。

当蒸气到达适合凝结的较低温度区域时，其中相应沸点范围的烃变成液体，被分别收集。沸点较高的部分在较下方就凝结；沸点较低的部分能继续上升，在更上方才凝结。最低沸点的炼厂气从塔顶取出；最重、难以汽化的部分留在底部，得到沥青。利用沸点差异进行这种分离，叫分馏（fractional distillation）。



箭头表示蒸气上升或馏分流出。炼厂气从塔顶取出；沥青是底部留下的重质部分。层间距不表示实际温差。

收集到的每一部分叫一个馏分（**fraction**）。同一馏分仍含有几种沸点范围相近的烃，并不是一瓶只装一种纯物质。分馏改变的是不同物质被分开放在哪里，原来的分子没有被切成新分子，所以是物理分离过程。后面学习的裂化才会把较长的烃分子分成较短分子。

两份烃蒸气中，甲的沸点较高，乙的沸点较低。沿塔向上、温度逐渐降低时，甲先在较下方凝结，乙能继续上升。判断收集位置时，理由是“沸点不同、凝结位置不同”，不要写“甲在塔内变成了乙”。

名称、顺序与用途一起记。从塔顶向下依次是：炼厂气、汽油、石脑油、煤油、柴油、燃料油、润滑油、沥青。图中每一行同时给出英文名称与用途。gasoline 和 petrol 都是汽油；kerosene 和 paraffin 在本节都指煤油；gas oil 对应柴油。别把 gas oil 中的 gas 误当成最顶端的 refinery gas。

把用途落实到一个具体场景：汽车用 gasoline/petrol，喷气式飞机用 kerosene/paraffin，柴油发动机用 diesel oil/gas oil。家庭供暖可能用燃料油，也可能用炼厂气，题目若指定一种馏分，应核对该行的完整匹配。石脑油是化工原料（chemical feedstock），润滑油用于润滑剂、蜡和抛光剂，沥青用于铺路。炼厂气还用于烹饪，燃料油还用于船舶。

四个性质要分清大小方向。碳链长度指一个烃分子中碳原子连成的链有多长。沿塔由下向上，馏分中的分子通常较小、碳链较短，沸点较低。挥发性（volatility）表示变成蒸气的难易程度；较容易挥发，就是挥发性较高。黏度（viscosity）表示流动的阻力；越难流动，黏度越大。



比较同一分馏塔内不同位置的馏分，并以相近外界条件理解挥发性和黏度；这里只比较趋势，不给固定数值。

因而，较上方馏分的四项趋势是：碳链更短、挥发性更高、沸点更低、黏度更低。较下方则反过来。这里比较的是馏分的总体趋势，不要求把每种馏分背成一个固定碳原子数或一个固定沸点。

煤油在石脑油的下方，因此煤油通常碳链较长、沸点较高、黏度较高、挥发性较低。若问题只问其中一项，就先把两者放回塔中的上下位置，再写该项趋势。例如“煤油比石脑油更易挥发”把方向写反了。

天然气的主要成分是_____；烃只能含_____、_____两种元素。由塔底向塔顶，沸点逐渐_____，挥发性逐渐_____。用于喷气式飞机的馏分是_____。

答案：甲烷 methane；碳；氢；降低；升高；煤油 kerosene/paraffin

怎么认 看到石油馏分，先定位它在塔中的上下位置；问性质就核对四个趋势，问用途就核对完整的名称—用途匹配。流程图按每一处 yes/no 条件走，排序题检查整串顺序。

例题 1 （2025·May/June 0620/22 Q34） · 1 级

Petroleum can be separated into useful fractions by fractional distillation.

Which row shows a correct use of the named fraction?

	fraction	use
A	bitumen	lubricant
B	naphtha	fuel for home heating
C	kerosene	jet fuel
D	refinery gas	making chemicals

解： 题目要把每一种 fraction（馏分）与它的 use（用途）对应。先看正确的一对：kerosene 是煤油，用作 jet fuel，即喷气式飞机燃料，C 的名称与用途相符。

再核对其他三行。A 的 bitumen 是沥青，主要用于铺路；lubricant 是润滑剂，对应润滑油馏分。B 的 naphtha 是石脑油，用作化工原料，不对应本行的家用供暖燃料；用于该用途的馏分包括燃料油。D 的 refinery gas 是炼厂气，教纲要求掌握的用途是供暖和烹饪用气；making chemicals 对应石脑油的化工原料用途。

只有 C 把指定馏分和它的用途正确配在同一行，因此选 C。遇到用途题，不能只看“几种都能燃烧”，要核对题给的具体用途。

例题 2 （2025·May/June 0620/13 Q36） · 3 级

Fractional distillation is used to separate petroleum into useful fractions.

Which statement about the properties of the fractions of petroleum is correct?

A The refinery gas fraction has a lower volatility than the gasoline fraction.

B The molecules in the gasoline fraction have a longer chain length than the molecules in the naphtha fraction.

C The naphtha fraction has a higher boiling point than the kerosene fraction.

D The fuel oil fraction has a higher viscosity than the diesel oil fraction.

解：先放回分馏塔顺序。本题出现的相关位置由上到下是 refinery gas、gasoline、naphtha、kerosene、diesel oil、fuel oil。上方通常碳链更短、挥发性更高、沸点更低、黏度更低。

逐句核对比较方向。A 中炼厂气在汽油上方，挥发性应更高，题目却说 lower volatility，所以 A 错。B 中汽油在石脑油上方，碳链应更短，题目却说 longer chain length，所以 B 错。

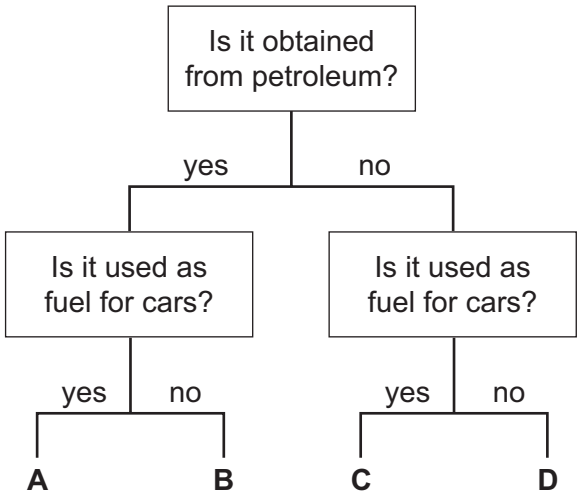
C 中石脑油在煤油上方，沸点应更低，题目却说 higher boiling point，所以 C 错。D 中燃料油在柴油下方，流动阻力通常更大，黏度更高；higher viscosity 与趋势一致，所以 D 正确。

故选 D。四句话比较的是四个不同性质；每次都先确认哪一种馏分在上，再换成该性质的大小方向。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q33） · 2 级

Which fuel could be gasoline?



2. （2025·May/June 0620/11 Q35） · 2 级

Which list shows the fractions obtained from the fractional distillation of petroleum, in order of increasing boiling point?

A bitumen → diesel oil → fuel oil → lubricating oil

B diesel oil → gasoline → naphtha → kerosene

C gasoline → naphtha → kerosene → diesel oil

D kerosene → lubricating oil → naphtha → refinery gas

11.4 烷烃

题型 1：保留碳骨架写烷烃单取代产物

知识点 烷烃的反应从已有单键结构出发。烷烃只含 C、H，碳碳之间都是单共价键，因此是饱和烃。它们通常不易反应，但本课程明确要求掌握两类反应：燃烧 combustion，以及与氯在紫外光下的取代 substitution。不能把“通常不易反应”理解成“任何条件下都不反应”。

取代，就是一个原子或原子团被另一个替换。以甲烷和氯气为例：甲烷的一个 H 换成一个 Cl，碳骨架保留，形成氯甲烷 chloromethane CH_3Cl；被替下来的 H 与另一个 Cl 结合，形成氯化氢 hydrogen chloride HCl。反应需要紫外光 ultraviolet light，简称 UV；光提供启动反应所需的活化能 E_a，因此称为光化学反应 photochemical reaction。

一次取代：一个H被Cl替换，另一个Cl与原来的H形成HCl



CH_4：原来的甲烷　　CH_3Cl：氯甲烷

$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$；两边均有1C、4H、2Cl。

箭头表示反应；紫外光提供启动反应所需的活化能。这里只进行一次 H 被 Cl 的取代，保留碳骨架。

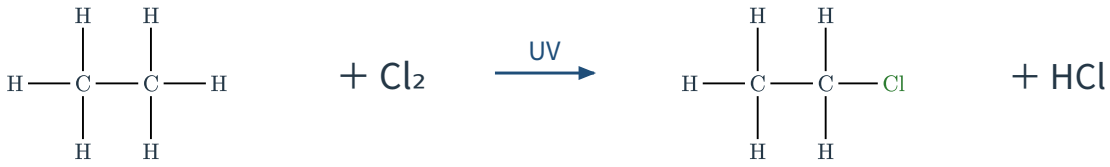
从 CH_4开始，只替换一个 H：先写碳不变 C_1，氢从 4 变 3，增加 1 个 Cl，得 CH_3Cl。另一产物 HCl 补齐被替出的 1H 与剩下的 1Cl。把两种产物一起写入反应式：

$$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$$

左右 C 均 1、H 均 4、Cl 均 2，原子数守恒。本节只要求单取代 monosubstitution；不要自行把多个 H 都换成 Cl。

换成另一种烷烃，仍然先保留碳骨架。乙烷 ethane 是 C_2H_6。发生一次氯取代时，两个碳继续相连，六个 H 中一个被换走，主产物写 C_2H_5Cl，名称是氯乙烷 chloroethane；另一产物仍为 HCl。

迁移到乙烷：先保留两碳骨架，再替换一个H



C_2H_6 → 少1H、多1Cl　　C_2H_5Cl：氯乙烷

检查：C不变；6个H分为5＋1；2个Cl分为1＋1。

完整展开式显示碳碳单键保留。反应只取代一个 H，不切断碳链，也不把 Cl_2当成两个氯气分子。

题目若给丁烷 C_4H_{10}，问试剂与反应类别，先由 C_nH_{2n+2}确认它属于烷烃，再联系“氯气、UV、取代”。无需为了回答类别先讨论不同氢位置的产物；若只问一次取代后的分子式，则为 C_4H_9Cl，并另形成 HCl。蒸气加成与 C=C 有关，不应把饱和烷烃硬套进烯烃加成。

完全燃烧把碳转入 **CO_2**，把氢转入 **H_2O**。完全燃烧 complete combustion 需要足够氧气。配平方程式时，先按燃料中的 C 数确定 CO_2个数，再按 H 数确定 H_2O 个数，最后从产物中总共需要多少 O 来确定 O_2系数。氧气 O_2中的下标 2 是每个分子有两个氧原子，不能随意改掉。

完全燃烧：先按碳数写CO_2，再按氢数写H_2O

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

先数C	再数H	最后数O
1个C → 1个CO_2	4个H → 2个H_2O	需4个O → 2个O_2

方程式系数只改分子个数，不改 CH_4、CO_2、H_2O 各自的化学式；箭头表示完全燃烧反应。

以乙烷 C_2H_6完全燃烧为例，先配 C 和 H：两个 C 对应 $2CO_2$，六个 H 对应 $3H_2O$。右边 $2CO_2$含 4 个 O，$3H_2O$ 含 3 个 O，因此总氧数为：

$$4 + 3 = 7$$

每个 O_2提供 2 个 O，所以按一份乙烷计算时需要 3.5 份 O_2。将整式同乘 2，把系数写成整数：

$$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$$

核对 C 为 4、H 为 12、O 为 14，两边均相等。氧气不足可能形成 CO 或碳烟，不能把这些产物称为本问的完全燃烧产物。

取代与加成的区别，要连到原结构和产物。 烷烃没有 C=C，不能作本节烯烃那种双键加成。通常测试条件下，溴水 aqueous bromine 保持橙棕色；烯烃含 C=C，能与溴加成使颜色褪去。取代保留碳骨架并替换原子，常伴随另一小分子产物；本节的简单加成是加入试剂后只形成一种产物。

先读试剂与条件，再判断是什么反应

烷烃 + 氯气，UV	一个H换成Cl	取代；还形成HCl
烯烃 + 溴水	Br加到原C=C两侧	加成；溴水橙棕色褪去
烷烃 + 溴水，通常测试条件	没有C=C可作上述加成	溴水不褪色

溴水辨别是在通常测试条件下；不能删掉 UV 条件后把光化学取代与溴水加成检验混为一谈。

看见“chlorine＋UV”，先查是否是烷烃的光化学取代；看见“aqueous bromine 褪色”，先查是否有 C=C 可加成。烷烃“不使溴水褪色”的判断采用通常测试条件，不能删去条件后把所有卤素反应混在一起。解多陈述选择题时，通式、键型、反应性、实验现象要四项分别检查。

烷烃含_____碳碳键；与氯发生单取代需要_____。甲烷一次取代的有机产物为_____，另一产物为_____。完全燃烧的产物为_____和_____。

答案：单；紫外光 UV；CH_3Cl；HCl；CO_2；H_2O

怎么认 烷烃＋氯＋UV 先认单取代：保留所有 C，只换一个 H 为 Cl，再补 HCl 并核原子。完全燃烧按 C、H、O 次序配平；溴水现象与 C=C 相连。

例题 1 （2025·May/June 0620/22 Q35） · 2 级

Ethane reacts with chlorine in the presence of ultraviolet light.

Which products are formed?

A $C\mathit{l}CH_2CH_2C\mathit{l}$ and H_2

B $2CH_3C\mathit{l}$ and H_2

C $C_2H_5C\mathit{l}$ and $HC\mathit{l}$

D $CH_2{=}CH_2$ and $2HC\mathit{l}$

解：ethane 是 C_2H_6；题目给 chlorine 与 ultraviolet light，指向烷烃的光化学取代。
保留两个碳相连的骨架，只把一个 H 换成 Cl，得到 C_2H_5Cl；原来的 H 与 Cl_2中的另一个 Cl 形成 HCl。因此产物为 **C_2H_5Cl and HCl**，对应 C。
核对原子：反应前 C2、H6、Cl2；产物 C_2H_5Cl 提供 C2、H5、Cl1，HCl 再提供 H1、Cl1，总数守恒。A 换掉两个 H 且给 H_2，不符合这里的单取代；B 把两碳骨架拆开；D 形成 C=C，也不是本题的取代。因此选 **C**。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/11 Q34） · 2 级

The molecular formula of compound Z is C_4H_{10}.

Which row identifies the substance that reacts with Z and describes the type of reaction that occurs?

	substance	type of reaction
A	chlorine	addition
B	chlorine	substitution
C	steam	addition
D	steam	substitution

2. （2025·May/June 0620/13 Q37） · 2 级

Which statements about the alkanes are correct?

1 They are generally unreactive except in terms of combustion and substitution by chlorine.

2 They have the general formula C_nH_{2n+2}.

3 They contain double carbon–carbon covalent bonds.

4 They decolourise aqueous bromine.

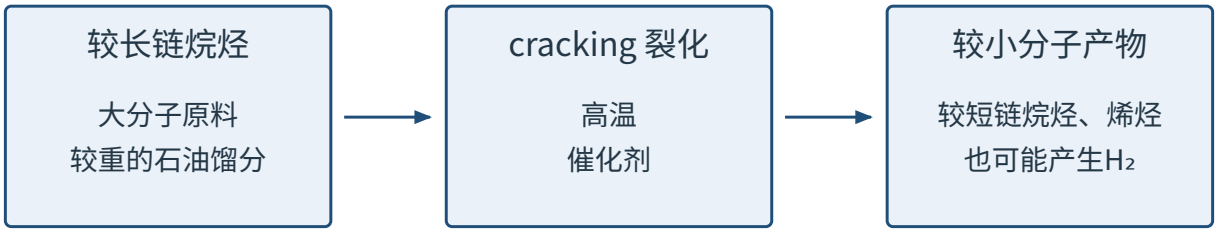
A 1, 2 and 3 **B** 1 and 2 only **C** 1, 3 and 4 **D** 2 and 4

11.5 烯烃与裂化

题型 1：用裂化条件、用途和原子守恒判断产物

知识点　裂化让较大的分子变成较小而有用的分子。 cracking 是裂化：较长链的烷烃在高温 high temperature 和催化剂 catalyst 作用下，发生化学键的断裂与重新安排，生成较小的分子。题目问条件时，要把高温与催化剂分别写出，不能只写“加热一下”。

裂化：用高温和催化剂，把大分子转成较小分子



配平方程式：$C_{10}H_{22} \rightarrow C_8H_{18} + C_2H_4$

断开并重新安排化学键，形成新物质；不是把现有混合物按沸点分开。

箭头表示裂化的反应过程。示范仅是一种可能的产物组合，不表示所有裂化都只按这一式进行。

$C_{10}H_{22}$可按图示形成 C_8H_{18}与 C_2H_4。原来一种分子变成两种新物质，属于化学变化。分馏 fractional distillation 则按沸点把原本已存在的分子分开，不靠改变它们的化学式；看到“long-chain molecules made into short-chain molecules”应想到裂化。

产物常包含烯烃，但不只允许烯烃。裂化可产生较短链的烷烃、烯烃，也可能产生氢气 H_2。具体组合要同时满足碳和氢的总数守恒，不能把所有产物的类型预先限制成一种。

裂化产物可以不同，但碳和氢都必须守恒

一种组合

$C_{10}H_{22} \rightarrow C_8H_{18} + C_2H_4$

烷烃＋烯烃；10C、22H均保留

另一种组合

$C_{10}H_{22} \rightarrow C_8H_{16} + C_2H_4 + H_2$

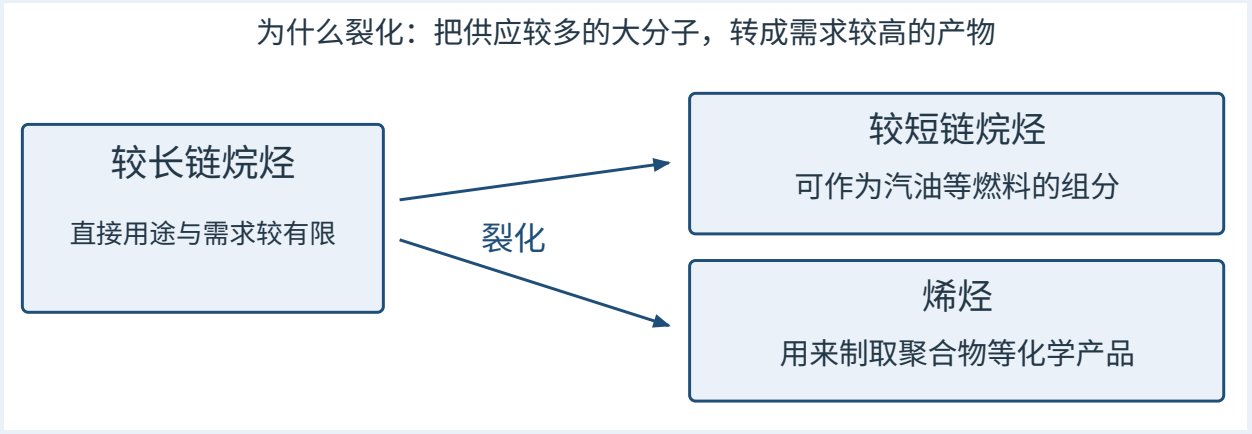
烯烃＋烯烃＋氢；氢也可作为产物

“only alkenes”把其他可能产物排除了，范围过窄。

均用同一种大烷烃作原料；方程式是守恒的可能组合，实际产物分布取决于条件。

第一式右侧 C_8H_{18}属于烷烃，C_2H_4属于烯烃，因此“cracking produces alkenes”可以正确，而“cracking only produces alkenes”错误。第二式中 16＋4＋2＝22 个 H，H_2也有位置。注意 only 把一句话的范围收窄，不能略读。

为什么把长链改短，答案要接到用途与需求。较短链烷烃可成为汽油等燃料的组分；烯烃可作制聚合物与其他化学品的原料。这样能把需求较有限的较重馏分转成用途更多、需求较高的产物。汽油 petrol 本身是混合物，不能给整个汽油硬写一个唯一的分子式。



箭头表示原料转化后的两类用途，不表示每一分子都同时成为图示所有产物。

题目问 one reason，完整答“the products are more useful”或“the products are in greater demand”。单写“为了得到小分子”只是重述已经发生的改变，还没有解释这个改变为什么有价值。若具体说明，可写产生更多汽油组分或用于制聚合物的烯烃。

判断产物组合，先把所有分子的原子加总。先看这条裂化反应：

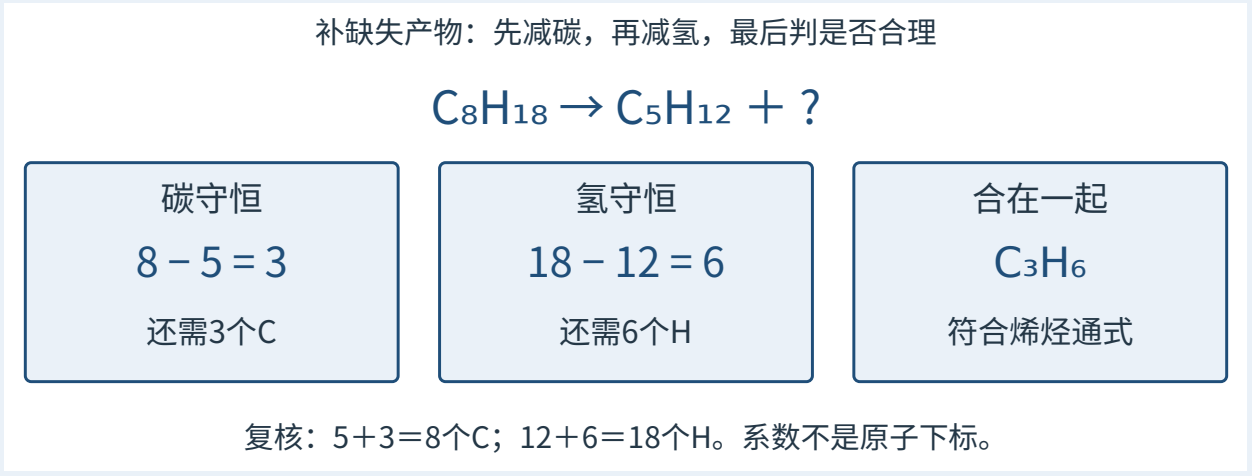
$C_8H_{18} \rightarrow C_5H_{12}$ + 未知产物

反应物共 8C、18H；已知产物占去 5C、12H。剩余原子必须全部进入未知产物，分别做差：

剩余 C 数 $= 8 - 5 = 3$

剩余 H 数 $= 18 - 12 = 6$

所以未知产物可为 C_3H_6。若某产物前有系数 2，该分子的每一种原子都要计两次。



所有计数都对应方程式两侧的原子总数；用反应物的原子总数减去已知产物中的原子数，确定未知产物。

将 C_3H_6 填入并核对完整反应：

$C_8H_{18} \rightarrow C_5H_{12} + C_3H_6$

右侧总碳为 5＋3，共 8 个；总氢为 12＋6，共 18 个，两项均与左侧相同。若改成 C_3H_8，碳虽仍正确，氢却变成 20，不能接受。检查选择题的产物时逐项数 C、H，可以排除“看起来都是小分子”却不守恒的组合。

裂化的两个条件是_____和_____；产物中的烯烃可用于制造_____。裂化与分馏中，形成新物质的是_____。核对产物组合时，必须同时守恒_____与_____。

答案：高温；催化剂；聚合物；裂化；碳；氢

怎么认 先识别长链变短链这一化学转化，写高温和催化剂；问用途接到较高需求的燃料组分或化工原料。产物选择逐项加总 C 与 H，留意 only。

例题 1 （2025·May/June 0620/31 Q4(b)） · 2 级

(b) (i) Describe how long chain hydrocarbon molecules can be made into short chain molecules.

Include in your answer:

- the name of this process
- the conditions needed for this process to take place
- the products of this process.

(ii) State **one** reason why long chain hydrocarbon molecules are made into short chain hydrocarbon molecules.

解：(i) 题目已经说明把长链烃分子变成短链分子，因此过程名称为 **cracking**（裂化）。写两个独立条件：**high temperature** 和 **a catalyst**，即高温及催化剂。

裂化生成较小的分子，其中可有较短链烷烃与烯烃，也可能产生氢气。对应本题这一评分点应明确写 **alkenes** 或 **hydrogen**，不能只重复“short-chain molecules”而不说明产物类别。

可以合成完整回答：Long-chain hydrocarbons are cracked using a high temperature and a catalyst, producing smaller molecules including alkenes.

(ii) 改变的目的在于产品用途与需求：**The products are more useful / in greater demand.** 例如获得更多燃料组分和制造聚合物用的烯烃。

官方(i)分别计过程名、催化剂、高温、烯烃或氢气四点；(ii)另计产品更有用或需求更高。只写“变成短链”没有解释 why。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/11 Q36） · 2 级

Three statements about cracking of larger alkane molecules are listed.

1 Cracking produces petrol for cars.

2 Cracking only produces short-chain alkenes.

3 Cracking produces alkenes used to make polymers.

Which statements are correct?

A 1, 2 and 3 **B** 1 and 2 only **C** 1 and 3 only **D** 2 and 3 only

2. （2025·May/June 0620/13 Q38） · 3 级

Which products can be formed by the cracking of one molecule of hexane, C_6H_{14}?

A C_4H_{10} and C_2H_4 only

B $C_{12}H_{26}$ and H_2 only

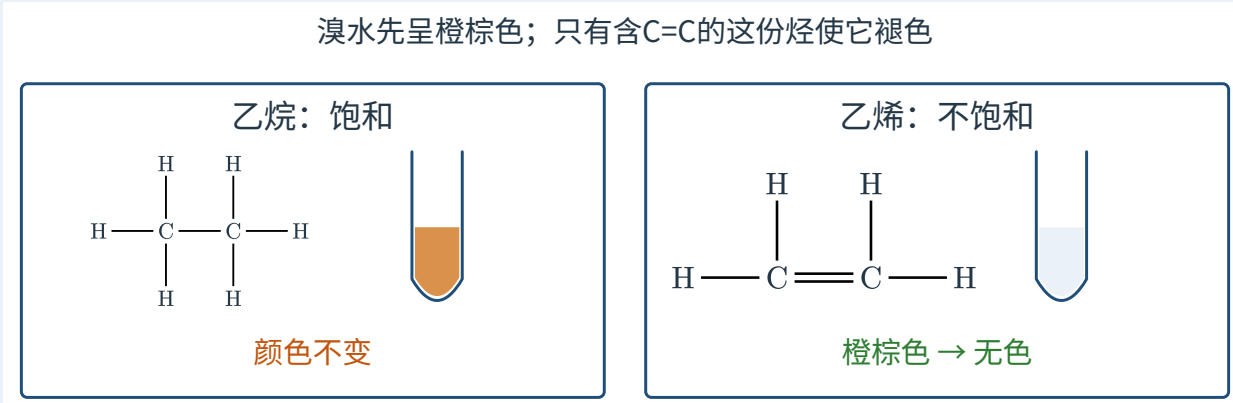
C C_3H_7 only

D C_2H_6 and C_4H_{10} only

题型 2：从 C=C 结构写加成产物并判断溴水现象

知识点 先认 **C=C**，再判断烯烃的加成。烯烃 alkenes 含碳碳双共价键，是不饱和烃。addition reaction（加成反应）把试剂的原子加入原分子：按每一种具体连接方式，反应物结合成一个有机分子，不另外脱出 HCl 或水等小分子。不同连接方式有时会得到不同结构的产物，下面会逐一画出。画产物时，原来 C=C 变为 C—C，两个碳各腾出一条成键额度，分别接入新原子或原子团。

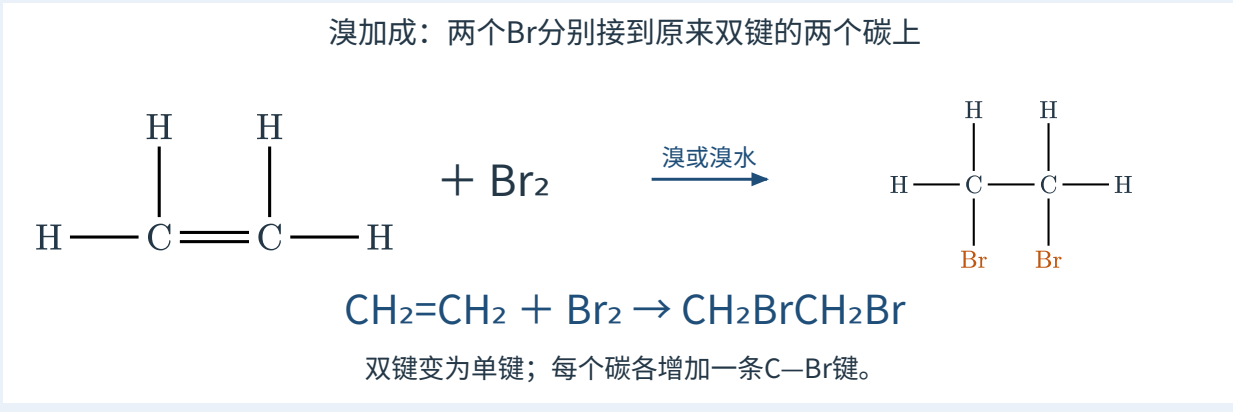
溴水可帮助检出这个双键。aqueous bromine 是溴水，含 Br_2，呈橙棕色。在通常测试条件下，烯烃与溴发生加成，溴被消耗，颜色由橙棕色变成无色；饱和烷烃不发生这种加成，颜色保持。colourless 是无色，不是白色。



相同的溴水与相近样品量，在通常测试条件下比较；试管内只示意颜色，不表示粒子数或确切体积。

两份烃分别为 CH_3CH_3 与 $CH_2{=}CH_2$，加入相同溴水。先检查碳碳键，前者只有单键，后者有双键；因此前者颜色不变，后者使溴水褪色。不能因为它们都只含 C、H，就认为观察现象相同；本试验区分的是碳碳键型。

加溴时，两个 **Br** 各接原双键的一端。从乙烯 $CH_2{=}CH_2$ 出发，保留全部 C、H，把双键改为单键；在两个碳上各加一个 Br，得到 CH_2BrCH_2Br，叫 1,2-dibromoethane（1,2-二溴乙烷）。两个 Br 来自一个 Br_2 分子，两个原来的碳仍彼此连接。



两侧完整展开式保留碳骨架；箭头上方是反应条件，进入产物的新原子来自所加试剂。

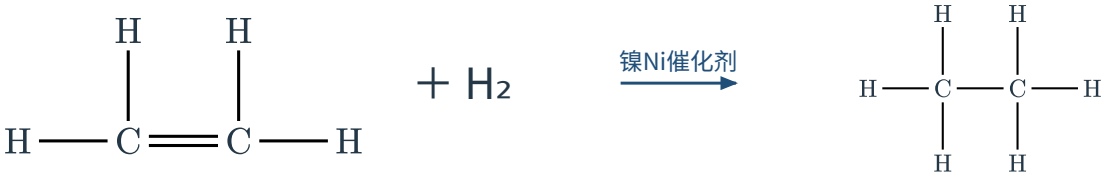
检查乙烯加溴产物的每个 C：连 2 个 H、1 个 Br、另一个 C，合计 4 条键。整分子 $C_2H_4Br_2$ 的 C 和 H 数与原乙烯相同，额外增加 Br_2。如果保留 C=C 又各加 Br，碳会超过 4 条普通共价键；如果删去 H，则误画成取代。

加氢时，需要镍催化剂，产物成为烷烃。hydrogen 是 H_2，nickel 的符号是 Ni。乙烯与氢气在镍催化剂作用下反应，双键变单键，每个碳各接一个 H：

$$CH_2{=}CH_2 + H_2 \rightarrow CH_3CH_3$$

产物是乙烷 ethane。镍写在条件处，不变成有机产物的一部分。

氢加成：双键变单键，每个碳再接一个H



$$CH_2{=}CH_2 + H_2 \rightarrow CH_3CH_3$$

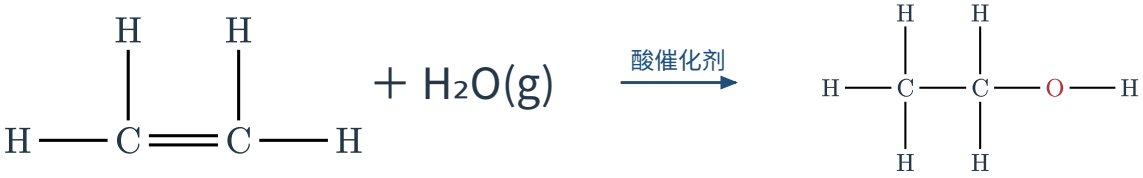
产物是乙烷；没有增加碳，也没有加入氧。

两侧完整展开式保留碳骨架；箭头上方是反应条件，进入产物的新原子来自所加试剂。

丙烯 $CH_2{=}CHCH_3$加氢时，只处理双键的两个碳：左边 CH_2多一个 H 成为 CH_3，中间 CH 多一个 H 成为 CH_2，末端 CH_3不变。产物 $CH_3CH_2CH_3$是丙烷。C 数始终 3，H 数由 6 增为 8，与加入 H_2吻合。

加蒸气时，把水中的 **H** 与 **OH** 接入，产物为醇。steam 表示水蒸气 $H_2O(g)$。乙烯在酸催化剂作用下与蒸气反应，形成乙醇 ethanol CH_3CH_2OH。画总体产物时，可把水看作提供一个 H 和一个 OH：双键一端的 CH_2接 H 成为 CH_3，另一端 CH_2接 OH，碳碳双键变单键。

蒸气加成：H和OH接入原C=C的两侧



$$CH_2{=}CH_2 + H_2O \rightleftharpoons CH_3CH_2OH$$

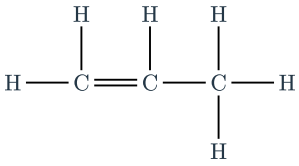
产物是乙醇；这里画总体原子去向，不表示详细反应机理。

两侧完整展开式保留碳骨架；箭头上方是反应条件，进入产物的新原子来自所加试剂。

原乙烯有 2C、4H，加一份水的 2H、1O，产物应有 2C、6H、1O。CH_3CH_2OH 恰好符合，并且每个 C 有四条键，O 连 C 与 H 两条键。乙烷没有 O，乙酸比此产物多一个 O，聚乙烯也不是这一步水合的产物，所以三者不能只因名字像而替代乙醇。

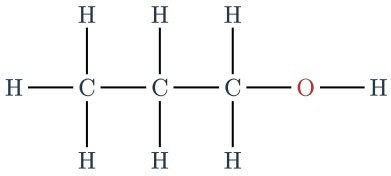
原双键两端不同，**H** 和 **OH** 的放置方向就可能给出不同产物。丙烯 propene 为 $CH_2{=}CHCH_3$，双键一端是末端 CH_2，另一端是带着 CH_3的 CH。若 OH 接末端、H 接中间，得到 $CH_2OHCH_2CH_3$，即 propan-1-ol；若交换 H 与 OH 的位置，得到 $CH_3CH(OH)CH_3$，即 propan-2-ol。编号从使 OH 位置数字较小的一端开始。

丙烯的两端不相同：OH可接原双键的任一端



＋ $H_2O(g)$，酸催化剂；原C=C变为C—C

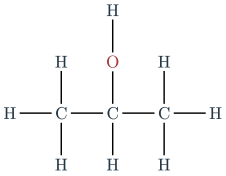
OH接末端C，H接另一端



propan-1-ol 丙-1-醇

$CH_3CH_2CH_2OH$

H接末端C，OH接另一端



propan-2-ol 丙-2-醇

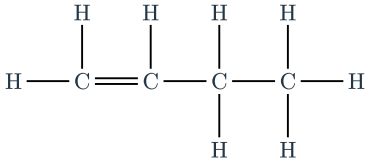
$CH_3CH(OH)CH_3$

两个分支表示两种可能的原子连接方式；不表示产物等量，也不要求本课程用机理预测比例。每种产物的全部原子和键均已画出。

逐个核对右图的中间 C：它接左 C、右 C、H 和 O，共四条键；O 再接一个 H。两图分子式都是 C_3H_8O，差别在 OH 接哪个 C。把 propan-1-ol 整张图左右翻转，仍是同一种连接，不能把翻转当第二个答案；第二种必须把 OH 改接中间 C。题目要 two possible products 时写这两种，不据此声称两者一定等量。

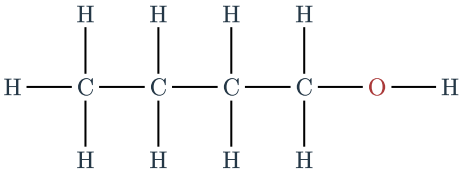
换成更长的碳链，处理的仍只有原双键两端。but-1-ene（丁-1-烯）为 $CH_2{=}CHCH_2CH_3$。先保留四个 C 的连接，把最左两个 C 之间的双键变单键，再分两种情况放 H 与 OH；右端原有的 CH_2CH_3 整体保留。得到 butan-1-ol 和 butan-2-ol。

丁-1-烯加蒸气：碳骨架保留，分别放置H和OH



＋ $H_2O(g)$，酸催化剂；原C=C变为C—C

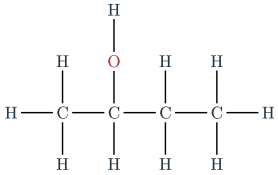
OH接末端C，H接另一端



butan-1-ol 丁-1-醇

$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$

H接末端C，OH接另一端



butan-2-ol 丁-2-醇

$CH_3CH(OH)CH_2CH_3$

两个分支表示两种可能的原子连接方式；不表示产物等量，也不要求本课程用机理预测比例。每种产物的全部原子和键均已画出。

OH 接第 1 个 C 时，末端变 CH_2OH，第 2 个 C 变 CH_2；OH 接第 2 个 C 时，第 1 个 C 变 CH_3，第 2 个 C 变 CH(OH)。每种产物都有 4C、10H、1O，与 C_4H_8加 H_2O 吻合。不能把 OH 接到原第 3 个 C 却不说明碳链编号的改变；作图先追踪原来的双键，命名时才从合适的一端重新编号。

三种反应都保留碳骨架，但新接入的东西不同。溴提供两个 Br，氢气提供两个 H，蒸气提供 H 和 OH。两个 Br 必须分别接在原双键的两个相邻 C 上；画一个 Br 并多一个 H 属于另一种加成试剂组合，不能拿来表示 Br_2。完成展开式后逐个检查 C、H、O、Br 的键数，再核对全部原子数；写条件时不要把镍催化剂与蒸气反应的酸催化剂互换。

烯烃含_____；溴水由_____变_____。乙烯加 H_2时用_____催化剂，产物为_____；乙烯加蒸气用_____催化剂，产物为_____。

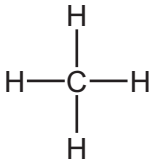
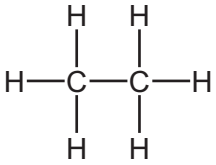
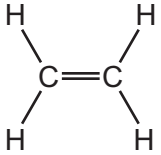
答案：C=C；橙棕色；无色；镍 Ni；乙烷；酸；乙醇

怎么认 先找到原 C=C，改成 C—C 后，在两个碳上分别接入 Br 与 Br、H 与 H、或 H 与 OH；保留原碳氢骨架并检查每个 C 四条键。现象题另对应溴水颜色。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q34） · 2 级

Three hydrocarbons are separately mixed with aqueous bromine.

Which row gives the correct observation for each hydrocarbon?

			
A	colour changes from orange to colourless	colour stays unchanged	colour changes from orange to colourless
B	colour changes from orange to colourless	colour changes from orange to colourless	colour stays unchanged
C	colour stays unchanged	colour stays unchanged	colour changes from orange to colourless
D	colour stays unchanged	colour changes from orange to colourless	colour stays unchanged

解：先按列读三个结构。第一个 C 连四个 H，是甲烷；第二个是两个 C 以单键相连的乙烷；第三个两个 C 之间有双键，是乙烯。

甲烷、乙烷都是饱和烃，在通常测试条件下不使溴水褪色；乙烯含 C=C，与溴加成，所以颜色由 orange 变为 colourless。

三列应依次为“不变、不变、橙色变无色”，只有 C 整行吻合，选 **C**。不能只在一列看到正确现象就选整行，也不能把 colourless 译成“白色”。

例题 2　(2023·May/June 0620/42 Q5(c))　· 3 级

(c) Propene undergoes addition reactions with steam.
There are two possible products, **A** and **B**.

Draw the displayed formula and name each product.

displayed formula of product **A**

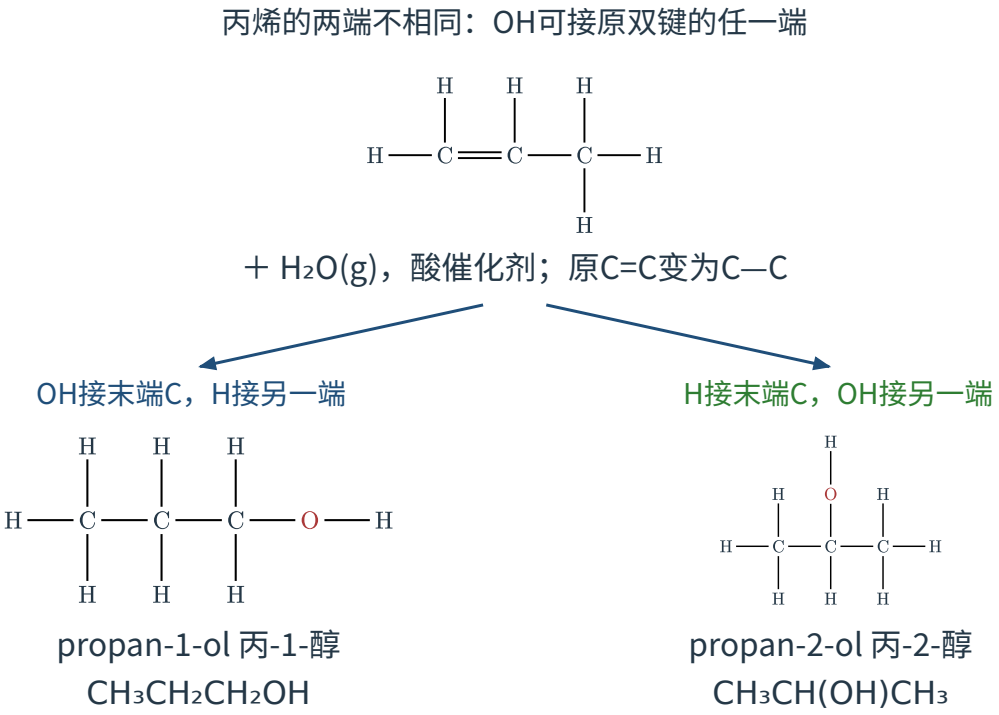
name of product **A**

displayed formula of product **B**

name of product **B**

解：丙烯的结构为 $CH_2{=}CHCH_3$。蒸气提供 H 与 OH，先把 C=C 改成 C—C，原来的三个 C 仍依次相连。原双键两端不相同，所以分两种放置方法。

第一种把 OH 接到末端 C，把 H 接到中间 C，得到 $CH_2OHCH_2CH_3$。从靠近 OH 的一端编号，名称是 **propan-1-ol**。第二种把 H 接末端、OH 接中间，得到 $CH_3CH(OH)CH_3$，名称是 **propan-2-ol**。对应的完整展开式如下：



两个分支表示两种可能的原子连接方式；不表示产物等量，也不要求本课程用机理预测比例。每种产物的全部原子和键均已画出。

在两栏分别画上这两种结构，并在各自下方写对应名称，A、B 互换顺序也可以。每个 C 应有四条键，O 两条，H 一条；两式都是 C_3H_8O。官方 4 分分别对应两个完整展开式和两个正确对应的名称。只写结构简式不满足 displayed formula；画同一个醇的左右翻转也不构成两种产物。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q35） · 1 级

Which compound is formed when ethene reacts with steam?

A ethane

B ethanoic acid

C ethanol

D poly(ethene)

2. （2025·May/June 0620/43 Q1(h)） · 1 级

A list of substances is shown.

aluminium oxide **calcium oxide** **chlorine** **ethanol** **graphite**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **silicon(IV) oxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(h) is manufactured by the catalytic addition of steam to ethene

3. （2024·February/March 0620/42 Q5(d)(ii)） · 3 级

(d) When but-1-ene reacts with steam, **two** possible products form.

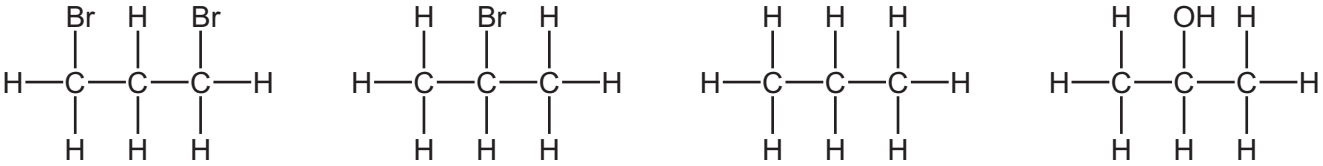
(ii) Name and draw the displayed formulae of the **two** possible products.

product 1	product 2
name	name .....
displayed formula	displayed formula

4. （2025·October/November 0620/23 Q36） · 3 级

Propene undergoes addition reactions with bromine, hydrogen and steam.

Which structures represent a product of these reactions?



A 1 and 3 **B** 1 and 4 **C** 2 and 3 **D** 3 and 4

11.6 醇

题型 1：比较发酵与乙烯水合的条件、优缺点和用途

知识点 两条路线都能制乙醇，先分清原料与条件。ethanol（乙醇）的结构是 CH_3CH_2OH，也常写作 C_2H_5OH。第一条路线是 fermentation（发酵）：用葡萄糖 glucose 的水溶液，在酵母 yeast 存在、没有氧气的条件下，维持 25—35°C，让葡萄糖转化为乙醇与二氧化碳。

葡萄糖的分子式是 $C_6H_{12}O_6$。发酵的总反应式为：

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

每份葡萄糖的 6 个 C 分成乙醇中的 4 个和 CO_2中的 2 个；12 个 H 全部计入两份乙醇，O 数也守恒。酵母提供参与催化的酶，不能把酵母当成方程式中按比例消耗的反应物。

发酵：葡萄糖水溶液在无氧条件下生成乙醇



$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

温度过低速率慢；温度过高会使酵母中的酶失去活性。

箭头表示生产步骤或总反应；葡萄糖来自可再生的植物原料。本图没有把酵母写成被消耗的反应物。

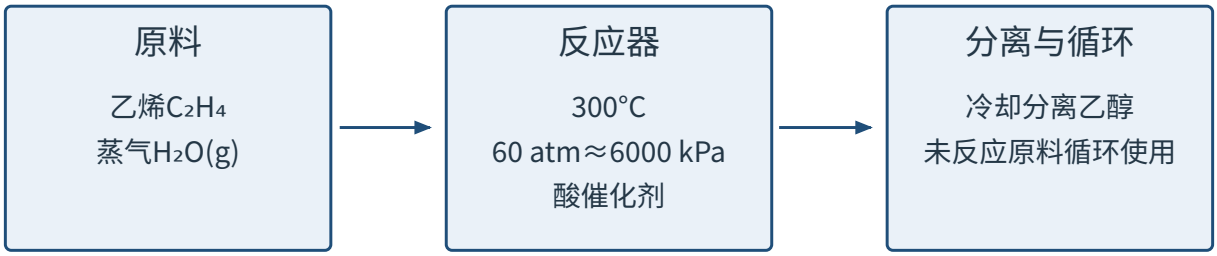
要给一个典型发酵温度，可写 30°C，位于 25—35°C 之间。100°C 并不合适：高温会使酶失去活性，酵母不能按这一路线继续有效发酵。温度太低则反应慢。还要明确 absence of oxygen；加入氧气可能改变微生物进行的过程，不能漏掉这一条件。

第二条路线是乙烯的催化水合。ethene 与 steam 反应的典型工业条件是 300°C、6000kPa 或 60atm，以及酸催化剂；通常以磷酸 H_3PO_4作例子。总反应式为：

$$C_2H_4 + H_2O \rightleftharpoons C_2H_5OH$$

乙烯来自课程中的石油化工路线，蒸气是反应物，酵母不用于这个反应器。

乙烯与蒸气：高温、较高压强、酸催化



$$C_2H_4 + H_2O \rightleftharpoons C_2H_5OH$$

常用磷酸H_3PO_4作酸催化剂；蒸气是反应物，酵母不用于这一路线。

箭头表示工艺中的物料去向；可逆符号用于反应本身，单程未完全转化的原料可循环。

问催化加蒸气的条件时，分别填 300°C、60atm、acid catalyst。不能把发酵的 30°C 和 yeast 搬过来，也不能把 Haber 工艺的 450°C、200atm 搬来。反应可逆，一次通过反应器的原料不必全部转化；分离乙醇后可将未反应原料循环使用。

比较优缺点，要按同一项目逐项对照。发酵使用植物来源的糖，原料可再生，反应温度较低；但反应较慢，通常分批生产，得到的乙醇水溶液较稀。乙烯水合较快，可以连续生产，得到的产品较纯；代价是较高温度和压强带来的耗能与设备要求，而且本课程石油路线的乙烯原料不可再生。

比较制乙醇的两条路线，先让比较项目一一对应

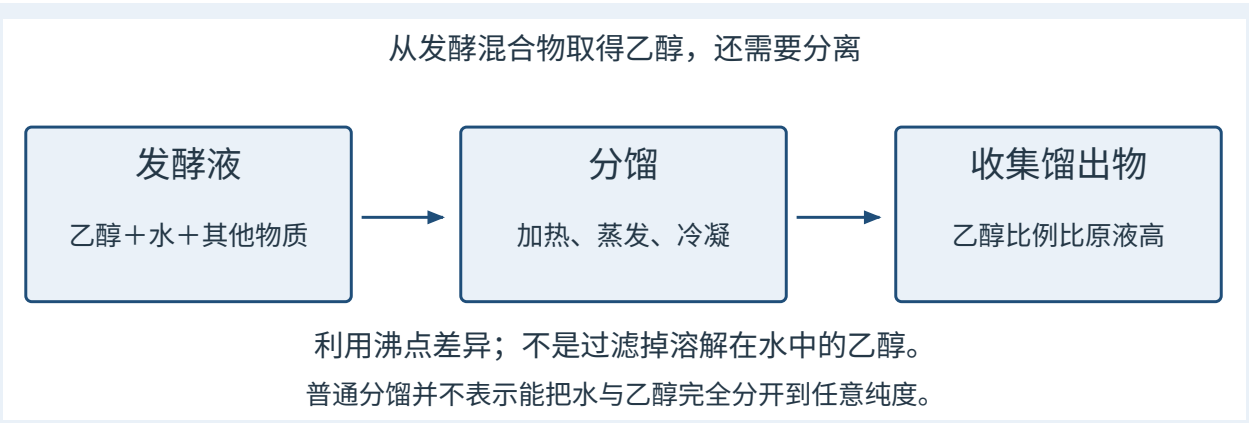
	发酵	乙烯＋蒸气
原料	葡萄糖：植物原料可再生	乙烯：课程石油路线不可再生
速度与生产方式	较慢，通常分批	较快，可连续
反应条件	25—35°C；酵母；无氧	300°C；60atm；酸催化
所得乙醇	水溶液较稀，需后续分离	产品较纯，仍需分离
能源与设备	反应温度较低；蒸馏也需能量	较高温压，耗能和设备要求较高

“更纯”是两路线的相对比较，不等于无需分离就得到100%乙醇。

每一行固定同一个比较项目；原料可再生性按课程所给植物葡萄糖与石油乙烯路线判断。

题目问乙烯水合的两个优势，可答“较快”和“产品较纯”。“使用更多能量”是代价，不能因为句子描述真实就当作优势；“原料可再生”则属于这里比较的葡萄糖路线。产物纯度和产率也不同：较纯说杂质比例较少，产率说获得了多少目标产物，不能互换。

发酵结束仍得到混合物，所以还需要分离。乙醇与水互溶，过滤不能把溶解的乙醇像沙粒一样截住。可利用沸点差异进行分馏 fractional distillation：加热产生蒸气，再冷凝收集较富含乙醇的部分。分离过程本身也需要能量，所以不能因发酵温度较低，就说整个生产链完全不耗能。

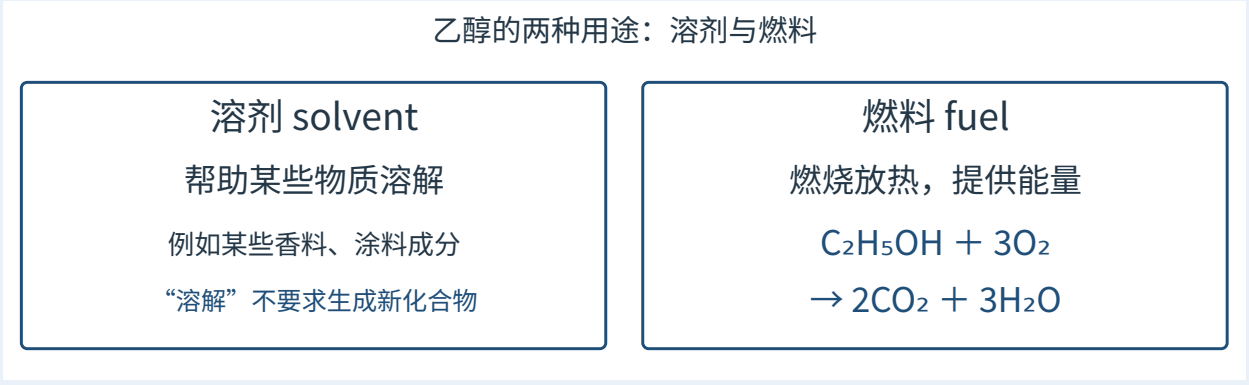


箭头表示分离步骤；乙醇和水互溶，不能用滤纸把它们当成不溶固体和液体分开。

一份发酵液含水、乙醇和其他物质。滤去不溶物只能移除这些固体，不能同时得到纯乙醇；需要进一步按沸点分离。题目比较 purer product 时使用“较纯”即可，不能夸大成未经处理就有 100% 乙醇，普通分馏也有分离纯度的限制。

乙醇可作溶剂，也可作燃料。 solvent 指帮助其他物质溶解的液体，乙醇可用于溶解某些香料、涂料等成分。fuel 指用燃烧放出的能量，乙醇完全燃烧生成 CO_2 与 H_2O：

$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$



左边描述物质溶解用途；右边是完全燃烧的化学变化，氧气需充足。

配平乙醇完全燃烧：2 个 C 先给 $2CO_2$，6 个 H 给 $3H_2O$，产物总共 7 个 O。燃料自己已有 1 个 O，还缺 6 个 O，由 $3O_2$提供，式子便配平。作为溶剂时，乙醇帮助物质分散溶解，不要求发生这个燃烧反应；同一种物质的不同用途要对应不同性质。

发酵用_____水溶液，温度范围_____，需_____并隔绝_____。乙烯水合典型温度_____，压强_____，使用_____催化剂。乙醇的两种用途是_____和_____。

答案：葡萄糖；25—35°C；酵母；氧气；300°C；60atm 或 6000kPa；酸；溶剂；燃料

怎么认 先分发酵还是催化加蒸气，再对应温度、原料、催化剂与氧气条件；比较题逐项判优势，纯度、速度、可再生性和耗能不能互换。

例题 1 （2025·May/June 0620/21 Q35） · 2 级

Industrially, ethanol is produced by fermentation or by the reaction of ethene with steam.

Which row is correct?

	fermentation	ethene + steam
A	uses a temperature of 100 °C	uses a temperature of 350 °C
B	needs the presence of yeast	does **not** need a catalyst
C	slow reaction	fast reaction
D	high yield of ethanol	low yield of ethanol

解：按同一个比较项目分别检查两列。A 把发酵写为 100°C，超出了 25—35°C 的典型范围；把乙烯加蒸气写成 350°C，也不符合课程给出的 300°C，排除。

B 的发酵需要酵母正确，但乙烯水合也需要酸催化剂，所以“does not need a catalyst”错误。C 把发酵描述为较慢、乙烯水合描述为较快，符合两种工艺，正确。

D 不能作为这两条工业路线总体产率的通用判断。水合的可逆反应虽非单程完全转化，未反应原料仍可循环；不能据此直接说最终乙醇产率低，也不能把发酵液较稀的纯度问题与产率混为一谈。因此选 **C**，两列分别是 slow reaction 和 fast reaction。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q1(c)） · 1 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(c) is manufactured by fermentation

2. （2025·May/June 0620/42 Q1(e)） · 1 级

Using numbers only, state the:

(e) typical temperature for the fermentation of aqueous glucose in °C

3. （2025·May/June 0620/22 Q36） · 2 级

Ethanol can be made by the fermentation of aqueous glucose and by the catalytic addition of steam to ethene.

What are two advantages of making ethanol by the catalytic addition of steam to ethene rather than by the fermentation of aqueous glucose?

A faster reaction and renewable raw materials

B purer product and faster reaction

C renewable raw materials and continuous process

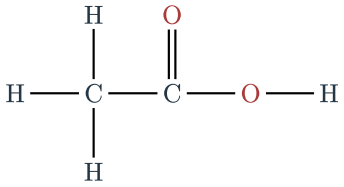
D uses more energy and forms a purer product

11.7 羧酸与酯

题型 1：根据有机物反应确定产物、现象与用量

知识点 有机物的反应仍遵守已经学过的酸性与原子守恒。ethanoic acid 是乙酸，结构简式 CH_3COOH，官能团为 COOH。它是弱酸 weak acid，在水中只有部分分子电离为 H^+与 CH_3COO^-；这个离子叫乙酸根 ethanoate ion。弱酸仍可呈明显酸性，酸性溶液 pH 小于 7，并能使蓝色石蕊变红。

乙酸溶液呈酸性；COOH中的一个H可以被中和



$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$

弱酸：只有部分酸分子电离

酸性溶液pH＜7；蓝色石蕊变红

“弱”说电离程度；“浓/稀”说单位体积中溶质多少，两个判断分开。

左侧完整展开式中的 COOH 对应右侧酸性来源；可逆箭头说明部分电离，不表示所有分子都已变为离子。

一份有机物水溶液 pH 为 3，并且与碳酸盐放出 CO_2，说明它有酸的反应性。在本节烷烃、烯烃、醇、羧酸几种家族中，羧酸符合。单凭“液体、能溶于水”不足以唯一辨认家族；应使用更直接的酸性证据。“弱”指部分电离，不能据此把 pH 写成 10。

酸与金属、碱、碱性氧化物的产物不同。乙酸与镁 magnesium Mg 反应，生成乙酸镁和氢气；与氢氧化钠 sodium hydroxide NaOH 反应，生成乙酸钠和水；与氧化铜(Ⅱ)copper(II) oxide CuO 反应，生成乙酸铜(Ⅱ)和水。盐名中的 ethanoate 来自乙酸，金属名称来自另一反应物。

乙酸根 CH_3COO^-带一个负电荷，所以 Na^+配一个乙酸根，写 CH_3COONa；Mg^{2+}或 Cu^{2+}配两个乙酸根，写 $(CH_3COO)_2Mg$ 或$(CH_3COO)_2Cu$。括号外的 2 把整个乙酸根计两次，不能只把最后的 O 或金属改下标。

先判断另一反应物，再决定盐以外还生成什么

镁Mg：活泼金属

$$2CH_3COOH + Mg \rightarrow (CH_3COO)_2Mg + H_2$$

盐：乙酸镁 magnesium ethanoate；另有氢气

氢氧化钠NaOH：碱

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$$

盐：乙酸钠 sodium ethanoate；另有水

氧化铜(Ⅱ)CuO：碱性氧化物

$$2CH_3COOH + CuO \rightarrow (CH_3COO)_2Cu + H_2O$$

盐：乙酸铜(Ⅱ) copper(II) ethanoate；另有水

括号外的 2 表示两个乙酸根 CH_3COO^-；Mg^{2+}或 Cu^{2+}需要两个−1 离子抵消电荷。

先写乙酸与 Mg 的反应。每个 Mg 形成 Mg^{2+}，需要两个 CH_3COO^-，所以取 $2CH_3COOH$。两个酸性 H 形成一份 H_2，完整方程式为：

$$2CH_3COOH + Mg \rightarrow (CH_3COO)_2Mg + H_2$$

若另一反应物改成 NaOH，就要重新判断产物。OH^-与酸性的 H 形成 H_2O：

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$$

因此，不能仍把气体产物写成 H_2。

酸遇碳酸盐，还会形成二氧化碳。carbonate 是碳酸盐，例如碳酸钠 Na_2CO_3、碳酸钙 $CaCO_3$。它们与乙酸反应，除乙酸盐之外还生成水和 CO_2。可观察到气泡；若进一步将气体通入澄清石灰水，变浑浊支持它是 CO_2。

碳酸盐遇酸：二氧化碳是重要的辨认线索

$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

乙酸 + 碳酸钠 → 乙酸钠 + 水 + 二氧化碳

可见气泡；产生的CO_2使澄清石灰水变浑浊。

箭头表示酸与碳酸盐反应；气泡说明有气体逸出，石灰水检验进一步支持 CO_2的身份。

与 Na_2CO_3反应时，两个 Na^+需要两个乙酸根，因此取 $2CH_3COOH$，得到 $2CH_3COONa$；酸性的两个 H 和碳酸根的一个 O 构成 H_2O，其余 C、O 构成 CO_2。若是 $CaCO_3$，盐改为$(CH_3COO)_2Ca$，其余仍为 H_2O 与 CO_2。不能把“酸与金属放 H_2”直接套给金属碳酸盐。

乙醇氧化可制得乙酸，试剂名称与颜色要对应。 用 acidified aqueous potassium manganate(VII)（酸化高锰酸钾水溶液，$KMnO_4$）加热乙醇，会把乙醇氧化为乙酸。乙醇发生的是 oxidation，氧化剂的紫色逐渐褪为无色。不要因为试剂颜色减弱，就把“乙醇的反应”写成还原。

乙醇被氧化为乙酸，氧化剂的紫色褪去



乙醇CH_3CH_2OH　　乙酸CH_3COOH

$$CH_3CH_2OH + 2[O] \rightarrow CH_3COOH + H_2O$$

反应类型：乙醇氧化；溶液现象：紫色 → 无色。

[O]表示氧化剂提供的氧化能力所用的课程简写，不表示试剂瓶里装有游离氧原子；$KMnO_4$为高锰酸钾。

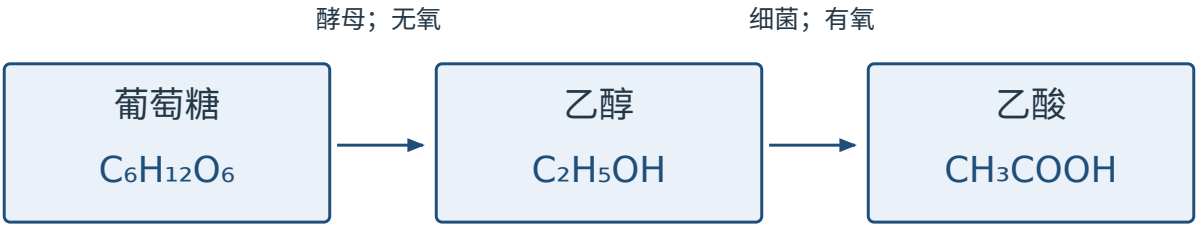
原乙醇 CH_3CH_2OH 变成 CH_3COOH，碳骨架仍有两个碳，结构增加了与氧相连的部分，可判断乙醇被氧化。题目问反应类型与现象时，完整对应“oxidation；purple to colourless”。[O]是课程中对氧化剂所提供氧化作用的简写；不要求把 $KMnO_4$的所有离子反应自行展开才能答这问。

制醋是另一种乙醇氧化，要有氧气。某些细菌能在有氧条件下将乙醇氧化为乙酸，用于 vinegar（醋）的生产。这里的 oxygen O_2参加反应，总体变化可写为：

$$C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$$

它与酵母把葡萄糖变成乙醇的无氧发酵不是同一过程。

发酵与制醋：微生物和氧气条件不同



制醋时：$C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$

左右箭头分别表示两个不同过程；制醋的细菌氧化需要氧气，不能把发酵的无氧条件搬过去。

比较“糖变成乙醇”和“乙醇变成乙酸”，前者按发酵写酵母、25—35°C、无氧；后者按制醋写细菌氧化、需要氧气。虽然都有微生物参与，也不能把氧气条件抄成相同。

有机物完全燃烧仍先配碳、再配氢、最后配氧。乙烯 C_2H_4、乙醇 C_2H_5OH 都能燃烧，但自身含氧情况不同。充足氧气下，C 进入 CO_2，H 进入 H_2O；最后算还需要多少 O_2时，要减去燃料分子原来已带的氧原子。

有机物燃烧，最后数氧时别漏掉燃料自己带的O

乙烯C_2H_4	$2CO_2 + 2H_2O$	需$3O_2$
	产物需6个O；燃料带0个O	
乙醇C_2H_5OH	$2CO_2 + 3H_2O$	仍需$3O_2$
	产物需7个O；燃料已带1个O	

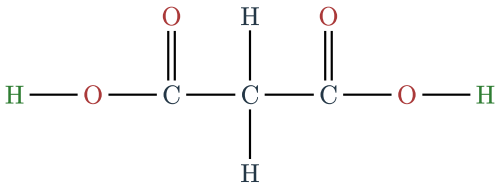
先由C、H定产物，再用“产物氧原子数−燃料自带氧原子数”求O_2。

两式都按每 1mol 燃料比较完整燃烧；产物 CO_2、H_2O 的化学式固定，调整的只是系数。

一份乙烯的 2C、4H 给 $2CO_2$和 $2H_2O$，总共需要 6 个 O；乙烯原来没有 O，所以取 $3O_2$。乙醇的 2C、6H 给 $2CO_2$和 $3H_2O$，总需 7 个 O，但乙醇本身有 1 个，只再取 $3O_2$。两种燃料碰巧都需要 $3O_2$，产物水的系数却不同，必须各自核算。

一个分子中有几个 **COOH**，就有几份这一类酸性 **H** 可被 **NaOH** 中和。 单个 COOH 中的 O—H 提供一个酸性 H，一份 NaOH 的 OH^-可中和它形成一份 H_2O。若同一分子有两个 COOH，完全中和时一份分子对应两份 NaOH。连在 C 上的普通 H 不按这一羧酸中和规则计入。

含两个COOH：一分子酸需要两份OH^-中和



$$HOOC—CH_2—COOH + 2NaOH \rightarrow NaOOC—CH_2—COONa + 2H_2O$$

绿色H是两个O—H中的酸性氢；中间C上的H不按此方式被NaOH中和。

每1 mol此类二羧酸对应2 mol NaOH；比例由结构里的COOH个数决定。

$HOOC—CH_2—COOH$ 含两个羧基，两端绿色 H 标出可被中和的两个酸性氢。解答化合物 B 时，应按原题结构重新数羧基。

图示二羧酸若有 0.020mol，每个分子含两个 COOH，完全中和时 NaOH 的物质的量必须是酸的两倍：

$$n(\mathrm{NaOH}) = 2 \times 0.020 = 0.040 \quad \mathrm{mol}$$

若 NaOH 浓度为 0.100mol/dm³，用物质的量除以浓度，得到所需溶液体积。这里 n 和 c 都对应 NaOH：

$$V = \frac{n}{c} = \frac{0.040}{0.100} = 0.400 \quad \mathrm{dm^3}$$

最后换成 cm³：

$$0.400 \times 1000 = 400 \quad \mathrm{cm^3}$$

顺序是先数 COOH、求 NaOH 物质的量，再除以浓度并换体积单位；不能直接拿酸的物质的量除 NaOH 浓度而漏掉 2。

乙酸与 Mg 产生_____，与碳酸盐产生_____；与 NaOH 形成_____和_____。酸化 $KMnO_4$ 氧化乙醇时，颜色由_____变_____。含两个 COOH 的酸每 1mol 需_____mol NaOH 完全中和。

答案：H_2；CO_2；乙酸钠 CH_3COONa；水 H_2O；紫色；无色；2

怎么认 先看另一反应物是金属、碱还是碳酸盐；氧化题把乙醇的变化与试剂颜色分开。计算先数 COOH 定 NaOH 比例，再用 n=cV 并换单位。燃烧按 C、H、O 守恒。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q36） · 2 级

Which statements about ethanoic acid are correct?

1 Its aqueous solution has a pH value of 10.

2 It reacts with metal carbonates to produce carbon dioxide gas.

3 It reacts with magnesium metal to produce hydrogen gas.

A 1, 2 and 3 **B** 1 and 2 only **C** 1 and 3 only **D** 2 and 3 only

解：1：乙酸水溶液呈酸性，pH 应小于 7，10 则呈碱性，所以错误。

2：酸与金属碳酸盐反应会产生盐、水和 CO_2，正确。3：乙酸与 Mg 这种活泼金属反应产生乙酸镁和 H_2，正确。

因此 2 和 3 成立，对应 **D**。注意两条反应的气体不同：碳酸盐给 CO_2，金属 Mg 给 H_2，不能都笼统写成同一种气体。

例题 2 （2025·May/June 0620/42 Q6(e)(v)） · 3 级

(e) Compound **B** has the displayed formula shown in Fig. 6.1.

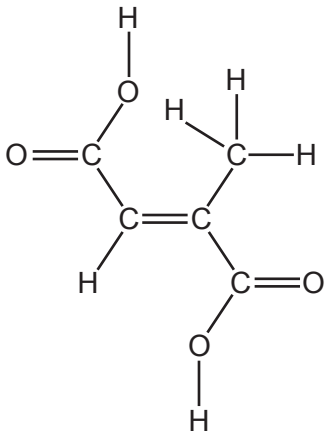


Fig. 6.1

(v) Calculate the volume, in cm^3, of $0.250\,mol/dm^3$ NaOH that reacts with 0.100 mol of compound **B**.

解：先由 Fig.6.1 找出两个 COOH。每个 COOH 中的一个酸性 H 需要一份 OH^-中和，因此 1mol B 需要 2mol NaOH；分子上其他连在 C 上的 H 不增加这个中和比例。

第一步，按两个 COOH 需要两份 NaOH，求 NaOH 的物质的量：

$$n(\mathrm{NaOH}) = 2 \times 0.100 = 0.200 \quad \mathrm{mol}$$

这里的 0.100mol 已经是 B 的物质的量，不需要再按 B 的相对分子质量相除。

第二步，用 NaOH 自身的浓度求它的体积。浓度是物质的量除以体积，所以体积等于物质的量除以浓度：

$$V = \frac{n}{c} = \frac{0.200}{0.250} = 0.800 \quad \mathrm{dm}^3$$

第三步，题目要求 cm^3。每 $1dm^3$等于 $1000cm^3$，因此：

$$0.800 \times 1000 = 800 \quad \mathrm{cm}^3$$

最终答案为 **$800cm^3$**。官方两步分别落在正确的 0.200mol 和最终 $800cm^3$。若漏掉两个 COOH 而用 0.100 直接除浓度，会得到少一半的体积。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/21 Q36） · 2 级

Some properties of an organic compound, J, are listed.

- It is a liquid at room temperature.
- It is soluble in water.
- A solution of J reacts with calcium carbonate to form carbon dioxide.
- A solution of J has a pH of 3.

In which homologous series does J belong?

A alkane

B alkene

C alcohol

D carboxylic acid

2. （2025·May/June 0620/21 Q17） · 2 级

Ethanol is warmed with acidified aqueous potassium manganate(VII).

Which row describes the type of reaction of the ethanol and the colour change observed in the reaction mixture?

	type of reaction	colour change
A	oxidation	colourless to purple
B	oxidation	purple to colourless
C	reduction	colourless to purple
D	reduction	purple to colourless

3. （2025·May/June 0620/42 Q6(c)） · 2 级

Ethene, C_2H_4, is the first member of a family of similar compounds which contains the alkene functional group.

(c) Write the symbol equation for the complete combustion of C_2H_4.

4. (2025·May/June 0620/42 Q6(e)(iv)) · 2 级

(e) Compound **B** has the displayed formula shown in Fig. 6.1.

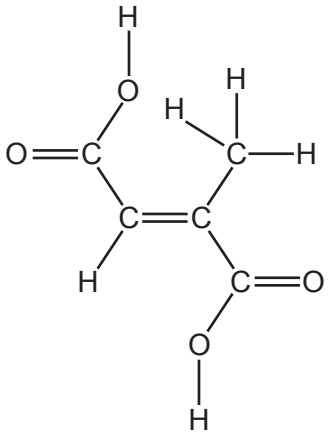


Fig. 6.1

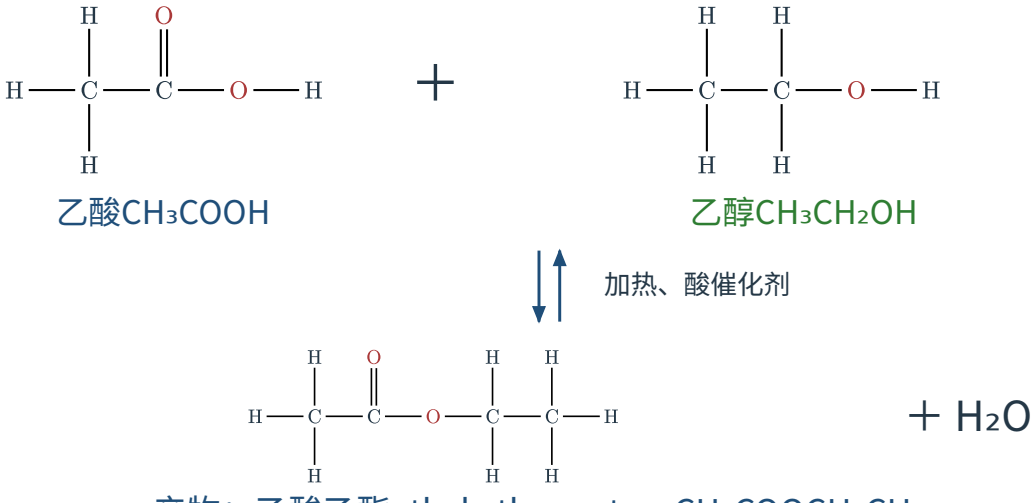
(iv) Explain why 1 mol of compound **B** reacts with 2 mol of sodium hydroxide, NaOH.

题型 2：拆分酯名并画出全部原子与酯连接

知识点 先找到酯连接，再把它接回酸与醇。ester 是酯；本节酯连接包含 C(=O)—O—C，即一个 C=O 旁边接一个 O，而这个 O 继续接另一个碳。羧酸的末端是 C(=O)—O—H，区别在于 O 另一侧接的是 C 还是 H，不能只看到两个 O 就一概叫酯。

羧酸 carboxylic acid 与醇 alcohol 在加热、酸催化剂作用下发生 esterification（酯化），形成酯与水；常用浓硫酸 H_2SO_4作酸催化剂。这是可逆反应，使用⇌。构造产物时保留酸侧的含 C=O 部分与醇侧碳链，在中间形成 C(=O)—O—C 的连接，并补出 H_2O。这个画法用来核对总体结构，不要求先学习详细反应机理。

酸＋醇形成酯：保留两段碳链，合成酯连接并生成水



上方两种反应物、下方酯与水均完整保留原子总数。两支方向相反的箭头表示可逆反应。

以乙酸和乙醇为例，酯化反应为：

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

酸侧保留 $CH_3C(=O)—$，醇侧提供接在 O 后的 CH_2CH_3；总碳数 2＋2＝4。产物含酯连接，叫 ethyl ethanoate（乙酸乙酯）。反应有酯和水两种产物，因此不能把它说成“只生成一个产物”的本节简单加成。

英文酯名与中文酯名的顺序不同。英文先写醇带来的烃基：methanol→methyl，ethanol→ethyl，propan-1-ol→propyl，butan-1-ol→butyl；后写羧酸部分：methanoic acid→methanoate，ethanoic acid→ethanoate，propanoic acid→propanoate，butanoic acid→butanoate。中文常按“某酸某酯”读，把酸放在前面。

酯的英文名：先读醇带来的烃基，再读羧酸部分

butyl ↓ butan-1-ol：丁-1-醇

ethanoate ↓ ethanoic acid：乙酸

中文按“酸名＋醇的烃基＋酯”：乙酸丁酯。不能把两段来源颠倒。

箭头表示从酯名反查对应反应物名称；不表示把酯分别转化为这两种物质的实验步骤。

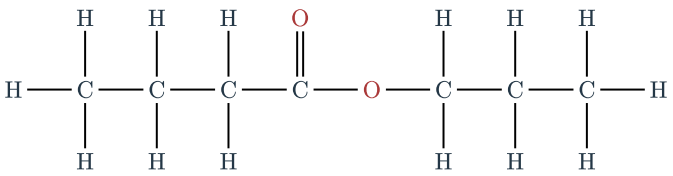
ethyl propanoate 的 ethyl 来自 ethanol，propanoate 来自 propanoic acid；因此反应物是乙醇与丙酸，中文叫丙酸乙酯。若问两个反应物，要分别按答题栏写入 acid 和 alcohol，不能将英文中先出现的词当然地写入第一个栏位。

酯名中的碳数分别属于两段，总数直接相加。酸名的碳数包含羧基中的 C；醇带来的烃基另提供它的全部 C。酯化生成 H_2O，但水不含 C，所以反应不会因失水而减少总碳数。

每一侧先数自己的碳：propyl butanoate共有3＋4个碳

butanoate：酸带来4C　　propyl：醇带来3C

$$CH_3CH_2CH_2C(=O)—O—CH_2CH_2CH_3$$



成水时只离开H、O，不移走任何C；总碳数为7。

上方结构简式明确标出 C=O，下面完整展开式供逐原子核对；彩色下划线表示两段碳的来源。

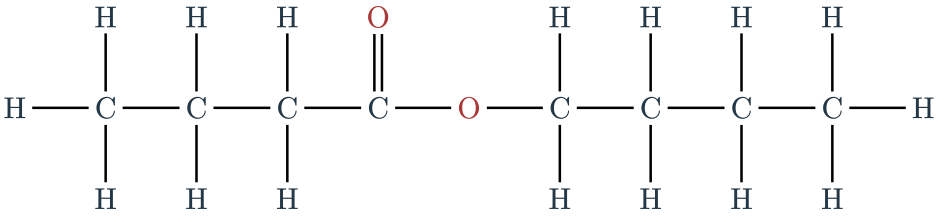
methyl propanoate 中的 methyl 带 1C、propanoate 带 3C，总共 4C。结构应为 $CH_3CH_2COOCH_3$：左侧酸带来的三个 C 含 COO 中的 C，右侧醇带来一个 C。不能只数酸的烃链 CH_3CH_2而漏掉羧基碳。

遇到新组合，不用死记每一个完整式子。先从下面两组片段各取一个，在酸侧 O 与醇侧第一个 C 之间连一条单键；然后检查每个 C 有四条键，O 有两条键，H 有一条。写 displayed formula 时，CH_3、CH_2和 COO 的简写还要展开为全部原子和键。

1—4碳的两组结构片段，可以组合出对应直链酯

酸侧：保留COO—		醇侧：保留与O相连的碳链	
methanoate	HCOO—	methyl	—CH_3
ethanoate	CH_3COO—	ethyl	—CH_2CH_3
propanoate	CH_3CH_2COO—	propyl	—$CH_2CH_2CH_3$
butanoate	$CH_3CH_2CH_2COO$—	butyl	—$CH_2CH_2CH_2CH_3$

任选酸侧一行与醇侧一行，连接为一个O—C单键；不是只配同一行。



示范：butyl butanoate，丁酸丁酯，总共8C；上方展开式画出所有原子和键。

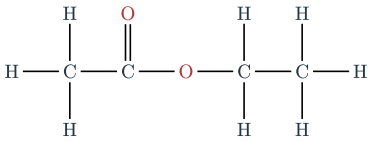
片段的横线表示待相连的一条键，不是额外原子；完整示范采用四碳酸和四碳伯醇，覆盖这一组合的最长碳数。

用 butanoic acid 与 butan-1-ol：酸侧取 $CH_3CH_2CH_2COO$—，醇侧取—$CH_2CH_2CH_2CH_3$，连接后为 $CH_3CH_2CH_2COOCH_2CH_2CH_2CH_3$，名称 butyl butanoate（丁酸丁酯）。酸与醇各 4 个 C，总共 8C；上图给出完整展开式。换其他 1—4 碳组合时，方法相同，不能把表格误读成只能同行配对。

从总碳数反推结构，要先留出酯连接两侧的最低需要。羧酸至少有一个羧基 C，醇侧也至少有一个 C；所以本节最简单的酯至少含两个碳。若题目给三个碳，可在酸侧、醇侧按 2＋1 或 1＋2 分配，分别构造并核对。只有正确的酯连接还不够，所有剩余 C、H、O 及键都须画全。

从总碳数反推酯：先给酸侧与醇侧各留至少1C

总共2C	总共3C	总共4C的一种选择
酸1C ＋ 醇1C	酸1C ＋ 醇2C 或酸2C ＋ 醇1C	酸2C ＋ 醇2C



四碳示范：$CH_3COOCH_2CH_3$；羧基C已包含在酸侧的2C内。

上方列碳数的分配，下面画出 2＋2 这一四碳酯示范的全部原子与键；不表示四碳酯只有一种结构。

要构造一份四碳酯，可选酸侧 2C、醇侧 2C，得到刚讲过的 $CH_3COOCH_2CH_3$。核对：酸侧 COO 的 C 已在那 2C 里，O 后面 CH_2CH_3另带 2C。若把 O 后面错误接成 H，就会退回羧酸，不能再叫酯；若省掉 C=O，则酯连接不完整。

酯化需羧酸与_____，生成酯和_____，通常用_____催化剂。ethyl 对应_____，butanoate 对应_____。propyl butanoate 共有_____个碳；结构中 O 须连接 C=O 旁的 C 与醇侧的_____。

答案：醇；水；酸（如浓硫酸）；ethanol 乙醇；butanoic acid 丁酸；7；碳

怎么认 英文前半查醇、后半查酸；两侧碳数相加。作图先画 C(=O)—O—C，再分配碳链并补齐 H，最后逐原子核对，不把结构简式当展开式。

例题 1 （2025·May/June 0620/41 Q5(d)(ii)） · 2 级

(d) Carboxylic acids react with alcohols to form esters.

(ii) Butyl ethanoate is an ester.

Name the alcohol and the carboxylic acid that react to produce butyl ethanoate.

alcohol

carboxylic acid

解：先把 butyl ethanoate 拆成两部分。butyl 来自 butan-1-ol，表示醇侧的四碳直链；ethanoate 来自 ethanoic acid，表示乙酸部分。

题目第一栏是 alcohol，因此填 **butan-1-ol**；第二栏 carboxylic acid 填 **ethanoic acid**。两栏顺序按题目栏名填写。

可用结构核对：CH_3COOH 与 $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ 形成 $CH_3COOCH_2CH_2CH_2CH_3$ 和 H_2O。不能写 butanoic acid 与 ethanol，那会得到另一个酯 ethyl butanoate；即使总碳数相同，连接的两侧来源也不同。

例题 2 （2025·May/June 0620/43 Q5(d)(i)） · 3 级

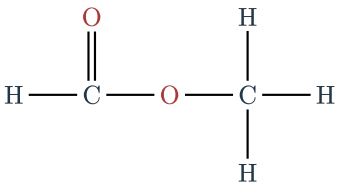
(d) Carboxylic acids react with alcohols to form esters.

(i) Draw the displayed formula of the ester which contains two carbon atoms.

解：题目给总碳数为 2，并要求 displayed formula。酯的酸侧至少有羧基中的 1 个 C，醇侧至少有 1 个 C，所以只能按 1＋1 分配。

酸侧取甲酸 HCOOH，醇侧取甲醇 CH_3OH；形成的酯为 $HCOOCH_3$，叫 methyl methanoate（甲酸甲酯）。作图先画 H—C(=O)—O—C，再给右端 C 补三个 H：

最少两个碳的酯：甲酸甲酯methyl methanoate



$HCOOCH_3$；酸侧1C，醇侧1C，全部原子和键均已画出。

结构中 C=O 与 C—O—C 构成酯连接；左端接 H，右侧为 CH_3，总共两个碳。

核对酸侧 C 连 H、双键 O、单键 O，共四条键；中间 O 连左右两个 C；右端 C 连 O 和三个 H。两个 C、两个 O、四个 H 全部画出。官方先要求正确酯连接，再要求完整甲酸甲酯结构；只写 $HCOOCH_3$ 不满足展开式作图要求。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/21 Q14） · 2 级

The equation represents the reaction between ethanoic acid and ethanol.

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

Which type of reaction does this show?

A addition

B neutralisation

C reduction

D reversible

2. （2025·May/June 0620/42 Q1(h)） · 2 级

Using numbers only, state the:

(h) number of carbon atoms in one molecule of propyl butanoate.

3. （2025·May/June 0620/43 Q5(d)(ii)） · 2 级

(d) Carboxylic acids react with alcohols to form esters.

(ii) Propyl butanoate is an ester.

Name the carboxylic acid and alcohol that react to produce propyl butanoate.

carboxylic acid

alcohol

4. （2025·May/June 0620/41 Q5(d)(i)） · 3 级

(d) Carboxylic acids react with alcohols to form esters.

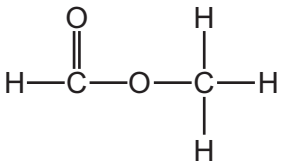
(i) Draw the displayed formula of an ester which contains three carbon atoms.

5. （2025·May/June 0620/22 Q33） · 3 级

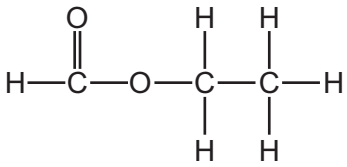
Methanol reacts with ethanoic acid to form an ester.

What is the displayed formula for this ester?

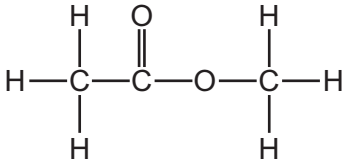
A



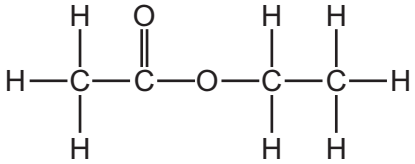
B



C



D

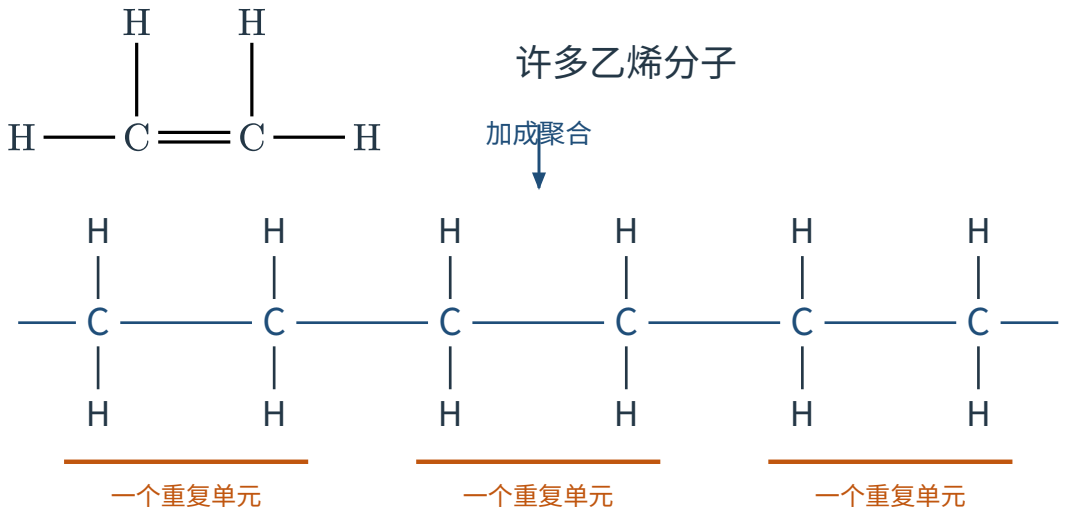


11.8 聚合物

题型 1：由单体画重复单元，再由聚合物恢复完整单体

知识点 先看小分子怎样变成长分子，再学作图。polymer（聚合物）是由许多小分子连接而成的大分子；这些起始小分子叫 monomers（单体）。乙烯 ethene 含 C=C，可以发生 addition polymerisation（加成聚合）：许多乙烯的双键变成碳碳单键，原来双键的两个 C 与相邻单元相连，形成 poly(ethene)，即聚乙烯。

单体连成长链：聚乙烯的一段含多个重复单元



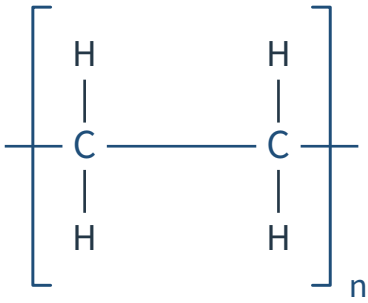
monomer是起始小分子；repeat unit是长链中按相同连接反复出现的部分。

下方只画长链中的三组重复单元，两端短线表示链继续伸长；不是完整的六碳独立分子。

一个乙烯有 2C、4H。图中三个乙烯单元贡献 6 个主链 C 和 12 个 H，原子都留在链中，并没有额外放出 H_2O。两端还有伸出去的键，说明这里只画长链的一段；不能擅自在两端各补一个 H，把它改成独立的烷烃分子。

重复单元是反复出现的一整组连接。 repeat unit 不是随便截取的一个原子，也不是整个聚合物大分子。聚乙烯的一组重复单元为—CH_2—CH_2—。写方括号时，把这一组放在括号内，两端的连接键穿过括号；括号外的 n 说明这组重复许多次。

一组重复单元加方括号和n，表示同样结构多次重复



n：重复次数

不是额外的N原子

两端键穿出括号

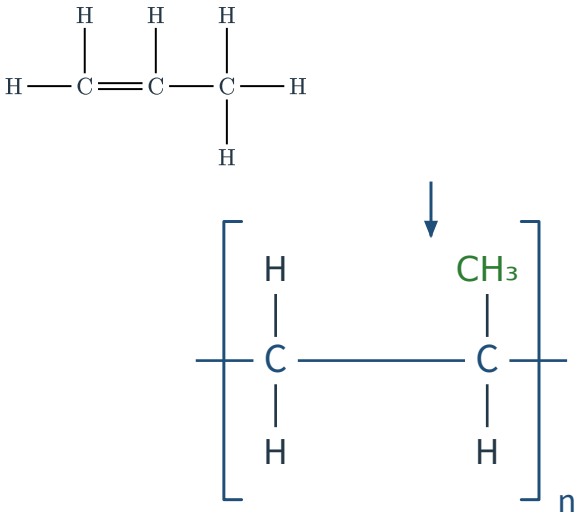
nCH_2=CH_2 → [—CH_2—CH_2—]$_n$；重复单元式C_2H_4，不能把n当作下标4。

图上所有 H 都明确画出。横向穿过括号的短线是连接下一组单元的共价键。

题目要求 one repeat unit，应画两颗相连的主链 C，每颗各连两个 H，左右各留延续键。若要求 three repeat units，就要复制三整组，主链共六颗 C。n 只表示次数，不是氮的元素符号 N；一组 C_2H_4的下标也不会因写了 n 变成 C_2H_{4n}。

把单体变成聚合物时，先抓住原 **C=C** 这两个 **C**。作图按四步：找到 C=C；把它改为 C—C；把原来接在每个双键 C 上的原子或基团原位保留；向左右加上连接下一组的键。原双键之外的碳链叫这里的侧链，不能为了画得笔直就把它塞进聚合物主链。

丙烯聚合：原来的CH_3留在原来的那个碳上



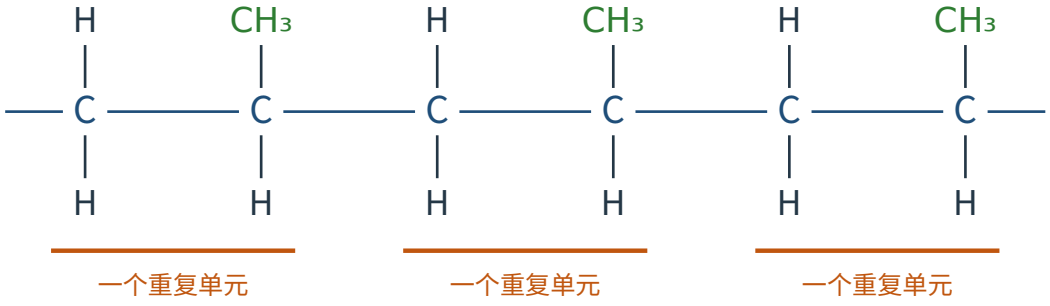
没有把第三个C插进主链；它仍作为CH_3侧链。

上方展开式画出丙烯全部原子和键，下方以 CH_3简写侧链。碳原子的连接对象保持可追踪。

丙烯 CH_2=CHCH_3的左双键 C 带两个 H，右双键 C 带一个 H 和一个 CH_3。聚合后左 C 仍带两个 H，右 C 仍带 H 和 CH_3，得到—CH_2—CH(CH_3)—。每个主链 C 与左右 C 各有一个单键，再连两个原有基团，总成键数仍为 4。产物叫 poly(propene)，聚丙烯。

多组作图要复制整个重复单元，侧链位置也一起复制。三组聚丙烯应有六个主链 C，CH_3出现在第 2、4、6 个主链 C 上，或者把整段反向画而出现在第 1、3、5 个上；两种方向表达相同连接。不能只画三颗主链 C，也不能把三个 CH_3全堆在相邻三颗 C 上。

要画三个重复单元：复制整组，不是只画三个C



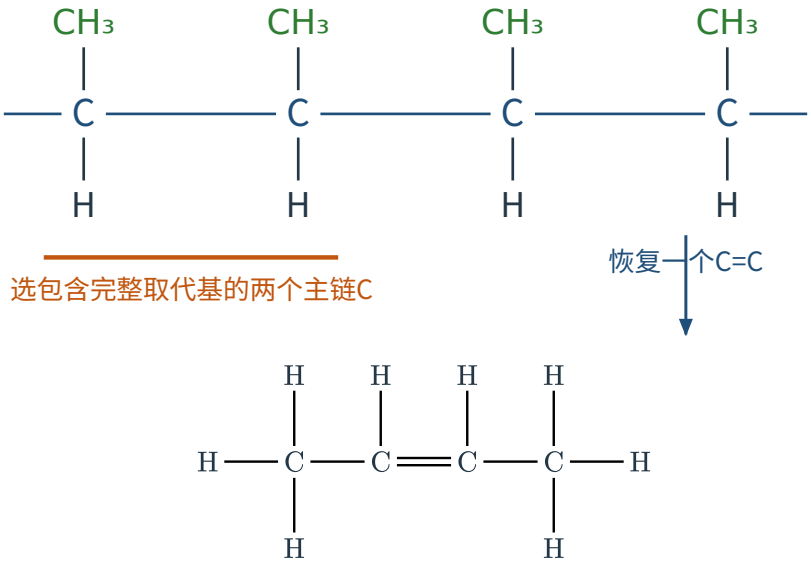
主链6个C，侧链3个CH_3，所有主链C都只有单键；两端继续。

每条橙线圈定由同一个丙烯单体贡献的两个主链 C 及其侧链。CH_3为允许的侧链简写。

从左到右逐组检查：“CH_2、CH 带 CH_3”，再重复同样一组，最后再重复一组。先检查六个主链 C 均为单键连接，再检查三个 CH_3、所有主链 H 和左右延续键。画题中允许以 CH_3简写的侧链时，CH_3整体表示一个 C 与三个 H，不能数成三个 C。

从聚合物反推单体，要把两个主链 **C** 与各自的侧基一起拿出来。选取能代表完整重复结构的两个相邻主链 C，去掉它们连接外部单元的两条延续键，再把这一对之间的单键恢复成双键。四个原有侧基保持在对应的 C 上，不因为反推就丢失。

反推单体：找完整重复结构，把那一对主链C恢复成C=C



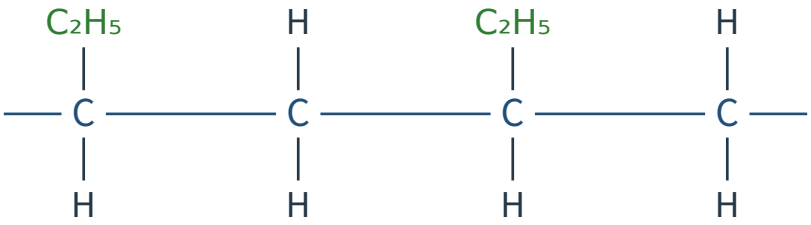
两个双键C各带一个CH_3：$CH_3CH{=}CHCH_3$，名称but-2-ene。

上方给长链片段，下方为完整单体展开式。上方的四个主链 C 不是单体必须有四个双键碳的意思。

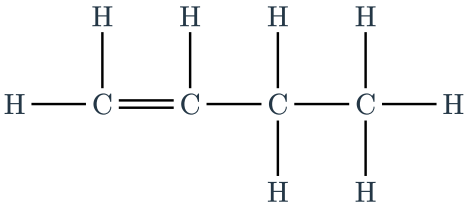
若两个主链 C 都带 H 与 CH_3，恢复后是 $CH_3CH{=}CHCH_3$。数到四个碳，名称的前缀是 but-；从任一端数双键都在 2、3 号 C 之间，所以名为 but-2-ene（丁-2-烯）。这不是丙烯：丙烯只有一侧带 CH_3，另一侧是 CH_2。原题若画出很长一段，不需要把整段全部改成一个巨大“单体”。

侧链简写必须完整展开，才能交出单体的 **displayed formula**。C_2H_5为乙基 ethyl group，结构 CH_2CH_3。若一个主链 C 带 H 与 C_2H_5，另一个带两个 H，恢复双键后是 $CH_2{=}CHCH_2CH_3$；全分子有四个碳，双键从最近一端编号为 1，叫 but-1-ene（丁-1-烯）。

反推时CH_3与C_2H_5不能混：侧链带几个碳就保留几个



C_2H_5是CH_2CH_3，共两个C；另一主链C带两个H。



完整单体$CH_2=CHCH_2CH_3$：从离双键近的一端编号，得到but-1-ene。

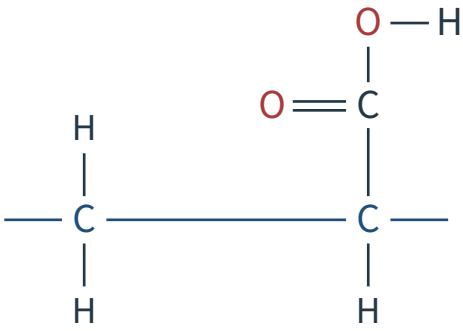
聚合物侧链可按题图以 C_2H_5简写；要求 displayed monomer 时须展开其 C 与全部 H。

先把 C_2H_5展开成 CH_2—CH_3，接在原来的双键 C 旁；再把每个 CH_2与 CH_3中的 H 逐一画出。最后应有 4C、8H，一个 C=C，其他共价键均为单键。题目要求“draw and name”时，正确结构与 but-1-ene 名称都要交出，只写其中之一不完整。

含其他官能团的分子，发生这一步加成聚合时也保留原有基团。 例如 $CH_2=CHCOOH$ 同时有 C=C 与 COOH，含 O，因此不是只含 C、H 的烃。题目若指定 addition polymerisation，要处理 C=C，得到—CH_2—CH(COOH)—；羧基仍连接在原来的 C 上，不在这一步被删掉或用于失水。

分子同时有C=C与COOH时，加成聚合仍只处理C=C

单体：$CH_2=CHCOOH$



重复单元：—CH_2—CH(COOH)—

COOH没有被删掉；本次反应也没有把它当作成水的缩聚官能团。

C：3；H：4；O：2，均与这一单体相同。图中两端键继续接长链。

图中含 C=C 的羧酸同时具有两种可辨认的结构。羧基的全部原子和键均已画出；它含有氧，因此不是烃。

图中右主链 C 仍带一个 H 和一个 COOH；左主链 C 带两个 H。数全部原子，一组仍为 3C、4H、2O，与单体相同。遇到原题中两个 COOH 和一个 CH_3的更复杂分子，同样先把四个侧基分别记在原双键两端，再复制到新的 C—C 上；不需要重新发明一套作图方法。

加成聚合的 C=C 变成_____，单体的全部原子_____。一组丙烯重复单元有_____个主链 C；三组有_____个主链 C 及_____个 CH_3。反推单体时，原来侧链中的 C_2H_5必须展开为_____，再画全 H 与键。

答案：C—C；全部保留；2；6；3；CH_2CH_3

怎么认 正向只把 C=C 改成 C—C，四个侧基原位保留，两端留延续键；重复几组就复制几整组。逆向取两个代表性主链 C，恢复 C=C，再展开 CH_3/C_2H_5并按双键位置命名。

例题 1 （2024·October/November 0620/42 Q5(d)(ii)） · 3 级

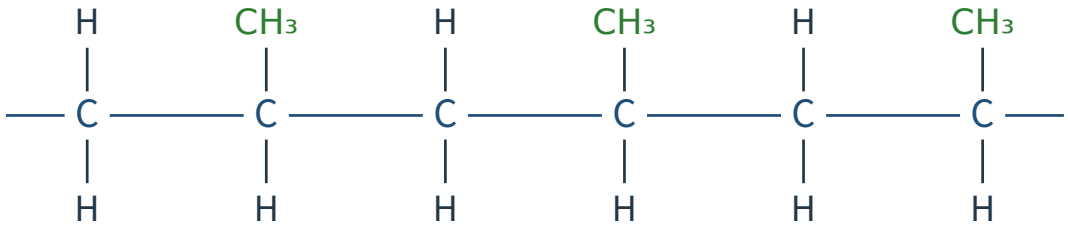
(d) Propene will undergo polymerisation.

(ii) Draw part of this polymer molecule to show **three** repeat units.

解：原单体是 propene，先写 CH_2=$CHCH_3$。双键的左 C 带两个 H，右 C 带一个 H 和一个 CH_3；聚合只把这两个 C 之间的双键改成单键，并把它们接入主链。

一组重复单元是—CH_2—$CH(CH_3)$—。题目要 three repeat units，因此把这一整组复制三次，得到六个连续的主链 C，每隔一个主链 C 保留一个 CH_3：

三组丙烯重复单元：六个主链C、三个CH₃侧链



—CH₂—CH(CH₃)— 重复3次，两端保留延续键。

对应 w24/42/5(d)(ii)；主链均为单键，侧链以原题评分允许的 CH_3简写，所有主链 H 明确画出。

按图逐项核对：六个主链 C 全部以单键连接；CH_3共三个、间隔位置正确；各 C 的 H 及两端延续键齐全。官方三点正对应这三个检查。CH_3可以按图简写，不能把主链的 H 省掉，也不能在两端封上 H 而取消链的继续。

例题 2 （2024·May/June 0620/41 Q7(b)） · 3 级

(b) Fig. 7.1 shows a section of polymer **Q**.

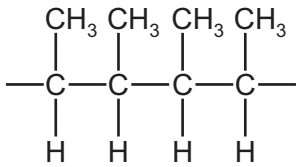


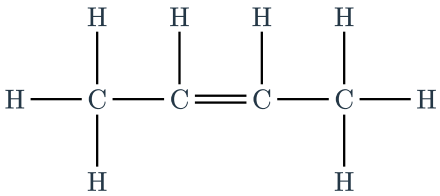
Fig. 7.1

- Draw the displayed formula of the monomer that forms polymer **Q**.
- Name the monomer used to form polymer **Q**.

解：读 Fig.7.1：每一个主链 C 都带一个 CH_3和一个 H。因此取两个相邻主链 C 作为一组时，两边的侧基分别都是“CH_3与 H”。

去掉这一组通向外面的两条链键，再把组内 C—C 恢复为 C=C，得到 $CH_3CH=CHCH_3$。把两个 CH_3 展开为全部 C—H 键，完整单体为：

丁-2-烯：两个双键C各接一个CH₃



$CH_3CH=CHCH_3$；but-2-ene

完整展开式画出四个 C、八个 H 及每一条键；旋转整幅图不会改变连接关系。

分子共 4C，双键在 2 号与 3 号 C 之间，所以名称为 **but-2-ene**，丁-2-烯。原题同时要求作图与名称，两者都必须作答。

官方先看 C=C 且两颗 C 均满足四条键，再看正确完整丁-2-烯展开式，最后看 but-2-ene 名称；两种允许的空间排布都可，重点是正确连接。本题不能答 propene，因为原聚合物的每颗主链 C 都有 CH_3，而聚丙烯是隔一颗才有 CH_3。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q1(j)） · 1 级

A list of substances is shown.

bauxite **calcium oxide** **ethanol** **graphite** **methane**

nitrogen **oxygen** **propane** **propene** **sulfur dioxide**

Answer the questions using the list of substances.

Each substance may be used once, more than once, or not at all.

State which of the substances:

(j) is a monomer in addition polymerisation.

2. （2024·February/March 0620/42 Q5(e)(ii)） · 3 级

(e) But-1-ene undergoes polymerisation.

(ii) Draw part of the polymer molecule to show **three** repeat units.

3. （2025·May/June 0620/42 Q6(e)(iii)） · 3 级

(e) Compound **B** has the displayed formula shown in Fig. 6.1.

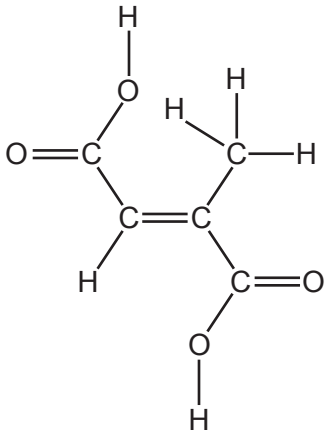


Fig. 6.1

(iii) Draw the structure of **one** repeat unit of the polymer formed when compound **B** undergoes addition polymerisation.

4. （2024·May/June 0620/43 Q7(b)(ii)） · 3 级

(b) Fig. 7.1 shows a section of a polymer formed from an alkene.

(ii) A section of a polymer is shown in Fig. 7.1.

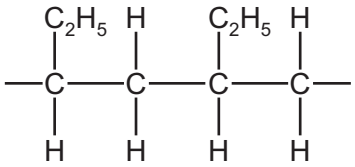


Fig. 7.1

- Draw the displayed formula of the monomer that forms this polymer.
- Name the monomer used to form this polymer.

5. （2025·October/November 0620/43 Q6(d)(iv)） · 3 级

(d) Fig. 6.1 shows part of a polymer structure.

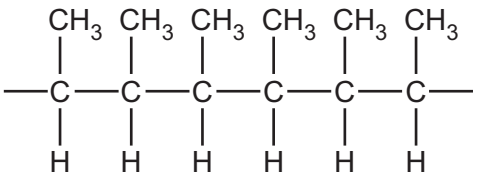


Fig. 6.1

(iv) Draw the displayed formula of the monomer used to make this polymer.

题型 2：画聚酯和聚酰胺，再恢复单体与氨基酸结构

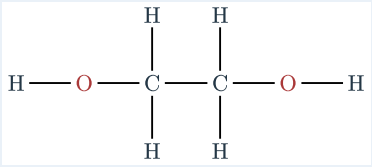
知识点 先找到两个能继续连接的端部。上一类加成聚合使用 C=C；这一类 condensation polymerisation（缩聚）通过官能团相互连接，形成大分子的同时还产生水等小分子。要能从两端反复接长，一个单体需要两个合适的官能团，而不只是某一端能反应一次。

diol 是二元醇，含两个醇类 OH；dicarboxylic acid 是二元羧酸，含两个 COOH；diamine 是二元胺，含两个 NH_2。NH_2叫 amino group（氨基），一个 N 连两个 H，并通过第三条键连到碳骨架。di-表示“两个”，不表示整个分子只有两个 C。

要从两端连成长链，单体必须有两个合适的连接部位

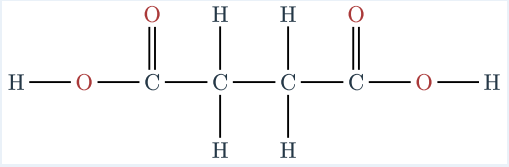
二元醇 diol

两个醇类OH



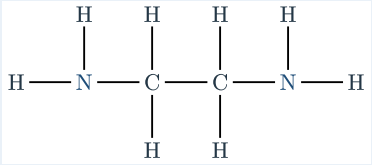
二元羧酸 dicarboxylic acid

两个COOH



二元胺 diamine

两个NH_2



左侧 di-表示两个官能团；右侧展开式明确画出每一端的原子与键。这些是具体分子示范，不要求将它们当作所有聚合物唯一原料。

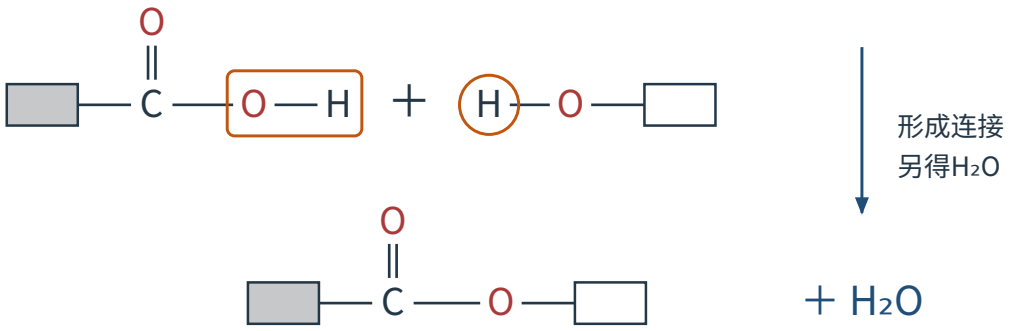
$HOCH_2CH_2OH$ 两端都是 OH，可以从两边参与连接；$HOOCCH_2CH_2COOH$ 两端都是 COOH，也有两个反应部位。相比之下，CH_3OH 只有一个 OH，不能单靠这种两端接续方式形成同样的长链。观察时先数官能团，不把 COOH 内的 OH 另算成醇类官能团。

酯连接怎样形成，先放大一次连接来看。一个 COOH 中的 C=O 保留，酸侧 OH 与醇侧 OH 上的 H 合起来形成 H_2O，留下酸侧 C 与醇侧 O 连接，得到 C(=O)—O。这是总体结构和原子收支的画法，帮助我们准确构造产物，不要求先记反应机理。

图中的色块表示这一分子其余的碳骨架，只是把内部原子暂时省略；它不是一个新增元素。不同题目对色块的定义可以不同，每次先读原图，保持同一块代表的骨架前后一致。

形成一个酯连接：酸提供OH，醇提供H，合成一份水

只放大两种分子在一次连接处的官能团



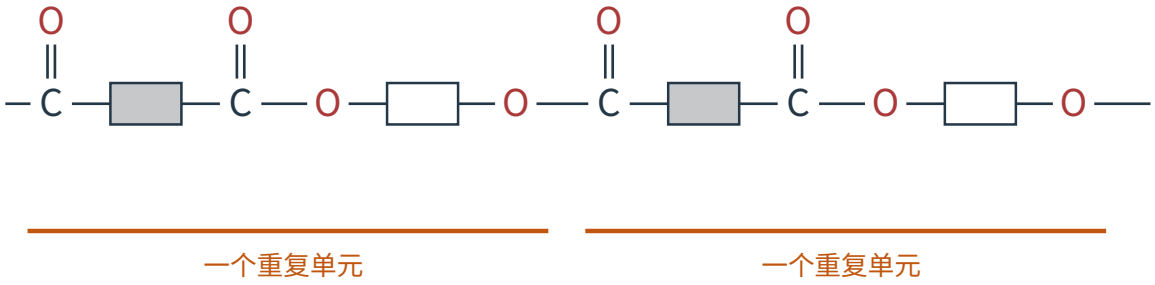
产物连接为—C(=O)—O—；保留的O连接醇侧碳骨架。

色块代表分子其余碳骨架，内部结构在此省略。橙框与橙圈用于总体原子核对，不表示反应必须按某个详细机理一步发生。

酸侧原有两个 O：一个在 C=O 中保留，一个随 OH 进入水。醇侧的 O 留下，在产物中连酸侧 C 和醇侧骨架，仍有两条键。因此不能把两个 O 都删掉，也不能把酸侧 C 直接接到醇侧碳链而漏画中间的 O。

二元酸与二元醇不断连接，形成聚酯。polyester 是聚酯，因为链中反复有酯连接 C(=O)—O。一个重复单元包含一份酸侧残基与一份醇侧残基；“残基”是单体失去成水部分后留在链中的部分。要求两个重复单元时，要画两份酸侧块与两份醇侧块，依原连接交替排列。

二元酸＋二元醇：不断形成酯连接，得到聚酯



灰块：酸侧碳骨架；白块：醇侧碳骨架。两个重复单元共四个色块。

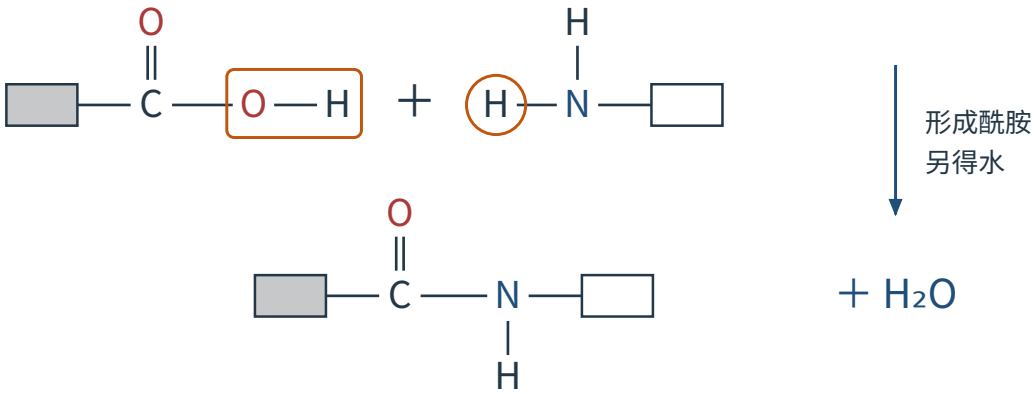
每个C=O必须保留；每个单键O连接两侧；最外端的键继续。

图示两组完整重复单元，所有酯连接中的原子和键都画出；块内部碳骨架依题意省略。

沿图从左读：C(=O)—酸侧块—C(=O)—O—醇侧块—O，这是一组；把整组再画一遍，得到两组。相邻组由 O 接下一组 C(=O)，形成同一种酯连接。最后检查每个 C=O、每个单键 O 与两端延续键；不能只画四个方框后把所有连接都简写成一条线。

酰胺连接与酯连接的差别，在于 **C=O 旁接 N**。amide linkage 是酰胺连接，本节写作 C(=O)—NH。二元酸的一端 COOH 与二元胺的一端 NH_2连接，酸的 OH 和胺的一个 H 组成水；N 仍保留另一个 H，并连接两侧结构，共三条共价键。

形成一个酰胺连接：酸的OH与胺的一个H形成水



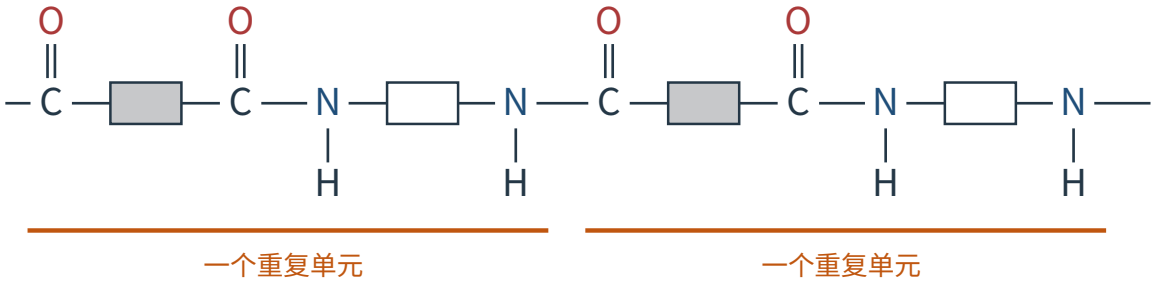
连接为—C(=O)—NH—；N仍保留一个H，不是把两个H都删掉。

色块是其余碳骨架。图只追踪一次连接的总体原子收支；C=O 保留，N 参加连接后仍有三条共价键。

先保留酸的 C=O，再把这个 C 与原 NH_2的 N 连起来。此时 N 连酸侧 C、原碳骨架和一个 H，恰好三条键。若把 NH_2两个 H 都保留，再增加 C—N 键，就会在本题中多画一条普通共价键；若将 NH 都换成 O，又变成了聚酯的结构。

二元酸与二元胺形成聚酰胺，尼龙是典型例子。polyamide 是聚酰胺，nylon 是尼龙。它的主链反复出现酰胺连接；作图过程与聚酯类似，但用带一个 H 的 N 连接胺侧碳骨架，不能把聚酯图的 O 原封不动抄来。

尼龙nylon：二元酸与二元胺形成的聚酰胺



每个N连左右两个部分及一个H，共三条键；每个酰胺C仍有C=O。

图示两个重复单元；灰块为酸侧骨架，白块为胺侧骨架。

尼龙示意按课程用块表示内部碳链；所有酰胺连接、两个重复单元和两端延续键完整。

按“C(=O)—酸侧块—C(=O)—NH—胺侧块—NH”画一组，再完整复制一组，图上应有四个骨架块、四个带 H 的 N、四个 C=O 及两端延续键。每条连接的方向顺着同一条链检查，不在中途把其中一组随意翻转而造成 C 接 C 或 N 接 N 的错误连接。

加成与缩聚都得到长链，区别在形成方式。加成聚合中，本节单体 C=C 变成 C—C，全部原子进入聚合物，不额外失去水。这里所学缩聚则用两端官能团连接，每新形成相应连接会产生水。只说“形成大分子”不能区分两者，要补出结构变化或小分子副产物。

加成与缩聚：看单体怎样连接，以及有没有小分子副产物

	加成聚合	缩聚
单体的关键结构	本节先找C=C	本节用COOH、OH或NH_2两端
形成主链时	C=C转成C—C，原子保留	官能团相连，脱去水等小分子
典型聚合物	poly(ethene)，聚乙烯	polyester聚酯、polyamide聚酰胺

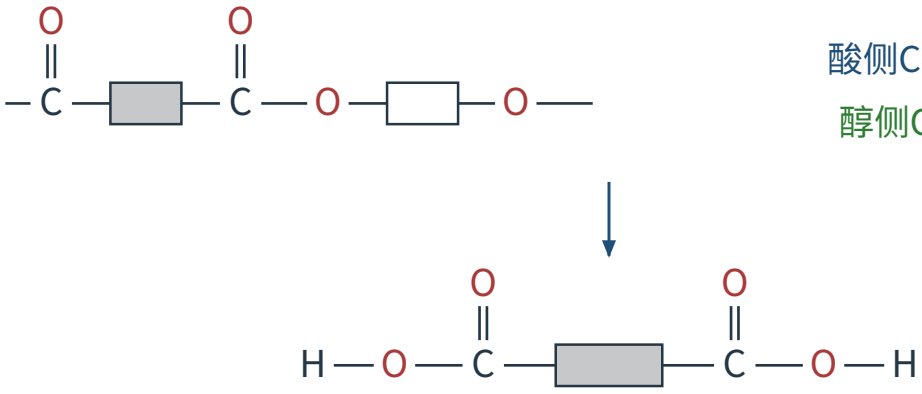
长链或large molecule本身不能区分两类；要读连接的形成方式。

比较限于本课程所学的加成与缩聚例子。缩聚小分子在这里是水，不把所有聚合都写成失水。

乙烯形成聚乙烯，写 addition polymerisation；二元酸与二元醇形成聚酯，写 condensation polymerisation。判断依据是前者处理 C=C，后者由 COOH 与 OH 相连并产生水。不能因聚酯也是由单体组成，就一概答 addition。

从聚酯反推单体，先断 **C(=O)—O** 这一连接。 酸侧的 C 补回 OH，恢复 COOH；醇侧 O 补回 H，恢复 OH。两端都要这样恢复，才能得到完整的二元羧酸与二元醇。只在中间最显眼的位置补一次，会留下另一端错误地缺 H 或缺 OH。

从聚酯反推两种单体：在每个C(=O)—O之间断开



恢复二元羧酸：两端都是完整COOH



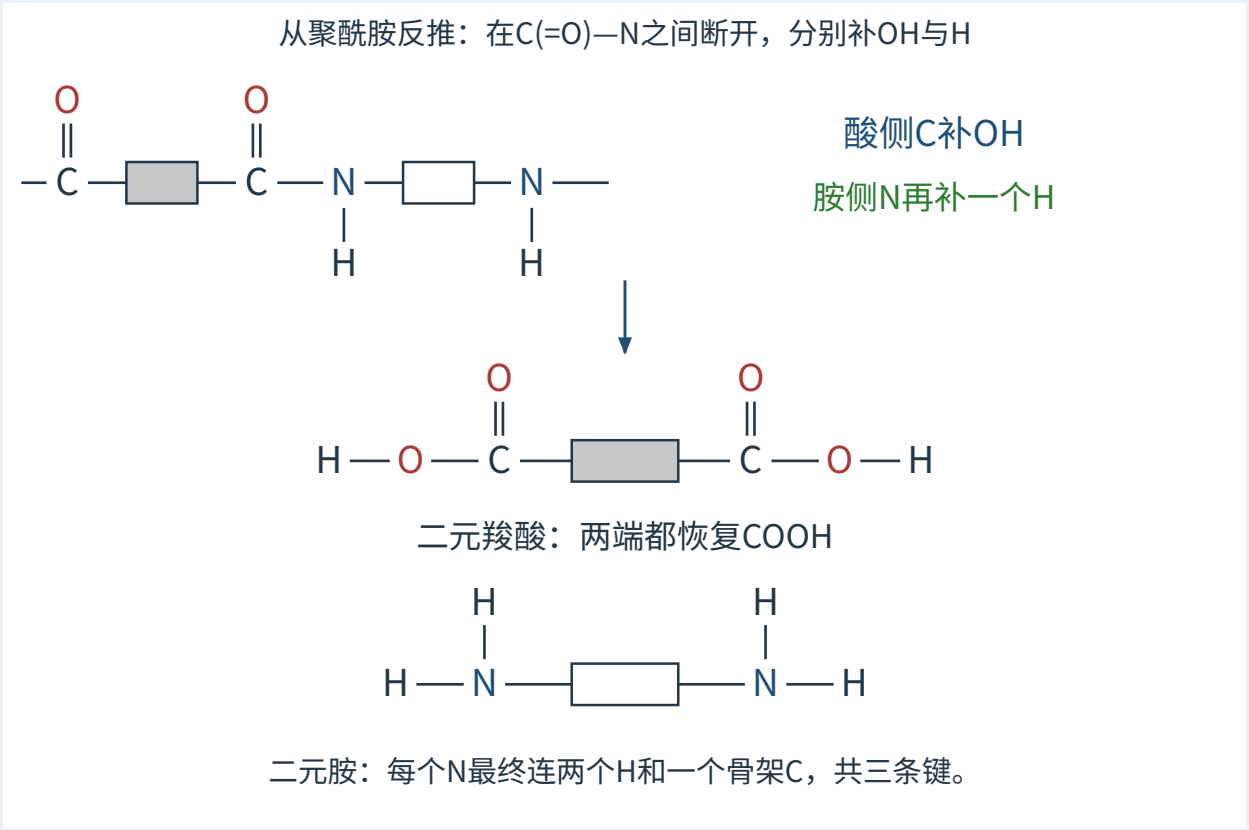
恢复二元醇：两端都是O—H

每一种单体的两端都要补，不能只补刚好画在中间的一处。

上方只画一组聚酯链片段；下方两个完整单体均还原出两端官能团。颜色用于追踪本图的骨架身份。

看到—C(=O)—灰块—C(=O)—O—白块—O—，把酸侧恢复为 HOOC—灰块—COOH，醇侧恢复为 HO—白块—OH。各块内部碳链完全保留。这里的断开是答题时进行的结构反推，若题目未要求实验条件，就不必自行添加温度或试剂。

聚酰胺反推同理，但胺侧补成 **NH_2**。在 C(=O)—N 之间断开，酸侧 C 补 OH；N 原来已带一个 H，再补一个 H 恢复 NH_2。读出二元酸和二元胺后，把各自两端的官能团都展开，尤其不要省去 N 上的两个 H 或酸的 C=O。

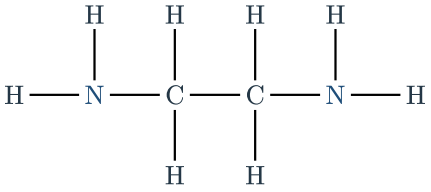


酰胺中的 N 原来已有一个 H，恢复单体只需再补一个 H；C=O 中的 O 始终保留。

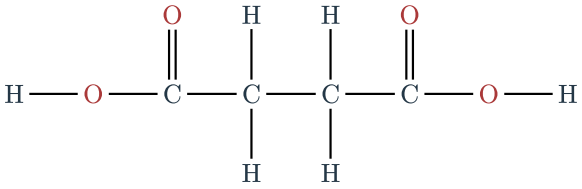
灰块若连接两个 C=O，就属于酸侧，恢复 HOOC—灰块—COOH；白块若连接两个 NH，就属于胺侧，恢复 H_2N—白块—NH_2。两种骨架不能因画在左右位置不同而交换。对于“Complete Fig.”，直接在原来方框两端补正确官能团，保持题给方框的位置与身份。

骨架长度也必须原样保留。单体的官能团正确还不够，题目可能用不同碳数的二元酸与二元胺作干扰。数酸侧时，两个 COOH 中的 C 都是原来存在的碳，要计入；数胺侧时，只数那一段两颗 N 之间的碳，不能把另一段的 C 顺便加进来。

恢复两种单体后，还要分别数原来的两段碳链



示范二元胺：$H_2NCH_2CH_2NH_2$，两颗N之间只有2个C。



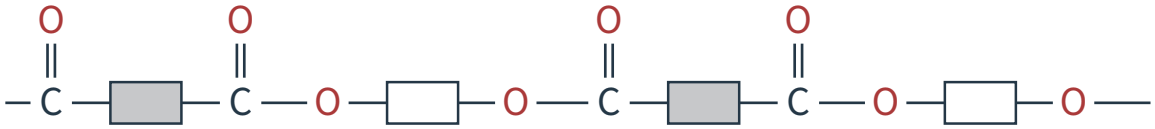
示范二元酸：$HOOCCH_2CH_2COOH$，两端羧基C也计入，共4个C。

展开式便于逐 C 数清两种单体；羧基的 C 既是官能团的一部分，也是真实碳原子。

$H_2NCH_2CH_2NH_2$两颗 N 之间有 2C。$HOOCCH_2CH_2COOH$ 中间有 2C，但连同两端羧基 C，总共 4C。若把中间的 CH_2CH_2误换成一个 CH_2，两个 COOH 虽仍画对，单体也不再对应原聚合物；仅比较全链总碳数不能排除把两段长度交换的错误。

PET 需要会认，也需要会画连接。PET 是聚酯，含二元酸与二元醇贡献的两种骨架，链中反复出现 C(=O)—O。课程示意用色块省略内部结构时，可以沿用这种表示，但所有连接处的 C、O、C=O 双键、C—O 单键与延续键必须齐全；不能只写“PET”三个字代替作图。

PET是聚酯：画出酯连接，并保留两类骨架的交替



灰块：PET二元酸的内部骨架；白块：二元醇的内部骨架。

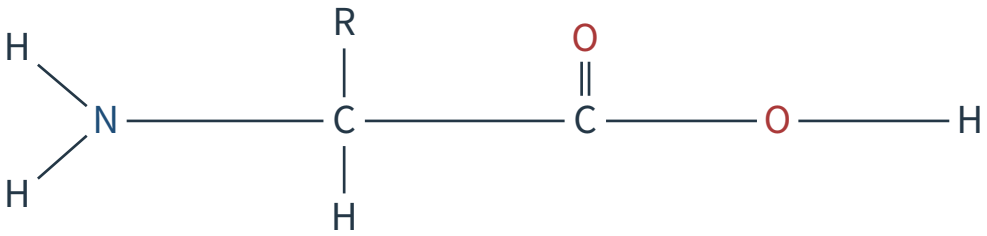
这里只省略块内部结构；连接处的每个C、O和每一条单键、双键都保留。

按课程给出的 PET 块状示意表示两个重复单元；PET full name 不属于必须记忆项。

题目问 name the two types of monomer molecules，答 **dicarboxylic acids** 与 **diols**。只写 acid 与 alcohol 会遗漏本题要求的双官能团条件。若问画两个重复单元，就按图画两个酸侧块、两个醇侧块与所有酯连接。不同题目若反过来用白块表示酸侧，按那道题的定义绘制即可，颜色不是官能团的固定属性。

氨基酸把 **NH_2** 与 **COOH** 放在同一个分子上。本课程的 amino acid（氨基酸）一般结构为 $H_2N—CH(R)—COOH$。中心 C 分别连 NH_2、COOH、H 和 R，共四条键。R 表示可以变化的侧链；它可能是 H，也可能是含碳的其他结构，不是一个新的元素符号。

氨基酸amino acid：同一个中心C连NH_2、COOH、H与R



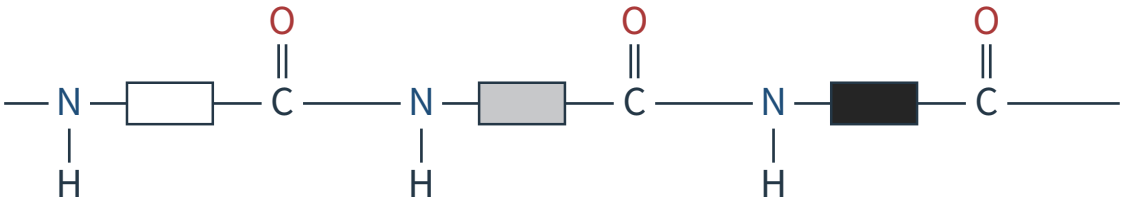
R表示不同侧链，是“这一段因氨基酸种类而变”的记号，不是元素符号。

NH_2、COOH 均展开为全部原子与键。R 仅代表未展开的侧链；图示连接关系，不表示实际三维键角。

原图给中心 C、上方 R、下方 H 以及左右短键，要补全两端：一侧补 N 与两个 H；另一侧补 C=O 及 O—H。NH_2和 COOH 可在左右互换，只要都连接这个同一个中心 C、每个原子的键数正确。不能把 COOH 中的 C 漏掉，也不能把 NH_2写成带 O 的基团。

蛋白质是由氨基酸形成的天然聚酰胺。 proteins 是蛋白质，natural polyamides 是天然聚酰胺。一个氨基酸的 COOH 与另一个的 NH_2形成酰胺连接并产生水；原来的中心 C 与侧链留在链内。不同氨基酸的 R 不同，可用不同色块代表，但连接的 C(=O)—NH 形式相同。

氨基酸连接成蛋白质：每个单体一端NH_2，一端COOH



原氨基酸A　　原氨基酸B　　原氨基酸C

连接处是C(=O)—NH，属于酰胺；不同色块保留不同氨基酸的内部结构。

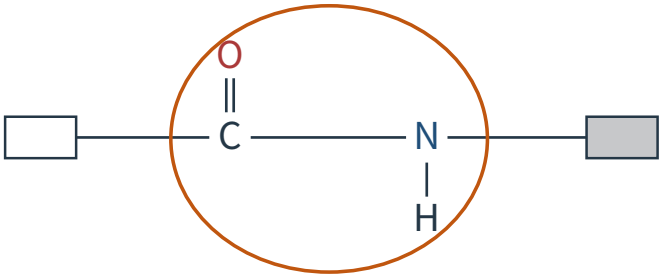
图只示长链的一段；两端延续键保留，不能给它封成三个独立分子。

三个不同色块代表三种氨基酸的中心 C 与侧链部分；颜色不表示元素。所有酰胺连接与继续成链的键都画出。

给 A、B、C 三种氨基酸并指定三个方框位置，就按原顺序依次保留 A 白块、B 灰块、C 黑块。每块前面接 NH，后面接 C=O，再把这一块后的羧基 C 与下一块前的 N 相连。三个 N 各带一个 H，各个 C=O 保留，两端继续接长链。字母 A、B、C 只标识三种氨基酸，实际答案仍采用原色块。尼龙也有酰胺连接，但它不是由氨基酸构成的本节蛋白质。

要求圈出一个酰胺连接时，圈出一次完整连接。找到 C=O 旁边直接相连的 N，并包括这个 N 上的 H，标出 C(=O)—NH 这一段。不要只圈 O，不要圈下一个色块，也不要把两个不同连接一起包在一个大圈中。

圈酰胺连接：圈出C=O旁的N及其H，不只圈一个O



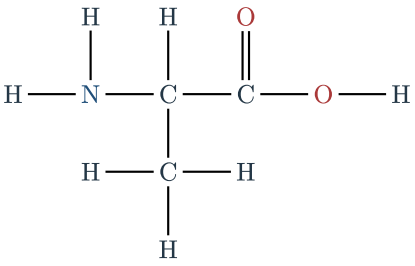
C(=O)—NH为酰胺连接；C(=O)—O则为酯连接，末端原子不同。

橙圈只标一次酰胺连接，保留相邻的两个骨架块作为定位参照。

在含多个酰胺连接的链中，可以任选其中一处圈出。若 C=O 旁连的是 O，则那是酯连接，不符合 amide。原图画法可能上、下交替，沿真正的 C—N 键定位，不能只机械地找同一方向或同一高度的字母。

给总碳数的氨基酸补图，先把必须的碳分配好。中心 CH 本身有一个 C；COOH 又有一个 C。若全分子共三个碳，剩下一个 C 属于侧链，应以 CH_3连接在中心 C 上。再补 NH_2、COOH 及全部 H，逐原子检查键数。

给总碳数为3的氨基酸：先给中心C与羧基C各留一个



中心C：1；COOH中的C：1；剩余侧链CH_3中的C：1。

三个C、七个H、一个N、两个O；NH_2与COOH接在同一个中心C上。

这是 2-aminopropanoic acid（2-氨基丙酸）的展开式，可据此核对补全后的原子与键；不能把 R 一律看成单个碳。

两个必需 C 先占去 2 个，3−2＝1，所以 R 取 CH_3。中心 C 已经连 H、CH_3、NH_2和 COOH，不能再补第五条键；CH_3自己的三个 H 则必须画出。若把侧链错画为 CH_2CH_3，整个分子会有四个碳，虽仍有两个正确官能团，也不满足总碳数条件。

二元酸与二元醇形成_____，连接为_____；二元酸与二元胺形成_____，连接为_____。两种反应都属于_____并产生_____。蛋白质的单体叫_____，在一般结构中 R 代表_____。反推胺单体时，每个 N 最终带_____个 H。

答案：聚酯 polyester；C(=O)—O；聚酰胺 polyamide；C(=O)—NH；缩聚 condensation polymerisation；水 H_2O；氨基酸 amino acids；不同侧链；2

怎么认 先查端基是 COOH＋OH、COOH＋NH_2，还是同一氨基酸两端；按对应酯或酰胺连接画全原子、键与重复数。反推时在 C(=O)—O 或 C(=O)—N 处分开，酸补 OH，醇 O 或胺 N 补 H，保留每段原碳骨架。

例题 1 (2025·October/November 0620/41 Q5(e)) · 3 级

(e) Butane-1,4-diol can be represented as shown.



Butanedioic acid can be represented as shown.



Butane-1,4-diol reacts with butanedioic acid to form a polymer.

(i) Draw **two** repeat units of the polymer formed from the reaction of butane-1,4-diol with butanedioic acid.

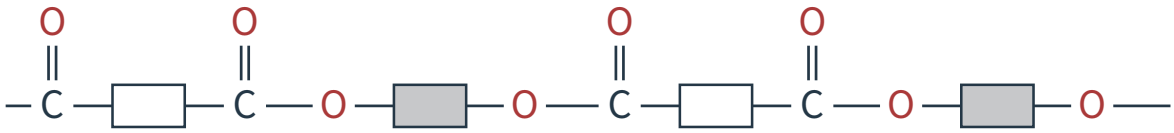
Show all the atoms and all the bonds in the ester linkages.

(ii) State the type of polymerisation when butane-1,4-diol reacts with butanedioic acid.

解：(i) 先读这道题自己给的块：butane-1,4-diol 的骨架用灰块表示，两端 OH；butanedioic acid 的骨架用白块表示，两端 COOH。沿用本题定义，不能把颜色与其他示范图机械地固定对应。

形成酯连接时，酸侧 C=O 保留，酸的 OH 与醇的 H 形成水，剩下 C(=O)—O 相连。一个重复单元需要一个酸侧白块和一个醇侧灰块；题目要求 two repeat units，因此完整画两组：

两组聚酯重复单元：保留本题白酸、灰醇的块身份



白块来自butanedioic acid；灰块来自butane-1,4-diol。

两个酸残基＋两个醇残基；连接处全部C=O、C—O及两端延续键齐全。

对应 w25/41/5(e)(i)，依原题的块身份绘制；原题白块为酸、灰块为醇。两组重复单元的全部酯连接完整。

数结构：两白块、两灰块交替；各酸侧块两端的 C=O 都在，醇侧块两端经 O 相连；最左与最右都有延续键。题目明确要求酯连接中的 all atoms and all bonds，因此每个 C、两个对应 O 以及 C=O 双键都要画出。

官方三个作图点分别看：至少一处正确的完整酯连接；四块之间三处连接均正确且方向一致；完整两组重复单元及端部延续键。评分示意的块阴影只是骨架标记，本答案按 QP 原题白酸、灰醇的身份保留。

(ii) 反应由二元醇与二元酸的官能团相连并产生水，因此为 **condensation polymerisation**（缩聚），不是加成聚合。

例题 2 （2024·October/November 0620/42 Q6(a)(ii)） · 3 级

(a) Part of the structure of a polyamide is shown in Fig. 6.1.

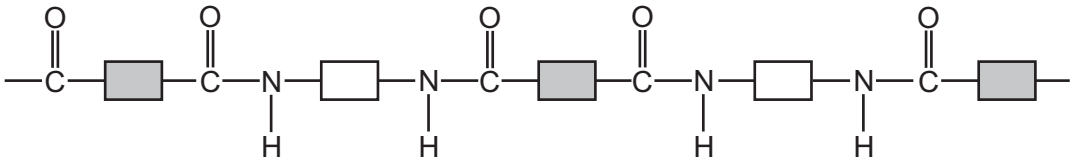


Fig. 6.1

(ii) Complete Fig. 6.2 to show the structures of the **two** monomers needed to make the polymer in Fig. 6.1.
Show all of the atoms and all of the bonds in the functional groups.



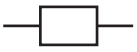
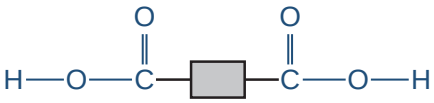


Fig. 6.2

解：观察 Fig.6.1，灰块的两端接 C=O，说明它来自二元羧酸；白块的两端接 NH，说明它来自二元胺。在每个 C(=O)—N 之间拆开，灰块一侧的两个羧基 C 都补 OH，恢复两端 COOH；白块一侧的 N 原来已带一个 H，各再补一个 H，恢复两端 NH_2。原 Fig.6.2 完整补图如下：



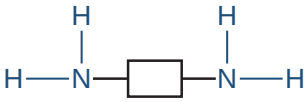


Fig. 6.2

原 Fig.6.2 灰白方框及短键原位保留，蓝色补出灰块两端 COOH、白块两端 NH_2。

逐端检查，酸有两个 C=O 和两个 O—H，胺有两个 N、每个 N 各带两个 H。官方两点分别给“灰块两端完整 COOH”和“白块两端完整 NH_2”。不能只写 COOH 或 NH_2缩写，因为题目要求官能团内所有原子与键；不能交换两块的来源。

例题 3 （2025·October/November 0620/43 Q6(e)） · 3 级

(e) Fig. 6.2 shows part of the general structure of an amino acid.

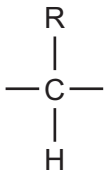


Fig. 6.2

(i) Complete Fig. 6.2 to show all the atoms and all the bonds in the two functional groups of the amino acid.

(ii) Part of a natural polyamide structure is shown in Fig. 6.3.

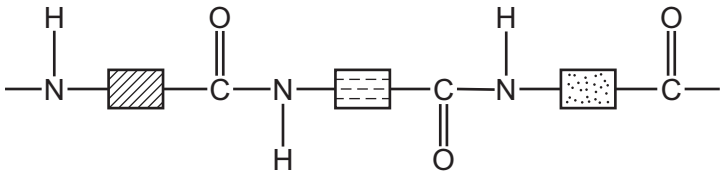


Fig. 6.3

On Fig. 6.3, draw a circle around **one** amide linkage.

(iii) State the name given to natural polyamides made from amino acids.

解：(i) 原图中心 C 已连上方 R 与下方 H，另外两条短键需要连接 NH_2与 COOH。左侧补一个 N 及两个 H，右侧补一个 C=O 与 O—H，得到完整氨基酸的一般结构：

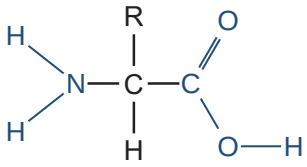


Fig. 6.2

原中心 C、R、H 与四条起始键均保留；蓝色在左右补上完整 NH_2和 COOH。

N 共有三条键；羧基 C 与中心 C 相连，再连一个双键 O 和一个单键 O；单键 O 再连 H。官方两点分别看完整 NH_2和完整 COOH，两个官能团在左右互换也可，只要连接正确。

(ii) 酰胺连接是 C(=O)—NH。沿原图找到一颗羰基 C 直接连下一颗 N 的位置，圈出这一处及对应 O、H：

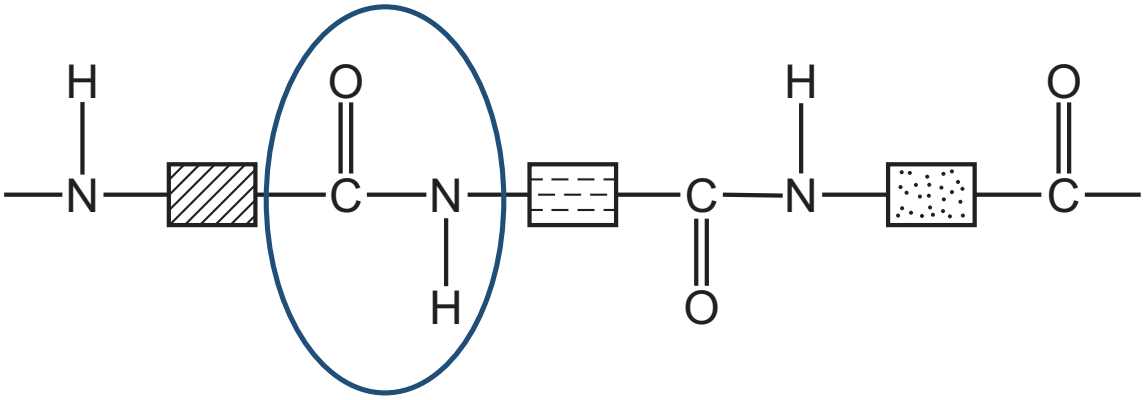


Fig. 6.3

原 Fig.6.3 保留，蓝圈只标出其中一个 C(=O)—NH 酰胺连接，包含对应 O 与 H。

官方允许任选图中一处酰胺连接。不能只圈一个 O 或把整块氨基酸骨架当作酰胺连接。

(iii) 由氨基酸形成的这类天然聚酰胺叫 **proteins**（蛋白质）。写 proteins，而不是 nylon；两者虽都有酰胺连接，单体来源和这里的 natural 条件不同。

例题 4　(2024·October/November 0620/41 Q6(d))　· 3 级

(d) Three different amino acids are represented as shown in Fig. 6.3.

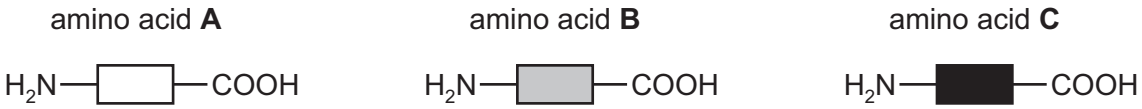


Fig. 6.3

Complete the diagram in Fig. 6.4 to show the part of the structure of the natural polyamide that forms when the three amino acids, **A**, **B** and **C**, combine.
Show all of the atoms and all of the bonds in the linkages.



Fig. 6.4

解：原图依次给 A 白块、B 灰块、C 黑块，每一种氨基酸左端 NH_2、右端 COOH。连接时保留三个原块与顺序，右边 COOH 的 C 与下一分子左边 NH_2的 N 形成 C(=O)—NH 连接，并产生水。

在原 Fig.6.4 上，每块左边补 NH，每块右边补 C=O；让前一块右边的 C 与下一块左边的 N 相连，得到：

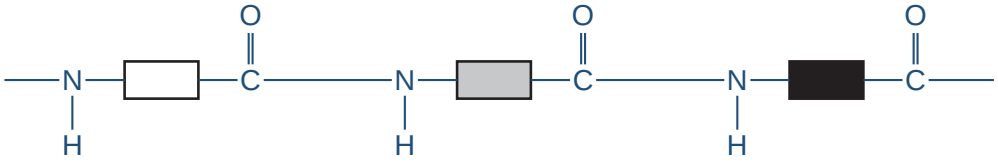


Fig. 6.4

原 Fig.6.4 的 A 白块、B 灰块、C 黑块顺序与位置全部保留；蓝色补出各连接与端部延续键。

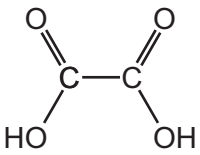
检查 A—B 与 B—C 两个内部连接，均为 C(=O)—NH 且方向一致。每个 N 留一个 H，每个 C 保留双键 O；最左端 NH 和最右端 C=O 按同一方向接入后续链，留出延续键。

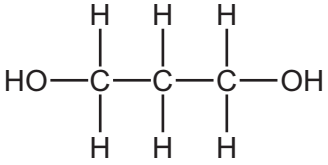
官方三点分别是完整的酰胺连接、各连接及端部方向一致、聚合物延续键。题目要的是长链的一段，不是在两端补 NH_2和 COOH 封成一个孤立三肽。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/21 Q37） · 3 级

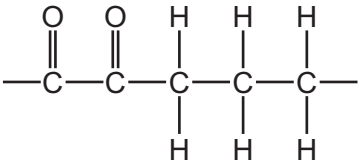
The structures of two monomers that are used to make a condensation polymer are shown.



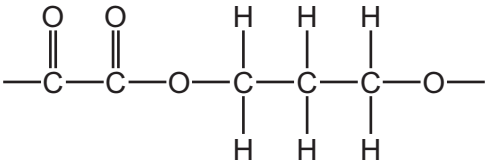


Which structure represents one repeat unit of the condensation polymer formed?

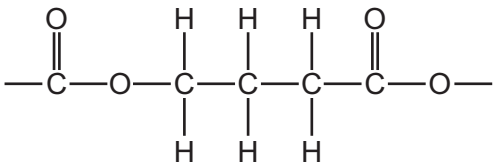
A



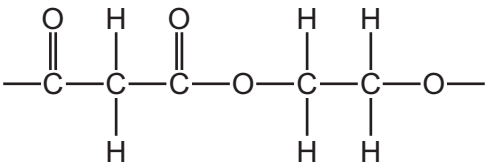
B



C

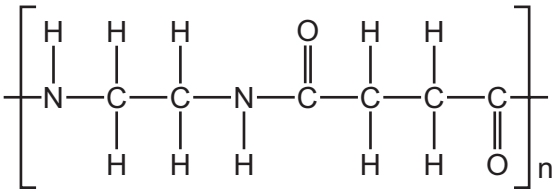


D

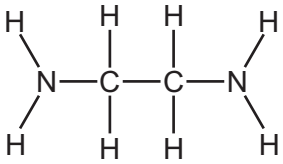
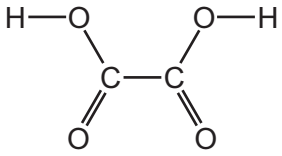
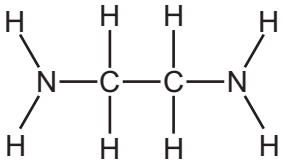
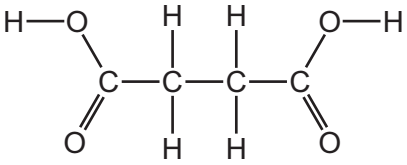
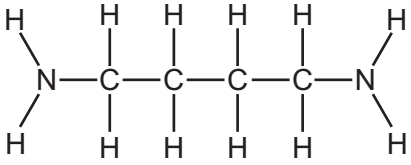
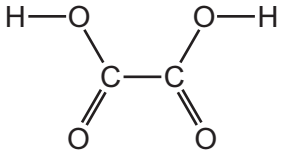
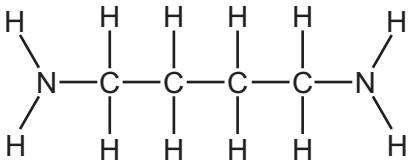
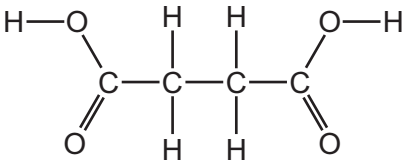


2. （2025·May/June 0620/22 Q37） · 3 级

The structure of a polymer repeat unit is shown.



Which pair of monomers is used to make this polymer?

	monomer 1	monomer 2
A		
B		
C		
D		

3. （2024·October/November 0620/42 Q6(b)） · 3 级

(b) PET is a polyester.

(i) Name the **two** types of monomer molecules needed to make polyesters.

(ii) Draw part of the structure of PET which shows **two** repeat units.

Show all of the atoms and all of the bonds in the linkages.

4. （2024·October/November 0620/42 Q6(a)(vi)） · 3 级

(vi) One of the monomers which forms part of a natural polyamide has **three** carbon atoms.

Complete Fig. 6.3 to show the displayed formula of this monomer.

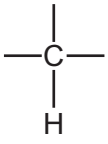


Fig. 6.3

5. （2023·October/November 0620/43 Q6(e)(ii)） · 3 级

(e) Polymers containing ester linkages are known as polyesters.

Polyamides are another type of polymer. Nylon is a polyamide.

The structure of nylon is shown in Fig. 6.2.

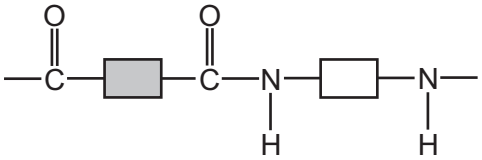


Fig. 6.2

(ii) Complete Fig. 6.3 to show the structures of the monomers used to produce nylon. Show all of the atoms and all of the bonds.

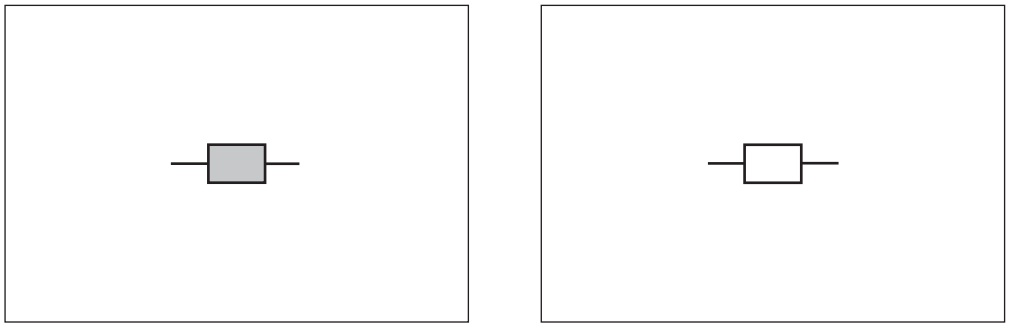


Fig. 6.3

6. （2023·May/June 0620/43 Q7(c)） · 3 级

This question is about organic compounds.

(c) A repeat unit of a condensation polymer is shown in Fig. 7.2.
The polymer is made from two monomers.

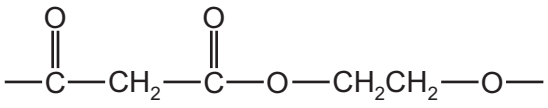


Fig. 7.2

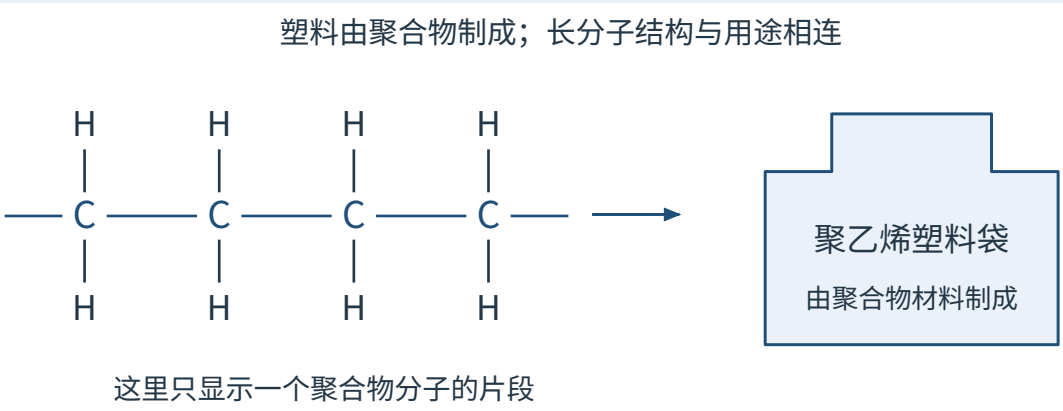
(i) Draw the structures of the monomers used to produce the polymer in Fig. 7.2.

(ii) Name the **type** of condensation polymer in Fig. 7.2.

(iii) Name the **two** homologous series to which the monomers in **(i)** belong.

题型 3：从材料性质解释环境问题并辨别回收路线

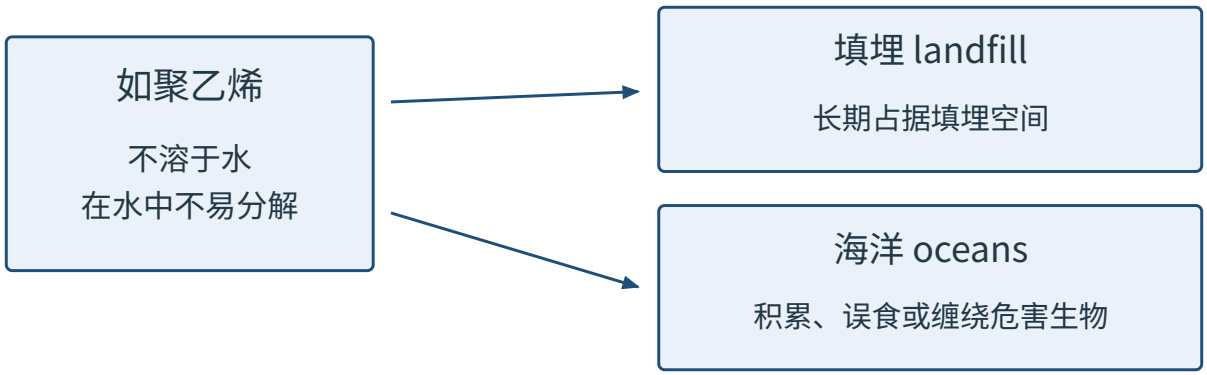
知识点 聚合物是大分子，塑料是用这些大分子制成的材料。 plastics 是塑料，poly(ethene)（聚乙烯）可用于塑料袋等制品。一个塑料袋含大量聚合物分子，不能把图中一小段结构直接当作整个制品。材料的耐用、不易受水影响等性质帮助它使用得更久，也影响丢弃之后的去向。



左侧是一段聚乙烯分子，右侧是由大量这类分子构成的塑料制品示意，尺寸无比例关系。

在“plastics are made from polymers”中，polymers 指组成材料的大分子。若问聚乙烯由什么单体形成，才回答 ethene。polymer、plastic product 与 monomer 对应三个不同层次，读清问题再选名称。

填埋与海洋积累，要从不易分解解释后果。 landfill 是填埋场。许多常见塑料分解很慢，长期占用填埋空间；聚乙烯在水中也不容易分解，所以流入海洋后会积累。动物误食塑料或被缠绕可受伤，细小碎片也不等于材料已被完全分解。



箭头把材料不易分解的性质连接到两种实际处置问题；不是把海洋当作合适的废物处置地点。

要解释“为什么聚乙烯袋积累”，可答“poly(ethene) does not decompose in water”。这句话直接连接“没有被有效移除”与“持续积累”。“它来自烃单体”描述来源，但没有直接交代积累原因；“遇水会反应或溶解”则不符合这里的聚乙烯性质。

焚烧也可能带来有害气体，不能把所有塑料视作相同配方。聚乙烯只含 C、H，完全燃烧的主要产物是 CO_2 与 H_2O；氧气不足时可能产生有毒的一氧化碳 carbon monoxide CO 及烟尘。有些其他塑料或添加物还含别的元素，会带来相应的其他有害产物。题目问塑料燃烧的环境问题时，应说明可形成 toxic gases（有毒气体）。

燃烧后生成什么，要看材料组成和氧气是否充足

只含C、H的聚乙烯	氧气充足、完全燃烧	CO_2与H_2O
只含C、H的聚乙烯	氧气不足、不完全燃烧	可能有有毒CO和烟尘
含其他元素的塑料	取决于聚合物及添加物	还可能有其他有害气体

纯聚乙烯没有Cl，不能无中生有地生成HCl；也不能说焚烧所有塑料都无害。

CO 是一氧化碳，HCl 为氯化氢。图按元素守恒与氧气条件解释，不把每一种塑料的燃烧产物说成相同。

“所有废塑料都可以烧出无毒产物”把组成与燃烧条件全部忽略，不能接受。反过来，也不能声称纯聚乙烯会产生氯化氢 HCl：反应物没有 Cl，违背元素守恒。问两项处置挑战时，填埋空间与海洋积累是两条不同而明确的答案；不要把“有毒”和“有害”当成两条重复凑数。

PET 有一条回到单体后再聚合的回收路线。PET 是 polyester（聚酯），链中反复出现酯连接 C(=O)—O。它可在适当处理中被转化回相应的二元羧酸和二元醇，再进行 re-polymerisation（重新聚合）。二元羧酸含两个 COOH，二元醇含两个醇类 OH，因此能从两端相连成长链。

PET的化学回收：先分解成单体，再聚合成新的聚合物



PET是polyester聚酯，连接为C(=O)—O；不是polyamide聚酰胺。

这是可行的化学回收路线，不表示PET丢到海里会迅速自行回到单体。

箭头分别表示分解到单体与重新聚合两步化学变化。PET 英文全称不属于本课程必须记忆内容。

若陈述为“PET can be broken down into its monomers and re-polymerised”，先找到两个动作：回到 monomers，再重新连成长链，判断正确。PET 的连接含 O，属于聚酯；不要换成含 C(=O)—NH 酰胺连接的 polyamide（聚酰胺），也不把它说成由氨基酸 amino acids 形成的蛋白质。人工回收路线的存在，并不证明 PET 在海水里会迅速自行分解。

回收题还要分清是否真的回到单体。分选、清洁后将材料熔融再成型，是物理再加工的一种思路；把大分子拆成单体后重新聚合，则改变并重新形成聚合物链。这两类路线都可能用于回收，但不能只因为都叫 recycling 就把动作写成相同。

物理再加工与化学回收，改变的层次不同

物理再加工	化学回收
分选、清洁、熔融、重新成型	拆到单体，再重新聚合
主要重新加工已有材料	改变并重新形成聚合物链

PET题目出现monomers与re-polymerised时，明确指右边这条路线。

为理解题目区分两种回收思路；不是说所有塑料都适用于任意一种方法。

问题明确出现 monomers 和 re-polymerised，应解释拆链与重新成链，单写“melting”只回答了熔融过程，没有交代题目所指的化学回收。若题目没有问工艺细节，不必自造温度、试剂浓度或厂房条件。

聚乙烯在海洋中积累，是因为它在水中不易_____。塑料填埋会长期_____，燃烧可能产生_____。PET 属于_____，可先转化回_____，再重新_____。

答案：分解；占据填埋空间；有毒气体；聚酯 polyester；单体；聚合

怎么认 先问材料是否容易分解，再连接填埋、海洋或燃烧的具体后果；PET 出现 monomers 与 re-polymerised 时，答先回到单体再聚合，保持酯与酰胺家族区别。

例题 1 （2024·May/June 0620/21 Q37） · 2 级

Which statement about the polymer PET is correct?

A It can be broken down into its monomers and re-polymerised.

B It is an addition polymer.

C It is a polyamide.

D It is made from amino acid monomers.

解：PET 是聚酯 polyester。它可通过适当化学处理转回相应单体，然后重新聚合，所以 A 的 broken down into its monomers and re-polymerised 正确，选 **A**。

B 称它为 addition polymer，错误；PET 由二元醇与二元羧酸经缩聚形成。C 称它为 polyamide，错误；它含酯连接 C(=O)—O，不是酰胺连接 C(=O)—NH。D 称它由 amino acid monomers 形成，也错误；氨基酸形成的是本节所学蛋白质类天然聚酰胺。

不能把可被人工转回单体，解释成丢到海洋会迅速自然分解。题目考的是 PET 的回收转化能力。

例题 2 （2025·October/November 0620/31 Q4(h)(ii)） · 2 级

(h) Ethene is polymerised to form the plastic poly(ethene).

(ii) Describe **two** environmental challenges caused by the disposal of plastics such as poly(ethene).

解：题目要 two environmental challenges，写两条不同的后果：

第一条，塑料长期占用填埋空间：**Plastics fill landfill sites because they decompose very slowly.** 第二条，塑料在海洋积累并可危害生物：**They accumulate in oceans and may harm aquatic organisms.**

这两条分别对应官方的 fills landfill 与 accumulates in oceans，各自是一项独立问题。“不易分解”说明为什么容易留下，不能只换词重复写两次。

官方还列出焚烧可能形成有毒或酸性气体。若采用这条，要注意具体组成与燃烧条件；本题举聚乙烯为例，不应无依据地给只含 C、H 的材料添出含 Cl 产物。用上面的填埋与海洋两点已经完整满足题目两项要求。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/12 Q37） · 2 级

Which statement explains why plastic bags made from poly(ethene) accumulate in oceans?

A Poly(ethene) is a saturated molecule.

B Poly(ethene) is made from hydrocarbon monomers.

C Poly(ethene) reacts with water.

D Poly(ethene) does **not** decompose in water.

2. （2024·October/November 0620/11 Q38） · 2 级

Which statement about the disposal of waste plastics is correct?

A They are put in landfill sites, where they quickly decompose.

B They are burned to produce non-toxic products.

C They accumulate in oceans, where they are harmful to aquatic life.

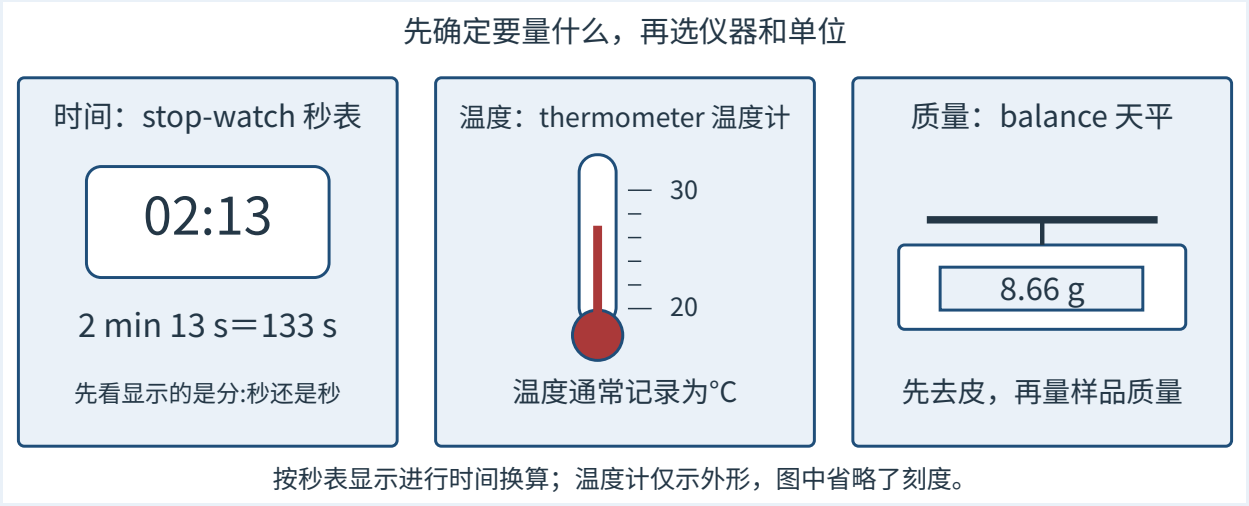
D They are dissolved in water and pumped into the sea.

实验技术与化学分析

12.1 测量仪器与数据记录

题型 1：选择量具并准确读数、记录单位与数据表

知识点 仪器的选择从“要量什么”开始。time 是时间，常用 stop-watch（秒表），单位 s；temperature 是温度，用 thermometer（温度计），常用°C；mass 是质量，用 balance（天平），常用 g。看到变化过程，不要把经过的时间与温度变化混成同一个量。



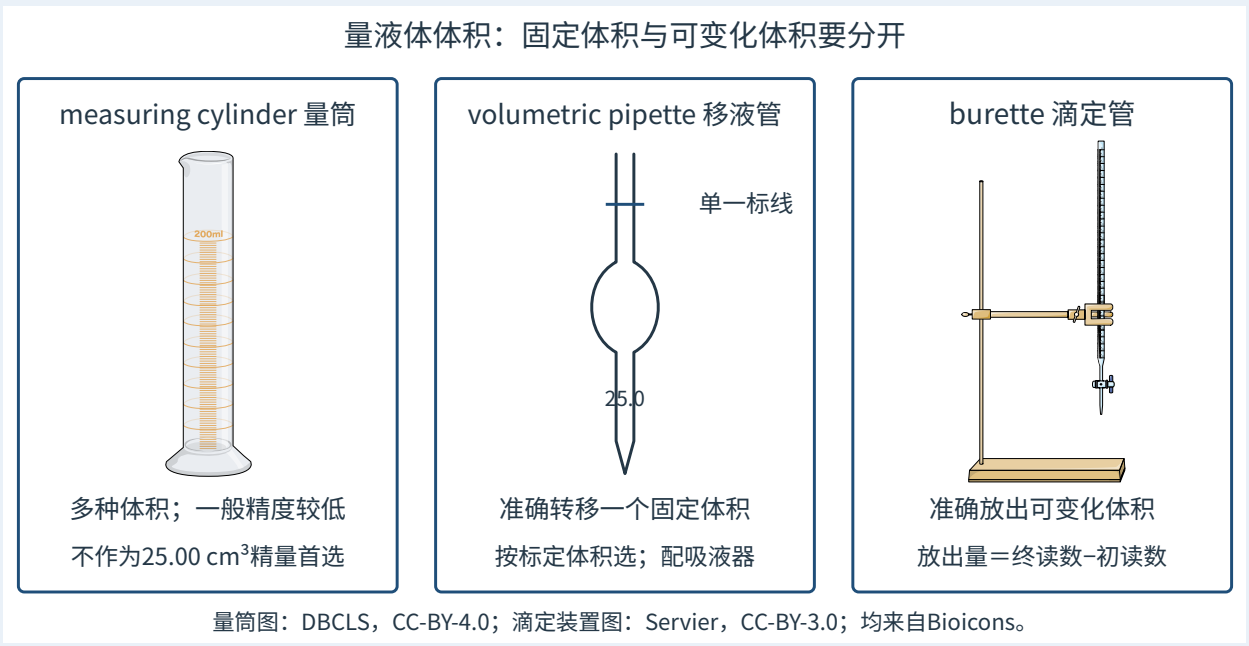
每栏把物理量、仪器英文名与单位相连；温度计没有完整逐格标值，不据它猜读具体温度。

秒表按“分:秒”显示 02:13，表示 2 分钟 13 秒。先把 2 分钟换成秒，再加上 13 秒：

$$2 \times 60 + 13 = 133 \quad \text{s}$$

不能写成 2.13s。若研究反应从开始到颜色消失要多久，主测量仪器是秒表；若要保证各次都在 25°C 进行，温度计还负责核对控制条件。这是两个不同任务。

液体体积的量具，要区分固定体积和可变化体积。volumetric pipette（容量移液管）准确转移标定的一个固定体积，例如 25.0cm³，使用吸液器；它不是随意量 26.3cm³的刻度管。burette（滴定管）带较细刻度和活塞，可以准确放出不同体积，放出量由终读数减初读数得到。measuring cylinder（量筒）可量多种体积，但通常不如合适的移液管或滴定管精确。

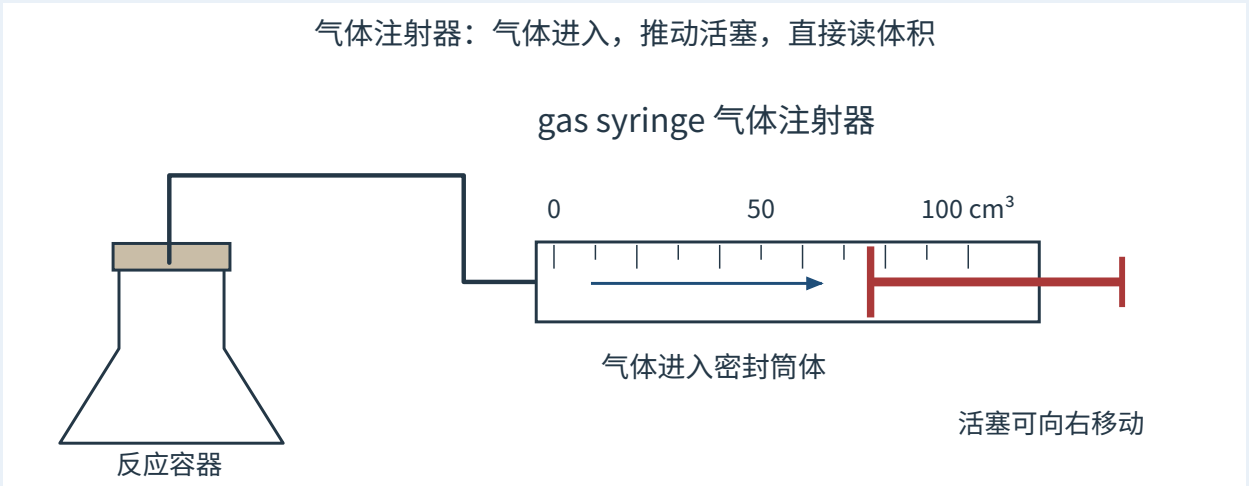


量筒图：DBCLS，CC-BY-4.0；滴定装置图：Servier，CC-BY-3.0；均来自Bioicons。

图库外形用于认识仪器，不把这些小图上的装饰刻度用作数值题；移液管另以单一标线示意固定体积。

要准确量取固定 25.0cm³，且提供 25.0cm³容量移液管，可以选它；要准确放出 26.3cm³，则选滴定管。若选择题只有烧杯、量筒、滴定管、滴管四项，要求 25.00cm³时，应在实际提供的工具中选滴定管。beaker（烧杯）的刻度通常用于粗略估量；dropping pipette（滴管）主要用于逐滴添加，没有相应的精量标定，不能因都叫 pipette 就与容量移液管混同。

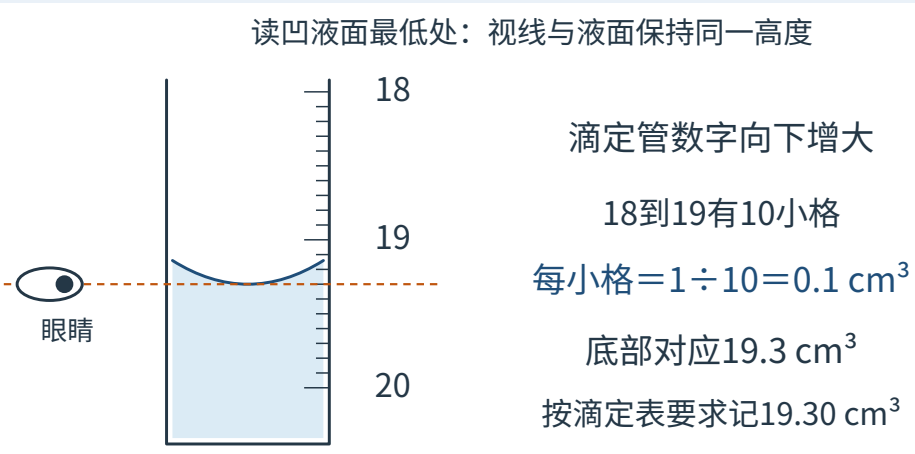
测生成气体的体积，要用能把气体完整收集起来的装置。gas syringe（气体注射器）的活塞随气体进入而移动，可从刻度读气体体积，常用 cm³。它与注射液体的小滴管不同。反应容器、导管和注射器连接处必须不漏气，量程要足够，活塞还要能自由移动，否则读数不代表全部生成气体。



这是连接与移动方向示意；不把所画活塞位置当作源题数据。连接处需不漏气，量程要足够，活塞应能自由移动。

预计一次反应产生约 80cm³气体，可以考虑 100cm³量程的合适气体注射器；20cm³量程会很快超出范围。若装置漏气，部分气体未进入注射器，测得体积会偏低。与排水收集相比，气体注射器不要求气体先通过水；对易溶于水的气体，这一点有优势，具体仍需选择适合该气体的装置材料与条件。

读刻度先确定一小格是多少，再看凹液面底部。两个标注数字之间的差除以小格数，就是最小分度。透明水溶液在常见玻璃量具中形成凹液面 meniscus，视线要与它的最低处同高，减少 parallax error（视差）。特别注意滴定管数字通常向下增大，不能照搬量筒向上增大的方向。



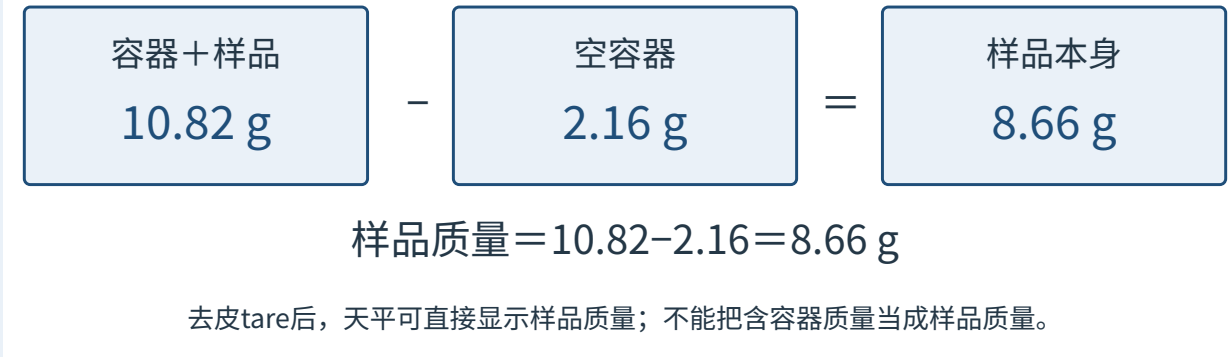
橙色虚线经过凹液面最低处及 19.3 的位置。刻度按所示数值绘制，读数方向与滴定管一致。

图中 18 与 19 之间有 10 小格。这 10 格合计 1cm³，因此每格表示：

$$\frac{19-18}{10}=0.1\quad \mathrm{cm}^3$$

凹液面底部在 19 下面第三格，所以读 19.3cm³；若该滴定表要求保留两位小数，可记 19.30cm³。位于两条刻线中间时，按题目和仪器允许的估读精度处理，例如 0.1cm³分度的滴定管可估至 0.05cm³。不能看较高的两端，也不能把读数方向倒过来写 18.7。

测样品质量时，先扣除容器。tare（去皮）使装着空容器的天平回到零，再加样品就直接显示样品质量。如果分别记录空容器与容器加样品的质量，也可相减。去皮应在加样品之前完成，不能装了样品才清零，再把零当作样品质量。



三个数对应同一次称量；左边示总质量、中间示空容器质量，右边示相减所得样品质量。

若空称量舟为 2.16g，称量舟加样品为 10.82g，先从总质量中扣掉称量舟：

$$\text{样品质量}=10.82-2.16=8.66\quad \mathrm{g}$$

若把 10.82g 直接代入 n＝m/M，计算出的物质的量会把容器也算进去，导致结果偏大。正确动作是去皮后读数，或先做质量差再进行化学计算。

数据表要让别人知道每个数是什么。 表头同时写物理量与单位，例如 time/s、temperature/°C、volume/cm³；同一列按同一台仪器的要求保留一致小数位，不同列可以采用不同精度。原始读数要先如实记录，再计算差值、平均值或作图，不能用想象中的理想结果替代测量。

记录数据：物理量和单位写在表头，同一列精度一致

实验编号	时间 / s	温度 / °C	气体体积 / cm^3
1	0	25.0	0.0
2	20	25.0	18.0
3	40	25.0	29.0

示范列中的小数位按给定仪器要求记录；不为看起来精确而补无依据的数字。

表中给出一组测量记录，单位放表头；时间列用整秒，温度与体积按各自给定分辨率记录。

在上表第二次记录中，20 是时间 20s，25.0 是温度 25.0°C，18.0 是气体体积 18.0cm³。表头已有单位，各格不必反复抄单位。若秒表按整秒读取，就不能为了和温度列一样而声称测到了 20.00s；多写小数位不会让实验更准确。

固定 25.0cm³可用相应的_____；准确量取可变化体积可用_____；生成气体体积可用_____。读透明凹液面看_____处，视线应_____。样品质量＝_____减_____。

答案：25.0cm³容量移液管；滴定管；气体注射器；最低；同高；容器加样品质量；空容器质量

怎么认　先问时间、温度、质量还是体积；液体量取再分固定或可变体积。读数先认分度与方向，凹液面底部同高读，质量与滴定体积按所需差值计算。

例题 1　(2025·May/June 0620/11 Q38)　· 2 级

A student measures 25.00 cm^3 of dilute hydrochloric acid accurately.

Which piece of apparatus is most suitable?

A　beaker

B　measuring cylinder

C　burette

D　dropping pipette

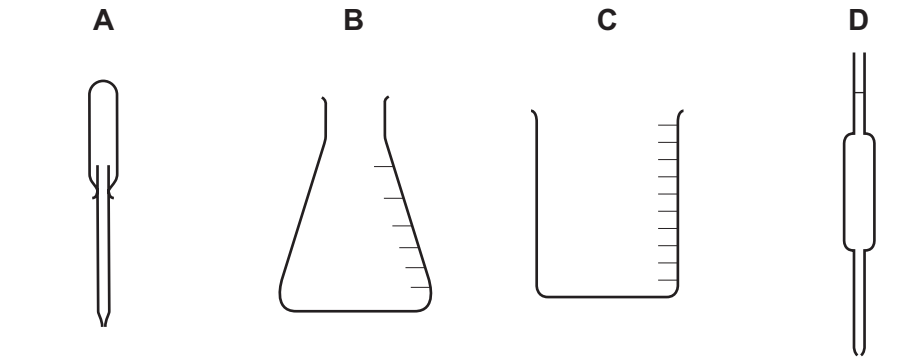
解：题目要准确量取 25.00cm³稀盐酸。先在实际给定的四件仪器中找能准确读出并放出液体体积的工具。beaker 是烧杯，主要盛装或粗略估量液体；measuring cylinder 是量筒，一般不作为这种精量要求的首选。burette 是滴定管，有细刻度与活塞，可由终读数减初读数准确确定放出体积，因此选 **C**。dropping pipette 是滴管，用于逐滴添加，不能把它当成有固定标定体积的 volumetric pipette。

如果题目另给 25.0cm³容量移液管，它也是固定体积精量的合适工具；但这里没有这一选项，不能用自己补的仪器代替原题四选项。

针对练习

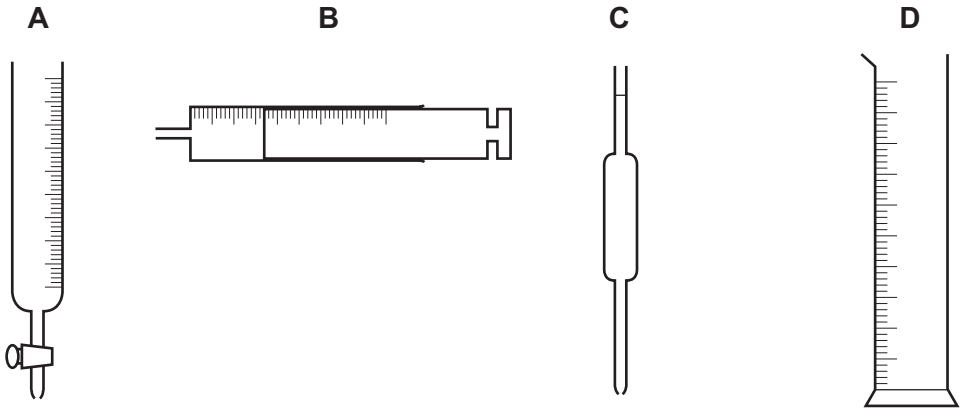
1. （2025·May/June 0620/21 Q38） · 2 级

Which item of apparatus is used to measure 25.0 cm^3 of aqueous sodium hydroxide?



2. （2025·May/June 0620/22 Q38） · 2 级

Which item of apparatus is used to measure exactly 26.3 cm^3 of a liquid?

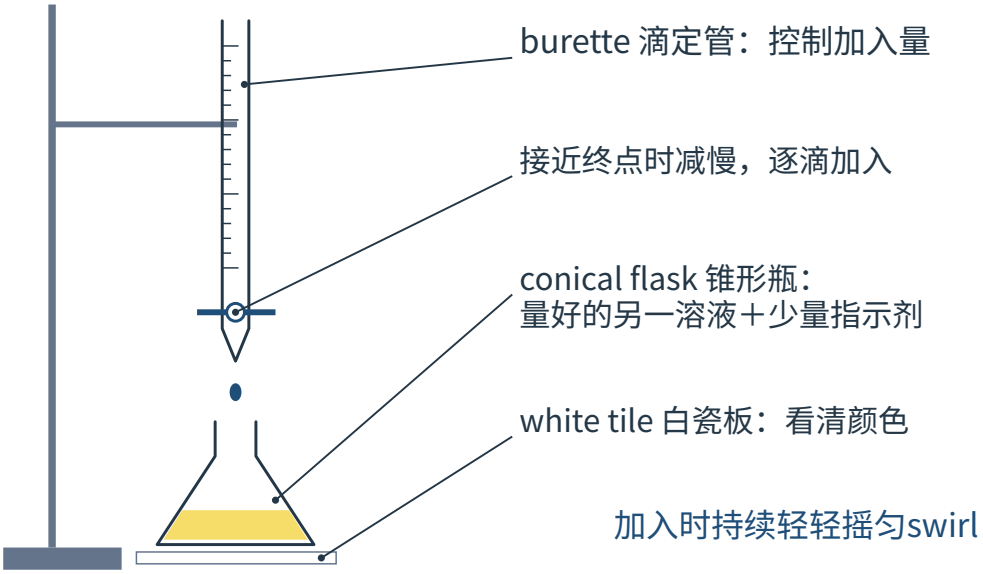


12.2 滴定、液面读数与终点

题型 1：用滴定管读数和指示剂完成定量反应

知识点 滴定先量准一份溶液，再寻找另一份恰好反应的体积。titration（滴定）不是把两杯液体随意混合。先用 volumetric pipette（容量移液管）准确转移固定体积样品到 conical flask（锥形瓶），加入少量合适的 indicator（指示剂）；另一溶液装在 burette（滴定管）中，缓慢加入并持续轻轻 swirl（摇匀）。接近 end-point（终点）时逐滴加入，以规定的持久颜色变化判断停止。

滴定：一份溶液逐滴加入另一份已知体积的溶液



滴定管与锥形瓶保持开口；装置外形示意不作为数值刻度题。

样品原本用容量移液管量取后置于锥形瓶；滴定管中的另一溶液逐滴加入。指示剂显示终点，白色背景有助观察。

要用盐酸滴定 25.0cm³氢氧化钠溶液，容量移液管负责准确取得这 25.0cm³；锥形瓶盛放碱和指示剂，宽底与窄颈方便摇匀；滴定管控制并测出加入的酸体积。白瓷板提供浅色背景，使终点颜色更容易看清。若酸只聚在滴入处而未与整瓶碱充分混合，局部颜色不能可靠代表整瓶溶液，因此“摇匀”有明确目的，不是仪式性的动作。容量移液管配移液辅助器，不能用嘴吸。

润洗要跟着仪器的任务走。滴定管与容量移液管先用蒸馏水洗，再分别用接下来要装入或量取的溶液润洗，以免残水稀释精确量取的溶液。锥形瓶用蒸馏水洗即可；其中少量残水改变总体积，却不改变已经准确转移进去的反应物物质的量。不能再用待测溶液润洗锥形瓶，因为残留的待测溶液会偷偷增加未量取的反应物。

洗涤方式不同，是为了保持规定的浓度和物质的量

滴定管	蒸馏水洗，再用将要装入的溶液润洗 避免残水稀释滴定液
容量移液管	蒸馏水洗，再用将要量取的溶液润洗 转移的溶液浓度保持正确
锥形瓶	用蒸馏水洗；不再加入额外待测溶液 少量水不改变已量入的物质的量

另检查滴定管尖端充满液体、没有气泡；读数前取下加液漏斗。

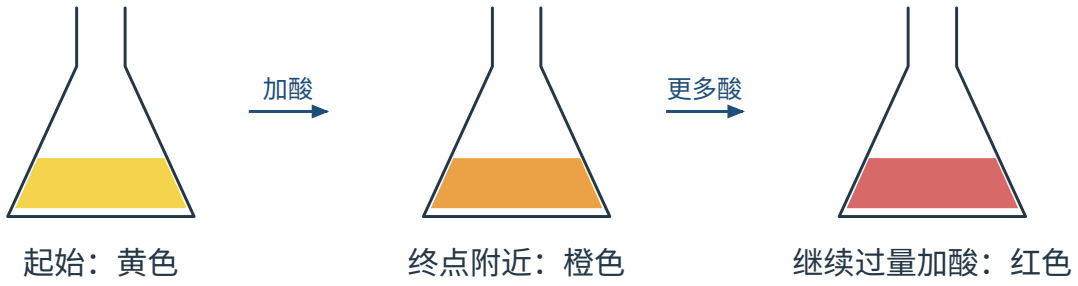
三行比较的是不同仪器的任务，润洗液必须与接下来所装或量取的溶液相同；不是所有玻璃仪器都要用反应物润洗。

容量移液管准确转入 25.0cm³碱后，锥形瓶内原有 2cm³蒸馏水。碱被稀释，但碱的总 mol 没有变，所需酸的 mol 和滴定体积仍应相同。相反，若滴定管尖端原有气泡，第一次放液先填满尖端，读数差中就有一部分液体尚未真正进入锥形瓶，记录体积可能偏大。开始前应排尽尖端气泡；读数前取下加液漏斗，避免漏斗残液继续流入而改变读数。

终点颜色必须与指示剂、原来酸碱性和滴加方向一起判断。 methyl orange（甲基橙）在酸性条件下红、碱性条件下黄，在其变色范围呈橙。常见的“酸滴入碱或碳酸盐溶液”题以黄色变成持久橙色判断终点；

如果继续过量加酸会更偏红。并非每一种滴定或指示剂都适用这一颜色顺序；原题给了混合指示剂及多个终点时，应按题目明示的变化记录。

甲基橙：向碱性溶液滴加酸，黄色到橙色判断终点



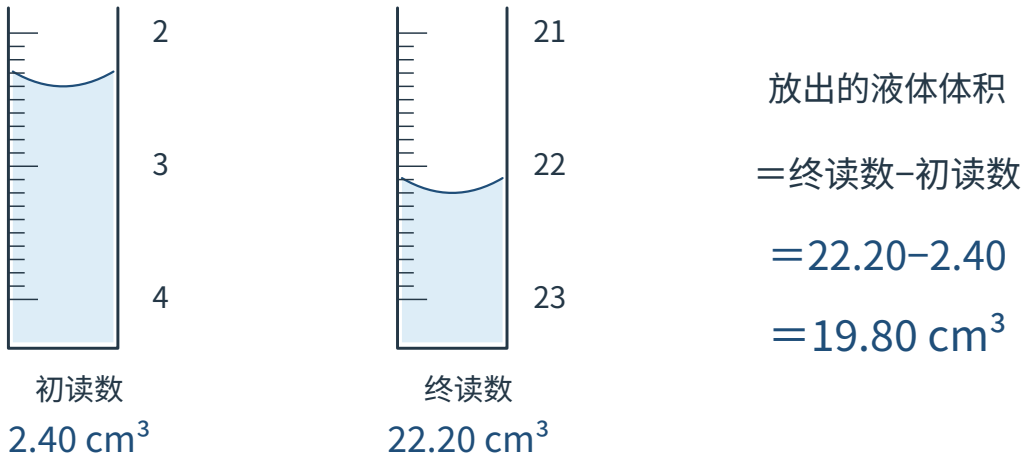
methyl orange 甲基橙；以本题要求的持久橙色为终点，避免过量滴入。
如果改成向酸中加碱，初始颜色和变化方向也要跟着反过来判断。

图以甲基橙与酸加入碱性溶液为条件；不是所有指示剂都呈这三种颜色。颜色只是示意，不代表精确浓度或 pH 值。

锥形瓶里是碳酸钾溶液和甲基橙，滴定管里是稀硫酸。开始时锥形瓶偏碱性，呈黄色；缓慢加酸并摇匀，到题目要求的橙色停止。不能因为“加的是酸”就把最初颜色写成红色，因为最初观察的是瓶内溶液。若用 thymolphthalein（百里酚酞），碱性一侧可呈蓝色，酸性一侧无色；是否采用、以何颜色停，按题目给的实验条件和要求判断，不能抄甲基橙的颜色。

titre 是实际加入的体积，用终读数减初读数。 先确认最小分度，再让视线与凹液面底部同高读取。滴定管刻度向下增大，所以放出液体后读数通常变大。初读数不一定是 0；不需要为了计算而把真实初读数改成 0。读数与表格单位保持一致，精度遵从仪器和题目要求，同一列同类读数的小数位保持一致。

滴定体积是一段差值，不是终读数本身



两图按每 1cm³十小格绘制，液面最低处分别是 2.40 与 22.20。颜色背景不影响读凹液面底部。

图中初读数为 2.40cm³，终读数为 22.20cm³。实际加入体积用终读数减初读数：

$$22.20 - 2.40 = 19.80 \quad \text{cm}^3$$

22.20 是液面最后所在的刻度，不是从本次开始累计加入的体积；2.40 已经在开始前形成，必须扣除。图每 1cm³分十小格，液面底部与相应分度关系已画明；本示范按两位小数记录。正式题若要求至少一位小数且题图能直接读到 0.1cm³，就按该题给定精度统一填表。

先筛选同条件的相近重复结果，再求平均。 rough titration（粗滴定）先找大致终点位置，随后准确重复时才知道从哪里需要放慢。concordant results（相互接近的结果）应来自同样溶液浓度、取样量、反应与终点判据。若题目要求舍去粗滴定或明显异常值，先按规则筛选；不能因为表格上有多个数字就全部平均。

求平均前，先挑同条件、相近的可靠重复结果

粗滴定	25.00 cm^3	只找大致终点，不纳入本示范平均
准确重复1	24.10 cm^3	采用
准确重复2	24.15 cm^3	采用
准确重复3	24.10 cm^3	采用

本示范要求相差不超过0.10 cm^3；三次准确结果范围为0.05 cm^3。

平均＝(24.10＋24.15＋24.10)÷3＝24.116…≈24.12 cm^3

准确滴定在相同条件下重复进行；本例给定相近范围判据，实际答题按题给规则。不同酸浓度或不同终点的数据不能混入此平均。

例如，规定三次准确滴定相差不超过 0.10cm³。24.10、24.15、24.10 之间的最大差为 0.05cm³，符合这一条件。用这三个可靠重复值求平均：

$$\text{平均滴定体积} = \frac{24.10 + 24.15 + 24.10}{3} = \frac{72.35}{3} \approx 24.12 \quad \text{cm}^3$$

除法的未舍入结果为 24.116…cm³，按两位小数记为 24.12cm³。粗滴定 25.00 没有进入平均。这里的 0.10cm³只是本例明确给定的判据，不是所有考试题的唯一阈值。换用另一浓度的酸，或同一过程达到第二个不同终点，所得体积代表不同实验条件，不能与这些准确重复值混在一起。

同一次滴定有两个终点，先分清累计体积和中间新增体积。如果一直加液且中途没有重新装液，两个终点的累计体积都要从同一个最初读数开始算：

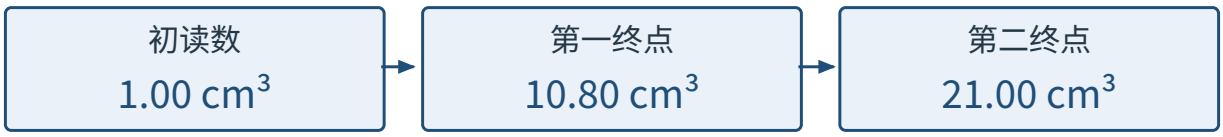
$$\text{到第一终点的累计体积} = \text{第一终点读数} - \text{最初读数}$$

$$\text{到第二终点的总加入量} = \text{第二终点读数} - \text{最初读数}$$

total volume 指累计加入的总体积。只有问 between the end-points（两终点之间）时，才改为计算中间新加入的一段：

$$\text{两终点之间新增体积} = \text{第二终点读数} - \text{第一终点读数}$$

两个终点：总加入量始终从最初读数算起



到第一终点：10.80−1.00＝9.80 cm^3

到第二终点的总量：21.00−1.00＝20.00 cm^3

第一到第二终点之间新增：21.00−10.80＝10.20 cm^3

total volume问总量；between the end-points才问两终点之间新增量。

本图设定整段滴定连续进行且中途没有重新加液；每个差值都说明起点与终点。

图中最初读数为 1.00，第一终点为 10.80，第二终点为 21.00，单位均为 cm³。

到第一终点共加入：

$$10.80 - 1.00 = 9.80 \quad \text{cm}^3$$

到第二终点累计加入：

$$21.00 - 1.00 = 20.00 \quad \text{cm}^3$$

两终点之间新加入：

$$21.00 - 10.80 = 10.20 \quad \mathrm{cm^3}$$

用前后两段相加复核，总量确实为：

$$9.80 + 10.20 = 20.00 \quad \mathrm{cm^3}$$

若表格说 total volume to reach second end-point，把 10.20 填入就少算了前一段。不同实验列还必须各减自己的初读数，不可借用旁边一列的起点。

用滴定比较浓度，先检查反应系数。 concentration（物质的量浓度）是溶质的物质的量除以溶液体积：

$$c = \frac{n}{V}$$

这里 c 表示物质的量浓度，n 表示溶质的物质的量，V 表示溶液体积。浓度以 mol/dm³表示时，V 要换成 dm³。只有两种反应物恰好按 1:1 反应时，它们的 mol 才相等，此时较大体积的一方较稀。若方程式系数为 1:2 等其他比例，先按配平方程式换算 mol，不能仅比较体积大小。

比较浓度前，先看方程式中的反应比例

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

盐酸	氢氧化钠溶液
$20.0\ \mathrm{cm^3}$	$25.0\ \mathrm{cm^3}$
较小体积含相同mol，较浓	较大体积含相同mol，较稀

本式1:1，恰好反应时n(HCl)=n(NaOH)；由c=n/V判断。

若反应比例不是1:1，先按系数换算；不能只比液体体积。

本例固定 1:1 化学计量关系与恰好反应的条件；体积小的一方浓度高，结论不能绕过配平方程式。

若 20.0cm³盐酸恰好中和 25.0cm³、0.100mol/dm³的 NaOH 溶液，先把 NaOH 溶液体积换成 0.0250dm³，再求其物质的量：

$$n(\mathrm{NaOH}) = 0.100 \times 0.0250 = 0.00250 \quad \mathrm{mol}$$

反应方程式为：

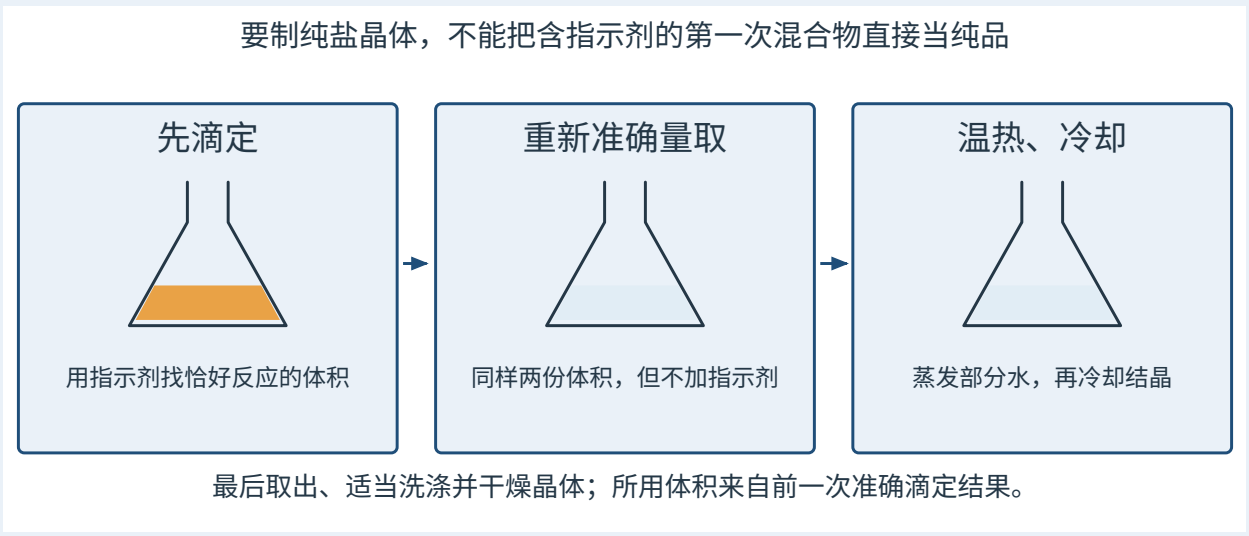
$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

HCl 与 NaOH 的物质的量比例是 1:1，因此盐酸中 HCl 也是 0.00250mol。盐酸体积为 0.0200dm³，所以浓度为：

$$c(\mathrm{HCl}) = \frac{0.00250}{0.0200} = 0.125 \quad \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{dm^3}}$$

0.125 大于 0.100，符合相同物质的量装在较小体积中更浓的判断。若把 20.0 直接代入以 dm³计的公式，会差 1000 倍。

制备纯盐时，先滴定找量，再重新配制不含指示剂的混合物。第一次滴定中的指示剂已经溶在溶液中，不能靠普通过滤把它当成不溶固体除去。用同样准确的两份反应物体积重新反应，但不加指示剂，再温热蒸发部分水，到适当浓缩或结晶点后冷却，使盐结晶。最后按题目需要过滤或取出晶体、用少量合适的冷溶剂洗涤并干燥。



第一份有指示剂，用于找体积；第二份重新配制且不含指示剂，再进行浓缩结晶。图不把溶解的指示剂当作能通过过滤除掉的固体。

前一次发现 25.0 cm³ 碱恰好需要 19.80 cm³ 酸。第二次重新量取同浓度的这两份体积，直接混合且不放指示剂；已由前次实验知道恰好反应，不必再次用颜色寻找终点。随后蒸发部分水并冷却结晶，不能只写“加热”就把浓缩、冷却和取得晶体混为一步。用于找体积的第一次混合液与用于制纯品的第二次混合液，应在操作顺序中分清。

滴定开始前，用_____准确转移固定体积样品；接近终点时要_____加入并持续_____。titre＝_____−_____。两个终点的累计体积都减_____；平均只选_____的可靠重复结果。制纯盐需重新混合准确体积并_____，然后浓缩、_____。

答案：容量移液管；逐滴；摇匀；终读数；初读数；各自实验的最初读数；同条件且相近；不加指示剂；冷却结晶

怎么认 先找滴定管和锥形瓶各装什么、使用哪种指示剂；按同一次实验的液面底部读取初值与终值，再相减。表格若有两个终点，区分累计总量与两终点间新增量；改变浓度或指示剂的数据不当作相同重复来平均。

例题 1 （2025·May/June 0620/61 Q1） · 3 级

A student prepares some crystals of pure potassium sulfate by reacting aqueous potassium carbonate with dilute sulfuric acid. The equation for the reaction is shown.

$$K_2CO_3(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow K_2SO_4(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

The student:

- places 25.0 cm^3 of aqueous potassium carbonate in a conical flask
- adds a few drops of a suitable indicator to the conical flask
- uses a burette to add dilute sulfuric acid to the conical flask until the end-point is reached and the indicator changes colour.

Table 1.1 shows the burette readings the student obtains.

Table 1.1

final burette reading / cm^3	18.8
initial burette reading / cm^3	4.2
volume of dilute sulfuric acid added / cm^3	

(a) Complete Table 1.1 by calculating the volume of dilute sulfuric acid added to the conical flask.

(b) State which solution, aqueous potassium carbonate or dilute sulfuric acid, is the **least** concentrated. Give a reason for your answer.

least concentrated solution

reason

(c) Name a piece of apparatus suitable for measuring the 25.0 cm^3 of aqueous potassium carbonate.

(d) Name a suitable indicator and give the colour change of this indicator at the end-point.

indicator

colour change at end-point to

(e) As the student added the dilute sulfuric acid to the aqueous potassium carbonate they looked for a colour change.

State what the student should do as they add the dilute sulfuric acid to the aqueous potassium carbonate in the conical flask. Do **not** include observations in your answer.

(f) Describe what the student should now do to obtain crystals of pure potassium sulfate.

解：
先读实验与方程式。锥形瓶里是 25.0cm³碳酸钾溶液，滴定管中是稀硫酸。题给反应为：
$K_2CO_3(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow K_2SO_4(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$
碳酸钾与硫酸的物质的量比例为 1:1。以下逐项完成(a)至(f)。
(a) 滴定管初读数为 4.2cm³，终读数为 18.8cm³，加入酸的体积为：
$18.8 - 4.2 = 14.6 \quad cm^3$

原表填答如下。

Table 1.1

final burette reading / cm^3	18.8
initial burette reading / cm^3	4.2
volume of dilute sulfuric acid added / cm^3	**14.6**

原 Table1.1 填答：18.8−4.2＝14.6cm³。蓝色为新增答案，黑色表格、单位和题给读数保留。

(b) 更稀的是 **potassium carbonate solution**，碳酸钾溶液。恰好反应且系数 1:1，所以双方 mol 相等；相同 mol 分别占 25.0cm³和 14.6cm³，碳酸钾占较大体积，浓度更小。这里不是“碱一定比酸稀”，而是本题反应比例与实际体积共同得出的结论。

(c) 准确量取 25.0cm³可用 **volumetric pipette**，容量移液管；本题评分也接受 burette（滴定管）。不能只写测量体积而不给仪器名称。

(d) 可选 **methyl orange**，甲基橙；由 **yellow to orange**，黄色变橙色判断终点。最初碳酸钾溶液偏碱性，故指示剂是黄色；慢慢加入酸，达到所需橙色停止。不能把“酸是红色”直接当作终点答案，也不要写“清澈”代替具体颜色。

(e) 加酸过程中 **swirl the conical flask**，持续轻轻摇匀锥形瓶，使滴入的酸与整份碳酸钾充分混合。此问要操作，不要求另列看到的现象。

(f) 重新准确量取 25.0cm³同一碳酸钾溶液和 14.6cm³同一稀硫酸，混合且不加指示剂。温热使一部分水蒸发，到适当浓缩、饱和或结晶点后停止加热，冷却使硫酸钾结晶；随后可取出、适当洗涤和干燥晶体。官方本小问 3 分抓住“按确定体积重新反应且无指示剂、蒸发浓缩、冷却结晶”这条链。第一次溶液含指示剂，不应直接作为纯盐晶体来源；普通过滤也不能去除已溶解的指示剂。

例题 2 （2025·October/November 0620/62 Q2(a)） · 3 级

A student investigates the reaction between acidic solution **B** and two different solutions of aqueous sodium hydroxide, solution **C** and solution **D**, using two different indicators.

The student does two experiments.

Experiment 1

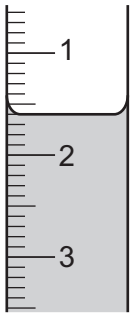
- Rinse a burette with distilled water and then with solution **C**.
- Fill the burette with solution **C**. Run some of solution **C** out of the burette so that the level of the solution is on the burette scale.
- Record the initial burette reading.
- Use a measuring cylinder to pour 25 cm^3 of solution **B** into a conical flask.
- Add five drops of methyl orange indicator **and** five drops of thymolphthalein indicator to the conical flask.
- Stand the conical flask on a white tile.
- Slowly add solution **C** from the burette to the conical flask, while swirling the flask, until the solution changes colour from red to orange. This is the first end-point.
- Record the burette reading at the first end-point.
- Continue to add solution **C** from the burette to the conical flask while swirling the flask. The solution changes colour from orange to yellow.
- Continue to add solution **C**, while swirling the flask, until the solution changes colour from yellow to green. This is the second end-point.
- Record the burette reading at the second end-point.

Experiment 2

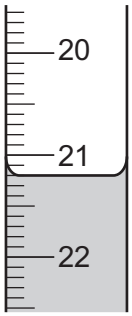
- Empty the conical flask and rinse it with distilled water.
- Repeat Experiment 1 using solution **D** instead of solution **C**.

(a) Use the burette diagrams in Fig. 2.1 and Fig. 2.2 to record the readings for Experiment 1 and Experiment 2 in Table 2.1. Complete Table 2.1.

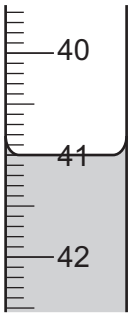
Experiment 1



initial burette reading



burette reading at first end-point



burette reading at second end-point

Fig. 2.1

Experiment 2



initial burette reading



burette reading at first end-point



burette reading at second end-point

Fig. 2.2

Table 2.1

	Experiment 1 using solution **C**	Experiment 2 using solution **D**
burette reading at first end-point / cm^3		
burette reading at second end-point / cm^3		
initial burette reading / cm^3		
volume added from burette to reach first end-point / cm^3		
total volume added from burette to reach second end-point / cm^3		

解：先按题给两种终点分别记录。本题锥形瓶中的酸 B 含混合指示剂，逐渐加入碱 C 或 D。原题规定第一次到达所述红变橙，继续加入后经橙变黄，再到第二次所述黄变绿。应跟随这份题目给定的顺序，不能把常见的“酸加入碱、甲基橙黄变橙”生搬到这里。完整(a)要求读取六个液面，并填两列五行。

实验 **1**，溶液 **C**。依次读凹液面底部：初读数 **1.6cm³**，第一终点 **21.2cm³**，第二终点 **41.0cm³**。两个累计体积都减最初的 1.6cm³：

$$\text{到第一终点} = 21.2 - 1.6 = 19.6 \quad \text{cm}^3$$

$$\text{到第二终点} = 41.0 - 1.6 = 39.4 \quad \text{cm}^3$$

实验 **2**，溶液 **D**。初读数 **0.4cm³**，第一终点 **10.2cm³**，第二终点 **20.1cm³**。两个累计体积都减本实验最初的 0.4cm³：

$$\text{到第一终点} = 10.2 - 0.4 = 9.8 \quad \text{cm}^3$$

$$\text{到第二终点} = 20.1 - 0.4 = 19.7 \quad \text{cm}^3$$

按原表顺序完整填写如下。

Table 2.1

	Experiment 1 using solution **C**	Experiment 2 using solution **D**
burette reading at first end-point / cm^3	**21.2**	**10.2**
burette reading at second end-point / cm^3	**41.0**	**20.1**
initial burette reading / cm^3	**1.6**	**0.4**
volume added from burette to reach first end-point / cm^3	**19.6**	**9.8**
total volume added from burette to reach second end-point / cm^3	**39.4**	**19.7**

原 Table2.1 完整填答：两个终点的体积都减同一实验的初读数。全部读数和体积统一保留一位小数，单位沿用原表 cm³。

表格前两行写两个终点的“刻度读数”，第三行才是初读数；不能依看图时的顺序误填行。最后一行明确写 **total volume**，要从本实验最初读数累计。

如果只用第二终点减第一终点，会得到下面两个差值：

$$41.0 - 21.2 = 19.8 \quad \text{cm}^3$$

$$20.1 - 10.2 = 9.9 \quad \text{cm}^3$$

它们只是两终点之间新加的一段，不是本表要求的累计体积，因此不能填入 total volume 这一行。

六个读数与四个计算体积全部保留一位小数，符合本题至少一位小数且一致记录的要求。官方 5 分分别涉及两组正确液面读数、表格位置、四个正确体积及一致精度。两列使用不同溶液 C 和 D，两个终点也代表不同位置，不是四次同条件重复滴定，不能合在一起求一个“平均 titre”。

针对练习

1. （2024·May/June 0620/61 Q1） · 2 级

A student carries out a titration to find the concentration of a sample of dilute hydrochloric acid.

The student:

- adds 25.0 cm^3 of aqueous potassium hydroxide to the apparatus labelled **A** in Fig. 1.1

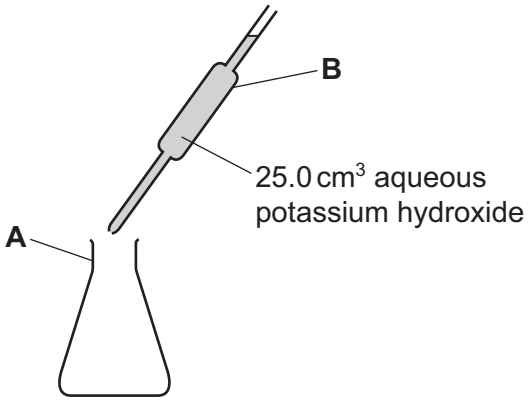


Fig. 1.1

- adds a few drops of a suitable indicator to the apparatus labelled **A**
- uses a burette to add dilute hydrochloric acid to the aqueous potassium hydroxide and indicator mixture in the apparatus labelled **A**.

(a) Name the items of apparatus labelled **A** and **B** in Fig. 1.1.

A

B

(b) The student adds the indicator after the volume of the 25.0 cm^3 of aqueous potassium hydroxide has been measured.

(i) Explain why the student adds an indicator to the aqueous potassium hydroxide.

(ii) Name a suitable indicator.

(c) Describe how the student can determine the volume of dilute hydrochloric acid used in this titration.

(d) The student observes the colour changes that occur as they add dilute hydrochloric acid from the burette.

State one **other** thing the student should do as they add the dilute hydrochloric acid to the aqueous potassium hydroxide.

2. （2024·February/March 0620/62 Q2(a)） · 3 级

A student investigates the reaction between aqueous sodium carbonate and two different solutions of dilute hydrochloric acid, labelled **A** and **B**.

The student does three experiments.

Experiment 1

- Rinse a burette with distilled water and then with dilute hydrochloric acid **A**.
- Rinse a conical flask with distilled water.
- Fill the burette with dilute hydrochloric acid **A**. Run some of the dilute hydrochloric acid out of the burette so that the level of the dilute hydrochloric acid is on the burette scale.
- Record the initial burette reading.
- Use a measuring cylinder to pour 25 cm^3 of aqueous sodium carbonate into the conical flask.
- Add five drops of methyl orange indicator to the conical flask.
- Stand the conical flask on a white tile.
- Slowly add dilute hydrochloric acid **A** from the burette to the conical flask, while swirling the flask, until the solution becomes orange.
- Record the final burette reading.

Experiment 2

- Refill the burette with dilute hydrochloric acid **A**. Run some of the dilute hydrochloric acid out of the burette so that the level of the dilute hydrochloric acid is on the burette scale.
- Record the initial burette reading.
- Empty the conical flask and rinse it with distilled water.
- Use the measuring cylinder to pour 25 cm^3 of aqueous sodium carbonate into the conical flask.
- Add five drops of thymolphthalein indicator to the conical flask.
- Stand the conical flask on a white tile.
- Slowly add dilute hydrochloric acid **A** from the burette to the conical flask, while swirling the flask, until the solution becomes colourless.
- Record the final burette reading.

Experiment 3

- Repeat Experiment 1, using dilute hydrochloric acid **B** instead of dilute hydrochloric acid **A**.

(a) Use the burette diagrams in Fig. 2.1, Fig. 2.2 and Fig. 2.3 to record the readings for Experiments 1, 2 and 3 in Table 2.1 and complete Table 2.1.

Experiment 1



initial reading final reading

Fig. 2.1

Experiment 2



initial reading final reading

Fig. 2.2

Experiment 3



initial reading final reading

Fig. 2.3

Table 2.1

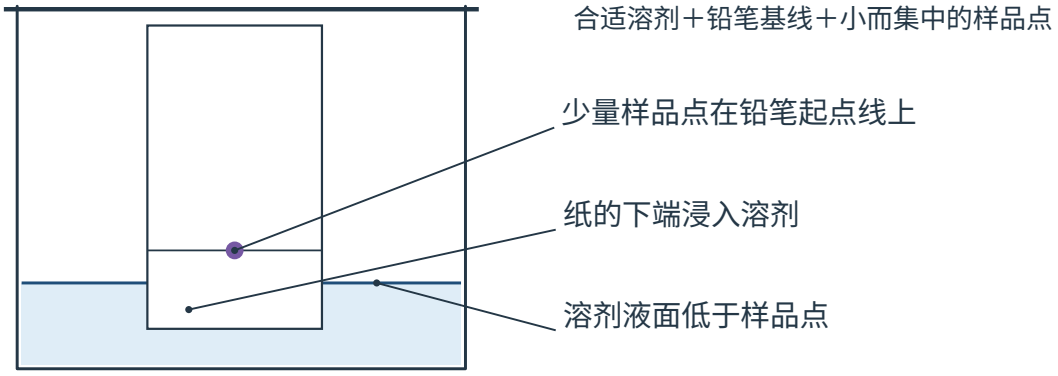
	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
final burette reading / cm^3			
initial burette reading / cm^3			
volume of dilute hydrochloric acid added / cm^3			

12.3 纸色谱

题型 1：由色谱装置、斑点和 Rf 鉴别混合物

知识点 先让溶剂沿纸移动，再看它怎样带开混合物。 paper chromatography（纸色谱）可分离能溶在合适溶剂中的不同物质。用铅笔在纸上画 baseline（起点线、基线），把少量样品点在基线上并晾干；将纸的下端放入溶剂，但初始液面必须低于样品点。铅笔石墨通常不溶于所用溶剂；用墨水画线可能另带入可移动的有色组分。

开始时：纸底接触溶剂，样品点在液面上方

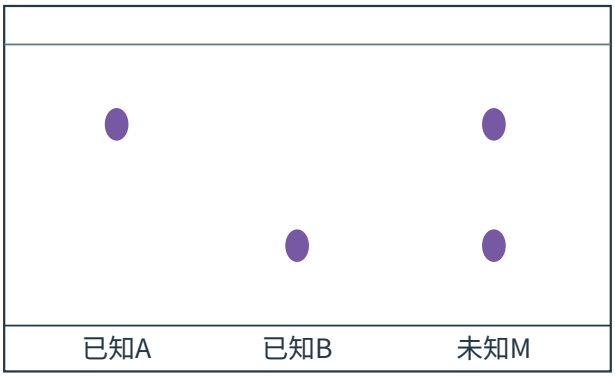


不让样品浸没在溶剂池中；盖上容器可减少溶剂蒸发。

纸底进入溶剂，基线与样品点保持在初始液面之上。图只示实验起始装置，不是最终斑点位置。

若液面把样品点淹没，样品可能直接溶入底部溶剂池，无法从一个集中的起点正常向上分离。若液面低到连纸底也碰不到，溶剂又不能沿纸上升。因此要同时满足“纸底进入溶剂”和“样品点高于液面”，不能只看其中一个条件。展开后取出纸，及时用铅笔标出 solvent front（溶剂前沿），避免溶剂蒸发后失去位置。斑点多少与走到哪里，是两种不同证据。在同样的纸、溶剂和条件下，纯物质常出现一个斑点，能分开的混合物出现多个斑点。未知样品的斑点若与已知物质同高，支持它们可能含同一组分；比较必须在相同展开条件下进行，不能把不同溶剂中的纸图直接混比。

在相同条件下，比较斑点数和相对位置



A、B各出现一个斑点

M有两个斑点，说明是混合物

M两斑点分别与A、B同高

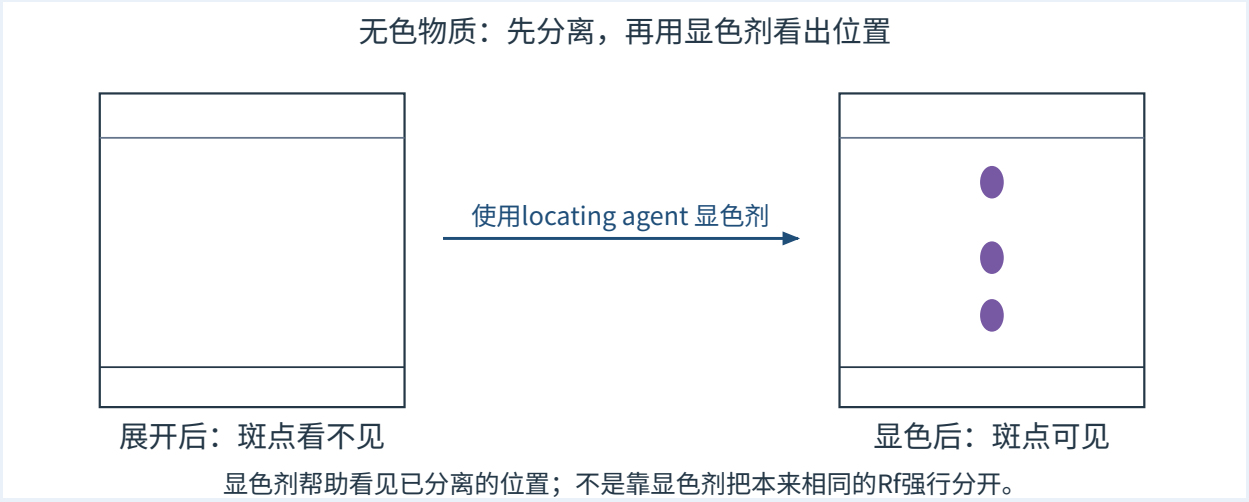
在这些条件下支持含有A和B

单一斑点可能包含未分开的组分；同位置支持相同物质，但不是单独的绝对身份证明。

三份样品在同一溶剂、同一张纸和同样条件下展开；两个未知斑点分别与已知 A、B 对齐。

图中 M 有两个分开的斑点，因此它是混合物；两点分别与已知 A、B 同高，支持 M 含 A 和 B。若只有一个斑点，按简单题意可支持纯物质，但还要记住后面会讲的重叠情况：两种不同物质可能没有被这个溶剂分开，所以“一点”并不是绝对纯度证明。颜色相似也不能替代对位置和实验条件的比较。

无色物质同样能分离，只是需要把位置显示出来。colourless substances 指原本看不见颜色的物质，例如题目中的某些 amino acids（氨基酸）。先用合适溶剂展开，再使用 locating agent（显色剂）使斑点可见。不要求记忆特定显色剂的名称，但要说明它的作用是显示已经分开的物质位置。



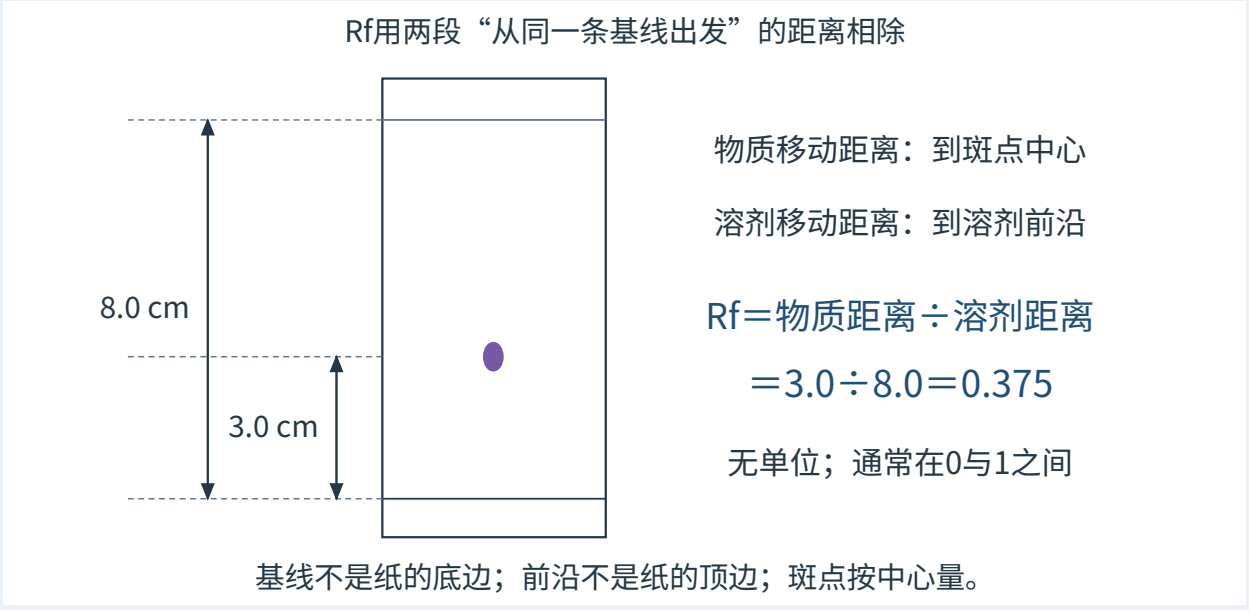
左图在普通观察下没有可见色点，右图在相同已分离位置显色；不要求记忆具体显色剂名称。

展开后纸面看似空白，不能马上判断“样品没有物质”。若样品本来无色，就需要适当显色再观察。相反，题目已经给出三个清楚斑点时，用“没有使用显色剂”解释为什么不是四个斑点，就不符合这一可见图像；应进一步考虑是否有组分重叠。

用距离比表达位置，叫 **Rf**。先量基线到斑点中心的距离，再量同一基线到溶剂前沿的距离。这两个从同一基线量起的距离之比，记作 Rf：

$$R_f = \frac{\text{物质移动距离}}{\text{溶剂移动距离}}$$

两段距离必须同单位；相除后单位抵消，因此 Rf 不带 cm 或 mm。通常斑点在基线与前沿之间，所以 Rf 在 0 与 1 之间。



本图精确按 3.0cm 与 8.0cm 比例绘制。两段长度从同一基线开始，分子与分母必须使用相同长度单位。

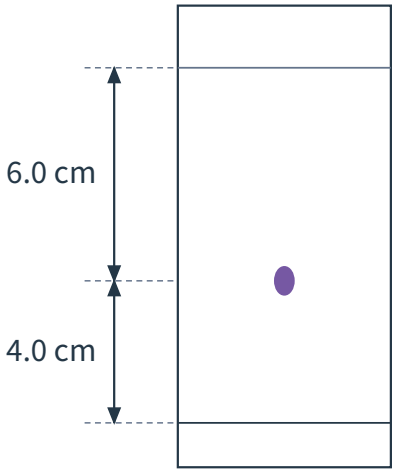
例如，物质走 3.0cm，溶剂走 8.0cm，两段距离单位相同，直接相除：

$$R_f = \frac{3.0}{8.0} = 0.375$$

若题目要两位小数，可写 0.38；不能倒除成 8.0÷3.0，也不能把纸的总长当分母。在其他条件相同的常见题目中，随溶剂走得较远的物质通常更易随该溶剂移动；如果溶剂是水，可据题意比较水中溶解性。实际移动还受物质与纸的相互作用影响，Rf 不是只由溶解度一个因素决定的普遍常数。

尺寸箭头若首尾相接，要先把全程加起来。有些题目给“基线到斑点”与“斑点到溶剂前沿”两段距离，溶剂总移动距离应是二者之和。这里第一段已经从基线开始，不能又减一遍纸底到基线的距离。

题给分段距离时，先把基线到前沿的全程拼出来



基线→斑点：4.0 cm

斑点→前沿：6.0 cm

基线→前沿＝4.0＋6.0

Rf＝4.0÷10.0＝0.40

纸边距不属于移动距离

这里4.0cm已经从基线开始；不能再减去纸底到基线的距离。

4.0cm 与 6.0cm 是首尾相接的两段，不是从纸底量起的高度。纸上下边距只保留为视觉参照，不进入计算。

再看分段标距的情况：基线到斑点为 4.0cm，斑点到前沿为 6.0cm。物质移动距离是 4.0cm；溶剂移动的是全程，所以先把两段相加：

$$\text{溶剂移动距离} = 4.0 + 6.0 = 10.0 \quad \text{cm}$$

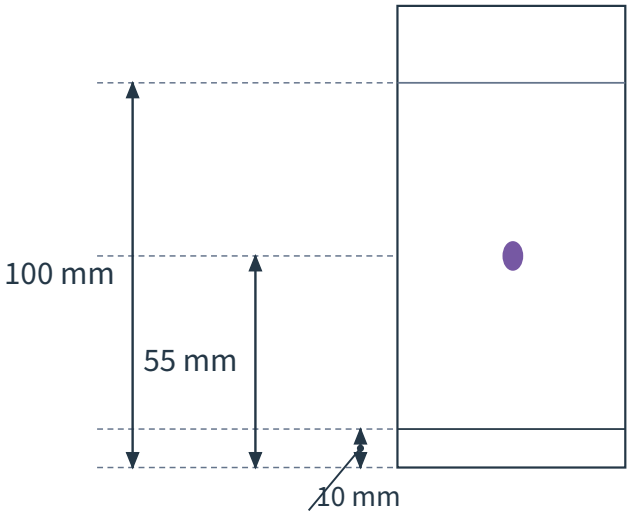
再求距离比：

$$R_f = \frac{4.0}{10.0} = 0.40$$

纸上方或下方剩多少空白不改变这两个移动距离；用 4.0÷6.0 会把“最后一段”误当“全程”。先顺着每根箭头找起点、终点，比先找两个顺眼的数相除可靠。

如果给的是从纸底量起的高度，两边都要扣掉基线高度。高度描述某个位置离纸底多远，移动距离描述从样品实际出发的基线走了多远。这两个量只有当基线恰在纸底时才相同。一般情况下，要用斑点高度减基线高度，以及前沿高度减基线高度，再相除。

题给从纸底量起的高度时，两段都先减基线高度



基线高度10mm

物质距离＝55−10＝45mm

溶剂距离＝100−10＝90mm

Rf＝45÷90＝0.50

不能用55÷100

先读每根尺寸箭头的两个端点，再决定是“相加”还是“相减”。

本图三个高度都从同一纸底量起。斑点与前沿各自减去 10mm，才得到从基线开始的实际移动距离。

图中基线高 10mm，斑点高 55mm，前沿高 100mm。这些高度从纸底量起；移动距离则都要从基线量起：

物质移动距离 $= 55 - 10 = 45$ mm

溶剂移动距离 $= 100 - 10 = 90$ mm

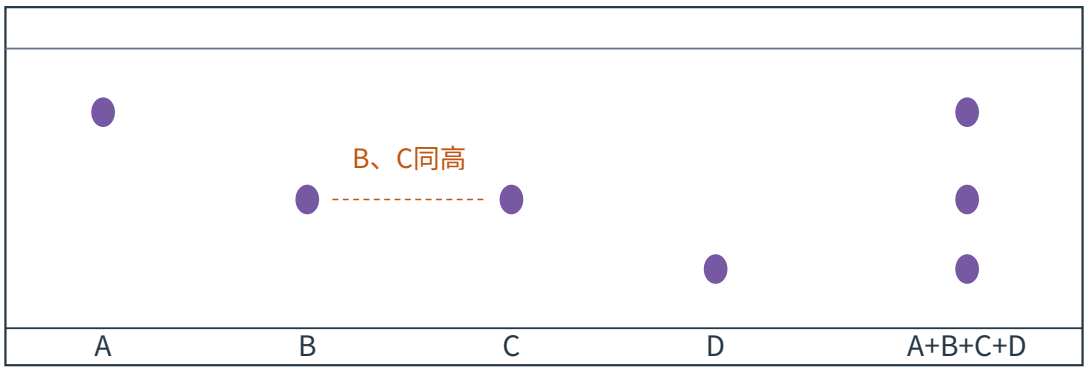
因此：

$$R_f = \frac{45}{90} = 0.50$$

直接 55÷100 把共同起点错误地放在纸底；只从分子减 10 而不从分母减，则让两段距离从不同起点开始，也不正确。若原题说 not drawn to scale，使用标注值，不拿尺量图猜长度。

多个组分可以有相同 **Rf**，最后重叠在同一位置。 两种物质在同一展开条件下走了相同距离，可能形成一个重叠斑点。因此四种组分不保证恰好四个分开的斑点；如果图中已经有三点，而且其他实验条件正常，应考虑其中两种没有被分开。

四种物质可能只出现三个斑点：相同Rf会重叠



在同样展开条件下，B与C具有相同Rf；混合物中它们不能分成两个可见位置。

五道在同样条件下展开，右道的中间斑点来自 B 和 C 重叠。四种物质不保证恰有四个分开的斑点。

已知 A、B、C、D 四种物质中，B 与 C 在同一高度，混合样品就可能只有 A 的位置、B 与 C 共同的位置、D 的位置三个斑点。若某组分完全不溶于溶剂，它可能停留在起点，而不是自动从纸上消失；要把这个预期与题图是否在基线上有斑点比较。改变合适溶剂或条件可进一步尝试分离重叠物质，但不能凭一个重叠点直接说它们一定是同一种化合物。

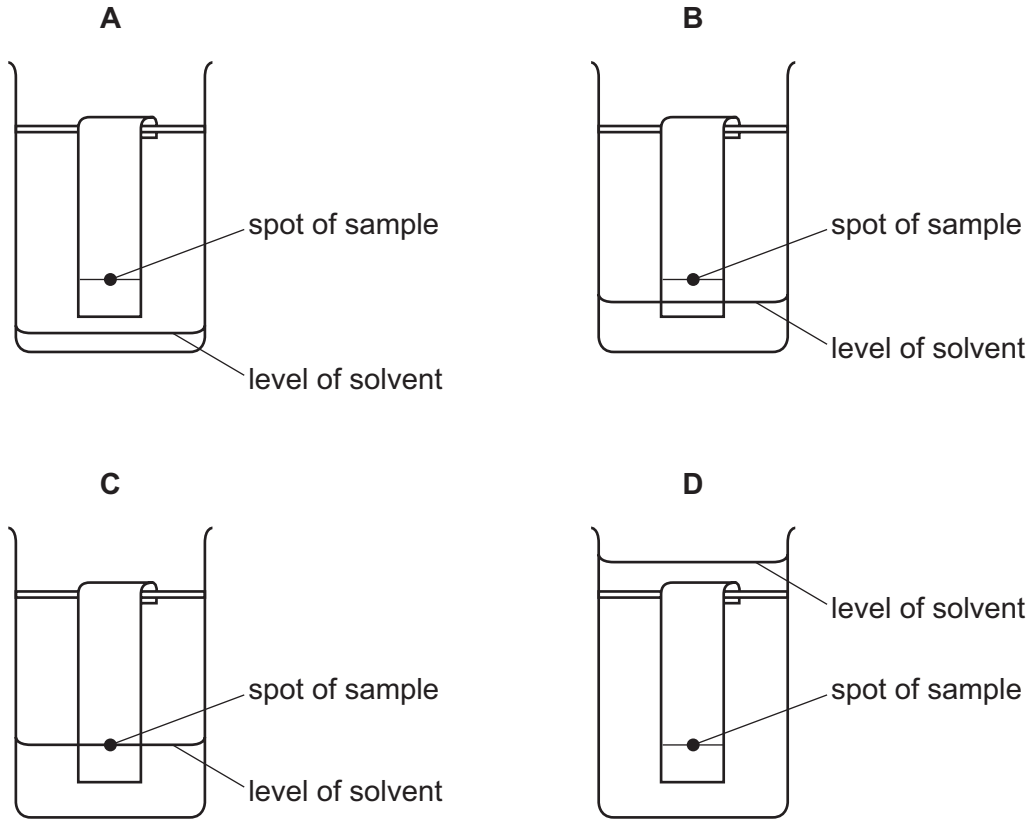
初始液面应低于_____，纸底应_____。无色物质可用_____显示斑点。Rf 的两段距离都从_____量起，分子量到_____，分母量到_____。Rf 相同的两种物质可能_____。

答案：样品点/基线；接触溶剂；显色剂 locating agent；同一基线；斑点中心；溶剂前沿；重叠

怎么认 装置同时看纸底能否碰到溶剂、样品是否高于液面；图像看斑点数和同条件位置；Rf 先读尺寸箭头两个端点，分段距离相加、绝对高度扣基线，再以物质距离除溶剂距离。

例题 1 （2025·May/June 0620/12 Q38） · 2 级

Which diagram shows the correct level of solvent at the start of a chromatography experiment?



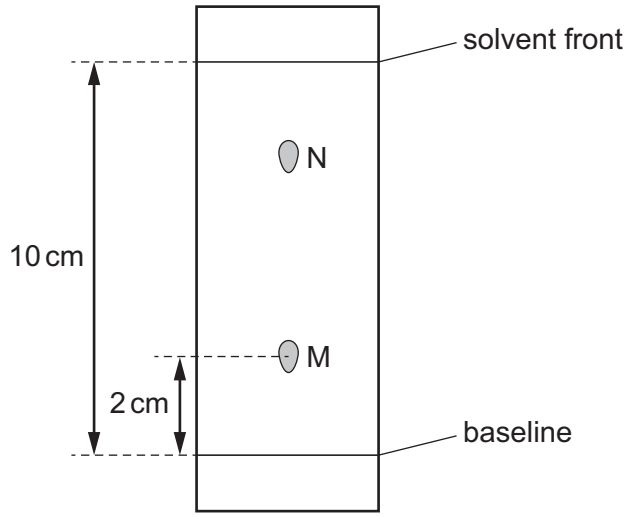
解：正确起始装置要同时满足两点：纸的下端接触溶剂，溶剂才能沿纸上升；样品点在液面之上，不能先浸入溶剂池。

A 的液面太低，低于纸的下端，不能正常把溶剂引入纸中。B 的纸底浸在溶剂中，样品点仍高于液面，两点都满足，正确。C 的液面达到样品点，D 则把样品点淹在液面以下，都会让样品先与底部溶剂直接混合。因此选 **B**。不要只看“液面比样品低”就选 A，还要核对纸底是否真正碰到溶剂。

例题 2 （2023·May/June 0620/22 Q39） · 2 级

Two compounds, M and N, are dissolved in water and separated by chromatography.

The results are shown.



What is the R_f value of M and which compound is most soluble in water?

	R_f value of M	most soluble compound
A	0.2	M
B	0.2	N
C	5.0	M
D	5.0	N

解：

先计算 M 的 Rf。图中 M 从 baseline 到斑点中心走了 2cm，溶剂从同一 baseline 到 solvent front 走了 10cm：

$$R_{f(\mathrm{M})} = \frac{2}{10} = 0.2$$

两个距离单位相同，相除后单位抵消，Rf 没有单位。

再比较 M 与 N。N 在纸上走得更远，在这道同条件、水作溶剂的题目中，说明 N 更易随水移动，对应 most soluble in water 选 **N**。

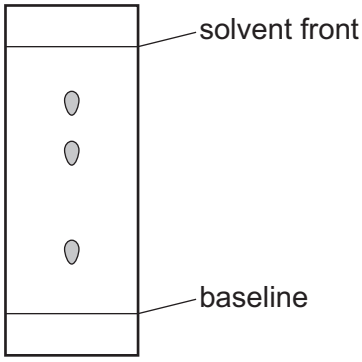
两列同时满足“0.2、N”的是 **B**。不能把分子、分母倒过来算 5.0；也不能认为 M 的 Rf 较小就表示它更易随溶剂移动。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/21 Q40） · 2 级

A mixture of four different colourless amino acids is analysed by paper chromatography.

The final chromatogram is shown.



Why does the chromatogram only show three spots?

A A locating agent is **not** used.

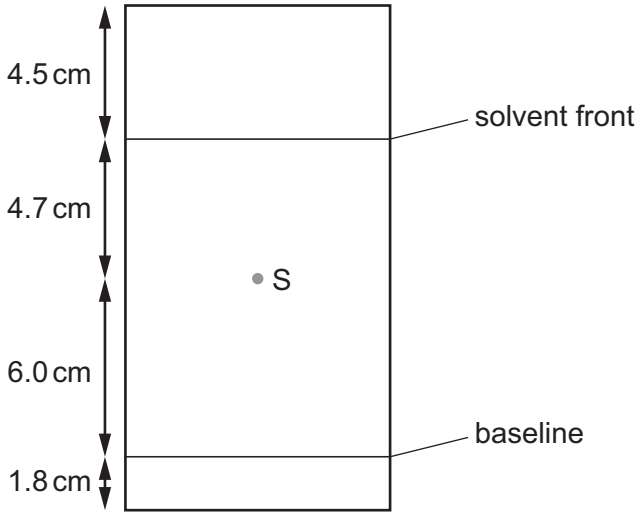
B One of the amino acids is insoluble in the solvent.

C The solvent front is too near the top of the paper.

D Two of the amino acids have the same R_f value.

2. （2023·May/June 0620/23 Q39） · 3 级

The chromatogram obtained from a chromatography experiment on substance S is shown.



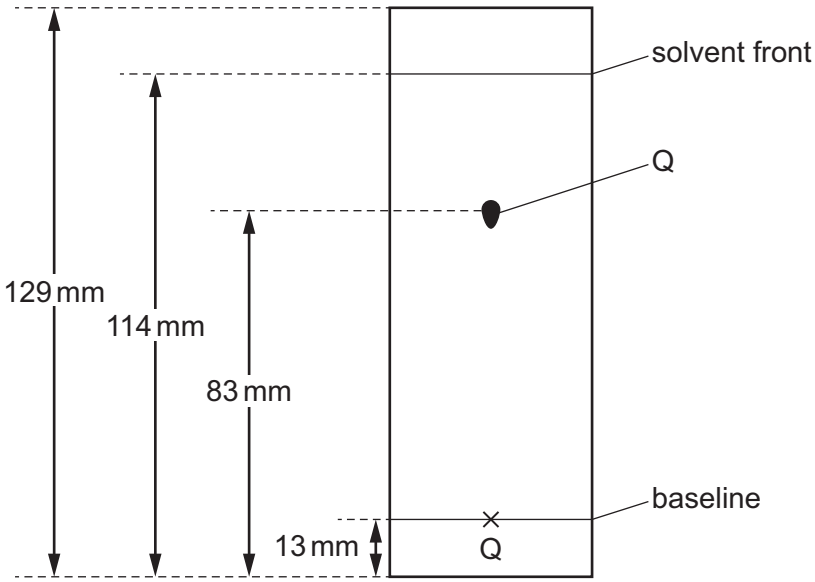
What is the R_f value of S?

A 0.39 **B** 0.46 **C** 0.56 **D** 0.62

3. （2023·October/November 0620/22 Q40） · 3 级

Substance Q is investigated using chromatography.

The chromatogram is shown. The diagram is not drawn to scale.



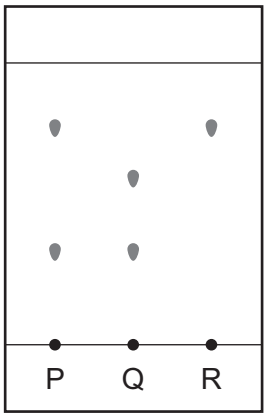
What is the R_f value of Q?

A 0.60 **B** 0.64 **C** 0.69 **D** 0.72

4. （2025·May/June 0620/13 Q39） · 3 级

Three coloured inks, P, Q and R, are tested using paper chromatography.

The chromatogram is shown.



Which statement is correct?

A P is a pure substance.

B P and Q have a colour that could be the same in both inks.

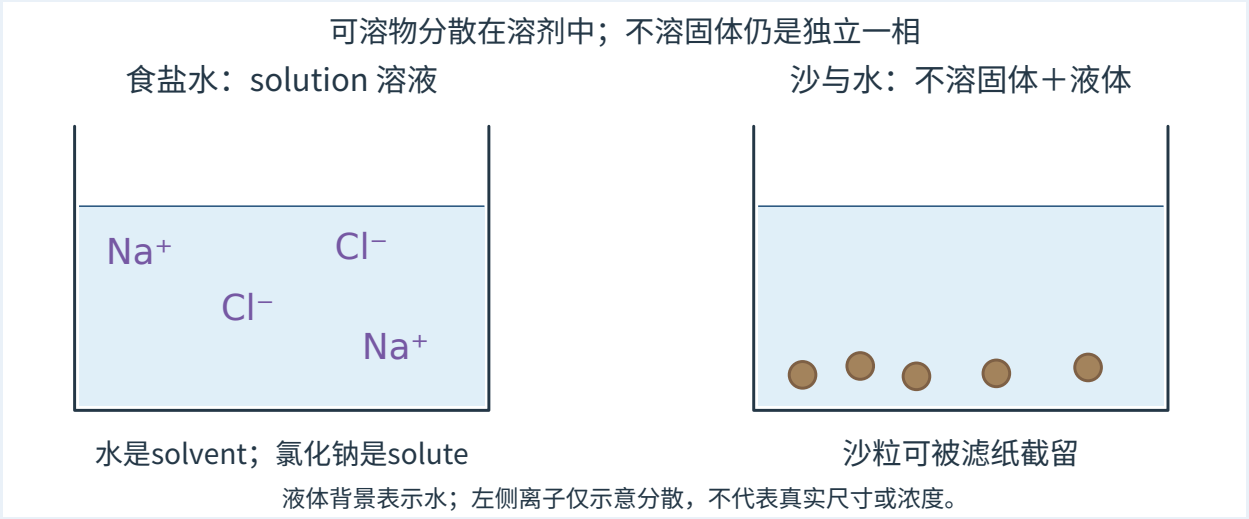
C The top line of the chromatogram is called the baseline.

D All the colours in R are also in Q.

12.4 分离、提纯与纯度

题型 1：按溶解性和沸点安排分离、提纯步骤

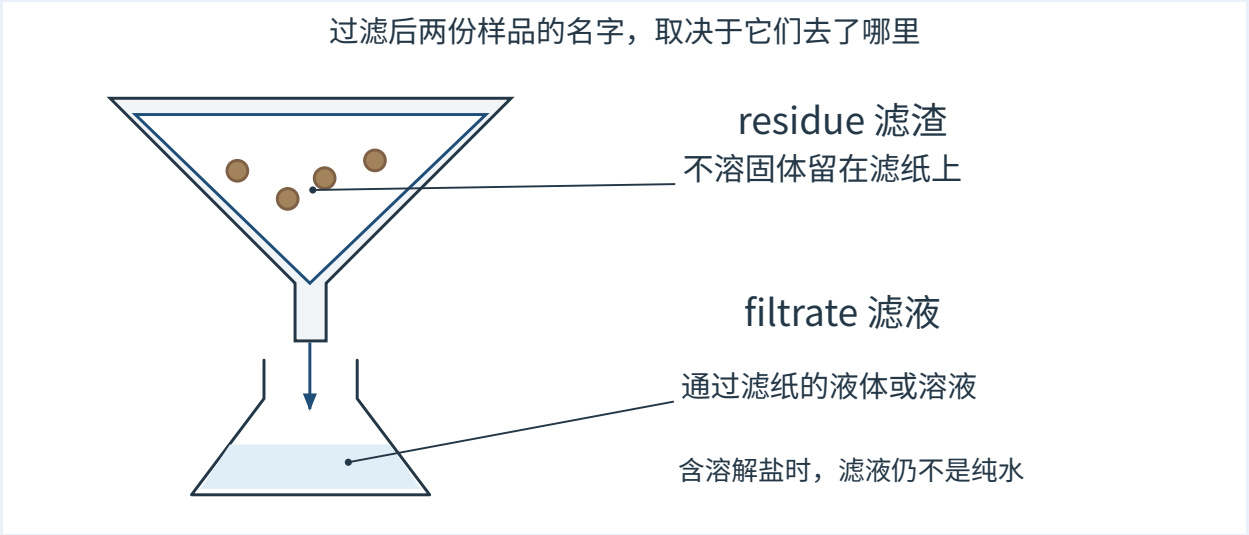
知识点 先判断哪些物质溶解，哪些仍是固体。solvent（溶剂）能溶解 solute（溶质）；一种或多种溶质溶在溶剂中形成 solution（溶液）。例如 sodium chloride（氯化钠，NaCl）溶于 water（水，H_2O），水是溶剂，氯化钠是溶质，整份食盐水才是溶液。混合物看起来透明，不表示没有溶质。



水作溶剂，氯化钠溶解后形成含 Na^+ 和 Cl^- 的溶液；沙不溶解，保持可分离的固体颗粒。

把食盐和沙分别加入足量水并搅拌。盐溶解，形成溶液；沙保留为不溶颗粒。下一步过滤时，沙会被滤纸截住，溶解的氯化钠却跟水一起通过。因此“先过滤食盐水得到固体盐”并不可行，必须按物质当前是否溶解来选择方法。

过滤分出不溶固体，滤渣和滤液要按去向命名。filtration 是过滤。留在滤纸上的固体叫 residue（滤渣），穿过滤纸的液体或溶液叫 filtrate（滤液）。residue 这个英文词还可以泛指蒸发、蒸馏等过程中留下的物质，具体身份要看当时的操作，不能把它永远等同于某一种盐。

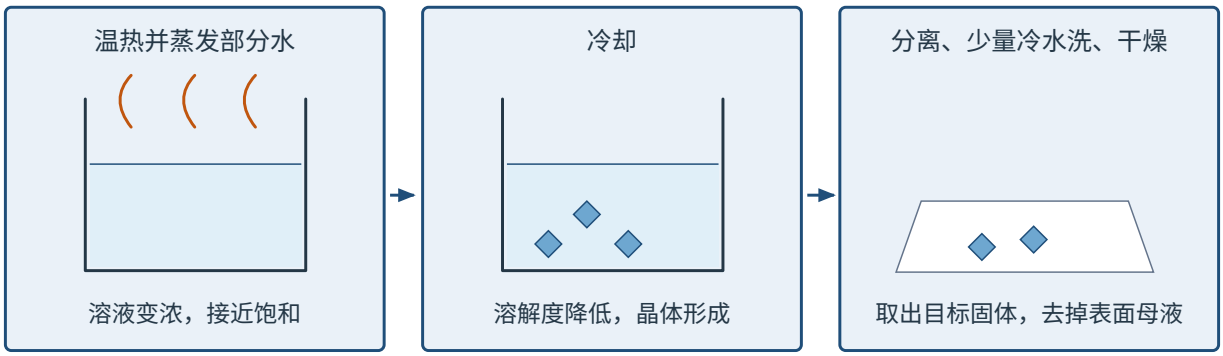


棕色颗粒表示不溶固体；蓝色箭头表示滤液流过。此图不把溶解盐画成会被滤纸截住的大颗粒。

反应后有过量不溶的氧化物和一种可溶盐。过滤时，过量氧化物留在滤纸上，盐溶液进入下方容器。问 name the residue 就写氧化物名称；问 name the filtrate 则写该盐的 aqueous solution。不能只写“固体”“液体”替代题目要求的具体名称，也不能把含盐滤液说成 pure water。

想从溶液得到晶体，需要理解饱和与温度。 saturated solution（饱和溶液）是在指定温度下，已含该溶质最大可溶浓度的溶液。多数本课程制晶体实例中，温度降低会降低溶解度，所以可先温热、蒸发部分水，使溶液较浓或接近饱和，再冷却 crystallise（结晶）。取出晶体后用少量冷水洗涤、干燥，除去表面母液。

结晶：先适当除去溶剂，再降温得到晶体



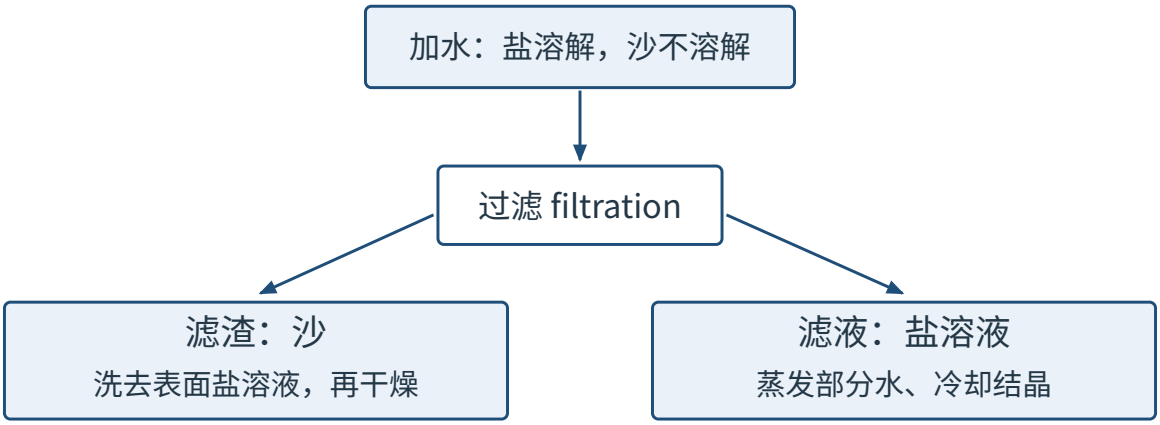
饱和只对指定温度成立；制水合晶体时通常不把溶液直接烧干。
“蒸发”帮助浓缩；“结晶”是目标溶质以晶体析出的过程。

蓝色晶体用菱形示意，不代表真实晶体尺寸；操作需按具体盐的性质调整。溶液尚含水时冷却，可得到晶体。

一份温热的饱和盐溶液冷却后出现晶体，说明在较低温度下，原先溶解的量超过了新的溶解能力。先过滤无法把仍溶解的盐留下；直接大火蒸到完全干燥也可能破坏要制取的水合晶体。若选择题提供 evaporation 而没有 crystallisation，可判断蒸发是从溶液取得盐的必要浓缩步骤，再按题意选择，不能因实际还会冷却就否认蒸发的作用。

选择合适溶剂，是把两种固体分开的起点。合适的溶剂应能溶解目标混合物中的某一组分，而另一组分不溶，并且不应在分离过程中与要回收的物质发生不需要的反应。先溶解、再过滤，便把原先混在一起的固体送到不同位置；随后分别回收。

盐与沙混在一起：让两种物质走不同的分离路径



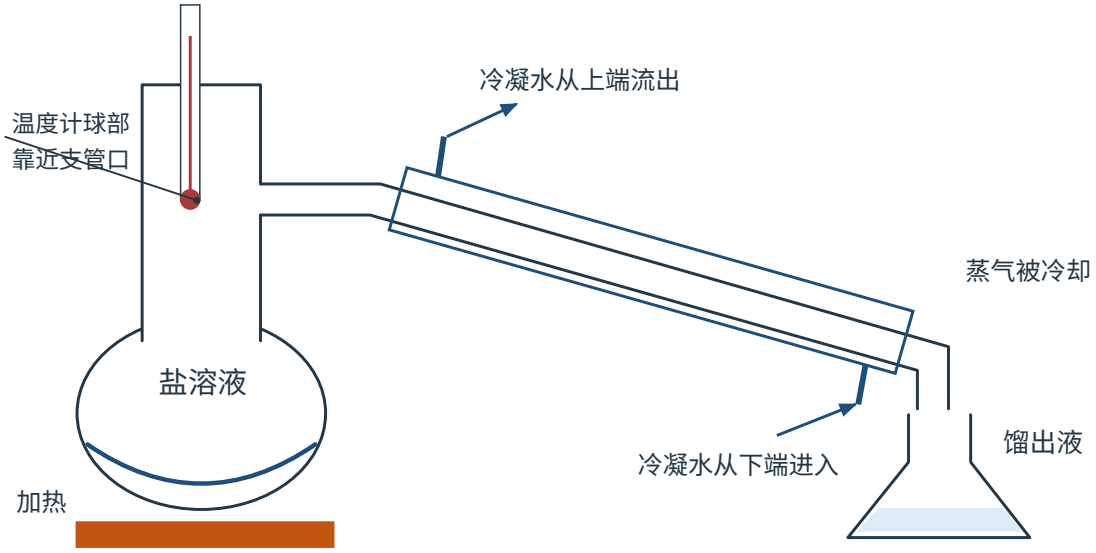
目标物不同，保留的那一份不同；不要过滤后随手丢掉需要的样品。

所选溶剂是水，因为本例盐可溶、沙不溶；两条分支保留各自物质，分别完成后续提纯。

要从盐和沙的混合物回收两者：加足量水搅拌使盐溶解；过滤，滤渣是沙，洗涤后干燥；滤液是食盐水，蒸发部分水后冷却结晶，再分离并干燥盐。每一步都说清“保留哪一份”；若过滤后丢掉滤液，盐就跟着丢失了。

想回收溶剂，可让它先蒸发，再冷凝。 simple distillation（简单蒸馏）适合从含不挥发溶质的溶液取得溶剂，例如从盐水取得水。加热使水成为蒸气，蒸气进入 condenser（冷凝器）后冷却成液体，收集的液体叫 distillate（馏出液）。盐留在原烧瓶中，不随水蒸气大量蒸出。

简单蒸馏：溶剂蒸发，再冷凝收集



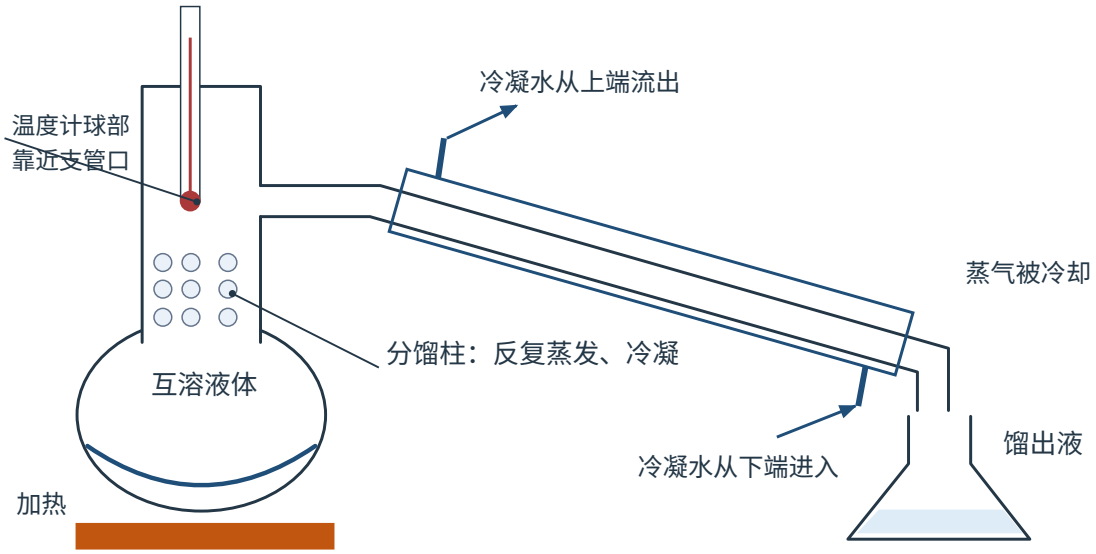
蒸发后再冷凝，收集水；常见不挥发盐留在原烧瓶。

装置连接示意；冷凝器下端进水、上端出水，温度计球部在蒸气进入支管附近。收集端与外界相通，系统没有密闭加热。

目标若是盐，使用蒸发、结晶；目标若是水，要增加冷凝与收集，因此选蒸馏。温度计球部靠近蒸气进入支管的位置，用于测蒸气温度；冷凝器夹套的冷却水从下端进、上端出，帮助夹套充满水。冷却水在外层夹套，样品蒸气在中央管，两者不能画成互相混合。

分离互溶液体时，利用沸点差异并加强重复分离。 fractional distillation（分馏）在烧瓶与冷凝器之间增加 fractionating column（分馏柱），让蒸气反复蒸发和冷凝，较低沸点的组分更容易进入上方蒸气，先在馏出物中富集。按相应温度范围分段收集，可比单次简单蒸馏更有效地分离沸点较接近的液体。

分馏：加入分馏柱，更有效分离不同沸点的液体

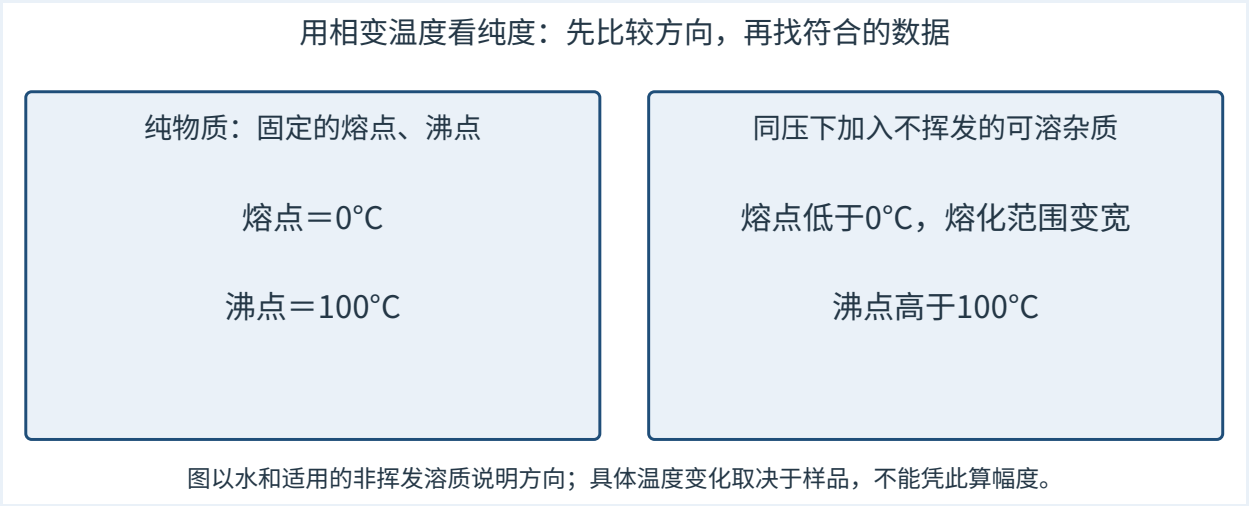


沸点较低的组分先富集在馏出液中；按温度范围分别收集。

装置连接示意；冷凝器下端进水、上端出水，温度计球部在蒸气进入支管附近。收集端与外界相通，系统没有密闭加热。

乙醇与水互溶，滤纸不能把一种液体截住而让另一种通过；二者沸点不同，可用分馏。先得到的是较富含低沸点组分的馏出物，不应无条件声称一次普通分馏就得到 100% 纯乙醇。若题干只问“mixture of liquids with different boiling points”，应先从沸点差异想到 fractional distillation。

熔点、沸点能帮助鉴别物质与判断纯度。在给定外界压强下，纯物质有特定的 melting point（熔点）和 boiling point（沸点）。含杂质的样品可能在一段温度范围内熔化。在本节“不挥发溶质溶在某种液体中”的题目里，常见方向是熔点降低、沸点升高；先与同压下纯物质的数据比较，不能凭“两个数都变了”就随便选。



图以水和适用的非挥发溶质说明方向；具体温度变化取决于样品，不能凭此算幅度。

比较保持相同外界压强；本图对应非挥发可溶杂质导致的熔点降低、沸点升高，不能推广为任何液体混合物都按固定数值变化。

普通大气压下纯水的熔点 0°C、沸点 100°C。若加入适用的非挥发可溶杂质，熔点可低于 0°C，沸点可高于 100°C；但仅知道有杂质，不能算出具体偏移多少。读负温度时尤其注意：−116°C 比−114°C 低，不是高。要认定纯度还需按实际实验数据、压力与题给参考值判断，外观无色透明本身不足够。

过滤后留在滤纸上的是_____，通过滤纸的是_____。饱和溶液必须说明_____。回收溶液中的盐可用_____，回收水可用_____；分离不同沸点的互溶液体常用_____。

答案：滤渣 residue；滤液 filtrate；温度；蒸发、结晶；简单蒸馏；分馏

怎么认 先找目标物并判断可溶或不溶、固体或互溶液体；过滤后分别追踪滤渣与滤液。盐用浓缩结晶，溶剂用蒸馏，互溶液体用沸点差异；纯度题逐项比较相变温度。

例题 1 （2025·May/June 0620/11 Q39） · 1 级

Excess solid magnesium oxide is added to dilute nitric acid.

Which separation technique is used to remove the excess solid magnesium oxide after the reaction finishes?

A chromatography

B crystallisation

C distillation

D filtration

解：magnesium oxide（氧化镁，MgO）加入稀硝酸后，题目明确说它是 excess solid，即反应结束仍有过量固体剩下。要从液体混合物中移走这些未溶的固体，使用 filtration（过滤）。

过滤时固体 MgO 留在滤纸上，含生成盐的溶液通过滤纸，故选 **D**。结晶用于从溶液取得晶体，蒸馏用于蒸发并冷凝回收液体，色谱用于分离溶解组分，均不是本问直接移走过量不溶固体的操作。

例题 2 （2025·May/June 0620/12 Q39） · 1 级

Which process is used to separate a mixture of liquids with different boiling points?

A dissolving

B crystallisation

C filtration

D fractional distillation

解：两个关键条件是 mixture of liquids（液体混合物）与 different boiling points（沸点不同）。分离应利用沸点差异，所以选择 **fractional distillation**，**D**。

分馏中混合物受热形成蒸气，经分馏柱反复蒸发、冷凝，较低沸点组分先在蒸气和馏出物中富集，再按相应温度范围收集。dissolving 只是溶解，crystallisation 用于取得晶体，filtration 针对不溶固体；它们不能仅靠这两个液体的沸点差异完成分离。

例题 3 （2025·May/June 0620/22 Q40） · 3 级

Pure ethanol has a melting point of –114 °C and a boiling point of 78 °C.

What are the melting and boiling points of a sample of ethanol with glucose dissolved in it?

	melting point / °C	boiling point / °C
A	–116	77
B	–116	79
C	–112	77
D	–112	79

解：先用纯乙醇的数据作比较基准：熔点–114°C，沸点 78°C。glucose（葡萄糖，$C_6H_{12}O_6$）作为不挥发溶质溶在 ethanol（乙醇，C_2H_5OH）中，符合本节熔点降低、沸点升高的情形。

熔点要低于–114°C，因此选–116°C 而不是–112°C。负数比较时，–116 更冷、更低。沸点要高于 78°C，因此选 79°C 而不是 77°C。

两列同时正确的是 **B**：**–116°C**、**79°C**。这里是从题给选项选出符合方向的一组，并不是仅凭“加入葡萄糖”就能自行计算温度恰好改变 2°C 和 1°C。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/41 Q3(c)(iii)） · 1 级

This question is about copper and compounds of copper.

(c) Copper(II) sulfate crystals are made by the reaction between copper(II) carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

The sulfuric acid has a concentration of 0.100 mol / dm^3.

step 1 Powdered copper(II) carbonate is added to dilute sulfuric acid. The mixture is stirred. A reaction occurs.

step 2 More copper(II) carbonate is added, with stirring, until the reaction stops.

step 3 Unreacted copper(II) carbonate is separated from aqueous copper(II) sulfate by filtration.

step 4 Aqueous copper(II) sulfate is heated until some of the water evaporates.

step 5 The remaining solution is allowed to cool and crystallise.

step 6 The crystals are removed and dried.

(iii) Name the residue in **step 3**.

2. （2025·May/June 0620/43 Q3(c)(ii)） · 1 级

This question is about zinc and compounds of zinc.

(c) Zinc sulfate crystals are made by the reaction between zinc carbonate and dilute sulfuric acid, using the following steps.

step 1 An excess of powdered zinc carbonate is added to dilute sulfuric acid.

step 2 Excess zinc carbonate is separated from aqueous zinc sulfate by filtration.

step 3 Aqueous zinc sulfate is heated until a saturated solution is formed.

step 4 The saturated solution is allowed to cool and crystallise.

step 5 The crystals are removed and dried.

(ii) Name the filtrate in **step 2**.

3. （2025·May/June 0620/21 Q39） · 1 级

Which method is used to obtain copper(II) sulfate crystals from an aqueous solution of copper(II) sulfate?

A chromatography

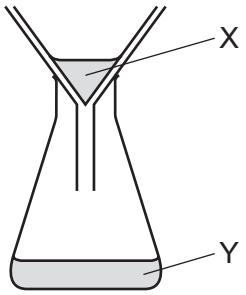
B condensation

C evaporation

D filtration

4. （2025·May/June 0620/22 Q39） · 2 级

A mixture containing an aqueous salt and an insoluble salt is filtered.



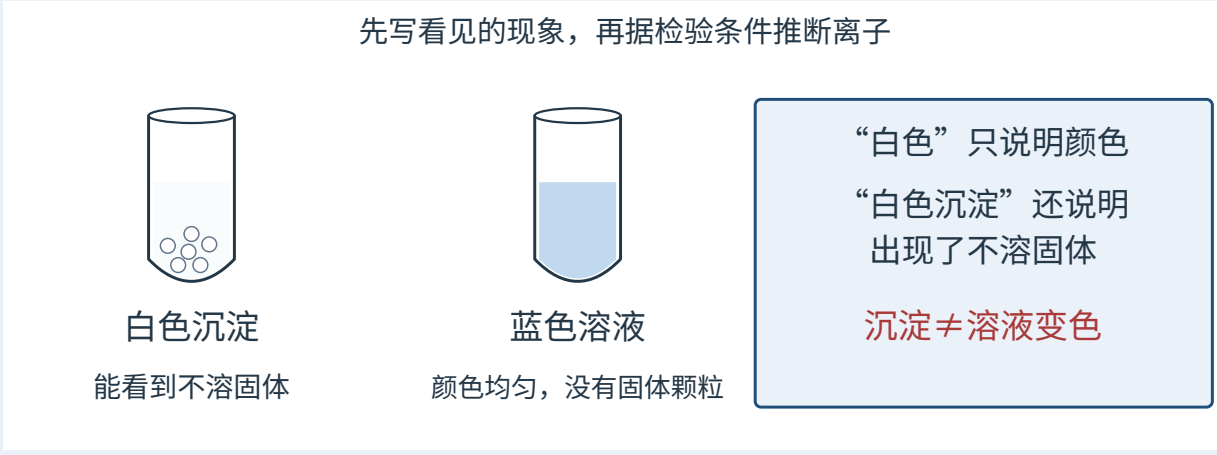
Which row describes X and Y?

	X	Y
A	solute	pure water
B	solute	filtrate
C	residue	pure water
D	residue	filtrate

12.5 离子、气体与焰色鉴别

题型 1：用沉淀颜色和过量试剂的结果识别阳离子

知识点 先区别“看到什么”和“由此判断是什么”。把两种溶液混合后，若出现分散在液体中的不溶固体，叫形成 precipitate（沉淀），记录时常缩写为 ppt.。沉淀可以悬浮，也可以慢慢沉到底部；不必等它完全沉下去才称为沉淀。只写“white”不够，应写 white precipitate（白色沉淀）。如果只是液体均匀变蓝，却没有固体，应写 blue solution（蓝色溶液）。



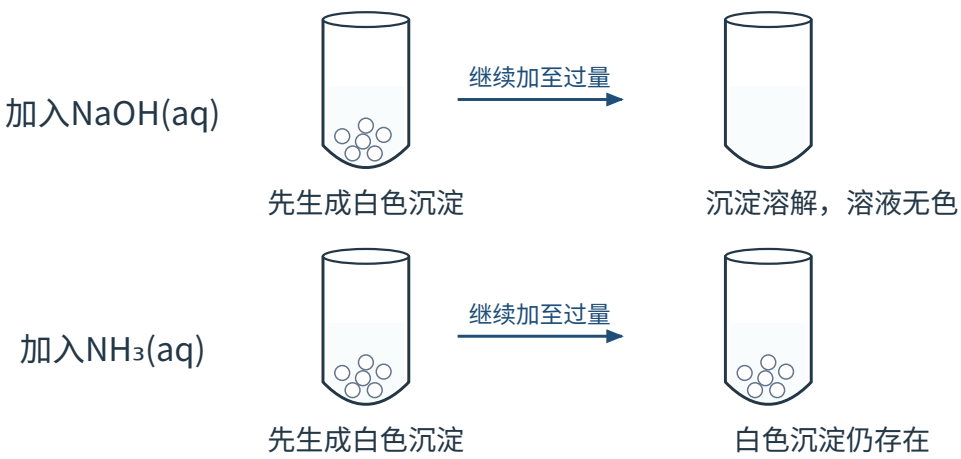
试管中的颗粒表示沉淀；右侧均匀液体表示有色溶液。白色沉淀本身不能唯一确定是哪一种离子。

一管加试剂后出现白色固体，先记录“white precipitate forms”。此时还不能只凭白色就断定 Al^{3+}，因为 Zn^{2+}、Ca^{2+}也可能产生白色沉淀。再结合用了什么试剂，以及继续加试剂后沉淀是否溶解，才有依据缩小候选。

dropwise 与 **in excess** 是同一管的两个阶段。dropwise 指逐滴加入；in excess 指继续加入，直到试剂超过反应所需的量。NaOH(aq)是氢氧化钠水溶液；aqueous ammonia 是氨水，写作 $NH_3(aq)$，其中 aq 表示水

溶液。两种试剂都可帮助形成某些金属氢氧化物沉淀，但过量时的结果不一定相同。比较两种试剂时，先把原溶液分成两份，分别做检验。

同一铝盐溶液另取两份：先少量，后过量



每行使用一份新鲜样品；不能向已加NaOH的那管再加氨水来比较。

每行从同一原溶液另取一份开始；箭头表示在这一份中继续加入同一种试剂至过量。

对 Al^{3+}溶液，第一份加 NaOH，先有白色沉淀；继续加 NaOH，沉淀溶解，得到无色溶液。第二份另加氨水，先有白色沉淀；继续加氨水，沉淀仍在。完整记录要写四个阶段结果，不能把“第一次形成白色沉淀”与“最后无色溶液”当成互相矛盾。

三个白色候选，要看哪一种过量试剂能使沉淀消失。过量试剂可使某些沉淀转变为溶解的含金属粒子；金属仍留在试管中，并未因为固体消失就被除去。Al^{3+}与 Zn^{2+}都可在过量 NaOH 中形成无色溶液，所以这一步不能区分二者。另取样品加氨水，Zn^{2+}形成的白色沉淀能被过量氨水溶解，Al^{3+}的不能。Ca^{2+}形成的白色沉淀不溶于过量 NaOH；加氨水则通常无沉淀，或只有极少量白色沉淀。

都是白色沉淀，还要比较过量试剂的结果

离子	NaOH：少量 → 过量	NH_3：少量 → 过量
Al^{3+} 铝离子	白色沉淀 → 溶解成无色溶液	白色沉淀 → 不溶
Zn^{2+} 锌离子	白色沉淀 → 溶解成无色溶液	白色沉淀 → 溶解成无色溶液
Ca^{2+} 钙离子	白色沉淀 → 不溶	无沉淀，或极少量白色沉淀

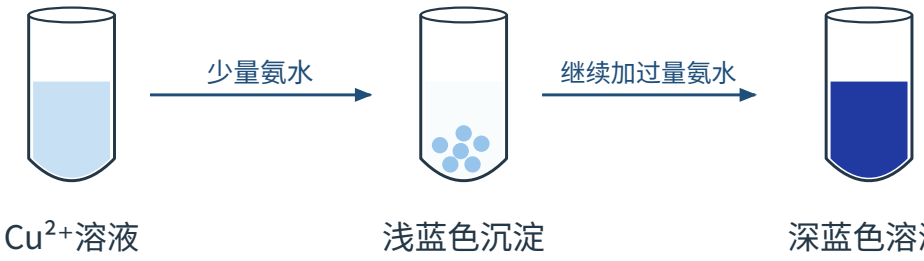
“可溶于过量”说的是刚形成的沉淀，不是原来的盐是否溶于水。

Ca^{2+}与氨水的观察保留“无沉淀或极少量白色沉淀”的条件范围；不能把它写成大量白色沉淀。

未知离子加 NaOH 先白后清，候选仍有 Al^{3+}和 Zn^{2+}。另一份样品加氨水，也先白后清，便支持 Zn^{2+}。若氨水过量后白色沉淀不消失，则支持 Al^{3+}。关键是按两份样品的完整结果共同判断，不能只查表中的第一个“白色”。

铜(II)检验要区分浅蓝色沉淀和深蓝色溶液。 Cu^{2+}遇少量 NaOH 或氨水，都会形成浅蓝色沉淀。继续加 NaOH，沉淀不溶；继续加氨水，沉淀溶解，液体变成深蓝色。最后应写“沉淀溶解，形成深蓝色溶液”，而不是“深蓝色沉淀”。在这一过程里，铜仍在溶液中，并没有从试管里消失。

铜(II)：氨水过量后得到深蓝色溶液



另取Cu^{2+}溶液加NaOH：浅蓝色沉淀形成后，过量NaOH也不能使它溶解。

深蓝色终点是均匀溶液，图中不再画沉淀颗粒；这不同于浅蓝色沉淀仍留在管中。

题目只写“ammonia dropwise until in excess”，虽然只有一个空，也经历两个阶段。因此把全过程写成“a light blue precipitate forms; it dissolves in excess ammonia to give a dark blue solution”。这样既交代最初出现的固体，也交代最终状态。

绿色沉淀要防止把 **Cr^{3+}**和 **Fe^{2+}**混为一谈。两种离子加氨水都可形成不溶于过量氨水的绿色沉淀。另取样品加 NaOH 并继续至过量，Cr^{3+}形成的绿色沉淀溶解，Fe^{2+}的仍在。Fe^{2+}沉淀静置后，靠近空气的上部还会逐渐变棕，这是铁(II)被氧化的表现。Fe^{3+}则从开始就给红棕色沉淀，与 Fe^{2+}不同。

绿色沉淀有两种候选：用过量NaOH再分开

离子	NaOH少量 → 过量	NH_3少量 → 过量
Cr^{3+} 铬(III)	绿色沉淀 → 溶解	绿色沉淀 → 不溶
Fe^{2+} 铁(II)	绿色沉淀 → 不溶	绿色沉淀 → 不溶
Fe^{3+} 铁(III)	红棕色沉淀 → 不溶	红棕色沉淀 → 不溶

Fe^{2+}的绿色沉淀静置后，上部接触空气处会逐渐变棕。

Fe^{2+}与Fe^{3+}电荷不同，检验观察不能混用。

表中逐行记录同一种离子的两种检验；静置变化针对 Fe^{2+}沉淀，并非所有绿色沉淀都变棕。

已知未知液加过量氨水仍留绿色沉淀，先写候选 Fe^{2+}、Cr^{3+}。为了分开它们，给一份新鲜样品加过量 NaOH：若沉淀溶解，选 Cr^{3+}；若绿色沉淀保留，选 Fe^{2+}。题目要求“describe a test and explain the result”时，必须写出操作和两种可能结果的意义。

铵根 **NH_4^+**用放出的氨气检验。 它不是金属离子，不能照搬“形成有色金属氢氧化物沉淀”。给样品加 NaOH 并温热，若含 NH_4^+，可放出 ammonia（氨气，NH_3）。在管口用湿润红色石蕊试纸检验，试纸变蓝。

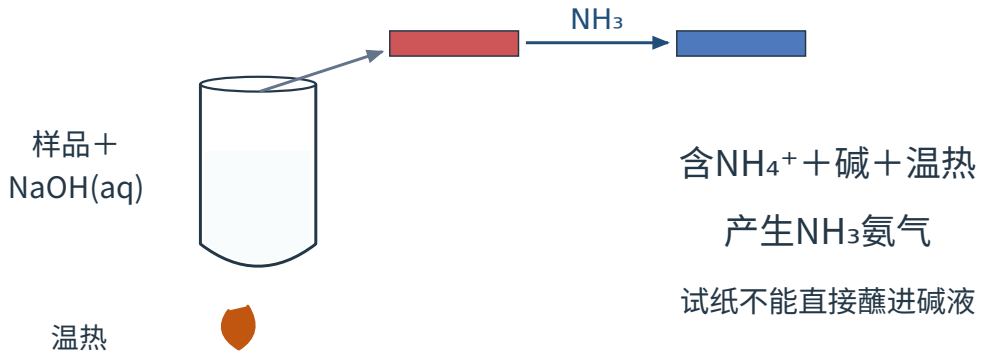
OH^-是氢氧根。铵根与它反应生成氨和水：

$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O$$

NH_4^+与 NH_3不同：前者是溶液中的铵根离子，后者是能逸出的氨分子。

铵根的检验看放出的气体，不看金属氢氧化物沉淀

湿润红色石蕊试纸变蓝



试纸放在管口接触气体，不直接接触 NaOH 溶液；否则变蓝不能证明是气体的作用。

对氯化铵溶液，加 NaOH 后温热，湿红石蕊在管口变蓝，支持含 NH_4^+。试纸不能直接蘸 NaOH 溶液，因为碱液本身也会使它变蓝；那样就没有确认逸出气体。若问 observations，写试纸变蓝；若问 identify the gas，写 ammonia 或 NH_3。

有些选择题把沉淀检验和焰色放在同一行。先逐列按实际试剂核对，再判断整行是否全部正确。钠盐、铜盐等可溶盐的名称并不保证加任何试剂都会有沉淀：NaOH、Na_2SO_4、$CuSO_4$等在这里保持溶解，不能把“发生混合”写成“白色沉淀”。$BaSO_4$不溶、$CaSO_4$微溶，可表现为白色沉淀。焰色用于金属离子：Na^+黄，Cu^{2+}蓝绿，Ba^{2+}浅绿，Ca^{2+}橙红。

综合表中的三列，要分别按三种检验核对

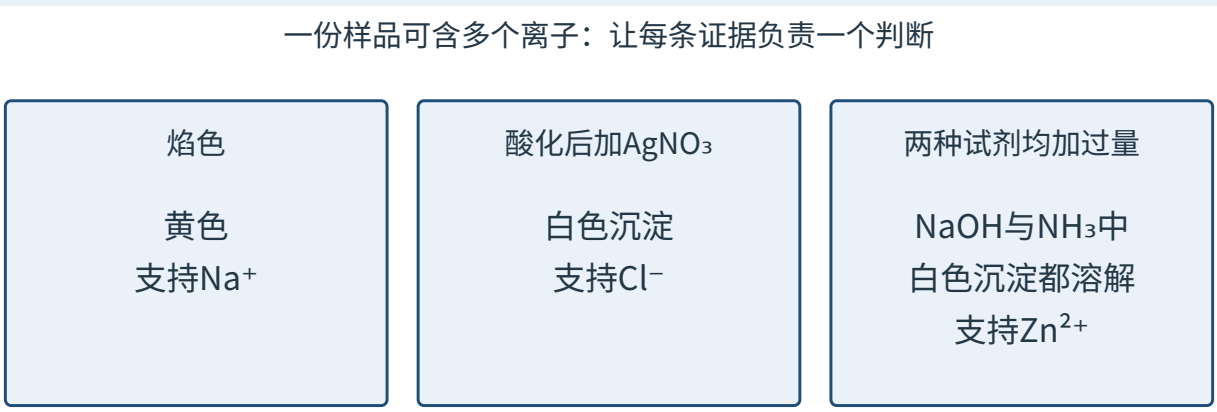
硝酸盐溶液	加NaOH	加稀H_2SO_4	焰色
Na^+	无可见变化	无可见变化	黄色
Cu^{2+}	蓝色沉淀	无可见变化	蓝绿色
Ba^{2+}	无可见变化	白色$BaSO_4$沉淀	浅绿色
Ca^{2+}	白色沉淀	白色$CaSO_4$沉淀	橙红色

每次另取样品；同一颜色不能代替同一试剂条件。$CaSO_4$微溶，可形成沉淀。

三列是对新鲜样品分别做的检验，没有把三种试剂顺次加入同一试管；硝酸盐本身均可溶。

若一行写钡盐“加稀硫酸无变化、焰色蓝绿”，先由 Ba^{2+}与 SO_4^{2-}形成白色 $BaSO_4$，排除“无变化”；再由钡的浅绿色焰色排除“蓝绿”。不能因为另一列看似合理，就接受这一整行。后面的焰色题型会完整说明操作。

同一未知样品可以同时含多个离子。多项检验不是要求所有现象都由一个离子承担。先按每项试验独立找证据，再合并成样品的离子名单。这里先用两条短桥：黄色焰色支持 Na^+；用稀硝酸酸化后加 $AgNO_3$，白色沉淀支持 Cl^-，黄色沉淀支持 I^-。两种过量试剂都把白色沉淀溶解，则支持 Zn^{2+}。



三条观察分别限定待测样品的组成，应合在一起判断。$AgNO_3$在酸化后对白、乳白、黄三种卤离子沉淀的判别见下型。

图中黄色焰色给 Na^+，酸化硝酸银的白色沉淀给 Cl^-，两种试剂的先白后清给 Zn^{2+}，合起来写 Na^+、Zn^{2+}、Cl^-。若第二条换成黄色沉淀，改变的是阴离子判断，不是钠的黄色焰色，也不是锌的过量溶解结果。白色沉淀只在过量 NaOH 中溶解、在过量氨水中不溶，支持_____；两种过量试剂都能使白色沉淀溶解，支持_____。Cu^{2+}在过量氨水中形成_____。NH_4^+加 NaOH 温热后放出的气体使湿红石蕊_____。

答案：Al^{3+}；Zn^{2+}；深蓝色溶液；变蓝

怎么认 题干给 NaOH 或 aqueous ammonia 时，先读阳离子，再分别写少量和过量的观察；未知离子题把颜色、过量溶解和另一种试剂的结果共同匹配。需要区别候选时，给出额外操作及其不同结果，不只写离子名字。

例题 1 (2025·May/June 0620/63 Q3(b)) · 2 级

A student tests two solids: solid **L** and solid **M**.

Tests on solid L

Solid **L** is hydrated aluminium chloride.

The student dissolves solid **L** in distilled water to form solution **L**. Solution **L** is divided into four approximately equal portions.

(a) To the first portion of solution **L**, the student adds aqueous sodium hydroxide dropwise and then in excess.

observations when added dropwise

observations in excess

(b) To the second portion of solution **L**, the student adds aqueous ammonia dropwise and then in excess.

observations when added dropwise

observations in excess

解：题干已经给出 L 是 hydrated aluminium chloride（水合氯化铝），溶于水后含 Al^{3+}。本题分成两份样品，分别用 NaOH 和氨水，不能把第二份看成向第一份中再加另一种试剂。

(a) 少量 NaOH 提供 OH^-，Al^{3+}形成白色沉淀。继续加到 NaOH 过量，沉淀溶解，形成无色溶液。因此两空依次写：**a white precipitate forms**；**the precipitate dissolves in excess to form a colourless solution**。

(b) 另一份加少量氨水也形成白色沉淀，但 Al^{3+}的这一沉淀不溶于过量氨水。因此依次写：**a white precipitate forms**；**the white precipitate remains / is insoluble in excess**。

复核时只比较最终状态：NaOH 过量后清，氨水过量后仍有白色固体，符合铝离子这一整套检验结果。

例题 2 （2024·May/June 0620/63 Q3(b)） · 3 级

A student tests two substances: solid **K** and solution **L**.

Tests on solid K

Solid **K** is copper(II) carbonate.

Complete the expected observations.

(a) The student adds about 5 cm^3 of dilute hydrochloric acid to solid **K**.

observations

The solution made in **(a)** is solution **M**. The student divides solution **M** into two portions.

(b) To the first portion of solution **M**, the student adds aqueous ammonia dropwise until it is in excess.

observations

解：

(a) 已知 K 是碳酸铜(II)。碳酸盐与稀酸反应放出 CO_2，所以加稀盐酸的预期观察为 **bubbles / fizzing / effervescence**，即有气泡。对应反应为：

$$CuCO_3 + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + CO_2 + H_2O$$

放出 CO_2后，留下的 M 是含 Cu^{2+}的溶液。

(b) 接下来取 M 的一份加氨水，目标离子是 Cu^{2+}。少量氨水先产生浅蓝色沉淀；继续加到过量，沉淀溶解并形成深蓝色溶液。完整写为：**a light blue precipitate forms; it dissolves in excess ammonia to give a dark blue solution**。

这一小问虽然只有一处作答位置，却要求从 dropwise 写到 in excess。只写“blue”会遗漏沉淀、溶解和深蓝色溶液这三个相继发生的状态。

例题 3 （2025·October/November 0620/61 Q3(d)） · 3 级

Tests on solid K

Table 3.1 shows the tests and the student's observations for solid **K**.

Table 3.1

tests	observations
test 1 Heat about half of solid **K** in a boiling tube until there is no further change. Hold anhydrous cobalt(II) chloride paper at the mouth of the boiling tube.	condensation forms at the top of the boiling tube the anhydrous cobalt(II) chloride paper changes colour from blue to pink
test 2 The remaining solid **K** is dissolved in distilled water to form solution **K**. Solution **K** is divided into three portions. To the first portion of solution **K**, add aqueous ammonia dropwise and then in excess.	a green precipitate forms the precipitate remains when excess aqueous ammonia is added
test 3 To the second portion of solution **K**, add 1 cm^3 of dilute nitric acid followed by a few drops of aqueous barium nitrate.	a white precipitate forms
test 4 To the third portion of solution **K**, add 3 cm^3 of aqueous sodium carbonate. Test any gas given off.	effervescence is seen and a green precipitate forms the gas turns limewater milky

(d) Two different cations can give the observations in **test 2**.

(i) Identify the **two** possible cations that the observations in **test 2** show could be in solid **K**.

(ii) Describe an additional test that can be carried out on solution **K** to confirm which of the two cations you have identified in **(d)(i)** is in solid **K**.

Explain how the result of this test shows which of these two cations is in solid **K**.

test

explanation

解：(d)(i) 先取题目指定的 test 2：加氨水生成绿色沉淀，且过量氨水中沉淀仍存在。Fe^{2+}和 Cr^{3+}都符合，故两个可能阳离子为 **iron(II), Fe^{2+}**与 **chromium(III), Cr^{3+}**。

(ii) 另取一份 solution K，滴加 NaOH 溶液，再继续加入至过量。两种候选都会先形成绿色沉淀，但过量 NaOH 中的结果不同：若沉淀溶解，形成绿色溶液，支持 Cr^{3+}；若绿色沉淀仍存在，支持 Fe^{2+}。

可完整写为：**Add aqueous sodium hydroxide to a fresh portion of solution K, then add it in excess. A green precipitate that dissolves indicates Cr^{3+}; a green precipitate that remains indicates Fe^{2+}.**

这项检验之所以有用，是因为它把原来在氨水中相同的两种结果变成了不同结果；只再重复加氨水仍不能区分。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/62 Q3(a)） · 1 级

A student tests two solids: solid **J** and solid **K**.

Tests on solid J

Solid **J** is iron(II) iodide.

The student dissolves solid **J** in water to form solution **J**. Solution **J** is divided into four portions.

(a) To the first portion of solution **J**, the student adds aqueous sodium hydroxide dropwise and then in excess.

observations when added dropwise

observations when added in excess

2. （2025·October/November 0620/63 Q3(a)） · 1 级

A student tests two substances: solution **A** and solid **B**.

Tests on solution A

Solution **A** is aqueous iron(III) nitrate.

Record the expected observations.

The student divides solution **A** into three approximately equal portions.

(a) To the first portion of solution **A**, the student adds aqueous ammonia dropwise and then in excess.

observations when added dropwise

observations in excess

3. （2025·February/March 0620/62 Q3(a)） · 1 级

A student tests two substances: solution **A** and solid **B**.

Tests on solution A

Solution **A** is aqueous chromium(III) chloride.

The student divides solution **A** into three approximately equal portions.

Complete the expected observations.

(a) To the first portion of solution **A**, the student adds aqueous sodium hydroxide dropwise until it is in excess.

observations

4. （2025·May/June 0620/11 Q40） · 3 级

Four different aqueous metal nitrates are tested separately with aqueous sodium hydroxide, with dilute sulfuric acid and with a flame test.

Which row shows the correct set of results for the named aqueous metal nitrate?

	aqueous metal nitrate	with aqueous sodium hydroxide	with dilute sulfuric acid	flame test
A	sodium nitrate	no visible change	white precipitate	yellow flame
B	copper(II) nitrate	blue precipitate	no visible change	blue-green flame
C	barium nitrate	white precipitate	no visible change	blue-green flame
D	calcium nitrate	no visible change	white precipitate	yellow flame

5. （2025·October/November 0620/62 Q3(d)） · 4 级

Tests on solid F

Table 3.1 shows the tests and the student's observations for solid **F**.

Table 3.1

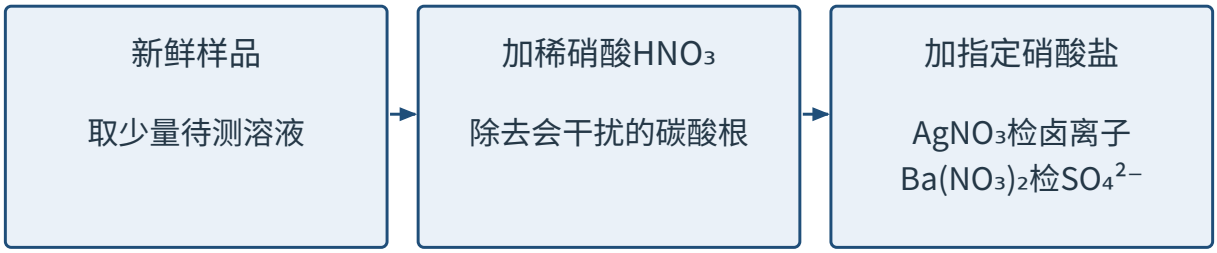
tests	observations
test 1 Carry out a flame test on solid **F**.	yellow flame
test 2 Dissolve the remaining solid **F** in distilled water to form solution **F**. Divide solution **F** into three portions. To the first portion of solution **F**, add about 1 cm^3 of dilute nitric acid followed by a few drops of aqueous silver nitrate.	yellow precipitate forms
test 3 To the second portion of solution **F**, add aqueous sodium hydroxide dropwise until in excess.	white precipitate forms the precipitate dissolves in excess aqueous sodium hydroxide to form a colourless solution
test 4 To the third portion of solution **F**, add aqueous ammonia dropwise until in excess.	white precipitate forms the precipitate dissolves in excess aqueous ammonia to form a colourless solution

(d) Identify the **three** ions in solid **F**.

题型 2：按酸化、试剂和沉淀或气体鉴别阴离子

知识点 先看试剂和操作顺序，再看颜色。 阴离子是带负电的离子，例如 Cl^-、SO_4^{2-}。检验卤离子或硫酸根时，先向新鲜样品加稀硝酸，再加入规定试剂。酸能除去可能形成干扰沉淀的碳酸根；硝酸不会额外带入 Cl^-或 SO_4^{2-}。所以检 Cl^-时不能改用盐酸，检 SO_4^{2-}时不能改用硫酸，否则可能把试剂带入的离子误认为原样品所含。

先酸化，再加入检验离子的试剂



检Cl^-不用HCl酸化，检SO_4^{2-}不用H_2SO_4酸化。

否则试剂自己带入待检离子，阳性结果就不能归给原样品。

硝酸不会向样品带入 Cl^-或 SO_4^{2-}。对碳酸根干扰的除去依赖其与酸生成气体这一已教反应。

一份没有 Cl^-的样品，若先加盐酸，就已经带入 Cl^-；随后加 $AgNO_3$也会有白色 AgCl。这个白色沉淀不能证明原样品有 Cl^-。按规定用稀 HNO_3酸化，才能避免这条由试剂造成的假线索。

三种卤离子用相同试剂、不同沉淀颜色区分。chloride 是 Cl^-，bromide 是 Br^-，iodide 是 I^-。酸化后加入 aqueous silver nitrate（硝酸银溶液，$AgNO_3$），三者分别形成白色 AgCl、乳白色 AgBr、黄色 AgI。这些是银盐固体，所以完整观察都应含 precipitate 一词。金属阳离子变了，不会把同一个 Br^-的银盐颜色改成 Cl^-的颜色。

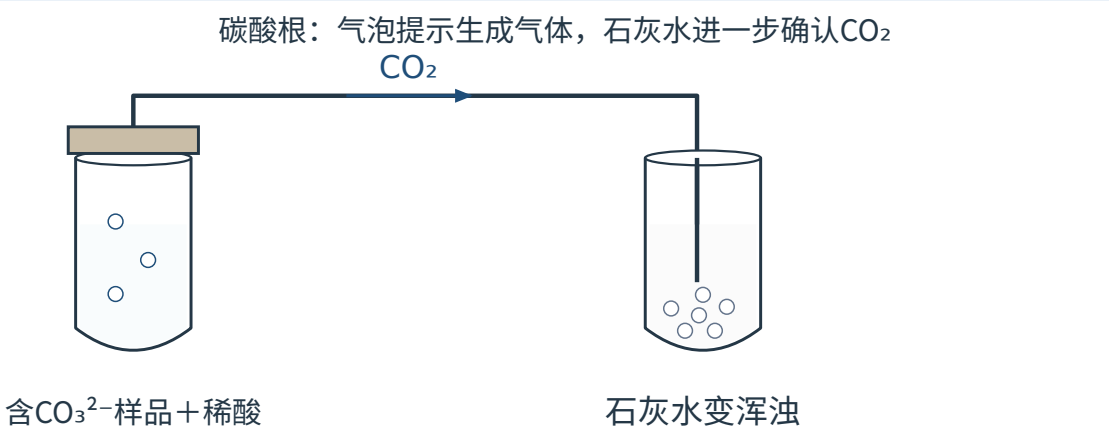
相同条件：先用稀硝酸酸化，再加$AgNO_3$(aq)



cream 译为乳白色或奶油色，与纯白和黄色区分；图中沉淀颜色同时由文字标注。

NaBr 和 $CrBr_3$都含 Br^-。分别用稀 HNO_3酸化后加 $AgNO_3$，两者都给 cream precipitate（乳白色沉淀）。只看到盐名中的钠或铬还没有完成判断，要找本次检验实际针对的卤离子。

碳酸根先与稀酸反应，再确认气体。carbonate 是 CO_3^{2-}。加稀酸后若有 effervescence（气泡、起泡），说明有气体生成；碳酸根与酸生成 CO_2和水。将气体通入 limewater（石灰水），变浑浊是 CO_2的阳性结果。仅写“有气泡”不能在所有未知实验中唯一确定气体就是 CO_2。



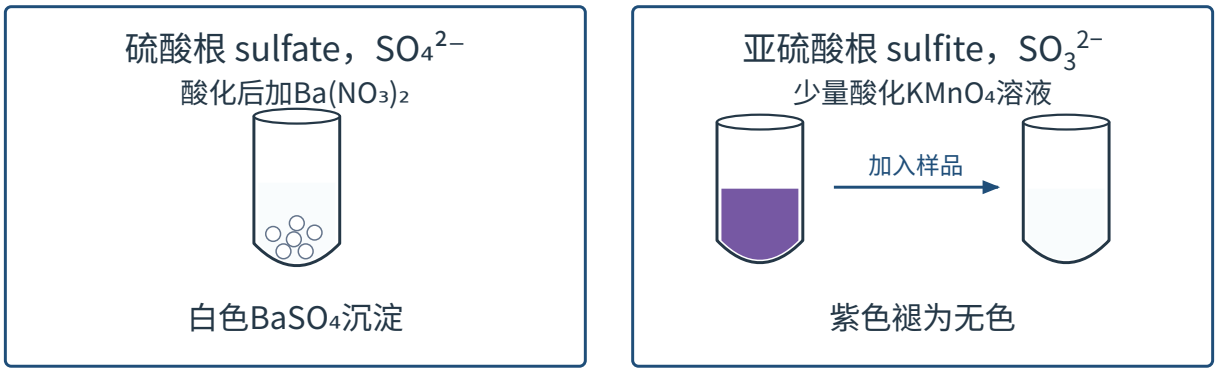
气体经导管进入石灰水，气体出口向外开放；图为连接示意，不给气体体积或浓度。

例如，碳酸钙遇稀盐酸起泡，反应为：

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

把逸出气体通入石灰水，出现乳白色浑浊，便完成碳酸根所需的两段证据：样品遇酸放气，气体确认为 CO_2。

硫酸根与亚硫酸根不能只看名字相似就套用同一结果。sulfate 是 SO_4^{2-}；先用稀硝酸酸化，再加 $Ba(NO_3)_2$ 溶液，形成白色 $BaSO_4$ 沉淀。sulfite 是 SO_3^{2-}；加入少量 acidified aqueous potassium manganate(VII)（酸化高锰酸钾溶液，$KMnO_4$），试剂从紫色变无色。这是氧化还原中的褪色现象，没有生成“白色高锰酸钾沉淀”。



左边白色沉淀为硫酸钡；右边是检验试剂的紫色褪去，没有把颜色变化画成新沉淀。

$(NH_4)_2SO_4$ 与酸化后的硝酸钡产生白色沉淀，证据属于 SO_4^{2-}，不是 NH_4^+。另一份亚硫酸盐使酸化 $KMnO_4$ 由紫变无色，证据属于 SO_3^{2-}。先锁定试剂，再写与它配对的现象，不能把所有含硫阴离子都写成“白色沉淀”。

硝酸根要用铝在碱性条件下还原，再检验氨气。 nitrate 是 NO_3^-。给样品加 NaOH 溶液和铝箔，轻轻加热，若产生 NH_3，可使管口湿润红色石蕊变蓝。铝箔是这一硝酸根检验的必要条件。已学的 NH_4^+ 检验则只需加碱温热，不用先把硝酸根还原；因此“某盐名字含 nitrate”不等于“只加 NaOH 就一定放氨”。由放氨判断 NO_3^- 时，还须排除原样品已有 NH_4^+ 放氨的干扰，不能把任何来源的氨都当成硝酸根的证据。

硝酸根检验：NaOH＋铝箔＋温热，三项条件都要保留

样品可能含的离子	操作	阳性结果
NH_4^+ 铵根	加NaOH并温热	产生NH_3，湿红石蕊变蓝
NO_3^- 硝酸根	加NaOH、铝箔并温热	产生NH_3，湿红石蕊变蓝

硝酸盐中的N原来不在NH_4^+里；铝在碱性条件下使硝酸根还原，才放出氨。

相同气体阳性结果必须联系不同前处理解释；只加 NaOH 温热不能把普通硝酸盐直接当成铵盐。

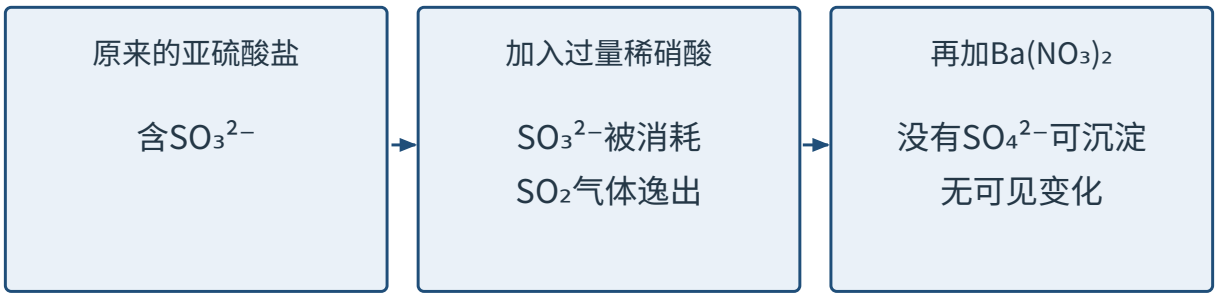
比较 $NaNO_3$与 NH_4Cl。只加 NaOH 并温热，NH_4Cl 能放出 NH_3，$NaNO_3$没有这项铵根反应。若对硝酸盐再加入铝箔并温热，就具备规定的硝酸根还原检验条件。回答时同时保留 NaOH、铝箔、温热和湿红石蕊变蓝四个要素。

连续操作题每一步的样品组成可能已经改变。题目写“to the solution produced”时，后一步加入的是上一步反应后的溶液。亚硫酸根遇过量稀酸可生成 SO_2并逸出：

$$SO_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow SO_2 + H_2O$$

它已经离开溶液，就不能继续把原来的 SO_3^{2-}当成下一步的待测离子，也不能凭空把它写成 SO_4^{2-}。

下一步检验的对象，是上一步反应后留下的溶液



$$SO_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow SO_2 + H_2O$$

不能把已反应消失的离子继续算作下一步溶液中的离子。

这段依据所示先加过量稀酸的操作；没有把硝酸自行假定为在本题条件下将亚硫酸根变成硫酸根。

一份亚硫酸盐已与过量稀酸反应，SO_2逸出后，再向剩余液体加 $Ba(NO_3)_2$。若题中没有提供形成 SO_4^{2-}的条件，就没有依据写白色 $BaSO_4$沉淀。按给定反应追踪，记录无可见变化。SO_2使酸化 $KMnO_4$由紫变无色，若试剂浸在白色滤纸上，可表现为纸上的紫色消失、露出白色。

酸化后加 $AgNO_3$，Cl^-、Br^-、I^-的沉淀颜色依次为_____、_____、_____。SO_4^{2-}用酸化后的_____检验；SO_3^{2-}使酸化 $KMnO_4$从_____变为_____。检 NO_3^-时，NaOH 与温热之外还需加入_____。

答案：白色；乳白色；黄色；硝酸钡溶液 $Ba(NO_3)_2$；紫色；无色；铝箔

怎么认 先确认试剂组合和是否酸化，再选该试剂针对的阴离子；写观察时给完整沉淀颜色或气体阳性检验。出现“solution produced”就先追踪前一步哪些离子已被消耗，不能直接沿用原样品组成。

例题 1 (2025·May/June 0620/62 Q3(c)) · 1 级

A student tests two solids: solid **J** and solid **K**.

Tests on solid J

Solid **J** is iron(II) iodide.

The student dissolves solid **J** in water to form solution **J**. Solution **J** is divided into four portions.

(c) To the third portion of solution **J**, the student adds 1 cm^3 of dilute nitric acid followed by a few drops of aqueous silver nitrate.

observations

解：原固体 J 是 iron(II) iodide，溶液中含 I^-。题目已指定先加稀硝酸，再加硝酸银，正是卤离子的检验方法。I^-与 Ag^+形成不溶的 AgI，颜色为黄色，因此观察写 **yellow precipitate forms**（形成黄色沉淀）。这一步的沉淀由碘离子决定，不由铁(II)在 NaOH 中的绿色沉淀决定；两题使用的试剂不同。

例题 2 (2025·October/November 0620/63 Q3(b)) · 3 级

A student tests two substances: solution **A** and solid **B**.

Tests on solution A

Solution **A** is aqueous iron(III) nitrate.

Record the expected observations.

The student divides solution **A** into three approximately equal portions.

(b) (i) To the second portion of solution **A**, the student adds excess aqueous sodium hydroxide.

observations

(ii) To the product from **(b)(i)**, the student adds a small piece of aluminium foil. The student gently warms the mixture formed and tests any gas produced.

observations

(iii) Identify the gas produced in **(b)(ii)**.

解：(b)(i) A 是 iron(III) nitrate 溶液，含 Fe^{3+}和 NO_3^-。先加过量 NaOH，Fe^{3+}形成不溶于过量 NaOH 的 **red-brown precipitate**（红棕色沉淀），这是当前可见的金属离子检验结果。

(ii) 随后在碱性混合物中加入铝箔并轻轻加热，具备硝酸根还原检验的条件。产生的气体用管口湿润红色石蕊试纸检验，观察为 **the damp red litmus paper turns blue**。

(iii) 使湿红石蕊变蓝的气体是 **ammonia**，**NH_3**。

第一步的红棕色固体与后一步的放氨并不矛盾：前者来自 Fe^{3+}，后者来自 NO_3^-在加入铝后的反应。不能因为第一步已经产生沉淀，就忽略题目后面继续加入的铝箔和温热条件。

针对练习

1. （2024·May/June 0620/61 Q3(b)） · 1 级

A student tests two substances: solution **E** and solid **F**.

Tests on solution E

Solution **E** is aqueous chromium(III) bromide.

Solution **E** is divided into two portions.

Record the expected observations.

(b) To the second portion of solution **E**, the student adds about 1 cm^3 of dilute nitric acid and a few drops of aqueous silver nitrate.

observations

2. （2025·October/November 0620/62 Q3(b)） · 1 级

A student tests two solids: solid **E** and solid **F**.

Tests on solid E

Solid **E** is ammonium sulfate.

Record the expected observations.

The student dissolves solid **E** in distilled water to form solution **E**. The student divides solution **E** into three approximately equal portions.

(b) To the second portion of solution **E**, the student adds about 1 cm^3 of dilute nitric acid followed by a few drops of aqueous barium nitrate.

observations

3. （2025·May/June 0620/12 Q40） · 3 级

Four different colourless solutions are each tested separately with aqueous sodium hydroxide and with acidified aqueous silver nitrate.

Which row shows the results for sodium chloride?

	aqueous sodium hydroxide	acidified aqueous silver nitrate
A	no visible reaction	white precipitate
B	no visible reaction	no visible reaction
C	white precipitate	no visible reaction
D	white precipitate	white precipitate

4. （2024·October/November 0620/61 Q3(c)） · 3 级

A student tests two solids: solid **T** and solid **U**.

Tests on solid T

Solid **T** is lithium sulfite.

Complete the expected observations.

The student dissolves the remaining solid **T** in water to form solution **T**.

The student divides solution **T** into two portions.

(c) (i) To the second portion of solution **T**, the student adds excess dilute nitric acid.
The gas produced turns filter paper soaked in acidified aqueous potassium manganate(VII) white.

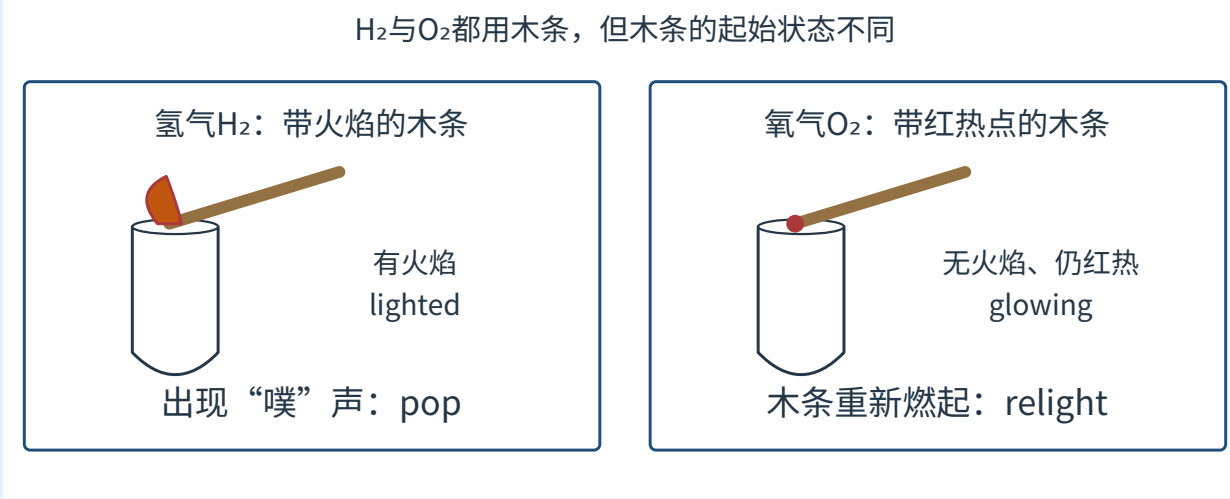
Identify the gas produced.

(ii) To the solution produced in **(c)(i)**, the student adds aqueous barium nitrate.

observations

题型 3：选择气体检验并区分操作与阳性现象

知识点 气体检验要把“怎样做”和“看到什么”成对写出。不少气体都无色，不能只看试管外观就确定种类。氢气 H_2 用 lighted splint，即带火焰、已经点燃的木条；阳性现象是 pop（“噗”一声，爆鸣）。氧气 O_2 用 glowing splint，即没有火焰但仍有红热点的木条；氧气使它 relight（重新燃起）。木条起始状态不同，结果也不同。



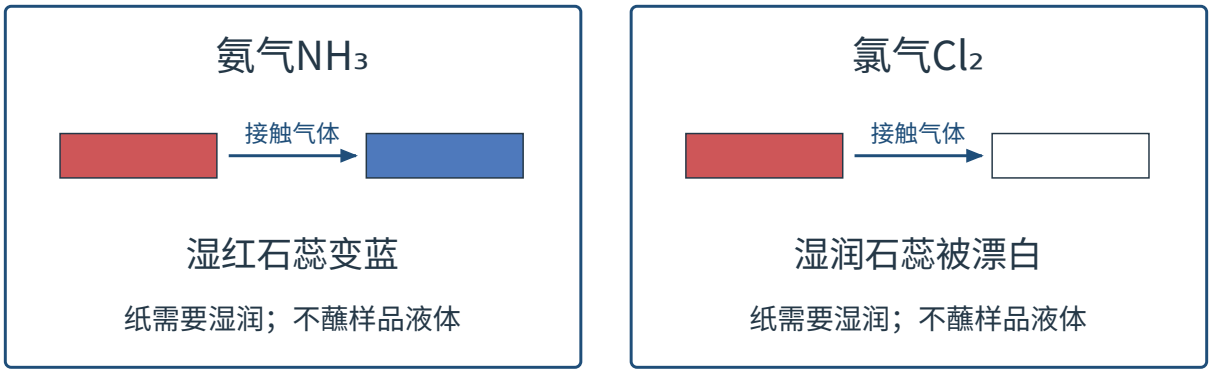
左边是已经点燃的木条，右边是熄去火焰仍发红的木条；起始状态和阳性现象都要写。

若写“将木条放在管口，有反应”，读者不知道木条原来有没有火焰，也不知道出现什么。检氢可写“place a lighted splint at the mouth of the test-tube; a squeaky pop is heard”。检氧则写“insert a glowing splint; it relights”。两种结果不能交换。

湿润石蕊可以区分氨气变蓝与氯气漂白。氨气 NH_3 使 damp red litmus paper（湿润红色石蕊试纸）变蓝。氯气 Cl_2 会 bleach（漂白）湿润石蕊，使原有颜色消失，最终变白。“red to blue”和“coloured to white”是

两种不同证据。试纸要湿润，才能提供气体发生相应作用所需的水分；检气体时让它接触气体，不直接蘸入试管中的碱液。

同样接触湿润石蕊：变蓝与漂白是不同结果

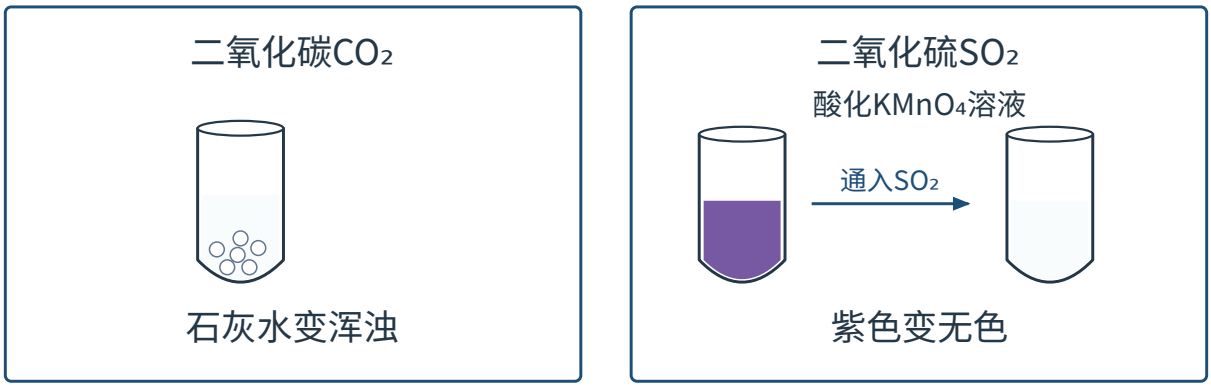


白色终点指染料颜色被漂去；不能把漂白写成“蓝色石蕊变红”或把氨气写成漂白。

湿红石蕊放入气体后变白，阳性变化是漂白，选 Cl_2；不是看到“红色石蕊”就选 NH_3。若它变成蓝色，则按氨气的检验判断。CO_2虽然能表现酸性，却不以把湿润石蕊漂白为本节阳性特征。

二氧化碳看石灰水，二氧化硫看酸化高锰酸钾。CO_2使石灰水变 milky（乳白、浑浊），因为形成不溶的碳酸钙。SO_2使酸化 $KMnO_4$由 purple（紫色）变 colourless（无色）。后者观察的是试剂颜色褪去，不是把 SO_2气体描述成紫色，也不是产生白色沉淀。

CO_2与SO_2：选对试剂，写出试剂怎样改变



不能只写“溶液变化”或“有反应”，要写所用试剂和它的阳性现象。

CO_2检验生成白色浑浊，SO_2检验是酸化高锰酸钾的紫色消失；两个终点的物理状态不同。

某气体使酸化 $KMnO_4$的紫色消失，可按 SO_2的阳性检验回答。若题目还给它由亚硫酸盐与酸生成，反应来源与检验结果相互支持。另一管使石灰水产生白色浑浊，按本节规定检验判断 CO_2；答题必须写出试剂名字，不能都只写“溶液变白”。

由气体倒查原物质时，还要用原反应条件。若湿红石蕊变蓝，先确定 NH_3，再查看原物质能否提供 NH_4^+和碱性条件。铵盐与碱温热会放氨，适当的碱性氧化物也能与铵盐在题给加热条件下放氨。以 CaO 与 NH_4Cl 在题给加热条件下反应为例：

$$CaO + 2NH_4Cl \rightarrow CaCl_2 + 2NH_3 + H_2O$$

铵根失去 H，变成 NH_3；氧化物中的 O 与这些 H 形成水。酸性氧化物不能代替这里的碱性反应物。硝酸盐与铵盐不是同一类物质：题目只给 NaOH 和温热、没有铝箔时，不能自动调用硝酸根还原检验。

由阳性气体倒查加热混合物中的条件

管口：湿红石蕊变蓝 气体为NH_3	样品：铵盐＋碱性物质 具备放出氨的条件

$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O$$

硝酸盐不等于铵盐；题目未给铝还原条件时，不能把NO_3^-当成NH_4^+。

左栏为看到的气体证据，右栏为解释气体来源所需的化学条件；两栏是证据对应，不是两种气体互相转化。

NH_4NO_3含 NH_4^+，所以只加 NaOH 温热也能放氨；$Al(NO_3)_3$虽然也含 NO_3^-，却没有 NH_4^+，题中若也未加铝箔，就不能只据名称中的 nitrate 判断放氨。一个物质可以同时含两种可检离子，选择哪条反应要由实际试剂决定。

H_2用_____木条，阳性现象为_____；O_2用_____木条，阳性现象为_____。NH_3使湿红石蕊_____；Cl_2使湿润石蕊_____。CO_2使_____变浑浊，SO_2使酸化 $KMnO_4$由_____变_____。

答案：点燃的 lighted；爆鸣 pop；带红热点的 glowing；复燃 relight；变蓝；漂白为白色；石灰水；紫色；无色

怎么认 先按木条、石蕊或溶液的实际阳性现象确定气体，再核题给反应物能否在指定条件下生成它。Describe a test 必须把试剂或器具状态与观察结果成对写出。

例题 1 （2025·February/March 0620/32 Q3(c)） · 1 级

(c) Describe a test for hydrogen.

test

observations

解：要说明一种可实际区分氢气的阳性检验。将点燃的木条放在装有少量待测气体的试管口，若为氢气，可听到“噗”的爆鸣声。

两行可写：test：**hold a lighted splint at the mouth of the test-tube**；observations：**a squeaky pop is heard**。这里是 lighted（已点燃、有火焰），不是氧气检验用的 glowing（带红热点、无火焰）。只写“a splint”或只写“pop”都没有把操作与阳性现象完整配对。

例题 2 （2025·October/November 0620/11 Q39） · 2 级

Two different white solids are heated and the gases formed are tested.

The gas from solid 1 turns damp red litmus paper blue.

The gas from solid 2 relights a glowing splint.

Which row identifies the gases formed from each solid?

	solid 1	solid 2
A	ammonia	hydrogen
B	ammonia	oxygen
C	chlorine	hydrogen
D	chlorine	oxygen

解：固体 1 放出的气体使湿润红色石蕊变蓝，这是 NH_3的阳性检验，所以第一列为 **ammonia**。
固体 2 放出的气体使 glowing splint 复燃，这是 O_2的阳性检验，所以第二列为 **oxygen**。两列组合是 ammonia、oxygen，对应 B。
A 把第二种气体写成氢气，但氢气应用点燃木条出现爆鸣声；C、D 把第一种写成氯气，但氯气会漂白湿润石蕊，故选 **B**。

针对练习

1. （2025·October/November 0620/13 Q40） · 1 级

A piece of damp red litmus paper is put into a test-tube of gas. The litmus paper turns white.

Which gas is in the test-tube?

A ammonia

B carbon dioxide

C chlorine

D oxygen

2. （2025·May/June 0620/13 Q17） · 2 级

Three compounds are listed.

1 aluminium nitrate

2 ammonium chloride

3 ammonium nitrate

All three compounds are heated with aqueous sodium hydroxide.

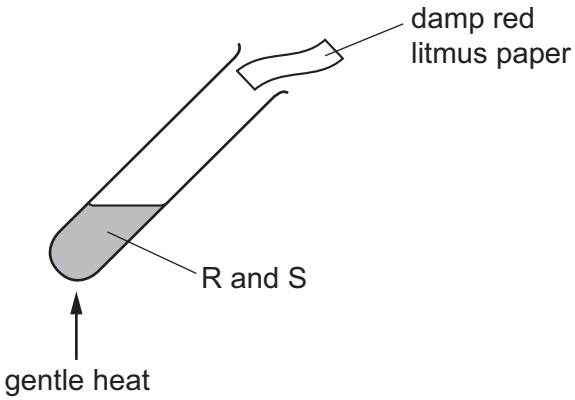
Which compounds produce ammonia?

A 1 and 3 **B** 1 only **C** 2 and 3 **D** 2 only

3. （2025·May/June 0620/11 Q18） · 3 级

A mixture of two substances, R and S, is heated gently.

The damp red litmus paper turns blue.



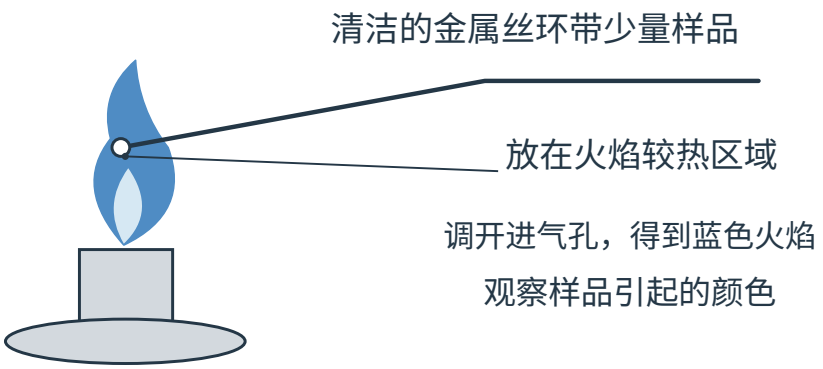
What are R and S?

	R	S
A	a basic oxide	ammonium chloride
B	a basic oxide	sodium nitrate
C	an acidic oxide	ammonium chloride
D	an acidic oxide	sodium nitrate

题型 4：由焰色并联用其他证据确定金属离子

知识点 焰色检验看样品对火焰颜色的影响。flame test（焰色检验）把少量样品置于合适的本生灯火焰中，利用不同金属离子的特征焰色辨认它们。先清洁金属丝环，加热确认没有上一份样品留下的杂色；再用丝环蘸少量样品，放进较热的、不发光的蓝色火焰中观察。也可按实验要求用干净木条带少量样品。黄色安全火焰温度较低，本身也有明显黄色，不适合这个目的。

焰色检验：把少量样品放进不发光的蓝色火焰



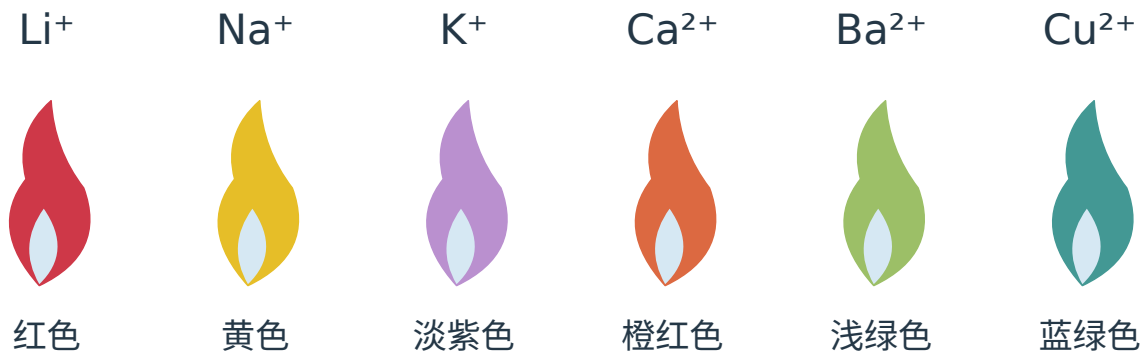
先清洁丝环并加热至不再给出杂色；避免上一份样品的钠污染。

细线表示金属丝，左端丝环带少量样品；蓝色本生灯火焰提供足够热量，不把黄色安全火焰当成样品的黄色焰色。

题目问“Describe how to carry out the flame test”，不能只答“看火焰颜色”。可写：“Use a clean wire loop to introduce a small amount of the sample into a non-luminous blue Bunsen flame, and observe the flame colour.”这句话同时说明样品怎样进入火焰，以及应选怎样的火焰。

六种金属离子的颜色分别记，不按颜色深浅排序。Li^+红，Na^+黄，K^+lilac（淡紫），Ca^{2+}orange-red（橙红），Ba^{2+}light green（浅绿），Cu^{2+}blue-green（蓝绿）。Li^+与 Ca^{2+}都带红色成分，但红与橙红不是同一个标准记录；Ba^{2+}浅绿与 Cu^{2+}蓝绿也要区别。杂质可能干扰颜色，尤其清洁器具能减少残留钠带来的黄色。

相同蓝焰条件下，观察样品引起的特征焰色



颜色可随条件显得深浅不同；名称和离子一一对应，不能只凭相近色块猜。

六个样品并列，没有用箭头把不同金属的焰色画成转化。颜色名称紧邻各火焰，便于黑白或色觉差异阅读。

三份样品的焰色是淡紫、浅绿、蓝绿，逐一对应为 K^+、Ba^{2+}、Cu^{2+}。先在纸上固定这三个对应，再去找选择表中完全一致的一行；不要先看选项，凭最熟悉的一种颜色猜整行。题目问金属名称时写 potassium、barium、copper；问 cation 时可写相应带电离子。

焰色只确定阳离子，整种盐还需要其他证据。NaCl 与 Na_2CO_3都含 Na^+，都可以给黄色焰色。要分开它们，可以另取新鲜样品加稀酸：碳酸盐产生 CO_2气泡，氯化钠没有这种放气反应。于是“黄色焰色”和“加酸放 CO_2”分别支持 Na^+和 CO_3^{2-}，共同支持 Na_2CO_3。不能把同一种焰色直接当成某一种完整盐的专属结果。

黄色焰色先确定Na^+；阴离子还需另一个检验

待比较的盐	焰色检验	另取样品加稀酸
NaCl	黄色，含Na^+	无气泡
Na_2CO_3	黄色，含Na^+	有气泡；CO_2使石灰水浑浊

焰色相同不等于整种盐相同；第二条证据用来区分阴离子。

两种盐均含钠离子，故焰色相同；加酸时碳酸根放 CO_2，氯离子没有这种反应。

已知候选只有 NaCl、Na_2CO_3、$CaCl_2$、$CaCO_3$。黄色焰色先排除两种钙盐；加稀酸起泡，再排除 NaCl，留下 Na_2CO_3。若还要求确认气体，把它通入石灰水并记录浑浊；原题只要求从四种盐中选择时，写清两条排除依据即可。

焰色检验应选_____色、不发光的本生灯火焰。Li^+、Na^+、K^+的焰色依次为_____、_____、_____；Ca^{2+}、Ba^{2+}、Cu^{2+}依次为_____、_____、_____。仅有焰色通常只能确定盐中的_____，不能单独确定整种盐。

答案：蓝；红；黄；淡紫；橙红；浅绿；蓝绿；金属阳离子

怎么认　问操作，写怎样把干净样品送入蓝色火焰；给焰色，逐一匹配金属离子。若问整种盐，还要把阴离子的独立检验与焰色一起核对，不能只看其中一条。

例题 1　(2025·February/March 0620/62 Q3(d))　· 2 级

Tests on solid B

Table 3.1 shows the tests and the student's observations for solid **B**.

Table 3.1

tests	observations
test 1 Carry out a flame test on solid **B**.	red coloured flame
test 2 Dissolve the remaining solid **B** in distilled water to form solution **B**. Divide solution **B** into three portions. To the first portion of solution **B**, add a few drops of acidified aqueous potassium manganate(VII).	pale purple solution
test 3 To the second portion of solution **B**, add about 1 cm^3 of aqueous sodium hydroxide.	solution remains colourless
test 4 Warm the product of **test 3** and test any gas given off with damp red litmus paper.	damp red litmus paper remains red
test 5 To the third portion of solution **B**, add about 1 cm^3 of dilute nitric acid followed by a few drops of aqueous barium nitrate.	white precipitate

(d) Describe how to carry out the flame test used in **test 1**.

解：本问要求写 test 1 的操作方法，不能只把表中已经给出的 red coloured flame 再抄一遍。

先取清洁的金属丝环，蘸少量 solid B 或其溶液；调节本生灯，得到不发光的蓝色火焰，将带样品的丝环放入较热处，观察火焰颜色。换样前应把丝环清洁并加热到不再产生杂色，避免把残留杂质的焰色当成 B 的颜色。

可写：**Use a clean wire loop to introduce a small amount of solid B into a non-luminous blue Bunsen flame. Observe the flame colour.**

这包含本问要求的两个核心部分：选蓝色、不发光的火焰；说明用丝环把样品送入火焰。表中其他测试为背景资料，本问不要求据它们确定整种盐。

例题 2 （2025·October/November 0620/61 Q3(a)） · 2 级

A student tests two solids: solid **J** and solid **K**.

Tests on solid J

Solid **J** is lithium chloride.

Record the expected observations.

(a) The student carries out a flame test on solid **J**.

(i) State the colour the Bunsen burner flame becomes during the flame test.

(ii) The student uses a roaring Bunsen burner flame to carry out the flame test.

State why a yellow Bunsen burner flame is **not** suitable for a flame test.

解：(a)(i) J 是 lithium chloride，焰色由 Li^+决定，应为 **red**（红色）。它不是钠的黄色，也不是钙的橙红色。(ii) 黄色本生灯火焰不适合，是因为它 **not hot enough**（不够热）。应使用较热的 roaring blue flame 进行焰色检验，使样品产生可观察的特征颜色；黄色安全火焰本身的发光颜色也不利于辨认样品焰色，但本问要求的主要理由是不够热。

注意把本生灯原来的火焰与加入样品后得到的焰色分开：选蓝焰进行检验，锂样品仍会使观察到的焰色变红。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/42 Q5(b)(iv)） · 1 级

Alkali metals are reactive elements.

(b) Identify the alkali metal which:

(iv) burns with a lilac flame

2. （2025·October/November 0620/21 Q39） · 3 级

The results of flame tests on three metal salts, X, Y and Z, are shown.

metal salt	flame test colour
X	yellow
Y	lilac
Z	blue-green

Which row identifies the cations present in X, Y and Z?

	X	Y	Z
A	potassium	sodium	calcium
B	potassium	sodium	copper
C	sodium	potassium	calcium
D	sodium	potassium	copper

3. （2025·May/June 0620/13 Q40） · 3 级

The table shows the results of two separate tests on a sample of aqueous T.

test	observation
flame test	yellow flame
add dilute nitric acid	effervescence

What is the identity of T?

A sodium chloride

B calcium chloride

C sodium carbonate

D calcium carbonate

12.6 综合实验：设计、作图与评价

题型 1：把研究目标写成可执行、可比较的实验计划

知识点 先把“想研究什么”转成可以测到的结果。实验计划不能只写“做实验，记录结果，进行比较”。independent variable（自变量）是有意改变的因素；dependent variable（因变量）是实际测量的结果；control variables（控制变量）是为公平比较而保持一致的条件。先说用哪种仪器量多少物质，再说何时开始、测到何时结束，最后说明哪个结果支持哪种结论。

把研究目标改写成：改变什么、测什么、其余怎样保持相同

改变：自变量	酸的浓度 例如0.50与1.00 mol/dm³
测量：因变量	产生20 cm³气体所需时间 秒表计时；相同终点
保持：控制变量	镁的质量、表面积、酸体积、温度 避免别的原因也改变反应速率

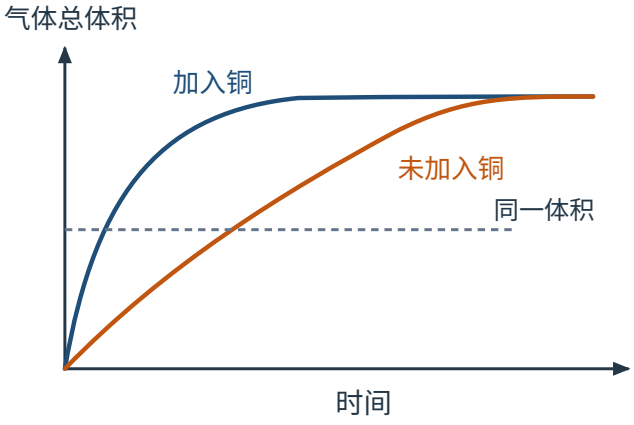
酸均足量、镁能产生超过20cm³气体；否则目标体积可能根本到不了。

用达到同一气体体积的时间，比较不同浓度下的反应速率。控制条件服务于这一具体比较；不是只抄三个变量名称。

比较 0.50 与 1.00mol/dm³酸对同种镁反应速率的影响，可用同质量、同表面积的镁和相同酸体积，并保持初温相同；酸均足量。用气体注射器和秒表测达到 20cm³气体所需时间。若分别用 40s 和 22s 达到同一体积，1.00mol/dm³这一组平均生成速率更大。先确认所用镁能产生超过 20cm³气体，否则某组永远到不了终点；不能让一组镁丝更长、温度也更高，再把全部差别都归给浓度。每个条件应按同样方法重复，核验结果是否一致。

要证明某物质是催化剂，既看反应加快，也看反应后没有净消耗。可用固定时间内形成的气体体积，或形成固定气体体积所需时间比较速率。反应物量、浓度、表面积和温度必须可比；用足量反应物让所选终点能够到达。随后完整回收待检验物质，洗涤、干燥并称量，才能把剩余固体质量与最初加入量比较。

判断铜是不是催化剂，需要速率与回收质量两条证据



同条件达到相同气体体积
加入铜所需时间更短

反应完后回收铜
过滤 → 洗涤 → 干燥 → 称量

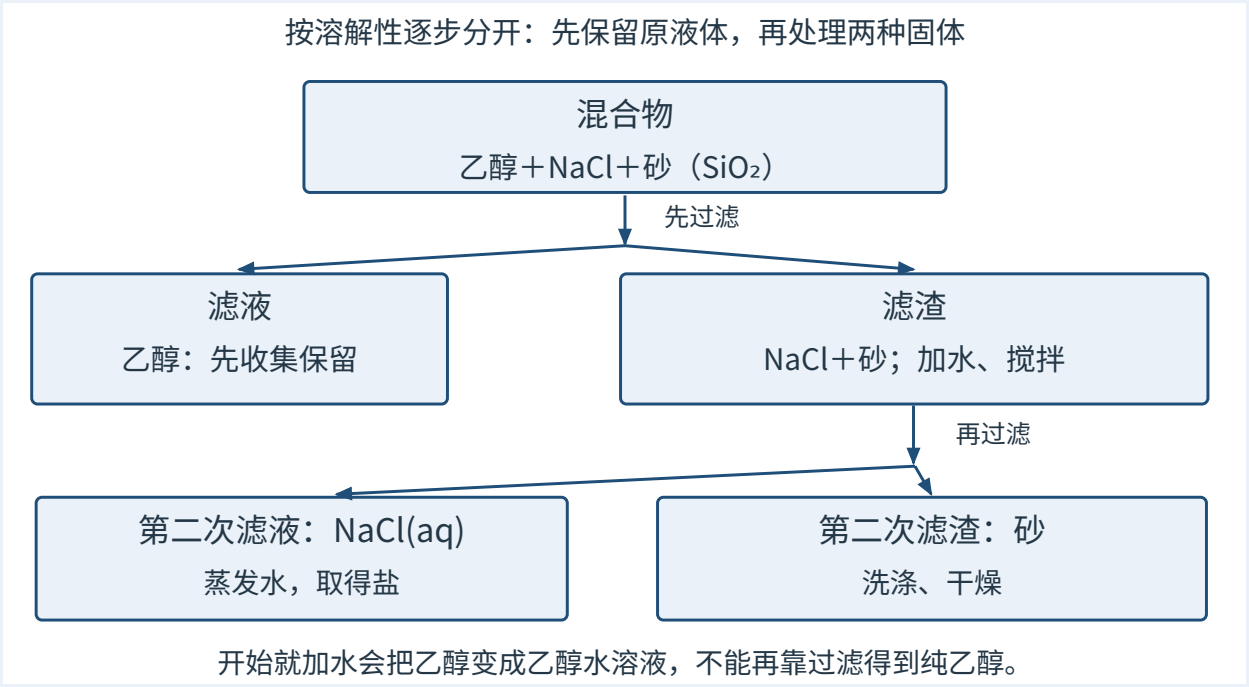
若铜加入前为0.20 g，干燥回收后仍为0.20 g，同时观察到反应更快。

酸过量、锌质量相同；图为趋势示意，最终产氢总量相同。

无刻度曲线只示同一锌量在酸过量时的趋势；催化剂缩短达到相同体积所需的时间，不增加最终产气总量。质量证据需在锌反应完、铜已洗净干燥后取得。

同样的锌量与过量同浓度硫酸反应，加入 0.20g 铜的一组达到规定气体体积所需时间更短。待锌完全反应，再过滤回收铜，洗去表面溶液，干燥后仍为 0.20g。两条证据共同支持铜是催化剂。只见更多气泡就下结论不够，因为待检物也可能是增加了另一种会产气的反应物；只称得同质量固体也不够，因为还未证明反应加快。相同锌量且酸过量时，最终氢气总量应相同，催化剂改变的是到达终量的速度。

分离混合物时，先问每一步的滤液与滤渣各含什么。filtration（过滤）只分开不溶固体与液体，不自动把两种可互溶液体分开。使用题给溶解性表决定先加哪种溶剂、何时过滤、最终收集哪一份；每获得一种物质就明确保存它，不能只写一串“溶解、过滤、加热”而遗失其他产物。



本例假设 NaCl 和砂在乙醇中均不溶，只有 NaCl 能溶于后来加入的水。箭头追踪不同分离步骤所得各份物质。

乙醇、NaCl 和砂混在一起，且本示范规定 NaCl 和砂在乙醇中均不溶。先过滤，滤液就是要保留的乙醇；对滤渣加水、搅拌，NaCl 溶解，砂不溶。第二次过滤，洗净并干燥砂；第二次滤液蒸发除水取得盐。若开始就加水，原乙醇变成乙醇水溶液，靠后面的过滤无法得到纯乙醇，所以操作次序来自物质性质。需要加热时先确认待加热那一份是什么，不能把易燃乙醇仍在的混合物随意直接置于明火上。

电镀实验必须画出能工作的完整电路，再说明怎样得到镀层质量。electroplating（电镀）把待镀物接直流电源负极，作为 cathode（阴极）；含目标金属离子的溶液是 electrolyte（电解液），相应金属可作正极 anode（阳极）。两电极都浸入电解液，并分别接到电源的两极，不能遗漏一根导线、电源或电解液。



镀铜装置包括电源、两根完整导线、两支浸入电解液的电极；并非把两电极直接用导线短接。

给金属勺镀铜，可把铜片接正极、金属勺接负极，二者浸在 $CuSO_4$ 溶液中。Cu^{2+} 在勺表面得到电子成为 Cu，正极铜补充溶液中的铜离子。

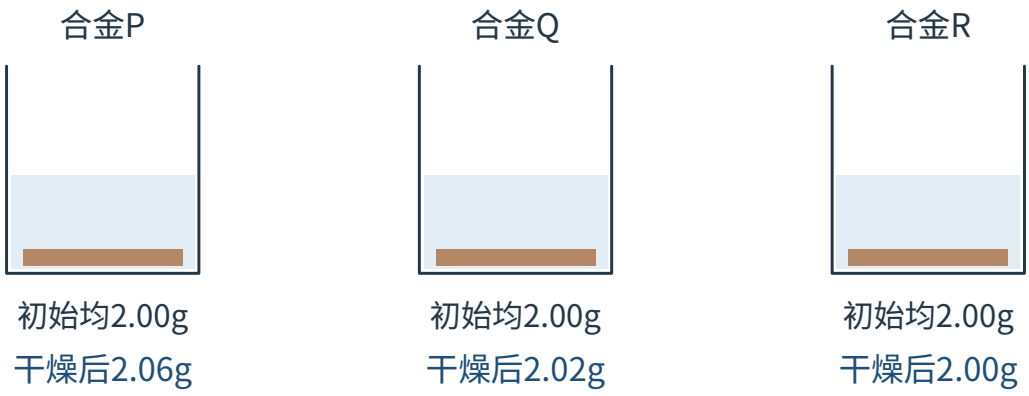
若镀前把勺清洁、干燥并称得 40.12g，电镀后取出勺、用水洗去附着的电解液、干燥，再称得 40.38g，前后增加的质量就是镀铜质量：

$$\text{镀铜质量} = 40.38 - 40.12 = 0.26 \quad \text{g}$$

如果湿着称，残留水和盐也会被算作铜，所以前后都要用清洁干燥的物件质量。

用质量增加比较锈蚀，必须让起点与暴露时间相同。锈蚀把环境中的氧等结合进固体，题目给定这种变化可使固体质量增加。比较合金时，保持初始干质量、粉末细度、水量、温度、空气接触与暴露时间相同；最后完整收集固体，按同一方式洗涤、适当干燥再称量。比较的是锈蚀带来的干质量增加，不是容器、水或被随意丢掉粉末后的质量。

锈蚀比较：相同起始干质量、同样暴露条件、比较干质量增加



相同水量、温度、空气接触、粉末细度和时间；收齐固体、干燥后称量。

按图中数据，P增加0.06 g最多，说明在本比较条件和时间内锈蚀最快。

按图中给定质量比较这一组样品，不据此指定所有合金的必然排序。杯中须与空气接触；最终称的是完整回收并按同一方式干燥的固体。

P、Q、R 各取 2.00g，同条件放置相同天数后，完整回收固体并干燥，分别得 2.06、2.02、2.00g。质量增加分别为 0.06、0.02、0.00g，P 在本次相同时长的比较中锈蚀最快。若初始分别是 2g、4g、6g，就不能直接用最终最大质量来判速度；若含水量不同，表面残水也会伪装成锈蚀增重。这里的数据是示范，实际合金排序必须由实际测量得出。

“最快加热”与“每克燃料释放最多能量”需要不同的结果量。若题目问哪种燃料把水加热得最快，可以固定升温量比较所需时间，也可以固定加热时间比较温升。两种路线都要准确量取同样体积的水、测初温，并控制相同容器、火焰与容器距离、灯芯露出长度和其他加热条件。先选一条完整路线写清，不要把一半固定时间与另一半固定温升混在一起。

“加热得最快”可以固定升温量比时间，也可固定时间比升温

方法一：同样升高20°C	方法二：同样加热60s
A需65s；B需84s；C需107s	A升18°C；B升14°C；C升11°C
时间最短的A最快	升温最大的A最快
水量、初温、容器和火焰位置相同	从开始加热同时计时

左右两组数据对应不同测量路线；先选定路线，再比较相应读数。

题目若问最快加热，比较时间或ΔT；不必把问题改成每克燃料能量。

左右是两种可选实验设计，各自使用独立的一组数据；不把不同设计的数字直接合并比较。

路线一：三种燃料分别把同量水从 20°C 加热到 40°C，时间为 65、84、107s。相同升温 20°C 所需时间最短的 A 最快。

路线二：另做一组实验，都加热 60s，测得升温 18、14、11°C。相同时间内温升最大的 A 最快。

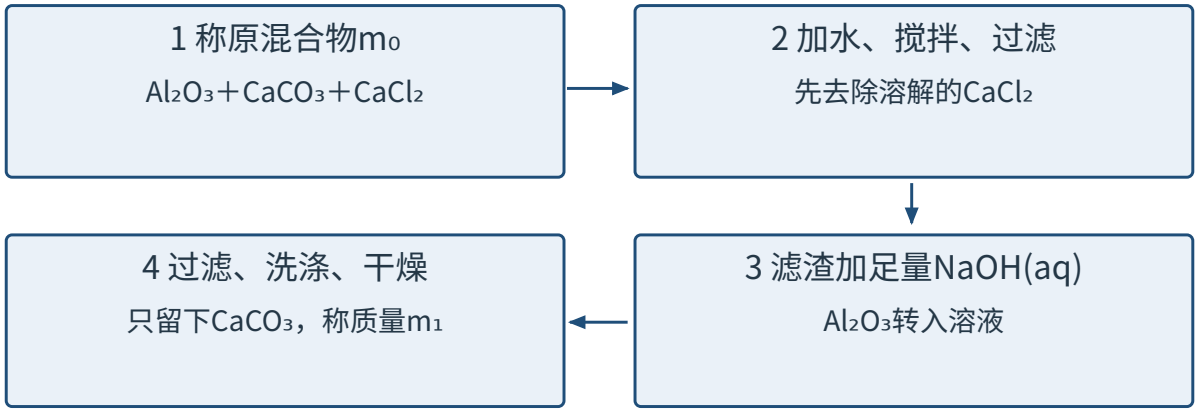
两组数据来自独立实验，不能把 65s 与 18°C 误当来自同一组记录。只有题目另问单位燃料质量的能量时，才需要进一步测燃料质量消耗并作对应能量计算。

求混合物中某固体的质量百分比，要先排除其他会被一起称到的东西。最初称整个混合物质量，记为m_0；利用题给水中溶解性和与试剂反应后的溶解性，依次除去其他组分。最终只留下目标物，洗去可溶杂质、干燥并称其质量，记为m_1。两次质量采用同一单位，才能求目标物所占比例：

$$\text{质量百分比} = \frac{m_1}{m_0} \times 100\%$$

如果试剂会让某个原本可溶组分变成不溶物，应先把它分走，避免污染要称的滤渣。

混合物中某固体的质量百分比：先分离干净，再称量



若从5.00 g混合物分得1.25 g目标物，质量百分比为1.25÷5.00×100%＝25.0%。

不能先加NaOH：$CaCl_2$会形成额外不溶物，污染要称的$CaCO_3$。

题给溶解性决定“水先、NaOH 后”的次序。流程按左上→右上→右下→左下的 1 至 4 步骤阅读。

若图示混合物为 5.00g，先用水除去 $CaCl_2$并洗净滤渣，再用足量 NaOH 溶液使 Al_2O_3转入溶液。过滤、洗涤并干燥最后的 $CaCO_3$，若得 1.25g，则：

$$CaCO_3\text{质量百分比} = \frac{1.25}{5.00} \times 100\% = 25.0\%$$

不能先向原混合物加 NaOH，因为题表明确说 $CaCl_2$会形成另一种不溶物；它若混在最后滤渣里，会让 $CaCO_3$质量被高估。称量若连同已知质量的滤纸或称量皿一起进行，必须扣掉这部分容器质量。

写安全措施时，把危险与具体操作相连。风险来自实验实际用到的酸碱、可燃液体、产气或加热步骤，应写能减少该风险的做法。像“be careful（小心）”没有说明怎样处理，也不能替代护目镜、避免点燃可燃气体、火源与备用燃料分开等具体措施。

安全措施要针对实际步骤，写清危险与对应做法

酸、碱可能溅出
戴护目镜；小量、缓慢加入并适当摇匀

乙醇等液体易燃
备用燃料远离火焰；熄灭并冷却后才补充

锌与酸产生可燃氢气
小规模、远离火源；集气装置保持畅通

比较产氢速率时用气体注射器收集；不点燃气体、不封死出口。

危险、操作与控制措施逐一对应；图列本节会用到的具体情境，不能用“be careful”替代方法。

比较锌与酸产生氢气的速率，可用小量反应物、戴护目镜、远离火焰，并让通向气体注射器的管路畅通。其目的分别是减少酸液溅伤、避免氢气被点燃与气体在封闭装置中积压。换成酒精灯加热水的实验，就要把备用酒精远离火焰，先熄灭并冷却灯再补燃料。所写措施随实验变化，不必把每一种危险都硬塞进所有题目。

设计比较实验时，先定自变量_____、因变量_____及保持条件_____。判断催化剂还要检查反应后_____。称镀层或残渣质量前必须_____；质量百分比的分母是_____。固定同一升温量时，用时_____的燃料加热最快。

答案：实际改变的因素；实际测量的量；会影响结果的其他因素；待检物质是否未被净消耗；洗净并干燥；原混合物总质量；最短

怎么认 先读问题究竟要比较速率、获得纯物质、测镀层质量还是求百分比；依次写仪器与用量、开始和终点、控制条件、记录与计算，并用实际结果判断。题目要求电路图时，电源、导线、电极身份与电解液全部画齐。

例题 1 （2024·February/March 0620/62 Q4） · 3 级

When excess dilute sulfuric acid is added to solid zinc, hydrogen gas and aqueous zinc sulfate are made.

$$Zn(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow H_2(g) + ZnSO_4(aq)$$

Plan an experiment to show that copper is a catalyst for this reaction. Your plan should include how the results of the experiment will show that copper is a catalyst for this reaction.

You are provided with zinc powder, dilute sulfuric acid, copper powder and common laboratory apparatus.

解：目标与判据。 要说明铜是锌与稀硫酸反应的催化剂，计划必须同时显示：加入铜使反应更快；铜在反应后没有净消耗。下面给一套完整可执行的方法。

先比较速率。 量取固定体积、固定浓度且对所用锌过量的稀硫酸；称取固定质量的锌粉。使用与气体注射器连接的锥形瓶，检查连接处不漏气，安排加酸与开始计时在同一起点。用秒表测收集规定体积氢气所需时间，例如选取锌能产生的最终体积以下、注射器量程以内的 20cm³。记录这一时间。

再用同质量、同样细度的锌粉，与同体积同浓度硫酸反应，这次加入一份事先准确称量的铜粉。初温、容器、计时起点与集气方式相同，再测收集同样 20cm³氢气所需时间。每组可同样重复以核验一致性。若加铜组所需时间更短，就显示在相同产气量下反应更快；也可采用固定时间比较体积，但一份计划应把选定的路线写完整。

再检查铜是否被消耗。让加铜的反应在硫酸过量条件下继续至锌完全反应；过滤收集剩余铜，用水洗去附着溶液，干燥后称铜质量。洗涤液用于带走可溶硫酸锌等，不把湿滤渣直接当铜称量。

由结果判断。若加铜后收集同一气体体积所需时间更短，而且洗净干燥后的铜质量与加入前相同，两条证据支持铜是催化剂。原题 MS 从明确酸量、锌量、速率测量、合适装置、加铜重复、回收称量及两个判据中计 6 分；仅写“气泡更多，所以是催化剂”缺少关键质量证据。小量操作并远离火源，气体出口保持畅通。

例题 2 （2024·May/June 0620/61 Q4） · 3 级

A **mixture** contains three compounds:

- liquid ethanol
- solid sodium chloride
- solid zinc carbonate.

Table 4.1 gives some information about these three compounds.

Table 4.1

name of compound	solubility in water	solubility in ethanol
ethanol	soluble	
sodium chloride	soluble	insoluble
zinc carbonate	insoluble	insoluble

Describe how to obtain a pure sample of each of the three compounds, ethanol, sodium chloride and zinc carbonate, from the mixture.

You are provided with common laboratory apparatus.

解：先按题给表格看三种物质在哪里。NaCl 和 $ZnCO_3$均不溶于乙醇，所以最初乙醇是液体部分，两种固体都能被第一次过滤截住。先不要加水，否则乙醇会与水混合，失去直接获得纯乙醇的机会。

第一步，取得乙醇。直接过滤原混合物，用干净干燥的接收器收集滤液；这份滤液就是要保留的 **ethanol**，乙醇。不再向原混合物额外加入乙醇来冲洗取得的样品，也不先加水。这样先完整回收题目原有液体。

第二步，取得碳酸锌。向第一次滤渣加入蒸馏水并搅拌，使 NaCl 充分溶解；$ZnCO_3$在水中仍不溶。再次过滤，滤渣是 **$ZnCO_3$**，碳酸锌。用少量蒸馏水洗去表面的盐溶液，再适当干燥，得到纯固体碳酸锌。

第三步，取得氯化钠。第二次过滤所得滤液含 NaCl 和水。蒸发除去水，取得固体 **NaCl**，氯化钠；如采用浓缩、冷却和分离晶体的路径，应明确最后得到并干燥盐。这里加热的是分走乙醇后取得的盐水，不是最初含乙醇的混合物。

检查每份去向：第一次滤液是乙醇；第二次滤渣是洗净干燥的 $ZnCO_3$；第二次滤液除水后为 NaCl。官方特别把先正确取得乙醇作为一项要求，因此“先加水再过滤”即使能分开固体，也没有完成全部三种纯样品的目标。

例题 3 （2025·February/March 0620/62 Q4） · 3 级

Metal spoons can be electroplated with silver.

Describe how a metal spoon can be electroplated with silver. Include in your answer how you could determine the mass of the silver electroplated onto the metal spoon.

You are provided with solid silver nitrate, a metal spoon, a piece of solid silver, distilled water and common laboratory apparatus.

You must include a diagram in your answer.

解：先准备电解液与质量起点。 将题给固体 **silver nitrate**，硝酸银 **$AgNO_3$**溶于蒸馏水，制成电解液。把金属勺表面清洁、洗净并干燥，称量并记录镀前质量 m_1。

按下图连接完整直流电路。银片接电源正极作阳极；金属勺接负极作阴极。两者浸在硝酸银水溶液中，各自有导线与电源相连，电极之间不接触。接通电源进行电镀。

m25/62/4完整作答图：银片接正极，金属勺接负极



电源两极各接一根电极；两电极之间的电解液传导离子。

待镀物接负极；图中金属勺浸入溶液的表面形成镀层。

按原题给的银、金属勺、硝酸银和蒸馏水组成完整银电镀装置。固体 $AgNO_3$须先溶于水，勺接负极，银片接正极。

在勺表面，银离子得到电子，银沉积成镀层：

$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$$

银阳极则可失去电子，向溶液补充银离子：

$$Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$$

说明电极身份的目的，是确保银沉积在要镀的勺上。

再取得镀层质量。 电镀一段时间后断开电源，取出勺，用蒸馏水洗去附着的电解液并干燥，再称镀后质量m_2。镀后质量减去镀前质量m_1，就得到银镀层质量：

$$\text{银镀层质量} = m_2 - m_1$$

例如，若镀前 30.20g、镀后 30.46g，则：

$$30.46 - 30.20 = 0.26 \quad \text{g}$$

原题未给实际称量值，作答时应写清这两个质量怎样测得，再给出相减的计算式。

本题明确要求图，所以不能只写“勺接负极”而漏画电源与完整回路。镀后洗涤和干燥也必须写出，否则附着溶液的质量会被错误算入银镀层。官方从两次称量、配电解液、完整电路、勺接负极、使用银电极、洗净干燥及作差中计 6 分。

针对练习

1. （2024·May/June 0620/63 Q4） · 3 级

Iron rusts slowly when exposed to water and air. There is an increase in mass when iron rusts as the insoluble solid hydrated iron(III) oxide forms.

Cast iron, mild steel and stainless steel are all alloys that contain iron.

Plan an experiment to find which of these three alloys rusts most quickly when exposed to water and air. Include in your answer how the results of the experiment will show which alloy rusts most quickly.

You are provided with powdered cast iron, powdered mild steel, powdered stainless steel and common laboratory apparatus.

2. （2025·October/November 0620/62 Q4） · 3 级

Liquid alcohols can be burned as fuels in spirit burners. The energy given out can be used to heat water in a boiling tube as shown in Fig. 4.1.

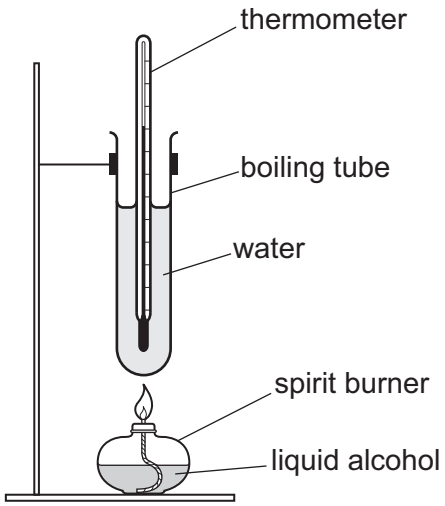


Fig. 4.1

Describe how to investigate which of three liquid alcohols, ethanol, propanol and butanol, heats the water in the boiling tube the fastest.

You are provided with three spirit burners, samples of the three alcohols, water and common laboratory apparatus.

3. （2024·October/November 0620/63 Q4） · 4 级

A mixture contains three solid compounds:

- aluminium oxide
- calcium carbonate
- calcium chloride.

Table 4.1 gives some information about the three compounds in the mixture.

Table 4.1

name of compound	solubility in water	effect of adding aqueous sodium hydroxide
aluminium oxide	insoluble	reacts to form a soluble compound
calcium carbonate	insoluble	no effect
calcium chloride	soluble	reacts to form an insoluble compound

Plan an experiment to find the percentage by mass of calcium carbonate in the mixture. Your plan must include how you will calculate the percentage by mass of calcium carbonate in the mixture.

You are provided with a sample of the mixture, distilled water, aqueous sodium hydroxide and common laboratory apparatus.

题型 2：作最佳拟合图线并用内外插、梯度和截距读数据

知识点 实验记录表把多次测量放在一起，图像则让这些数的关系可以看见。这里的作图不是照外观画一条好看的线，而是把每一行真实数据放到正确坐标上，再用一条合适的趋势线回答问题。先读清横、纵轴分别是什么，以及题目最终要求哪个量。

一、先把仪器读数和表内计算完成。读温度计时，先找两个标数，再数它们之间的小间隔；两数之差除以间隔数，得到每小格代表多少°C。看液柱顶端，不看温度计画在纸上的高度。若液柱落在两条刻线中间，按题目要求估读；例如每格 1°C 时，中间可记为 0.5°C。题目要求一位小数，就把整温度写成 27.0°C 等形式，计算出的温度变化也保持一位小数。

滴定管的数值通常向下增大，因为它记录送出的体积。凹形液面要取最低处，读数时视线与液面同高；这一项有多大与管中还剩多少液体不能直接画等号。一次实际加入体积叫 **titre**（滴定体积），用终读数减初读数。

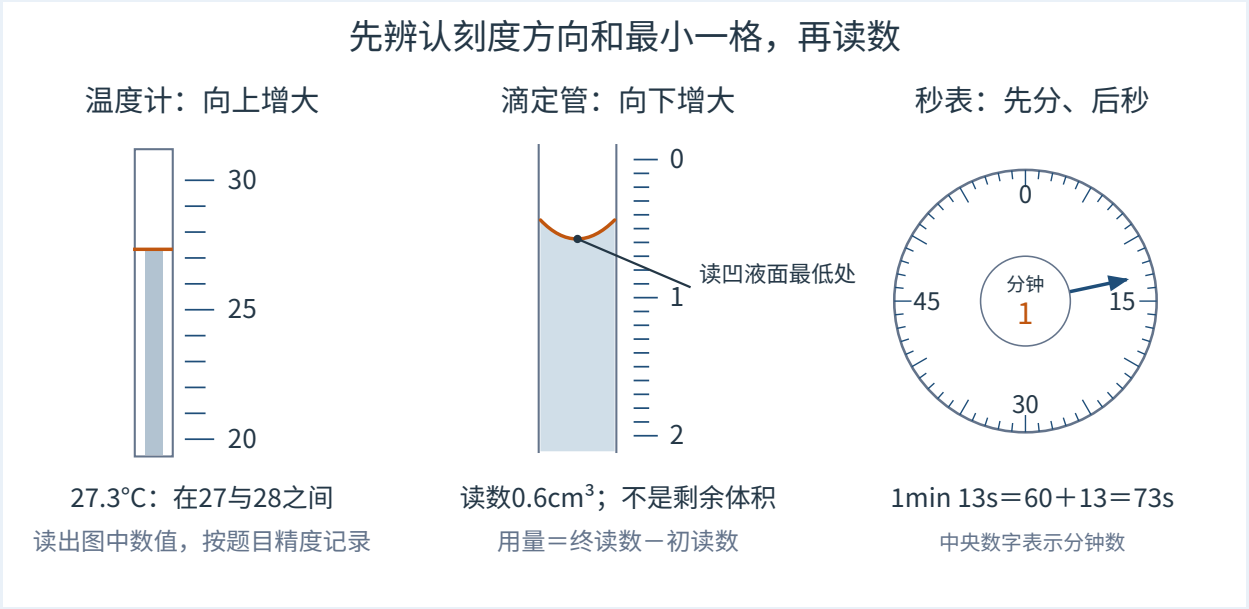
例如，若初读数为 0.6cm³、终读数为 18.4cm³，加入体积就是：

$$18.4 - 0.6 = 17.8 \quad \text{cm}^3$$

有分钟和秒读数的秒表要把两者都读完。1min 等于 60s，因此 1min 13s 要先换成同一单位再相加：

$$60 + 13 = 73 \quad \text{s}$$

不能记成 13s，也不能写成 1.13s。若题要求 nearest whole number of seconds，最后用整数秒记录。仪器画了什么刻度，就按什么刻度读；不因为表里已有几行数据，就凭猜测把其余仪器填成等差数列。



三种仪器分别按所示刻度读数；答题时仍需核对题图的实际刻度。

变化量要减去正确的起点。先确定要比较的温度是某一时刻的温度，还是实验中的最高温度，再减本组起始温度：

温度变化 = 该时刻或最高温度 − 起始温度

若每次实验的初温不完全相同，每行都用本行的初温；若一组实验随时间连续测量，就用该组 time=0 时的初温。不要用上一时刻的温度相减，否则算成了另一个量。

先算所问的变化量，再把数送到坐标轴

实验A

起始温度 20.0°C → 后来 26.0°C

温度变化＝26.0－20.0

＝6.0°C

实验B

起始温度 23.0°C → 后来 27.0°C

温度变化＝27.0－23.0

＝4.0°C

虽然B后来温度更高，A的温度变化更大：比较的是两个不同量。

两组实验的起始温度不同；每组变化量都减去该组自己的起始值。

先分别计算图中两组的温度变化。A 从 20.0°C 到 26.0°C：

$$\Delta T_A = 26.0 - 20.0 = 6.0 \quad ^\circ\mathrm{C}$$

B 从 23.0°C 到 27.0°C：

$$\Delta T_B = 27.0 - 23.0 = 4.0 \quad ^\circ\mathrm{C}$$

这里ΔT_A、ΔT_B分别表示 A、B 的温度变化。B 的后来温度较高，但 A 的变化较大。因此纵轴若写 temperature change，应画 6.0 和 4.0，不能画 26.0 和 27.0。两组都从各自初温开始时，time=0 的变化都是 0.0，即使它们的原始温度不同。

表格中一些值来自方法说明，不是来自仪器。例如“其余步骤重复，只换水体积”意味着原来规定的固体质量仍不变。若规定某溶液与水的总体积为 50cm³，每行就从 50cm³中减去该行溶液体积：

$$\text{水体积} = 50 - \text{该溶液体积}$$

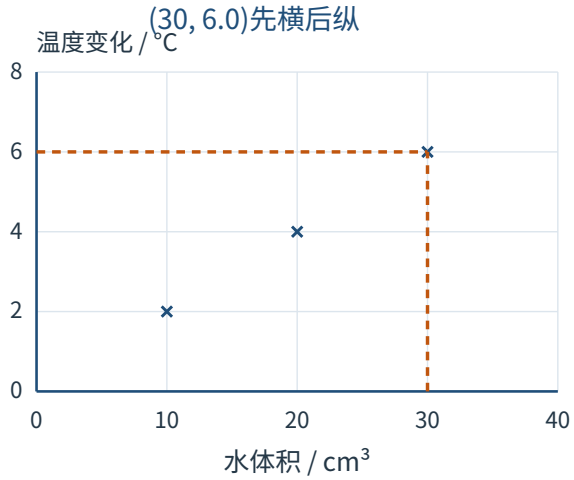
式中各体积均用 cm³。另加的酸若单独规定为 5cm³，不能擅自从这 50cm³中扣去，先看题目究竟把哪些成分列入“总量”。

二、比例尺和坐标点怎样确定？通常横轴放主动改变的量，即自变量；纵轴放测到或按要求算出的量，即因变量。题目若已印出轴名和横轴刻度，直接遵守，不能把两轴换位。例如水体积在横轴、温度变化在纵轴，一行“30cm³、6.0°C”对应点(30,6.0)：括号中先写横坐标，再写纵坐标。

一行表格对应一个点，比例尺每一格保持相同

数据表

水体积 / cm³	温度变化 / °C
10	2.0
20	4.0
30	6.0



横轴30和纵轴6来自同一行；温度变化不是最高温度本身。

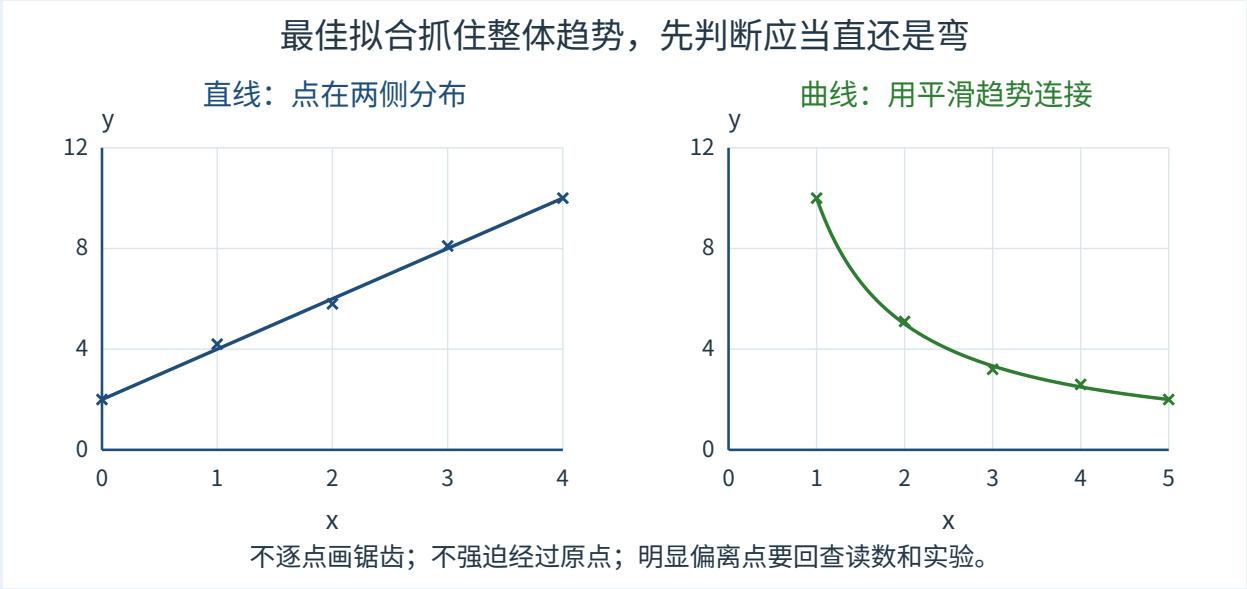
图中数据按横纵坐标配对，并采用线性比例尺；虚线是定位步骤，不是新的实验曲线。

线性比例尺要求同一条轴上等距离代表相等的数值差。例如每个大格表示 2°C，0、2、4、6、8 必须等距；不能为了放下某一点，把最后一段突然改成每格 10°C。横、纵轴的单位和每格数值可以不同。选纵

轴范围时，先找最大数据，让所有点放得下，同时充分利用图纸；本型正式评分要求点群至少占纵轴高度的一半。给了 0 和完整方格时，在原方格旁补易读的等距刻度。

逐点画小叉或清楚的小点。先从横轴定位，再按纵轴值找高度；一行数据只对应一次配对。图纸上横轴从 10 或 20 开始是允许的，只要按已印刻度读，不能把最左边误当成 0。画完后回表逐行核对，尤其检查小数、初温不同的变化量和已给的原点。

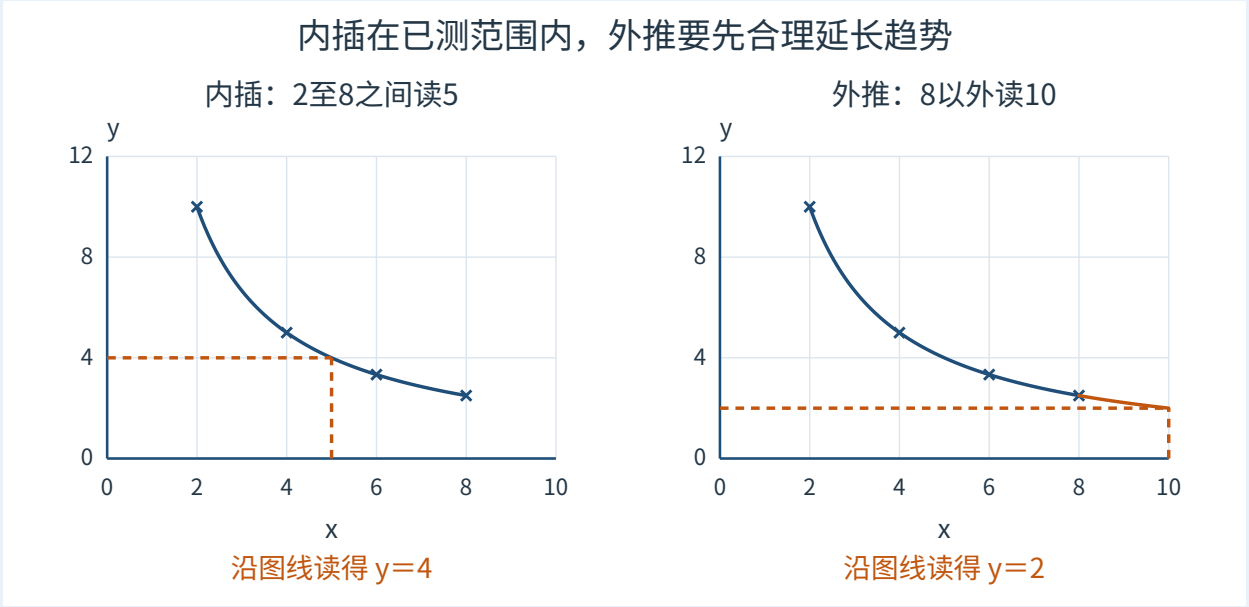
三、最佳拟合不等于逐点折线。 实验读数可能存在小误差。最佳拟合线（**line of best fit**）表达整体关系，应尽量贴近大多数点，偏差大致分布在线两边。题目明确要求 straight line 就用尺画一条直线；要求 curve 或数据明显弯曲时，画平滑曲线，不把相邻点硬连成锯齿。线不必穿过每一个点，但点本身仍应准确保留。



两组数据分别拟合。线允许合理偏离个别点；点的位置仍按原数据准确标出。

若某点明显偏离其他数据，先回查仪器、计算和落点；不能为了得到想要的趋势就悄悄改数或删点。也不要把任何图都强迫穿过原点。只有题目要求从(0,0)开始，或数据与物理含义支持时，才把原点作为约束。曲线的“变平”表示改变变慢，不表示纵轴数值降到了 0。

四、从拟合线内插或外推。题目给某个横坐标，要先找到这条竖线与拟合线的交点，再从交点水平走到纵轴读数。竖线、横线就是 show clearly how you worked out your answer 要求留下的作图痕迹。它们应连接到实际所用的拟合线，而不是停在附近的空白处。



同一曲线用于比较内插与外推。橙实线是外推段，橙虚线是到坐标轴的读数辅助线。

给定横坐标落在实际测量范围内，叫内插（**interpolation**）。图中已有测量横坐标 2、4、6、8，要估 x=5 时的 y，竖直碰到曲线后水平读到 y=4。曲线不是直线，所以不能总把相邻两个 y 直接取平均。

给定横坐标在已测范围以外，叫外推（**extrapolation**）。若要求图中 x=10 时的 y，但数据只到 8，就先沿原曲线的平滑趋势延长到 10，再读到 y=2。不要从最后一个点突然改成另一种方向，也不要无依据地强行拉直。图纸有 x=10 这个刻度，不等于实验已经测过 10；是否外推看数据范围，不是看图纸边界。外推依赖继续保持同一趋势，离原范围越远通常越不可靠。

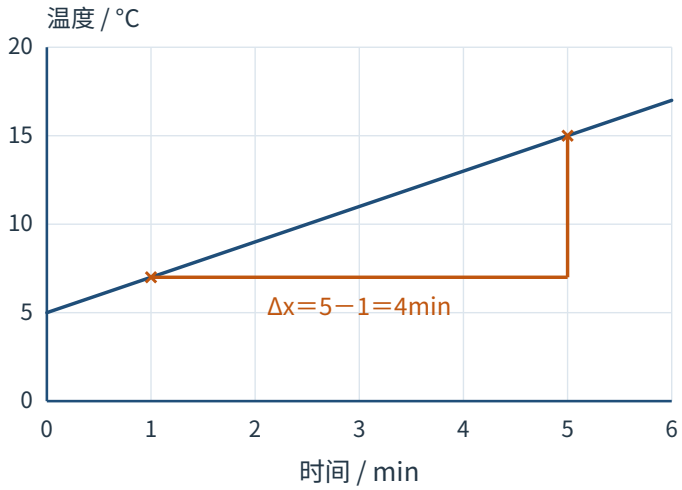
读数要保留单位，并与自己画的线一致。最佳拟合和估读会有合理差异；若正式评分写“correct reading from their graph”，就不是要求所有人背同一个末位数。下面每张完成图会明确给出这条示范线对应的读数，既画过程也写结果。

五、梯度衡量变化快慢。沿直线向右走一段，先读出纵坐标改变多少，再读出横坐标改变多少；两者相除，就得到直线的梯度。符号Δ表示变化量，Δy是纵坐标的后值减前值，Δx是横坐标的后值减前值：

$$\text{梯度} = \frac{\text{纵坐标变化}}{\text{横坐标变化}} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

选拟合线上两个相距较远、容易读准的点，画较大的直角三角形；这两点不必恰好是原实验数据点。每一条边都用对应轴的比例尺读，不能用纸上厘米长度直接相除后当成带单位的实验梯度。

直线梯度：用两个相距较远的线上点



选点 (1, 7)、(5, 15)

Δy＝15－7＝8°C

梯度＝Δy ÷ Δx

＝8 ÷ 4＝2°C/min

不是15 ÷ 5

图中直线不经过原点；斜率用两个坐标之差，单位为纵轴单位除以横轴单位。

图中两点是(1min,7°C)与(5min,15°C)。先分别求两种坐标的变化：

$$\Delta y = 15 - 7 = 8 \quad ^\circ\mathrm{C}$$

$$\Delta x = 5 - 1 = 4 \quad \mathrm{min}$$

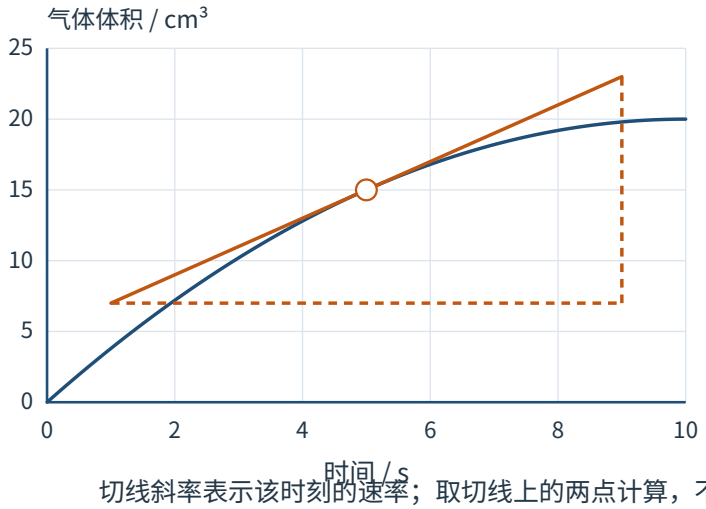
再用纵坐标变化除以横坐标变化：

$$\text{梯度} = \frac{8}{4} = 2 \quad ^\circ\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{min}}$$

直线不经过原点，15÷5 忽略了起始纵截距，不是它的梯度。向右下降的直线，其Δy为负、Δx为正，梯度为负；若题目问“下降快慢的大小”，再按问法说明负号与速率大小。

曲线各处快慢不同。要某一时刻的梯度，先在指定点画一条切线（**tangent**）：它在该点附近与曲线有相同的局部方向。然后从切线上选两个相距较远的点，按同样的 Δy÷Δx 计算。不能把曲线上两个很远的点连起来，冒称中间某一点的瞬时梯度；那条割线给的是整个区间的平均变化。

曲线某一时刻的梯度：先画该点切线



目标时刻：5s

在橙切线上选两点

(1, 7) 与 (9, 23)

梯度＝(23－7) ÷ (9－1)

＝2cm³/s

切线斜率表示该时刻的速率；取切线上的两点计算，不取曲线上的任意两点。

橙色直线在(5,15)与蓝色曲线具有相同的局部方向，因此是该点的切线。

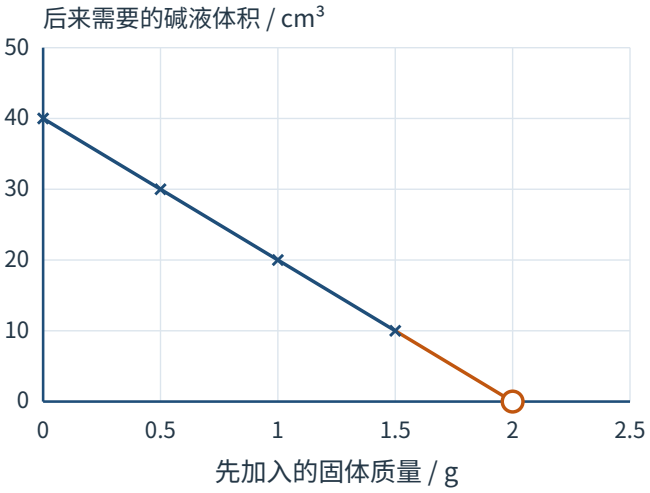
现在求图中 5s 时的梯度。橙色切线通过可读点(1s,7cm³)与(9s,23cm³)，用切线上两点的体积变化除以时间变化：

$$\text{梯度} = \frac{23 - 7}{9 - 1} = 2 \quad \frac{\mathrm{cm}^3}{\mathrm{s}}$$

它表示此时气体体积每秒约增加 2cm³。先用这个例子掌握数值切线计算；本型四道正式原题训练的是仪器表格、最佳拟合和内外插，没有数值切线小问。

六、截距是与坐标轴的交点。横轴截距满足 y=0，纵轴截距满足 x=0。先读懂轴名，再解释这个零。在“先加固体消耗一部分酸，后来再用碱液滴定剩余酸”的实验中，纵轴若为后来所需碱液体积，那么 y=0 表示已没有剩余酸需要碱液中和；相应横坐标才是先加固体恰好耗尽酸所需的质量。

截距先看碰到哪条轴，再解释这个零代表什么



横轴截距：y＝0

后加碱液的用量为零

酸已被先加的固体耗尽

由图读得：x＝2.0 g

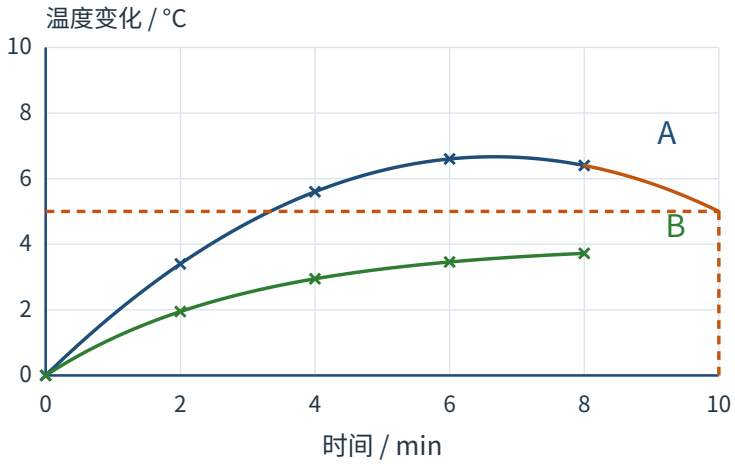
纵轴40不是所求固体质量

图中比较固体用量与后加碱液体积；蓝段是已有数据，橙段延长到横轴，且没有继续延长到无意义的负用量。

图中 0、0.5、1.0、1.5g 固体分别对应 40、30、20、10cm³后加碱液。延长直线到 y=0，在横轴读得 2.0g。40cm³是纵轴截距，回答的是“不加固体时需要多少碱液”，不是所求固体质量；也不把线继续延长后的负体积解释成真实可量到的用量。

两组数据放在同一张图上时，分别配对、分别拟合、分别命名。不能把 A 组某个点接到 B 组，或只画两条线却不给 experiment 1/2 标签。若题目要求两组温度变化均从(0,0)开始，就分别减去各自初温后使用共同原点；原始初温不同不妨碍变化量的零点相同。

两组曲线都要有名称，外推只继续题目指定的一组



纵轴是相对各自初温的变化

因此两组起点均为(0,0)

A可先升后降

外推A，不能读成B

读图：
变平不等于读数为零；
先认曲线，再按辅助线读数。

两组分别表示各自的温度变化。橙色只延长 A 组，虚线从指定时刻读到 A 组延长线。

最后一次按题目动作回查：每行读数和计算是否完整；两轴比例尺是否一致且使用充分；所有数据点是否落对；拟合是要求的直线或曲线；读数线是否真正碰到指定曲线；所求点位于测量内还是外；答案单位和曲线名称是否正确。每一步都对应一个具体的测量或读图动作。

怎么认 先圈出纵轴究竟是原始读数、变化量还是体积差；再辨 plot / best fit / interpolate / extrapolate / intercept。先完整表格与作图，才有可核对的读数答案。

例题 1 （2025·May/June 0620/62 Q2(c)） · 3 级

A student investigates the temperature change when anhydrous lithium chloride dissolves in water.

The student does five experiments.

Experiment 1

- Use a 50 cm^3 measuring cylinder to pour 40 cm^3 of distilled water into a 100 cm^3 beaker.
- Use a thermometer to measure the initial temperature of the water.
- Add a 2.0 g sample of anhydrous lithium chloride to the water in the beaker.
- Continually stir the mixture in the beaker using the thermometer.
- Measure the highest temperature reached by the mixture in the beaker.
- Empty the beaker and rinse the beaker with distilled water.

Experiment 2

- Repeat Experiment 1 using 30 cm^3 of distilled water instead of 40 cm^3.

Experiment 3

- Repeat Experiment 1 using 25 cm^3 of distilled water instead of 40 cm^3.

Experiment 4

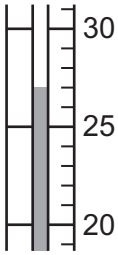
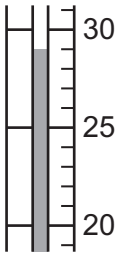
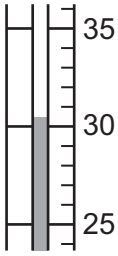
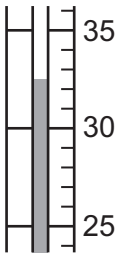
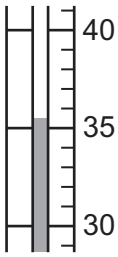
- Repeat Experiment 1 using 20 cm^3 of distilled water instead of 40 cm^3.

Experiment 5

- Repeat Experiment 1 using 15 cm^3 of distilled water instead of 40 cm^3.

(a) Use the information in the description of the experiments and the thermometer diagrams to complete Table 2.1.

Table 2.1

experiment	mass of anhydrous lithium chloride / g	volume of distilled water / cm^3	initial temperature / °C	thermometer diagram for highest temperature reached / °C	highest temperature reached / °C	temperature change / °C
1	2.0	40	22.5			
2		30	22.5			
3		25	22.5			
4		20	22.0			
5		15	22.0			

(b) Complete a suitable scale on the *y*-axis and plot your results from Experiments 1 to 5 on Fig. 2.1.

Draw a line of best fit.

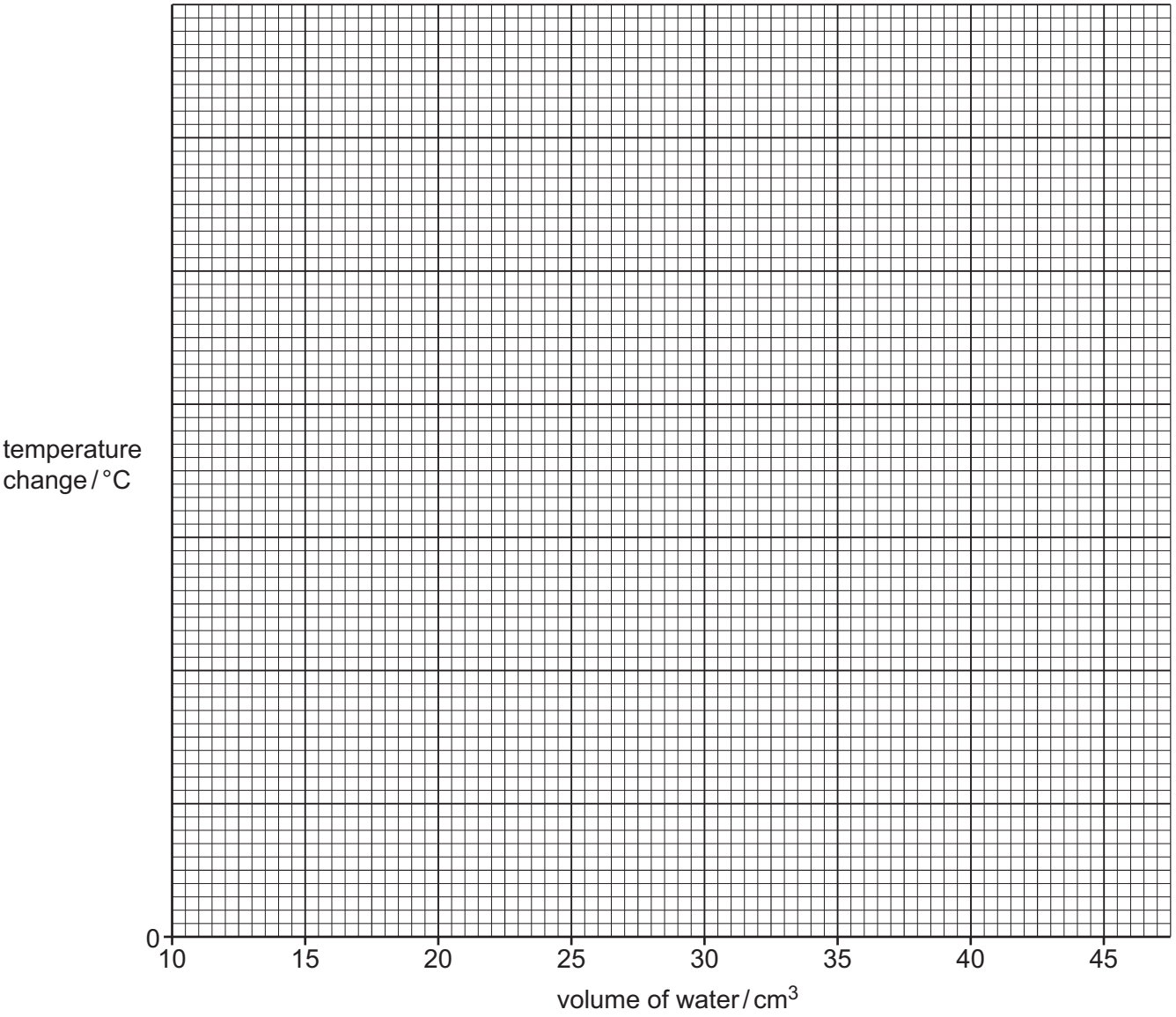


Fig. 2.1

(c) Extrapolate the line on your graph in Fig. 2.1 to deduce the temperature change when Experiment 1 is repeated with 45 cm^3 of water instead of 40 cm^3 of water.

Show clearly on Fig. 2.1 how you worked out your answer.

解：先读清保留的全部任务。本单位含(a)读五支温度计并完整填表，(b)选纵轴比例尺、描点和拟合，(c)把水体积外推到 45cm³。anhydrous lithium chloride 是无水氯化锂 LiCl；“无水”指所用固体不带结晶水，不表示实验中没有加入水。五次都按方法用 2.0g 固体，只改变水体积。

(a) 完成表格。温度计小格对应 1°C；液柱在两格中间时读到 0.5°C。依次读出 27.0、29.0、30.5、32.5、35.5°C。
第 1 行减去本行初温 22.5°C，得到温度变化：
$27.0 - 22.5 = 4.5 \quad ^\circ\mathrm{C}$
第 4 行必须减自己的 22.0°C：
$32.5 - 22.0 = 10.5 \quad ^\circ\mathrm{C}$

实验	LiCl 质量/g	水体积/cm³	初温/°C	最高温/°C	温度变化/°C
1	2.0	40	22.5	27.0	4.5
2	2.0	30	22.5	29.0	6.5
3	2.0	25	22.5	30.5	8.0
4	2.0	20	22.0	32.5	10.5
5	2.0	15	22.0	35.5	13.5

质量栏的 2.0g 要补满五行；温度和温度变化全部写到一位小数，包括 27.0 与 8.0，不能把原始温度 30.5 直接放到温度变化轴。

(b) 作图并拟合。 原横轴已经是水体积，左边从 10cm³开始。这里把纵轴从 0 至 14°C 作等距刻度，每 10 个小格 2°C，即每小格 0.2°C。最大 13.5°C 几乎到图顶，超过纵轴高度的一半，所有点均放得下。准确标出(40,4.5)、(30,6.5)、(25,8.0)、(20,10.5)、(15,13.5)，再画随水体积增大而逐渐变平的平滑下降拟合线。

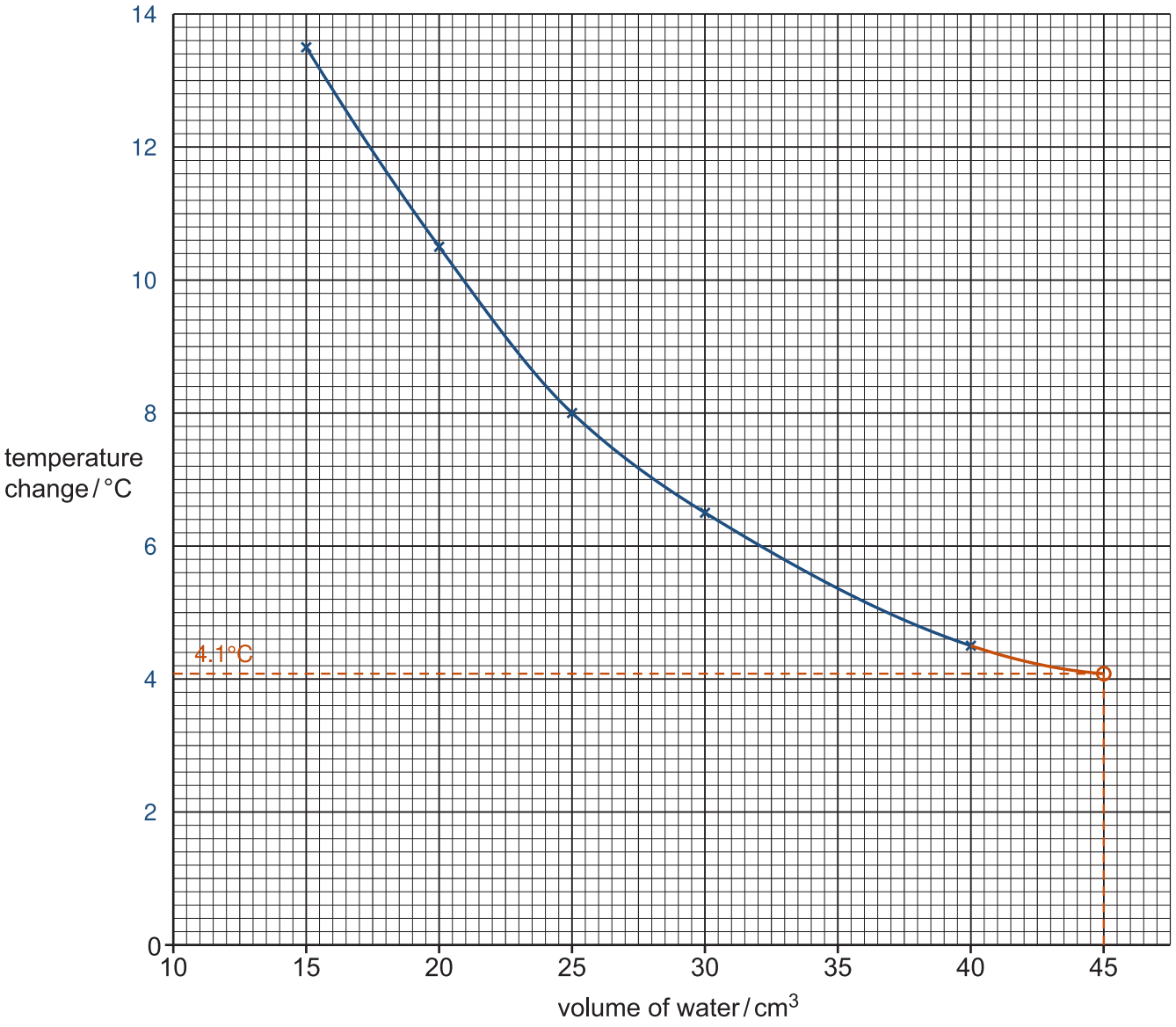


Fig. 2.1

在原坐标纸上补完整纵轴、五个真实数据点与一条合理的平滑拟合线；橙段继续到 45cm³，虚线给出这条线的读数。

(c) 真正外推。 实验最大只测到 40cm³，45cm³在范围以外。沿(b)的曲线平滑延长到 45，再从横轴 45 竖直到延长线、水平回纵轴。本示范线读得约 **4.1°C**。应写温度变化及°C，不是把初温也加回去变成最高温度。

官方评分依据是平滑延长、从自己的延长线正确读数和单位；4.1°C 是本图对应值，不是官方规定所有拟合图必须完全相同的唯一末位。

例题 2 （2025·October/November 0620/61 Q2(c)） · 3 级

A student investigates the reaction between dilute hydrochloric acid and aqueous sodium hydroxide.

The student does five experiments.

Experiment 1

- Fill a burette with aqueous sodium hydroxide.
- Run some of the aqueous sodium hydroxide out of the burette so that the level of the aqueous sodium hydroxide is on the burette scale.
- Record the initial burette reading.
- Use a volumetric pipette to add 25.0 cm^3 of dilute hydrochloric acid to a conical flask.
- Stand the conical flask on a white tile.
- Add five drops of thymolphthalein indicator to the conical flask.
- Slowly add aqueous sodium hydroxide from the burette to the conical flask, while swirling the flask, until the solution just changes colour. This is the end-point.
- Record the final burette reading.

Experiment 2

- Empty the conical flask and rinse it with distilled water.
- Refill the burette with aqueous sodium hydroxide.
- Run some of the aqueous sodium hydroxide out of the burette so that the level of the aqueous sodium hydroxide is on the burette scale.
- Record the initial burette reading.
- Use the volumetric pipette to add 25.0 cm^3 of dilute hydrochloric acid to the conical flask.
- Add 0.25 g of sodium hydrogencarbonate to the conical flask and swirl the flask.
- Stand the conical flask on the white tile.
- Add five drops of thymolphthalein indicator to the conical flask.
- Slowly add aqueous sodium hydroxide from the burette to the conical flask, while swirling the flask, until the solution just changes colour. This is the end-point.
- Record the final burette reading.

Experiment 3

- Repeat Experiment 2 using 0.50 g of sodium hydrogencarbonate instead of 0.25 g.

Experiment 4

- Repeat Experiment 2 using 1.00 g of sodium hydrogencarbonate instead of 0.25 g.

Experiment 5

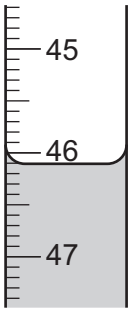
- Repeat Experiment 2 using 1.50 g of sodium hydrogencarbonate instead of 0.25 g.

(a) Use the information in the descriptions of Experiments 1 to 5 and the burette diagrams in Fig. 2.1 and Fig. 2.2 to complete Table 2.1.

Experiment 1 Experiment 2

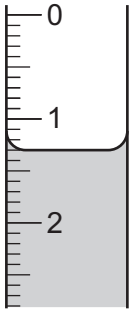


initial burette reading

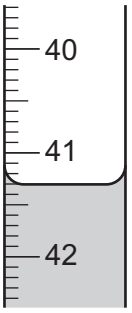


final burette reading

Fig. 2.1



initial burette reading



final burette reading

Fig. 2.2

Table 2.1

	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3	Experiment 4	Experiment 5
volume of dilute hydrochloric acid / cm^3					
mass of sodium hydrogencarbonate / g	0.00	0.25	0.50	1.00	1.50
final burette reading / cm^3			36.0	24.1	13.5
initial burette reading / cm^3			1.4	0.3	0.5
volume of aqueous sodium hydroxide added to reach the end-point / cm^3					13.0

(b) Complete a suitable scale on the *y*-axis and plot the results from Experiments 1 to 5 in Table 2.1 on Fig. 2.3. Draw a straight line of best fit.

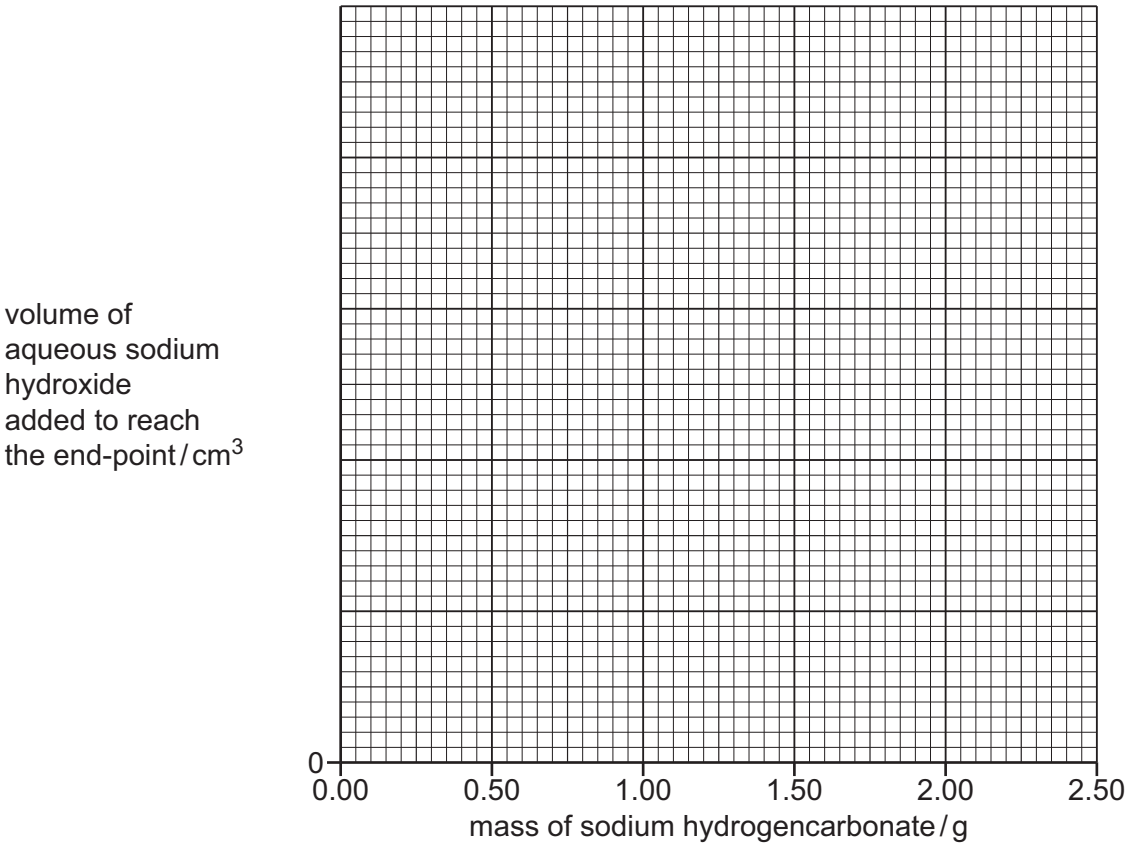


Fig. 2.3

(c) The sodium hydrogencarbonate added in Experiments 2 to 5 neutralises some of the dilute hydrochloric acid in the conical flask. The sodium hydroxide used in the titration neutralises the remaining dilute hydrochloric acid.

Extrapolate the line on your graph in Fig. 2.3 and deduce the mass of sodium hydrogencarbonate needed to neutralise **all** of the dilute hydrochloric acid in the conical flask.

Show clearly **on Fig. 2.3** how you worked out your answer.

解：先把两次滴定读数与实验条件分开取数。本单位保留(a)完整表、(b)直线拟合、(c)外推至酸恰好全部中和。五次均取 25.0cm³同样的盐酸，只改变先加的碳酸氢钠 $NaHCO_3$质量。题给指示剂 thymolphthalein 用颜色变化指出滴定终点；这里由管刻度计算实际送出的 NaOH 溶液体积。

(a) 逐管读取，终减初。第 1 组初读数 0.6cm³、终读数 46.1cm³，所以用量为：

$$46.1 - 0.6 = 45.5 \quad \text{cm}^3$$

第 2 组初读数 1.3cm³、终读数 41.3cm³：

$$41.3 - 1.3 = 40.0 \quad \text{cm}^3$$

滴定管向下读数变大，不能把这两列填反。其余三组也各自用终读数减本组初读数：

$$36.0 - 1.4 = 34.6 \quad \text{cm}^3$$

$$24.1 - 0.3 = 23.8 \quad \text{cm}^3$$

$$13.5 - 0.5 = 13.0 \quad \text{cm}^3$$

实验	盐酸体积/cm³	$NaHCO_3$质量/g	初读数/cm³	终读数/cm³	NaOH 用量/cm³
1	25.0	0.00	0.6	46.1	45.5
2	25.0	0.25	1.3	41.3	40.0
3	25.0	0.50	1.4	36.0	34.6
4	25.0	1.00	0.3	24.1	23.8
5	25.0	1.50	0.5	13.5	13.0

五个盐酸体积均补 25.0；仪器体积读数和算出的滴定体积保留一位小数，固体质量则沿用原题给定的 0.00、0.25 等数，不把它们擅自舍入。

(b) 按要求画直线。横坐标用固体质量 0.00、0.25、0.50、1.00、1.50g；纵坐标用实际加入体积 45.5、40.0、34.6、23.8、13.0cm³。这里选 0 至 50cm³等距纵轴，每 10 个小格 10cm³。准确画五点，用尺画贴近所有点的一条直线，不能逐点连成折线，也不能把它强迫经过原点。

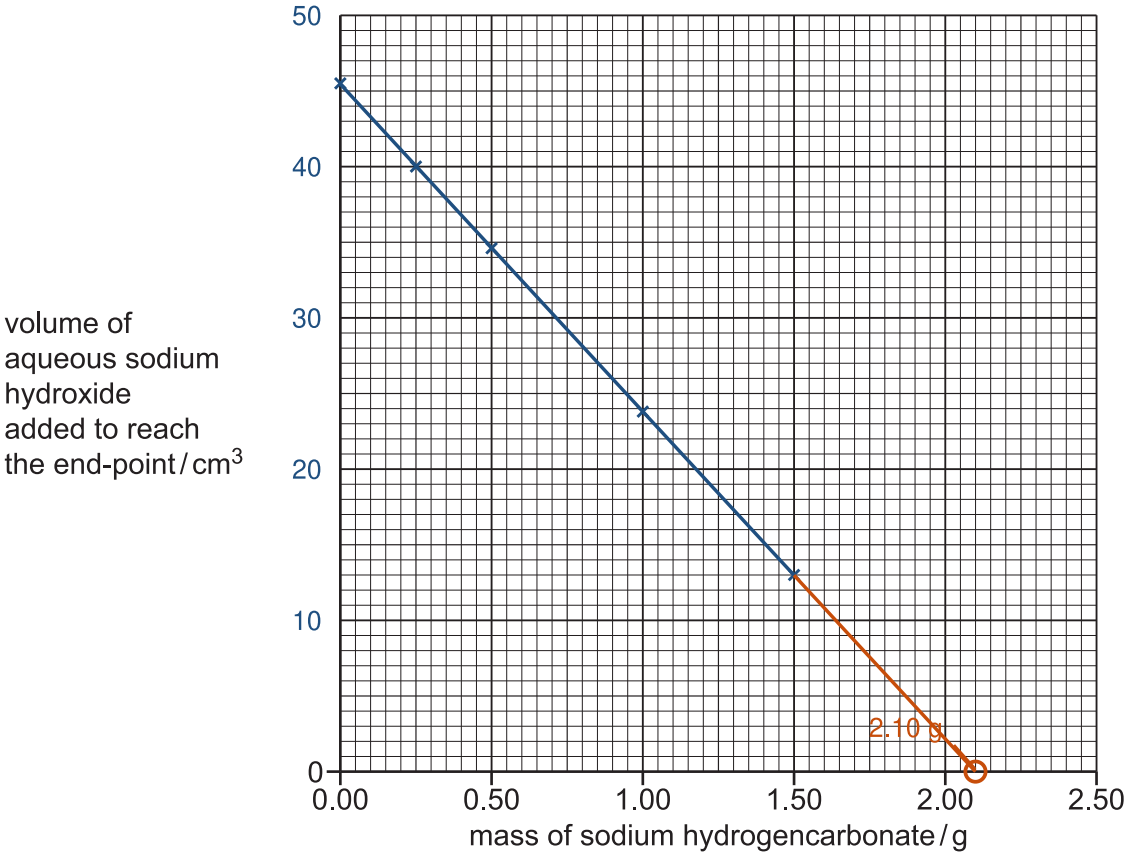


Fig. 2.3

原坐标纸上的五点来自完整滴定表；橙色直线延长到横轴，本示范交点约为 2.10g。

(c) 先解释为什么要找横轴截距。先加的 $NaHCO_3$已经中和一部分酸，后来所加 NaOH 只中和剩余的酸。若 $NaHCO_3$刚好把全部盐酸都中和了，就不再需要 NaOH，因此纵轴用量为 0.0cm³。沿直线向右延长至 y=0，再从交点读横坐标。本示范得到约 **2.10g**。

这不是读 y 轴上的 45.5cm³，也不是寻找最高已测质量 1.50g。交点在已测范围以外，必须把直线延长的过程画出。官方按本人的合理拟合直线与其横截距读数评分，答案单位为 g；此图的 2.10g 不是对所有合理作图强加同一末位。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/63 Q2(d)(ii)） · 3 级

A student investigates how the rate of reaction between dilute hydrochloric acid and aqueous sodium thiosulfate changes as the concentration of the aqueous sodium thiosulfate decreases. During the reaction, the solution slowly becomes cloudy. As the solution becomes cloudy, it becomes more difficult to see through the solution.

The student does five experiments.

Experiment 1

- Use a 50 cm^3 measuring cylinder to pour 50 cm^3 of aqueous sodium thiosulfate into a 100 cm^3 beaker.
- Use a 10 cm^3 measuring cylinder to pour 5 cm^3 of dilute hydrochloric acid into the beaker containing the aqueous sodium thiosulfate.
- Immediately start a stop-watch and stir the contents of the beaker.
- Stand the beaker on a printed sheet and look down from above the beaker as shown in Fig. 2.1.

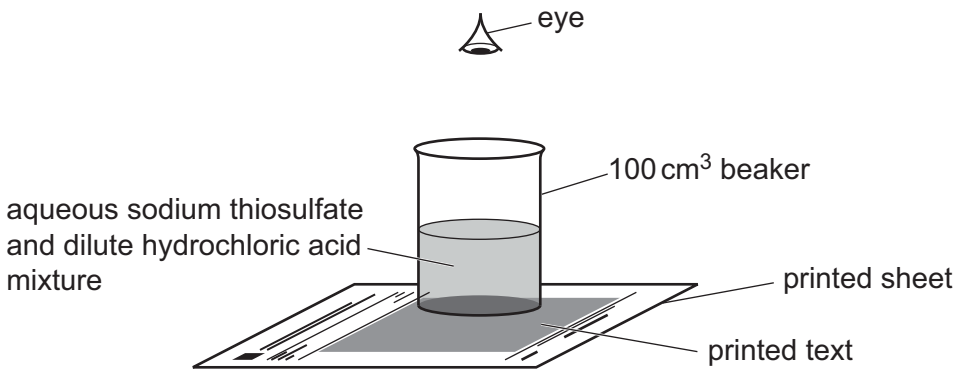


Fig. 2.1

- When the text on the printed sheet is **not** visible, stop the stop-watch and record the time to the nearest whole number of seconds.
- Empty the contents of the beaker and rinse the beaker with distilled water.

Experiment 2

- Repeat Experiment 1 using 40 cm^3 of aqueous sodium thiosulfate instead of 50 cm^3. Use the 50 cm^3 measuring cylinder to add 10 cm^3 of distilled water to the beaker **before** adding the dilute hydrochloric acid.

Experiment 3

- Repeat Experiment 2 using 30 cm^3 of aqueous sodium thiosulfate and 20 cm^3 of distilled water.

Experiment 4

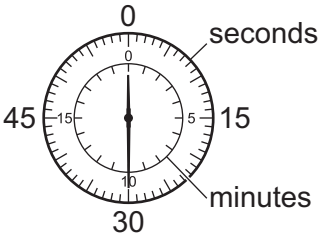
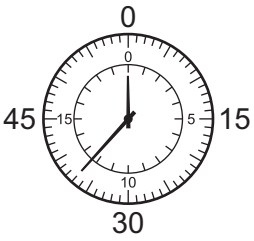
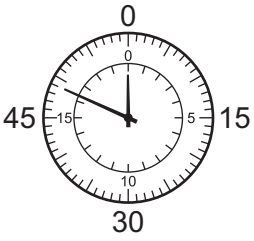
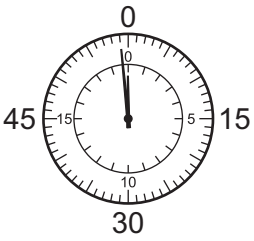
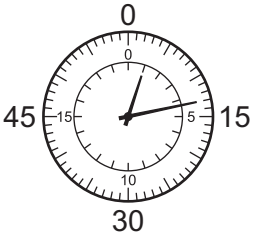
- Repeat Experiment 2 using 25 cm^3 of aqueous sodium thiosulfate and 25 cm^3 of distilled water.

Experiment 5

- Repeat Experiment 2 using 20 cm^3 of aqueous sodium thiosulfate and 30 cm^3 of distilled water.

(a) Use the information in the description of the experiments and the stop-watch diagrams to complete Table 2.1.

Table 2.1

experiment	volume of aqueous sodium thiosulfate / cm^3	volume of distilled water / cm^3	volume of dilute hydrochloric acid / cm^3	stop-watch diagram	time taken for text to **not** be visible / s
1	50	0	5		
2					
3					
4					
5					

(b) Write a suitable scale on the *y*-axis and plot the results from Experiments 1 to 5 on Fig. 2.2.

Draw a curve of best fit.

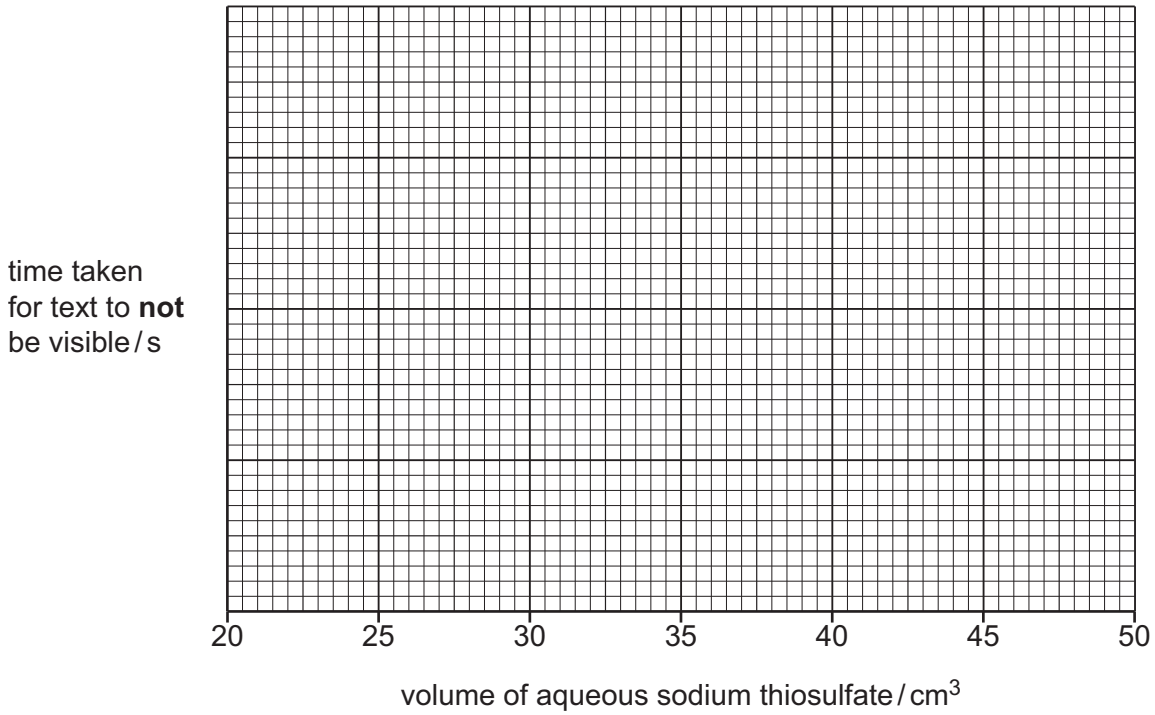


Fig. 2.2

(d) In each experiment the total volume of aqueous sodium thiosulfate and distilled water is constant.

(i) Calculate the volume of distilled water needed when the volume of aqueous sodium thiosulfate is 37 cm^3.

(ii) From your graph in Fig. 2.2, deduce the time for the text to **not** be visible when the volume of aqueous sodium thiosulfate is 37 cm^3.

Show clearly on Fig. 2.2 how you worked out your answer.

2. （2025·February/March 0620/62 Q2(c)） · 3 级

A student investigates the temperature change when aqueous copper(II) sulfate reacts separately with two different metals, zinc and iron.

The student does two experiments.

Experiment 1

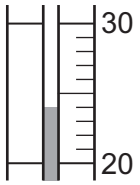
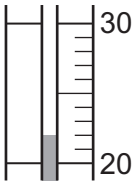
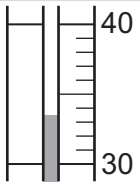
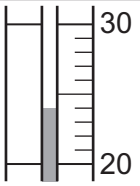
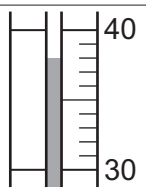
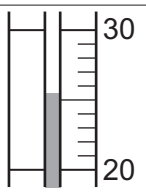
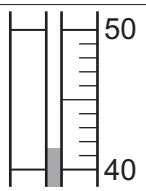
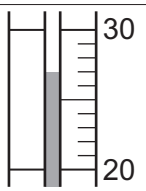
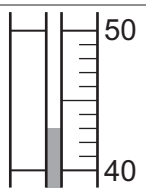
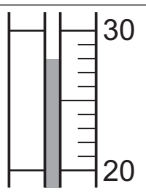
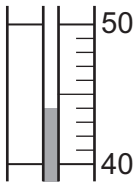
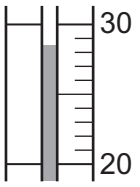
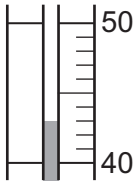
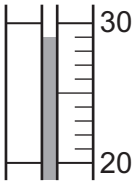
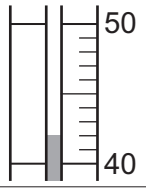
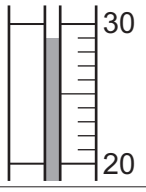
- Use a 50 cm^3 measuring cylinder to pour 30 cm^3 of aqueous copper(II) sulfate into a 100 cm^3 beaker.
- Use a thermometer to measure the temperature of the contents of the beaker. This is the temperature at time = 0 s.
- Add 3 g of zinc powder to the beaker. At the same time start a stop-watch.
- Using the thermometer, continually stir the mixture in the beaker.
- Measure the temperature of the mixture every 30 seconds for 210 seconds.
- Empty and rinse the beaker with distilled water.

Experiment 2

- Repeat Experiment 1, using 3 g of iron powder instead of 3 g of zinc powder.

(a) Complete Table 2.1 by using the thermometer diagrams and calculating the temperature changes from the temperature at 0 s.

Table 2.1

	Experiment 1			Experiment 2		
time in s	thermometer diagram	temperature in °C	temperature change since time = 0 s in °C	thermometer diagram	temperature in °C	temperature change since time = 0 s in °C
0		24.0	0.0		22.0	0.0
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						

(b) Complete a suitable scale on the *y*-axis, and plot your results for Experiment 1 and Experiment 2 on Fig. 2.1. The point at (0, 0) has been plotted for you.

Draw **two** curves of best fit. Both curves must start at (0, 0).

Label both curves.

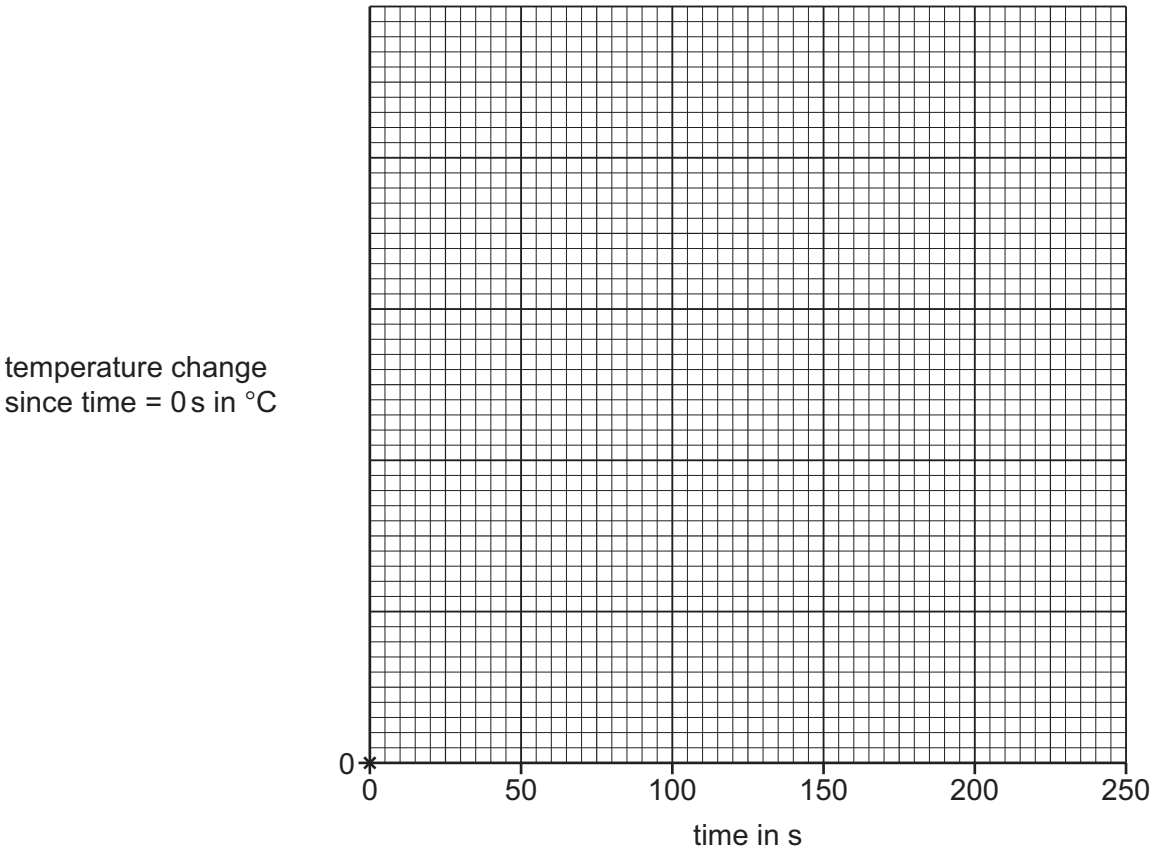


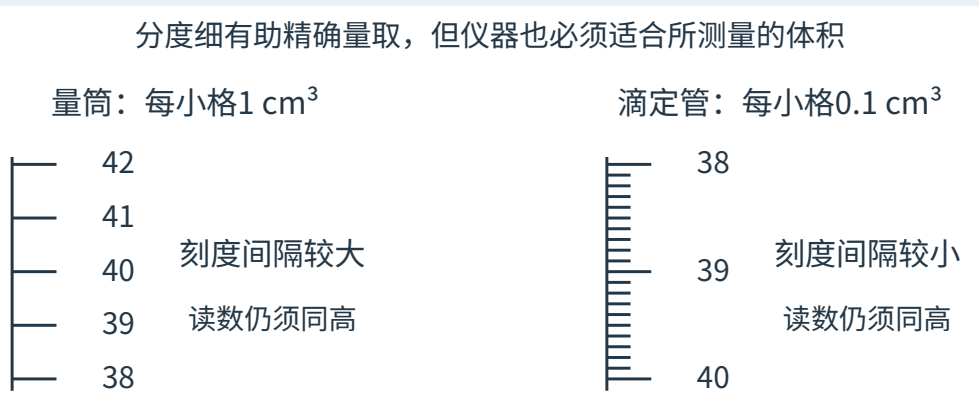
Fig. 2.1

(c) Extrapolate the curve for Experiment 1 on your graph in Fig. 2.1 to deduce the temperature change since time = 0 s in Experiment 1 after 240 seconds.

Show clearly **on Fig. 2.1** how you worked out your answer.

题型 3：解释实验变化怎样影响测量结果

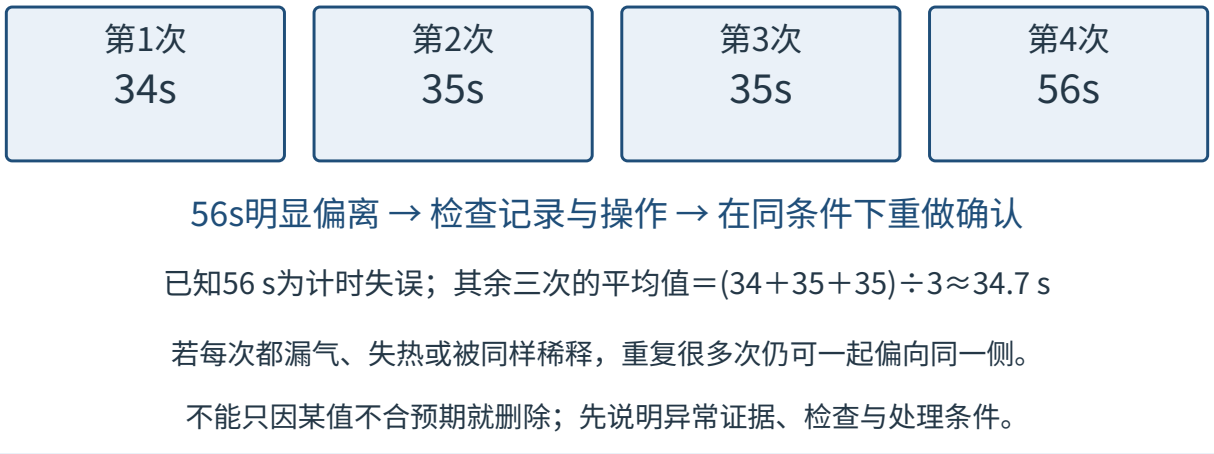
知识点 改进要说明它改变了哪一个误差来源。accuracy（准确程度）描述结果与所测量真实值的接近程度；重复结果很接近说明一致性较好，却不保证没有共同偏差。量取规定体积时，选量程合适、分度更细且状态正常的精量仪器，能改善读数和配量；还需让视线与液面同高，使用正确润洗方法。不能把“换仪器”当作不需理由的答案。



两组刻度分别代表不同分度的仪器；示意没有液面，不作为数值读数题。实际选择仍需看所需体积与仪器范围。

要量 40cm³液体，给定量筒每格 1cm³，给定滴定管每格 0.1cm³且量程足够。滴定管的分度更细，能够更精细地确定所放出的体积，因此有助准确配量。回答可写“use a burette, because it measures the volume more accurately than the given measuring cylinder”。这里比较的是题给两件仪器，并不宣称所有量筒型号都相同；换了滴定管仍要取终读数减初读数，不能只读最终刻度。

重复实验先检验一致性，再在条件允许时求平均。repeats（重复）让我们比较相同条件下结果是否相近，发现偶然计时、观察或记录问题。明显偏离的结果叫 anomalous result（异常结果）；应核查记录、检查操作并重做，而不是为了得到喜欢的答案而随意删除。仅靠重复不能去除每次都同方向存在的漏气、热损失或相同稀释错误。



这里给定四次时间，并假设已确认 56s 源于计时失误。重复实验的作用是核验一致性；只有给出有效数据时才计算平均值。

同一终点的四次时间 34、35、35、56s 中，56s 与另外三次明显不一致，应先检查并重做。假设已经确认 56s 是计时失误，才用其余三个有效值求平均：

$$\text{平均时间} = \frac{34 + 35 + 35}{3} \approx 34.7 \quad \text{s}$$

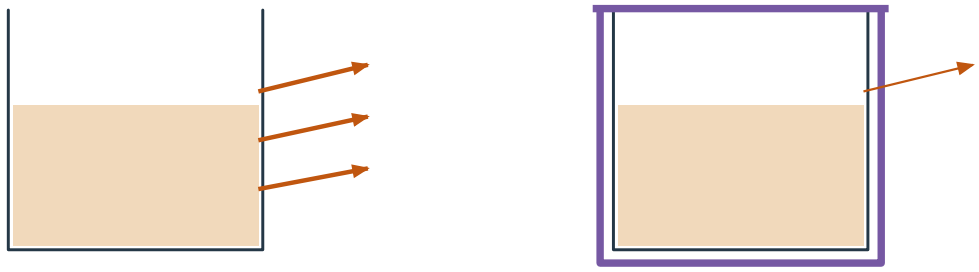
未舍入结果为 34.666…s。若并未确认问题，就不能在没有理由时直接丢掉 56s。

另一实验如果每次都漏掉相近体积的气体，三次结果可以很一致，但平均以后仍会共同偏低；这需要修漏气点，单纯多做几次不能解决。

测放热温升时，减少热损失能改善结果。热量会从较热的混合物流向较冷环境，使温度计记录的升温小于反应本身在较好保温条件下能造成的升温。polystyrene cup（聚苯乙烯杯）比普通玻璃烧杯更能保温，

合适的盖也能减少热交换。理由应连接“更好的绝热/保温材料、较少热量流失、所测温升更可靠”这几个具体环节。

测放热造成的温升时，保温帮助减少热量流向环境



普通玻璃烧杯　　聚苯乙烯杯＋合适盖

热从较热反应混合物流向较冷环境；保温可减少损失，不等于完全绝热。

若同一放热反应用普通杯测得ΔT=8°C，改良保温后测得ΔT=10°C。

箭头表示热量由较热混合物传向较冷周围，数量和线宽仅示趋势，不是定量能量图。示例温升不是某个真实实验的必然数值。

同样物料、同样初温的放热反应在普通杯测到 8°C 温升，改善保温后测到 10°C。这不表示换杯让反应物凭空多放热；较少热量在读到最高温度前流向环境，才使更多反应热反映在混合物温升上。实际数值由实验决定，图中的 8 与 10 仅为说明因果。若只回答“更准确”，没有说明它减少的是热损失，遇到要求解释的两分题可能不完整。

水浴是否有帮助，取决于温度在本实验中是什么角色。研究浓度对速率的影响时，温度可作为控制变量，恒温水浴有助让各组保持相同温度。测物质溶解或反应造成的温度变化时，温升本身是要观察的结果；外部恒温水浴会与混合物交换热量，趋向维持规定温度，反而改变要测的温升。

同一件水浴装置，是否合适取决于实验要测什么

目标：比较固定温度下的速率	目标：测反应本身造成的温升
恒温水浴帮助控制温度	恒温水浴会吸收或供给热量
可避免温度变化干扰速率比较	趋向把样品拉回规定温度
例：不同浓度均在25°C反应	会压低或改变待测的温度变化

先说实验目的，再说明变化如何影响所测结果；不能见到水浴就一律说改进。

右侧指外部维持温度的恒温水浴；与为了控制某个温度而研究速率的目标不同。

比较两种浓度在 25°C 下的反应速率，把它们先放在 25°C 恒温水浴中有助公平比较。若任务改成测盐溶于水后从 25°C 升高多少，把杯子一直维持在 25°C 的水浴里就会把新增热量转移到水浴，使测得变化被压低或改变。因此评价装置应先说原实验目标，再解释它怎样影响那个目标，不能把“恒温”一律当成优点。

分析润洗错误，追踪浓度与反应物 **mol** 的变化。 滴定管换装新酸时，先水洗移走旧酸，再用新酸润洗以替换残水。如果省去后一步，残水稀释新酸，每 cm^3的酸 mol 更少，达到同一终点需要更大的酸体积。锥形瓶若在水洗后又用待测碳酸盐溶液润洗，残留液会增加未经准确量取的碳酸盐，也使所需酸增加。锥形瓶只有少量蒸馏水则不会增加样品 mol。

润洗错误沿“浓度或mol变化 → 所需滴定体积”追踪

滴定管只水洗，残水未被滴定液置换
酸被稀释，单位体积mol更少
→ 滴到同一终点需要更大体积

锥形瓶再用待测碳酸盐溶液润洗
额外未量取的碳酸盐留在瓶内
→ 要用更多酸，titre偏大

锥形瓶只留少量蒸馏水
已量入碳酸盐总mol不变
→ 恰好反应所需酸mol不变

另一步水洗先移走的是上一种酸溶液；随后用新的酸润洗才防止新酸被稀释。

三种情况独立比较，各自固定原来准确量取的样品和所用终点。体积偏差由化学量变化解释，不能只说仪器不干净。

一份样品原本需 20.0cm³、0.100mol/dm³酸达到指定终点。20.0cm³等于 0.0200dm³，所需酸的物质的量为：

$$n = 0.100 \times 0.0200 = 0.00200 \quad \text{mol}$$

如果滴定液被残水稀释到 0.0800mol/dm³，为提供同样 0.00200mol 酸，所需体积为：

$$V = \frac{0.00200}{0.0800} = 0.0250 \quad \text{dm}^3$$

$$0.0250 \quad \text{dm}^3 = 25.0 \quad \text{cm}^3$$

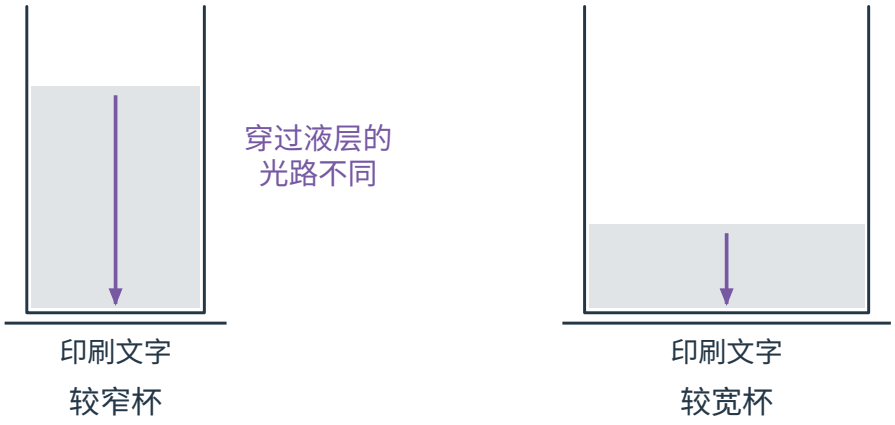
25.0cm³比原来的 20.0cm³大，所以 titre 增大。

另一种错误是向瓶内多带入样品，使所需酸的物质的量本身增加；方向也可能是体积变大，但原因不同。说明原因比把两种错误都叫“污染了，所以不准确”更有用。

遮字法的终点还受液层深度影响。从上往下看杯底文字，光要穿过整层混合液。保持相同总体积但换更宽的烧杯，会使液层变浅、光路变短；达到“看不见字”的时刻会随之改变，即使酸和硫代硫酸钠的浓度、温度及化学反应速率都没有改变。因此整组实验应保持同样杯形、杯宽、液体体积与观察方式。

遮字法必须保持容器几何相同：同样体积在宽杯中液层较浅

同样溶液体积、浓度和化学反应条件



遮住字的时刻会改变；这是观察终点变了，不能直接说化学反应变快或变慢。

圆柱杯剖面示意以较宽杯液层较浅表示相同体积；灰色仅标液体区域。箭头表示液层内的光路长度，不是化学反应方向。

同样 55cm³反应液分别放在窄杯和宽杯里，宽杯液层较浅。由光路关系可推知，在其他条件相同且从上向下观察时，较浅液层通常需形成更多浑浊物质才会遮住同样文字，观察到的时间可能更长。这个方向

是对给定几何关系的解释；若考试只要求说明为何不能换杯，应明确写“改变液层深度，因此改变测得遮字时间”，不必凭空填一个秒数，也不能把观察终点的变化直接说成反应变慢。

重复主要核验结果的_____，不能自动消除共同的_____。保温杯减少_____；恒温水浴可能改变本来要测的_____。酸被稀释后，同一终点的 titre 通常_____。更换烧杯尺寸会改变液层_____，进而改变遮字的_____。

答案：一致性；系统偏差；向环境的热损失；温度变化；增大；深度；时间

怎么认 把改动与原实验目标连接：仪器影响哪种读数，保温减少什么损失，残水改变浓度还是 mol，杯宽改变哪段光路。重复帮助查一致性；若错误每次同方向存在，要修原因，不能只多做几次。

例题 1 (2025·May/June 0620/62 Q2(g)) · 3 级

A student investigates the temperature change when anhydrous lithium chloride dissolves in water.

The student does five experiments.

Experiment 1

- Use a 50 cm^3 measuring cylinder to pour 40 cm^3 of distilled water into a 100 cm^3 beaker.
- Use a thermometer to measure the initial temperature of the water.
- Add a 2.0 g sample of anhydrous lithium chloride to the water in the beaker.
- Continually stir the mixture in the beaker using the thermometer.
- Measure the highest temperature reached by the mixture in the beaker.
- Empty the beaker and rinse the beaker with distilled water.

(f) Explain why the results obtained would be more accurate if the beaker used in each experiment was replaced by a polystyrene cup.

(g) **(i)** Explain why using a burette instead of a measuring cylinder is an improvement.

(ii) Explain why standing the beaker in a water-bath is **not** an improvement.

解：先确认原实验目的。无水 LiCl 溶于水，学生记录水的初温与混合物最高温，研究溶解引起的温度变化。题目所保留的(f)、(g)(i)、(g)(ii)分别评价三种不同装置变化，逐项回答。

(f) 用 **polystyrene cup**，聚苯乙烯杯替代玻璃烧杯，因为聚苯乙烯是更好的保温材料，减少热量流向周围环境。更少反应热在测最高温之前损失，所测温升更能反映溶解过程造成的变化。这问 2 分应把“更好保温”和“较少热损失”两环都说出。

(g)(i) 用 **burette**，滴定管代替题给量筒，能更准确地量取规定水体积。所改善的是体积量取，不是直接提高温度计灵敏度。该问官方 1 分接受相对于原量筒更准确的说明。

(g)(ii) 把烧杯放在维持温度的 **water-bath**，水浴中不利于此目标，因为水浴会趋向使温度保持在规定值；溶解释放或吸收的热量会与水浴交换，待测温度变化被改变或压低。原题 MS 关键是水浴会保持温度恒定。温度如果本来是要控制的条件，水浴可以有用；但这题要测的正是温度变化，不能把它人为维持掉。

例题 2 （2024·February/March 0620/62 Q2(d)） · 3 级

A student investigates the reaction between aqueous sodium carbonate and two different solutions of dilute hydrochloric acid, labelled **A** and **B**.

The student does three experiments.

Experiment 1

- Rinse a burette with distilled water and then with dilute hydrochloric acid **A**.
- Rinse a conical flask with distilled water.
- Fill the burette with dilute hydrochloric acid **A**. Run some of the dilute hydrochloric acid out of the burette so that the level of the dilute hydrochloric acid is on the burette scale.
- Record the initial burette reading.
- Use a measuring cylinder to pour 25 cm^3 of aqueous sodium carbonate into the conical flask.
- Add five drops of methyl orange indicator to the conical flask.
- Stand the conical flask on a white tile.
- Slowly add dilute hydrochloric acid **A** from the burette to the conical flask, while swirling the flask, until the solution becomes orange.
- Record the final burette reading.

Experiment 2

- Refill the burette with dilute hydrochloric acid **A**. Run some of the dilute hydrochloric acid out of the burette so that the level of the dilute hydrochloric acid is on the burette scale.
- Record the initial burette reading.
- Empty the conical flask and rinse it with distilled water.
- Use the measuring cylinder to pour 25 cm^3 of aqueous sodium carbonate into the conical flask.
- Add five drops of thymolphthalein indicator to the conical flask.
- Stand the conical flask on a white tile.
- Slowly add dilute hydrochloric acid **A** from the burette to the conical flask, while swirling the flask, until the solution becomes colourless.
- Record the final burette reading.

Experiment 3

- Repeat Experiment 1, using dilute hydrochloric acid **B** instead of dilute hydrochloric acid **A**.

(d) At the start of Experiment 3 the burette is rinsed with distilled water and then with dilute hydrochloric acid **B**.

(i) Identify the substance removed from the burette when it is rinsed with distilled water at the start of Experiment 3.

(ii) Describe how the result of the titration would change if the burette was **not** rinsed with dilute hydrochloric acid **B** after it had been rinsed with water.

(iii) Explain why the conical flask is **not** rinsed with aqueous sodium carbonate after it is rinsed with water.

解：先确定当前切换到哪一种酸。前两次滴定用盐酸 A，实验 3 改用盐酸 B。题目(d)完整要求解释先水洗、再 B 润洗，以及为什么锥形瓶不再用碳酸钠润洗。

(i) 开始实验 3 用蒸馏水洗滴定管，移走的是上一实验残留的稀盐酸 **A**。不是说这一步正在移走尚未装入的盐酸 B。

(ii) 若水洗后不再用盐酸 B 润洗，滴定管内残水会把新装的 B 稀释。同一碳酸钠样品达到同一终点所需的酸 mol 不变，但被稀释的酸每 cm^3 含 mol 更少，所以要用更大的酸体积，**titre** 增大。题目问结果怎样改变，必须写体积的具体方向，不能只说不准确。

(iii) 锥形瓶不再用碳酸钠溶液润洗，因为残留碳酸钠溶液会增加瓶内碳酸钠的量，使它超过原本准确量取的 $25cm^3$ 样品。这样要中和的碳酸钠 mol 额外增加，酸体积会受影响。水洗留下的少量蒸馏水只稀释已量入样品，不增加碳酸钠 mol，所以两种润洗液的作用不同。官方这一分抓住额外增加碳酸钠溶液的量，完整解释应说明为何这会破坏原先规定的样品量。

针对练习

1. （2025·May/June 0620/61 Q2(e)） · 1 级

A student investigates how the rate of reaction of magnesium ribbon with dilute acid changes as the concentration of the acid is changed. The student uses five solutions of the same acid, **A**, **B**, **C**, **D**, and **E**. Each solution has a different concentration. The acid is in excess in all experiments.

The student does five experiments.

(e) Explain why repeating each experiment is an improvement.

2. （2025·February/March 0620/62 Q2(g)） · 2 级

A student investigates the temperature change when aqueous copper(II) sulfate reacts separately with two different metals, zinc and iron.

The student does two experiments.

Experiment 1

- Use a 50 cm^3 measuring cylinder to pour 30 cm^3 of aqueous copper(II) sulfate into a 100 cm^3 beaker.
- Use a thermometer to measure the temperature of the contents of the beaker. This is the temperature at time = 0 s.
- Add 3 g of zinc powder to the beaker. At the same time start a stop-watch.
- Using the thermometer, continually stir the mixture in the beaker.
- Measure the temperature of the mixture every 30 seconds for 210 seconds.
- Empty and rinse the beaker with distilled water.

Experiment 2

- Repeat Experiment 1, using 3 g of iron powder instead of 3 g of zinc powder.

(g) Describe **two** changes to the **apparatus** that will improve the results of this investigation. For each change, explain why it will improve the results.

change 1

explanation 1

change 2

explanation 2

3. （2025·May/June 0620/63 Q2(f)） · 3 级

A student investigates how the rate of reaction between dilute hydrochloric acid and aqueous sodium thiosulfate changes as the concentration of the aqueous sodium thiosulfate decreases. During the reaction, the solution slowly becomes cloudy. As the solution becomes cloudy, it becomes more difficult to see through the solution.

The student does five experiments.

Experiment 1

- Use a 50 cm^3 measuring cylinder to pour 50 cm^3 of aqueous sodium thiosulfate into a 100 cm^3 beaker.
- Use a 10 cm^3 measuring cylinder to pour 5 cm^3 of dilute hydrochloric acid into the beaker containing the aqueous sodium thiosulfate.
- Immediately start a stop-watch and stir the contents of the beaker.
- Stand the beaker on a printed sheet and look down from above the beaker as shown in Fig. 2.1.

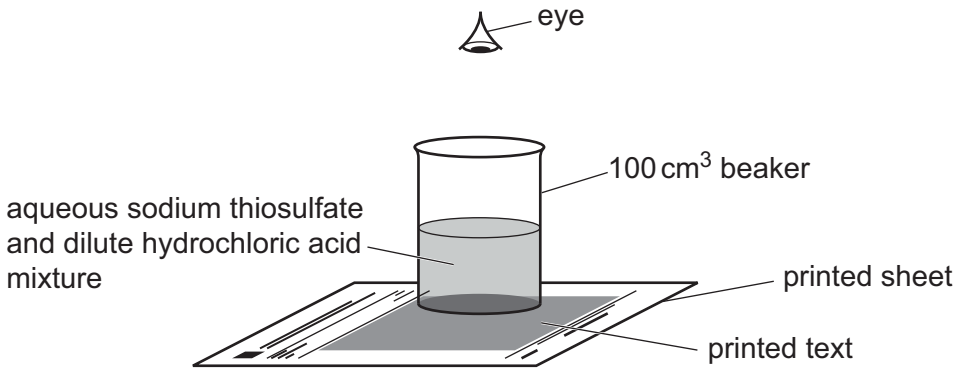


Fig. 2.1

- When the text on the printed sheet is **not** visible, stop the stop-watch and record the time to the nearest whole number of seconds.
- Empty the contents of the beaker and rinse the beaker with distilled water.

(f) Explain why it is important **not** to change the size of the beaker to a larger beaker during the investigation.

式名中英对照附录

本附录按“元素与单质—离子—化合物—结构与材料”分类，同表内按英文名称排列。先在题目中找英文名，再核对右侧的式子；若名称后有限定条件，读式时一起保留。

下标数原子，右上角数电荷；括号后的下标作用于括号内整个原子团。例如 $Al_2(SO_4)_3$ 中有 2 个 Al、3 个 S 和 12 个 O。式子里的元素符号大小写也要保持：Co 是钴，CO 是一氧化碳。

1　元素名称与符号

元素符号可表示一种元素，也可在数粒子时表示一个该元素的原子。H、N、O、F、Cl 等符号不要直接当作其常见单质分子的式子；相应分子见下一表。

中文名称	English name	式子／结构提示
铝	aluminium	Al
氩	argon	Ar
钡	barium	Ba
铍	beryllium	Be
硼	boron	B
铯	caesium	Cs
钙	calcium	Ca
碳	carbon	C
氯	chlorine	Cl
铬	chromium	Cr
钴	cobalt	Co
铜	copper	Cu
铒	erbium	Er
铕	europium	Eu
氟	fluorine	F
钫	francium	Fr
金	gold	Au
氦	helium	He
氢	hydrogen	H
铁	iron	Fe
氪	krypton	Kr
铅	lead	Pb
锂	lithium	Li
镁	magnesium	Mg
氖	neon	Ne
镍	nickel	Ni
氮	nitrogen	N
氧	oxygen	O
磷	phosphorus	P
铂	platinum	Pt
钾	potassium	K
铷	rubidium	Rb
硅	silicon	Si
银	silver	Ag
钠	sodium	Na

中文名称	English name	式子／结构提示
硫	sulfur	S
砹	tennessine	Ts
锡	tin	Sn
氙	xenon	Xe
锌	zinc	Zn
锆	zirconium	Zr

2 单质的分子与不同结构

H_2 中的下标 2 表示一个分子里有两个氢原子。金刚石和石墨都记作 C，但它们的原子排列和性质不同。

中文名称	English name	式子／结构提示
溴单质	bromine	Br_2
氯气	chlorine	Cl_2
金刚石	diamond	C 与石墨都是碳的单质；原子排列不同。
氟单质	fluorine	F_2
石墨	graphite	C
氢气	hydrogen	H_2
碘单质	iodine	I_2
氮气	nitrogen	N_2
氧气	oxygen	O_2 溶解氧仍是 O_2；不能与氧离子 O^{2-} 混淆。

3 阳离子

右上角的 + 表示整个离子带正电。Cu^{2+} 的 2 是电荷数，不是两个铜原子；NH_4^+ 的下标 4 才表示四个氢原子。

中文名称	English name	式子／结构提示
铝离子	aluminium ion	Al^{3+}
铵根离子	ammonium ion	NH_4^+
钡离子	barium ion	Ba^{2+}
钙离子	calcium ion	Ca^{2+}
铬(III)离子	chromium(III) ion	Cr^{3+}
铜(II)离子	copper(II) ion	Cu^{2+}
氢离子	hydrogen ion	H^+
铁(II)离子	iron(II) ion	Fe^{2+}
铁(III)离子	iron(III) ion	Fe^{3+}
锂离子	lithium ion	Li^+
钾离子	potassium ion	K^+
银离子	silver ion	Ag^+
钠离子	sodium ion	Na^+
锌离子	zinc ion	Zn^{2+}

4 阴离子

右上角的 – 表示整个离子带负电。SO_4^{2-} 是一个硫酸根离子，其中有一个硫原子、四个氧原子，整体带两个单位负电荷。

中文名称	English name	式子／结构提示
溴离子	bromide ion	Br^-
碳酸根离子	carbonate ion	CO_3^{2-}
氯离子	chloride ion	Cl^-
乙酸根离子	ethanoate ion	CH_3COO^-
氢氧根离子	hydroxide ion	OH^-
碘离子	iodide ion	I^-
高锰酸根离子	manganate(VII) ion	MnO_4^-
硝酸根离子	nitrate ion	NO_3^-
氧离子	oxide ion	O^{2-}
磷酸根离子	phosphate ion	PO_4^{3-}
硫酸根离子	sulfate ion	SO_4^{2-}
硫离子	sulfide ion	S^{2-}
亚硫酸根离子	sulfite ion	SO_3^{2-}

5 无机化合物

分子物质的式子可以数出一个分子中的原子；离子化合物的式子表示离子的组成比例，例如 NaCl 不是一个独立的氯化钠分子。名称中的 (II)、(III) 等帮助区分同种元素形成的不同化合物。

中文名称	English name	式子／结构提示
硝酸铝	aluminium nitrate	$Al(NO_3)_3$
氧化铝	aluminium oxide	Al_2O_3
硫酸铝	aluminium sulfate	$Al_2(SO_4)_3$
氨	ammonia	NH_3 氨水另见水溶液表。
氯化铵	ammonium chloride	NH_4Cl
重铬酸铵	ammonium dichromate	$(NH_4)_2Cr_2O_7$
硝酸铵	ammonium nitrate	NH_4NO_3
磷酸铵	ammonium phosphate	$(NH_4)_3PO_4$
硫酸铵	ammonium sulfate	$(NH_4)_2SO_4$
氯化钡	barium chloride	$BaCl_2$
氢氧化钡	barium hydroxide	$Ba(OH)_2$
硝酸钡	barium nitrate	$Ba(NO_3)_2$
氧化钡	barium oxide	BaO
硫酸钡	barium sulfate	$BaSO_4$
碳酸钙	calcium carbonate	$CaCO_3$
氯化钙	calcium chloride	$CaCl_2$
氢氧化钙	calcium hydroxide	$Ca(OH)_2$
硝酸钙	calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2$
氧化钙	calcium oxide	CaO
磷酸钙	calcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$
硅酸钙	calcium silicate	$CaSiO_3$
硫酸钙	calcium sulfate	$CaSO_4$
二氧化碳	carbon dioxide	CO_2

中文名称	English name	式子／结构提示
一氧化碳	carbon monoxide	CO
氧化氯(I)	chlorine(I) oxide	Cl_2O
溴化铬(III)	chromium(III) bromide	$CrBr_3$
氯化铬(III)	chromium(III) chloride	$CrCl_3$
氧化铬(III)	chromium(III) oxide	Cr_2O_3
氯化钴(II)	cobalt(II) chloride	$CoCl_2$ 盐的组成式。
铬铁矿中的题给化合物	compound in chromite	$FeCr_2O_4$ 表示所给化合物的组成；不把整份矿石当作纯物质。
黄铁矿中的题给化合物	compound in iron pyrite	FeS_2 表示所给化合物的组成。
碳酸铜(II)	copper(II) carbonate	$CuCO_3$
氯化铜(II)	copper(II) chloride	$CuCl_2$
氢氧化铜(II)	copper(II) hydroxide	$Cu(OH)_2$
硝酸铜(II)	copper(II) nitrate	$Cu(NO_3)_2$
氧化铜(II)	copper(II) oxide	CuO
硫酸铜(II)	copper(II) sulfate	$CuSO_4$ 盐的组成式；未给水合数时不能自行补结晶水。
冰晶石	cryolite	Na_3AlF_6
氯化氢	hydrogen chloride	HCl；HCl(g) HCl(g) 是氯化氢气体；盐酸另见水溶液表。
过氧化氢	hydrogen peroxide	H_2O_2
硫化氢	hydrogen sulfide	H_2S
一溴化碘	iodine monobromide	IBr
一氯化碘	iodine monochloride	ICl
氯化铁(II)	iron(II) chloride	$FeCl_2$
氢氧化铁(II)	iron(II) hydroxide	$Fe(OH)_2$
碘化铁(II)	iron(II) iodide	FeI_2
硫酸铁(II)	iron(II) sulfate	$FeSO_4$
氯化铁(III)	iron(III) chloride	$FeCl_3$
氢氧化铁(III)	iron(III) hydroxide	$Fe(OH)_3$
硝酸铁(III)	iron(III) nitrate	$Fe(NO_3)_3$
氧化铁(III)	iron(III) oxide	Fe_2O_3 不能把含水铁锈直接当作纯的无水 Fe_2O_3。
溴化铅(II)	lead(II) bromide	$PbBr_2$
氯化铅(II)	lead(II) chloride	$PbCl_2$
硝酸铅(II)	lead(II) nitrate	$Pb(NO_3)_2$
硫酸铅(II)	lead(II) sulfate	$PbSO_4$
氯化锂	lithium chloride	LiCl 盐的组成式。
氢氧化锂	lithium hydroxide	LiOH
氧化锂	lithium oxide	Li_2O
亚硫酸锂	lithium sulfite	Li_2SO_3
碳酸镁	magnesium carbonate	$MgCO_3$
氯化镁	magnesium chloride	$MgCl_2$
硝酸镁	magnesium nitrate	$Mg(NO_3)_2$
氧化镁	magnesium oxide	MgO

中文名称	English name	式子／结构提示
硫酸镁	magnesium sulfate	$MgSO_4$ 只给盐名、未给水合数的原题，不据此猜测晶体含几份水。
二氧化锰	manganese(IV) oxide	MnO_2
硝酸镍(II)	nickel(II) nitrate	$Ni(NO_3)_2$
硝酸	nitric acid	HNO_3
二氧化氮	nitrogen dioxide	NO_2
一氧化氮	nitrogen monoxide	NO
磷酸	phosphoric acid	H_3PO_4
磷(V)氧化物	phosphorus(V) oxide	P_4O_{10}
溴化钾	potassium bromide	KBr
碳酸钾	potassium carbonate	K_2CO_3
氯化钾	potassium chloride	KCl
重铬酸钾	potassium dichromate(VI)	$K_2Cr_2O_7$
氢氧化钾	potassium hydroxide	KOH
碘化钾	potassium iodide	KI
高锰酸钾	potassium manganate(VII)	$KMnO_4$
硝酸钾	potassium nitrate	KNO_3
磷酸钾	potassium phosphate	K_3PO_4
硫酸钾	potassium sulfate	K_2SO_4
硫化钾	potassium sulfide	K_2S
二氧化硅	silicon(IV) oxide / silicon dioxide	SiO_2
溴化银	silver bromide	$AgBr$
氯化银	silver chloride	$AgCl$
碘化银	silver iodide	AgI
硝酸银	silver nitrate	$AgNO_3$
溴化钠	sodium bromide	$NaBr$
碳酸钠	sodium carbonate	Na_2CO_3
氯化钠	sodium chloride	$NaCl$ 食盐的主要成分。
碳酸氢钠	sodium hydrogencarbonate	$NaHCO_3$
氢氧化钠	sodium hydroxide	$NaOH$
硝酸钠	sodium nitrate	$NaNO_3$
氧化钠	sodium oxide	Na_2O
硫酸钠	sodium sulfate	Na_2SO_4
硫化钠	sodium sulfide	Na_2S
亚硫酸钠	sodium sulfite	Na_2SO_3
硫代硫酸钠	sodium thiosulfate	$Na_2S_2O_3$
二氧化硫	sulfur dioxide	SO_2
三氧化硫	sulfur trioxide	SO_3
硫酸	sulfuric acid	H_2SO_4
氧化锡(IV)	tin(IV) oxide	SnO_2
氧化钒(V)	vanadium(V) oxide	V_2O_5
水／水蒸气	water / steam	H_2O；$H_2O(g)$ (g) 表示气态水。
碳酸锌	zinc carbonate	$ZnCO_3$
氢氧化锌	zinc hydroxide	$Zn(OH)_2$
氧化锌	zinc oxide	ZnO

中文名称	English name	式子／结构提示
硫酸锌	zinc sulfate	$ZnSO_4$ 未注明水合数的晶体，不能自行添上固定结晶水。
硫化锌	zinc sulfide	ZnS

6　水溶液、无水物与水合物

(aq) 表示溶于水；结晶水写在中点 · 后。$CuSO_4(aq)$ 与 $CuSO_4·5H_2O$ 不能互换。题目没有给水合数时，只能保留未指定的 x，或仅记录盐的组成，不能自行补数。

中文名称	English name	式子／结构提示
无水氯化钴(II)	anhydrous cobalt(II) chloride	$CoCl_2$ 无结晶水。
无水硫酸铜(II)	anhydrous copper(II) sulfate	$CuSO_4$ 无结晶水；与下列五水合物分开。
无水氯化锂	anhydrous lithium chloride	LiCl 原题明确写 anhydrous。
氨水	aqueous ammonia	$NH_3(aq)$ 氨的水溶液；与氨气区分。
氯化钴(II)水溶液	aqueous cobalt(II) chloride	$CoCl_2(aq)$
硫酸铜(II)水溶液	aqueous copper(II) sulfate	$CuSO_4(aq)$ (aq) 表示溶于水，不是晶体的结晶水数。
硝酸水溶液	aqueous nitric acid	$HNO_3(aq)$
硫酸水溶液	aqueous sulfuric acid	$H_2SO_4(aq)$
水合氯化铝	hydrated aluminium chloride	$AlCl_3·xH_2O$ 原题水合数未给；x 不能擅自取 6。
六水合氯化钴(II)	hydrated cobalt(II) chloride	$CoCl_2·6H_2O$ 本式明确有 6 份结晶水。
五水合硫酸铜(II)	hydrated copper(II) sulfate	$CuSO_4·5H_2O$ 本式明确有 5 份结晶水。
水合氧化铁(III)（铁锈）	hydrated iron(III) oxide (rust)	$Fe_2O_3·xH_2O$ x 可变；不指定一个固定水合数。
盐酸	hydrochloric acid	$HCl(aq)$ 氯化氢的水溶液。
石灰水／氢氧化钙水溶液	limewater / calcium hydroxide solution	$Ca(OH)_2(aq)$
发烟硫酸	oleum	$H_2S_2O_7$（本题所用表示） 按书中接触法原题的表示读式；不表示各种发烟硫酸都是这一种纯化合物。

7　有机物的名称与式子

同一个分子式可能对应不同的连接方式。CH_3CH_2OH 等简式多显示一些连接信息；名称或原图未指定结构时，要继续保留这个限制。各行按英文名称排列，可由题目中的英文反查。

中文名称	English name	式子／结构提示
2-氨基丙酸／丙氨酸	2-aminopropanoic acid / alanine	$H_2NCH(CH_3)COOH$
丁-1-烯	but-1-ene	$CH_2=CHCH_2CH_3$
丁-2-烯	but-2-ene	$CH_3CH=CHCH_3$
丁-1-醇	butan-1-ol	$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$
丁-2-醇	butan-2-ol	$CH_3CH(OH)CH_2CH_3$
丁烷	butane	C_4H_{10}
丁烷-1,4-二胺	butane-1,4-diamine	$H_2NCH_2CH_2CH_2CH_2NH_2$
丁-1,4-二醇	butane-1,4-diol	$HOCH_2CH_2CH_2CH_2OH$

中文名称	English name	式子／结构提示
丁二酸	butanedioic acid	$HOOCCH_2CH_2COOH$
丁酸	butanoic acid	$CH_3CH_2CH_2COOH$
丁酸丁酯	butyl butanoate	$CH_3CH_2CH_2COOCH_2CH_2CH_2CH_3$
乙酸丁酯	butyl ethanoate	$CH_3COOCH_2CH_2CH_2CH_3$
乙酸钙	calcium ethanoate	$(CH_3COO)_2Ca$
氯乙烷	chloroethane	C_2H_5Cl
氯甲烷	chloromethane	CH_3Cl
乙酸铜(II)	copper(II) ethanoate	$(CH_3COO)_2Cu$
癸烷	decane	$C_{10}H_{22}$
1,2-二溴乙烷	1,2-dibromoethane	CH_2BrCH_2Br
乙烷	ethane	C_2H_6
乙二胺	ethane-1,2-diamine	$H_2NCH_2CH_2NH_2$
乙二醇	ethane-1,2-diol	$HOCH_2CH_2OH$
乙二酸	ethanedioic acid	$HOOCCOOH$
乙酸	ethanoic acid	CH_3COOH
乙醇	ethanol	C_2H_5OH；CH_3CH_2OH 两种写法表示同一物质。
乙烯	ethene	C_2H_4；$CH_2=CH_2$ 左为分子式，右显示碳碳双键。
丁酸乙酯	ethyl butanoate	$CH_3CH_2CH_2COOCH_2CH_3$
乙酸乙酯	ethyl ethanoate	$CH_3COOCH_2CH_3$
甲酸乙酯	ethyl methanoate	$HCOOCH_2CH_3$
丙酸乙酯	ethyl propanoate	$CH_3CH_2COOCH_2CH_3$
葡萄糖	glucose	$C_6H_{12}O_6$
乳酸	lactic acid	$CH_3CH(OH)COOH$
乙酸镁	magnesium ethanoate	$(CH_3COO)_2Mg$
甲烷	methane	CH_4
甲酸	methanoic acid	$HCOOH$
甲醇	methanol	CH_3OH
乙酸甲酯	methyl ethanoate	CH_3COOCH_3
甲酸甲酯	methyl methanoate	$HCOOCH_3$
丙酸甲酯	methyl propanoate	$CH_3CH_2COOCH_3$
2-甲基丙烷	2-methylpropane	$CH_3CH(CH_3)CH_3$ 支链 C_4H_{10} 结构；与直链丁烷区分。
辛烷	octane	C_8H_{18}
戊烷	pentane	C_5H_{12}
丙烯酸	prop-2-enoic acid	$CH_2=CHCOOH$
丙-1-醇	propan-1-ol	$CH_3CH_2CH_2OH$
丙-2-醇	propan-2-ol	$CH_3CH(OH)CH_3$
丙烷	propane	C_3H_8
丙烷-1,3-二醇	propane-1,3-diol	$HOCH_2CH_2CH_2OH$
丙二酸	propanedioic acid	$HOOCCH_2COOH$
丙酸	propanoic acid	CH_3CH_2COOH
丙烯	propene	C_3H_6；$CH_2=CHCH_3$
丁酸丙酯	propyl butanoate	$CH_3CH_2CH_2COOCH_2CH_2CH_3$
乙酸钠	sodium ethanoate	CH_3COONa

8 基团、通式与结构范围

以下有些是结构的一部分或一类物质，有些是某道题给定结构的原子组成。短线表示连接，R 代表可变化的侧基，方括号中的“碳骨架”是文字占位；它们不能一概当作一个唯一小分子的分子式。

中文名称	English name	式子／结构提示
酰胺连接	amide linkage	—C(=O)—NH— 这是链中的连接，不是完整聚合物的分子式。
书中氨基酸的一般结构	amino acid	$H_2N—CH(R)—COOH$ 此图把氨基和羧基连在同一个碳上；R 表示可变化的侧基，不是元素。
氨基	amino group	$—NH_2$
八碳烯烃	an eight-carbon alkene	C_8H_{16} 已知其类别为烯烃；此分子式不指定双键位置。
丁醇（位置未指定）	butanol	C_4H_9OH 未指定 —OH 位置及完整碳骨架；不能补成唯一结构。
羧基	carboxyl group	—COOH
2025 年 5/6 月卷 42 第 6 题化合物 B	compound B in Paper 42, Question 6	$C_5H_6O_4$ 仅是该题给定结构的分子式，字母 B 不是通用物质名称。
二元胺	diamine	$H_2N—$[碳骨架]$—NH_2$
二元羧酸	dicarboxylic acid	HOOC—[碳骨架]—COOH 该结构形式表示两个羧基；碳骨架可以不同。
二元醇	diol	HO—[碳骨架]—OH 方括号中的字表示其余碳骨架，不是元素符号。
酯连接	ester linkage	—C(=O)—O— =O 表示这个碳与氧之间的双键。
乙基	ethyl group	$—CH_2CH_3$ 左侧短线表示与其余结构相连的键。
五碳一元饱和醇	five-carbon saturated monohydric alcohol	$C_5H_{12}O$ 在题目给定的醇类别内数原子；仍可能有不同结构。
2025 年 5/6 月卷 12 第 10 题四幅结构	four structures in Paper 12, Question 10	C_4H_8；C_3H_6O；C_3H_6O；C_3H_6O 按原题从左到右列组成；后三幅原子数相同，连接方式不同。
烃类	hydrocarbons	只含 C 和 H 两种元素 一类化合物的名称，不能指定一个共同分子式。
甲基	methyl group	$—CH_3$
氮氧化物	oxides of nitrogen	NO_x 一类氮氧化物的简称；不是一个具有固定 x 的物质。
PET 聚酯	PET (a polyester)	含 —C(=O)—O— 连接 只列特征连接，不把它写成完整 PET 重复单元。
聚乙烯	poly(ethene)	$[—CH_2—CH_2—]_n$ 方括号内为重复单元；n 表示重复次数。
聚丙烯	poly(propene)	$[—CH_2—CH(CH_3)—]_n$ 不是一个固定小分子的分子式。
聚酰胺，包括尼龙和蛋白质	polyamide, including nylon and proteins	链中重复出现酰胺连接 特征连接为 —C(=O)—NH—；具体链结构可以不同。
聚酯，包括 PET	polyester, including PET	链中重复出现酯连接 特征连接为 —C(=O)—O—；不是一个统一分子式。
丙醇（位置未指定）	propanol	C_3H_7OH 这个名称和式子未指定 —OH 在第几个碳上；不能直接选丙-1-醇。

9　材料、混合物与指示剂

空气、合金、矿石和多种指示剂不能用一个小分子式概括。表中明确给式的两种指示剂用于名称查阅；配成的指示剂溶液仍包含溶剂等成分。

中文名称	English name	式子／结构提示
活性炭	activated carbon	主要成分 C 表中的 C 指碳成分，不表示每份材料都没有杂质。
空气	air	混合气体，无单一分子式
铝土矿	bauxite	矿石，无单一分子式 不能把整份矿石直接等同于纯 Al_2O_3。
黄铜	brass	合金，无单一分子式 铜和锌组成的合金。
叶绿素	chlorophyll	类别名称，不列统一分子式
焦炭／煤／石油	coke / coal / petroleum	材料或混合物，无单一分子式 焦炭主要含碳；煤和石油含多种成分。
酶／过氧化氢酶	enzyme / catalase	无统一的小分子式 酶是一个类别；过氧化氢酶是具体酶名，不能用一个简单式概括所有酶。
汽油	gasoline / petrol	混合物，无单一分子式
墨水	ink	混合物，无单一分子式
石蕊	litmus	不列单一分子式 由多种成分构成，使用时依据酸碱变色。
甲基橙（钠盐）	methyl orange (sodium salt)	$C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ 这是钠盐的组成式，不把配好的指示剂溶液当作纯物质。
不锈钢	stainless steel	合金，无单一分子式
钢	steel	合金，无单一分子式
自来水／河水	tap water / river water	混合物，无单一分子式 水分子是 H_2O；实际水样还可含溶解物质或悬浮物。
百里酚酞	thymolphthalein	$C_{28}H_{30}O_4$ 作式名查阅；酸碱检验仍依据它的颜色变化。
通用指示剂	universal indicator	混合物，无单一分子式

附录 B　考试常用参考表

以下为原考试所附的定性分析资料。读表时同时核对试剂、是否加热、是否过量及观察到的颜色；详细原因与示范见第 12 章。

Notes for use in qualitative analysis

Tests for anions

anion	test	test result
carbonate, CO_3^{2-}	add dilute acid, then test for carbon dioxide gas	effervescence, carbon dioxide produced
chloride, Cl^- [in solution]	acidify with dilute nitric acid, then add aqueous silver nitrate	white ppt.
bromide, Br^- [in solution]	acidify with dilute nitric acid, then add aqueous silver nitrate	cream ppt.
iodide, I^- [in solution]	acidify with dilute nitric acid, then add aqueous silver nitrate	yellow ppt.
nitrate, NO_3^- [in solution]	add aqueous sodium hydroxide, then aluminium foil; warm carefully	ammonia produced
sulfate, SO_4^{2-} [in solution]	acidify with dilute nitric acid, then add aqueous barium nitrate	white ppt.
sulfite, SO_3^{2-}	add a small volume of acidified aqueous potassium manganate(VII)	the acidified aqueous potassium manganate(VII) changes colour from purple to colourless

Tests for aqueous cations

cation	effect of aqueous sodium hydroxide	effect of aqueous ammonia
aluminium, Al^{3+}	white ppt., soluble in excess, giving a colourless solution	white ppt., insoluble in excess
ammonium, NH_4^+	ammonia produced on warming	–
calcium, Ca^{2+}	white ppt., insoluble in excess	no ppt. or very slight white ppt.
chromium(III), Cr^{3+}	green ppt., soluble in excess	green ppt., insoluble in excess
copper(II), Cu^{2+}	light blue ppt., insoluble in excess	light blue ppt., soluble in excess, giving a dark blue solution
iron(II), Fe^{2+}	green ppt., insoluble in excess, ppt. turns brown near surface on standing	green ppt., insoluble in excess, ppt. turns brown near surface on standing
iron(III), Fe^{3+}	red-brown ppt., insoluble in excess	red-brown ppt., insoluble in excess
zinc, Zn^{2+}	white ppt., soluble in excess, giving a colourless solution	white ppt., soluble in excess, giving a colourless solution

Tests for gases

gas	test and test result
ammonia, NH_3	turns damp red litmus paper blue
carbon dioxide, CO_2	turns limewater milky
chlorine, Cl_2	bleaches damp litmus paper
hydrogen, H_2	'pops' with a lighted splint
oxygen, O_2	relights a glowing splint
sulfur dioxide, SO_2	turns acidified aqueous potassium manganate(VII) from purple to colourless

Flame tests for metal ions

metal ion	flame colour
lithium, Li^+	red
sodium, Na^+	yellow
potassium, K^+	lilac
calcium, Ca^{2+}	orange-red
barium, Ba^{2+}	light green
copper(II), Cu^{2+}	blue-green

来源：Cambridge IGCSE Chemistry 0620，May/June 2025，Paper 61，Notes for use in qualitative analysis。

B.2 元素周期表

下一页保留原卷周期表的印刷方向，查阅时可将书转向横向。需要相对原子质量时，优先使用题目明确给定的数值；题目未另给时，可查本表。表中也保留了室温常压下 1mol 气体占 24dm³的说明。

来源：Cambridge IGCSE Chemistry 0620，May/June 2025，Paper 11。

The Periodic Table of Elements

Group																	
I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII
							1 H hydrogen 1										2 He helium 4
3 Li lithium 7	4 Be beryllium 9											5 B boron 11	6 C carbon 12	7 N nitrogen 14	8 O oxygen 16	9 F fluorine 19	10 Ne neon 20
11 Na sodium 23	12 Mg magnesium 24											13 Al aluminium 27	14 Si silicon 28	15 P phosphorus 31	16 S sulfur 32	17 Cl chlorine 35.5	18 Ar argon 40
19 K potassium 39	20 Ca calcium 40	21 Sc scandium 45	22 Ti titanium 48	23 V vanadium 51	24 Cr chromium 52	25 Mn manganese 55	26 Fe iron 56	27 Co cobalt 59	28 Ni nickel 59	29 Cu copper 64	30 Zn zinc 65	31 Ga gallium 70	32 Ge germanium 73	33 As arsenic 75	34 Se selenium 79	35 Br bromine 80	36 Kr krypton 84
37 Rb rubidium 85	38 Sr strontium 88	39 Y yttrium 89	40 Zr zirconium 91	41 Nb niobium 93	42 Mo molybdenum 96	43 Tc technetium –	44 Ru ruthenium 101	45 Rh rhodium 103	46 Pd palladium 106	47 Ag silver 108	48 Cd cadmium 112	49 In indium 115	50 Sn tin 119	51 Sb antimony 122	52 Te tellurium 128	53 I iodine 127	54 Xe xenon 131
55 Cs caesium 133	56 Ba barium 137	57–71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178	73 Ta tantalum 181	74 W tungsten 184	75 Re rhenium 186	76 Os osmium 190	77 Ir iridium 192	78 Pt platinum 195	79 Au gold 197	80 Hg mercury 201	81 Tl thallium 204	82 Pb lead 207	83 Bi bismuth 209	84 Po polonium –	85 At astatine –	86 Rn radon –
87 Fr francium –	88 Ra radium –	89–103 actinoids	104 Rf rutherfordium –	105 Db dubnium –	106 Sg seaborgium –	107 Bh bohrium –	108 Hs hassium –	109 Mt meitnerium –	110 Ds darmstadtium –	111 Rg roentgenium –	112 Cn copernicium –	113 Nh nihonium –	114 Fl flerovium –	115 Mc moscovium –	116 Lv livermorium –	117 Ts tennessine –	118 Og oganesson –

Key

atomic number
atomic symbol
name
relative atomic mass

lanthanoids	57 La lanthanum 139	58 Ce cerium 140	59 Pr praseodymium 141	60 Nd neodymium 144	61 Pm promethium –	62 Sm samarium 150	63 Eu europium 152	64 Gd gadolinium 157	65 Tb terbium 159	66 Dy dysprosium 163	67 Ho holmium 165	68 Er erbium 167	69 Tm thulium 169	70 Yb ytterbium 173	71 Lu lutetium 175
actinoids	89 Ac actinium –	90 Th thorium 232	91 Pa protactinium 231	92 U uranium 238	93 Np neptunium –	94 Pu plutonium –	95 Am americium –	96 Cm curium –	97 Bk berkelium –	98 Cf californium –	99 Es einsteinium –	100 Fm fermium –	101 Md mendelevium –	102 No nobelium –	103 Lr lawrencium –

The volume of one mole of any gas is 24 dm^3 at room temperature and pressure (r.t.p.).

图片署名

滴定管与锥形瓶图：Servier，来自 Bioicons，采用 CC BY 3.0。图形名称为 burette-assembled、erlenmeyer-glass；本书保留器材外形，并添加中文名称、过程箭头与说明。

量筒图：DBCLS，来自 Bioicons，采用 CC BY 4.0。图形名称为 graded-measuring-cylinder；本书添加中文名称与用途说明。

幼苗与叶片图：Gina-Vong，来自 Bioicons，以 CC0 1.0 发布。图形名称为 DicotSeedling、Leaf；本书调整空白边缘，并添加标签与过程箭头。