



課題九

反應速率

課題九

反應速率



化學反應如賽車，具有可量度的速率，有快有慢。

第36章

化學反應的速率

第37章

影響反應速率的因素

第38章

常溫常壓 (r.t.p.) 下氣體的摩爾體積

第 36 章

化學反應的速率

36.1 反應速率的簡介

36.2 利用濃度對時間的坐標圖求出平均速率及瞬間速率

36.3 跟隨化學反應進度的方法

學習目標

研習本章後，你應能：

36.1-36.2

- 解釋顯示反應進度的坐標圖；
- 利用合適的坐標圖（如濃度對時間的坐標圖）求出瞬間速率和平均速率；
- 認識初速是當時間 $t = 0$ 的瞬間速率。

36.3

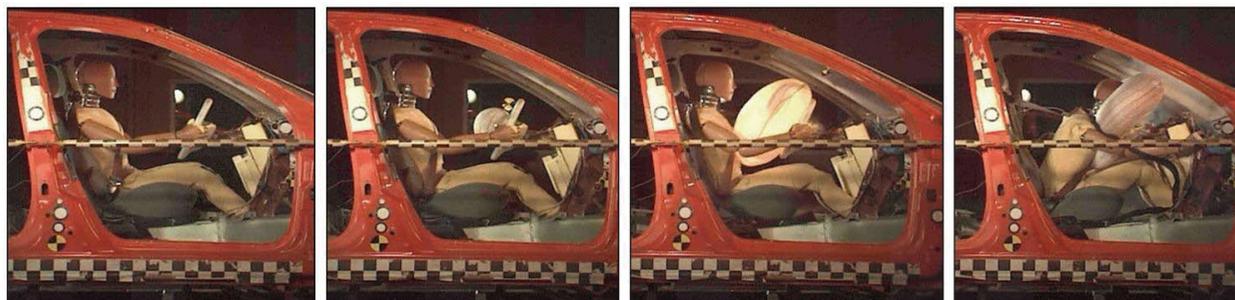
- 描述和論證以下跟隨化學反應進度的技巧：
 - (a) 量度以下變化：
 - (i) 氣體的體積或壓強；
 - (ii) 反應混合物的質量；及
 - (iii) 反應混合物的顏色深度。
 - (b) 滴定分析。
- 選取方法及解釋有關方法是否適合跟隨某些化學反應，例如：
 - (a) Mg(s) 或 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 與稀酸的反應；
 - (b) 利用酸化 $\text{KMnO}_4(\text{aq})$ 氧化 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq})$ 離子；
 - (c) 酯的加鹼水解。
- 討論以「驟冷」和「持續」兩種方法研習速率的本質。

第 36 章

化學反應的速率

現時，大部分的新型汽車均配備安全氣囊。在發生意外時，安全氣囊可作為氣墊，以免司機撞向駕駛盤，減低受傷的風險。

在意外中拯救生命是分秒必爭的。因此，安全氣囊必須於撞車後0.04秒內完全充氣。那麼，如何確保氣囊可迅速充氣？這全靠一個非常迅速的化學反應，該反應在極短時間內產生大量氣體，使氣囊迅速充滿。



試想想...

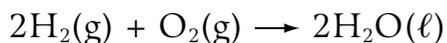
- 不同的化學反應是否具有相同的反應速率？
- 如何量度化學反應的速率？

研習本章後，你應能回答以上問題。

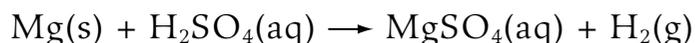
36.1 反應速率的簡介

以不同速率進行的化學反應

氫和氧的混合物在燃點時（「爆鳴聲」試驗），會產生非常迅速的反應（圖36.1(a)）。



鎂與稀硫酸的反應會以中等的速率釋出無色氣泡（圖36.1(b)）。



而在鐵與氧和水的反應中，生成鐵銹的過程則非常緩慢（圖36.1(c)）。



(a)



(b)



(c)

圖36.1 以不同速率進行的化學反應：

- (a) 在「爆鳴聲」試驗中，氫與氧的反應非常迅速；
- (b) 鎂與稀硫酸的反應會以中等的速率進行；
- (c) 生成鐵銹的過程非常緩慢。

課文重點

化學反應以不同的速率進行。



課堂練習36.1

在下列各對實驗中，指出哪個實驗所涉及的反應速率較高。

- (a) 把鈣塊加入水中 / 把鋅塊加入水中
- (b) 把硝酸銀溶液加入氯化鈉溶液中 / 把銅塊加入硝酸銀溶液中

補充資料 生活中的化學

油畫顏料中的緩慢化學反應

你有看過藝術博物館內的一些古代名畫嗎？這些名畫看起來依然顏色鮮艷，歷久不衰。然而，當中卻涉及了繁複的工序。經歷數個世紀後，油畫上的顏料在陽光下與氧、水分和環境中的其他物質產生緩慢的反應，導致油畫變得暗啞。因此，博物館的專家需用一些方法來復修油畫。



根茲巴羅 (Thomas Gainsborough) 於1760至1768年間所繪的畫像「愛德華·理查·加地諾」(Portrait of Edward Richard Gardiner) 在復修前 (左圖) 和復修後 (右圖) 的外觀。



圖36.2 把食物存放於冰箱內，能令食物保存一段較長時間。

為甚麼要研習反應速率？

研習化學反應的速率是非常重要的。例如，食物在低溫下腐壞(當中涉及化學反應)得較慢。因此，我們通常把食物存放於冰箱內。參看圖36.2。

另外，在很多工業過程中，研習反應速率有助於測定最佳的反應條件，以在指定的時間內產生最大量的生成物。化學反應的速率越高，生產效率亦會越高。因此，研習反應速率是必需的。

活動36.1

因未能控制反應速率而釀成意外

在本活動中，你將會搜尋有關因未能控制反應速率而釀成意外的資料。

反應速率

反應速率讓我們知道某化學反應進行得有多快。由於在化學反應中反應物會轉化為生成物，故反應物的濃度會隨時間減少，而生成物的濃度則會增加。在某反應中，反應速率可定義為在每單位時間內其中一種生成物濃度的增加幅度，或在每單位時間內其中一種反應物濃度的減少幅度。

課文重點

$$\text{反應速率} = \frac{\text{其中一種反應物或生成物的濃度變化}}{\text{時間}}$$

學習錦囊

表達式(2)中的負號表示反應物的濃度隨時間減少。然而，我們一般會以正數來表示反應速率。

反應速率可用以下公式來表示：

$$\text{反應速率} = \frac{\Delta[P]}{\Delta t} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{反應速率} = -\frac{\Delta[R]}{\Delta t} \dots\dots\dots (2)$$

當中 $[P]$ 和 $[R]$ 分別代表生成物的濃度和反應物的濃度 (常以 mol dm^{-3} 為單位)。

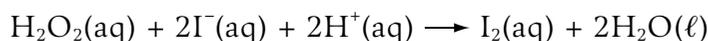
$\Delta[P]$ 和 $\Delta[R]$ 則分別代表生成物和反應物的濃度變化；

Δt 代表時間的變化。

H_2O 例題36.1

計算某反應中生成物和反應物濃度變化的速率

把酸化過氧化氫溶液加入碘化鉀溶液時，會生成碘。



若碘的濃度在8秒內由0增加至 $4 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ ，計算下列各項：

- 碘 ($\text{I}_2(\text{aq})$) 的生成速率
- 過氧化氫 ($\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$) 的消耗速率
- 碘離子 ($\text{I}^-(\text{aq})$) 的消耗速率

續

題解

- (a) 碘的濃度變化 ($\Delta[\text{I}_2(\text{aq})]$)
 $= (4 \times 10^{-4} - 0) \text{ mol dm}^{-3}$
 $= 4 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$
 反應所需的時間 (Δt) = 8 s

碘的生成速率

$$= \frac{\Delta[\text{I}_2(\text{aq})]}{\Delta t}$$

$$= \frac{4 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}}{8 \text{ s}}$$

$$= 5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$$

- (b) 從方程式得知，每生成1摩爾的 $\text{I}_2(\text{aq})$ ，便會消耗1摩爾的 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 。

過氧化氫的濃度變化 ($\Delta[\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})]$)

$$= (0 - 4 \times 10^{-4}) \text{ mol dm}^{-3}$$

$$= -4 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

反應所需的時間 (Δt) = 8 s

過氧化氫的消耗速率

$$= - \frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})]}{\Delta t} \text{ (負號表示} [\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})] \text{正在減少。)}$$

$$= - \frac{(-4 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3})}{8 \text{ s}}$$

$$= 5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$$

- (c) 從方程式得知，每生成1摩爾的 $\text{I}_2(\text{aq})$ ，便會消耗2摩爾的 $\text{I}^-(\text{aq})$ 。

碘離子的濃度變化 ($\Delta[\text{I}^-(\text{aq})]$)

$$= [0 - (2 \times 4 \times 10^{-4})] \text{ mol dm}^{-3}$$

$$= -8 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

反應所需的時間 (Δt) = 8 s

碘離子的消耗速率

$$= - \frac{\Delta[\text{I}^-(\text{aq})]}{\Delta t} \text{ (負號表示} [\text{I}^-(\text{aq})] \text{正在減少。)}$$

$$= - \frac{(-8 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3})}{8 \text{ s}}$$

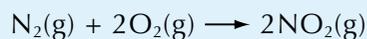
$$= 1 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$$

可試做章節練習第8題



課堂練習36.2

氮與氧在密閉的排放管內反應，生成二氧化氮。



二氧化氮的濃度在2秒內由0增加至 0.48 mol dm^{-3} 。

計算下列各項：

- 二氧化氮的生成速率
- 氮的消耗速率
- 氧的消耗速率

36.2 利用濃度對時間的坐標圖求出平均速率及瞬間速率

濃度對時間的坐標圖

反應進行時，反應物（可多於一種）的濃度會隨着時間而減少，而生成物（亦可多於一種）的濃度則會隨着時間而增加。圖36.3顯示了一些化學反應的典型濃度對時間的坐標圖。

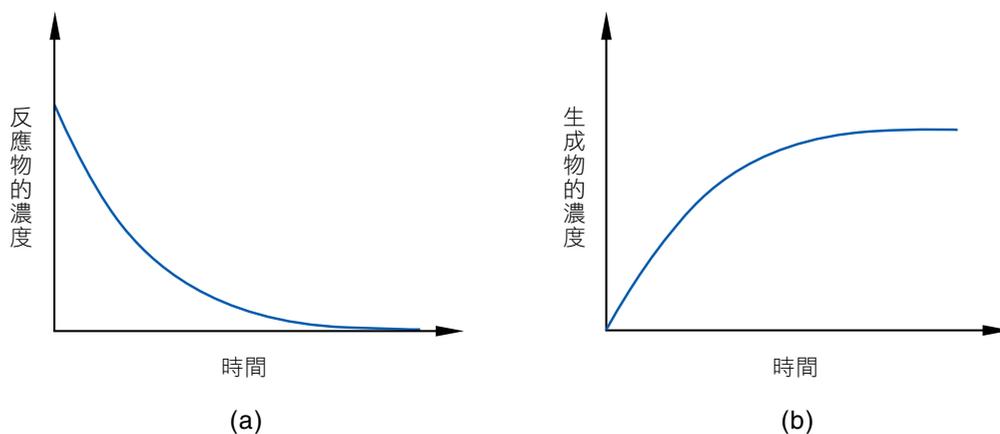


圖36.3 (a) 反應物和 (b) 生成物的濃度對時間的坐標圖。



課文重點

濃度對時間的坐標圖顯示了某反應物（或某生成物）的濃度隨時間的變化，從而反映了化學反應的進度。

詮釋濃度對時間的坐標圖

我們可從濃度對時間的坐標圖得到很多有用的資料。參看圖 36.4。

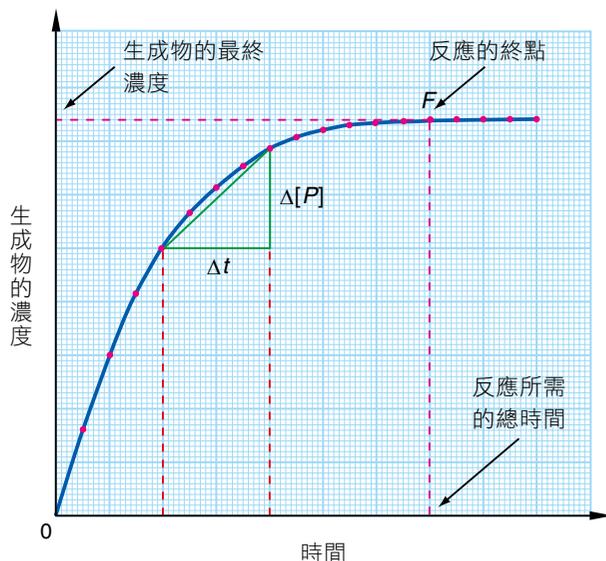


圖36.4 生成物的濃度隨時間變化的典型坐標圖。

1. 在生成物的濃度對時間的坐標圖中，由於時間 $t = 0$ 時，沒有任何生成物產生，故曲線由**原點**開始。
2. 曲線**開始時很傾斜**，而**傾斜的程度會隨時間而減少**（將於第37章再作詳細解釋）。
3. 曲線**最終變為水平線**，這表示生成物的濃度維持不變，即**反應結束了**，不會再產生任何生成物。 F 點則表示**反應的終點**。
4. 曲線顯示了生成物的**最終濃度**和**反應所需的總時間**。

反應的平均速率

反應的**平均速率**是在某時距 (Δt) 內反應物的濃度變化 ($-\Delta[R]$) (或生成物的濃度變化 ($\Delta[P]$))。

$$\text{平均反應速率} = -\frac{\Delta[R]}{\Delta t} \text{ 或 } \frac{\Delta[P]}{\Delta t}$$

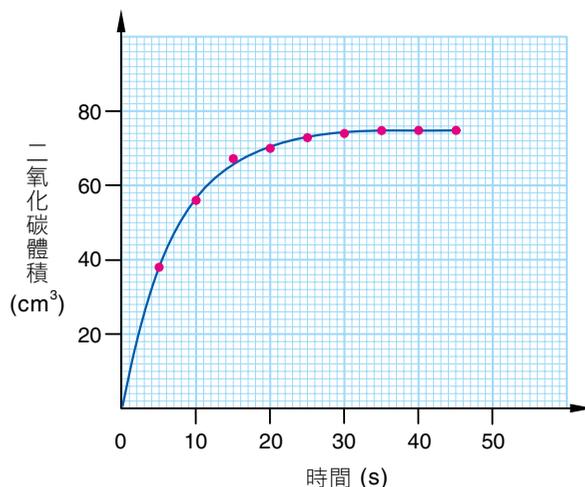
 例題36.2

計算二氧化碳的平均生成速率

某學生進行實驗以研習碳酸鈣與氫氯酸的反應速率。



每隔一段固定時距，該學生量度上述反應中生成的二氧化碳體積，並利用所記錄的數據，繪畫二氧化碳體積對時間的坐標圖。



計算下列各時距內 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的平均生成速率：

- 0至10秒
- 10至20秒
- 整個反應過程

題解

- (a) 在0至10秒期間 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的平均生成速率

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{CO}_2(\text{g})\text{的體積變化}}{\text{時間變化}} \\ &= \frac{(56 - 0) \text{ cm}^3}{(10 - 0) \text{ s}} \\ &= 5.6 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

- (b) 在10至20秒期間 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的平均生成速率

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{CO}_2(\text{g})\text{的體積變化}}{\text{時間變化}} \\ &= \frac{(70 - 56) \text{ cm}^3}{(20 - 10) \text{ s}} \\ &= 1.4 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

- (c) $\text{CO}_2(\text{g})$ 在整個反應過程的平均生成速率

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{CO}_2(\text{g})\text{的總體積變化}}{\text{反應所需的總時間}} \\ &= \frac{(75 - 0) \text{ cm}^3}{(35 - 0) \text{ s}} \\ &= 2.14 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

可試做章節練習第16題

反應的瞬間速率

乘搭磁浮列車時，我們會知道列車在特定時間的速率，圖36.5顯示了在兩個不同時間下列車的「瞬間」速率。



(a)



(b)

圖36.5 上海的磁浮列車。
 (a) 列車停頓時的瞬間速率。
 (b) 列車在最高速時的瞬間速率。

同樣，化學反應的速率亦會在反應的過程中有所變化，而反應中某個特定時間的速率稱為**瞬間速率**。

🔑 課文重點

反應中某個特定時間的速率稱為**瞬間速率**。

考慮濃度對時間的坐標圖，要求出反應的瞬間速率，便要找出曲線在某個特定時間的**切線斜率**。圖36.6顯示濃度對時間的坐標圖在不同時間所得的切線。

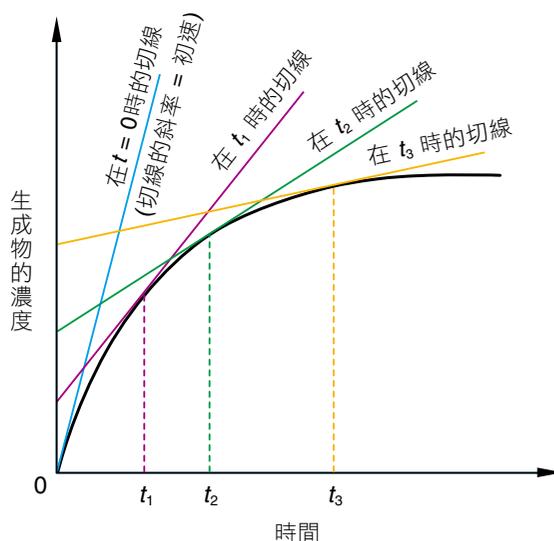


圖36.6 濃度對時間的坐標圖在不同時間所得的切線。

- 當時間 $t = 0$ 時，切線是最斜的 (即斜率是最大的)，表示反應開始時速率最高，這稱為反應的**初速** (即是當時間 $t = 0$ 的瞬間速率)。
- 反應進行時，切線的斜率 (由 t_1 至 t_3) 下降，最終變為零。這表示反應越來越慢，最終停止。

H₂O

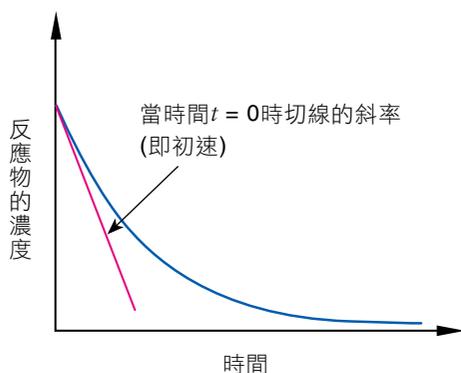
例題36.3

略繪濃度對時間的坐標圖和顯示反應初速的切線

- 略繪濃度對時間的坐標圖，以顯示反應由開始至結束時某反應物的濃度變化。
- 在曲線上繪畫切線，以顯示時間 $t = 0$ 時反應的瞬間速率 (即反應初速)。
- 反應結束時，切線的斜率是多少？

題解

(a) 及 (b)

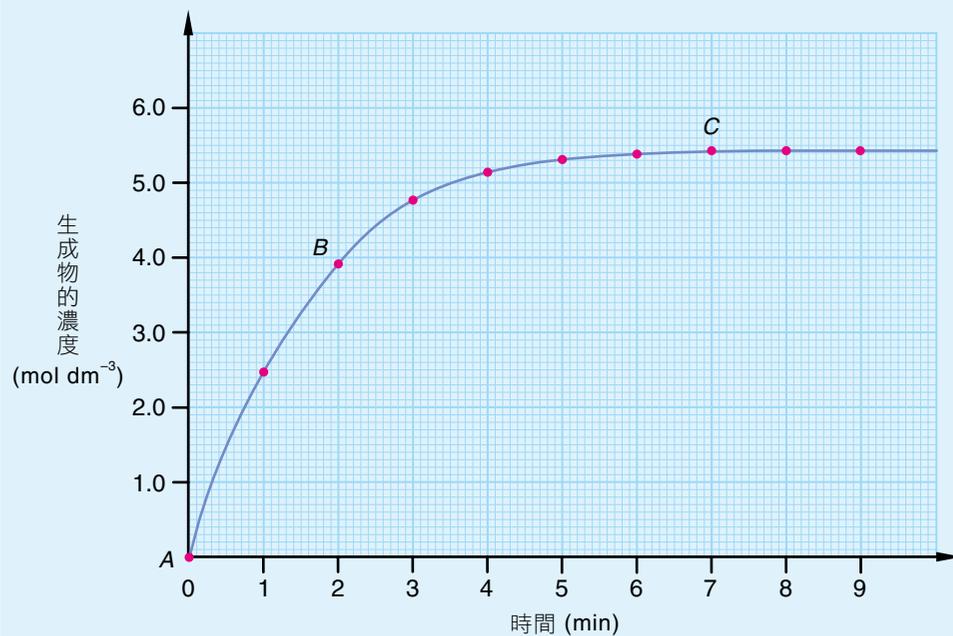


(c) 反應結束時，曲線的切線是水平的，即切線斜率是零。



課堂練習36.3

某反應的濃度對時間坐標圖如下所示：



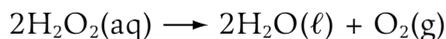
- 計算在A點、B點和C點時反應的瞬間速率。
- 描述整個反應過程的速率變化。
- 計算整個反應過程的平均速率。



例題36.4

繪畫濃度對時間的坐標圖以求出初速和瞬間速率

過氧化氫會分解為水和氧，反應的方程式如下：



下表顯示了研習過氧化氫分解作用的速率的實驗結果：

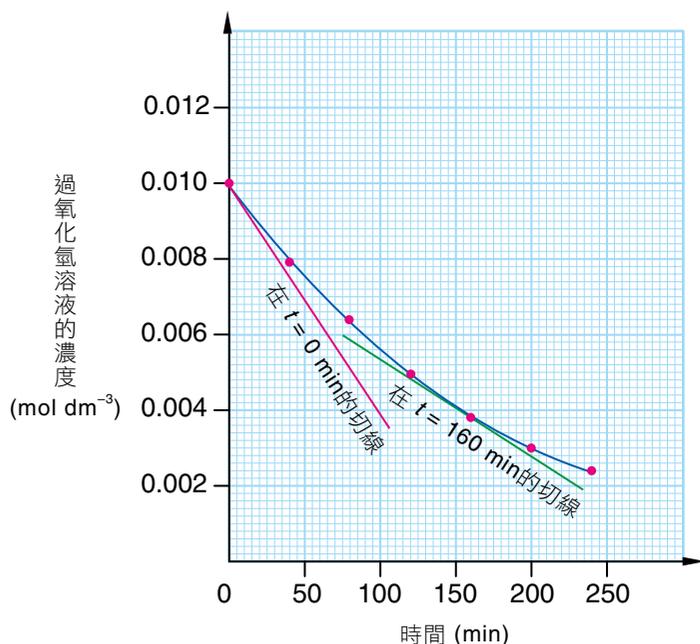
時間 (min)	[H ₂ O ₂ (aq)] (mol dm ⁻³)	時間 (min)	[H ₂ O ₂ (aq)] (mol dm ⁻³)
0	0.0100	160	0.0038
40	0.0079	200	0.0030
80	0.0062	240	0.0024
120	0.0049		

- 利用以上資料，繪畫H₂O₂(aq)的濃度對時間的坐標圖。
- 求反應的初速。
- 求在第160分鐘的瞬間速率。
- 在整個反應過程中，瞬間速率有甚麼變化？

續

題解

(a)

(b) 在 $t = 0$ 繪畫切線，然後找出它的斜率。初速 = -曲線上 $t = 0$ 時切線的斜率(負號表示 $[\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})]$ 正在減少。)

$$\begin{aligned}\text{初速} &= -\frac{(0.004 - 0.006) \text{ mol dm}^{-3}}{(97.5 - 65) \text{ min}} \\ &= 6.15 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

(c) 在第160分鐘的位置繪畫切線，然後找出它的斜率。

在第160分鐘的瞬間速率 = -曲線上 $t = 160$ min 時切線的斜率(負號表示 $[\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})]$ 正在減少。)

在第160分鐘的瞬間速率

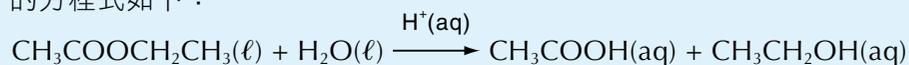
$$\begin{aligned}&= -\frac{(0.002 - 0.006) \text{ mol dm}^{-3}}{(230 - 75) \text{ min}} \\ &= 2.58 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

(d) 反應的瞬間速率隨時間下降。



課堂練習 36.4

某學生進行實驗，以研習在有酸的情況下乙酸乙酯與水的反應，反應的方程式如下：



續

實驗結果如下表所示：

時間 (min)	$[\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})]$ (mol dm^{-3})
0	0
25	0.048
50	0.085
75	0.112
100	0.133
125	0.149

- 利用以上數據，繪畫 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 的濃度對時間的坐標圖。
- 求上述反應的初速。
- 求在第125分鐘時反應的瞬間速率。
- 在整個反應過程中，瞬間速率有甚麼變化？

36.3 跟隨化學反應進度的方法

我們可透過不同方法來監察反應物或生成物的某項可觀察到的性質的變化，測定反應速率，以跟隨化學反應的進度。以下是一些常用的方法：

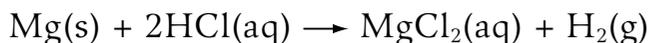
- 量度各種不同物理性質的方法，例如：
 - 量度氣態生成物的體積變化；
 - 量度反應體系中壓強的變化；
 - 量度反應混合物的質量變化；
 - 量度反應混合物的顏色深度變化。
- 進行**滴定分析**。

有些化學反應的進度可用多於一種方法來跟隨。我們應選擇**快捷、準確、方便和對反應構成較小影響**的方法來跟隨反應進度。

透過量度氣態生成物的體積變化以跟隨化學反應的進度

若反應涉及氣體的產生，我們可透過量度氣態生成物的體積變化，去跟隨反應的進度。

例如，鎂帶與稀氫氯酸反應會生成氫氣。



要探究反應的速率，我們可每隔一段固定時距量度所生成的氫氣體積。

圖36.7顯示了上述反應所用的實驗裝置。

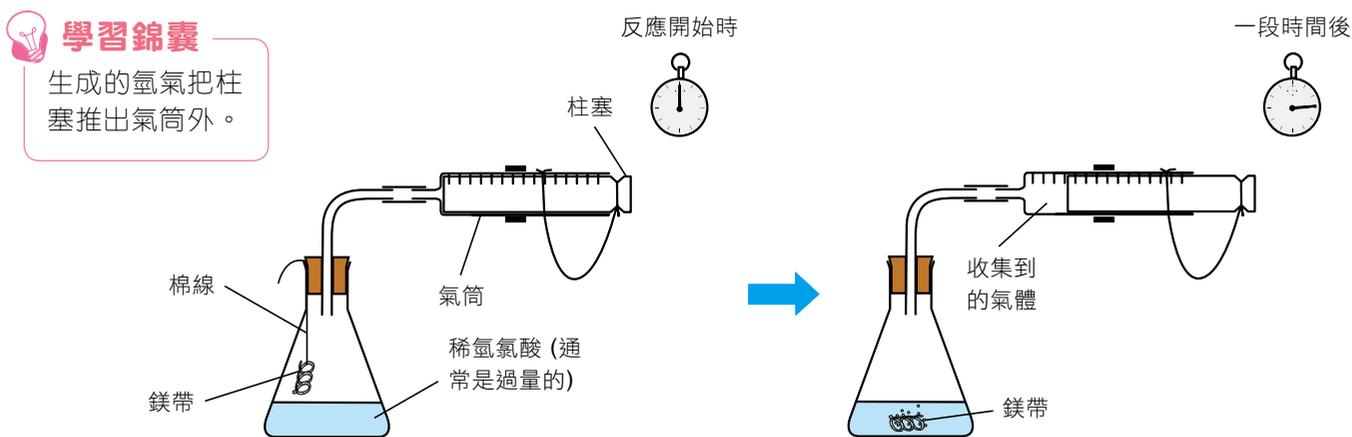


圖36.7 每隔一段固定時距，量度鎂帶與稀氫氯酸在反應中所生成的氫氣體積，以探究反應速率。

SBA提示

在記錄讀數前，應先把氣筒內的柱塞扭轉，確保柱塞不會卡在氣筒內，亦確保氣筒內的氣壓相等於大氣壓強。

下列是跟隨上述反應進度的步驟：

1. 把鎂帶放入稀氫氯酸中。
2. 啟動秒錶。
3. 每隔一段固定時距，記錄氣筒所收集到的氣體體積，直至反應結束為止。


例題36.5
透過量度氣態生成物的體積以跟隨鎂與稀氫氯酸的反應進度

某學生把一條鎂帶放入 30.0 cm^3 2.0 M HCl(aq) 中，然後每隔5秒記錄所收集的氣態生成物體積，直至鎂帶耗盡為止。

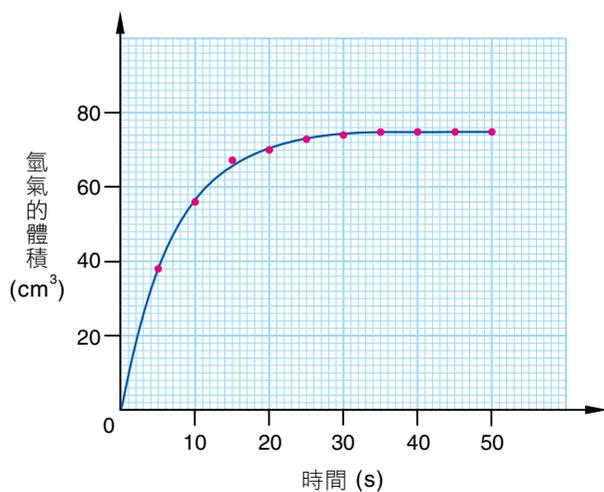
實驗結果如下表所示：

時間 (s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
所收集的氣態生成物體積 (cm^3)	0	38	56	67	70	73	74	75	75	75	75

- 寫出用作收集及量度氣態生成物體積的儀器名稱。
- 在實驗中收集到的是甚麼氣體？
- 繪畫所收集到的氣體體積對時間的坐標圖。
- 反應在何時結束？
- 計算在首20秒內氣態生成物的平均生成速率。

題解

- 氣筒
- 氫
-



- 在第35秒
- 首20秒所收集到的氣體體積為 70 cm^3 。

$$\begin{aligned} \text{在這段時間內氣態生成物的平均生成速率} &= \frac{(70 - 0) \text{ cm}^3}{(20 - 0) \text{ s}} \\ &= 3.50 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

可試做章節練習第17題


課堂練習36.5

某學生探究氯化重氮苯 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{N}_2\text{Cl}$) 與水反應的速率。該學生把已知質量的氯化重氮苯加入盛有大量水的錐形瓶中，反應的方程式如下：



每隔一分鐘記錄所釋出氮氣的體積。實驗結果如下表所示：

時間 (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
所釋出氮氣的體積 (cm^3)	0	23.0	36.5	46.0	51.0	54.5	57.0	58.5	58.5

- 繪畫所釋出氮氣的體積對時間的坐標圖。
- 反應中釋出的氮氣體積最多是多少？
- 計算在首4分鐘內反應的平均速率。


實驗36.1

實驗作業4A

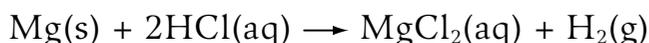
透過量度氣態生成物的體積變化以跟隨化學反應的進度

在本實驗中，你將會利用氣筒來量度釋出氣體的體積，從而跟隨鎂與稀氫氯酸反應的進度。

透過量度反應體系的壓強變化以跟隨化學反應的進度

若反應在**密閉體系**（即固定的體積）進行，並涉及**氣體摩爾數**的變化，我們便可透過量度反應體系的壓強隨時間的變化，去跟隨反應的進度。

鎂與稀氫氯酸的反應會生成氫氣。



由於在反應物和生成物中只有氫是氣體，故作為生成物的氫的摩爾數會隨時間而增加。若反應在**密閉容器**內進行，當中的壓強便會上升。反應中產生越多氣體，容器內的壓強就越高。

SBA提示

在實驗過程中，反應容器必須是密封的，以確保所量度的壓強是準確的。

我們可利用**壓強傳感器**和接駁至電腦界面的**數據記錄器**，以量度容器中的壓強。參看圖36.8。

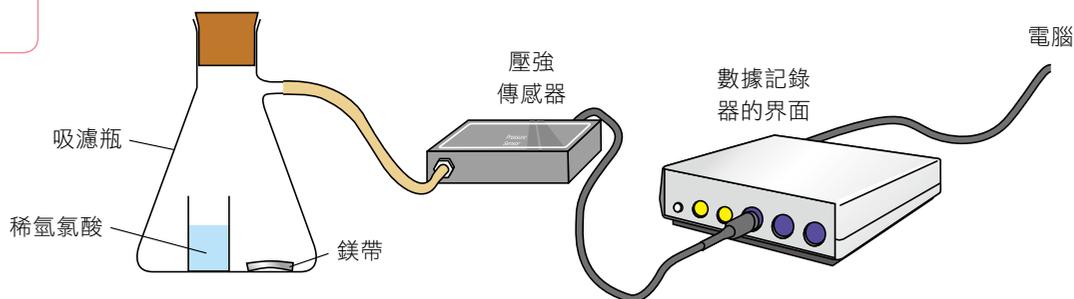


圖36.8 每隔一段固定時距，量度反應容器中的壓強，以探究鎂與稀氫氯酸的反應速率。

下列是跟隨上述反應進度的步驟：

1. 啟動電腦的數據記錄軟件。
2. 把吸濾瓶傾側，使盛有稀氫氯酸的瓶子傾瀉，讓酸與鎂帶產生反應。
3. 立即開始記錄吸濾瓶內的壓強，直至鎂完全反應為止。

H₂O

例題36.6

透過量度反應體系中的壓強變化以跟隨鎂與稀硫酸反應的進度

某學生利用如圖36.8所示的實驗裝置，來探究鎂與稀硫酸反應的速率。實驗結果如下表所示：

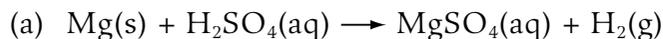
時間 (s)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
壓強 (kPa)	101.4	105.9	111.1	115.9	120.0	123.7	126.9	126.9	126.9	126.9	126.9

(註：一大氣壓強相等於101.3 kPa。)

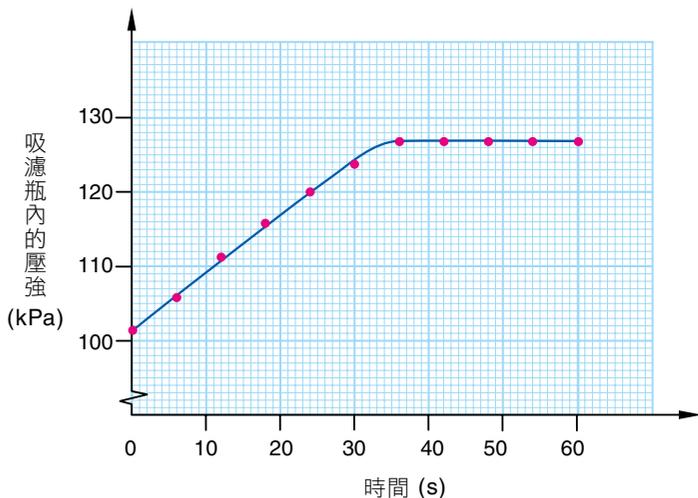
- 寫出上述反應的化學方程式。
- 繪畫吸濾瓶內的壓強 (kPa) 對時間 (min) 的坐標圖。
- 反應在何時結束？
- 為甚麼在時間 $t = 0$ 時吸濾瓶內的壓強並不是零？
- 計算該反應的平均速率 (以 kPa s^{-1} 為單位)。
- 寫出利用數據記錄器來進行實驗的兩項優點。

續

題解



(b)



(c) 在第36秒。

(d) 由於吸濾瓶內盛有空氣，故起始壓強相等於大氣壓強。

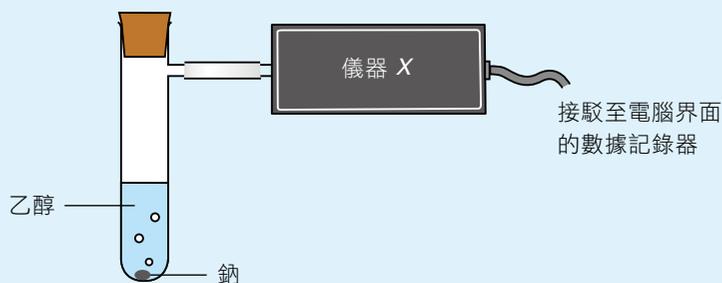
$$\begin{aligned} \text{(e) 反應平均速率} &= \frac{(126.9 - 101.4) \text{ kPa}}{(36 - 0) \text{ s}} \\ &= 0.708 \text{ kPa s}^{-1} \end{aligned}$$

(f) 數據記錄器可收集和儲存短時距內的數據。
數據記錄器可立即把實驗數據以坐標圖的形式顯示出來。

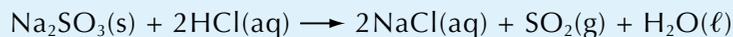


課堂練習36.6

1. 某學生利用以下裝置進行實驗，以探究鈉與乙醇反應的速率。把一小塊剛切開的鈉放入盛有乙醇的試管中，如下圖所示。



- (a) 寫出儀器X的名稱。
(b) 略繪大試管內的壓強 (kPa) 對時間 (min) 的坐標圖。
2. 某學生嘗試透過量度以下反應所釋出的二氧化硫體積或反應體系的壓強，以探究反應速率。



解釋為何該學生透過量度壓強的方法來找出反應速率並不恰當。



實驗36.2

實驗作業4A

透過量度反應體系的壓強變化以跟隨化學反應的進度

在本實驗中，我們將會利用壓強傳感器和接駁至電腦界面的數據記錄器，以量度反應體系中壓強的變化，從而跟隨鎂與稀氫氯酸反應的進度。

透過量度反應混合物的質量變化以跟隨化學反應的進度

若反應過程中有氣體從反應混合物中逸走，反應混合物的質量便會隨反應進行而減少。我們可透過量度反應混合物隨時間的質量變化，去跟隨反應的進度。

SBA提示

反應中生成的二氧化碳需要時間完全填充反應容器。因此，在實驗的起始階段，反應容器的總質量不會減少得很快。

例如，石灰石與稀氫氯酸反應，生成二氧化碳。



每隔一段固定時距，我們可量度反應混合物的質量，以探究反應速率。

圖36.9顯示了上述反應所用的實驗裝置。

試想想

這方法不適用於探究涉及氫氣生成的反應，為甚麼？

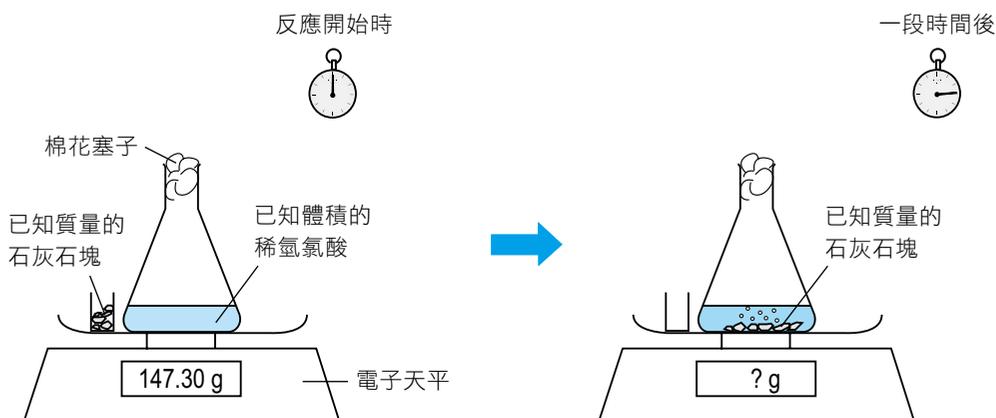


圖36.9 每隔一段固定時距，量度反應混合物的質量，以探究反應速率。

下列是跟隨上述反應進度的步驟：

1. 把盛有稀氫氯酸的錐形瓶放在電子天平上。
2. 把石灰石塊放入稀氫氯酸中，讓反應開始。
3. 啟動秒錶，並立刻用棉花塞住錐形瓶的瓶口。
4. 每隔一段固定時距，記錄錐形瓶及反應混合物的總質量，直至反應結束為止。

在本實驗中，生成的二氧化碳會經棉花塞子由錐形瓶逸走。因此，錐形瓶及反應混合物減少的總質量相等於在反應中生成的二氧化碳質量。

H₂O 例題36.7

透過量度反應混合物的質量變化以跟隨石灰石與稀氫氯酸反應的進度

某學生利用圖36.9所示的實驗裝置來探究以下反應的速率：



實驗結果如下表所示：

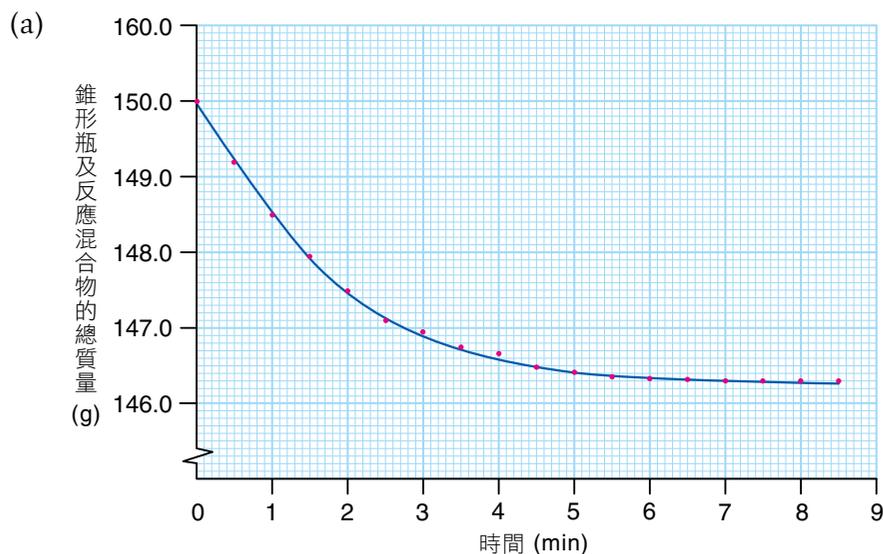
反應時間 (min)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
錐形瓶及反應混合物的總質量 (g)	150.00	149.20	148.50	147.95	147.50	147.10	146.95	146.75	146.60

反應時間 (min)	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
錐形瓶及反應混合物的總質量 (g)	146.49	146.41	146.36	146.33	146.31	146.30	146.30	146.30	146.30

- (a) 繪畫錐形瓶及反應混合物的總質量對時間的坐標圖。
- (b) 參看圖36.9，為甚麼要用棉花塞住錐形瓶的瓶口？

續

題解



(b) 棉花塞子可讓二氧化碳逸走，同時亦可防止酸濺出。

可試做章節練習第19題



課堂練習36.7

參看例題36.7中的實驗。

- (a) 為甚麼實驗過程中錐形瓶及反應混合物的總質量會減少？
 (b) 找出在不同時間下所生成二氧化碳的質量，並完成下表。

反應時間 (min)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
所生成CO ₂ 的質量 (g)									
反應時間 (min)	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
所生成CO ₂ 的質量 (g)									

- (c) 繪畫所生成二氧化碳的質量對時間的坐標圖，並在圖表中標示「所生成二氧化碳的總質量」、「反應終點」及「反應所需的時間」。
 (d) 計算反應的初速。
 (e) 計算整個反應過程的平均速率。



實驗36.3

實驗作業4A

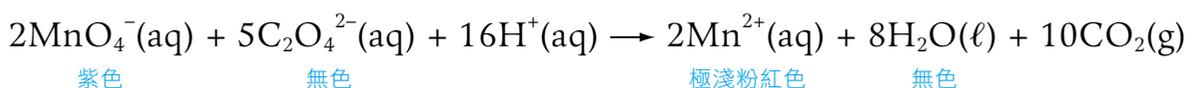
透過量度反應混合物的質量變化以跟隨化學反應的進度

在本實驗中，你將會量度反應混合物的質量變化，以跟隨碳酸鈣與稀氫氯酸反應的進度。

透過量度反應混合物的顏色深度以跟隨化學反應的進度

若反應中其中一種反應物或生成物是有色的，反應混合物的**顏色深度**會隨時間而變化。若只有生成物是有色的，反應混合物的顏色會隨時間逐漸變深；若只有反應物是有色的，反應混合物的顏色便會隨時間逐漸變淺。溶液的顏色深度取決於有色物種的**濃度**。

例如，酸化高錳酸根離子 (MnO_4^- (aq)) 能把草酸根離子 ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ (aq)) 氧化，並生成二氧化碳。



反應進行時，紫色的 MnO_4^- (aq)離子的濃度會逐漸減少。因此，溶液的顏色會變得越來越淺，反應混合物的**顏色深度**亦隨之而下降。參看圖36.10。



圖36.10 MnO_4^- (aq)和 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ (aq)的反應混合物的顏色深度隨時間下降。



圖36.11 比色計和用於盛載樣本作分析的比色杯。

我們可利用**比色計** (圖36.11) 來量度反應混合物顏色深度的變化。比色計可獨立使用，或可接駁至數據記錄器。

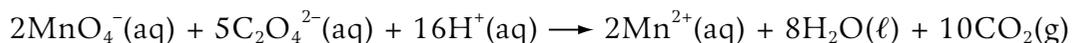
下列是跟隨上述反應進度的步驟：

1. 把酸化高錳酸鉀溶液和草酸鈉溶液在試管或比色杯內混合。
2. 立刻把試管或比色杯放入比色計。
3. 每隔一段固定時距，記錄反應混合物的**吸光度** (即吸收光的**比例**)。有色物種的**濃度越高**，所錄得的吸光度便會越高。


例題36.8

透過量度反應混合物的顏色深度以跟隨高錳酸根離子與草酸根離子反應的進度

某學生利用比色計探究以下反應的速率：



該學生記錄反應混合物在每隔一段固定時距的吸光度，得出以下的實驗結果：

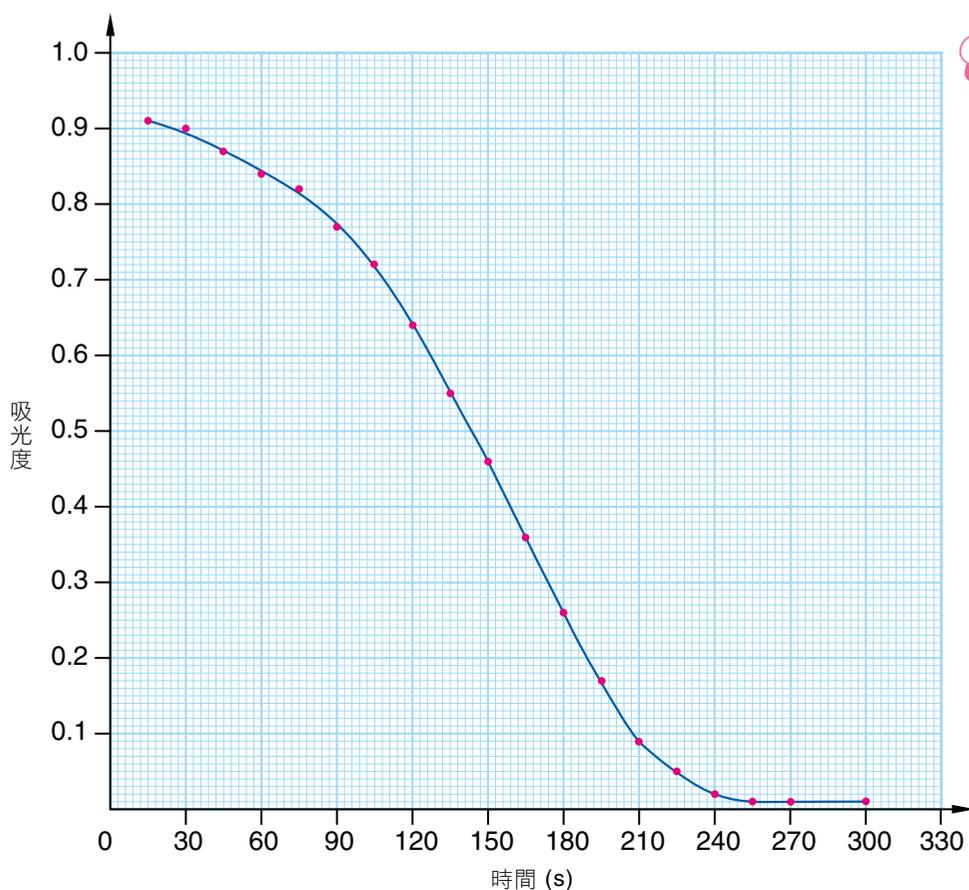
時間 (s)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
吸光度	0.91	0.90	0.87	0.84	0.82	0.77	0.72	0.64	0.55	0.46
時間 (s)	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300
吸光度	0.36	0.26	0.17	0.09	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01

- 哪種在反應混合物中的物種是有色的？寫出該物種的顏色。
- 繪畫反應混合物的吸光度對時間的坐標圖。
- 解釋為甚麼在整個反應過程中，反應混合物的吸光度會下降。
- 求反應在120秒和225秒的瞬間速率，然後評論在整個反應過程中，反應速率的變化。

題解

(a) $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$ ；紫色。

(b)

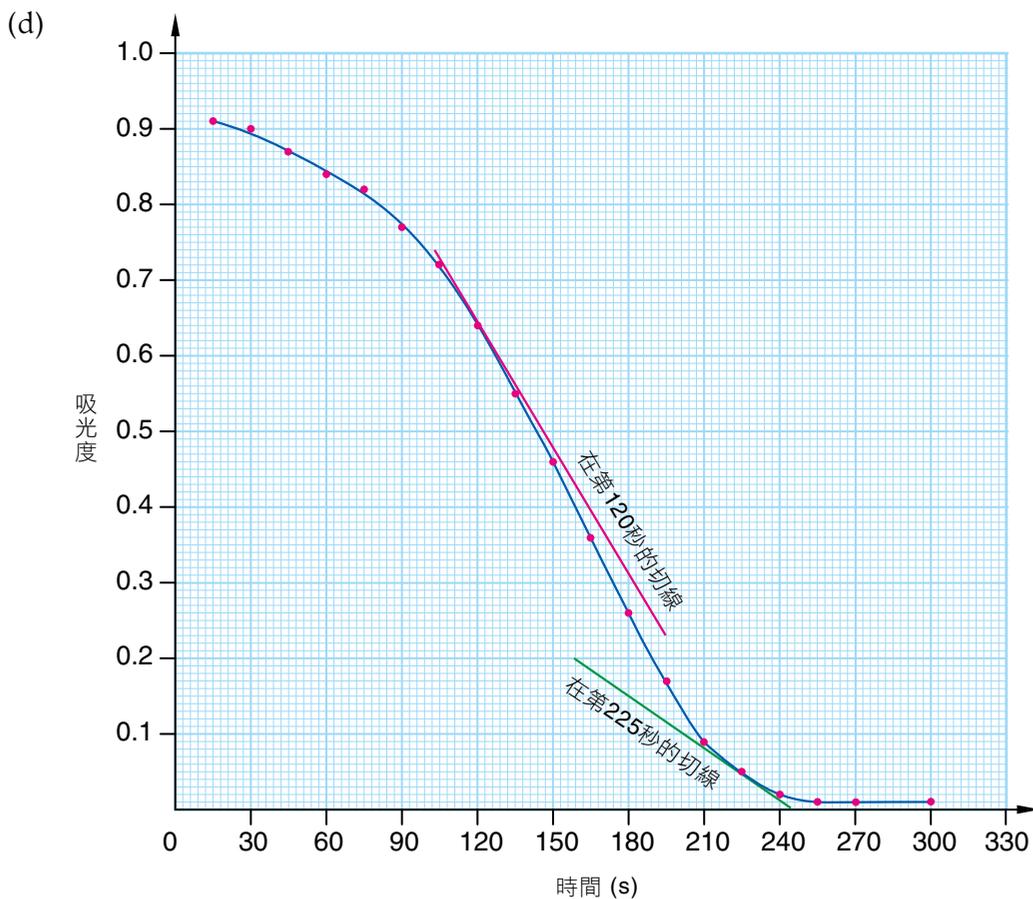


學習錦囊

反應起初很慢，但速率漸漸增加。這是因為反應涉及互相排斥的兩種陰離子 ($\text{MnO}_4^-(\text{aq})$ 和 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq})$)。反應中生成的 $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ 離子作為催化劑，使反應加快。

續

(c) 由於反應進行時，紫色的 MnO_4^- (aq)濃度減少，由 MnO_4^- (aq)所吸收的光亦會減少，故反應混合物的吸光度會下降。



在第120秒時的切線斜率

$$= \frac{(0.23 - 0.64)}{(195 - 120) \text{ s}}$$

$$= -5.47 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

在第225秒時的切線斜率

$$= \frac{(0.05 - 0.15)}{(225 - 180) \text{ s}}$$

$$= -2.22 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

切線斜率下降 (由 $5.47 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 下降至 $2.22 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)，表示反應速率隨時間而下降。(註：斜率的負號表示反應物 MnO_4^- (aq)的濃度隨時間而減少。)



實驗36.4

實驗作業4A

透過量度反應混合物的顏色深度變化以跟隨高錳酸根離子與草酸根離子反應的進度

在本實驗中，你將會利用比色計量度反應混合物的顏色深度變化，以跟隨高錳酸根離子與草酸根離子反應的進度。



實驗36.5

實驗作業4A

透過量度泡沫高度的變化以跟隨化學反應的進度

在本實驗中，你將會利用量筒量度泡沫高度的變化，從而跟隨有清潔劑存在下過氧化氫溶液的催化分解作用的進度。

透過進行滴定分析以跟隨化學反應的進度

學習錦囊

使用滴定分析來量度反應速率時，原本的反应混合物會受到影響。

試想想

為甚麼用冷水稀釋反應混合物可把反應驟冷？

我們可每隔一段固定時距，利用**滴定法**來測定某些反應中反應物或生成物的濃度，以跟隨這些反應的進度。

滴定分析涉及每隔一段**固定時距抽取少量**的反應混合物樣本來進行**分析**。分析前，需把樣本中的反應減慢或終止（即驟冷），以防止在分析過程中反應物或生成物的**濃度有進一步的變化**。

我們可用下列方法來把反應**驟冷**：

1. 用冰把反應混合物迅速冷卻；
2. 用足夠的冷水或其他合適的溶劑**稀釋**反應混合物。

乙酸乙酯加鹼水解的滴定分析

* 第4B冊，第44.8節，第32頁

考慮乙酸乙酯（一種酯）的***加鹼水解**：

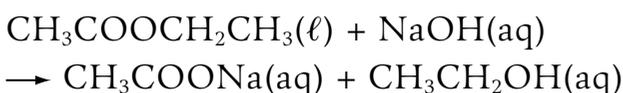


圖36.12顯示了乙酸乙酯加鹼水解的滴定分析。

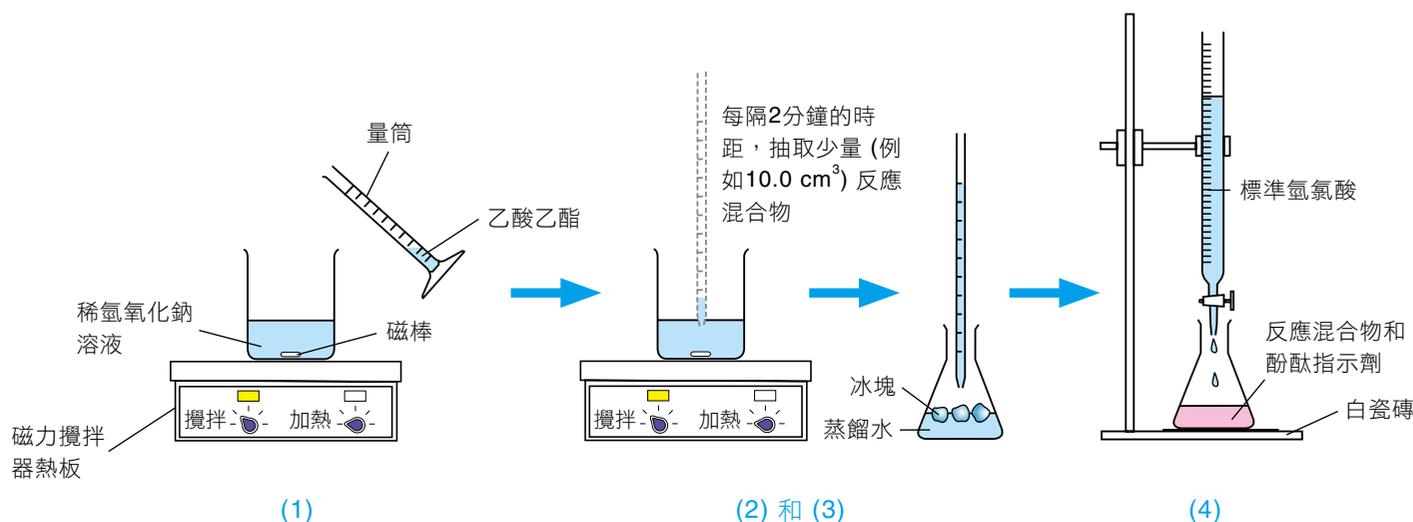


圖36.12 進行滴定分析，以探究乙酸乙酯的加鹼水解的反應速率。

下列是跟隨上述反應進度的步驟：

1. 把乙酸乙酯和稀氫氧化鈉溶液混合。
2. 每隔一段固定時距，利用移液管抽取少量反應混合物樣本。
3. 把樣本移到加有冰塊的蒸餾水中，使反應驟冷。
4. 利用已驟冷的樣本與標準氫氯酸進行滴定，並以酚酞作為指示劑。

根據滴定的結果，便可找出在不同時間下氫氧化鈉溶液的濃度。



例題36.9

透過滴定分析以跟隨乙酸乙酯加鹼水解反應的進度

某學生進行實驗，以研習乙酸乙酯加鹼水解反應的進度。在實驗中，把 100 cm^3 0.20 M 氫氧化鈉溶液和 2.0 cm^3 乙酸乙酯在燒杯中混合。每隔兩分鐘，從反應混合物中抽取 10.0 cm^3 的樣本，並移到盛有 20 cm^3 冰冷蒸餾水的錐形瓶中，然後利用 0.10 M 氫氯酸進行滴定。

實驗的結果如下表所示：

時間 (min)	0	2	4	6	8	10	12	14
已用的HCl(aq) 體積 (cm^3)	20.00	9.00	5.50	3.50	2.70	2.40	2.00	1.90

- 寫出用作抽取 10.0 cm^3 反應混合物樣本的儀器名稱。
- 為甚麼要把樣本移到冰冷的蒸餾水中？
- 計算在第4分鐘時，反應混合物中NaOH(aq)的濃度。
- 計算每隔兩分鐘的時距，各樣本中NaOH(aq)的濃度，並完成下表。

時間 (min)	0	2	4	6	8	10	12	14
NaOH(aq) 的濃度 (mol dm^{-3})								

- 繪畫NaOH(aq)濃度對時間的坐標圖。
- 建議透過滴定分析來跟隨反應進度的兩項缺點。

續

題解

- (a) 10.0 cm³ 的移液管
 (b) 停止樣本中的加鹼水解。防止樣本中NaOH(aq)的濃度再產生變化。
 (c) 已用的HCl(aq)摩爾數

$$= 0.10 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{5.50}{1000} \text{ dm}^3$$

$$= 5.50 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

從方程式得知， $\text{NaOH(aq)} + \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{NaCl(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}$

NaOH(aq) : HCl(aq) 的摩爾比 = 1 : 1

所含的NaOH(aq)的摩爾數 = $5.50 \times 10^{-4} \text{ mol}$

在第4分鐘時，反應混合物中NaOH(aq)的濃度

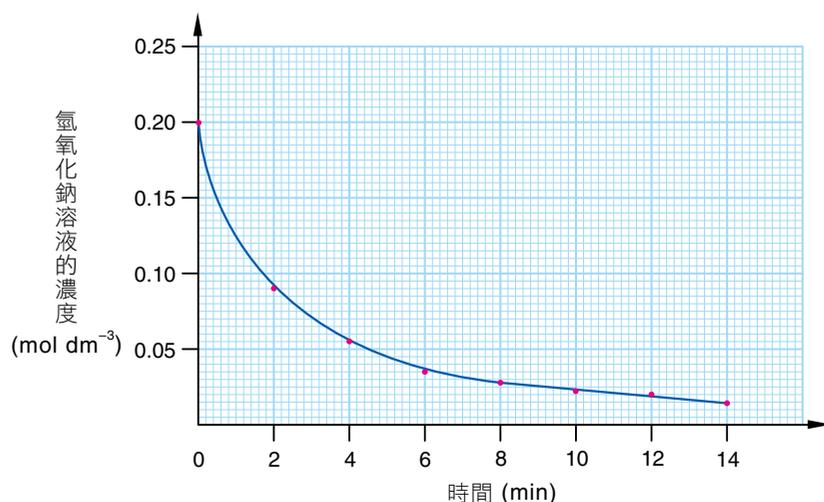
$$= 5.50 \times 10^{-4} \text{ mol} \times \frac{1000}{10.0} \text{ dm}^{-3}$$

$$= 0.055 \text{ mol dm}^{-3}$$

(d)

時間 (min)	0	2	4	6	8	10	12	14
NaOH(aq)的濃度 (mol dm ⁻³)	0.200	0.090	0.055	0.035	0.027	0.024	0.020	0.019

(e)



- (f) 在不同時距從反應混合物抽取樣本，會對反應混合物內的反應造成干擾。
 不能持續地監察反應的進度。



實驗36.6

實驗作業4A

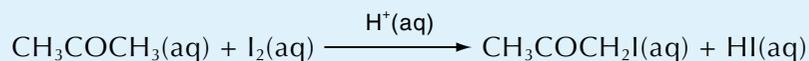
進行滴定分析以跟隨化學反應的進度

在本實驗中，你將會進行滴定分析，以跟隨乙酸乙酯的加鹼水解的進度。



課堂練習36.8

丙酮在有稀氫氯酸的情況下與碘反應。



每隔一段固定時距，抽取10.0 cm³的反應混合物樣本，並移到盛有20 cm³冰冷蒸餾水的錐形瓶中。在第三個樣本中，未反應的碘需要與6.50 cm³的5 × 10⁻³ mol dm⁻³硫代硫酸鈉溶液 (Na₂S₂O₃(aq)) 反應。

- (a) 指出把反應混合物移到20 cm³冰冷的蒸餾水中的目的。
 (b) 硫代硫酸鈉溶液與碘的反應的離子方程式如下所示：



計算第三個樣本中碘的濃度。

表36.1總括了可跟隨或研習化學反應進度的不同方法。

跟隨的性質	反應的例子	跟隨或研習進度的方法	反應是「持續」還是需要「驟冷」？
氣體體積	$\text{Mg}(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{MgCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$	利用氣筒量度H ₂ (g)的體積變化	持續
氣壓	$\text{Mg}(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{MgCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$	利用壓強傳感器量度反應體系的壓強變化	持續
質量	$\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCl}_2(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$	利用電子天平量度反應混合物的質量變化	持續
顏色深度	$2\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 5\text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq}) + 16\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 8\text{H}_2\text{O}(\ell) + 10\text{CO}_2(\text{g})$	利用比色計量度反應混合物的顏色深度變化	持續
濃度	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3(\ell) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{aq})$	利用滴定分析量度NaOH(aq)的濃度變化	驟冷

表36.1 跟隨或研習反應進度的不同方法。

H₂O

例題36.10

論證用來跟隨化學反應進度的技巧

(a) 我們可進行滴定分析，以跟隨以下反應的進度：



- (i) 提出另一種可跟隨該反應進度的方法，並加以解釋。
 (ii) 解釋為甚麼利用在(i)部提及的方法去跟隨反應的進度，較進行滴定分析更為合適。

(b) 建議跟隨以下反應進度的三種方法，並加以解釋。



題解

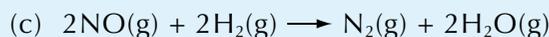
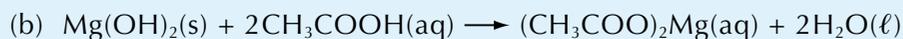
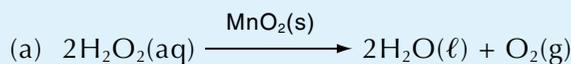
- (a) (i) I₂(aq)是棕色的，也是反應中的唯一有色物種。在整個反應過程中，I₂(aq)的濃度逐漸減少，溶液的顏色變得越來越淺。因此，我們可利用比色計來量度反應混合物的顏色深度變化。
 (ii) 利用比色計來量度顏色深度的變化，可**持續監察**反應的進度。同時，該方法對反應混合物**構成較小的影響**，特別適用於較快的反應。
- (b) 由於反應中生成CO₂(g)，故我們可：
1. 每隔一段固定時距，利用氣筒量度所收集到的CO₂(g)體積；
 2. 每隔一段固定時距，量度反應體系在密閉容器內的氣壓上升幅度；
 3. 讓CO₂(g)從反應混合物中逸走，並量度在一段固定時距內反應混合物的質量減少幅度。

可試做章節練習第20題



課堂練習36.9

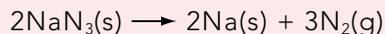
就下列各項反應，提出一種跟隨反應進度的方法，並加以解釋。
 (註：方法不可重複，有關實驗步驟亦毋須詳述。)



STSE 連繫 36.1

汽車的安全氣囊 — 研究反應速率對社會的正面貢獻

如本章的單元引入中所提到，安全氣囊可於汽車發生碰撞的一刻**同時**充氣。在其中一種充氣系統中，傳感器感應到碰撞後，會向點燃器發出訊號。點燃器觸發疊氮化 (NaN₃) 顆粒的分解作用，疊氮化鈉顆粒的分解非常迅速，並產生大量氮氣 (N₂) 以立刻充滿氣囊。



討論問題

其中一款安全氣囊的體積是 70 dm³，需要 130 g 疊氮化鈉來令氣囊於 0.04 秒內完全充氣。

1. 氣囊充氣的過程中，N₂ 的生成速率是多少 (以 dm³ s⁻¹ 為單位)？
2. 疊氮化鈉分解時的消耗速率是多少 (以 g s⁻¹ 為單位)？

活動 36.2

汽車的安全氣囊

在本活動中，你將會搜尋有關汽車安全氣囊的資料。搜尋資料後，製作 PowerPoint 簡報，並在班中進行口頭匯報。

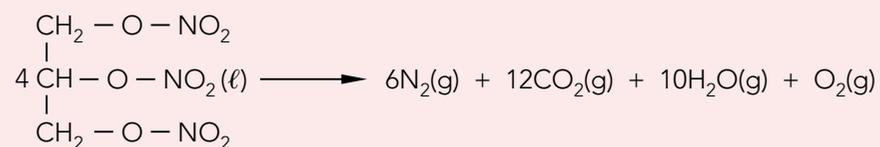
STSE 連繫 36.2

炸藥的發展

化學炸藥是會迅速分解，並能產生大量氣體和熱能的化合物或混合物。大量的熱能瞬間產生，會導致氣態生成物突然膨脹，而這化學變化稱為爆炸。



硝化甘油是典型的化學炸藥，能分解成大量氣體，如以下方程式所示。反應可在百萬分之一秒產生數十萬大氣壓強。



然而，不同用途的炸藥具有不同的反應速率，以滿足不同的需要。因此，科學家不斷努力研究，以控制炸藥的反應速率。

討論問題

1. 若四摩爾硝化甘油發生爆炸，會生成多少摩爾氣體？
2. 在硝化甘油的分解作用中，甚麼因素會導致生成的氣體進一步膨脹？

重要詞彙

中文詞彙	英文翻譯	頁數
1. 反應速率	rate of reaction	5
2. 濃度對時間的坐標圖	concentration-time graph	7
3. 平均速率	average rate	8
4. 瞬間速率	instantaneous rate	10
5. 初速	initial rate	11
6. 滴定分析	titrimetric analysis	14
7. 壓強傳感器	pressure sensor	18
8. 數據記錄器	data-logger	18
9. 顏色深度	colour intensity	23
10. 比色計	colorimeter	23
11. 吸光度	absorbance	23
12. 驟冷	quenching	26
13. 加鹼水解	alkaline hydrolysis	26

進度評估

若能回答下列問題，在問題旁邊的空格內劃上「✓」號。若未能回答，便需要翻閱課本相關的頁數。

	頁數
1. 如何定義「反應速率」？	<input type="checkbox"/> 5
2. 甚麼是濃度對時間的坐標圖？圖表可顯示甚麼資料？	<input type="checkbox"/> 7–8
3. 如何以數式來表示反應的平均速率？	<input type="checkbox"/> 8
4. 瞬間反應速率是甚麼？如何從濃度對時間坐標圖找出瞬間速率？	<input type="checkbox"/> 10
5. 反應的初速是甚麼？如何從濃度對時間坐標圖找出反應初速？	<input type="checkbox"/> 11
6. 如何透過量度下列各項變化來跟隨化學反應的進度？	
(a) 氣態生成物的體積	<input type="checkbox"/> 15
(b) 反應體系中的壓強	<input type="checkbox"/> 18
(c) 反應混合物的質量	<input type="checkbox"/> 21
(d) 反應混合物的顏色深度	<input type="checkbox"/> 23
7. 「把反應驟冷」是甚麼意思？	<input type="checkbox"/> 26
8. 哪些是把反應「驟冷」的常用方法？	<input type="checkbox"/> 26
9. 如何透過進行滴定分析以跟隨反應的進度？	<input type="checkbox"/> 27

摘要

36.1 反應速率的簡介

1. 化學反應以不同的速率進行。
2. **反應速率**可定義為每單位時間內其中一種反應物（或其中一種生成物）的濃度變化。

36.2 利用濃度對時間的坐標圖求出平均速率及瞬間速率

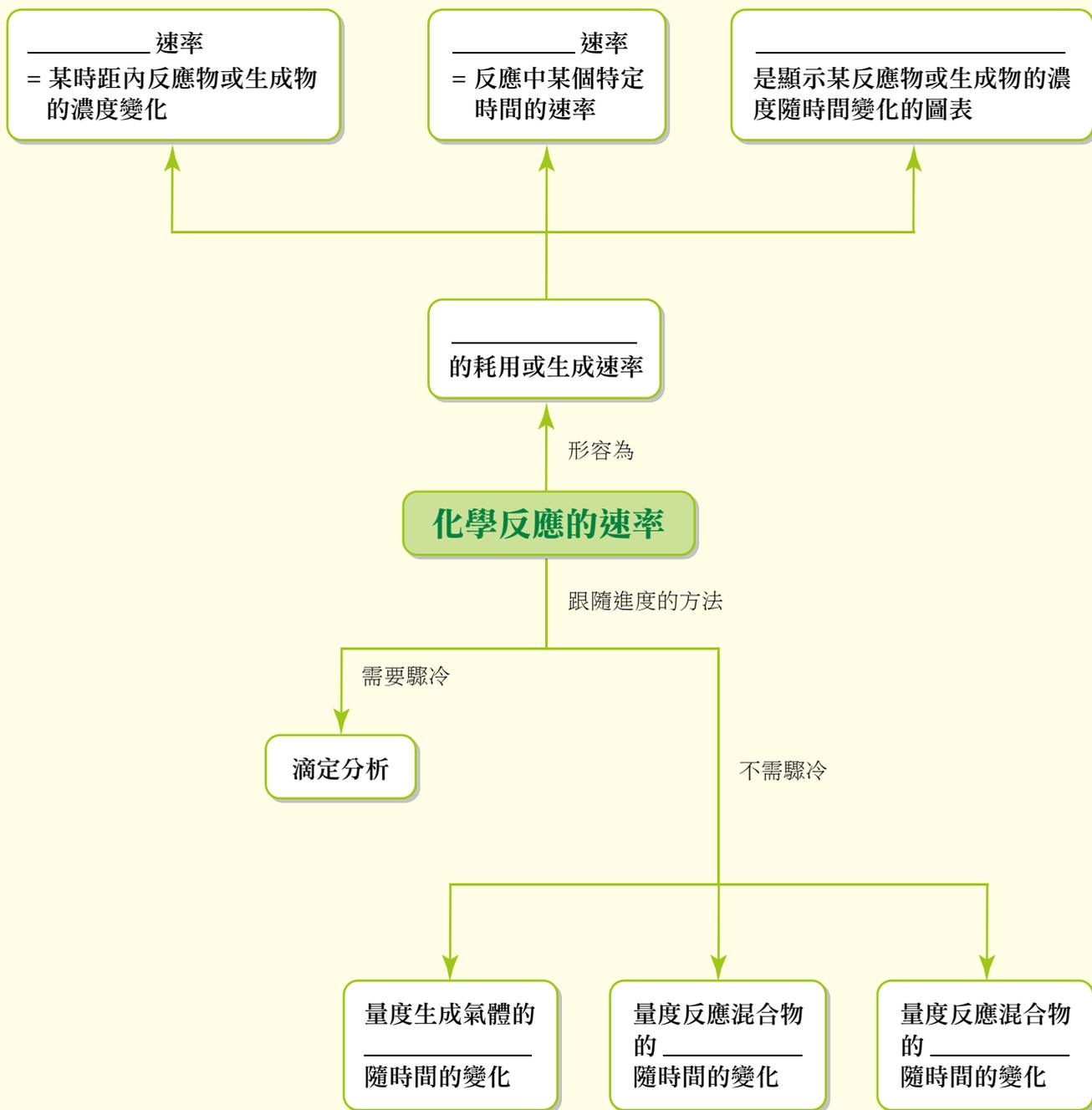
3. **濃度對時間的坐標圖**顯示了某反應物（或某生成物）的濃度隨時間的變化，從而反映化學反應的進度。
4. 反應的**平均速率**是在某時距內反應物或生成物的濃度變化。
5. 反應的**瞬間速率**是指反應中某個特定時間的速率。要找出瞬間速率，便要計算濃度對時間的坐標圖中的曲線，在該特定時間的切線斜率。

36.3 跟隨化學反應進度的方法

6. 若反應涉及氣體的產生，我們可透過量度氣態生成物的體積變化、反應體系（密閉體系）的壓強隨時間的變化或反應混合物隨時間減少的質量，以跟隨反應的進度。
7. 若反應涉及有色的反應物或生成物的濃度變化，我們可利用**比色計**來量度它的**顏色深度**隨時間的變化，以跟隨反應的進度。
8. 我們可每隔一段固定時距，抽取少量反應混合物樣本，然後把樣本中的反應**驟冷**，再進行**滴定分析**，以跟隨反應的進度。

概念圖

完成以下概念圖。



(提示：平均、顏色深度、濃度對時間的坐標圖、瞬間、質量、反應物或生成物、體積或壓強)

章節練習

填充題

第36.1節

1. 化學反應的速率可定義為在每單位時間內其中一種生成物濃度的 _____ 幅度，或每單位時間內其中一種反應物濃度的 _____ 幅度。

第36.2節

2. 反應的 _____ 速率是在某時距內反應物或生成物的濃度變化。
3. 反應的 _____ 速率是指反應中某個特定時間的速率。要找出瞬間速率，便要找出濃度對時間的坐標圖在該特定時間的 _____ 斜率。

第36.3節

4. 要跟隨化學反應進度，可量度下列性質：
- (a) 氣態生成物的 _____ 變化；
- (b) 密閉反應體系中的 _____ 變化；
- (c) 反應混合物的 _____ 變化；
- (d) 反應混合物的 _____ 變化。
5. 利用進行 _____ 以跟隨化學反應進度的方法稱為 _____。
6. 要把反應混合物 _____，我們可用冰或足夠的冷水來把它冷卻。

多項選擇題

第36.1節

7. 在常溫常壓下，下列哪個反應最緩慢？
- A. 煤氣的燃燒作用
- B. 鐵釘的銹蝕作用
- C. 把鎂帶加入稀硫酸中
- D. 「鎂奶」與胃液的中和作用

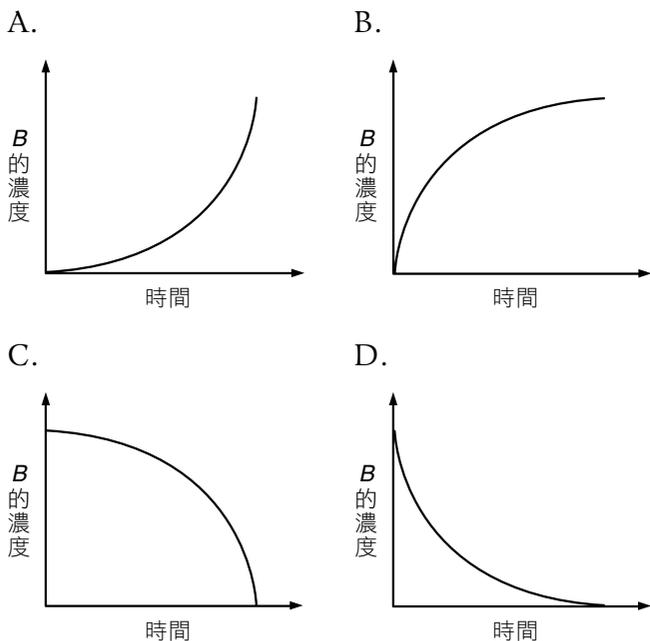
第36.2節

8. 考慮以下反應：
- $$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$$
- 若 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 的消耗速率是 $0.25 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ， $\text{H}^+(\text{aq})$ 的消耗速率是多少？
- A. $0.125 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$
- B. $0.25 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$
- C. $0.50 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$
- D. $0.75 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$

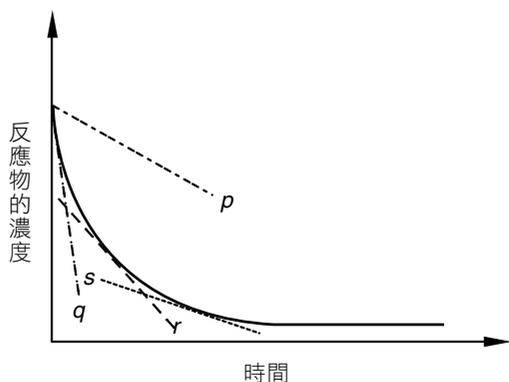
9. 考慮以下反應：
- $$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 8\text{H}^+(\text{aq}) + 3\text{SO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\ell) + 3\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$$
- 若 $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$ 的生成速率是 $0.02 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ， $\text{SO}_3^{2-}(\text{aq})$ 的消耗速率是多少？
- A. $0.01 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$
- B. $0.02 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$
- C. $0.03 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$
- D. $0.06 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$

10. 當 50 cm^3 的 0.10 M 酸化高錳酸鉀溶液與 50 cm^3 的 0.10 M 碘化鉀溶液混合時，發生以下反應：
- $$2\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 16\text{H}^+(\text{aq}) + 10\text{I}^-(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 8\text{H}_2\text{O}(\ell) + 5\text{I}_2(\text{aq})$$
- 若 0.0025 mol 的碘在 25 秒內產生，碘的生成速率是多少？
- A. 0.008 M s^{-1}
- B. 0.004 M s^{-1}
- C. 0.0001 M s^{-1}
- D. 0.001 M s^{-1}

11. 下列哪個圖表正確顯示反應 $A \rightarrow B$ 的濃度對時間的坐標圖？



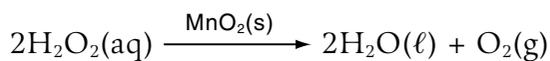
12. 下圖哪條切線可用作求出化學反應的初速？



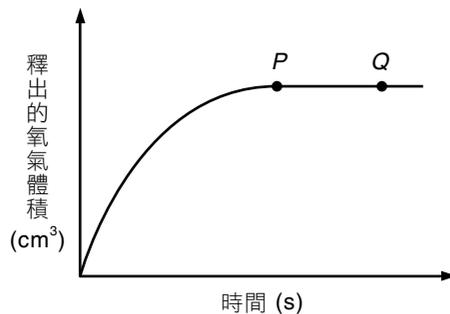
- A. *p*
 B. *q*
 C. *r*
 D. *s*



13. 某學生進行實驗，以探究在氧化錳(IV) 存在的情況下，過氧化氫的分解作用的速率：



以下坐標圖顯示了釋出的氧氣體積隨時間的變化。



下列哪項或哪些有關由 *P* 至 *Q* 的時距內反應的陳述正確？

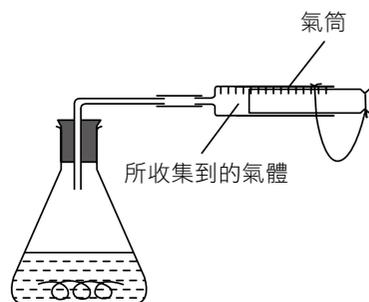
- (1) 所有氧化錳(IV) 已耗盡。
 (2) 反應的平均速率等於零。
 (3) 氧的體積維持不變。

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



第36.3節

14. 下列哪個反應的速率不可利用下圖的裝置來探究？



- A. $\text{ZnCO}_3(\text{s}) + \text{HCl}(\text{aq})$
 B. $\text{Zn}(\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$
 C. $\text{ZnO}(\text{s}) + \text{HNO}_3(\text{aq})$
 D. $\text{Zn}(\text{s}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$



15. 下列哪項反應和探究該反應速率的方法的組合不正確？

反應	探究速率的方法
A. $\text{CuCO}_3(\text{s}) + \text{HCl}(\text{aq})$	利用電子天平量度反應混合物的質量變化
B. $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\ell) + \text{O}_2(\text{g})$	以比色計量度反應混合物的顏色深度變化
C. $\text{Mg}(\text{s}) + \text{HCl}(\text{aq})$	以壓強傳感器和數據記錄器量度反應體系的壓強變化
D. $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5(\ell) + \text{NaOH}(\text{aq})$	以標準酸溶液進行滴定量度 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 的濃度變化



結構題

第36.2節

16. 參看以下反應：



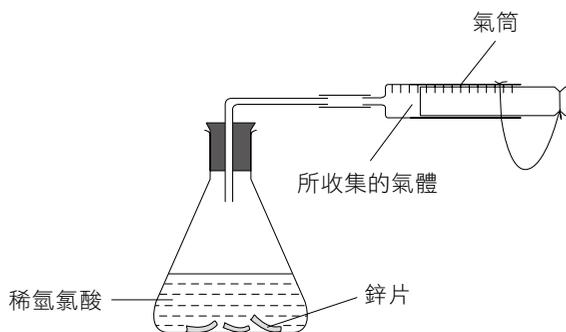
在常溫常壓下，把2.0 g碳酸鈣塊加入50 cm³的2.0 M氫氯酸中，碳酸鈣在120秒內完全反應並消失。

- 哪種反應物 (碳酸鈣或氫氯酸) 是過量的？試加以解釋。
- 就下列各項計算整體反應的平均速率：
 - 碳酸鈣的消耗速率 (以 g s^{-1} 為單位)；
 - 氫氯酸的消耗速率 (以 $\text{mol dm}^3 \text{s}^{-1}$ 為單位)；
 - 二氧化碳的生成速率 (以 g s^{-1} 為單位)。

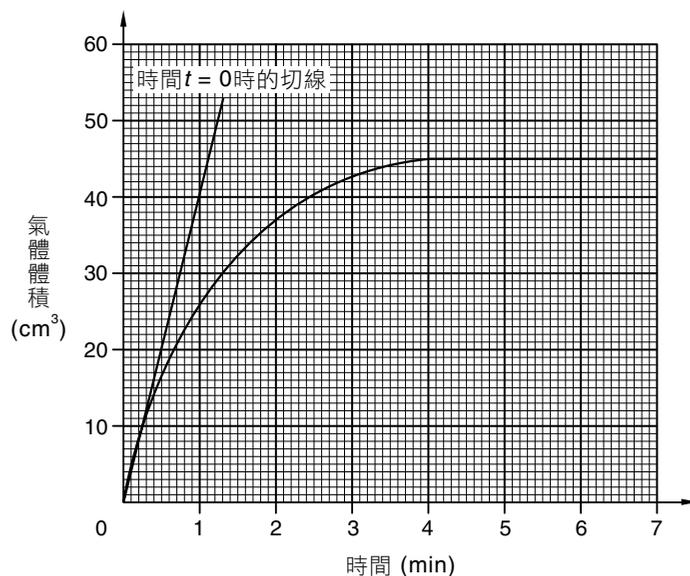
(相對原子質量：C = 12.0、O = 16.0、Ca = 40.1)

第36.3節

17. 某學生進行實驗，以探究稀氫氯酸與鋅的反應速率。該實驗裝置如下所示：

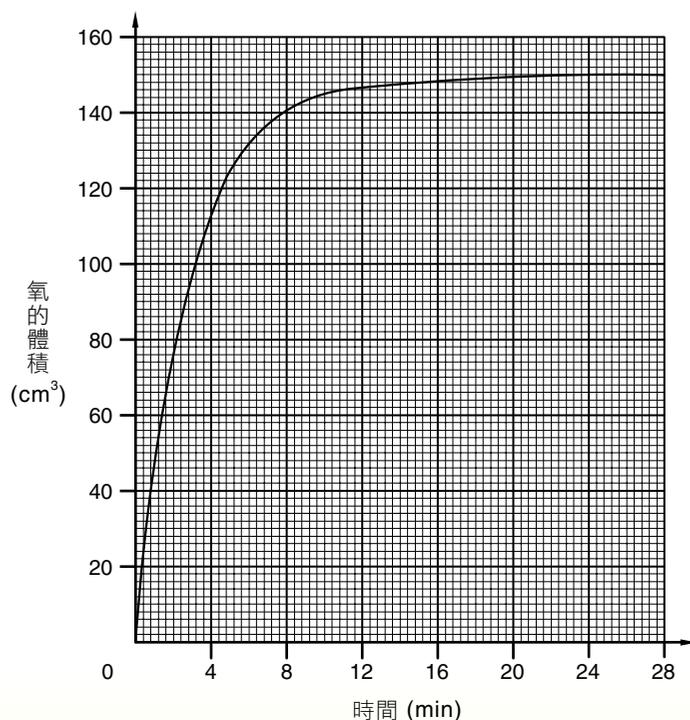
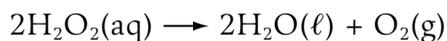


該學生每隔一分鐘收集和量度反應釋出的氣體。以下顯示了氣體體積對時間的坐標圖。



- 實驗所收集的是甚麼氣體？
- 若時間 $t = 0$ 的切線斜率相等於反應初速。
 - 利用坐標圖所示的切線，計算反應初速。
 - 計算在第2至第3分鐘之間的平均反應速率。
- 反應在何時結束？
- 建議另一種跟隨該反應進度的方法，並加以解釋。

18. 100 cm^3 過氧化氫溶液在有固態催化劑的情況下分解，生成的氧氣體積對時間的坐標圖如下所示。



- (a) 反應結束後，生成的氧氣體積最大是多少？
- (b) 反應在何時結束？(答案約簡為整數。)
- (c) 計算反應中氧氣的平均生成速率 (以 $\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$ 為單位)。
- (d) 計算在第4分鐘過氧化氫被分解的百分比是多少。
- (e) 若在坐標圖上的曲線，分別繪畫第2分鐘和第6分鐘時的切線。哪條切線的斜率較大？比較兩點的瞬間速率。
- (f) 繪出上述實驗所用裝置的標示圖。

19. 把 25 cm^3 稀氫氯酸加入盛有 30 g (極之過量) 的大理石塊的錐形瓶中，然後利用頂載天平立即量度錐形瓶及反應混合物的質量，並按動秒錶。反應進行中，在不同時間下量度錐形瓶及反應混合物的總質量。下表顯示了在不同時間下減少了的總質量：

時間 (min)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0
減少了的總質量 (g)	0	0.015	0.085	0.180	0.250	0.350	0.430	0.475	0.500	0.520	0.530	0.540	0.540	0.540

- (a) 繪畫減少了的總質量對時間的坐標圖。
- (b) (i) 解釋為甚麼在反應進行中，錐形瓶及反應混合物的總質量會減少。
(ii) 寫出氫氯酸與大理石塊反應的化學方程式。
- (c) 為甚麼用棉花塞住錐形瓶的瓶口可提高量度質量的準確度？
- (d) 解釋為甚麼反應的初速較預期低。
- (e) 計算反應開始時稀氫氯酸的摩爾濃度。

- * 20. 考慮以下反應：



建議跟隨該反應進度的三種方法。簡單描述如何利用這些方法來探究反應速率。(毋須詳列實驗步驟。)

(空白頁)