

化學計量

目的 從氯化鈣與碳酸鈉的沉澱反應，學習決定一個化學平衡方程式係數的方法，以及如何有效的得到沉澱物，以做為定量分析的依據。

原理 對一化學反應 $A + B \rightarrow C + \text{其它生成物}$ (未平衡)，若生成物 C 的量可以被測定，則我們可以使用一定數量的反應物 A 和不同數量的反應物 B 作用。當生成物 C 的產量不會隨著反應物 B 用量的增加而遞增時，我們就可以得知與此一定數量 A 反應的 B 的數量以及 A、B、和 C 在反應中的比例，進而決定此一化學反應的平衡方程式。

我們以硝酸鎘溶液與硫化鈉溶液的沉澱反應為例，作進一步說明上述的方法。在十個裝有 6.00mL 的 1.00M $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 溶液的燒杯中分別加入 1.00mL 至 10.00mL 體積的 1.00M Na_2S 溶液，再分別測定十個燒杯裡所生成的沉澱物經過乾燥後的重量。實驗的結果表列如下：

表 2.1. 1.00M $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 溶液與 1.00M Na_2S 溶液的沉澱反應

燒杯 編號	1.00M $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$		1.00M $\text{Na}_2\text{S}(\text{aq})$		沉澱物重量 (g)
	體積(mL)	數量(mmol)	體積(mL)	數量(mmol)	
1	6.00	6.00	1.00	1.00	0.145
2			2.00	2.00	0.285
3			3.00	3.00	0.438
4			4.00	4.00	0.590
5			5.00	5.00	0.740
6			6.00	6.00	0.860
7			7.00	7.00	0.865
8			8.00	8.00	0.879
9			9.00	9.00	0.869
10			10.00	10.00	0.867

比較表 2.1 最後兩行的數據可以發現：當所加入的 Na_2S 的數量少於燒杯中 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 的數量 6.00mmol 時，沉澱物的重量約與所加入的 Na_2S 的數量成正比；當所加入的 Na_2S 的數量超過 6.00mmol 時，沉澱物的重量幾乎為一定值。以沉澱物的重量對 Na_2S 的數量作圖，如圖 2.1。在圖 2.1 裡， Na_2S

的數量小於 6.00mmol 的五點數據與圖形的原點幾乎成一條直線，Na₂S 的數量超過 6.00mmol 的四點數據則幾乎成一水平線。這兩條直線的交點落於 0.85g 的沉澱物與 6.00mmol 的 Na₂S。由此可得知與 6.00mmol Cd(NO₃)₂ 反應的 Na₂S 為 6.00mmol，兩反應物的莫耳數比為 1:1。再由反應物的比例可推得生成物為 CdS 和 NaNO₃。通常硝酸鹽類溶於水而多數的金屬硫化物不溶於水，因此沉澱物應為 CdS，而此一化學反應的平衡方程式為：

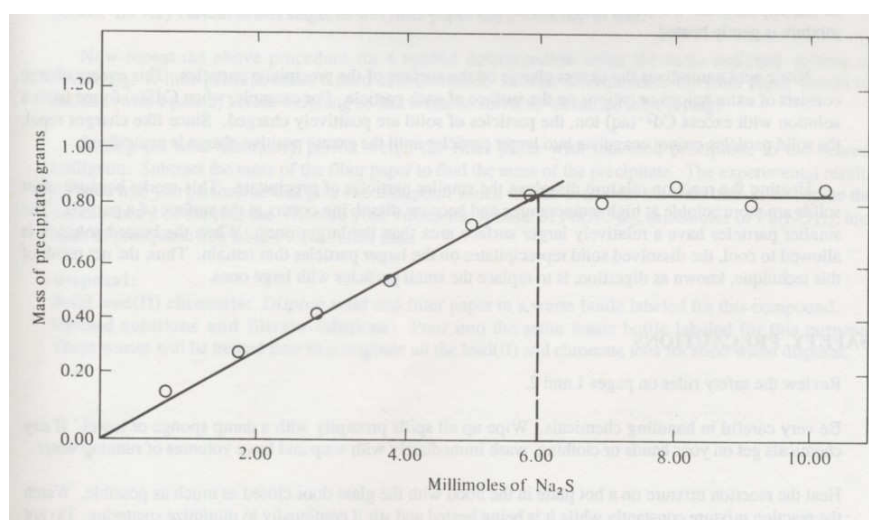
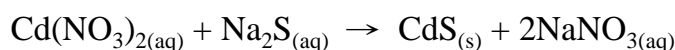


圖 2.1. 沉澱物的重量與硫化鈉的數量的關係

我們可以從生成物的式量確定沉澱物的種類。對 6.00mmol Cd(NO₃)₂ 與 6.00mmol Na₂S 的反應，若沉澱物為 NaNO₃ 則其莫耳數與重量應分別為 12.0mmol 與 $(12.0 \times 10^{-3}\text{mol})(85.0\text{g/mol}) = 1.02\text{g}$ ，若沉澱物為 CdS 則其莫耳數與重量應分別為 6.00mmol 與 $(6.00 \times 10^{-3}\text{mol})(145\text{g/mol}) = 0.870\text{g}$ 。與燒杯 6 至 10 中沉澱物的平均重量 0.868g 以及圖 2.1 交點的 0.85g 相比，顯然沉澱物為 CdS 而非 NaNO₃。

形成沉澱物

溶質在溶液超過飽和濃度的狀態下所形成的固體，有一些由於顆粒太小懸浮於溶液中不會沉澱在容器的底部，在過濾的過程中也會通過濾紙的孔隙造成對沉澱物定量分析上的誤差。

造成溶質懸浮，小顆粒無法凝聚(coagulate)成為會沉澱的大顆粒的原因，對於離子固體主要來自於電荷的不平衡。如果一溶質顆粒內陽離子和陰離子的當量不完全相等，則此顆粒將帶有一淨電荷。懸浮顆粒所帶的淨電荷

分佈於其表面，而且同一溶質的懸浮顆粒往往帶著相同的電荷，例如 CdS 的顆粒中因有過多的 Cd^{2+} 離子而帶正電荷。由於靜電間的排斥使得懸浮顆粒難以凝聚。

使懸浮的微細顆粒凝聚沉澱的方法之一是在溶液中加入適當的電解質以中和其表面的電荷。河水中的懸浮顆粒到了出海口，受到氯化鈉等電解質的作用而產生沉澱，生成三角洲即是明顯例子。對於硫化鎘和本實驗的鉻酸鉛，我們則以加入適量的硝酸促進其凝聚沉澱。此外，我們還將使用浸煮 (digestion) 的方法。通常固態溶質的溶解度隨溫度的上昇而增加。若將沉澱後未過濾的溶液加熱，一部份沉澱或懸浮的溶質又會溶解。由於小顆粒較大顆粒有較大的比表面積(單位質量的表面積)，因此溶解的速率較快。若選擇適當的溫度與加熱時間使溶質的小顆粒完全溶解，在停止加熱溫度下降後溶液中過飽和的溶質將會沉澱在未完全溶解的大顆粒上形成更大的不會通過濾紙的顆粒。

器材 坩堝夾或棉手套，加熱攪拌器，玻棒，10mL 量筒，50mL 燒杯，濾紙，白瓷漏斗，真空過濾裝置(suction)，衛生紙

藥品 2M Na_2CO_3 溶液，2M CaCl_2 溶液，蒸餾水

實驗步驟

在本實驗中對於 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ 與 $\text{CaCl}_2(\text{aq})$ 的沉澱反應，全班總共將做十種不同反應物比例(如下表)的實驗，每一組將被指定做其中的一種。最後再以全班各組所有的數據作圖(如圖 2.1)以決定平衡方程式。其中第一組至第十組分別作實驗編號 1~10 之實驗；第十一組至第二十組分別作實驗編號 1~10 之實驗；第二十一組至第三十組分別作實驗編號 1~10 之實驗。

實驗編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2M CaCl_2 體積, mL	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.0
2M Na_2CO_3 體積, mL	5.00									

1. 以量筒按照所屬組別量取**指定體積**的 2M CaCl_2 溶液置於一 50mL 的燒杯中。
2. 在上述燒杯中加入 5.00 mL 的 2M Na_2CO_3 溶液，再加入 5mL 蒸餾水於溶液中，並以玻棒攪拌混合均勻。

3. 將燒杯加熱二至三分鐘，以玻璃棒攪拌燒杯內的溶液和沉澱物以防止因受熱不均而有溶液濺出。
4. 冷卻燒杯（可使用冷水浴，一邊攪拌）至室溫。
5. 取一片濾紙並以天平稱其重量（可以鉛筆在濾紙邊緣處標示重量及組別）。
6. 將濾紙置入白瓷漏斗中，將漏斗插入真空過濾裝置，再以蒸餾水潤溼濾紙。減壓過濾法請參看 iLearn(TronClass)中本單元影片。
7. 將冷卻後的燒杯中的液體以玻璃棒導入漏斗中。
8. 以 5mL 的冷蒸餾水洗滌燒杯中的沉澱物，以玻璃棒攪拌，將燒杯裡所有的內含物倒入漏斗中。再以冷蒸餾水洗滌燒杯和玻璃棒，將殘留的沉澱物倒入漏斗中。
9. 過濾後，小心的將濾紙從漏斗中取出置於乾淨的衛生紙上。
10. 重覆步驟 1 至 9 一次。
11. 將濾紙放到另取的乾淨摺成 1/4 的衛生紙上置於 100°C 烘箱中烘乾。
12. 稱量乾燥後的濾紙和濾紙上的沉澱物的總重，扣除步驟 5 的濾紙重量得到沉澱物的重量。將你所做的二次實驗結果的所有數值交給助教。
13. 抄取 iLearn (TronClass)本課程公告中全班各組的實驗結果。

化學計量

實驗報告應全組共同討論一起完成並簽名表示負責

組別:_____ 組員簽名:_____

結果(網底之空格為實驗觀察或記錄之數據,其餘則填入計算數據)

本組數據:

指定的實驗編號		
實驗次數	第一次	第二次
2M Na ₂ CO ₃ 體積(mL)		
Na ₂ CO ₃ 的數量(mmol)		
2M CaCl ₂ 體積(mL)		
CaCl ₂ 的數量(mmol)		
濾紙和沉澱物的總重(g)		
濾紙的重量(g)		
沉澱物的重量(g)		
平均重量(g)		

全班數據:

實驗編號	2M Na ₂ CO ₃ 體積(mL)	Na ₂ CO ₃ 數量 (mmol)	2M CaCl ₂ 體積(mL)	CaCl ₂ 數量 (mmol)	1-10 組沉澱物重量 (g)	11-20 組沉澱物重量 (g)	21-30 組沉澱物重量 (g)	全班沉澱物的平均重量 (g)
1	5.00	10.0	1.00					
2			2.00					
3			3.00					
4			4.00					
5			5.00					
6			6.00					
7			7.00					
8			8.00					
9			9.00					
10			10.00					

繪圖：由所抄錄的全班數據，以 CaCl_2 的數量為橫軸，沉澱物的平均重量為縱軸用方格紙繪圖。由圖上左邊各點和右邊各點各取一條直線。從兩條直線的交點找出“化學計量點”。請注意務必標示橫軸及縱軸的名稱、單位及圖名（例如本實驗的圖名可為 CaCO_3 之沉澱物重量對 CaCl_2 之毫莫耳數的關係圖）。

化學計量點：(根據圖上的化學計量點判斷)

沉澱物 CaCO_3 的重量：_____g； CaCl_2 的數量：_____mmol

沉澱反應中反應物的數量(毫莫耳數)比為 CaCO_3 ： $\text{CaCl}_2 = 10$ ：_____

問題

1. 寫出碳酸鈉溶液與氯化鈣溶液的沉澱反應的分子方程式和淨離子方程式。

分子方程式：

淨離子方程式：

2. 由你所做的實驗中，所使用的鉻酸鉀和硝酸鉛的數量，決定何者為限量試劑 (limiting reagent)。

3. 從「你們那組」所做實驗的數據中，分別計算

(1) 沉澱物為碳酸鈣之理論產量 (theoretical yield)。

(2) 根據(1)計算的結果和實驗的結果算出你所得到的產量百分率 (percent yield)。

討論：在本實驗中有那些因素可能會使結果產生誤差，例如產量百分率小於 100？
在實驗的步驟中有那些是可能可以改進以減少誤差的？
