中六化學練習卷：工業化學、哈柏法與電解工業

化學　｜　時限：75 分鐘　｜　總分：100 分　｜　共 20 題

第一部分：哈柏法合成氨（16 分）

哈柏法以氮氣與氫氣在催化劑上合成氨：N2(g) + 3H2(g) ⇌ 2NH3(g)，ΔH = −92 kJ mol^-1。以下各題均以此反應為基礎。

1. (a) 解釋工業上採用約 200 atm 與約 450 °C 的原因，並說明鐵催化劑在此過程中的作用。（5 分）

答案：答案：增大壓力有利於氣體分子數較少的一側。反應物共 4 mol 氣體而生成物只有 2 mol，故高壓（約 200 atm）令平衡右移，提高氨的平衡產率。此反應放熱，低溫有利於平衡右移，但低溫下反應速率過慢，故取約 450 °C 的折中溫度，同時兼顧速率與產率。鐵催化劑降低活化能、加快達到平衡，但不改變平衡位置，亦不改變平衡常數。評分：壓力理由 2 分、溫度折中 2 分、催化劑作用 1 分。

2. (b) 在 1.00 dm³ 的密閉容器中，平衡時含 0.20 mol N2、0.40 mol H2 及 0.60 mol NH3。求該溫度下的平衡常數 Kc（三位有效數字）。（6 分）

答案：答案：[NH3] = 0.60 mol dm^-3，[N2] = 0.20 mol dm^-3，[H2] = 0.40 mol dm^-3。Kc = [NH3]^2 ÷ ([N2] × [H2]^3) = 0.36 ÷ (0.20 × 0.064) = 0.36 ÷ 0.0128 = 28.1。評分：三個濃度 2 分、代入平衡式 2 分、數值與有效數字 2 分。

3. (c) 某次實驗以 1.00 mol N2 與 3.00 mol H2 為起始物料，平衡時得 0.60 mol NH3。求氨的百分產率。（5 分）

答案：答案：由方程式，1.00 mol N2 若完全反應最多生成 2.00 mol NH3，故理論產量為 2.00 mol。百分產率 = 0.60 ÷ 2.00 × 100 = 30.0%。評分：理論產量 2 分、比率計算 2 分、百分號與單位 1 分。

第二部分：硝酸工業與原子經濟性（17 分）

硝酸工業的第一步為氨的催化氧化：4NH3(g) + 5O2(g) → 4NO(g) + 6H2O(g)。（相對原子質量：N = 14.0，H = 1.0，O = 16.0）

4. (a) 解釋為何鉑銠催化劑要製成細密金屬網，並說明空氣用量略高於化學計量比的原因。（5 分）

答案：答案：催化劑只在表面提供反應位置，製成細密金屬網可在有限質量下提供極大的表面積，令氣體接觸面增加、反應速率提升，同時減少貴金屬用量。空氣略為過量可令氨幾乎完全被氧化，避免氨未反應便進入後續工序；但過量太多會稀釋產物並增加加熱與壓縮的成本。評分：表面積理由 2 分、速率說明 1 分、過量空氣理由 2 分。

5. (b) 以質量計，求第一步反應對 NO 的原子經濟性（三位有效數字）。（6 分）

答案：答案：反應物質量 = 4 × 17.0 + 5 × 32.0 = 68.0 + 160.0 = 228.0 g；目標產物質量 = 4 × 30.0 = 120.0 g。原子經濟性 = 120.0 ÷ 228.0 × 100 = 52.6%。其餘原子進入水蒸氣，屬副產物。評分：反應物質量 2 分、產物質量 1 分、比率 2 分、答案 1 分。

6. (c) 若 1.00 噸氨全部被氧化，理論上可得純硝酸多少噸？總產率為 92.0% 時實得多少噸？（三位有效數字）（6 分）

答案：答案：由 N 原子守恆，1 mol NH3 對應 1 mol HNO3，故質量比 = 63.0 ÷ 17.0 = 3.706。理論產量 = 1.00 × 3.706 = 3.71 噸；實得 = 3.71 × 0.920 = 3.41 噸。評分：質量比 2 分、理論產量 2 分、乘產率 1 分、單位與有效數字 1 分。

第三部分：氯鹼工業的電解計算（17 分）

氯鹼工業電解濃食鹽水，同時生產氯氣、氫氣與氫氧化鈉。某電解池以 5.00 A 通電 2.00 小時。（法拉第常數取 96500 C mol^-1，室溫常壓摩爾體積取 24.0 dm³ mol^-1，Na = 23.0，O = 16.0，H = 1.0）

7. (a) 寫出陽極與陰極的電極反應式，並寫出電解總反應式。（5 分）

答案：答案：陽極（氧化）：2Cl^- → Cl2 + 2e^-；陰極（還原）：2H2O + 2e^- → H2 + 2OH^-。總反應式：2NaCl + 2H2O → 2NaOH + H2 + Cl2。評分：陽極式 2 分、陰極式 2 分、總式 1 分（狀態符號不計分）。

8. (b) 求這段時間內陽極產生氯氣在室溫常壓下的體積（dm³，三位有效數字）。（6 分）

答案：答案：電量 Q = 5.00 × 2.00 × 3600 = 36000.0 C。電子摩爾數 = 36000.0 ÷ 96500 = 0.37 mol。由陽極式，2 mol 電子生成 1 mol Cl2，故 Cl2 = 0.37 ÷ 2 = 0.19 mol。體積 = 0.19 × 24.0 = 4.48 dm³。評分：Q 1 分、電子摩爾數 2 分、1 比 2 關係 1 分、體積 2 分。

9. (c) 求同時生成的氫氧化鈉質量（g，三位有效數字）。（6 分）

答案：答案：陰極式顯示每 1 mol 電子生成 1 mol OH^-，故 OH^- 摩爾數 = 0.37 mol。NaOH 摩爾質量 = 23.0 + 16.0 + 1.0 = 40.0 g mol^-1。質量 = 0.37 × 40.0 = 14.92 g。評分：電子與 OH^- 的 1 比 1 關係 2 分、摩爾質量 1 分、計算 2 分、單位 1 分。

第四部分：電鍍與鍍層厚度（17 分）

以銅作電鍍層：在銅片上以 2.50 A 電鍍 30.0 分鐘。銅的摩爾質量取 63.5 g mol^-1，密度取 8.96 g cm^-3，法拉第常數取 96500 C mol^-1。

10. (a) 說明電鍍銅時陽極用純銅、電解質用硫酸銅溶液的原因。（5 分）

答案：答案：陽極的純銅會氧化溶解成 Cu^2+ 進入溶液（Cu → Cu^2+ + 2e^-），正好補充陰極還原所消耗的 Cu^2+，令電解質濃度大致恆定，鍍層厚度與質量可控。若用惰性陽極，Cu^2+ 會被耗盡，鍍層質量與厚度隨時間下降，並在陽極產生氧氣。評分：陽極溶解 2 分、濃度恆定 2 分、惰性陽極的後果 1 分。

11. (b) 求陰極析出銅的質量（g，三位有效數字）。（6 分）

答案：答案：電量 Q = 2.50 × 30.0 × 60 = 4500.0 C；電子摩爾數 = 4500.0 ÷ 96500 = 0.05 mol。Cu^2+ + 2e^- → Cu，故 Cu = 0.05 ÷ 2 = 0.02 mol，質量 = 0.02 × 63.5 = 1.48 g。評分：Q 1 分、電子摩爾數 2 分、2 比 1 關係 1 分、質量 2 分。

12. (c) 若受鍍面積為 50.0 cm²，求平均鍍層厚度（μm，三位有效數字）。（6 分）

答案：答案：銅的體積 = 1.48 ÷ 8.96 = 0.17 cm³。厚度 = 體積 ÷ 面積 = 0.17 ÷ 50.0 = 3.30 × 10^-3 cm，換算 = 3.30 × 10^-3 × 10^4 = 33.0 μm。評分：體積 2 分、除以面積 2 分、cm 轉 μm 1 分、有效數字 1 分。

第五部分：硫酸工業與環境考量（16 分）

接觸法先燃燒硫得二氧化硫，再在五氧化二釩催化下氧化成三氧化硫，最後吸水成硫酸。某廠燃燒 1.00 噸含硫 98.0% 的硫磺。（相對原子質量：S = 32.1，O = 16.0，H = 1.0）

13. (a) 求可得二氧化硫的質量（噸，三位有效數字）。（4 分）

答案：答案：純硫質量 = 1.00 × 0.980 = 0.98 噸。S + O2 → SO2，摩爾比 1 比 1，質量比 = 64.1 ÷ 32.1 = 1.997。SO2 質量 = 0.98 × 1.997 = 1.96 噸。評分：純硫 1 分、摩爾比 1 分、質量比計算 1 分、答案 1 分。

14. (b) 若二氧化硫全部轉化並被吸收，理論上可得純硫酸多少噸？（三位有效數字）（4 分）

答案：答案：每個硫原子最終進入一個硫酸分子，故質量比 = 98.1 ÷ 32.1 = 3.056。硫酸質量 = 0.98 × 3.056 = 2.99 噸。評分：原子守恆觀念 1 分、質量比 2 分、答案與單位 1 分。

15. (c) 二氧化硫氧化成三氧化硫時，工業上只用略高於常壓的壓力而不用極高壓。解釋原因。（4 分）

答案：答案：2SO2 + O2 ⇌ 2SO3 中反應物為 3 mol 氣體而生成物為 2 mol，高壓雖可提高平衡產率，但該反應本身在 1 至 2 atm 下已達 97% 以上轉化率，再增壓所得增益有限，而壓縮氣體與耐壓設備的成本及能耗大幅上升，故只取略高於常壓。評分：氣體摩爾數比較 1 分、轉化率已高 1 分、成本與能耗 2 分。

16. (d) 列舉兩項減少二氧化硫排放的工業措施，並各說明其原理。（4 分）

答案：答案：一是煙氣脫硫，用石灰石漿液或石灰水洗滌廢氣，把 SO2 吸收並轉成亞硫酸鈣或硫酸鈣，避免排入大氣；二是提高轉化率與尾氣循環，把未反應的 SO2 送回催化床再氧化，或加裝尾氣洗滌塔以鹼液吸收殘餘 SO2。評分：每項措施 1 分、原理 1 分。

第六部分：能源效率與工業決策（17 分）

合成氨的理論反應焓變為每摩爾氨 −46.0 kJ（即每摩爾氮 −92 kJ）。某廠實際每生產 1 噸氨約消耗 28.0 GJ 能源。（N = 14.0，H = 1.0）

17. (a) 求每噸氨的理論反應焓變（GJ，三位有效數字）。（5 分）

答案：答案：1 噸氨的摩爾數 = 1.0 × 10^6 ÷ 17.0 = 58823.5 mol。理論焓變 = 58823.5 × 46.0 = 2705882 kJ，即 2.71 GJ。評分：摩爾數 2 分、乘焓變 2 分、單位換算 1 分。

18. (b) 由此求該廠的能源效率（理論焓變 ÷ 實際消耗，以百分比表示、取兩位小數）。（4 分）

答案：答案：能源效率 = 2.71 ÷ 28.0 × 100 = 9.66%。即大部分輸入能源沒有進入產物的化學鍵，而用於壓縮、加熱、冷卻與分離。評分：比率 2 分、百分數 1 分、一句解釋 1 分。

19. (c) 解釋為何實際消耗遠高於理論焓變。（4 分）

答案：答案：理論焓變只計反應本身的能量差，而實際工廠還要壓縮氣體至約 200 atm、把氣體加熱至催化劑溫度、把產物冷卻並冷凝分離氨、以及循環未反應氣體，每步都有能量損失與不可逆的耗散；加上壓縮機與換熱器的效率低於 100%，故總能耗遠高於理論值。評分：列出三項工序 2 分、不可逆與效率損失 1 分、組織與用語 1 分。

20. (d) 提出兩項降低該廠能耗的具體措施，並各指出一項限制。（4 分）

答案：答案：一是加裝換熱網絡，用反應器出口氣體預熱入口气體，回收顯熱；限制為換熱面積與設備投資增加，且溫差太小時回收效益下降。二是改用更低壓的合成迴路或更活躍的催化劑，降低壓縮功；限制為低壓令單程轉化率下降，循環氣量與冷凍負荷反而上升。評分：每項措施 1 分、限制 1 分。