

第十五屆中學化學奧林匹克

學校名稱：保良局馬錦明夫人章馥仙中學

組員：6S 區詠怡

6S 黃舜詩

6S 趙偉楠

6S 吳國青

6S 王 深

顧問老師：余基本

主題：金屬的化學

「鎘」離你

題目：

引言：

細小的鋅鎘電池，卻為地球帶來大大的環保問題。在製造和棄置這些電池的同時，

工業所排出含鎘的污水，污染了河水及農田。鎘較其他重金屬容易為農作物、蔬菜、稻米所吸收。人吃下受污染的農作物後，便一併將鎘透過消化道進入人體，主要積聚於肝及腎，造成損害。另外，鎘化合物微粒亦可以透過空氣(香煙)，由呼吸道進入人體。

研究顯示，鎘中毒會造成腎小管再吸收障礙，低分子量蛋白質和鈣質等由尿中流失，長期下去容易形成骨質軟化，關節疼痛、骨折及骨骼變形等。

長期攝入過量的鎘，會影響體內其他有益元素的效能，造成肝腎損害、肺氣腫、支氣管炎、內分泌失調、食慾不振、失眠等問題。鎘轉移至動脈，使血壓上升，引致血管脂肪化。高血壓病人尿中的鎘含量較正常值高出 40%。另外，鎘也是一種致癌物質，可能誘發前列腺癌症。

有見及此，是次實驗主要探究把污水中的鎘離子過濾的方法。希望有助減低排放廢水中的鎘離子，減低對人和環境的禍害。

實驗撮要：

本實驗主要探究除去把污水中的鎘離子的方法，希望有助降低排放廢水中的鎘離子含量，減低對人和環境的禍害。主以碳酸鈣作為除去鎘離子的試劑，並比較碳酸鈣粉末和固體碳酸鈣分別除去鎘離子的效能。

首先，我們先製備 0.01M EDTA 的溶液。而在實驗初期，我們一度嘗試測試 CaCO_3 粉末和固體的沉澱效能，並以鉻黑 T 作指示劑，雖由實驗結果得知，碳酸鈣除去鎘離子的效能佳，但由於等待 Cd^{2+} 沉澱需時，使整個實驗約需 1 天半才完成。因此，我們需再作深入研究，增加其沉澱的速率，以縮短所需時間。

另外，以 EDTA 作為滴定。因它是一個六齒配體，可以螯著多種金屬離子。它的 4 個羧基和 2 個氨基的部分都可作為配體的齒，當有鎘和鈣離子，便會形成螯合物。螯合物是由 EDTA 和金屬離子以 1:1 的比例形成。因此便能測到溶液內的離子濃度。

實驗原理和目的：

由於我們知道 Cd^{2+} 和 Ca^{2+} 的溶解度不同。

化學品	反應溫度	溶解度積($\text{mol}^2\text{dm}^{-6}$)
CdCO_3	25°C	1.0×10^{-12}
CaCO_3	25°C	0.87×10^{-8}

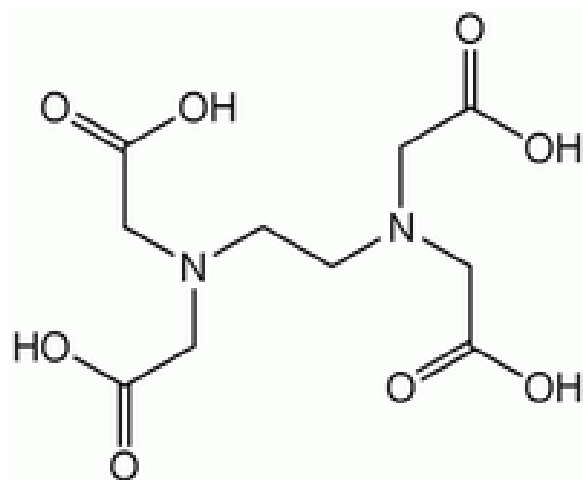
因此，當 Cd^{2+} 和 Ca^{2+} 同時存在，因 CdCO_3 溶解度較低，因此 Cd^{2+} 會取代 Ca^{2+} 形成沉澱。因此，運用 CaCO_3 可令 Cd^{2+} 沉澱，這能令工業廢水不含鎘離子，不會污染環境。

在滴定中，可以 EDTA 作為滴定。因為它是一個六齒配體，可以螯著多種金屬離子。它的 4 個酸和 2 個胺的部分都可作為配體的齒，當有鎘和鈣離子，便會形成螯合物。螯合物是由 EDTA 和金屬離子以 1:1 的比例形成。因此便能測到溶液內的離子濃度。

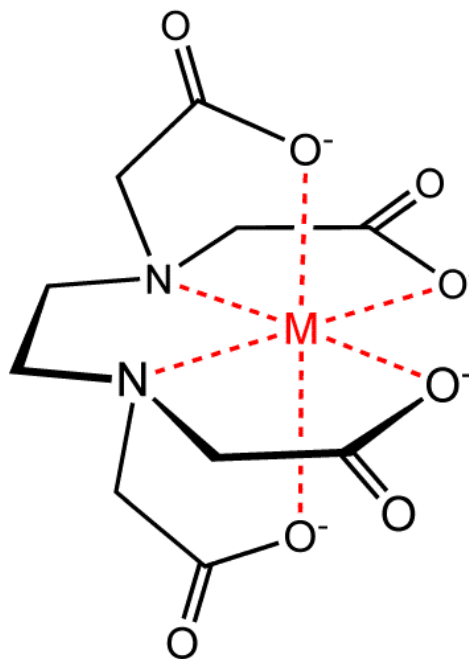
另外，需要分別用鉻黑 T 和羥基萘酚藍兩種指示劑。因為在加入氫氧化鈉沉澱鎘離子時，pH 值過高，令鉻黑 T 無法發揮指示作用。而羥基萘酚藍則能在較鹼性的環境發揮作用。在一般情況只用緩衝劑時，便能使用鉻黑 T。

所用的化學品:

1. 200 cm^3 氯化鎘
2. $2.4 \times 10^{-8}\text{ mol}$ 碳酸鈣
3. 鉻黑 T
4. 羥基萘酚藍
5. 200 cm^3 緩衝劑
6. 200 cm^3 0.01M 和 0.0025M 乙二胺四乙酸(EDTA)
7. 氫氧化鈉



EDTA



EDTA 和金屬的螯合物

製備試劑

0.01 M EDTA 溶液

把 9.372g 的 EDTA 二鈉鹽溶入去離子水中，然後稀釋至 250 cm^3 。

0.0025 M EDTA 溶液

把 25 cm^3 0.01 M 的 EDTA 溶液加入 100 cm^3 容量瓶中，然後稀釋至 100 cm^3 。

實驗步驟

甲部：測定(經碳酸鈣粉末後鎘離子)的溶液中含有鈣離子和鎘離子的總濃度

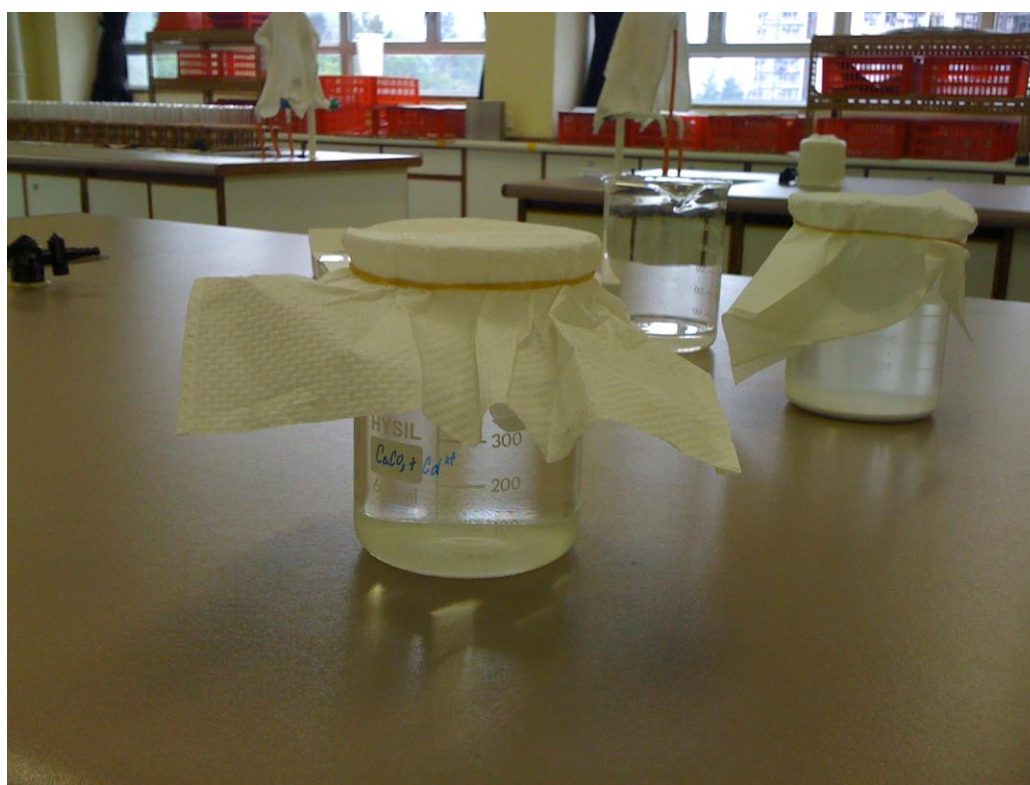
1. 把 500 cm³ 的 0.01M 氯化鎘溶液放在一個大的燒杯
2. 然後，把過量的碳酸鈣粉末加入燒杯中，並加以攪拌
3. 靜待 12 小時，使固體微粒完全沉澱
4. 用移液管把 25cm³ 樣本(含有鈣離子和鎘離子的溶液)注入一錐形瓶。
5. 加入 5cm³ 硼酸緩衝溶液，再加入 1 刮勺鉻黑 T 指示劑粉末。
6. 用 0.01 M EDTA 滴定上述混合液，直至溶液由酒紅色轉為天藍色。
7. 重複滴定三次，以獲得一致的結果。

乙部：測定溶液中鈣離子的濃度

1. 用移液管把 25cm³ 樣本(含有鈣離子和鎘離子的溶液)注入一錐形瓶。
2. 加入 30 滴濃氫氧化鈉溶液，搖勻溶液並靜置一分鐘，待鎘離子完全沉澱為 Cd(OH)₂(s)。
3. 加入一刮勺羥基萘酚藍指示劑，然後進行滴定，直至溶液轉為天藍色。
4. 重複滴定三次，以獲得一致的結果。

丙部：對照實驗--測定完全飽和的碳酸鈣溶液中的鈣離子的濃度

1. 用移液管把 25cm³ 的飽和的碳酸鈣溶液注入一錐形瓶。
2. 加入 5cm³ 硼酸緩衝溶液，再加入 1 刮勺鉻黑 T 指示劑粉末。
3. 用 0.01 M EDTA 滴定上述混合液，直至溶液由酒紅色轉為天藍色。
4. 重複滴定三次，以獲得一致的結果。





實驗結果：

實驗時的溫度:12°C

EDTA 的濃度為 0.01M

		甲部實驗組	乙部實驗組	對照組(*)
用去 EDTA 的體積(CM ³)	試滴	24.9cm ³	25.0cm ³	2.66 cm ³
	1	24.35 cm ³	24.3cm ³	2.4 cm ³
	2	24.4 cm ³	24.4cm ³	2.35 cm ³
	3	24.4 cm ³	24.2cm ³	2.3 cm ³
	平均滴定值	24.38 cm ³	24.3 cm ³	2.4 cm ³

* =使用 0.0025M EDTA 滴定 Cd²⁺ 溶液和飽和的 CaCO₃ 溶液(已加入硼酸緩衝溶液和鉻克 T)



甲部實驗組：

由於EDTA使用量和(Cd²⁺和Ca²⁺) 的摩爾比例是 1:1 的

因此溶液中用 Cd²⁺和 Ca²⁺摩爾數= (24.38/1000) x 0.01 = 2.438 x 10⁻⁴ mol

乙部實驗組

由於 EDTA 使用量和 Ca²⁺的摩爾比例是 1:1 的

因此溶液中用 Ca²⁺摩爾數= (24.38/1000) x 0.01 = 2.43 x 10⁻⁴ mol

對照組：

溶液中用Ca²⁺摩爾數= (2.4/1000) x 0.0025

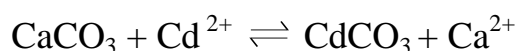
= 6 x 10⁻⁶ mol

分析：

使用EDTA 滴定飽和的 CaCO_3 溶液時，只使用了小量EDTA，表示飽和溶液中只有小量鈣離子，這時由於碳酸鈣只微溶於水。



使用EDTA 滴定 Cd^{2+} 溶液和飽和的 CaCO_3 混合溶液，EDTA 的使用量大增，表示飽和溶液中鈣離子數目大增。



飽和碳酸鈣溶液中 Ca^{2+} 的摩爾數 $= 6 \times 10^{-6} \text{ mol}$

Cd^{2+} 與飽和碳酸鈣混合溶液中 Ca^{2+} 和 Cd^{2+} 離子的摩爾數 $= 2.438 \times 10^{-4} \text{ mol}$

溶液中鈣離子數目大增，由此可證明鎘離子被碳酸鈣置換出來則形成沉澱物碳酸鎘。

在乙部實驗組 25 cm^3 混合溶液中 Ca^{2+} 離子的摩爾數
 $= 2.43 \times 10^{-4} \text{ mol}$

即甲部實驗中 Cd^{2+} 離子的摩爾數 $= 2.438 \times 10^{-4} - 2.43 \times 10^{-4}$
 $= 8 \times 10^{-7} \text{ mol}$

即碳酸鈣去除鎘離子的效率 $= (2.5 \times 10^{-4} - 8 \times 10^{-7}) / 2.5 \times 10^{-4} \times 100\%$
 $= 99.68\%$

\therefore 碳酸鈣去除鎘離子的效率高達 99.7%

討論

從實驗結果我們看到，把碳酸鈣加入含重金屬離子的污染廢水中，的確可以把重金屬離子以碳酸鹽的形式置換出來，但是在工業上使用這種方法有沒有實際效用呢？

實驗中的假設

在實驗中，我們作出了不少假設。首先，我們假設我們做實驗時的碳酸鈣溶液是飽和溶液。因我們並不知道碳酸鈣幾時達到平衡。

困難

由於我們使用的鉻黑 T 的份量十分難掌握，這是因為如果鉻黑 T 的份量多少少其溶液的顏色就會深色很多，因此我們有一個解決方法就是利用氯化鈉和鉻黑 T 粉末研磨成粉末，企圖在加入鉻黑 T 時就算份量有些偏遠，其溶液顏色的深淺度都不會有太大分別。

鎘離子的濃度只有 0.001M，故形成的誤差會十分少，而且我們利用肉眼來觀察其誤差一定會十分的大。

除左之外，鎘離子和 EDTA 都係有毒的 在進行實驗時都有一定的危險。

人們對付污水的方法

工業現時常用的做法是把強鹼加入污水中，把重金屬離子以氫氧化物的形式沉澱出來，這種做法雖然較快，但是卻消耗了大量的人工化學品，並改變了污水 pH 值，以致在排放污水時又加入強酸中和它，結果是消耗更多的化學品，製造更多的污染。

我們的想法

碳酸鈣在大自然中天然地存在，它是地球上常見物質，提取的成本便宜，以它來沉澱重金屬離子也不需要加入其他化學品，以致造成更多污染。唯一一個不利因素就是利用它沉澱重金屬離子所需的時間頗長，若果要說服工業界採用這個污染相對較少的方法。

我們要想方法改善其效率，譬如在最適溫度下進行沉澱、把碳酸鈣壓碎增加其表面面積。

結論：

以碳酸鈣過濾鎘離子的實際應用可能還有很多限制。但由此顯示出要淨化工業廢水其實不一定要很昂貴的物料，也不一定要很高的科技。其實，就算是很常見的看似沒用的石頭原來也可以除去重金屬離子。由此可見，淨化水的關鍵是使用一些容易被人忽略的便宜物料，如碳酸鈣。

參考資料：

維基百科: <http://en.wikipedia.org/wiki/EDTA>

無機及分析化學 馬志領 李志林 化學工業出版社