AL 化学逆袭宝典

Answers 答案手册

CIE AS Chemistry • Basis

新灯塔国际教育

目录

1 Atomic Structure（原子结构） **3**

2 Atoms, Molecules & Stoichiometry（原子、分子与化学计量） **5**

3 Chemical Bonding（化学键与结构） **7**

4 States of Matter（物态） **9**

5 Chemical Energetics（热化学） **11**

6 Electrochemistry（电化学） **13**

7 Equilibria（化学平衡） **15**

8 Reaction Kinetics（反应动力学） **17**

9 Periodicity（元素周期性） **19**

10 Group 2, Group 17, N & S（族化学） **21**

11 Organic Foundations（有机入门） **23**

12 Hydrocarbons & Halogen Compounds（烃与卤代烃） **25**

13 Oxygen & Nitrogen Organics + Synthesis（含氧含氮与合成） **27**

14 Analytical Techniques（分析技术） **29**

1 Atomic Structure（原子结构）

Basic Drill （入门综合）

1. number of protons in the nucleus
2. protons + neutrons
3. +1; relative mass 1
4. 0; relative mass 1
5. −1; relative mass ≈ 1/1836 (negligible)
6. 6 p, 6 n, 6 e
7. 11 p, 12 n, 11 e
8. 8 p, 8 n, 8 e
9. 17 p, 18 n, 17 e
10. 20 p, 20 n, 20 e
11. 10
12. 10
13. 18
14. 10
15. atoms with same Z, different A
16. same Z (and e^- count if neutral); different neutrons / A
17. $1s^1$
18. $1s^2$
19. $1s^2\,2s^2\,2p^2$
20. $1s^2\,2s^2\,2p^3$
21. $1s^2\,2s^2\,2p^5$
22. $1s^2\,2s^2\,2p^6$
23. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^1$
24. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2$
25. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^1$
26. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^5$
27. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6$
28. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^1$
29. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^2$
30. energy to remove 1 mol electrons from 1 mol gaseous atoms
31. $\mathrm{Mg(g)} \longrightarrow \mathrm{Mg^+(g)} + \mathrm{e^-}$
32. increase

Practice （综合练习）

1. $Z = 20$, $A = 40$, neutrons = 20; Ca
2. S: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^4$; S^{2-}: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6$
3. Fe: $1s^2 \ldots 4s^2\,3d^6$; Fe^{2+}: $1s^2 \ldots 3d^6$
4. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^1\,3d^{10}$
5. same number of electrons (18 each)
6. 35.5
7. 24.2
8. Mg; greater nuclear charge / smaller atomic radius
9. Na; electron closer / less shielding than K
10. $\mathrm{Ca(g)} \longrightarrow \mathrm{Ca^+(g)} + \mathrm{e^-}$; $\mathrm{Ca^+(g)} \longrightarrow \mathrm{Ca^{2+}(g)} + \mathrm{e^-}$
11. removing an electron from a positive ion requires more energy
12. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^2\,3d^{10}\,4p^5$
13. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^2\,3d^{10}\,4p^6$
14. Cl; Group 17 (VII)

Further Practice （进阶）

1. 26 p, 30 n, 23 e
2. $^{35}\mathrm{Cl^-}$
3. same number of electrons; both have 18 e
4. $A_\mathrm{r} = 63.6$; Cu
5. $A_\mathrm{r} = 10.8$; boron (B)
6. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^1\,3d^5$

7. Ni: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^2\,3d^8$; Ni^{2+}: $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^8$
8. Cu: $1s^2 \ldots 4s^1\,3d^{10}$; Cu^+: $1s^2 \ldots 3d^{10}$; Cu^{2+}: $1s^2 \ldots 3d^9$
9. Cl; Group 17 (VII)
10. (i) overall increase Na→Ar; (ii) Mg full $3s^2$ vs Al $3p$ electron easier; (iii) P half-filled $3p^3$ vs S paired $3p$ electron easier

Advanced Practice （培优）

1. IE_2 之后出现很大跃迁，说明第三个电子来自内层，因此 E 最外层有两个电子，属于第 2 族。+2 离子有 10 个电子，故 $Z = 12$。中子数 $= A - Z = 24 - 12 = 12$。
   Answer: Group 2; $Z = 12$; 12 neutrons; Mg.

2. 与 Ar 等电子，说明该离子有 18 个电子。质量数为 34、中子数为 18，则 $Z = A - n = 16$。中性硫原子有 16 个电子，因此该离子得到了 2 个电子。
   Answer: $Z = 16$, $n = 2$, S^{2-}.

3. 每个 BrCl 分子含 1 个 Br 和 1 个 Cl，共有四种同位素组合：$^{79}Br^{35}Cl$（$m/z = 114$）、$^{81}Br^{35}Cl$（116）、$^{79}Br^{37}Cl$（116）、$^{81}Br^{37}Cl$（118）。其中两种组合的 m/z 相同，因此分子离子区只有三个峰。按 Br 约 1 : 1、Cl 约 3 : 1 估计相对强度：114 为 0.375，116 为 0.500，118 为 0.125。最强峰是重叠后的 $m/z = 116$。
   Answer: three peaks (m/z 114, 116, 118); most intense m/z 116.

4. CCl_4 含四个氯原子，每个都可以是 ^{35}Cl 或 ^{37}Cl，因此分子离子区出现一组峰。最低 m/z 的峰对应四个氯全部为 ^{35}Cl。
   Answer: isotope cluster from mixed Cl isotopes; lowest m/z is all-^{35}Cl.

5. 前四个电离能逐渐升高，IE_5 突然大幅跃升，说明较容易失去四个外层电子，R 属于第 14 族。IE_5 大得多，是因为该电子来自更靠近核、吸引力更强的内层。
   Answer: Group 14; IE_5 removes an inner-shell electron.

6. 第一次电离后，Na^+ 具有氖型满外层，第二个电子来自内层，很难再失去。Mg^+ 最外层仍剩一个 $3s$ 电子，更容易失去。满壳层效应比钠较小的核电荷更重要。
   Answer: Na: second IE from a full shell; Mg: second IE from remaining $3s$.

7. 第一次电离失去最外层 $3p$ 电子；第二次电离再从 Al^+ 失去一个 $3s$ 电子。
   Answer: $Al(g) \longrightarrow Al^+(g) + e^-$ ($3p$); $Al^+(g) \longrightarrow Al^{2+}(g) + e^-$ ($3s$).

8. Mg 为 $3s^2$（满亚层）；Al 为 $3s^2\,3p^1$，该 $3p$ 电子能量更高、更易失去。P 为半充满 $3p^3$；S 为 $3p^4$，存在一对成对 $3p$ 电子，因排斥而更容易失去。
   Answer: Mg→Al: $3p$ vs full $3s^2$; P→S: paired $3p$ electron in S.

9. 沿第三周期核电荷增大，电子加在同一层，屏蔽变化不大，对外层电子的吸引力增强。Ar 还有满外层，电子结构特别稳定，因此第一电离能最高。
   Answer: highest nuclear charge in the period with similar shielding; full outer shell.

10. (i) IE_3 之后出现很大跃迁，说明有三个外层电子，Q 属于第 13 族。(ii) 价电子失去后，IE_4 失去的是内层电子。(iii) 第三次电离是从 Q^{2+} 再失去一个电子。
    Answer: (i) Group 13; (ii) inner-shell electron; (iii) $Q^{2+}(g) \longrightarrow Q^{3+}(g) + e^-$.

2 Atoms, Molecules & Stoichiometry（原子、分子与化学计量）

Basic Drill （入门综合）

1. $\frac{1}{12}$ mass of one ^{12}C atom
2. weighted mean mass of atom / 1 u
3. weighted mean mass of molecule / 1 u
4. 6.02×10^{23} entities (L)
5. 35.5
6. 18.0
7. 74.0
8. 0.200 mol
9. 21.2 g
10. 6.02×10^{21}
11. NaCl
12. MgO
13. K_2SO_4
14. $CaCO_3$
15. $2\,H_2 + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O$
16. $4\,Fe + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,Fe_2O_3$
17. $Na_2CO_3(aq) + 2\,HCl(aq) \longrightarrow 2\,NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$
18. $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$
19. CH_2O
20. $C_2H_4O_2$
21. N_2O_4
22. 88.9% (3 s.f.)
23. 36.0%
24. 6.00 dm^3
25. 0.200 mol
26. 2.40 dm^3
27. 0.0500 mol
28. 2.00 g
29. 0.400 mol dm^{-3}
30. 0.00250 mol
31. 0.00250 mol
32. 25.0 cm^3
33. 18.0 g
34. 10.0 g
35. 2.40 dm^3
36. H_2 limiting
37. 0.133 mol (3 s.f.)
38. 80.0%
39. 2.20 g
40. 4.00 g

Practice （综合练习）

1. $M_r = 342$; $n = 0.0100$ mol
2. emp. CH_3; mol. C_2H_6
3. $x = 5$
4. $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$
5. 25.0 cm^3
6. $n(H_2SO_4) = 0.00500$ mol; $n(NaOH) = 0.0100$ mol
7. 5.60 g
8. 3.60 dm^3
9. 0.200 mol dm^{-3}
10. $n(Na_2CO_3) = 0.00400$ mol; $n(HCl) = 0.00800$ mol
11. limiting Zn; $m(ZnS) = 9.70$ g
12. stoichiometric amounts; $m(NH_3) = 17.0$ g
13. 70.0%
14. $A_r = 40.0$; Ca
15. 0.0800 mol dm^{-3}
16. 90.0%
17. 5 : 1
18. limiting propane; $n(CO_2) = 0.0600$ mol

Further Practice （进阶）

1. $M_\mathrm{r} = 100$; $n = 0.100\,\mathrm{mol}$
2. $26.5\,\mathrm{g}$
3. $3.60\,\mathrm{dm^3}$
4. emp. NO_2; mol. N_2O_4
5. $x = 7$
6. emp. CH_2; mol. C_4H_8
7. $m(\mathrm{MgO}) = 2.00\,\mathrm{g}$; $V(CO_2) = 1.20\,\mathrm{dm^3}$
8. $8.00\,\mathrm{g}$
9. $50.0\,\mathrm{cm^3}$

Advanced Practice （培优）

1. 计量比 C_2H_4:O_2=1:3，因此 $40.0\,\mathrm{cm^3}$ 乙烯需要 $120\,\mathrm{cm^3}$ O_2。现有 $150\,\mathrm{cm^3}$ O_2，乙烯为限量试剂，剩余 O_2 为 $30.0\,\mathrm{cm^3}$。$40.0\,\mathrm{cm^3}$ 乙烯生成 $80.0\,\mathrm{cm^3}$ CO_2。冷却后水为液体，不计入气体体积。
   Answer: (i) ethene limiting; (ii) $V(CO_2) = 80.0\,\mathrm{cm^3}$; (iii) unused $O_2 = 30.0\,\mathrm{cm^3}$.

2. $n(H_2SO_4) = 0.200 \times 0.0250 = 0.00500\,\mathrm{mol}$；$n(\mathrm{NaOH}) = 0.250 \times 0.0300 = 0.00750\,\mathrm{mol}$。方程式中每 $1\,\mathrm{mol}$ 酸需要 $2\,\mathrm{mol}$ NaOH，因此 $0.00500\,\mathrm{mol}$ 酸需要 $0.0100\,\mathrm{mol}$ NaOH。NaOH 不足，为限量试剂。$n(Na_2SO_4) = \frac{1}{2}n(\mathrm{NaOH}) = 0.00375\,\mathrm{mol}$。
   Answer: NaOH limiting; $n(Na_2SO_4) = 0.00375\,\mathrm{mol}$.

3. $n(H_2) = 3.36/24.0 = 0.140\,\mathrm{mol}$。由 1 : 1 计量关系，$n(\mathrm{Mg}) = 0.140\,\mathrm{mol}$。纯镁质量 $= 0.140 \times 24.0 = 3.36\,\mathrm{g}$。百分纯度 $= 3.36/4.00 \times 100 = 84.0\%$。
   Answer: 84.0%.

4. 结合的氯质量 $= 6.67 - 1.35 = 5.32\,\mathrm{g}$，故 $n(\mathrm{Cl}) = 5.32/35.5 = 0.150\,\mathrm{mol}$。化学式为 MCl_3，因此 $n(\mathrm{M}) = 0.0500\,\mathrm{mol}$。$A_\mathrm{r} = 1.35/0.0500 = 27.0$，对应铝。
   Answer: $A_\mathrm{r} = 27.0$; Al.

5. $n(O_2) = 0.0480/24.0 = 0.00200\,\mathrm{mol}$。方程式中 H_2O_2:O_2=2:1，故 $n(H_2O_2) = 0.00400\,\mathrm{mol}$。$[H_2O_2] = 0.00400/0.0250 = 0.160\,\mathrm{mol\,dm^{-3}}$。质量浓度 $= 0.160 \times 34.0 = 5.44\,\mathrm{g\,dm^{-3}}$。
   Answer: $0.160\,\mathrm{mol\,dm^{-3}}$; $5.44\,\mathrm{g\,dm^{-3}}$.

6. $n(\mathrm{HCl}) = 0.200 \times 0.0250 = 0.00500\,\mathrm{mol}$。计量比 Na_2CO_3:HCl=1:2，故 $n(Na_2CO_3) = 0.00250\,\mathrm{mol}$。浓度 $= 0.00250/0.0200 = 0.125\,\mathrm{mol\,dm^{-3}}$。
   Answer: $0.125\,\mathrm{mol\,dm^{-3}}$.

7. 由初始体积比判断：若完全反应，$120\,\mathrm{cm^3}$ NH_3 需 $120 \times \frac{5}{4} = 150\,\mathrm{cm^3}$ O_2，而仅有 $130\,\mathrm{cm^3}$，所以按初始量，限量试剂是 O_2。但题干说明反应未进行完全，因此不能据此断定 O_2 已耗尽；实际反应量必须由生成的 NO 反推。已知 $V(\mathrm{NO}) = 88.0\,\mathrm{cm^3}$，按 $4\,NH_3 \longrightarrow 4\,NO$，反应掉的 NH_3 也是 $88.0\,\mathrm{cm^3}$。再由 $4\,NH_3 : 5\,O_2$ 得 $V(O_2\ \text{reacted}) = 88.0 \times \frac{5}{4} = 110\,\mathrm{cm^3}$。故未反应 NH_3 为 $120 - 88.0 = 32.0\,\mathrm{cm^3}$，未反应 O_2 为 $130 - 110 = 20.0\,\mathrm{cm^3}$。
   Answer: (i) O_2 limiting (from initial amounts; reaction incomplete so O_2 remains); (ii) $V(O_2\ \text{reacted}) = 110\,\mathrm{cm^3}$; (iii) unreacted $NH_3 = 32.0\,\mathrm{cm^3}$, unreacted $O_2 = 20.0\,\mathrm{cm^3}$.

3 Chemical Bonding（化学键与结构）

Basic Drill （入门综合）

1. electrostatic attraction between oppositely charged ions
2. shared pair(s) of electrons between atoms
3. attraction between metal cations and delocalised electrons
4. ionic
5. ionic
6. covalent
7. covalent
8. covalent
9. metallic
10. metallic
11. 3
12. trigonal planar
13. 120°
14. linear
15. 180°
16. tetrahedral
17. 109.5°
18. pyramidal (trigonal pyramidal)
19. ≈ 107°
20. bent / V-shaped
21. ≈ 104.5°
22. lone-pair–bond-pair repulsion > bond-pair–bond-pair
23. two lone pairs on O cause greater repulsion than one on N
24. ability of an atom to attract bonding electrons
25. F
26. O
27. Cl
28. polar
29. non-polar
30. non-polar
31. polar
32. non-polar

Practice （综合练习）

1. ionic; covalent; metallic
2. Na transfers 1 e to Cl forming Na^+ and Cl^- (attracted)
3. N: 1 lone pair; O: 2 lone pairs
4. trigonal; linear
5. $CH_4 > NH_3 > H_2O$
6. trigonal planar; bond dipoles cancel
7. polar bonds + pyramidal shape; dipoles do not cancel
8. increase
9. decrease
10. H–F; larger electronegativity difference
11. non-polar; polar; non-polar
12. delocalised electrons can move
13. strong electrostatic attraction throughout the lattice
14. weak intermolecular forces between molecules

Further Practice （进阶）

1. ionic; covalent; metallic (with brief definitions)
2. Na transfers 1 e to Cl → Na^+ and Cl^- (attracted)
3. ionic
4. $BeCl_2$: linear 180°; PCl_3: pyramidal ≈ 107°
5. BF_3: trigonal planar 120°; CO_2: linear 180°

6. CH_4 tetrahedral 109.5°; NH_3 pyramidal ≈ 107°; H_2O bent ≈ 104.5°
7. large Δ(electronegativity) ⇒ electron transfer (ionic); smaller Δ ⇒ sharing (polar covalent)
8. non-polar; tetrahedral dipoles cancel
9. polar; pyramidal, dipoles do not cancel

Advanced Practice （培优）

1. 三者中心原子周围都是四对电子。键对–键对排斥最弱，孤对–键对更强，孤对–孤对最强。CH_4 无孤对（109.5°）；NH_3 有一对（107°）；H_2O 有两对（104.5°）。
   Answer: $CH_4 > NH_3 > H_2O$; lp–lp > lp–bp > bp–bp.

2. 两者电子对几何都是四面体，但 H_2O 有两对孤对，NH_3 只有一对。额外的孤对–孤对排斥使 H–O–H 键角被压缩得更小。
   Answer: H_2O has two lone pairs, so stronger compression of the bond angle.

3. 二者都是由强 C–C 共价键构成的巨型网络，因此熔点都很高。石墨层内有离域电子，能导电；金刚石中电子全部定域在共价键中，不能导电。
   Answer: both high m.p.; graphite conducts, diamond does not.

4. SiO_2 中每个原子都处在巨型共价网络里，熔化必须打断强共价键。CO_2 是简单分子，只需克服弱分子间作用力，常温下为气体。
   Answer: SiO_2 giant covalent; CO_2 simple molecular.

5. 碘是简单分子晶体：升华只需克服 I_2 分子间的弱诱导偶极力，并不打断 I–I 共价键。熔化 NaCl 必须破坏整个晶格中的强离子键，因此需要高得多的温度。
   Answer: I_2: weak IMF; NaCl: strong ionic lattice.

6. 高熔点、只在熔化（及水溶液）时导电，符合离子晶体：熔化/溶解后离子可移动。熔点极高且完全不导电，符合巨共价：没有可移动的带电粒子。
   Answer: first ionic; second giant covalent.

7. 两者都有极性键。BF_3 为平面三角形，三个键偶极相互抵消，分子非极性。NF_3 为三角锥形，偶极不能抵消，分子极性。
   Answer: BF_3 planar (dipoles cancel); NF_3 pyramidal (dipoles do not cancel).

8. 金属铝的导电载流子是离域电子：固态与熔融态都可导电。Al_2O_3 的载流子是离子：固态时离子固定不导电，熔融后离子可移动而导电。因此“含有离子”并不等于“任何状态都导电”，关键是离子是否可移动。
   Answer: solid Al: conducts (delocalised electrons); molten Al: conducts (delocalised electrons); solid Al_2O_3: does not conduct (ions fixed); molten Al_2O_3: conducts (mobile ions).

4 States of Matter（物态）

Basic Drill （入门综合）

1. $pV = nRT$
2. 273 K
3. 373 K
4. 24.0 dm^3
5. 6.00 dm^3
6. 0.500 mol
7. 0.250 mol
8. 2.00 mol
9. 2.40 dm^3
10. equal volumes of gases at same T, p contain equal numbers of molecules / moles
11. instantaneous dipole–induced dipole (van der Waals / London)
12. hydrogen bonding
13. permanent dipole–dipole
14. instantaneous dipole–induced dipole
15. H_2O
16. NH_3
17. ionic
18. metallic
19. simple molecular
20. giant covalent
21. giant covalent
22. giant covalent
23. delocalised electrons
24. ions fixed in solid; mobile when molten
25. hydrogen bonding between molecules
26. H_2O
27. NaCl
28. V halves

Practice （综合练习）

1. 2.40 dm^3
2. $n = 0.100$ mol; 6.02×10^{22} molecules
3. $n = 0.0802$ mol (3 s.f.)
4. H-bond > permanent dipole–dipole > id–id (small)
5. Br_2 larger / more polarisable ⇒ stronger id–id
6. NH_3 has hydrogen bonding; PH_3 does not
7. diamond and graphite both very high (giant covalent); I_2 much lower (only weak intermolecular forces)
8. ionic: ions, non-conducting solid; metallic: delocalised e^-, conducts as solid (examples)
9. volume doubles
10. 4.80 dm^3
11. both giant covalent; graphite has delocalised electrons between layers, diamond does not
12. no H-bonding; id–id (London) forces

Further Practice （进阶）

1. $n = 0.100$ mol; $V = 2.40$ dm^3
2. 6.00 dm^3
3. Avogadro's law
4. giant covalent; simple molecular; ionic
5. simple molecular
6. e.g. Cu/Fe; delocalised electrons
7. H-bonding; permanent dipole–dipole; instantaneous dipole–induced dipole
8. increases

Advanced Practice （培优）

1. 先统一单位：$p = 1.00\times10^5\,\text{Pa}$, $V = 2.49\times10^{-3}\,\text{m}^3$。$n = pV/RT = (1.00\times10^5\times2.49\times10^{-3})/(8.31\times300) = 0.100\,\text{mol}$。在 r.t.p. 下，$V = n\times24.0 = 2.40\,\text{dm}^3$。
   Answer: $n = 0.100\,\text{mol}$; $V_{\text{r.t.p.}} = 2.40\,\text{dm}^3$.

2. $n(\text{Mg}) = 0.240/24.0 = 0.0100\,\text{mol}$，故 $n(\text{H}_2) = 0.0100\,\text{mol}$。$V = nRT/p = (0.0100\times8.31\times298)/(1.01\times10^5) = 2.45\times10^{-4}\,\text{m}^3 = 0.245\,\text{dm}^3$。
   Answer: $V = 2.45\times10^{-4}\,\text{m}^3$ ($0.245\,\text{dm}^3$).

3. 二者 M_r 相近，London 力相近，但甲醇有 –OH，分子之间能形成氢键。乙烷只有 London 力，因此甲醇沸点高得多。
   Answer: methanol hydrogen-bonds; ethane has only London forces.

4. 稀有气体从上到下电子数增多，电子云更易极化，London 力增强，沸点升高。HF 能形成氢键，HCl 不能；这种更强的分子间作用力超过了 HCl 较多电子带来的 London 力优势。
   Answer: noble gases: stronger London forces down group; HF hydrogen-bonds.

5. A 熔化时离子得以自由移动并导电，克服的是强离子键。B 从不导电且熔点极高，熔化时打断的是共价网络。C 熔点低且不导电，只需克服分子间弱作用力。
   Answer: A ionic; B giant covalent; C simple molecular.

6. 同温同压、体积相等，由阿伏加德罗定律可知物质的量相等，分子数也相等。密度 $\rho = pM_\text{r}/RT$，因此 SO_2（$M_\text{r} = 64$）比 CH_4（$M_\text{r} = 16$）更密。
   Answer: equal numbers of molecules; SO_2 denser.

7. 冰中氢键把水分子固定成较空旷的开敞晶格。平均分子间距大于液态水，因此冰密度更小，能浮在水面上。
   Answer: open H-bonded lattice ⇒ larger spacing ⇒ lower density.

8. (i) 第一步等温压缩：温度不变，粒子平均动能不变，但单位体积粒子数加倍，与器壁碰撞更频繁，压强升高（对理想气体约加倍）。第二步定容升温：平均动能增大，粒子撞击器壁更频繁、更猛烈，压强进一步升高。(ii) 压缩后粒子间距变小，理想气体的两条假设更不适用：粒子自身体积相对容器体积不可再忽略；粒子间吸引力也不可再忽略。
   Answer: (i) Step 1: p rises (more frequent wall collisions at same average KE). Step 2: p rises further (higher average KE ⇒ harder/more frequent collisions). (ii) particle volume and intermolecular attractions are no longer negligible.

5 Chemical Energetics（热化学）

Basic Drill （入门综合）

1. heat change at constant pressure
2. negative
3. positive
4. ΔH when 1 mol compound forms from elements in standard states
5. ΔH when 1 mol substance burns completely in oxygen (standard conditions)
6. 0
7. endothermic
8. exothermic
9. overall ΔH independent of route / same for all paths
10. q heat; m mass; c specific heat capacity; ΔT temperature change
11. 836 J
12. 836 J
13. 0.836 kJ
14. 2500 J
15. exothermic
16. $-100\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
17. negative
18. -30 (same units)
19. $-200\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
20. $+150\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
21. break H–H, Cl–Cl; form 2×H–Cl
22. bond energies are averages / molecules not always gaseous
23. 298 K and 100 kPa (or 1 bar)
24. $-700\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
25. 2.09 kJ
26. $-209\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
27. heat loss to surroundings; incomplete combustion (examples)
28. colder
29. negative
30. $\Delta H_\mathrm{f}^\circ$ of CO_2 / also $\Delta H_\mathrm{c}^\circ$ of C
31. +30
32. true

Practice （综合练习）

1. 2.01 kJ (3 s.f.)
2. $q = 2717$ J (2.717 kJ); $\Delta H = -54.3\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
3. $-119\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
4. $-891\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
5. $-50\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
6. $\approx -615\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
7. heat loss / incomplete combustion / non-standard conditions
8. $\mathrm{H_2(g) + \frac{1}{2}\,O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)}$ $\Delta H = -286\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
9. $-87\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
10. absorbed by the system
11. $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = 0$ (any closed cycle)
12. $-41.8\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
13. much stronger bonds in products ⇒ more exothermic
14. 4.00°C

Further Practice （进阶）

1. ΔH when 1 mol substance burns completely in O_2 under standard conditions
2. exothermic; $\Delta H < 0$
3. $\Delta H_3 = -40$ (same units)
4. $-184\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$

5. $-124\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$
6. 1672 J (1.67 kJ, 3 s.f.)
7. $q = 6.69\,\mathrm{kJ}$; $\Delta H = -334\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$ (3 s.f.)
8. q heat; m mass; c specific heat capacity; ΔT temperature change
9. (i) exothermic, $\Delta H < 0$; (ii) E_a = barrier height, $|\Delta H|$ = enthalpy difference; (iii) lower E_a peak; ΔH unchanged

Advanced Practice （培优）

1. $n(\mathrm{Cu^{2+}}) = 0.400 \times 0.0250 = 0.0100\,\mathrm{mol}$。锌过量，因此反应量就取这个 n。$q = mc\Delta T = 25.0 \times 4.18 \times 6.00 = 627\,\mathrm{J} = 0.627\,\mathrm{kJ}$。$\Delta H = -q/n = -0.627/0.0100 = -62.7\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$。使用过量锌是为了让全部 $\mathrm{Cu^{2+}}$ 反应，从而可用铜 (II) 溶液来确定 n。
Answer: $\Delta H = -62.7\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$; excess Zn ensures complete reaction of $\mathrm{Cu^{2+}}$.

2. $n(\mathrm{HCl}) = 0.500 \times 0.0400 = 0.0200\,\mathrm{mol}$；$n(\mathrm{NaOH}) = 0.500 \times 0.0600 = 0.0300\,\mathrm{mol}$。1 : 1 中和，故 HCl 为限量试剂，$n(\mathrm{H_2O}) = 0.0200\,\mathrm{mol}$。$q = 100 \times 4.18 \times 4.20 = 1756\,\mathrm{J} = 1.756\,\mathrm{kJ}$，因此 $\Delta H = -1.756/0.0200 = -87.8\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$。
Answer: HCl limiting; $\Delta H = -87.8\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$ per mol water.

3. 生成焓等于碳和 $2\,\mathrm{H_2}$ 的燃烧焓之和，再减去甲醇的燃烧焓：$\Delta H_\mathrm{f}^\circ = -394 + 2(-286) - (-726) = -240\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$。该数值对应 $\mathrm{C(s) + 2\,H_2(g) + \frac{1}{2}\,O_2(g) \longrightarrow CH_3OH(l)}$。
Answer: $-240\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$; $\mathrm{C(s) + 2\,H_2(g) + \frac{1}{2}\,O_2(g) \longrightarrow CH_3OH(l)}$.

4. 燃烧反应：$\mathrm{C_2H_2 + \frac{5}{2}\,O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + H_2O(l)}$。$\Delta H_\mathrm{c}^\circ = 2(-394) + (-286) - (+227) = -1301\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$。
Answer: $-1301\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$.

5. 断键：$\mathrm{N_2}$（三键）$+3\times\mathrm{H{-}H} = 944 + 3 \times 436 = 2252\,\mathrm{kJ}$。成键：$6\times\mathrm{N{-}H} = 6 \times 388 = 2328\,\mathrm{kJ}$。$\Delta H = 2252 - 2328 = -76\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$（按所给方程式）。键能是平均值，并非专属于 $\mathrm{NH_3}$，因此实验 ΔH 会有差别。
Answer: $\approx -76\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$; averages / not molecule-specific.

6. (a) 热量散失到环境使水温升偏小，q 偏小，故计算得到的 $|\Delta H_\mathrm{c}|$ 偏小。(b) 不完全燃烧（生成 CO）释放热量变少，同样使 ΔT 偏小，$|\Delta H_\mathrm{c}|$ 偏小。(c) 水汽在灯上冷凝使终质量偏大，表观“燃料消耗”偏小，n 偏小，而 q 几乎不变，故 $|\Delta H_\mathrm{c}| = q/n$ 偏大。
Answer: (a) too small (q too small); (b) too small (q too small); (c) too large (apparent mass of fuel burned too small).

7. 键能针对的是气态物种。液态水还多一项放热的冷凝/氢键项，简单的气态键能循环没有计入，因此不另给数据时，$\Delta H_\mathrm{f}(\mathrm{H_2O(l)})$ 不可靠。
Answer: bond energies are for gases and miss condensation enthalpy of $\mathrm{H_2O(l)}$.

8. 温度下降意味着溶液失去热量，$\Delta T < 0$，故 $q_\mathrm{sol} = mc\Delta T < 0$。溶解是吸热过程，反应热取 $q_\mathrm{rxn} = -q_\mathrm{sol} > 0$，于是 $\Delta H = q_\mathrm{rxn}/n > 0$。
Answer: $q < 0$; $\Delta H = (-q)/n > 0$.

9. (i) 图 A 中产物低于反应物，故 E_a（正）$< E_\mathrm{a}$（逆）。图 B 中产物高于反应物，故 E_a（正）$> E_\mathrm{a}$（逆）。(ii) 图 B 为吸热：产物焓高于反应物，所以 $\Delta H > 0$。(iii) 催化剂降低 E_a（正）和 E_a（逆），但不改变 ΔH。
Answer: (i) A: E_a(fwd) smaller; B: E_a(fwd) larger; (ii) $\Delta H > 0$; (iii) ΔH unchanged, E_a(fwd) decreases.

6 Electrochemistry（电化学）

Basic Drill （入门综合）

1. 0
2. -2
3. $+1$
4. $+1$
5. $+2$
6. -1
7. $+4$
8. -4
9. -3
10. $+5$
11. $+6$
12. $+6$
13. loss of electrons
14. gain of electrons
15. increase in oxidation number
16. Zn
17. Cu^{2+}
18. Zn
19. Cu^{2+}
20. $Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2\,e^-$
21. $Cu^{2+} + 2\,e^- \longrightarrow Cu$
22. $2\,Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2\,e^-$
23. $2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow H_2$
24. cathode
25. cathode Pb; anode Br_2
26. H_2
27. O_2
28. Cl_2
29. anode mass decreases (Cu dissolves)
30. oxidation

Practice （综合练习）

1. K $+1$; Cr $+6$; O -2
2. 0; -1; $+5$
3. $Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e^-$
4. $Mg + 2\,H^+ \longrightarrow Mg^{2+} + H_2$
5. oxidising agent Cl_2; reducing agent Br^-
6. C: $0 \rightarrow +4$ (oxidised); O: $0 \rightarrow -2$ (reduced); redox
7. cathode Al; anode O_2
8. O_2
9. $MnO_4{}^- + 8\,H^+ + 5\,e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4\,H_2O$
10. $Cr_2O_7{}^{2-} + 14\,H^+ + 6\,e^- \longrightarrow 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O$
11. Ag
12. I_2
13. ions not free to move in solid; mobile when molten
14. cathode Cu; anode O_2

Further Practice （进阶）

1. S: $+4$; $+6$; -2
2. N: -3; $+2$; $+5$
3. Cr: $+6$; Mn: $+7$
4. Zn oxidised; Cu^{2+} reduced; $Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2\,e^-$; $Cu^{2+} + 2\,e^- \longrightarrow Cu$
5. $MnO_4{}^- + 8\,H^+ + 5\,e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4\,H_2O$
6. $Cr_2O_7{}^{2-} + 14\,H^+ + 6\,e^- \longrightarrow 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O$
7. cathode Na; anode Cl_2
8. cathode H_2; anode O_2
9. Cl_2; high $[Cl^-]$ favours halide discharge over OH^-/H_2O

Advanced Practice （培优）

1. 对 $S_2O_3^{2-}$：$2x+3(-2)=-2\Rightarrow x=+2$。对 $S_4O_6^{2-}$：$4x+6(-2)=-2\Rightarrow x=+2.5$。“平均” 是指把所有硫原子当作等价来得到的氧化数，即使真实结构中它们并不完全相同。
Answer: $S_2O_3^{2-}$ +2; $S_4O_6^{2-}$ +2.5 (averages).

2. H_2O_2 中每个氧为 -1。在 H_2O 中氧为 -2（被还原）；在 O_2 中氧为 0（被氧化）。同一元素既被氧化又被还原，属于歧化。
Answer: some O: $-1\to-2$; some O: $-1\to0$.

3. 将铁的半反应乘以 5，使电子抵消，得到 $MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,Fe^{2+} \longrightarrow Mn^{2+} + 4\,H_2O + 5\,Fe^{3+}$。
Answer: $MnO_4^- + 8\,H^+ + 5\,Fe^{2+} \longrightarrow Mn^{2+} + 4\,H_2O + 5\,Fe^{3+}$.

4. 阴极：$Na^+ + e^- \longrightarrow Na$，故 $n(Na)=0.200\,mol$。阳极：$2\,Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2\,e^-$，故 $n(Cl_2)=0.100\,mol$。
Answer: $n(Na)=0.200\,mol$; $n(Cl_2)=0.100\,mol$.

5. 水溶液中，水/H^+ 比 Na^+ 更容易被还原，水/OH^- 比 SO_4^{2-} 更容易被氧化。因此放电产物是 H_2 和 O_2，而不是钠或含硫物种。
Answer: water species discharged in preference to Na^+ / SO_4^{2-}.

6. 阴极（还原 H^+）：$2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow H_2$。阳极（酸性条件下氧化水）：$2\,H_2O \longrightarrow O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-$。配平电子后总反应为 $2\,H_2O \longrightarrow 2\,H_2 + O_2$。
Answer: cathode $2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow H_2$; anode $2\,H_2O \longrightarrow O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-$; overall $2\,H_2O \longrightarrow 2\,H_2 + O_2$.

7. 阴极：$Cu^{2+} + 2\,e^- \longrightarrow Cu$。阳极（铜电极）：$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2\,e^-$。阳极溶解的铜补充阴极析出的铜，因此 $[Cu^{2+}]$ 和蓝色大致不变。
Answer: cathode plates Cu; anode dissolves Cu; $[Cu^{2+}]$ approximately constant.

8. 熔融 NaCl：阴极 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$，阳极 $2\,Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2\,e^-$。通过 0.200 mol 电子时，$n(Na)=0.200\,mol$，$n(Cl_2)=0.100\,mol$。浓食盐水（惰性电极）：阴极主要析氢，$2\,H_2O + 2\,e^- \longrightarrow H_2 + 2\,OH^-$；阳极主要析氯，$2\,Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2\,e^-$。同样电量下 $n(H_2)=0.100\,mol$，$n(Cl_2)=0.100\,mol$。
Answer: molten NaCl: cathode Na (0.200 mol), anode Cl_2 (0.100 mol); concentrated aqueous NaCl: cathode H_2 (0.100 mol), anode Cl_2 (0.100 mol).

7 Equilibria（化学平衡）

Basic Drill （入门综合）

1. forward and reverse rates equal; macroscopic concentrations constant
2. closed system; constant concentrations; ongoing microscopic change (any two)
3. $K_c = \dfrac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$
4. $K_c = \dfrac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$
5. $K_c = \dfrac{[PCl_3][Cl_2]}{[PCl_5]}$
6. no
7. no
8. left (towards reactants)
9. right (towards products)
10. right (more NH_3)
11. no shift (equal gas moles)
12. left (towards PCl_5)
13. right
14. right
15. system opposes the change imposed on it
16. proton (H^+) donor
17. proton (H^+) acceptor
18. strong
19. weak
20. $HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$ (or with H_2O/H_3O^+)
21. $CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$
22. $0.0100\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$
23. $0.0100\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$
24. $1.00 \times 10^{-11}\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$
25. $1.00 \times 10^{-12}\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$
26. $1.00 \times 10^{-7}\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$
27. false
28. true
29. products
30. reactants
31. lower T; higher p (also excess O_2 / remove SO_3)
32. no (K_c depends only on T)

Practice （综合练习）

1. 36
2. $0.80\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$
3. $\uparrow T$: amount of NO_2 increases; $\uparrow p$: amount of NO_2 decreases
4. lower T improves yield but slows rate; compromise balances both
5. $K_c = \dfrac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}$
6. $40\,\text{dm}^3\,\text{mol}^{-1}$
7. rate increases; equilibrium yield unchanged
8. acid HCl; base H_2O
9. HCl/Cl^- and H_3O^+/H_2O
10. $[H^+] = 0.100\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$; $[OH^-] = 1.00 \times 10^{-13}\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$
11. $[H^+]$ much smaller than formal [HA]
12. $[PCl_5]$ falls; $[PCl_3]$ and $[Cl_2]$ rise until rates equal
13. products (right)
14. $2.0\,\text{mol}\,\text{dm}^{-3}$

Further Practice （进阶）

1. $K_c = \dfrac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$; $K_c = \dfrac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$
2. 64
3. $K_c = \dfrac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}$; $K_c = 40\,\text{dm}^3\,\text{mol}^{-1}$

4. yield of NH_3 increases (fewer gas moles)
5. yield of NH_3 decreases (exothermic forward)
6. equilibrium position unchanged; K_c unchanged
7. acid HCl; base H_2O
8. $[H^+] = 0.0100\,\text{mol dm}^{-3}$; pH = 2.00
9. $K_a = \dfrac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$; small $K_a \Rightarrow$ weak acid
10. (i) exothermic forward $\Rightarrow$ higher T shifts left, lower yield; (ii) low T gives high yield but slow rate—compromise needed

Advanced Practice （培优）

1. $K_c = [H_2O][CO]/([H_2][CO_2]) = 1.0$。代入三个已知浓度：$[CO] = 1.0\times0.20\times0.20/0.20 = 0.20\,\text{mol dm}^{-3}$。
Answer: $0.20\,\text{mol dm}^{-3}$.

2. 反应掉的 PCl_5 为 $0.200 - 0.0400 = 0.160\,\text{mol}$，故 $n(PCl_3) = n(Cl_2) = 0.160\,\text{mol}$。除以 $2.00\,\text{dm}^3$：$[PCl_5] = 0.0200, [PCl_3] = [Cl_2] = 0.0800\,\text{mol dm}^{-3}$。$K_c = (0.0800\times0.0800)/0.0200 = 0.320\,\text{mol dm}^{-3}$。
Answer: $[PCl_5] = 0.0200$; $[PCl_3] = [Cl_2] = 0.0800\,\text{mol dm}^{-3}$; $K_c = 0.320\,\text{mol dm}^{-3}$.

3. 正反应放热，且气体分子数减少。升温：NH_3 产率下降（逆反应吸热被促进），但速率增大。加压：产率上升（有利于气体分子数减少的方向），速率也增大。催化剂：产率不变（K_c 不变），但速率增大。
Answer: $\uparrow T$: yield $\downarrow$, rate $\uparrow$; $\uparrow p$: yield $\uparrow$, rate $\uparrow$; catalyst: yield unchanged, rate $\uparrow$.

4. K_c 由某一温度下的平衡浓度定义；改变温度会改变平衡位置，因而改变 K_c。固定温度下改变浓度，只会移动平衡位置，直到同一 K_c 重新满足。
Answer: K_c depends on T only; concentration changes shift position, not K_c.

5. 升温有利于吸热的正反应，因此 NO_2 增多。加压有利于气体分子数减少的逆反应，因此 NO_2 减少。
Answer: $\uparrow T$: more NO_2; $\uparrow p$: less NO_2.

6. Plant A（350°C、无催化剂）温度低，平衡产率较高，但速率非常慢，达到平衡时间长，单位时间产量低。Plant B（450°C、铁催化剂）温度较高使平衡产率略降，但速率显著提高，且催化剂进一步加快正逆反应，工业上单位时间产量更高。
Answer: A: higher equilibrium yield but very slow rate and low daily output; B: lower equilibrium yield but much faster rate and higher practical daily production. Plant B is more practical.

7. 弱酸的 $K_a = [H^+][A^-]/[HA]$ 很小，平衡明显偏左。只有很小一部分 HA 电离，因此 $[H^+]$ 远小于 HA 的形式浓度。
Answer: small $K_a \Rightarrow$ equilibrium left $\Rightarrow$ small $[H^+]$.

8. OH^- 消耗 H^+，由勒夏特列原理，电离平衡向右移动以补充 H^+。更多 CH_3COOH 电离，故 $[CH_3COOH]$ 下降。
Answer: right shift; $[CH_3COOH]$ decreases.

9. (i) 正反应放热，升温有利于逆反应，K_c 下降，与曲线向下一致。(ii) 温度不变时 K_c 不变；平衡位置会移动以消耗加入的反应物。
Answer: (i) $\uparrow T$ favours reverse $\Rightarrow$ K_c falls; (ii) K_c unchanged; equilibrium shifts to use up added reactant.

8 Reaction Kinetics（反应动力学）

Basic Drill （入门综合）

1. change in concentration/amount of reactant or product per unit time
2. minimum energy needed for a reaction to occur (on collision)
3. $E \geq E_a$; correct orientation
4. substance that increases rate by providing alternative pathway of lower E_a; not consumed overall
5. no (regenerated; may appear in mechanism but not overall equation)
6. rate increases
7. rate increases
8. rate increases (larger surface area)
9. rate increases (higher concentration of gas particles)
10. x: kinetic energy; y: number of particles; area = total particles
11. particles with $E \geq E_a$ (those that can react)
12. few particles have $E \geq E_a$
13. e.g. enzyme / catalase (any correct biological catalyst)
14. no
15. e.g. Haber / Contact / catalytic converter (any valid)
16. use powder / stir / increase surface area
17. use more dilute acid
18. much larger fraction of particles have $E \geq E_a$ (not only slightly more collisions)
19. no effect on ΔH
20. lowers E_a
21. peak lower/shifts right; larger high-energy tail
22. so reactive sites meet / bonds can rearrange to products
23. e.g. volume of CO_2/time; mass loss/time; pressure change
24. e.g. $\text{mol dm}^{-3}\,\text{s}^{-1}$
25. all collisions vs only those with $E \geq E_a$ and correct orientation
26. larger surface area ⇒ more frequent collisions
27. catalyst speeds up forward and reverse equally (same E_a lowering both ways)
28. mark lower E_a on catalysed pathway vs uncatalysed

Practice （综合练习）

1. more particles per unit volume ⇒ more frequent collisions ⇒ more effective collisions/time
2. small T rise greatly increases fraction with $E \geq E_a$ (area beyond E_a grows markedly)
3. (i) more collisions (same E_a); (ii) lower E_a so larger reacting fraction
4. e.g. gas syringe (H_2 volume/time); mass balance (mass loss/time)
5. powder has larger surface area ⇒ more collisions per unit time
6. shade area to the right of E_a
7. (i) lower E_a on profile; (ii) E_a line moves left ⇒ larger shaded area
8. only certain approach geometries allow new bonds to form
9. higher $[H^+]/[H_2SO_4]$ ⇒ more frequent effective collisions ⇒ faster
10. fewer collisions and much smaller fraction with $E \geq E_a$ ⇒ rate falls
11. concentrations double ⇒ collision frequency rises ⇒ rate increases
12. same phase vs different phase; e.g. $H^+(aq)$ / Fe(s) or V_2O_5(s) (any valid pair)

Further Practice （进阶）

1. more particles per unit volume ⇒ more frequent collisions ⇒ more effective collisions/time
2. powder has larger surface area ⇒ more collisions per unit time
3. higher $[H^+]/[H_2SO_4]$ ⇒ more frequent effective collisions ⇒ faster
4. shaded area / particles with $E \geq E_a$
5. few particles have $E \geq E_a$
6. peak lower/shifts right; larger high-energy tail
7. lowers E_a; no effect on ΔH
8. catalyst speeds up forward and reverse equally
9. same phase vs different phase; e.g. $H^+(aq)$ / Fe(s) or $V_2O_5(s)$ (any valid pair)

Advanced Practice （培优）

1. 较高温度的曲线更宽、峰值更低，因为同样数目的粒子分布在更宽的能量范围。这就是颜色较浅的 T_2 曲线。它在 E_a 右侧的高能尾更大，因此能反应的粒子分数更大。
   Answer: (i) the broader, lower peak is T_2; (ii) T_2 has the larger reacting fraction.

2. 温度略升就会使麦克斯韦–玻尔兹曼曲线移动，E_a 以右的面积明显增大。速率取决于 $E \geq E_a$ 的碰撞分数，因此即使平均能量增加看起来不大，速率也会大幅上升。
   Answer: area beyond E_a grows sharply with a small T rise.

3. E_a（正）是从反应物到未催化峰顶的升高；E_a（逆）是从产物到该峰顶的升高；ΔH 是产物与反应物的焓差。虚线催化路径降低两个活化能，但不改变 ΔH。
   Answer: catalyst lowers E_a(fwd) and E_a(rev); ΔH unchanged.

4. 两条路径碰撞频率相近时，速率差主要来自“达到活化能门槛”的比例不同。Pathway Y 的 E_a 更低（65 vs 95），因此在同一温度下 $E \geq E_a$ 的粒子分数大得多，速率更快。这种提升不是线性的，因为它取决于 Maxwell–Boltzmann 分布尾部面积，而尾部对阈值位置变化很敏感。
   Answer: Pathway Y is faster; lowering E_a from 95 to 65 greatly enlarges the high-energy tail beyond E_a, so successful-collision fraction rises non-linearly.

5. 两个独立原因：大理石不断反应，HCl 被消耗，[HCl] 下降；同时固体表面积也减小。二者都会使单位时间内与固体表面的有效碰撞变少。实验检验：改用大量过量的酸，使 [HCl] 在反应过程中几乎不变。若速率仍明显下降，则表面积减小是主因；若速率几乎不再下降，则浓度下降是主因。
   Answer: Reasons: falling [HCl] and falling marble surface area. Test: use a large excess of acid so [HCl] is nearly constant; a remaining rate fall implicates decreasing surface area.

6. 升温后粒子运动稍快，总碰撞频率只是温和增加。但 $E \geq E_a$ 的分数位于分布的陡峭尾部，会近似指数增大。
   Answer: successful fraction (tail beyond E_a) rises far more than total collision rate.

7. 该说法不完整。能量 $\geq E_a$ 是必要但不充分条件：碰撞粒子还必须有正确取向。
   Answer: false—orientation is also required.

8. 恒温下体积减半，使每种气体的浓度加倍。粒子碰撞更频繁，因此速率增大。
   Answer: concentrations double ⇒ more collisions ⇒ higher rate.

9 Periodicity（元素周期性）

Basic Drill （入门综合）

1. repeating pattern of (element) properties across Periods
2. decreases Na → Cl
3. nuclear charge increases; electrons added to same shell ⇒ stronger attraction
4. Na_2O
5. MgO
6. Al_2O_3
7. SiO_2
8. basic
9. basic
10. amphoteric
11. acidic
12. acidic
13. acidic
14. ionic / giant ionic
15. giant covalent
16. simple molecular
17. yes—mobile ions
18. no—no mobile ions/electrons
19. $Na_2O + H_2O \longrightarrow 2\,NaOH$
20. $MgO + 2\,HCl \longrightarrow MgCl_2 + H_2O$
21. $SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$
22. NaCl
23. ≈ 7
24. steamy fumes of HCl
25. Al_2O_3
26. no (ions fixed in lattice)
27. basic → amphoteric → acidic
28. Al_2Cl_6

Practice （综合练习）

1. $Na_2O + H_2O \longrightarrow 2\,NaOH$; $Al_2O_3 + 6\,HCl \longrightarrow 2\,AlCl_3 + 3\,H_2O$ (and/or with NaOH); $SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$
2. Na_2O giant ionic (strong attractions); SO_2 simple molecular (weak intermolecular forces)
3. molten MgO conducts (ions); molten SiO_2 does not (giant covalent)
4. $Al_2O_3 + 6\,HCl \longrightarrow 2\,AlCl_3 + 3\,H_2O$; $Al_2O_3 + 2\,NaOH + 3\,H_2O \longrightarrow 2\,NaAl(OH)_4$ (or syllabus equivalent)
5. $MgCl_2$ ionic—dissolves, slight hydrolysis; $SiCl_4$ covalent—vigorous hydrolysis / HCl fumes
6. reacts with moisture to give HCl(g)
7. Si has giant covalent network—very strong bonds throughout
8. NaCl ≈ neutral; $AlCl_3$ acidic (hydrolysis)—pH not the same
9. P_4O_{10} simple molecular (more volatile); SiO_2 giant covalent (involatile)
10. $SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$ (sulfuric acid); similarly $Cl_2O_7 + H_2O \longrightarrow 2\,HClO_4$
11. molten Al_2O_3 conducts (mobile ions); molten SCl_2 does not (simple molecular, no mobile ions/electrons)
12. ionic → giant covalent → simple molecular acidic oxides

Further Practice （进阶）

1. Na_2O basic; Al_2O_3 amphoteric; SO_3 acidic
2. Na_2O giant ionic; SiO_2 giant covalent; SO_2 simple molecular
3. $Na_2O + H_2O \longrightarrow 2\,NaOH$; $SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$
4. molten NaCl yes (mobile ions); molten $SiCl_4$ no (no mobile ions/electrons)

5. steamy HCl fumes; $SiCl_4 + 2\,H_2O \longrightarrow SiO_2 + 4\,HCl$ (or syllabus equivalent)
6. no; NaCl ≈ neutral; $AlCl_3$ acidic (hydrolysis)
7. decreases Na → Cl; nuclear charge ↑, same shell ⇒ stronger attraction
8. basic → amphoteric → acidic
9. Si has giant covalent network—very strong bonds throughout
10. (i) Si giant covalent network (strong bonds throughout); (ii) P/S/Cl/Ar are simple molecular (weak intermolecular forces)

Advanced Practice （培优）

1. 从 Na 到 Cl，氧化物由离子型（低氧化态、金属–氧）变为共价型（高氧化态、非金属–氧）。离子型氧化物呈碱性，共价型氧化物呈酸性；铝介于两者之间，显两性。
   Answer: metal oxides ionic/basic → Al amphoteric → non-metal oxides covalent/acidic.

2. 巨型晶格中的强离子作用使 Al_2O_3 熔点很高。部分共价性/中间型成键使它既能与酸又能与碱反应，因此呈两性。
   Answer: strong lattice ⇒ high m.p.; intermediate bonding ⇒ amphoteric.

3. NaCl 离子性很强，几乎不水解（溶液接近中性）。$MgCl_2$ 极化能力更强，发生轻微水解。$SiCl_4$ 为共价化合物，完全水解，产生白雾状 HCl 和强酸性溶液。
   Answer: hydrolysis increases NaCl → MgCl2 → SiCl4 as covalent character increases.

4. 阳离子极化能力和非金属电负性都增大，氯化物共价性增强：NaCl（离子）< $AlCl_3$（极性共价/层状）< $SiCl_4$（简单分子共价）。
   Answer: NaCl < $AlCl_3$ < $SiCl_4$.

5. 硅形成巨型 Si−O 共价网络，因此 SiO_2 是高熔点固体。碳形成分立的 CO_2 分子，分子间只有弱作用力，因此 CO_2 是气体。
   Answer: SiO_2 giant covalent; CO_2 simple molecular.

6. 遇水剧烈水解并放出 HCl 白雾，熔融时又不导电，说明是简单分子共价氯化物，而不是离子氯化物。第三周期典型例子是 $SiCl_4$（或 PCl_5）。
   Answer: simple molecular chloride, e.g. $SiCl_4$.

7. 熔融 MgO 含有可移动的 Mg^{2+} 和 O^{2-}，因此导电。熔融 SiO_2 仍是共价网络/黏稠液体，没有可移动离子或离域电子，因此不导电。
   Answer: molten MgO conducts (ions); molten SiO_2 does not.

8. 与酸：$Al_2O_3 + 6\,HCl \longrightarrow 2\,AlCl_3 + 3\,H_2O$。与碱（热浓 NaOH）：$Al_2O_3 + 2\,NaOH + 3\,H_2O \longrightarrow 2\,NaAl(OH)_4$（或考纲等价写法）。
   Answer: $Al_2O_3 + 6\,HCl \longrightarrow 2\,AlCl_3 + 3\,H_2O$; $Al_2O_3 + 2\,NaOH + 3\,H_2O \longrightarrow 2\,NaAl(OH)_4$.

10 Group 2, Group 17, N & S（族化学）

Basic Drill （入门综合）

1. increases down the group
2. decreases down the group
3. [Ne] / $1s^2\,2s^2\,2p^6$ (as taught)
4. $2\,Mg + O_2 \longrightarrow 2\,MgO$
5. $Ca + 2\,H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + H_2$
6. $Mg + H_2O \longrightarrow MgO + H_2$ (steam)
7. $Mg + 2\,HCl \longrightarrow MgCl_2 + H_2$
8. increases down the group
9. decreases down the group
10. $Mg(OH)_2$
11. $CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$
12. $2\,Mg(NO_3)_2 \longrightarrow 2\,MgO + 4\,NO_2 + O_2$
13. increases down the group
14. $Cl_2 > Br_2 > I_2$
15. $Cl_2 + 2\,Br^- \longrightarrow 2\,Cl^- + Br_2$
16. $Cl_2 + 2\,I^- \longrightarrow 2\,Cl^- + I_2$
17. $Br_2 + 2\,I^- \longrightarrow 2\,Br^- + I_2$
18. orange / brown
19. brown (aq) / purple in organic solvent
20. no—I_2 weaker oxidant than Cl_2
21. decreases down the group
22. increases down the group
23. $N_2 + 3\,H_2 \rightleftharpoons 2\,NH_3$
24. strong N ≡ N triple bond
25. $NH_3 + H^+ \longrightarrow NH_4^+$ (or $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$)
26. $S + O_2 \longrightarrow SO_2$
27. $SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$
28. $SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$
29. Contact process
30. acid rain (or respiratory harm)

Practice （综合练习）

1. E_i decreases / easier to form M^{2+} down group
2. Mg very slow/little with cold water; Ca steady reaction, alkaline solution, H_2
3. larger cation less polarising ⇒ carbonate ion less distorted ⇒ more stable
4. colourless → brown; $Cl_2 + 2\,I^- \longrightarrow 2\,Cl^- + I_2$
5. Cl_2 stronger oxidant; I_2 cannot oxidise Cl^-
6. $Ba + 2\,H_2O \longrightarrow Ba(OH)_2 + H_2$; $Ba(OH)_2 + 2\,HCl \longrightarrow BaCl_2 + 2\,H_2O$
7. $MgSO_4$ more soluble (Group 2 sulfates become less soluble down the group)
8. add Cl_2(aq) to KBr(aq)—orange Br_2 forms
9. $S + O_2 \longrightarrow SO_2$; $2\,SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2\,SO_3$; $SO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow H_2S_2O_7$ then $H_2S_2O_7 + H_2O \longrightarrow 2\,H_2SO_4$ (or syllabus route)
10. catalyst increases rate; moderate T balances rate vs yield (exothermic equilibrium)
11. $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$
12. $N_2 + O_2 \longrightarrow 2\,NO$
13. $2\,M(NO_3)_2 \longrightarrow 2\,MO + 4\,NO_2 + O_2$; decomposition becomes harder down group
14. Br_2 forms—solution turns orange/brown

Further Practice （进阶）

1. (i) increases; (ii) decreases
2. $Ca + 2\,H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + H_2$; $Mg + H_2O \longrightarrow MgO + H_2$ (steam)

3. hydroxides more soluble down group; sulfates less soluble down group
4. $Cl_2 + 2\,Br^- \longrightarrow 2\,Cl^- + Br_2$; $Cl_2 + 2\,I^- \longrightarrow 2\,Cl^- + I_2$
5. colourless → brown (aq) / purple in organic solvent
6. Cl_2 stronger oxidant; I_2 cannot oxidise Cl^-
7. $N_2 + 3\,H_2 \rightleftharpoons 2\,NH_3$; strong N ≡ N triple bond
8. $S + O_2 \longrightarrow SO_2$; $SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$
9. acid rain (or respiratory harm)

Advanced Practice （培优）

1. 沿第 2 族向下，氢氧化物溶解度增大（Mg 最小、Ba 最大），硫酸盐溶解度减小（$MgSO_4$ 可溶、$BaSO_4$ 难溶）。AS 层面可理解为：阳离子变大时晶格能与水合能下降的幅度对不同盐并不相同。
   Answer: hydroxides more soluble down group; sulfates less soluble down group.

2. 沿族向下，第 2 族阳离子变大、极化能力减弱，对 CO_3^{2-} 的扭曲更小。碳酸根更难分解，因此热稳定性沿族向下增强。
   Answer: larger cation ⇒ less polarising ⇒ more thermally stable carbonate.

3. 标氧化数：Cl_2 中 Cl 为 0，Cl^- 中为 −1（得电子，还原）。Br^- 中 Br 为 −1，Br_2 中为 0（失电子，氧化）。半反应：$Cl_2 + 2\,e^- \longrightarrow 2\,Cl^-$ 和 $2\,Br^- \longrightarrow Br_2 + 2\,e^-$。
   Answer: Cl_2 reduced; Br^- oxidised.

4. 两种金属都生成氢氧化物和 H_2，但 Ba 与冷水反应比 Mg 剧烈得多。沿族向下第一、第二电离能下降，更易形成 M^{2+}，反应性增强。
   Answer: Ba more vigorous; lower E_i / easier M^{2+} formation.

5. 二氧化硫溶于水生成亚硫酸：$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$。二氧化氮可形成硝酸，例如 $4\,NO_2 + 2\,H_2O + O_2 \longrightarrow 4\,HNO_3$（或考纲等价式）。
   Answer: $SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$; $4\,NO_2 + 2\,H_2O + O_2 \longrightarrow 4\,HNO_3$.

6. 第 2 族硝酸盐分解为氧化物、二氧化氮和氧气：$2\,Ca(NO_3)_2 \longrightarrow 2\,CaO + 4\,NO_2 + O_2$。第 1 族硝酸盐（除 Li 外）通常生成亚硝酸盐和氧气：$2\,NaNO_3 \longrightarrow 2\,NaNO_2 + O_2$。
   Answer: $2\,Ca(NO_3)_2 \longrightarrow 2\,CaO + 4\,NO_2 + O_2$; $2\,NaNO_3 \longrightarrow 2\,NaNO_2 + O_2$.

7. 化学理由一：F_2 氧化性远强于 $Cl_2/Br_2/I_2$，会无选择地氧化水中多种物种，得不到单一、可对比的“卤素置换卤离子”结果。化学理由二：F_2 会与水本身反应（例如 $2\,F_2 + 2\,H_2O \longrightarrow 4\,HF + O_2$），水溶液条件从一开始就不成立。实验设计后果：不能沿用学校常规的试管水溶液置换比较，而需要专用装置与严格安全控制。
   Answer: (i) F_2 is too strong an oxidant for a clean halide-displacement comparison; (ii) it reacts with water, so aqueous conditions fail; (iii) school test-tube aqueous displacement cannot be used safely or fairly.

8. 催化剂通过降低 E_a 加快反应，这对断开很强的 N_2 三键很必要。正反应放热，因此选用中等（而非很低）温度：既保证一定产率，又保证可接受的速率。
   Answer: catalyst for rate; moderate T is a yield/rate compromise.

11 Organic Foundations（有机入门）

Basic Drill （入门综合）

1. same general formula/functional group; successive members differ by CH_2
2. C_nH_{2n+2}
3. C_nH_{2n}
4. $C_nH_{2n+1}OH$
5. atom/group that largely determines reactions of the molecule
6. methane
7. ethane
8. propane
9. butane
10. ethene
11. propene
12. methanol
13. ethanol
14. propan-1-ol
15. propan-2-ol
16. C=C
17. –OH
18. saturated
19. unsaturated
20. C_4H_{10}
21. C_4H_8
22. same molecular formula, different structure
23. butane; methylpropane
24. $H_3C–CH_3$ with all bonds shown (six C–H, one C–C)
25. propane, C_3H_8
26. CH_2
27. carboxylic acids
28. aldehyde (–CHO)
29. ketone (C=O)
30. 2-bromo-2-methylpropane
31. boiling point (or M_r / viscosity)
32. CH_2

Practice （综合练习）

1. general formula C_nH_{2n+2}; chemical reactions similar; physical properties trend
2. 2-methylbutane; but-1-ene; butan-1-ol
3. propan-1-ol; propan-2-ol ($CH_3CH_2CH_2OH$, $CH_3CH(OH)CH_3$)
4. chain: butane/methylpropane; position: propan-1-ol/propan-2-ol
5. same functional group (alkane chemistry); stronger intermolecular forces for larger molecule
6. butane unbranched C4; methylpropane C3 chain with methyl on middle C
7. alkene; alkane; alcohol
8. but-2-ene—number needed to locate C=C
9. (i) carboxylic acid –COOH; (ii) amine $–NH_2$; (iii) halogenoalkane –Cl
10. ethene C_2H_4; propene C_3H_6; but-1-ene C_4H_8; pent-1-ene C_5H_{10} (other isomers exist for C_4 and C_5)
11. but-1-ene / but-2-ene—position isomerism
12. $(CH_3)_2CHCH_2OH$; yes $C_4H_{10}O$
13. contains C=C; ethene decolourises bromine water, ethane does not
14. no—alkenes are C_nH_{2n}; C_5H_{12} is alkane

Further Practice （进阶）

1. 2-methylbutane; C_5H_{12}
2. $CH_2{=}CHCH(CH_3)CH_2CH_3$
3. butan-2-ol
4. propan-1-ol, $CH_3CH_2CH_2OH$; propan-2-ol, $CH_3CH(OH)CH_3$
5. chain: but-1-ene / 2-methylpropene; position: but-1-ene / but-2-ene
6. functional-group isomerism; ethanol contains –OH, methoxymethane contains C–O–C
7. $(CH_3)_2CHCH_2OH$; primary
8. but-2-ene; C_4H_8
9. C_4H_8; e.g. but-1-ene (or another butene)

Advanced Practice （培优）

1. 保持分子式 $C_4H_{10}O$，移动 –OH 或碳架：直链伯醇 butan-1-ol；直链仲醇 butan-2-ol；支链伯醇 2-methylpropan-1-ol；支链叔醇 2-methylpropan-2-ol。按连在带 –OH 碳上的碳原子数目分类。
   Answer: butan-1-ol (1°); butan-2-ol (2°); 2-methylpropan-1-ol (1°); 2-methylpropan-2-ol (3°).

2. E/Z 异构要求 C=C 两端碳上都连有两个不同基团。因此 but-2-ene 有 E/Z 异构，应排除。仍符合 C_4H_8 的烯烃是末端双键的 but-1-ene，以及一个双键碳上连两个甲基的 2-methylpropene。
   Answer: but-1-ene $CH_2{=}CHCH_2CH_3$; 2-methylpropene $CH_2{=}C(CH_3)_2$.

3. 母链必须包含 C=C，并尽可能长，这里是四个碳（butene，不是 propene）。从靠近双键的一端编号，C=C 从 C1 开始，甲基在 C2。
   Answer: 2-methylbut-1-ene; longest chain containing C=C, numbered from the nearer end.

4. 主官能团是 –OH，母链必须是包含 C–OH 碳的最长碳链（四个碳：butan-2-ol）。两个甲基都在 C3，得到 3,3-dimethylbutan-2-ol：$CH_3CH(OH)C(CH_3)_2CH_3$。
   Answer: $CH_3CH(OH)C(CH_3)_2CH_3$; parent chain must contain the –OH carbon.

5. 三者都是 C_5H_{12} 的同分异构体，主要靠 London 力。直链 pentane 表面积最大、作用力最强。支链越多分子越紧凑，接触面减小，沸点降低。
   Answer: pentane > 2-methylbutane > 2,2-dimethylpropane.

6. 二者分子式都是 C_2H_6O，但乙醇有 –OH，既能自身形成氢键，也能与水形成氢键。甲氧基甲烷不能在醚分子之间形成氢键，只能接受来自水的氢键，因此沸点更低、水溶性更差。
   Answer: ethanol higher b.p. and more water-soluble (hydrogen bonding).

7. 设 100 g：$n(\mathrm{C}) = 85.7/12.0 = 7.14$，$n(\mathrm{H}) = 14.3/1.0 = 14.3$，比值为 $1:2$，经验式 CH_2。$M_r(CH_2) = 14$，故 $n = 56/14 = 4$，分子式为 C_4H_8。这既符合烯烃，也符合环烷烃。
   Answer: empirical CH_2; molecular C_4H_8; alkene or cycloalkane.

8. 末端 –CHO 说明是醛：P 为 propanal。羰基碳连两个碳说明是酮：Q 为 propanone。分子式相同、官能团不同，属于官能团异构。
   Answer: P propanal; Q propanone; functional-group isomers.

12 Hydrocarbons & Halogen Compounds（烃与卤代烃）

Basic Drill （入门综合）

1. $CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$
2. $C_2H_4 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + 2\,H_2O$
3. CO and C (soot)
4. addition (electrophilic addition)
5. $CH_2{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_2BrCH_2Br$
6. $CH_2{=}CH_2 + HBr \longrightarrow CH_3CH_2Br$
7. $CH_2{=}CH_2 + H_2 \longrightarrow CH_3CH_3$ (Ni)
8. $CH_2{=}CH_2 + H_2O \longrightarrow CH_3CH_2OH$ (H^+)
9. orange/brown → colourless
10. no
11. free-radical substitution
12. $CH_4 + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + HCl$
13. UV: Cl–Cl undergoes homolytic fission to chlorine radicals
14. e.g. $Cl\cdot + CH_4 \longrightarrow CH_3\cdot + HCl$ then $CH_3\cdot + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + Cl\cdot$
15. e.g. $2\,Cl\cdot \longrightarrow Cl_2$ or $CH_3\cdot + Cl\cdot \longrightarrow CH_3Cl$
16. provides energy to break Cl–Cl homolytically / start chain
17. species that donates an electron pair / attacks $\delta+$ C
18. primary
19. tertiary
20. heat with aqueous NaOH
21. $CH_3CH_2Br + NaOH \longrightarrow CH_3CH_2OH + NaBr$
22. heat with ethanolic NaOH
23. $CH_3CH_2Br + NaOH \longrightarrow CH_2{=}CH_2 + H_2O + NaBr$
24. aqueous ⇒ substitution; ethanolic ⇒ elimination
25. 2-bromopropane (major)
26. $CH_3CH{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_3CHBrCH_2Br$
27. poly(ethene)
28. combustion / redox
29. CH_3CH_2OH
30. $CH_3CH_2Br + OH^- \longrightarrow CH_3CH_2OH + Br^-$

Practice （综合练习）

1. $2\,C_2H_6 + 7\,O_2 \longrightarrow 4\,CO_2 + 6\,H_2O$; $C_2H_4 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + 2\,H_2O$; ethane needs more O_2 per mole
2. alkenes undergo addition; alkanes do not (under usual conditions)
3. init.: $Cl_2 \longrightarrow 2\,Cl\cdot$ (UV); prop.: $Cl\cdot + C_2H_6 \longrightarrow C_2H_5\cdot + HCl$, $C_2H_5\cdot + Cl_2 \longrightarrow C_2H_5Cl + Cl\cdot$; term.: e.g. $2\,Cl\cdot \longrightarrow Cl_2$
4. (i) H_2/Ni; (ii) Br_2; (iii) HBr
5. UV needed to generate radicals for substitution; ethene + Br_2 is addition (no UV)
6. (i) propan-1-ol; (ii) propene
7. $CH_3CH_2CH_2Br + NaOH\,(aq) \longrightarrow CH_3CH_2CH_2OH + NaBr$; $CH_3CH_2CH_2Br + NaOH \longrightarrow CH_3CH{=}CH_2 + H_2O + NaBr$ (ethanolic)
8. 1-bromopropane and 2-bromopropane; major 2-bromopropane
9. addition; free-radical substitution; nucleophilic substitution
10. bond breaks evenly—one electron to each atom (radicals)
11. further substitution of CH_3Cl etc. can occur
12. $2\,C_4H_{10} + 13\,O_2 \longrightarrow 8\,CO_2 + 10\,H_2O$; more CO_2 than from 1 mol methane
13. nucleophilic substitution; C–Br bond breaks
14. HBr then aqueous NaOH/heat

Further Practice （进阶）

1. $CH_2{=}CH_2 + H_2 \longrightarrow CH_3CH_3$; H_2, Ni catalyst, heat
2. $CH_3CHBrCH_2Br$, 1,2-dibromopropane; orange/brown → colourless
3. steam, phosphoric acid catalyst, about 300 °C and high pressure; $CH_2{=}CH_2 + H_2O \longrightarrow CH_3CH_2OH$
4. $Cl_2 \longrightarrow 2\,Cl\cdot$ under UV; homolytic fission
5. $Cl\cdot + CH_4 \longrightarrow HCl + CH_3\cdot$; $CH_3\cdot + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + Cl\cdot$
6. e.g. $Cl\cdot + Cl\cdot \longrightarrow Cl_2$ and $CH_3\cdot + Cl\cdot \longrightarrow CH_3Cl$; radicals are removed
7. $CH_3CH_2Br + OH^- \longrightarrow CH_3CH_2OH + Br^-$; nucleophilic substitution
8. $CH_3CHBrCH_3 + KOH \longrightarrow CH_3CH{=}CH_2 + KBr + H_2O$; propene (ethanolic KOH, heat)
9. aqueous: butan-1-ol; ethanolic: but-1-ene (principal expected product at this level)

Advanced Practice （培优）

1. HBr 可以按两种方式加成，得到 $CH_3CH_2CH_2Br$(1-bromopropane)或 $CH_3CHBrCH_3$(2-bromopropane)。仲碳正离子比伯碳正离子更稳定（马氏规则），因此 2-bromopropane 是主要产物。
   Answer: both bromopropanes; major product 2-bromopropane (more stable secondary carbocation).

2. 消除可从相邻任一碳上夺氢，得到 but-1-ene 或 but-2-ene。but-2-ene 的双键两端碳都连有两个不同基团，因此有 E/Z 异构；but-1-ene 没有。
   Answer: but-1-ene and but-2-ene; but-2-ene shows E/Z.

3. 乙烷 + Br_2/UV 是自由基取代：氢被取代，褪色较慢，产物为 bromoethane 和 HBr。乙烯 + 溴水是亲电加成：不需要 UV，迅速褪色，产物为 1,2-dibromoethane。
   Answer: alkane: radical substitution under UV → bromoethane; alkene: addition, rapid decolourisation → 1,2-dibromoethane.

4. 链增长产生 $CH_3\cdot$。两个甲基自由基碰撞会在终止步骤中形成 C–C 键：$CH_3\cdot + CH_3\cdot \longrightarrow C_2H_6$。因此即使起始物不是乙烷，也可能检测到乙烷。
   Answer: $CH_3\cdot + CH_3\cdot \longrightarrow C_2H_6$ (termination).

5. 第一步：自由基取代 $C_2H_6 + Br_2 \longrightarrow C_2H_5Br + HBr$（UV）。第二步：亲核取代 $C_2H_5Br + OH^- \longrightarrow C_2H_5OH + Br^-$（水溶液氢氧根，加热）。
   Answer: Br_2/UV then aqueous OH^-/heat; equations as above.

6. 热的醇溶液 KOH 使 2-bromopropane 消除 HBr，得到丙烯。丙烯再经酸催化水合，按马氏加成得到 propan-2-ol。
   Answer: ethanolic KOH/heat → propene; steam/H^+ → propan-2-ol.

7. 对 $C_xH_y + (x + y/4)O_2 \longrightarrow x\,CO_2 + y/2\,H_2O$，同温同压下体积比等于物质的量比。$V(CO_2)/V(\text{hydrocarbon}) = 3 \Rightarrow x = 3$。每摩尔烃消耗氧气 $5 = x + y/4$，故 $y = 8$。
   Answer: C_3H_8.

8. 完全燃烧：$C_3H_8 + 5\,O_2 \longrightarrow 3\,CO_2 + 4\,H_2O$。不完全燃烧生成 CO：$2\,C_3H_8 + 7\,O_2 \longrightarrow 6\,CO + 8\,H_2O$。CO 有毒，因为它与血红蛋白结合很强，会降低血液输氧能力。
   Answer: equations as above; CO is toxic (binds haemoglobin).

13 Oxygen & Nitrogen Organics + Synthesis（含氧含氮与合成）

Basic Drill （入门综合）

1. –OH on a C attached to one alkyl (or one C)
2. –OH on a C attached to two alkyls
3. –OH on a C attached to three alkyls
4. primary
5. secondary
6. tertiary
7. ethanal
8. ethanoic acid
9. $CH_3CH_2OH + [O] \longrightarrow CH_3CHO + H_2O$
10. $CH_3CH_2OH + 2\,[O] \longrightarrow CH_3COOH + H_2O$
11. propanone
12. no
13. aldehyde (–CHO) / C=O
14. ketone / C=O
15. silver mirror
16. no reaction / no silver mirror
17. $2\,CH_3COOH + Na_2CO_3 \longrightarrow 2\,CH_3COONa + H_2O + CO_2$
18. $CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$
19. $CH_3COOH + CH_3OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_3 + H_2O$
20. methyl ethanoate
21. ethyl ethanoate
22. CO_2
23. RNH_2
24. $CH_3NH_2 + HCl \longrightarrow CH_3NH_3{}^+Cl^-$
25. basic
26. poly(ethene)
27. $-CH_2CH_2-$ repeating
28. poly(chloroethene) / PVC
29. conc. H_2SO_4/heat (or Al2O3/heat)
30. steam / H^+ (heat, pressure)
31. reflux with excess acidified dichromate
32. HBr then aqueous NaOH/heat

Practice （综合练习）

1. distil ethanal as formed; limit oxidant / avoid prolonged reflux
2. $CH_3CH_2CH_2OH + [O] \longrightarrow CH_3CH_2CHO + H_2O$; $CH_3CH_2CH_2OH + 2\,[O] \longrightarrow CH_3CH_2COOH + H_2O$; $CH_3CH(OH)CH_3 + [O] \longrightarrow CH_3COCH_3 + H_2O$
3. Tollens' or Fehling's: aldehyde positive; ketone negative
4. $2\,CH_3COOH + Mg \longrightarrow (CH_3COO)_2Mg + H_2$; $2\,CH_3COOH + Na_2CO_3 \longrightarrow 2\,CH_3COONa + CO_2 + H_2O$; $CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$
5. ethanoic acid + ethanol /H^+; or ethanoyl chloride + ethanol
6. butan-1-ol 1° → butanal/butanoic acid; butan-2-ol 2° → butanone; 2-methylpropan-2-ol 3°—no easy oxidation
7. $n\,CH_2{=}CH_2 \longrightarrow [-CH_2-CH_2-]_n$; repeating unit $-CH_2-CH_2-$
8. $CH_3NH_2 + H_2O \rightleftharpoons CH_3NH_3{}^+ + OH^-$ (alkaline)
9. steam/H^+ → ethanol; then reflux acidified dichromate → ethanoic acid
10. aqueous NaOH/heat → ethanol; then acidified dichromate/distil → ethanal
11. $CH_3CH_2COOCH_3$; methyl propanoate
12. conc. H_2SO_4/heat; ethene
13. ethanoic acid stronger; acid reacts with carbonates (CO_2), ethanol does not
14. monomer $CH_3CH{=}CH_2$; repeating $-CH_2CH(CH_3)-$

Further Practice （进阶）

1. acidified $K_2Cr_2O_7$, warm and distil; $CH_3CH_2CH_2OH + [O] \longrightarrow CH_3CH_2CHO + H_2O$
2. excess acidified $K_2Cr_2O_7$, heat under reflux; $CH_3CH_2CH_2OH + 2\,[O] \longrightarrow CH_3CH_2COOH + H_2O$
3. warm with Tollens' reagent: propanal gives a silver mirror; propanone gives no reaction
4. $CH_3CH_2COOH + NaOH \longrightarrow CH_3CH_2COONa + H_2O$; $2\,CH_3CH_2COOH + Na_2CO_3 \longrightarrow 2\,CH_3CH_2COONa + H_2O + CO_2$
5. methyl butanoate, $CH_3CH_2CH_2COOCH_3$; concentrated H_2SO_4
6. $CH_3NH_2 + H_2O \rightleftharpoons CH_3NH_3^+ + OH^-$; $CH_3NH_2 + HCl \longrightarrow CH_3NH_3^+Cl^-$
7. repeating unit $-CH_2CH(CH_3)-$; the monomer C=C bond opens
8. aqueous NaOH, heat; then excess acidified dichromate, reflux
9. oxidise part of ethanol under reflux to ethanoic acid; then heat ethanoic acid with remaining ethanol and concentrated H_2SO_4

Advanced Practice （培优）

1. B 是羰基化合物且与 Tollens 试剂不反应，因此 B 是酮而不是醛。所以 A 必须是仲醇：A 为 butan-2-ol，B 为 butanone。$CH_3CH(OH)CH_2CH_3 + [O] \longrightarrow CH_3COCH_2CH_3 + H_2O$。
   Answer: A butan-2-ol; B butanone; equation as above.

2. 银镜说明 C 是醛，故 C 为 propanal CH_3CH_2CHO。继续氧化得到羧酸 D = propanoic acid，它与碳酸盐反应放出 CO_2。$CH_3CH_2CHO + [O] \longrightarrow CH_3CH_2COOH$；$2\,CH_3CH_2COOH + Na_2CO_3 \longrightarrow 2\,CH_3CH_2COONa + H_2O + CO_2$。
   Answer: C propanal; D propanoic acid; both equations as above.

3. 乙烯水合得到乙醇（蒸汽/H^+）。取一部分乙醇用过量酸化重铬酸盐回流氧化为乙酸。再将乙酸与剩余乙醇、浓 H_2SO_4 共热，得到乙酸乙酯。
   Answer: ethene → ethanol → ethanoic acid → ethyl ethanoate.

4. 丙烯的酸催化水合是亲电加成，按马氏规则得到 propan-2-ol。该仲醇再用酸化重铬酸盐氧化，得到 propanone。
   Answer: propene $\xrightarrow{\text{hydration}}$ propan-2-ol $\xrightarrow{\text{oxidation}}$ propanone.

5. 醇解：$CH_3COCl + CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_3COOCH_2CH_3 + HCl$（ethyl ethanoate）。与过量氨：$CH_3COCl + 2\,NH_3 \longrightarrow CH_3CONH_2 + NH_4Cl$（ethanamide）。
   Answer: ethyl ethanoate and ethanamide; equations as above.

6. 由羧酸：$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$，浓 H_2SO_4，可逆平衡。由酰氯：$CH_3COCl + CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_3COOCH_2CH_3 + HCl$，不需要酸催化，基本不可逆。
   Answer: acid route reversible with H^+ catalyst; acyl chloride route faster and not an equilibrium.

7. 重复单元 $-CH_2C(CH_3)_2-$ 表明主链第二个碳连有两个甲基，与单体 $CH_2{=}C(CH_3)_2$（2-methylpropene）一致。若用 $CH_3CH{=}CHCH_3$（but-2-ene），重复单元应表现为 $-CH(CH_3)-CH(CH_3)-$，与题给结构不符。因此正确单体是 2-methylpropene，反应类型是加成聚合。
   Answer: Correct monomer: 2-methylpropene ($CH_2{=}C(CH_3)_2$); polymerisation type: addition. M2 is inconsistent with the given repeating unit.

8. 加成聚合时 π 键打开，单体连接且不脱去小分子，因此每个重复单元与一个单体含有相同原子。$M_r(-CH_2CHCl-) = 24 + 3 + 35.5 = 62.5$；$n = 5.30/62.5 = 0.0848\,\text{mol}$。
   Answer: atoms conserved; $M_r = 62.5$; $n = 0.0848\,\text{mol}$.

14 Analytical Techniques（分析技术）

Basic Drill （入门综合）

1. functional groups / bond types
2. $\sim$1680–1750 $\mathrm{cm^{-1}}$
3. $\sim$3200–3600 $\mathrm{cm^{-1}}$
4. much broader (often $\sim$2500–3300 $\mathrm{cm^{-1}}$)
5. aldehyde/ketone (carbonyl)
6. alcohol (or phenol)
7. M_r / molecular mass of the molecule
8. methane ($\mathrm{CH_4}$)
9. $\mathrm{N_2}$ or CO
10. simplest whole-number ratio of atoms
11. $\mathrm{CH_2}$
12. $\mathrm{C_4H_8}$
13. $\mathrm{C_2H_4O_2}$
14. $\mathrm{CH_2O}$
15. $^{13}\mathrm{C}$ (natural isotope)
16. many compounds share same functional groups
17. mass spectrometry
18. C=O absorption as well as broad O–H
19. $m/z = 44$
20. $m/z = 46$
21. fragment ions
22. $\mathrm{C_6H_6}$
23. 85.7%
24. C and H
25. M_r / molecular mass
26. C=O
27. no—ethers lack O–H
28. $\mathrm{C_4H_8O_2}$

Practice （综合练习）

1. alcohol: O–H, no C=O; propanal: C=O, no acid O–H; acid: C=O + very broad O–H
2. emp. $\mathrm{C_2H_4O}$; mol. $\mathrm{C_4H_8O_2}$
3. $^{35}\mathrm{Cl}$ and $^{37}\mathrm{Cl}$ give M and $M+2$
4. e.g. propanone $\mathrm{C_3H_6O}$ (C=O) vs prop-2-en-1-ol $\mathrm{C_3H_6O}$ (O–H, no C=O)
5. $\mathrm{CH_5N}$ (or $\mathrm{CH_3NH_2}$ empirical $\mathrm{CH_5N}$)
6. empirical from % composition; $n = M_\mathrm{r}/M_\mathrm{r}$(emp.); molecular = $n\times$ empirical
7. unlikely typical acid (O–H not broad enough); could be alcohol + separate carbonyl impurity / hydroxyketone
8. emp. CH; mol. $\mathrm{C_6H_6}$; benzene
9. molecular ion unstable / fragments readily
10. broad O–H (acid) and C=O $\sim$1700 $\mathrm{cm^{-1}}$
11. emp. $\mathrm{CH_2O}$; mol. $\mathrm{C_6H_{12}O_6}$
12. IR: ethanol O–H no C=O; ethanal C=O no alcohol O–H; MS both $M^+ = 46$ vs 44

Further Practice （进阶）

1. broad acid O–H and C=O; carboxylic acid
2. alcohol O–H is normally around 3200–3600 $\mathrm{cm^{-1}}$, less broad, and there is no C=O absorption
3. both show C=O at similar wavenumber; the displayed acid O–H is absent in both, so another test (e.g. Tollens') is needed
4. $M_\mathrm{r} = 60$; e.g. $\mathrm{C_3H_8O}$ or $\mathrm{C_2H_4O_2}$

5. one Cl atom may be ^{35}Cl or ^{37}Cl; natural abundance is about 3 : 1
6. ^{79}Br and ^{81}Br are of approximately equal abundance, giving similar M and $M+2$ peaks
7. C_2H_4O
8. $C_4H_8O_2$
9. empirical CH_2; molecular C_6H_{12}

Advanced Practice （培优）

1. 设 100 g：$n(C) = 60.0/12.0 = 5.00$，$n(H) = 13.3/1.0 = 13.3$，$n(O) = 26.7/16.0 = 1.67$。除以 1.67：$C : H : O = 3 : 8 : 1$，经验式 C_3H_8O。$M_r = 60$ 与此相符，故分子式也是 C_3H_8O。红外在约 3300 cm^{-1} 有宽的醇 O–H，没有 C=O，因此 X 是醇，例如 propan-1-ol 或 propan-2-ol。
   Answer: empirical and molecular C_3H_8O; alcohol, e.g. propan-1-ol or propan-2-ol.

2. $M^+ = 60$ 只说明 $M_r = 60$。1715 cm^{-1} 强峰且无 O–H，属于羰基/酯，例如 methyl methanoate $HCOOCH_3$（$C_2H_4O_2$）。X 是 C_3H_8O，因此 X 与 Y 分子式不同，不是同分异构体。
   Answer: e.g. $HCOOCH_3$; Y is $C_2H_4O_2$, not an isomer of C_3H_8O.

3. $n(C) = n(CO_2) = 1.760/44.0 = 0.0400$ mol；$n(H) = 2 \times (0.720/18.0) = 0.0800$ mol。C 与 H 的质量 $= 0.480 + 0.080 = 0.560$ g，故氧的质量 $= 0.880 - 0.560 = 0.320$ g，$n(O) = 0.0200$ mol。比值 $C : H : O = 2 : 4 : 1$，经验式 C_2H_4O。
   Answer: empirical formula C_2H_4O.

4. $M_r(C_2H_4O) = 44$，而 $M^+ = 88$，故 $n = 2$，分子式为 $C_4H_8O_2$。强 C=O 吸收符合羧酸或酯（二者都可写成 $C_4H_8O_2$）。
   Answer: molecular formula $C_4H_8O_2$; carboxylic acid or ester.

5. 相差两个质量单位、峰高比约 3 : 1 的分子离子峰，对应一个氯原子（^{35}Cl:^{37}Cl $\approx 3 : 1$），而不是溴（1 : 1）。$m/z = 78$ 等于 ^{35}Cl 加上 43，符合 C_3H_7，分子式为 C_3H_7Cl。
   Answer: chlorine; possible C_3H_7Cl.

6. 碎片离子是分子离子断键后形成的，其 m/z 低于完整分子，不能当作 M_r。分子离子是完整的自由基阳离子，通常是相关同位素簇中 m/z 最高的一组峰。
   Answer: fragments are lighter; M^+ is the intact-molecule peak (highest relevant m/z).

7. 相同的经验式、M^+ 和 C=O 峰仍可能属于同分异构体，例如醛和酮。Tollens 试剂与醛产生银镜，与酮不反应。
   Answer: isomers possible; Tollens' distinguishes aldehyde from ketone.

8. 乙酸的元素分析给出经验式 CH_2O。质谱给出 $M_r = 60$，故分子式为 $C_2H_4O_2$。红外还必须同时出现约 1700 cm^{-1} 的强 C=O 和非常宽的酸 O–H，这样才能排除 methyl methanoate 等异构体。
   Answer: empirical CH_2O + $M_r = 60 \Rightarrow C_2H_4O_2$; IR: C=O + very broad acid O–H.