

達思化學

- 課本 6
- 第 13 章 工業化學



目錄

- ➡ 45.1 全球人口增長
- ➡ 45.2 植物生的的必需元素
- ➡ 45.3 固氮過程
- ➡ 45.4 哈柏法
- ➡ 45.5 現代的製氨工廠
- ➡ 45.6 工業上肥料的生產

續下頁



目錄

- ➡ 45.7 合成肥料：益處及代價
- ➡ 45.8 氯鹼工業
- ➡ 45.9 甲醇的用途
- ➡ 45.10 甲醇的生產
- ➡ 關鍵詞彙
- ➡ 摘要
- ➡ 按節練習



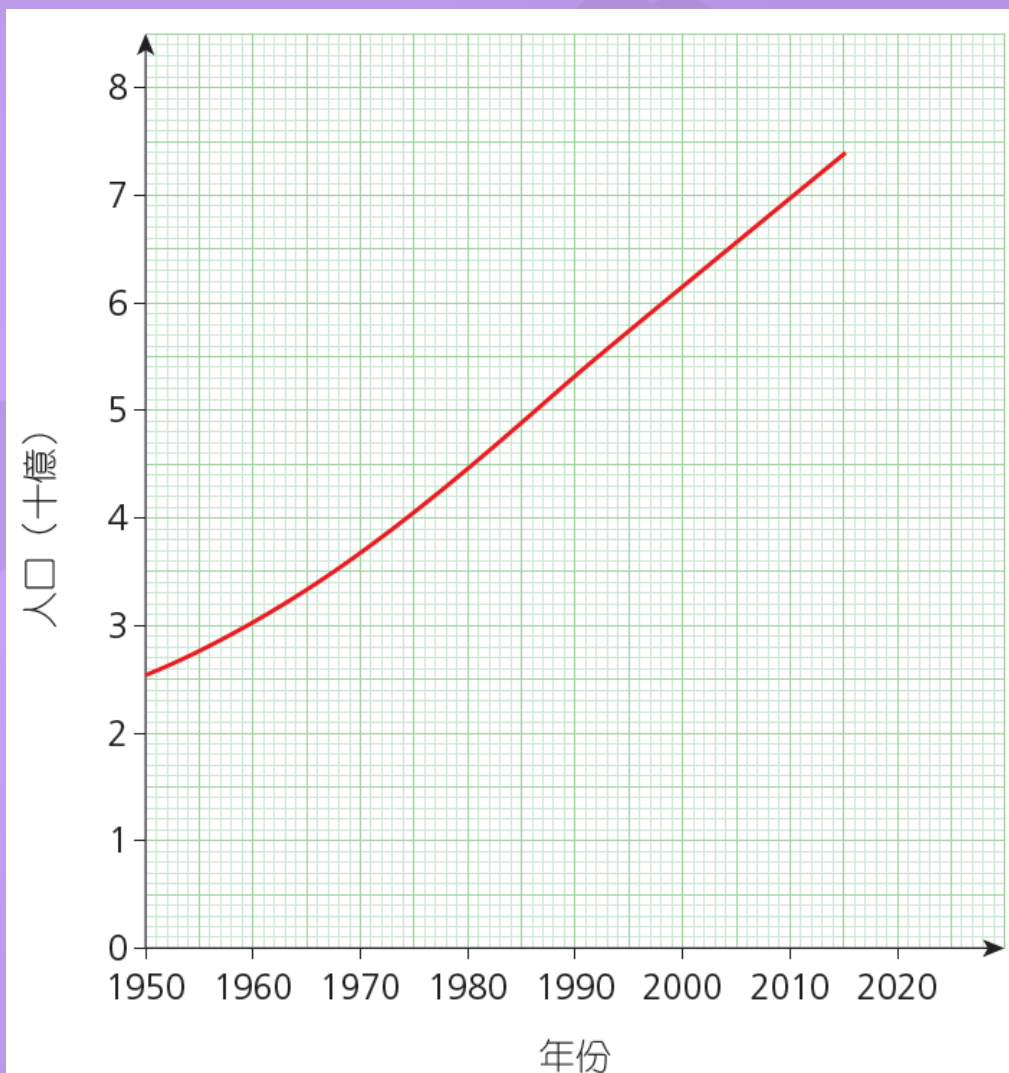
45.1 全球人口增長 (頁86)

- ◆ 從工業革命開始，全球人口便持續急升。聯合國預計全球人口會於**2056** 年達**100** 億。
- ◆ 人口的急升引致農業巨大的變化，如何能不損害全球僅存的森林和野外地區卻又能提升糧食的產量？這可能需要提高現有農地的生產效率，尤其要改進農作物品種、種植技術，以及加入植物所需養分及殺蟲劑。



45.1 全球人口增長 (頁86)

全球人口及預計人口增長





45.2 植物生長的必需元素 (頁87)

- ◆ 氮、磷和鉀是植物必需的三種元素。如果泥土缺少這些元素，便會妨礙植物的生長。

表 45.1

植物的礦物質缺乏症

元素	礦物質缺乏症的症狀
氮(N)	生長遲緩、葉片偏黃
磷(P)	根部生長遲緩、葉片變色
鉀(K)	果實生長遲緩、葉片變色(圖 45.2)



45.2 植物生長的必需元素 (頁87)

這棕櫚樹的葉片因缺乏鉀而變色



- ◆ 植物會從泥土以無機化合物的形式吸收這些元素。如果在同一處土地上種植數次農作物，這些元素便會被耗盡，需要加入肥料才能補充這些元素。

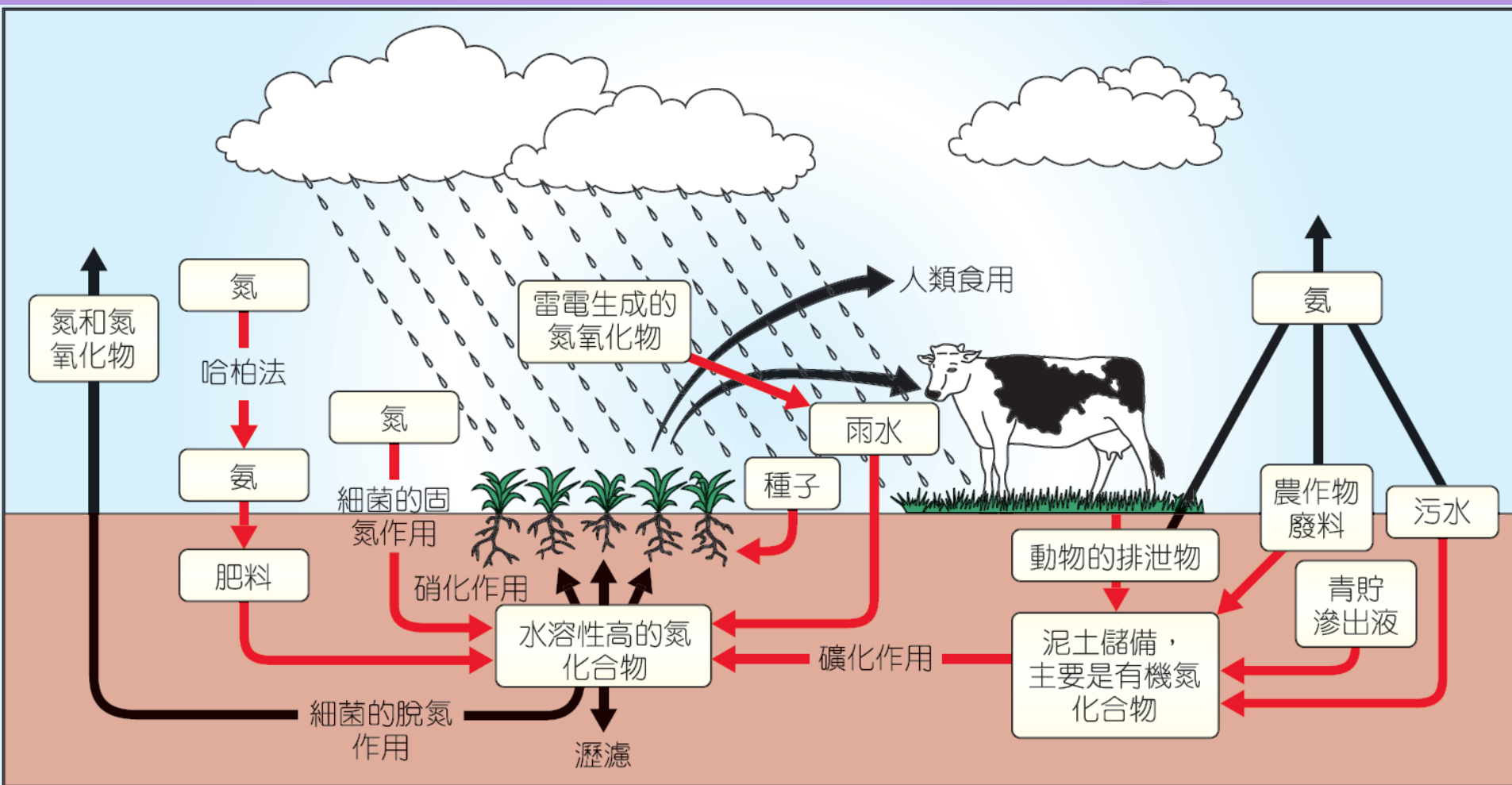


45.2 植物生長的必需元素 (頁87)

- ◆ 肥料是加在泥土中令泥土變得肥沃的物質。這些必需元素，須以水溶的形式存在，植物的根才能吸收。例如，
 - 以硝酸根離子 (NO_3^-) 或銨離子 (NH_4^+) 的形式存在的氮；
 - 以磷酸氫根離子 (HPO_4^{2-}) 的形式存在的磷；
 - 以鉀離子 (K^+) 的形式存在的鉀。
- ◆ 動物糞肥是天然的肥料；合成肥料則由工廠生產，撒在或噴在田園中。



45.2 植物生長的必需元素 (頁87)



▶ 氮循環 參



45.3 固氮過程 (頁89)

- ◆ **固氮作用 (Nitrogen fixation)** 是由大氣的氮轉化成重要氮化合物的過程。
- ◆ 雷電發生時，大氣中的氮與氧反應。閃電提供所需的能量使這反應得以發生：
$$\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}(\text{g})$$





45.3 固氮過程 (頁89)

- ◆ 所生成的一氧化氮可被空氣中的氧進一步氧化，生成二氧化氮。
二氧化氮溶於小水點，生成硝酸，連同雨水降在泥土中。
- ◆ 某些植物（例如豌豆和三葉草）的根瘤中的細菌可把大氣中的氮轉化成銨離子，銨離子可被硝化細菌氧化成硝酸根離子。
- ◆ 來自大氣的氮又通過哈柏法被製成氨。

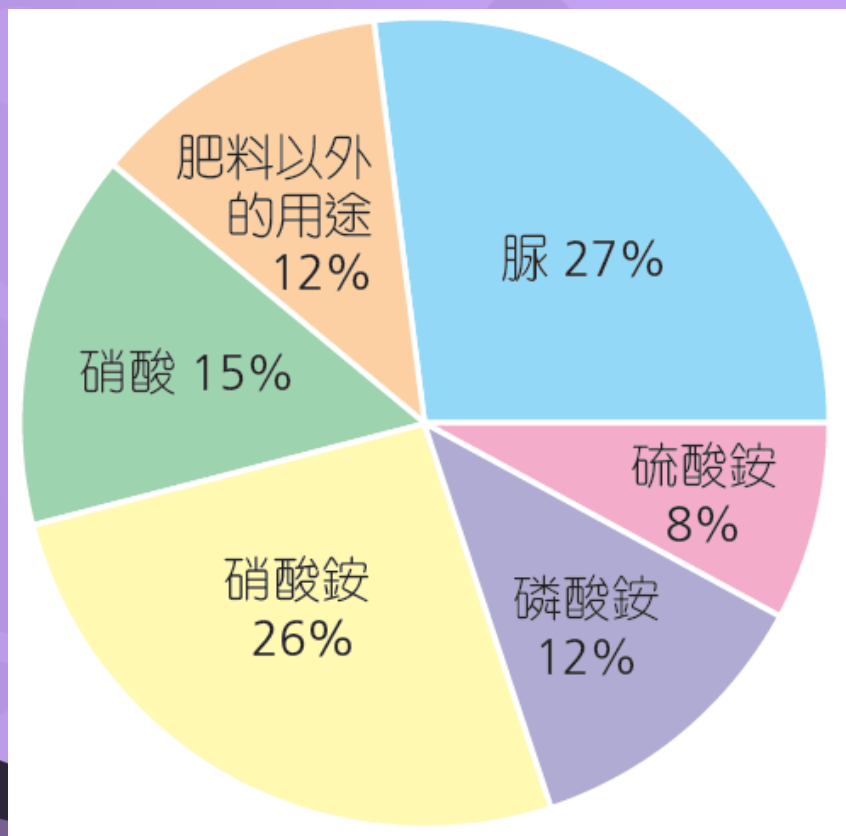


45.4 哈柏法 (頁90)

- ◆ 每年全球生產超過1.5 億噸的氨。大部分國家所生產的氨中有超過70% 用於製造肥料。



$$\Delta H = -92 \text{ kJ mol}^{-1}$$



美國所生產的氨的最終用途
(資料來源：U.S. Geological Survey
Minerals Yearbook 2015)

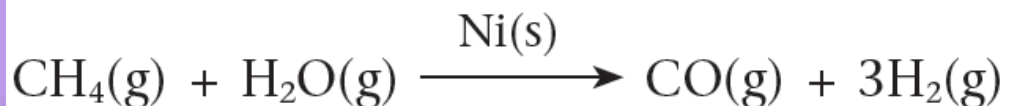




45.4 哈柏法 (頁90)

供料

- ◆ 哈柏法所需的原料是空氣、天然氣和水蒸汽。
 - 氮和氫是哈柏法的供料。
 - 氮可通過液化空氣的分餾獲取。
 - 氫可從天然氣（主要含甲烷）與水蒸汽的反應生產，甲烷與水蒸汽在有鎳催化劑的條件下反應生成氫。



- 如果供料含硫化化合物，必須先除掉硫化化合物，以免催化劑被嚴重毒化。



45.4 哈柏法 (頁90)

選擇哈柏法的操作條件

- ◆ 選擇哈柏法所用的操作條件之前，必須考慮平衡位置和反應速率。
- ◆ 為了得到最大盈利，化學家在把反應物轉化成生成物的過程中，須達到以下目標：
 - 反應過程要最快；
 - 產率要最高。
- ◆ 現實中，基於經濟原因，達致平衡的速率是較為重要的因素，平衡混合物中氨的百分率則較次要。



45.4 哈柏法 (頁90)

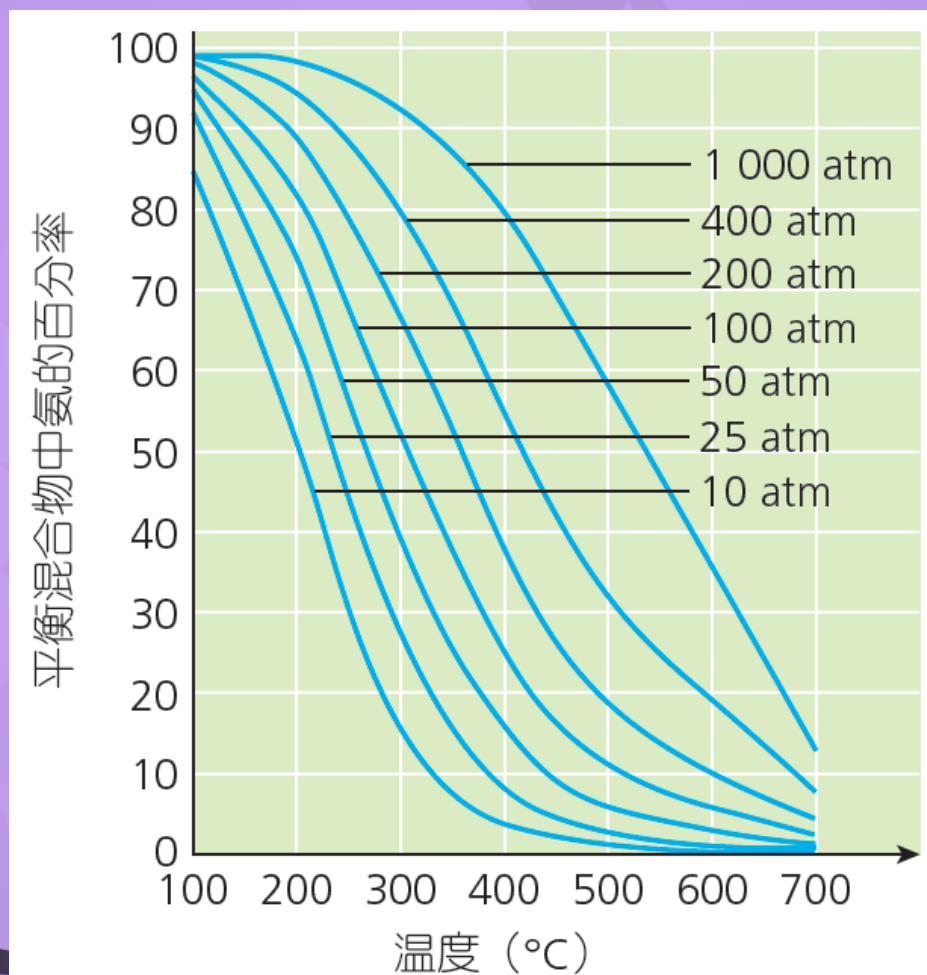
選擇溫度

- ◆ 哈柏法的正向反應是放熱反應 ($\Delta H^\ominus = -92 \text{ kJ mol}^{-1}$)，較低溫度有利氨的生成。
- ◆ 增加溫度會使平衡混合物中氨的百分率減少。由此推斷，應在較低溫度進行哈柏法。
- ◆ 然而，在較低溫度，反應會很緩慢，需要很長的時間才能達致平衡。



45.4 哈柏法 (頁90)

- 實際上，化學家會選擇協調所得的溫度——既要合理的平衡產率，也要快速達致平衡。





45.4 哈柏法 (頁90)

選擇壓強

- ◆ $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
- ◆ 高壓有利平衡位置向右移，製造更多的氨。
- ◆ 此外，使用高壓會加快反應。高壓令氣體分子更擁擠，即是氣體的濃度增加，所以反應速率會增加，需要較少時間便可達致平衡。
- ◆ 然而，採用高壓需要昂貴的設備來把氣體壓縮，運作所需的能量亦大，也需要能承受巨大壓力的反應容器。



45.4 哈柏法 (頁90)

- ◆ 安全也是需要關注的項目。
- ◆ 實際上，化學家選擇協調所得的壓強 — 既要夠高以達至合理的平衡產率，但也不可太高以致成本高昂或造成危險。

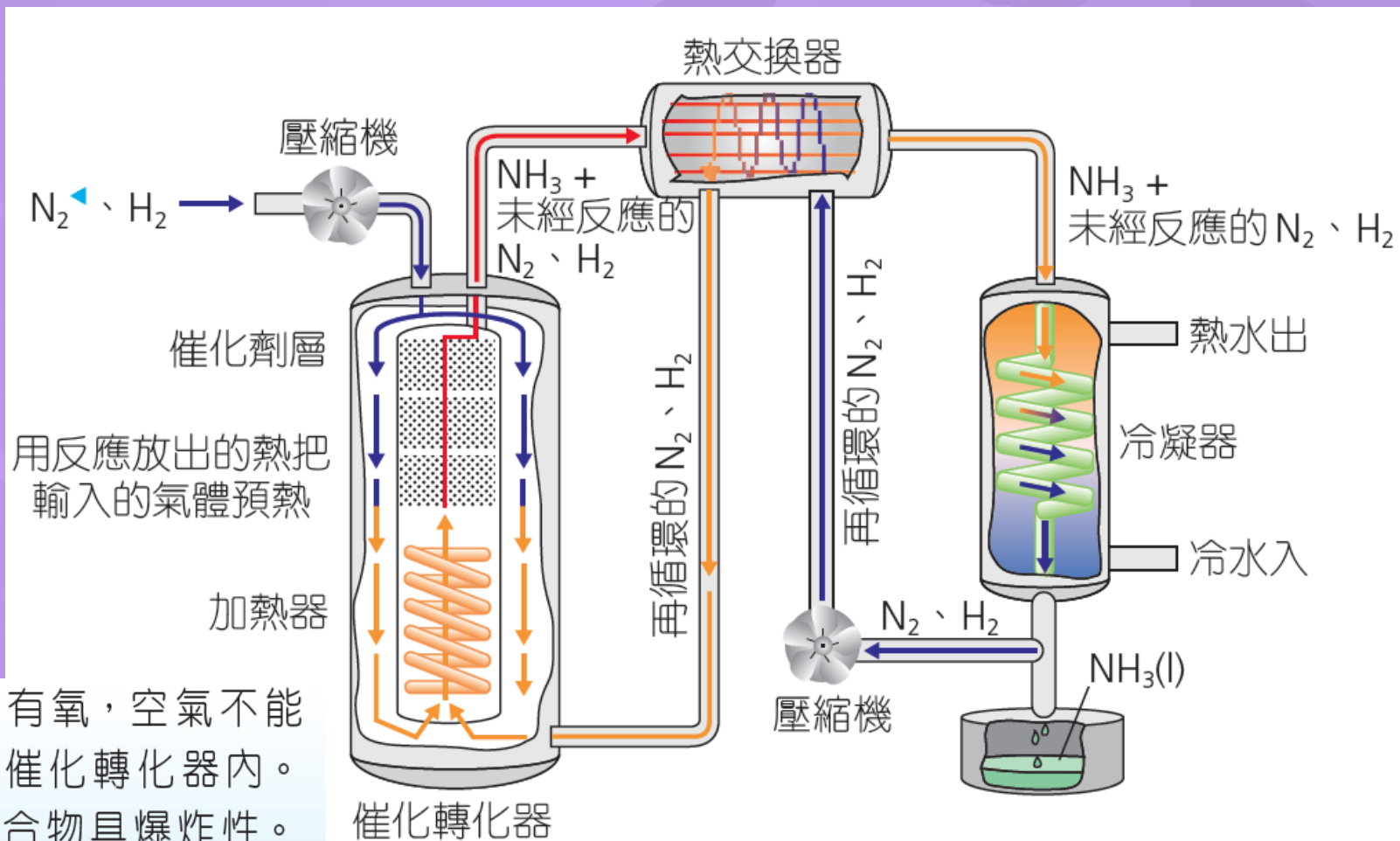
催化劑

- ◆ 加入鐵催化劑，可增加反應速率，更快達致平衡，也可降低反應所需的溫度。
- ◆ 因為反應在催化劑的表面進行，所以會用幼細的鐵粉，使鐵的表面面積增至最大，提升催化劑的果效。



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

- ◆ 下圖簡介生產氨的廠房內所進行的過程。



因為空氣含有氧，空氣不能取代氮輸入催化轉化器內。氧和氫的混合物具爆炸性。



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

- ◆ 氮和氫必須先徹底淨化，否則雜質會把轉化器內的催化劑毒化。
氮和氫會以體積1：3的比率輸入催化轉化器。
- ◆ 所選擇的操作條件通常為
 - 溫度450 °C；
 - 250 個大氣壓強；
 - 幼細鐵粉作為催化劑。



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

- ◆ 用這組條件生產氨的實際轉化百分率約為**15%**。通過熱交換器，熱的生成物氣體會把將要進入催化轉化器的氮和氫預熱。有效地使用能量不僅節省能源，亦減少對環境造成的影響。
- ◆ 冷凝器會把生成物氣體冷卻，氨會凝結成液體，而未經反應的氣體會再循環，再次進入催化轉化器，這做法可把整體轉化百分率提升至接近**97%**。
- ◆ 鐵催化劑的使用期限大約是五年。鐵在生產過程中會被氣體中的雜質（例如硫的化合物）毒化，所以必須更換。



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

問 (例題 45.1)

可通過接觸法合成硫酸，過程的關鍵步驟是把二氧化硫在有氧化釩(V)催化劑的條件下轉化成三氧化硫。





45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

操作條件是 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 1 atm ，可達至96%的轉化。

- a) i) 解釋降低溫度如何影響轉化百分率。
ii) 解釋為甚麼採用溫度 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 而不採用較高或較低的溫度。
- b) i) 解釋提高壓強如何影響轉化百分率。
ii) 解釋為甚麼採用 1 atm 壓強而不採用較高的壓強。
- c) 為提高轉化百分率，氣體反應混合物使用稍為過量的 $\text{O}_2(\text{g})$ 。為甚麼使用過量的 $\text{O}_2(\text{g})$ 而不用過量的 $\text{SO}_2(\text{g})$?



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

A

- a) i) 正向反應是放熱的，降低溫度令平衡位置向右移，增加轉化百分率。
ii) 正向反應是放熱的，提升溫度令轉化百分率下降。
但是降低溫度令速率太慢。
在轉化百分率和速率之間協調所得的溫度是**450 °C**。
- b) i) 在方程式中，生成物一方的氣體的摩爾數較反應物一方的少。提高壓強令平衡位置向右移，增加轉化百分率。
ii) 轉化百分率已經很高，再提高壓強只能輕微提升轉化百分率，但需要更高的成本。
- c) $\text{O}_2(\text{g})$ 較易獲得。



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

小測試 45.1

1 可通過一氧化碳與甲醇的反應製備乙酸：



在某模擬實驗中，讓相同的 $\text{CO(g)} + \text{CH}_3\text{OH(g)}$ 混合物在不同的反應條件下達致平衡，並記錄平衡混合物中 $\text{CH}_3\text{COOH(g)}$ 的百分率。

所得的結果表列如下。（實驗4 和5 沒有使用催化劑）

實驗	反應條件			平衡混合物中 $\text{CH}_3\text{COOH(g)}$ 的百分率 (%)
	溫度 (°C)	壓強 (atm)	催化劑	
1	100	40	銻 / 碘離子	80
2	100	80	銻 / 碘離子	96
3	500	40	銻 / 碘離子	x
4	500	80	—	y
5	100	40	—	z



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

a) 在哪兩項實驗中，平衡混合物中 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$ 的百分率相同？解釋你的答案。

實驗1 和5

就相同的混合物，平衡位置只受溫度和壓強影響。

實驗1 所用的溫度和壓強與實驗5 所用的相同，所以在兩項實驗中，平衡混合物中 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$ 的百分率相同。



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

b) 在哪項實驗中，平衡混合物中 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$ 的百分率最高？解釋你的答案。

實驗2

正向反應是放熱的。降低溫度令平衡位置向右移，增加平衡反應混合物中 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$ 的百分率。

氣體生成物的摩爾數較氣體反應物的少。

提高壓強令平衡位置向右移，增加平衡反應混合物中 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$ 的百分率。

實驗2所用的溫度最低、壓強最高。



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

c) 這反應所採用的典型操作條件如下：

溫度 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

壓強 60 atm

催化劑 銨 / 碘離子

解釋為甚麼採用這組操作條件。

$200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的溫度足以使反應速率增加，但仍能提供合理的產率。

60 atm 的壓強足以使反應速率及 $\text{CH}_3\text{COOH(g)}$ 的產率增加，但不是太高以致管道的保養費很高昂（工廠的建設和營運成本不太高昂）。

銨 / 碘離子會催化該反應 / 加快該反應。



45.5 現代的製氨工廠 (頁93)

2 在反應中催化劑不被消耗。提出為甚麼在工業過程中每隔一段時間仍需更換用過的催化劑。

催化劑可被毒化。



45.6 工業上肥料的生產 (頁97)

現代的肥料工廠會生產兩類產品：

◆ 單元N 肥料

- 以粒狀固體形式售賣的含氮肥料
- 例： NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和脲 $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$

◆ NPK 複方肥料

- 是混合物，能為因過度使用而流失養分的土壤提供三種必需元素：氮（N）、磷（P）和鉀（K）
- 通常是 NH_4NO_3 、磷酸銨和KCl以不同的比例調配的混合物，配合不同土壤的需要。



45.6 工業上肥料的生產 (頁97)

- ◆ 硝酸銨可能是最廣泛使用的氮肥，由氨氣與硝酸的反應生產出來。
$$\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(\text{aq})$$
- ◆ 可把硝酸銨結晶成粒狀，方便撒在土壤。
- ◆ 由哈柏法所製造的一部分氨，會轉化成硝酸，然後讓硝酸與氨反應生成硝酸銨。



45.6 工業上肥料的生產 (頁97)

把粒狀的硝酸銨撒在土壤





45.6 工業上肥料的生產 (頁97)

- ◆ 磷來自從挖掘或採礦而得的含磷酸鹽的岩石，磷酸鹽岩石
 - 與硝酸反應，生成磷酸和硝酸鈣，所得磷酸可與氨反應生成磷酸銨；
 - 與硫酸反應，生成過磷酸鹽，即是磷酸二氫鈣與硫酸鈣的混合物；
 - 與磷酸反應，生成重過磷酸鹽，即是磷酸二氫鈣。

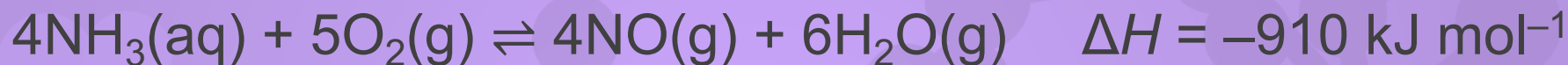


45.6 工業上肥料的生產 (頁97)

由氨生產硝酸

- ◆ 階段 1 NH_3 被 O_2 氧化成 NO 。

7 atm , 900 °C



Pt-Rh 催化劑

- ◆ 階段 2 NO 進一步被氧化成 NO_2 。

7–12 atm , 40 °C

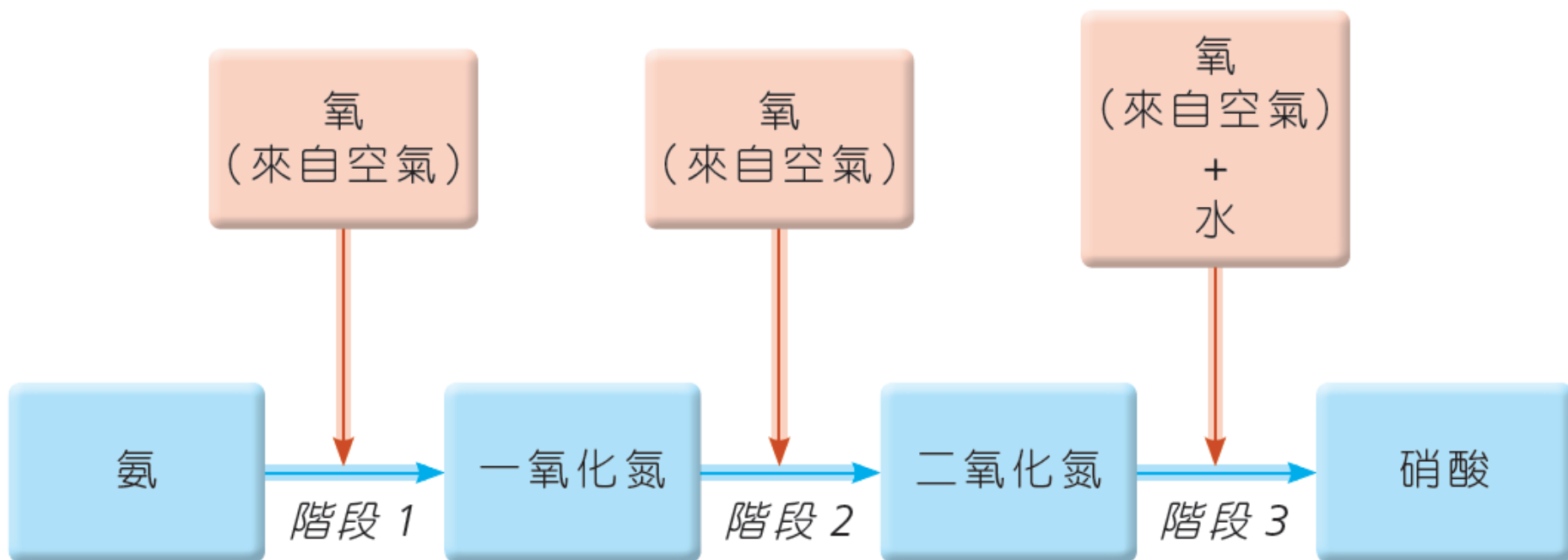


- ◆ 階段 3 NO_2 與 O_2 和 H_2O 反應，生成 HNO_3 。





45.6 工業上肥料的生產 (頁97)





45.7 合成肥料：益處及代價 (頁101)

- ◆ 沒有肥料，農夫便不能種植足夠農作物來供給全球增長中的人口。
- ◆ 但過量使用合成肥料，也對環境造成衝擊。



45.7 合成肥料：益處及代價 (頁101)

在河流

- ◆ 肥料可從農地滲漏至河流，其中的硝酸鹽、磷酸鹽更甚，都令藻類大量繁殖。
- ◆ 過度繁殖的藻類會散佈在河水表面，阻礙陽光照射到水底下的其他植物。





45.7 合成肥料：益處及代價 (頁101)

- ◆ 這些植物因不能進行光合作用而死亡。水中的細菌以腐解中的植物作為食物，同時耗盡溶於水中的氧，導致魚類窒息，這過程稱為**富營養化 (eutrophication)**。



富營養化 參



45.7 合成肥料：益處及代價 (頁101)

在水源

- ◆ 肥料中的硝酸鹽由河流流到食水水源，飲用後硝酸鹽在人體內可轉化成亞硝酸鹽，然後把紅血球的血紅蛋白氧化成高鐵血紅蛋白。
- ◆ 這會減低血液運送氧的能力，可引致幼嬰（尤其年齡介乎6個月或以下）的皮膚帶藍色，這病症稱為**藍嬰症 (blue baby syndrome)**.
- ◆ 不少人擔心食水中的硝酸鹽會引致胃癌，也有人指出未有足夠證據證實硝酸鹽和胃癌有關。



45.8 氯鹼工業 (頁102)

- ◆ 氯鹼工業 (**chloroalkali industry**) 是化學工業的其中一個主要分支。
- ◆ 這工業以電解濃NaCl溶液（濃鹽水）來生產Cl₂和NaOH。
- ◆ NaCl 可從海水或地下鹽礦獲取。
- ◆ 電解過程可製造三種重要的物質— Cl₂、NaOH 和 H₂。
- ◆ 這過程耗用巨大電量，所以成本非常高昂，而這過程合乎經濟效益的唯一理由，是三種生成物都有很多用途。

► 表 45.2 氯鹼工業的生成物的主要用途

氯鹼工業的生成物	用途
氫氧化鈉	製造肥皂和清潔劑
	造紙
	處理酸性排放物
氫	製造氨
	利用氫氧火焰進行焊接
	把植物油氫化，以製造人造牛油
	用作火箭燃料
	製造氫氯酸
氯	消毒和漂白
	製造殺蟲劑
	製造溶劑，例如二氯甲烷和四氯甲烷
	製造聚氯乙烯



45.8 氯鹼工業 (頁102)

- ◆ 電解進行期間，要注意不可讓該三種生成物互相接觸混合，否則會因產生副反應以致減低產率。
- ◆ 所以，工業上用於電解濃鹽水的電解池必須有效分隔該三種生成物。
- ◆ 用於電解濃鹽水的電解池有很多種。現在來看流汞電解池和薄膜電解池的運作原理。



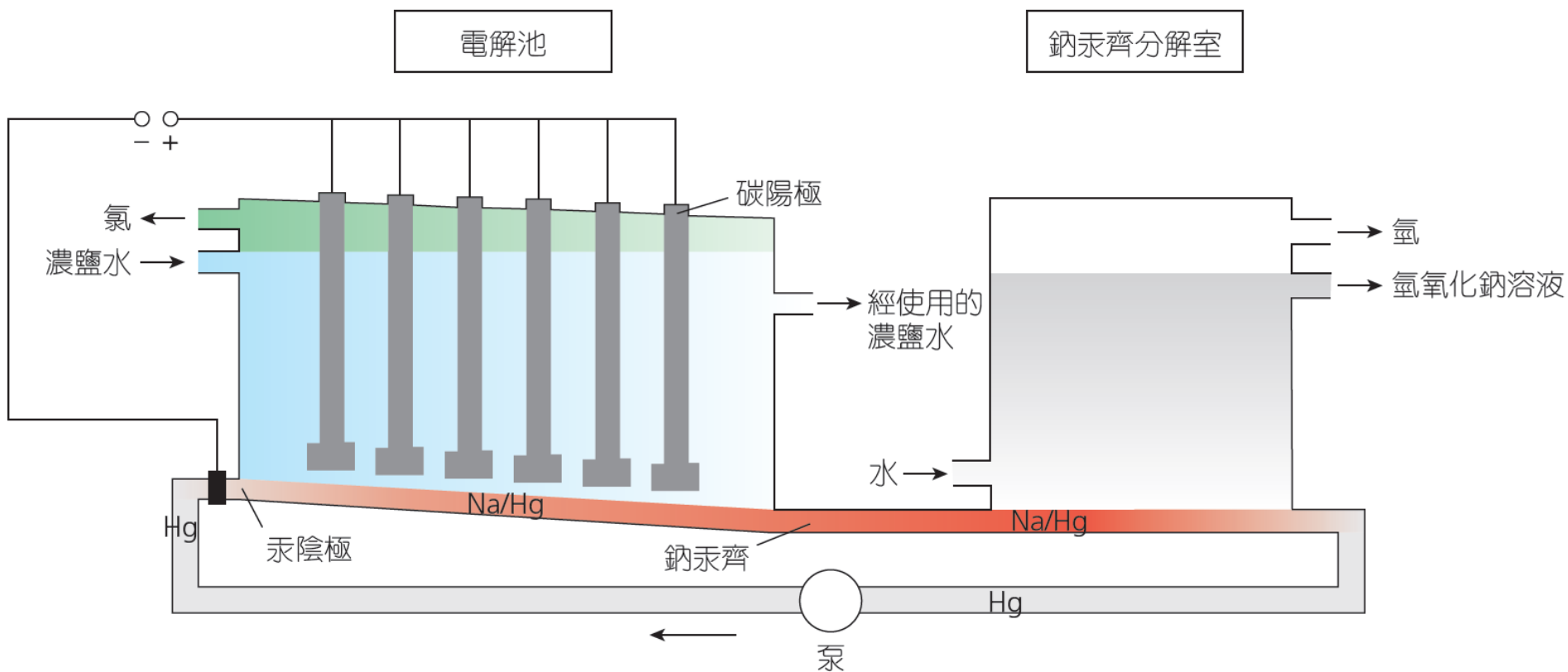
45.8 氯鹼工業 (頁102)

流汞電解池

- ◆ 碳陽極浸於濃 NaCl(aq) ；一層 Hg(l) 在電解池的底部作為陰極。
- ◆ **C 作陽極**： $\text{Cl}_2(\text{g})$ 生成。
$$2\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$$
- ◆ $\text{Na}^+(\text{aq})$ 是較 $\text{H}^+(\text{aq})$ 弱的氧化劑。
 - **Hg 作陰極**： $\text{Na}^+(\text{aq})$ 離子會優先放電，生成 Na 。
$$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- + \text{Hg(l)} \rightarrow \text{Na/Hg(l)}$$
 - 生成的 Na 溶於汞，並結合成鈉**汞齊 (amalgam)**。



45.8 氯鹼工業 (頁102)





45.8 氯鹼工業 (頁102)

- ◆ 接着鈉汞齊流進分解室，在那裏與水反應，生成 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 。



- ◆ 可分別收集 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{NaOH}(\text{aq})$ ，
- ◆ 而 Hg(l) 會被泵回電解池繼續作陰極。
- ◆ 生成的 $\text{NaOH}(\text{aq})$ (濃度 $\sim 50\%$) 可通過蒸發被轉化成固體碎粒。
- ◆ 總方程式： $2\text{NaCl(aq)} + 2\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow 2\text{NaOH(aq)} + \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$



45.8 氯鹼工業 (頁102)

優點

- ◆ 濃 NaCl(aq) 、 Cl_2 和 NaOH(aq) 得以良好分隔 / 生成物的雜質含量甚低。

缺點

- ◆ Hg 的毒性甚高； Hg 蒸氣在室內積聚或流入環境中

撇除這些爭議，流汞電解池仍是生產氯、氫和高品質的氫氧化鈉的有效方法。



45.8 氯鹼工業 (頁102)

薄膜電解池

- ◆ 與汞電解池相比，薄膜電解池對環境的破壞較少，成本也較低。新建的電解工廠較樂於選用薄膜電解池。
- ◆ Ti 作陽極 (不受氯腐蝕) 與 Ni 作陰極，陽極間隔和陰極間隔由薄膜分隔。
- ◆ 薄膜只讓鈉離子通過。
氯在陽極釋出，氫和氫氧化鈉在陰極生成，而薄膜把兩電極及其電解生成物分隔。



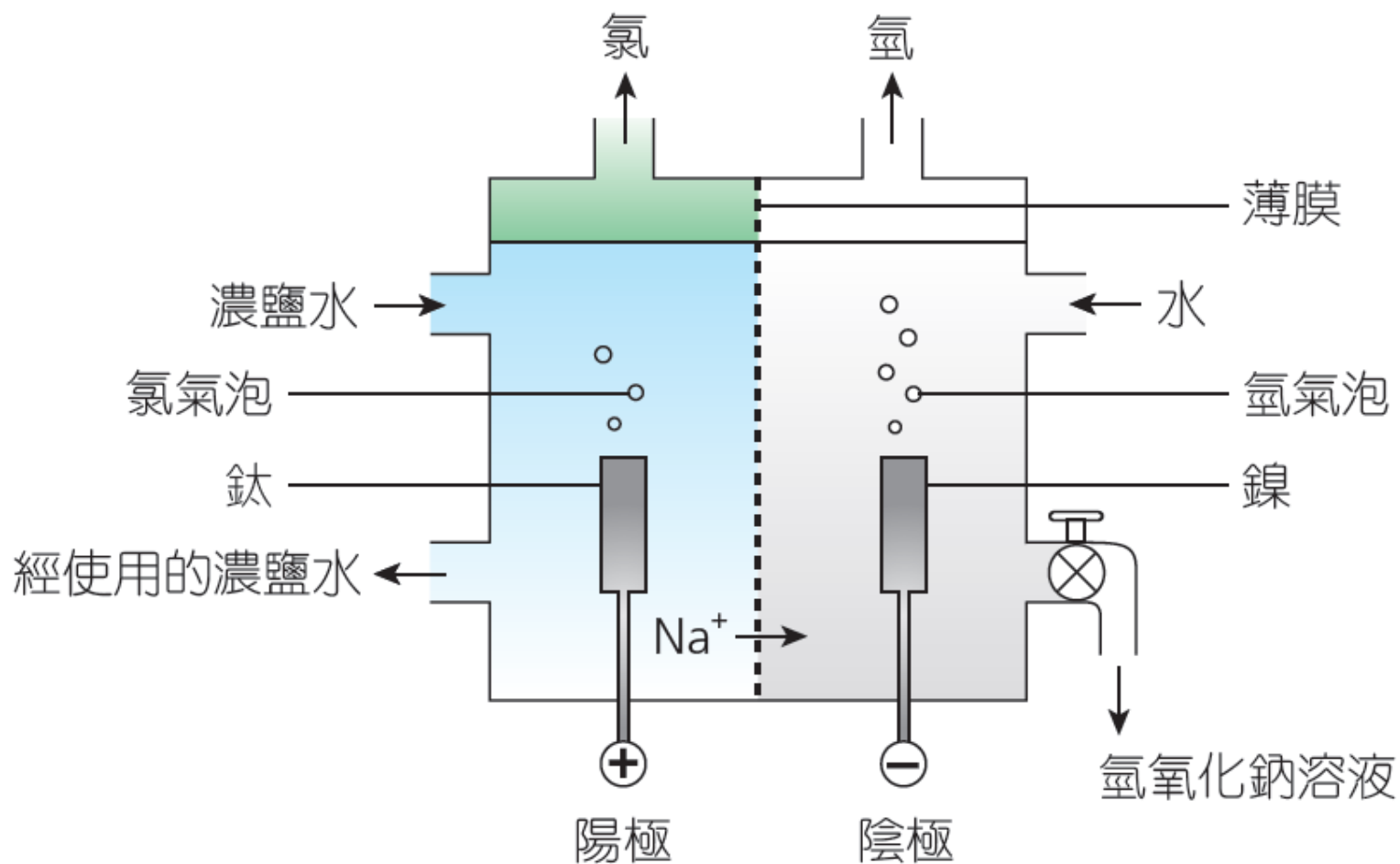
45.8 氯鹼工業 (頁102)

位於德國路德維希港的
氯鹼工業廠房的薄膜電
解池





45.8 氯鹼工業 (頁102)





45.8 氯鹼工業 (頁102)

- ◆ 陽極間隔：濃鹽水會持續流入
陰極間隔：水則持續流入
- ◆ **Ti 作陽極**：Cl⁻(aq) 離子被氧化成 Cl₂(g)。
$$2\text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^{-}$$

有高濃度的 Na⁺(aq) 離子剩下在陽極周圍。
- ◆ **Ni 作陰極**：H⁺(aq) 離子被還原成 H₂(g)。
$$2\text{H}^{+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$$

水持續離解以補充已還原的 H⁺(aq) 離子。
有高濃度的 OH⁻(aq) 離子在陰極周圍。



45.8 氯鹼工業 (頁102)

- ◆ 鈉離子由陽極間隔通過薄膜流入陰極間隔，並與氫氧離子結合，形成氫氧化鈉溶液。
- ◆ 總方程式： $2\text{NaCl}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{NaOH}(\text{aq}) + \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
- ◆ 生成的 $\text{NaOH}(\text{aq})$ (濃度 $\sim 30\%$) 可通過蒸發被轉化成固體碎粒。
- ◆ 薄膜不讓氫氧離子進入陽極間隔，把氯以次氯酸鹽的形式流失的機會減至最低。



45.8 氯鹼工業 (頁102)

小測試 45.2

氯鹼工業生產氯和氫，所涉及的電解可在流汞電解池或薄膜電解池內進行。

a) 在這兩個電解池內，氯都是在同一電極生成。

i) 寫出在該電極生產氯的半方程式。





45.8 氯鹼工業 (頁102)

ii) 提出所生成氯的兩個大規模的用途。

以下任何兩項：

- 漂白劑
- 消毒劑
- 溴的提取
- 水的處理
- **PVC**
- 溶劑
- 氫氯酸
- 製藥
- 製造農藥
- 製造CFCs / HCFCs / 氯烷





45.8 氯鹼工業 (頁102)

b) 寫出所涉及電解的總方程式。



c) 解釋為甚麼流汞電解池逐漸被淘汰。

汞有毒。



45.8 氯鹼工業 (頁102)

d) 氯化鈉的蘊藏量豐富，而氫是不具污染性的燃料。一名學生提出以下評論：
「可通過電解濃鹽水大規模生產氫，有助減少空氣污染問題。」

你同意該學生的評論嗎？試解釋之。

「同意」的論據：

- 燃燒氫只產生水。
- 如果用電花費便宜（如光電電池），以濃鹽水的電解來生產氫有助減少空氣污染。

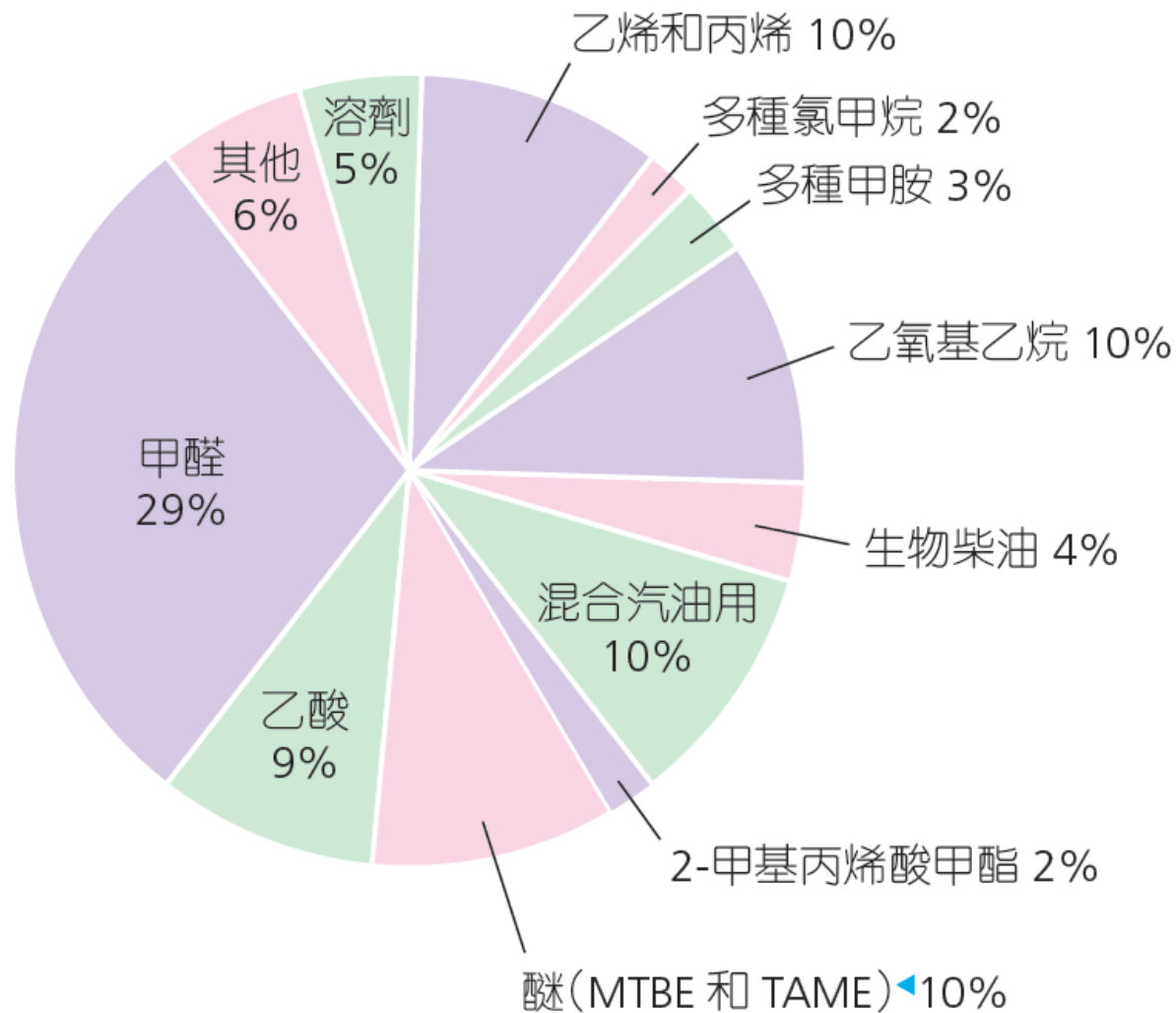
「反對」的論據：

- 以濃鹽水的電解來生產氫須耗電，而電普遍由燃燒化石燃料來產生，燃燒化石燃料卻是空氣污染的主要源頭。
- 氯是濃鹽水的電解的主生成物之一，大量生產氫會產生過多的氯，而處理多餘未用的氯的成本高，也可能造成空氣污染。



45.9 甲醇的用途 (頁109)

- ◆ 甲醇是化學工業上其中一種重要的供料。
- ◆ 甲醇分子含一個碳原子，所以甲醇可作為起始物料來製造一些分子含較多碳原子的化合物。
- ◆ 甲醇的最大用途是作為供料來生產合成聚合物。甲醇亦可用於製造甲醛，從而生產出多種合成聚合物，甲醇也是生產乙酸的主要供料。



甲醇的用途

(資料來源：IHS Markit, 2015)



45.9 甲醇的用途 (頁109)

- ◆ 甲醇也可直接用作汽車的燃料或燃料補充劑。
- ◆ 在中國，有混入了甲醇（15%）的汽油出售，汽車引擎毋須重新設計亦可使用。如果把引擎重新設計，則可用更多的甲醇（高至85%）與汽油混合。
- ◆ 人們預期使用甲醇作為燃料在未來數年將會日漸普遍。



45.9 甲醇的用途 (頁109)



M-85 是由**85%** 甲醇和**15%** 汽油混合而成的燃料，可用於引擎經改動的汽車



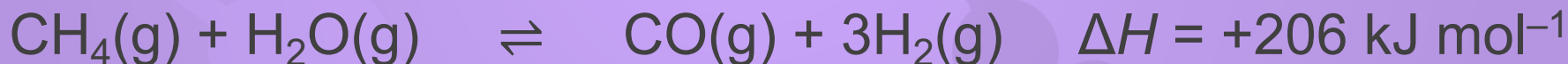
45.10 甲醇的生產 (頁110)

- ◆ 合成氣 (**syngas**) 是一氧化碳和氫的混合物，可被用作生產甲醇。

甲醇的合成

- ◆ 現今唯一大量生產合成氣的過程是**水蒸汽-天然氣重整 (steam reforming of natural gas)**。

30 atm , 730 °C



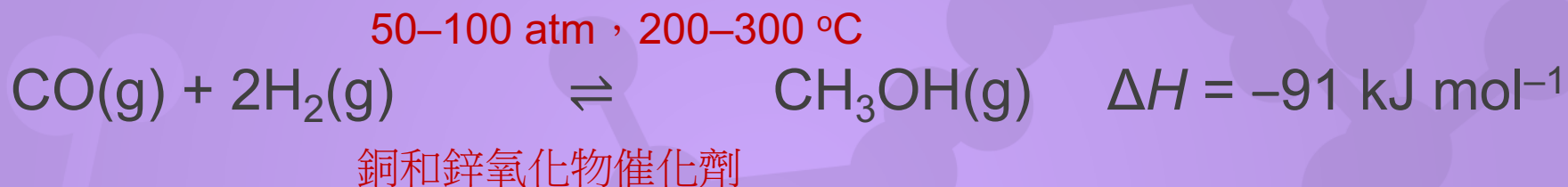
氧化鎳催化劑



45.10 甲醇的生產 (頁110)

甲醇的合成

- ◆ 從合成氣生產甲醇：



- ◆ 由一氧化碳轉化成甲醇的轉化百分率一般為16–40%。
- ◆ 從合成階段取得的甲醇，含有水和少量其他的副產物，可以用分餾取得純淨的甲醇。



45.10 甲醇的生產 (頁110)

由合成氣生產甲醇的轉化器





45.10 甲醇的生產 (頁110)

甚麼操作條件利於甲醇的生產？

- ◆ 理論上，在下列反應條件下進行生產，甲醇的產率最高：
 - 低溫 — 因為正向反應是放熱的；和
 - 高壓強 — 因為在方程式中生成物氣體的摩爾數較反應物氣體的摩爾數少。
- ◆ 高壓強亦會增加氣體的濃度，所以亦會增加反應速率，減少達致平衡所需的時間。



45.10 甲醇的生產 (頁110)

- ◆ 可是，採用上述的理論條件亦有弊處：
 - 採用低溫時反應會很緩慢；
 - 採用高壓強時，需要大量的能量把氣體壓縮，可以承受高壓強的設備亦十分昂貴，還涉及安全風險。
- ◆ 實際上，合成會在**200 至300 °C** 和 **50 至100 個大氣壓** 強下進行，平衡了產率、反應速率和成本幾方面的考量。



45.10 甲醇的生產 (頁110)

甲醇生產技術的改進

- ◆ 任何固體生物量（例如農業、城市和工業廢料）都可用於製造合成氣，生產甲醇，這項轉化使用了可再生供料。
- ◆ 廢氣中的二氧化碳亦可用於生產甲醇，二氧化碳與氫（從合成氣獲取）根據以下方程式反應生成甲醇：



這轉化有助減少排放至大氣的二氧化碳。



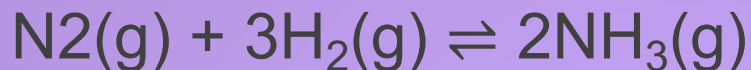
關鍵詞彙 (頁113)

固氮作用	nitrogen fixation	汞齊	amalgam
富營養化	eutrophication	合成氣	syngas
藍嬰症	blue baby syndrome	水蒸汽-天然氣重整	steam reforming of natural gas
氯鹼工業	chloroalkali industry		



摘要 (頁114)

1 a) 以下展示哈柏法中氮和氫反應的方程式：

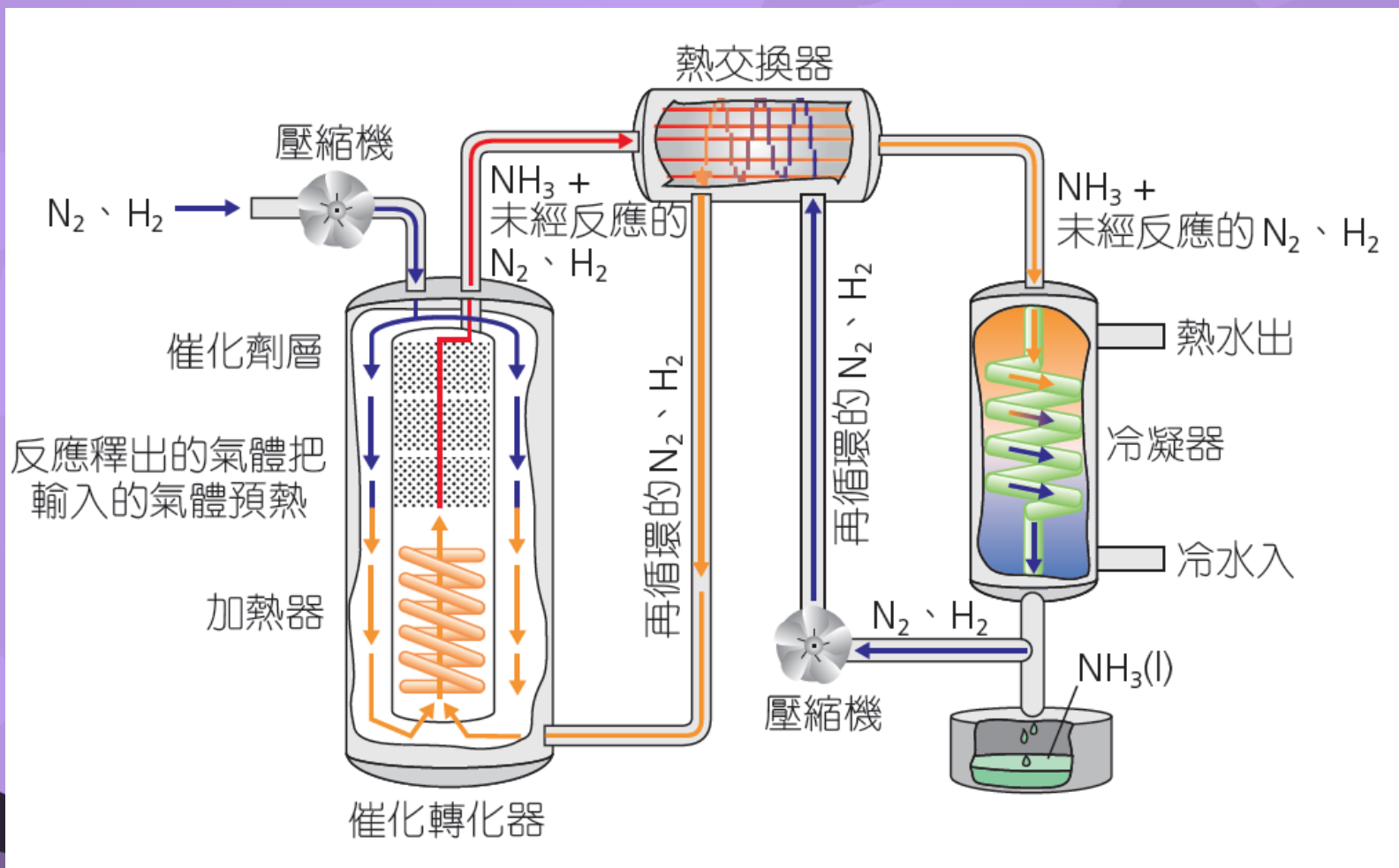


b) 以哈柏法生產氨的操作條件通常為

- 溫度 450°C ；
- 250 個大氣壓強 ；
- 幼細鐵粉作為催化劑 。

摘要 (頁114)

c) 下圖簡介生產氨的廠房內進行的過程。





摘要 (頁114)

2 a) 氯鹼工業以電解濃氯化鈉溶液（濃鹽水）來生產氯和鹼（氫氧化鈉）。電解過程可製造三種重要的物質——氯、氫氧化鈉和氫。

b) 工業上常用來電解濃氯化鈉溶液的兩種電解池，包括：

- 汞電解池；
- 薄膜電解池。

c) 電解過程的總方程式顯示如下：

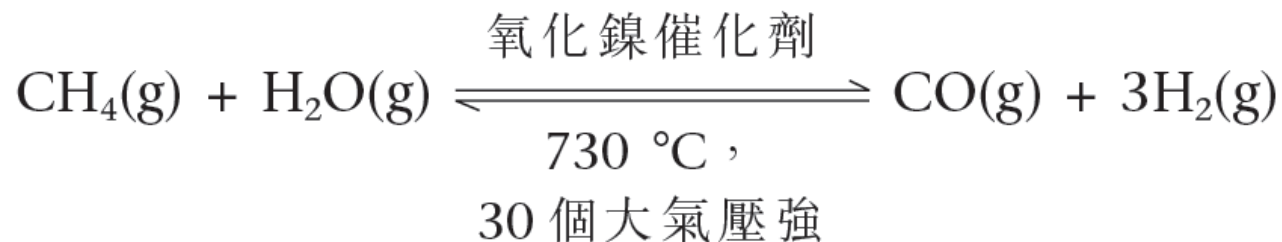




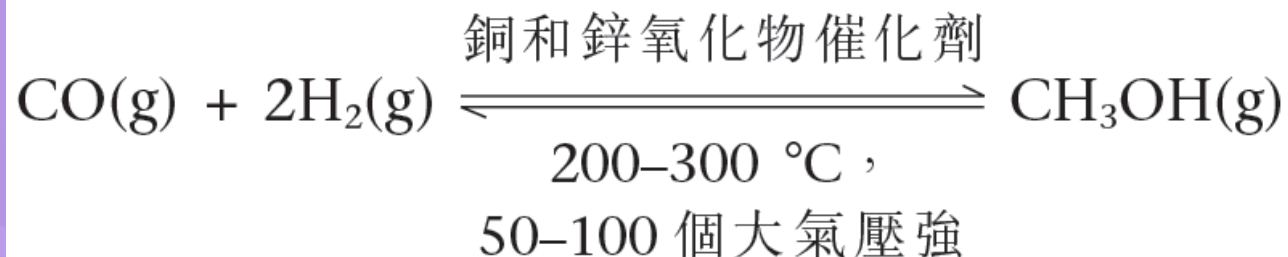
摘要 (頁114)

3 可使用從天然氣（甲烷）製得的合成氣（主要是一氧化碳和氫的混合物）來生產甲醇。

a) 合成氣的生產 — 水蒸汽-天然氣重整



b) 甲醇的合成





按節練習 (頁116)

註：題目按難度由淺至深（1至5級）分類：



題目以3級或以上程度為目標；



題目以4級或以上程度為目標；



題目以5級程度為目標。

「*」顯示有效的傳意可取一分。



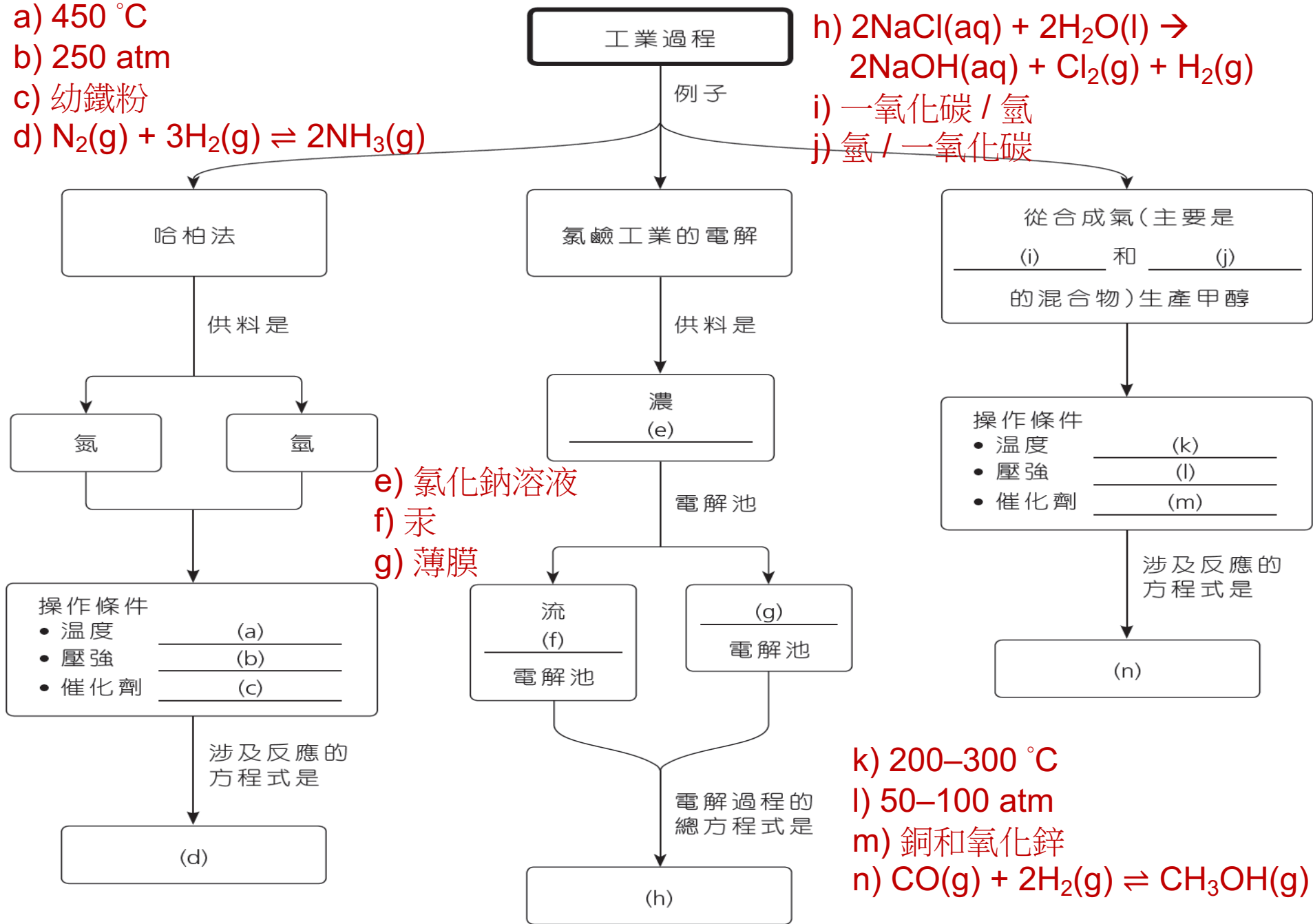
按節練習 (頁116)

第一部分 知識和理解

1 完成以下概念圖。

- a) 450 °C
b) 250 atm
c) 幼鐵粉
d) $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$

- h) $2\text{NaCl}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{NaOH}(\text{aq}) + \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
i) 一氧化碳 / 氫
j) 氫 / 一氧化碳





按節練習 (頁116)

第二部分 多項選擇題

指示：第2和3題與以下反應有關。

一氧化碳與水蒸汽的反應可用於製造氫。



下列每項改變對反應速率和氫的產量有甚麼影響？

答案：B

2 增加溫度

	<u>速率</u>	<u>H₂ 的產量</u>
A	增加	增加
B	增加	減少
C	增加	不變
D	不變	減少

題解：

正向反應是放熱的。增加溫度令平衡位置向左移，H₂(g)的產量減少。



按節練習 (頁116)

3 提升壓強

	<u>速率</u>	<u>H₂ 的產量</u>
A	增加	增加
B	增加	減少
C	增加	不變
D	不變	不變

答案：C

題解：

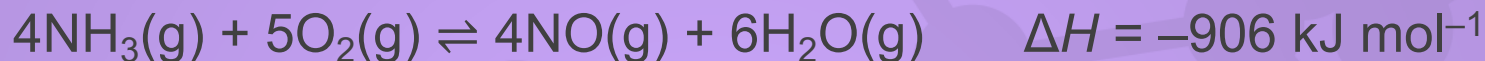
因反應進行時氣體的總摩爾數不變，所以提升壓強對H₂(g) 的產量沒有影響。



按節練習 (頁116)

指示：第4 至6 題與以下反應有關。

生產硝酸的第一階段是把氨氧化：



4 在工業上這反應在3 個大氣壓強進行。下列哪項陳述不正確？

提升壓強

- A 有助把反應物推進反應室。
- B 把平衡位置向右移。
- C 增加反應室的成本。
- D 增加這部分過程的能源成本。

答案：B

題解：

提升壓強令平衡位置向左移，即是向氣體的摩爾數較小的一邊移。



按節練習 (頁116)

5 此反應使用鉑-銠合金催化劑。下列哪項陳述不正確？

該催化劑

- A 減低該反應的活化能。
- B 對該反應的平衡常數沒有影響。
- C 改變該反應的焓變。
- D 減少這部分過程的能源成本。

答案：C

題解：

催化劑對反應焓變沒有影響。



按節練習 (頁116)

6 這反應的運作溫度大約在 900°C 。

採用高溫會

- A 提高該反應速率及平衡產量。
- B 提高該反應速率但降低平衡產量。
- C 降低該反應速率及平衡產量。
- D 降低該反應速率但提高平衡產量。

(Edexcel Advanced GCE, Unit 4, Jun. 2013, 5)

答案：B

題解：

正向反應是放熱的。增加溫度令平衡位置向左移，平衡產量下降。



按節練習 (頁116)

7 通過以下催化反應生產甲醇：



下列哪個組合描述增加體系壓強的影響？

	<u>CH₃OH(g) 的產量</u>	<u>反應速率</u>
A	減少	增加
B	減少	減少
C	增加	增加
D	增加	減少

答案：C

題解：

氣體生成物的摩爾數較氣體反應物的小。

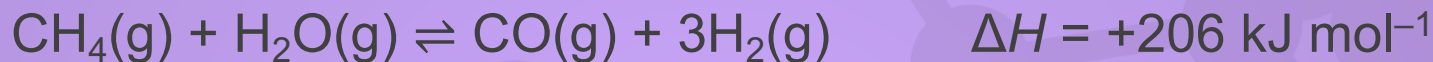
增加壓強令平衡位置向右移，增加CH₃OH(g) 的產量。



按節練習 (頁116)

指示：第8 和9 題與以下資料有關。

工業上可在有催化劑的條件下，從甲烷與水蒸汽的反應製造氫。



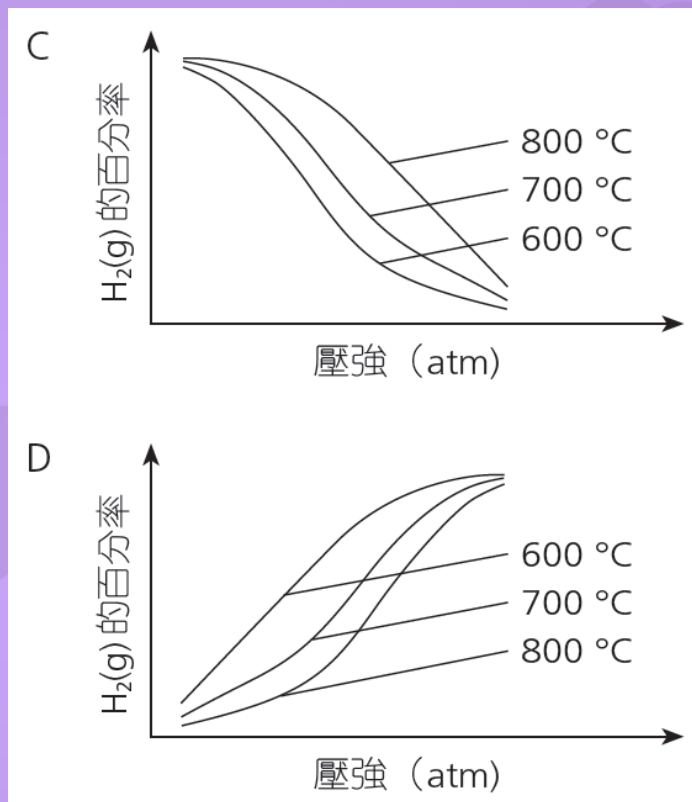
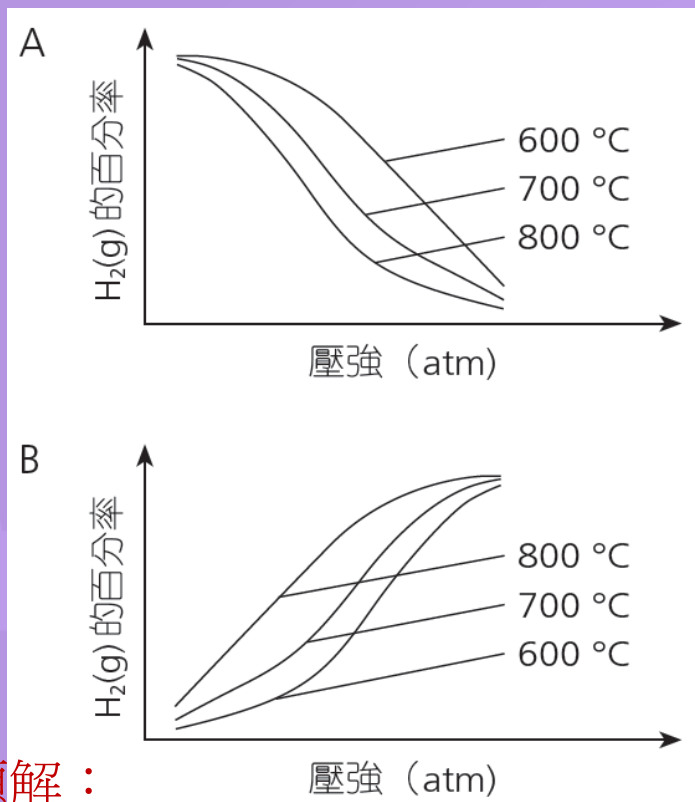
8 下列哪幅坐標圖展示壓強和溫度對該平衡混合物中氫的百分率的影響？





按節練習 (頁116)

答案：C



題解：

正向反應是吸熱的。增加溫度令平衡位置向右移，增加令 $\text{H}_2(\text{g})$ 的產量。
氣體生成物的摩爾數較氣體反應物的大。
提高壓強令平衡位置向左移， $\text{H}_2(\text{g})$ 的產量下降。



按節練習 (頁116)

9 下列哪個組合描述從體系移除催化劑的影響？

	<u>生成物的產量</u>	<u>反應速率</u>
A	減少	減少
B	不變	減少
C	不變	不變
D	減少	不變

答案：B



按節練習 (頁116)

10 氯鹼工業生產的產物包括下列何者？



- (1) 氧
- (2) 次氯酸鈉
- (3) 氫氧化鈉

- A 只有(1)
- B 只有(2)
- C 只有(1) 和(3)
- D 只有(2) 和(3)

答案：D



按節練習 (頁116)

第三部分 結構性問題

11 很多催化劑非常昂貴，但其使用為化學工廠的操作帶來經濟效益。解釋為甚麼使用催化劑能為經濟和環境帶來好處。



(WJEC CBAC Advanced Subsidiary / Advanced GCE, CH1, Jan. 2014, 9(e))

以下任何三項：

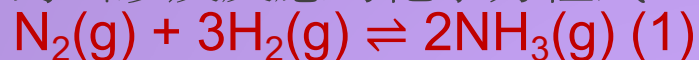
- 可使用較低溫度。(1)
- 節省能量開支。(1)
- 在指定時間內可產生較多生成物。(1)
- 可以進行在沒有催化劑的條件下無法進行的反應。(1)
- 只須燃燒較少化石燃料以供應能量，所以產生較少的二氧化碳。(1)



按節練習 (頁116)

12 考慮哈柏法。

a) 寫出涉及反應的化學方程式。

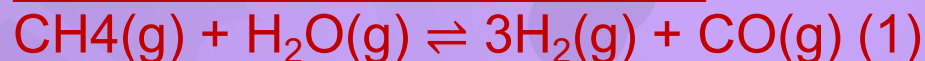


b) 空氣和天然氣都是哈柏法所用的原料。

輔以適當的方程式（一條或多條），解釋為甚麼需要這些原料。

氮通過液化空氣的分餾獲取。 (1)

天然氣中的甲烷與水蒸汽反應生成氫氣。 (1)





按節練習 (頁116)

c) 過程所用的催化劑是高度多孔形式的鐵。

i) 解釋為甚麼催化劑能增加反應速率。

催化劑提供活化能較低的另一反應途徑，以增加化學反應的速率。(1)

ii) 解釋為甚麼使用高度多孔形式的催化劑能提升催化劑的效能。

反應在催化劑表面進行。

高度多孔的催化劑增加可讓反應物進行反應的表面面積，提升催化劑的效能。(1)

d) 科學家認為哈柏法是其中一項最重要的化學反應。

解釋哈柏法對農業的重要性。

起始物料的供應無盡。

氨用來製造可增加農作物收成的肥料。(1)



按節練習 (頁116)

13 可用哈柏法生產氨，以下方程式表示涉及的反應。



a) 解釋為甚麼反應物注入已內有催化劑的反應室前必須先淨化。

反應混合物中的雜質可能毒化催化劑。(1)



按節練習 (頁116)

b) 已知從 $\text{N}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2(\text{g})$ 在 350°C 及 600 atm 的條件下所生成的 $\text{NH}_3(\text{g})$ ，平衡時 $\text{NH}_3(\text{g})$ 的產率大約是60%。然而，工業上哈柏法的操作條件大多定為大約 450°C 及 250 atm ，而平衡時 $\text{NH}_3(\text{g})$ 的產率大約是25%。參照以上資料，解釋為甚麼工業會選用該組操作條件。

使用較高的溫度來加速反應。(1)

基於機械設計和安全的考慮，並沒使用很高壓強。(1)

c) 提出可如何從所得的反應混合物把氨分離出來。

冷卻反應混合物，讓氨凝結成液體。(1)

d) 解釋為甚麼要把未經反應的氮和氫再循環。

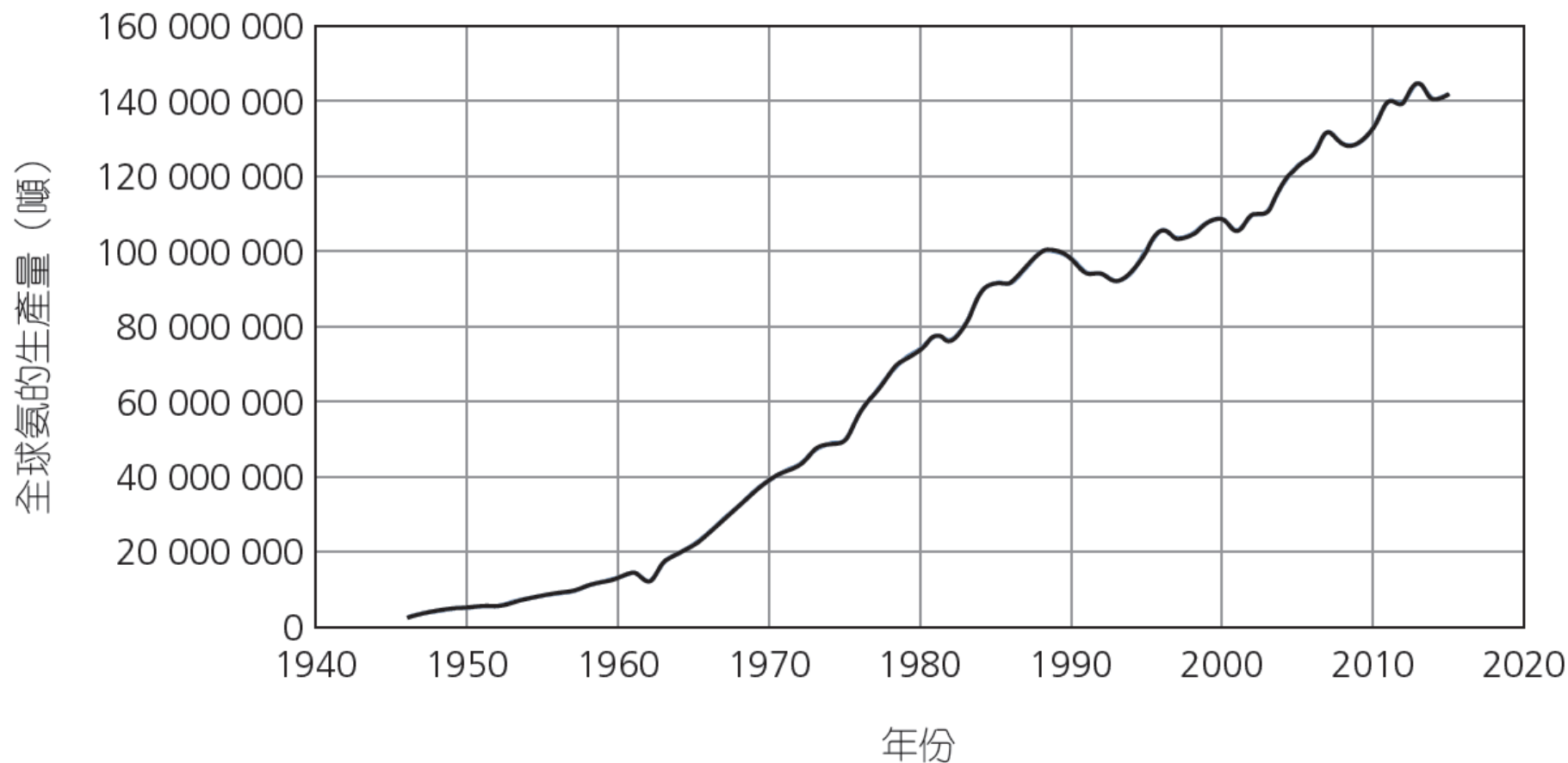
減低成本。/ 增加氨的產率。(1)



按節練習 (頁116)



14 以下坐標圖展示全球由1945年至2015年的氨的生產量。氨主要用於製造肥料。大量使用由氨製造的肥料，會造成不少環境問題。提出所涉及的環境問題，並解釋為甚麼這些問題在過去70年逐漸惡化。





按節練習 (頁116)

氨的生產增加。/ 肥料的使用增加。(1)

肥料可從農地滲漏至河流。其中的硝酸鹽和磷酸鹽會令藻類大量繁殖。(1)

過度繁殖的藻類會散佈至河水表面，阻礙陽光照射到水底下的其他植物，這些植物因不能進行光合作用而死亡。(1)

水中的細菌以腐解中的植物作為食物，同時耗盡溶於水中的氧，導致魚類窒息，這個過程稱為富營養化。(1)



按節練習 (頁116)

15 考慮在一所化工廠藉哈柏法生產氨。



- a) 提出在工業上如何能獲取氮氣。
- b) 解釋為甚麼有需要在這所化工廠內安裝熱交換器。
- c) 若把420 kg 的氮及96 kg 的氫注入反應室，而氨的產率為15%，計算所生產的氨的質量。
- d) 這所化工廠也可生產硝酸。首先，氨被氧化以得出一氧化氮，而一氧化氮被進一步氧化為二氧化氮。最後，把二氧化氮氧化得出硝酸。為以下各反應寫出一條化學方程式：
 - i) 把氨氧化以得出一氧化氮
 - ii) 把二氧化氮氧化以得出硝酸

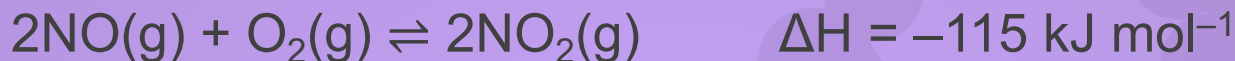
(HKDSE, Paper 2, 2016, 1(b))

香港公開考試試題答案從略（如適用）。



按節練習 (頁116)

16 可從氨製造硝酸。先把氨轉化成一氧化氮，然後與空氣反應。



a) 解釋增加溫度對 $\text{NO}(\text{g})$ 與 $\text{O}_2(\text{g})$ 的反應的速率的影響。

反應速率上升。

溫度增加時，

- 分子的平均動能增加，碰撞更頻密，導致多些有效碰撞；(1)
- 具有等於或大於活化能的能量的分子所佔比率上升，有較大百分率具足夠能量的分子碰撞並反應。(1)



按節練習 (頁116)

b) 解釋增加溫度對 $\text{NO}_2(\text{g})$ 的產量的影響。

正向反應是放熱的。增加溫度令平衡位置向左移， $\text{NO}_2(\text{g})$ 的產量下降。(1)

c) 從你在(i) 和(ii) 的答案，提出為甚麼選擇在 40°C 進行 $\text{NO}(\text{g})$ 與 $\text{O}_2(\text{g})$ 的反應。

採用較低溫度會增加 $\text{NO}_2(\text{g})$ 的產量，

然而，過低的溫度會使反應進行得太慢。(1)

40°C 是平衡了速率與產量的考量的方案。(1)



按節練習 (頁116)

17 由氨生產硝酸的過程涉及幾個階段，第一個階段是把氨氧化成一氧化氮。



這反應的催化劑是網狀形式的鉑-銻合金。開始需要把這網狀催化劑加熱，但反應進行時它可自行維持炙熱。

a) 解釋為甚麼必須使用熱的催化劑。

以克服活化能。 / 提供最低能量使反應開始。 (1)

b) 解釋為甚麼該反應進行時催化劑能自行維持炙熱。

反應是放熱的。 (1)

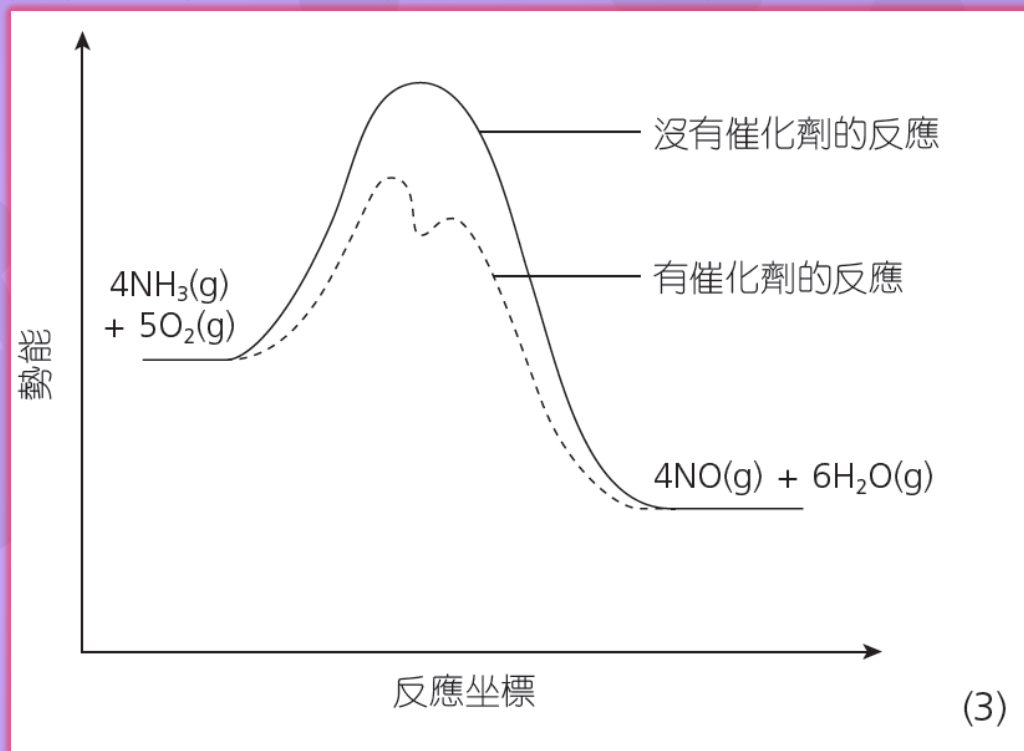
c) 解釋催化劑如何增加反應速率。

催化劑提供活化能較低的另一反應途徑，以增加化學反應的速率。 (1)



按節練習 (頁116)

- d) 在同一坐標圖中，就上述轉化，草繪有催化劑和沒有催化劑的反應的兩個附標示的勢能能線圖。



- e) 提出為甚麼所用的催化劑每隔一段時間便要更換。

催化劑可被毒化。(1)

- f) 提出過程中所製的硝酸的一項用途。

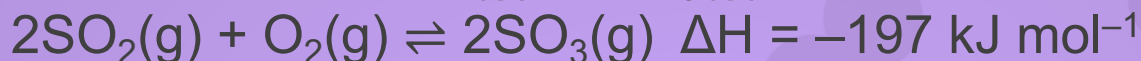
生產可用作肥料的硝酸銨。(1)



按節練習 (頁116)



18 製造硫酸涉及以下從 $\text{SO}_2(\text{g})$ 到 $\text{SO}_3(\text{g})$ 的轉化：



目前在工業上，是用一固體催化劑氧化釩(V) 來進行從 $\text{SO}_2(\text{g})$ 到 $\text{SO}_3(\text{g})$ 的轉化。

- a) 該些反應物須先經淨化方通入盛有該催化劑的反應室。為甚麼？
- b) 操作條件設定為 450°C 和 1 atm 以達致96% 轉化。提出為甚麼不宜藉以下各方法來進一步提升轉化百分率：
 - i) 降低反應系統的溫度
 - ii) 增加反應系統的壓強
- c) 為提升轉化百分率，其中一個所用的反應物為稍微過量。從原料的角度考慮， $\text{SO}_3(\text{g})$ 抑或 $\text{O}_2(\text{g})$ 會是稍微過量？解釋你的答案。

(HKDSE, Paper 2, 2017, 1(b)(ii))

香港公開考試試題答案從略（如適用）。



按節練習 (頁116)

19 丙烯腈 (CH_2CHCN) 可用於製造聚丙烯腈。



從丙烯生產丙烯腈，如以下方程式所示。



操作條件是有催化劑、 450°C 和 2.5 atm 。

參照平衡位置和反應速率，解釋為甚麼採用這組操作條件。

採用較高溫度會增加反應速率。 (1)

正向反應是放熱的。增加溫度令平衡位置向左移， $\text{CH}_2\text{CHCN}(\text{g})$ 的產量下降。

(1)

450°C 的操作溫度是平衡了速率與產量的考量的方案。

氣體生成物的摩爾數較氣體反應物的大。提高壓強令平衡位置向左移，

$\text{CH}_2\text{CHCN}(\text{g})$ 的產量下降。 (1)

採用低壓， $\text{CH}_2\text{CHCN}(\text{g})$ 的產量高，亦減少設施的建設成本 / 營運成本。 (1)



按節練習 (頁116)

20 氯可藉流汞電解池過程製得。

- a) 寫出在陽極所發生變化的半反應式。
- b) 寫出在陰極所發生變化的半反應式。
- c) 解釋為甚麼流汞電解池過程已逐漸被淘汰。

(HKDSE, Paper 2, 2017, 1(c)(ii))

香港公開考試試題答案從略（如適用）。



按節練習 (頁116)

21 氯是氯鹼工業生產的其中一種生成物，氯鹼工業可用流汞電解池或薄膜電解池進行所涉及的電解。

a) 寫出氯鹼工業所用的供料。

濃氯化鈉溶液 / 濃鹽水 (1)

b) 寫出氯鹼工業所涉及的電解的總方程式。



c) 氯鹼工業也生產氯漂白劑。

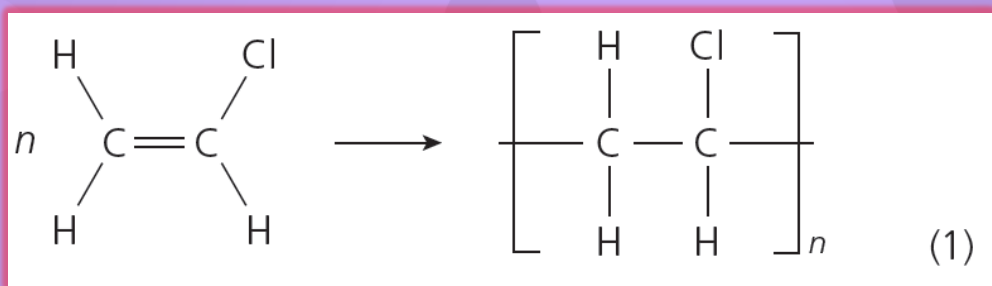
寫出涉及反應的方程式。





按節練習 (頁116)

- d) 除了氯漂白劑外，可用氯製造有用的合成聚合物。
- 寫出由氯製造的一種合成聚合物的名稱。
製造聚氯乙烯。(1)
 - 寫出生成該合成聚合物的化學方程式，並提出該聚合物的一項用途。



它用來製造管道 / 線和纜的絕緣外層。(1)



按節練習 (頁116)

e) 提出與氯鹼工業有關的兩項環境問題。

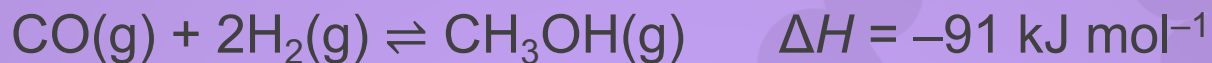
以下任何兩項：

- 氯鹼工業使用大量電能，其主要源自化石燃料。
燃燒化石燃料使二氧化碳 / 二氧化硫排進大氣中，造成環境問題。
(二氧化碳是溫室氣體，它可導致全球暖化和氣候變化。二氧化硫增加河流和湖泊的酸性，影響生態。) (1)
- 汞電解池用有毒的汞，汞排放到環境會威脅市民的健康。 (1)
- 濃鹽水的電解會產生氯氣。氯的毒性高，它的滲漏會對環境造成威脅。 (1)



按節練習 (頁116)

22 可從一氧化碳與氫的反應製造甲醇。該反應的方程式顯示如下：



a) 解釋為甚麼使用低溫和高壓才能獲取最高的甲醇平衡產量。

正向反應是放熱的。降低溫度令平衡位置向右移。(1)

所以，低溫有利於甲醇的生成。

氣體生成物的摩爾數較氣體反應物的小。提高壓強令平衡位置向右移。(1)

所以，高壓有利於甲醇的生成。

b) 除了產量方面外，採用高壓對於該反應有甚麼影響？

增加反應速率。(1)



按節練習 (頁116)

c) 寫出工業上生產甲醇所用的操作條件。

溫度：200–300 °C

壓強：50–100 atm

催化劑：銅和氧化鋅 (1)

d) 這過程中用了銅和鋅氧化物作催化劑，該催化劑會塗在惰性氧化鋁底托的表面。為甚麼在氧化鋁表面施放催化劑薄層？

使表面面積最大。 / 可用較少催化劑。(1)

e) 下列的危險警告標籤，何者應貼在甲醇的容器上？





按節練習 (頁116)

23 可由天然氣生產合成氣，再由合成氣生產甲醇。

a) 為甚麼甲醇是化學工業中重要的化合物？

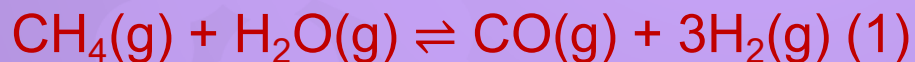
一個甲醇分子含一個碳原子，所以，甲醇可作為起始物料來製備一些其分子含較多碳原子的化合物。 (1)

b) 寫出合成氣中兩種主要的氣體。

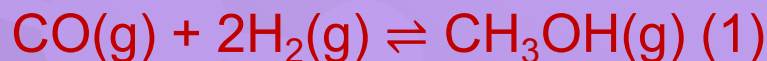
一氧化碳和氫 (1)

c) 寫出由天然氣製造合成氣的過程的名稱，並寫出涉及反應的化學方程式。

水蒸汽-天然氣重整 (1)



d) 寫出由合成氣生產甲醇的反應的化學方程式。





按節練習 (頁116)

e) 下表列出由合成氣製造甲醇的兩個方法的操作條件。

	所用的催化劑	溫度 (°C)	壓強 (atm)
方法 1	氧化鋅和氧化鉻 (III) 的混合物	400	300
方法 2	以銅為主的物質	250	70

解釋為甚麼以方法2 製造甲醇的成本較以方法1 低。

以下任何兩項：

- 較低溫度 (1)
- 較低壓強 (1)
- 使用較少能量 (1)



按節練習 (頁116)

- f) 維修人員在處理這合成過程中的泄漏時須穿戴防護裝備。
提出須穿戴的一件防護裝備，並解釋其使用原因。

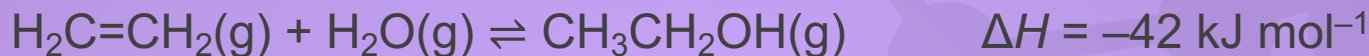
以下任何一項：

- 呼吸儀器 / 氣罩 / 呼吸器 / 氧氣罩
因 CO / CH_3OH / 反應混合物有毒。(1)
- 放火衣物
因 CO / H_2 / CH_3OH / 反應混合物易燃。(1)
- 手套 / 保護衣物
因 CH_3OH 可滲入皮膚。(1)
- 眼睛保護
因 CH_3OH 損害眼睛 / 刺激眼睛 / 導至失明。(1)
- 放彈衣
因氫具爆炸性。(1)



Unit Exercise (p.116)

- 24 乙醇是工業中重要的化合物。
可以通過乙烯的水合反應製造乙醇。
該反應的方程式顯示如下：



該過程的操作條件是溫度 300°C 和壓強 7 MPa 。

在這些條件下，乙烯轉化為乙醇的轉化百分率是 5% 。

- a) 在不改變操作條件下，推斷如何使這過程的總產率能達到 95% 。

把未經反應的乙烯和水蒸汽再循環。 (1)

- b) 運用你的化學平衡知識，解釋為甚麼在相同的操作條件下，生產者可能考慮在這過程中使用過量的水蒸汽。

(AQA GCE, Unit 2, Jun. 2013, 10(a))

平衡位置向右移，以減低水蒸汽的量。 (1)

所以，乙醇的產量增加。