

## Chapter

# 11

# 硬水檢測與軟化

## 學習目標

1. 認識硬水的性質與配製硬水的方法。
2. 認識水質硬度的表示方式與簡易檢驗方法。
3. 認識水質硬度分析方法。
4. 認識硬水的軟化方法。

授課節數 8

## 本章綱要

- 11-1 理論基礎
  1. 硬水的配製
  2. 硬水的性質與檢驗
  3. 硬水的軟化
- 11-2 實習活動 I - 硬水的配製、性質、檢驗與軟化
- 11-3 實習活動 II - 水硬度的測定



墾丁國家公園內有一著名景點「石筍寶穴」，內有大量的鐘乳石奇景，此特殊景觀其實是由水中的「鈣」所造成，因為酸性雨水溶解部分石灰石形成碳酸氫鈣溶液，此溶液於洞穴內隨著水分與二氧化碳的蒸發而又析出碳酸鈣，故成就如此奇觀。常聽到的硬水即指含有鈣或鎂離子的水，水中含有適度礦物質也許對人體有助益，但對生活的影響則多為負面，例如造成清潔的肥皂用量增加、熱水管阻塞等，故本章將介紹硬水性質並學習如何軟化硬水。

## 11-1 理論基礎

### 硬水的配製

#### 一、硬水

硬水在自然界中可形成鐘乳石奇景，但在生活中卻使清潔用的肥皂耗量增加、也使衛浴間的玻璃布滿水垢。水的硬度與生活息息相關，鑑定水品質時，水硬度亦為其中一個項目。所謂硬水即指含有鈣離子 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 或鎂離子 ( $\text{Mg}^{2+}$ ) 的水，通常可依陰離子的種類不同分成兩類：

1. 暫時硬水 (temporary hard water)：水中含有鈣、鎂的碳酸氫鹽，可利用煮沸而去除，如  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 。
2. 永久硬水 (permanent hard water)：水中含有鈣、鎂的硫酸鹽或氯化物，無法利用煮沸而去除，如  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 。

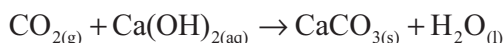
#### 二、硬水的配製方法

##### 1. 暫時硬水的配製方法

(1) 利用碳酸鈣與稀鹽酸的反應製得二氧化碳，反應式如下。



(2) 將二氧化碳通入澄清石灰水中，初期產生白色混濁狀，反應式如下。



(3) 若通入過量的二氧化碳於石灰水中會生成可溶性的碳酸氫鈣，故沉澱物會消失，此溶液即暫時硬水，其反應式如下。

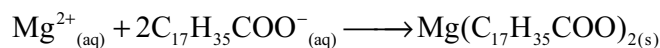
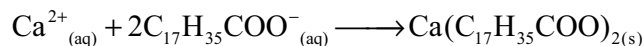


2. 永久硬水的配製方法：將適量硫酸鈣或硫酸鎂溶於水中製成永久硬水。

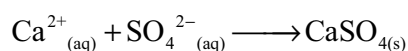
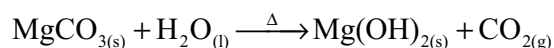
## 硬水的性質與檢驗

### 一、硬水的性質

1. 硬水會與肥皂作用形成難溶的硬脂酸鈣與硬脂酸鎂，使肥皂的洗滌效果下降，其反應式如下。



2. 硬水會使加熱的鍋爐或管道內形成鍋垢 ( 如圖 11-1 所示 )，妨礙傳熱甚至導致鍋爐爆炸，其反應式如下。



▲圖 11-1 鍋垢

### 二、硬水的檢驗

1. 硬度的表示法：通常以碳酸鈣的百萬分率 (parts per million, ppm) 表示，即每百萬克溶液中含有  $\text{CaCO}_3$  之克數。



#### 充電小站

##### 水硬度之規範

1. 依據行政院環境保護署規範，飲用水的硬度最大限度為 300 ppm  $\text{CaCO}_3$ 。
2. 依據世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 標準，水的硬度可分成下列幾種。
  - (1) 軟水：0 ~ 60 ppm  $\text{CaCO}_3$
  - (2) 中等硬水：60 ~ 120 ppm  $\text{CaCO}_3$
  - (3) 硬水：120 ~ 180 ppm  $\text{CaCO}_3$
  - (4) 極硬水：大於 180 ppm  $\text{CaCO}_3$

2. 一般家庭可以肥皂水檢測水硬度

(1) 方法：取肥皂水加入試樣水中搖盪，利用肥皂水的起泡程度判斷。

(2) 現象

- ① 軟水會有較大量泡沫產生。
- ② 硬水的泡沫量較少，且會產生沉澱。

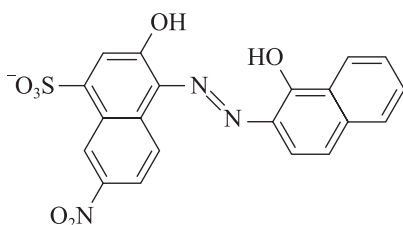
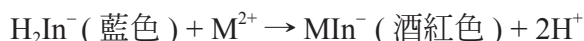
### 3. EDTA 測定法

使溶液 pH 值維持在 10 左右，加入少許 EBT 指示劑後，水溶液即呈酒紅色。若以已知濃度的 EDTA 之二鈉鹽溶液滴定水溶液，當所有鈣和鎂都被 EDTA 螯合時，溶液會由酒紅色轉為藍色 (如圖 11-2 所示)，故可由 EDTA 的滴定量推求水溶液的硬度。

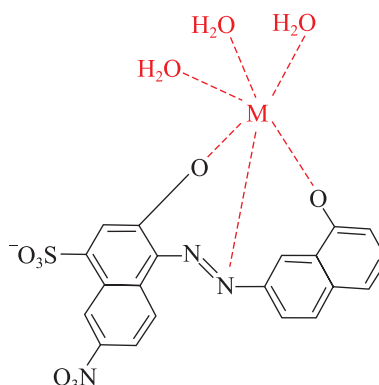


▲圖 11-2 藍色 (左) 與酒紅色 (右) 的溶液

- (1) 染毛色煤黑 T (eriochrome black T, EBT) 的化學式如圖 11-3，其在鹼性環境下呈藍色，可以  $H_2In^-$  表示其游離型態，與金屬 (M) 結合後形成酒紅色的螯合離子 (如圖 11-4 所示)，其反應通式如下。

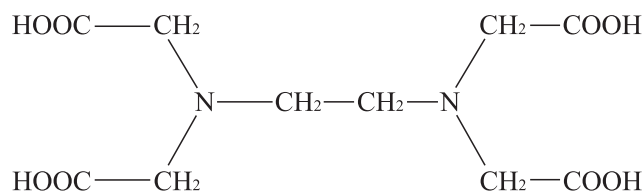


▲圖 11-3 EBT



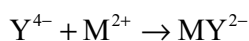
▲圖 11-4 EBT 與金屬的螯合

- (2) 乙二胺四乙酸 (ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA) 是一個四質子酸，常用  $H_4Y$  表示，化學式如圖 11-5。

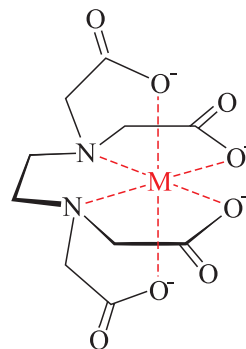


▲圖 11-5 EDTA

- ① EDTA 在水溶液中含有  $H_4Y$  與  $H_3Y^-$ 、 $H_2Y^{2-}$ 、 $HY^{3-}$ 、 $Y^{4-}$  及  $H^+$  等狀態存在，控制在不同的酸鹼條件，各離子的含量也不同。例如酸性環境下， $H_4Y$  與  $H_3Y^-$ 、 $H_2Y^{2-}$  含量較高；鹼性環境下則是  $HY^{3-}$ 、 $Y^{4-}$  含量較高。
- ② EDTA 可與許多金屬離子螯合，尤其在四個酸的 H 失去時和兩個氮原子上皆含有未鍵結電子對，所以  $Y^{4-}$  能與中心金屬陽離子螯合 (如圖 11-6 所示)。此螯合離子相當穩定，而且 EDTA 與金屬離子的莫耳數比為 1 : 1，其反應通式如下。

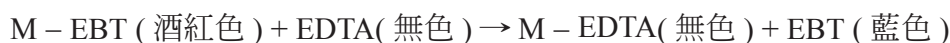


- ③ 由於 EDTA 僅微溶於水中，故測定時通常使用 EDTA 的二鈉鹽，即分子中的兩個 H 被 Na 取代，可以  $Na_2H_2Y$  表示。



▲圖 11-6 EDTA 與金屬的螯合

(3) 初期加入的 EBT 指示劑會先與部分金屬 (M) 螯合，接著加入 EDTA 與溶液中的金屬螯合，繼續加入 EDTA，因 EDTA-M 較 EBT-M 穩定，故原與 EBT 螯合的金屬會漸漸移走與 EDTA 螯合，使 EBT 由螯合狀態 (酒紅色) 轉為游離狀態 (藍色)，反應通式如下。



(4) 由於 EBT 與  $\text{Ca}^{2+}$  的顯色較不明顯，故通常會在 EDTA 溶液中加入氯化鎂，使滴定終點的顏色變化明顯。

### 例題

#### 01

利用 0.08 g 的氯化鈣與 0.15 g 的氯化鎂溶於 500 mL 水中製成硬水，則此溶液的硬度為多少 ppm  $\text{CaCO}_3$  ? ( $\text{Mg} = 24.31$ 、 $\text{Ca} = 40.08$ 、 $\text{Cl} = 35.45$ )

$$\begin{aligned} \text{解} \quad & \left[ \frac{0.08 \text{ g}}{110.98 \text{ g/mol}} \times 100 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times \frac{1}{0.5 \text{ L}} \right] + \left[ \frac{0.15 \text{ g}}{95.21 \text{ g/mol}} \times 100 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times \frac{1}{0.5 \text{ L}} \right] \\ & = 459.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{ppm } \text{CaCO}_3) \end{aligned}$$

## 硬水的軟化

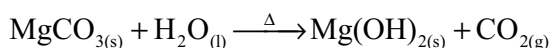
由於硬水會降低洗滌效果、產生鍋垢使熱傳效果下降等缺點，因此需使用一些方法軟化硬水，即除去水中的鈣離子 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 或鎂離子 ( $\text{Mg}^{2+}$ )，軟化的方法如下：

### 1. 煮沸法

(1) 暫時硬水煮沸時，可將鈣離子和鎂離子除去，形成碳酸鹽沉澱，其反應式如下。



① 碳酸鎂微溶於水，受熱後可與水反應生成更難溶的氫氧化鎂，其反應式如下。

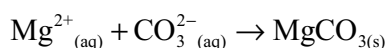
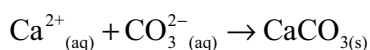


② 碳酸鈣和氫氧化鎂便是水垢的最主要成分。

(2) 此法僅適用於暫時硬水。

### 2. 蘇打法

(1) 加入碳酸鈉與鈣、鎂離子作用，反應式如下。

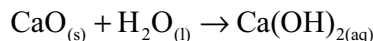


(2) 此法適用於暫時硬水與永久硬水。

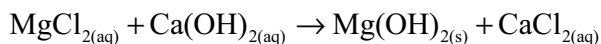
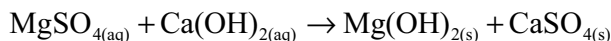
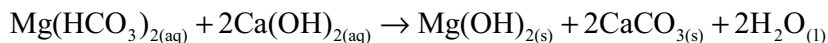
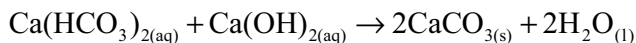
### 3. 石灰 - 蘇打法

(1) 此為工業常用方法，步驟如下述。

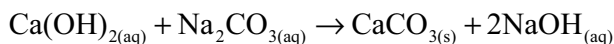
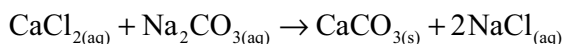
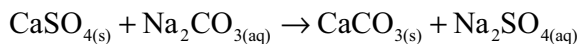
① 加入生石灰與水生成石灰水，反應式如下。



② 氫氧化鈣可與鈣、鎂離子作用，反應式如下。

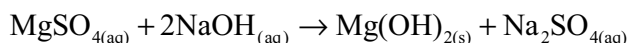
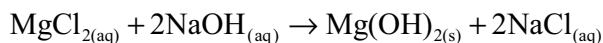
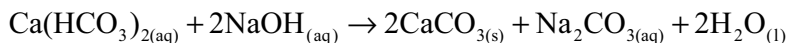


③ 加入蘇打與溶液中剩餘鈣離子作用，反應式如下。

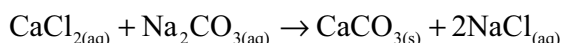
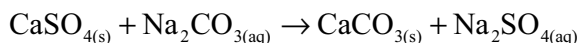


(2) 可以氫氧化鈉取代石灰水軟化，步驟如下述。

① 加入氫氧化鈉，反應式如下。

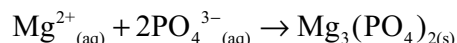
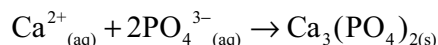


② 加入蘇打與溶液中剩餘鈣離子作用，反應式如下。



### 4. 磷酸鹽法

(1) 加入磷酸鈉與鈣、鎂離子作用，反應式如下。

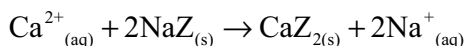


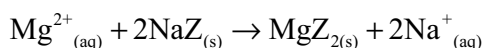
(2) 軟化後的水硬度比「石灰 - 蘇打法」更低。

5. 離子交換法：為使硬水通過含有鈉離子的沸石或陽離子交換樹脂的管柱，使硬水中的  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{Mg}^{2+}$  與鈉離子做交換。

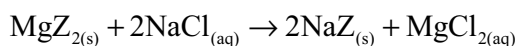
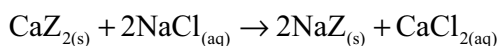
(1) 沸石為鋁矽酸鹽礦物，常見如  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_6\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ，可以  $\text{NaZ}$  表示，Z 為沸石的陰離子。

① 沸石與硬水的反應式如下。



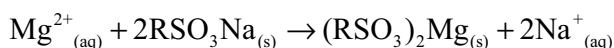
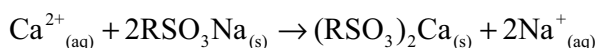


- ② 沸石的離子交換能力若降低，可以濃食鹽水通過沸石使其再生，其反應式如下。

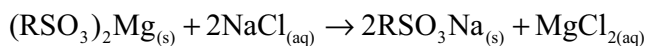
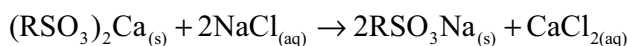


- (2) 陽離子交換樹脂，常見磺酸化聚苯乙烯的鈉鹽，可以  $\text{RSO}_3\text{Na}$  表示。

- ① 陽離子交換樹脂與硬水的反應式如下。



- ② 陽離子交換樹脂的離子交換能力若降低，也可用濃食鹽水使其再生。



## 11-2 實習活動 I- 硬水的配製、性質、檢驗與軟化

### 實驗目的

1. 熟悉硬水的性質與配製硬水的方法。
2. 熟悉水質硬度的表示方式與簡易檢驗方法。
3. 熟悉水質硬度分析方法。
4. 熟悉硬水的軟化方法。

### 器材藥品

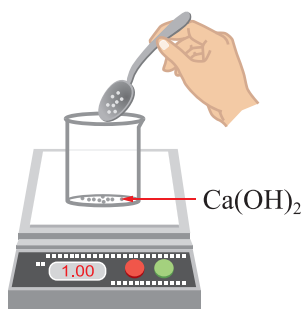
| 名稱    | 規格      | 數量  | 名稱    | 規格          | 數量     |
|-------|---------|-----|-------|-------------|--------|
| 鐵架    | 含鐵環     | 2 組 | 橡皮管   | Φ6 mm、50 cm | 1 條    |
| 陶瓷纖維網 |         | 1 個 | 玻璃彎管  |             | 1 個    |
| 量筒    | 100 mL  | 1 個 | 標籤紙   |             | 1 包    |
| 量筒    | 10 mL   | 1 個 | 試管    |             | 3 支    |
| 漏斗    |         | 1 個 | 刮勺    |             | 3 支    |
| 漏斗架   |         | 1 個 | 滴管    |             | 2 支    |
| 燒杯    | 250 mL  | 2 個 | 電子天平  | 精密度 0.01 g  | 1 臺    |
| 攪拌棒   |         | 1 支 | 氫氧化鈣  |             | 1 g    |
| 錐形瓶   | 250 mL  | 6 個 | 硫酸鈣   |             | 1 g    |
| 抽濾瓶   | 250 mL  | 1 個 | 碳酸鈉溶液 | 飽和溶液        | 50 mL  |
| 分液漏斗  |         | 1 個 | 鉀皂    |             | 2 g    |
| 橡皮塞   | 配合抽濾瓶大小 | 1 個 | 碳酸鈣   |             | 5 g    |
| 鑽孔器   |         | 1 組 | 鹽酸    | 3 M         | 50 mL  |
| 濾紙    |         | 數張  | 酒精    | 70%         | 100 mL |

## 實驗步驟

### 一、硬水的配製

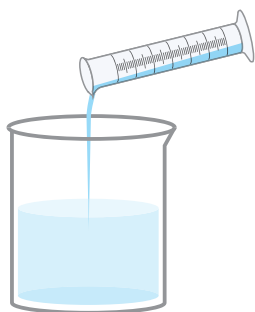
#### 1. 製備暫時硬水

##### 步驟 1



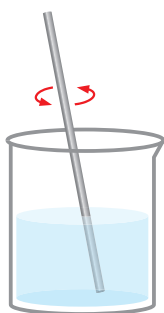
稱量 1 克的氫氧化鈣置於燒杯中。

##### 步驟 2



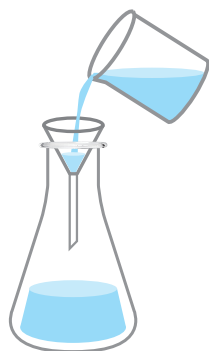
加入 250 mL 蒸餾水於燒杯中。

##### 步驟 3



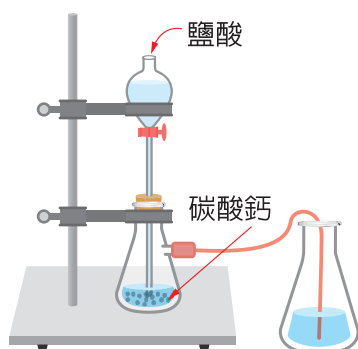
攪拌使其溶解。

## 步驟 4



攪拌使其溶解後過濾，錐形瓶內濾液即澄清石灰水。

## 步驟 5



- (1) 稱量 5 克碳酸鈣置於抽濾瓶中，將附有分液漏斗之橡皮塞塞入抽濾瓶，並將抽濾瓶側口接上導管通入澄清石灰水中。
- (2) 將 HCl 適量倒入分液漏斗中，開啓栓塞使 HCl 慢慢流入抽濾瓶與碳酸鈣作用產生二氧化碳。
- (3) 當二氧化碳通入錐形瓶內澄清石灰水時，會先產生沉澱再逐漸溶解。

## 步驟 6



將錐形瓶內溶液過濾，即為暫時硬水。

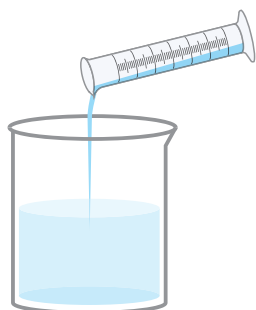
## 2. 製備永久硬水

### 步驟 1



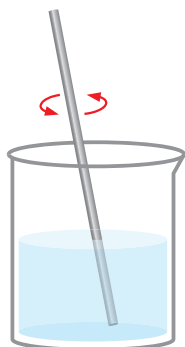
稱量 1 克硫酸鈣置於燒杯中。

### 步驟 2



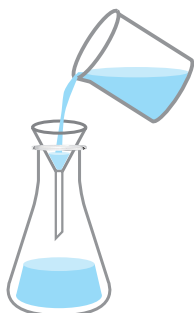
加入 250 mL 蒸餾水於燒杯中。

### 步驟 3



攪拌使其溶解。

### 步驟 4

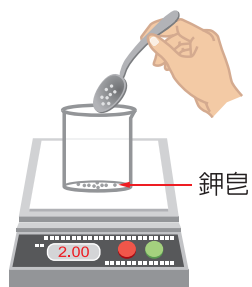


將燒杯內溶液過濾，即為永久硬水。(除本實驗外，亦需保留至實習活動 II 使用)

## 二、硬水的性質與檢驗

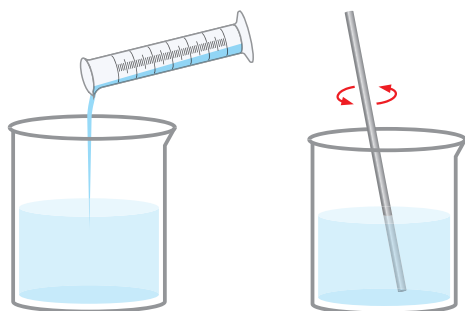
### 1. 製備皂液

#### 步驟 1



稱量 2 克鉀皂置於燒杯中。

#### 步驟 2

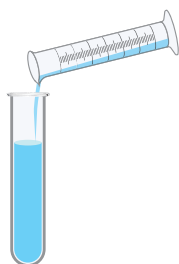


(1) 加入 100 mL 酒精溶液於燒杯中。

(2) 攪拌使其溶解。

### 2. 硬水的檢驗

#### 步驟 1



準備 3 支試管，分別加入 5 mL 的蒸餾水、暫時硬水、永久硬水。

#### 步驟 2



分別加入 10 滴皂液並劇烈搖晃，觀察其現象。

### 三、硬水的軟化

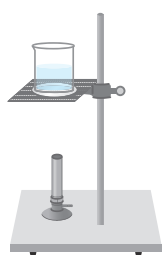
#### 1. 煮沸法

##### 步驟 1



準備兩個燒杯，分別加入暫時硬水與永久硬水各 100 mL。

##### 步驟 2



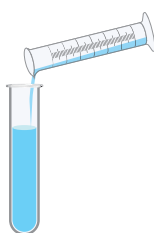
將暫時硬水與永久硬水煮沸後靜置冷卻，觀察有無沉澱產生。

##### 步驟 3



若有沉澱物則過濾。

##### 步驟 4



分別取 5 mL 濾液倒入試管中。

##### 步驟 5



分別加入 5 滴皂液並劇烈搖晃，觀察其現象。

## 2. 蘇打法

### 步驟 1



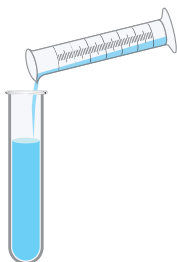
- (1) 準備兩個燒杯，分別加入暫時硬水與永久硬水各 100 mL。
- (2) 將兩個燒杯分別加入碳酸鈉溶液 10 mL，觀察是否有沉澱現象。

### 步驟 2



若有沉澱物則過濾。

### 步驟 3



分別取 5 mL 濾液倒入試管中。

### 步驟 4



分別加入 5 滴皂液並劇烈搖晃，觀察其現象。

## 實驗數據記錄與分析

### 一、硬水的配製

1. 製備暫時硬水
  - (1) 將\_\_\_\_\_溶於水製成澄清石灰水。
  - (2) 將\_\_\_\_\_通入澄清石灰水製成暫時硬水。
2. 製備永久硬水：將\_\_\_\_\_溶於水製成永久硬水。

### 二、硬水的性質與檢驗

1. 將皂液加入蒸餾水後劇烈搖晃。
  - (1) \_\_\_\_\_(有 / 無) 產生沉澱。
  - (2) \_\_\_\_\_(有 / 無) 產生持久泡沫。
2. 將皂液加入暫時硬水後劇烈搖晃。
  - (1) \_\_\_\_\_(有 / 無) 產生沉澱。
  - (2) \_\_\_\_\_(有 / 無) 產生持久泡沫。
3. 將皂液加入永久硬水後劇烈搖晃。
  - (1) \_\_\_\_\_(有 / 無) 產生沉澱。
  - (2) \_\_\_\_\_(有 / 無) 產生持久泡沫。

### 三、硬水的軟化

1. 煮沸法
  - (1) 將硬水煮沸後。
    - ① 暫時硬水\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生沉澱。
    - ② 永久硬水\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生沉澱。
  - (2) 煮沸後的硬水，加入皂液劇烈搖晃。
    - ① 暫時硬水\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生沉澱，\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生持久泡沫。
    - ② 永久硬水\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生沉澱，\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生持久泡沫。
2. 蘇打法
  - (1) 將硬水加入蘇打後。
    - ① 暫時硬水\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生沉澱。
    - ② 永久硬水\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生沉澱。
  - (2) 加入蘇打後的硬水，加入皂液劇烈搖晃。
    - ① 暫時硬水\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生沉澱，\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生持久泡沫。
    - ② 永久硬水\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生沉澱，\_\_\_\_\_ (有 / 無) 產生持久泡沫。

## 問題與討論

1. 什麼是硬水？對於生活中的影響有哪些，請列舉 3 個？
2. 如何以肥皂水檢測水的硬度？
3. 利用煮沸的方式可以軟化永久硬水嗎？還有什麼方式可以軟化永久硬水？
4. 水垢的主要成分有哪些？
5. 利用 0.1 g 的硫酸鈣溶於 500 mL 水中製成硬水，則此溶液的硬度為多少 ppm  $\text{CaCO}_3$  ？

## 11-3 實習活動 II- 水硬度的測定

### 實驗目的

1. 熟悉水質硬度的表示方式。
2. 熟悉水質硬度分析方法。

### 器材藥品

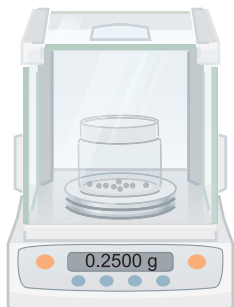
| 名稱    | 規格                  | 數量  | 名稱      | 規格                                                                                                                 | 數量     |
|-------|---------------------|-----|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 鐵架    | 含鐵環                 | 2 組 | 移液管     | 20 mL                                                                                                              | 1 支    |
| 陶瓷纖維網 |                     | 1 個 | 移液管     | 10 mL                                                                                                              | 2 支    |
| 滴定管夾  |                     | 1 個 | 刻度吸量管   | 2 mL                                                                                                               | 1 支    |
| 滴定管   | 50 mL，鐵氟龍<br>栓塞，A 級 | 1 支 | 電子天平    | 精密度 0.01 g                                                                                                         | 1 臺    |
| 定量瓶   | 250 mL              | 1 個 | 電子天平    | 精密度 0.0001 g                                                                                                       | 1 臺    |
| 量筒    | 100 mL              | 1 個 | 碳酸鈣     |                                                                                                                    | 0.25 g |
| 漏斗    |                     | 1 個 | 鹽酸      | 3 M                                                                                                                | 50 mL  |
| 燒杯    | 250 mL              | 2 個 | 氨水      | 3 M                                                                                                                | 50 mL  |
| 攪拌棒   |                     | 1 支 | 緩衝溶液    | 67.5 g $\text{NH}_4\text{Cl}$ + 570 mL<br>濃氨水，稀釋至 1000<br>mL                                                       | 10 mL  |
| 錐形瓶   | 250 mL              | 2 個 | EBT 指示劑 | 0.5 g 的 eriochrome<br>black T 溶解於 70% 乙<br>醇 100 mL                                                                | 5 mL   |
| 刮勺    |                     | 1 支 | 甲基橙指示劑  | 溶 0.1 g 於 100 mL 加<br>熱之試劑水中                                                                                       | 5 mL   |
| 滴管    |                     | 2 支 | EDTA 溶液 | 溶解 $4.00 \pm 0.02$ g<br>EDTA 二鈉鹽於<br>水，加入 10 mL 1%<br>$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 後，稀<br>釋至 1000 mL。 | 100 mL |



## 實驗步驟

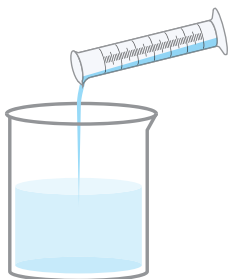
### 一、配製鈣標準液

#### 步驟 1



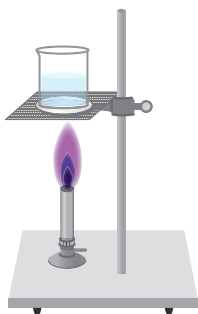
精稱 0.25 克碳酸鈣置於燒杯中。

#### 步驟 2



加入 20 mL 3 M HCl 至燒杯中溶解碳酸鈣。

#### 步驟 3



- (1) 加適量蒸餾水至燒杯，加熱至沸騰後以去除二氧化碳。
- (2) 靜置使其冷卻後，加入甲基橙指示劑，以氨水或鹽酸調整至橙色 (若為黃色加鹽酸，紅色則加氨水)。

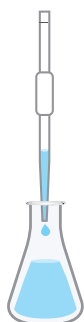
#### 步驟 4



將燒杯溶液倒入 250 mL 定量瓶後，以蒸餾水潤洗燒杯，並將洗液併入量瓶中，再以試劑水稀釋至刻線 (加水至刻線下方時，以滴管加到刻線)，此溶液即為鈣標準液。

## 二、標定 EDTA 溶液

### 步驟 1



以 20 mL 移液管吸取 20 mL 鈣標準溶液置於錐形瓶。

### 步驟 2



加蒸餾水稀釋至 50 mL。

### 步驟 3



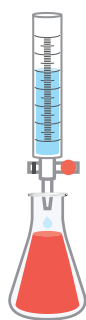
以刻度吸量管吸取 1.0 mL 緩衝溶液填入前述錐形瓶。

### 步驟 4



滴入 2 滴 EBT 指示劑後搖勻，此時溶液呈酒紅色。

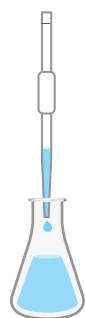
## 步驟 5



- (1) 以 EDTA 溶液滴定鈣標準液，滴定至溶液變藍色即為終點，記錄 EDTA 的消耗體積。
- (2) 重複上述步驟再標定一次，求 EDTA 的平均值。

## 三、自來水的硬度測定

## 步驟 1



以 10 mL 移液管吸取 10 mL 自來水置於錐形瓶。

## 步驟 2



加蒸餾水稀釋至 50 mL。

## 步驟 3



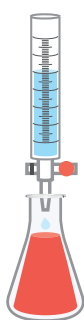
以刻度吸量管吸取 1.0 mL 緩衝溶液填入前述錐形瓶。

## 步驟 4



滴入 2 滴 EBT 指示劑後搖勻，此時溶液呈酒紅色。

## 步驟 5



- (1) 以 EDTA 溶液滴定樣品溶液，滴定至溶液變藍色即為終點，記錄 EDTA 的消耗體積。
- (2) 重複上述步驟再滴定一次，求 EDTA 的平均值。

## 四、永久硬水的硬度測定

## 步驟 1



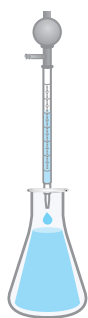
以 10 mL 移液管吸取 10 mL 自行配製之永久硬水置於錐形瓶。

## 步驟 2



加蒸餾水稀釋至 50 mL。

## 步驟 3



以刻度吸量管吸取 1.0 mL 緩衝溶液填入前述錐形瓶。

## 步驟 4



滴入 2 滴 EBT 指示劑後搖勻，此時溶液呈酒紅色。

## 步驟 5



- (1) 以 EDTA 溶液滴定樣品溶液，滴定至溶液變藍色即為終點，記錄 EDTA 的消耗體積。
- (2) 重複上述步驟再滴定一次，求 EDTA 的平均值。

## 實驗數據記錄與分析

### 1. 配製鈣標準液

(1)  $\text{CaCO}_3$  稱取量：總重 \_\_\_\_\_ g，空瓶重 \_\_\_\_\_ g，淨重 \_\_\_\_\_ g

(2) 配製體積： \_\_\_\_\_ mL

(3) 鈣標準溶液濃度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$ /mL

計算過程：

### 2. 標定 EDTA 溶液

#### (1) 標定體積

|       | 鈣標準液體積<br>(mL) | 初讀數<br>(mL) | 終讀數<br>(mL) | 滴定體積<br>(mL) |
|-------|----------------|-------------|-------------|--------------|
| 第一次標定 |                |             |             |              |
| 第二次標定 |                |             |             |              |

#### (2) EDTA 溶液每 mL 之碳酸鈣濃度

① 第一次之標定濃度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /mL

② 第二次之標定濃度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /mL

③ EDTA 平均標定濃度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /mL

計算過程 ( 寫第一次即可 )：

### 3. 硬度測定

| 樣品   | 次數  | 取樣體積<br>(mL) | 初讀數<br>(mL) | 終讀數<br>(mL) | 滴定體積<br>(mL) |
|------|-----|--------------|-------------|-------------|--------------|
| 自來水  | 第一次 |              |             |             |              |
|      | 第二次 |              |             |             |              |
| 永久硬水 | 第一次 |              |             |             |              |
|      | 第二次 |              |             |             |              |

#### (1) 自來水硬度

① 第一次測定硬度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /L

② 第二次測定硬度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /L

③ 自來水平均硬度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /L

#### (2) 永久硬水硬度

① 第一次測定硬度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /L

② 第二次測定硬度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /L

③ 永久硬水平均硬度： \_\_\_\_\_ mg  $\text{CaCO}_3$  /L

計算過程 ( 寫第一次即可 )：

## 問題與討論

1. 以 EDTA 測定水硬度時，若使用 EBT 作為指示劑，則滴定終點時，溶液顏色有何變化？
2. 本實驗中加入緩衝溶液的目的為何？
3. 本實驗的 EDTA 標準溶液之配製為何要加入氯化鎂？



## 重點整理

1. 硬水即指含有鈣離子 ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 或鎂離子 ( $\text{Mg}^{2+}$ ) 的水，通常可依陰離子的種類不同分成兩類：
  - (1) 暫時硬水：水中含有鈣、鎂的碳酸氫鹽，如  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 。
  - (2) 永久硬水：水中含有鈣、鎂的硫酸鹽或氯化物，如  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 。
2. 硬水會與肥皂作用形成難溶的硬脂酸鈣與硬脂酸鎂，使肥皂的洗滌效果下降。
3. 硬水會使加熱的鍋爐或管道內形成鍋垢，妨礙傳熱甚至導致鍋爐爆炸。
4. 硬度的表示法：通常以碳酸鈣的百萬分率 (parts per million, ppm) 表示，即每百萬克溶液中含有  $\text{CaCO}_3$  之克數。
5. 測定水硬度可利用 EDTA 測定法，即使溶液 pH 值維持在 10 左右，加入少許 EBT 指示劑後，水溶液即呈酒紅色，以 EDTA 之二鈉鹽溶液滴定水溶液，當所有鈣和鎂都被 EDTA 螯合時，溶液會由酒紅色轉為藍色，此為滴定終點。
6. 硬水的軟化法有煮沸法、蘇打法、石灰 - 蘇打法、磷酸鹽法、離子交換法。



- ( ) 1. 下列何者並非硬水所造成的影響？  
(A) 鍋爐局部過熱 (B) 肥皂洗淨力增加  
(C) 浴室玻璃產生水垢 (D) 熱水流量減小
- ( ) 2. 有 3 瓶溶液，1 號瓶內裝有  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  溶液；2 號瓶內裝有  $\text{CaSO}_4$  溶液；3 號瓶內裝有  $\text{CaCl}_2$  溶液。請問經煮沸過後，加入肥皂水搖盪，哪一瓶可產生持久性泡沫？  
(A) 1 號 (B) 2 號 (C) 3 號 (D) 皆不行
- ( ) 3. 家庭熱水管內常有水垢導致阻塞，請問該水垢的主要成分可能是下列何者？  
(A) 氯化鈣 (B) 碳酸氫鈣 (C) 氫氧化鈣 (D) 碳酸鈣
- ( ) 4. 依據行政院環境保護署規範，飲用水的硬度最大限度為多少 ppm  $\text{CaCO}_3$ ？  
(A) 100 ppm  $\text{CaCO}_3$  (B) 200 ppm  $\text{CaCO}_3$   
(C) 300 ppm  $\text{CaCO}_3$  (D) 400 ppm  $\text{CaCO}_3$
- ( ) 5. EBT 指示劑與鈣離子螯合時的顏色為？  
(A) 黃色 (B) 紅色 (C) 藍色 (D) 綠色
- ( ) 6. 以 EDTA 測定水硬度，常使用 EBT 做指示劑，請問測定過程，水溶液的 pH 值應維持在多少？  
(A) 2 (B) 5 (C) 7 (D) 10
- ( ) 7. 若欲以硫酸鎂配製硬度為 1000 ppm  $\text{CaCO}_3$  的 2 L 硬水，請問需要硫酸鎂多少克？  
(A) 1.2 g (B) 2.4 g (C) 3.6 g (D) 4.8 g
- ( ) 8. 下列方法中，何者無法軟化永久硬水？  
(A) 煮沸法 (B) 蘇打法 (C) 離子交換法 (D) 磷酸鹽法
- ( ) 9. 加入某些物質可使硬水軟化，下列物質何者無法軟化硬水？  
(A) 氫氧化鈉 (B) 氫氧化鈣 (C) 碳酸鈉 (D) 碳酸鈣
- ( ) 10. 下列物質溶解於水中，何者可以煮沸方式形成沉澱而與水分離  
(A)  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (B)  $\text{CaSO}_4$  (C)  $\text{CaCl}_2$  (D)  $\text{MgCl}_2$

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.