

投稿類別:自然科學

篇名:

錯誤產生科學，科學產生錯物—

探討硫酸鹽類與碳酸鹽類生成之錯合物的關係

作者:

王廷瑀。自強國中。國三 9 班。

張均竹。自強國中。國三 1 班。

指導老師:

紀博三老師

陳禹翔老師

## 壹·前言

### 一、研究動機

一天，我們正在收拾上一次的實驗器材時，調皮的將 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液倒入 $\text{CuSO}_4$ 水溶液中，結果它就好像被搖過的可樂奔湧而出，我們覺得很有趣，於是又玩了好幾次，但怕被老師罵，到了隔天才敢跟老師說我們的發現，老師想了一想，建議我們可以以此進行專題研究，並更深入探討。

### 二、研究目的

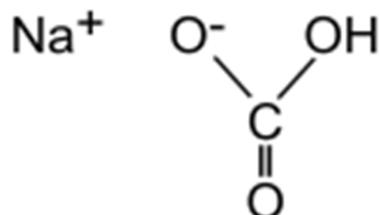
1. 檢驗 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液與 $\text{CuSO}_4$ 水溶液反應產生的氣體。
2. 檢驗 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液與 $\text{CuSO}_4$ 水溶液反應產生的沉澱物。
3. 探討相同重量百分濃度之 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液，與不同濃度之 $\text{CuSO}_4$ 水溶液反應之差異。
4. 探討不同重量百分濃度之 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液，與相同濃度之 $\text{CuSO}_4$ 水溶液反應之差異。
5. 探討相同重量百分濃度的碳酸鹽類水溶液，與 $\text{CuSO}_4$ 水溶液反應的差異。
6. 探討相同重量百分濃度的硫酸鹽類水溶液，與 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液反應的差異。

## 貳·正文

### 一、文獻探討

#### 1. $\text{NaHCO}_3$

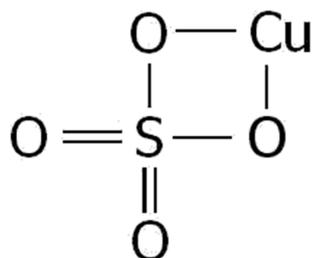
中文名稱為碳酸氫鈉，俗稱小蘇打及焙用鹼，水溶液呈弱鹼性。為易溶於水的白色鹼性粉末，在酸性液體中反應釋出 $\text{CO}_2$ ，隨著環境溫度升高，釋出氣體的作用愈快。分子結構如下<圖1>。



<圖1> 碳酸氫鈉的分子結構

#### 2. $\text{CuSO}_4$

中文名稱為硫酸銅，又稱藍礬，無水為白色粉末，含水為藍色粉末，或因不純而呈淡灰綠色，是可溶性銅鹽。0.9g/kg足以致死，若誤食應立即大量食用或飲用牛奶、雞蛋清等富含蛋白質食品，或者使用鈣鈉鹽解毒。多用於控制檸檬、葡萄等作物上的真菌、水族館中滅菌以及除去蝸牛與大腸桿菌。分子結構如下<圖2>。



<圖2> 硫酸銅的分子結構

## 二、研究設備及器材

- 1.研究設備：燒杯、量筒、過濾瓶、橡皮管、薊頭漏斗、水缸、玻璃片、錶玻璃、滴管、刮勺、漏斗、玻璃棒、蒸發皿、陶瓷纖維網、三腳架、酒精燈、打火機、坩堝鉗、燃燒匙。
- 2.研究藥品：碳酸鹽類(碳酸鉀、碳酸鈉、碳酸氫鈉、碳酸鈣)、硫酸鹽類(硫酸鉀、硫酸鈉、硫酸銅、硫酸鈣)。
- 3.研究耗材：線香、鎂帶、澄清石灰水。

## 三、研究步驟與結果

### 實驗一

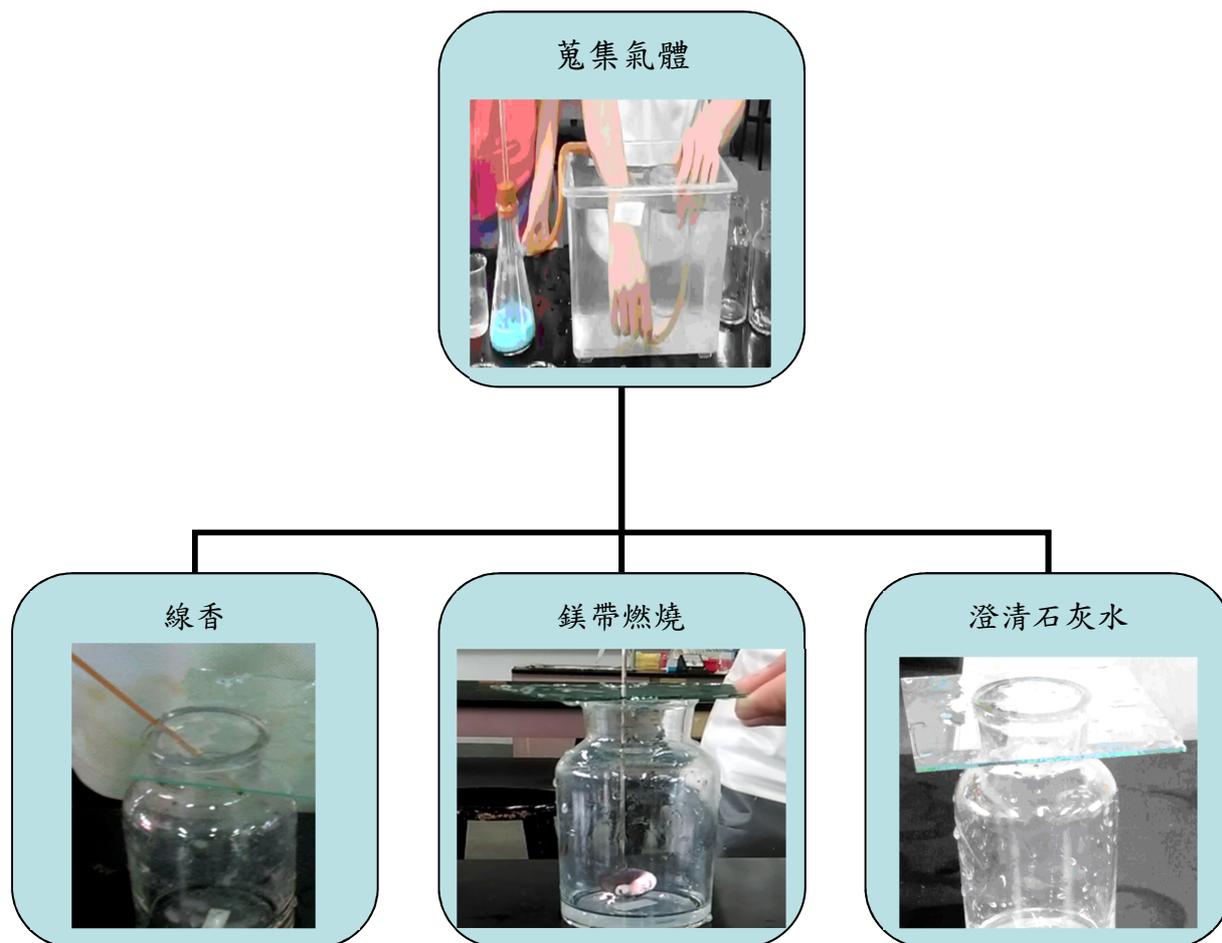
(一)問題:  $\text{NaHCO}_3$ 水溶液與 $\text{CuSO}_4$ 水溶液反應所產生的氣體為何？

(二)步驟:

- 1.將 $\text{NaHCO}_3$ 放入過濾瓶內，並調配 $\text{CuSO}_4$ 水溶液。
- 2.將廣口瓶裝滿水，玻璃片蓋緊瓶口後倒立，置於裝水半滿的水槽後再移除玻璃片。
- 3.取步驟1的 $\text{CuSO}_4$ 水溶液放進過濾瓶中，並接上橡皮導管。
- 4.將薊頭漏斗穿過橡皮塞並塞緊過濾瓶，使漏斗末端盡量接近瓶底，在薊頭漏斗上端加入少量的水使漏斗末端沒入液面下。
- 5.將步驟1的 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液緩緩滴入薊頭漏斗中，再將橡皮導管插入水槽的廣口瓶中，收集產生的氣體。
- 6.當氣體充滿廣口瓶後，在水中以玻璃片蓋緊瓶口，取出水面瓶口朝上放置，共取三瓶。
- 7.第一瓶，將點燃的線香放入裝滿有此氣體的廣口瓶中，觀察燃燒情形。
- 8.第二瓶，將點燃的鎂帶放入裝滿有此氣體的廣口瓶中，觀察燃燒情形。
- 9.第三瓶，將澄清石灰水放入裝滿有此氣體的廣口瓶中，觀察是否混濁。

(三)結果: 如<圖3>

- 1.將線香放入後，發現線香立即熄滅。
- 2.將燃燒中的鎂帶放入，發現有短暫更劇烈的白光，且反應後在瓶壁上有黑色的碳粒。
- 3.倒入後，使澄清石灰水變得混濁。



<圖3> 將其生成之氣體以線香、鎂帶、澄清石灰水檢驗

## 實驗二

(一)問題:  $\text{NaHCO}_3$ 水溶液與 $\text{CuSO}_4$ 水溶液反應產生的沉澱物為何?

(二)步驟:

- 1.將碳酸氫鈉水溶液與硫酸銅水溶液反應所產生的生成物收集起來。
- 2.將潮濕與乾燥狀態的沉澱物放入試管裡。
- 3.以試管夾夾著試管，以避免燙傷。
- 4.再用軟木塞塞住，避免反應太劇烈時噴到人。
- 5.分別以酒精燈加熱兩管，並觀察其反應。
- 6.加熱至沉澱物呈黑色狀如下頁之<圖 4>與<圖 5>。

結果說明：

- 1.兩者剛開始燃燒時，皆反應劇烈，會有突沸的狀況。
- 2.燃燒液體生成物過後，有部分沉澱物在水完全蒸發前已成為黑色產物。
- 3.燃燒液體生成物過後，水在全部蒸發後，會冒出足以溢滿試管的水。
- 4.燃燒液體生成物過後，將水倒出後，繼續燃燒至全黑，置於盛有水的燒杯中，發現不溶於水。



<圖4>燃燒液體生成物過後產生黑色物質



<圖5> 燃燒乾燥固體沉澱物過後產生黑色物質

### 實驗三

(一)問題:二氧化碳的生成與 $\text{CuSO}_4$ 水溶液的濃度有關嗎?

(二)步驟:

- 1.調配五杯相同重量百分濃度為5%的 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液。
- 2.分別調配重量百分濃度為5%、10%、15%、20%、25%的 $\text{CuSO}_4$ 水溶液。
- 3.將廣口瓶裝滿水，玻璃片蓋緊瓶口後倒立，置於裝水半滿的水槽後再移除玻璃片。
- 4.取步驟2之重量百分濃度5%、10%、15%、20%、25%的 $\text{CuSO}_4$ 水溶液放進過濾瓶中，並接上橡皮導管。
- 5.將薊頭漏斗穿過橡皮塞並塞緊過濾瓶，使漏斗末端盡量接近瓶底，在薊頭漏斗上端加入少量的水使漏斗末端沒入液面下。
- 6.將步驟1之重量百分濃度5%的 $\text{NaHCO}_3$ 水溶液緩緩滴入薊頭漏斗中，再將橡皮導管插入水槽的廣口瓶中，收集產生的氣體。
- 7.當氣體充滿廣口瓶後，在水中以玻璃片蓋緊瓶口，取出水面瓶口朝上放置。

8.透過橡皮管排至廣口瓶所排開的水量，測量氣體之排放量(廣口瓶的總體積-廣口瓶內水的總體積=氣體體積)。

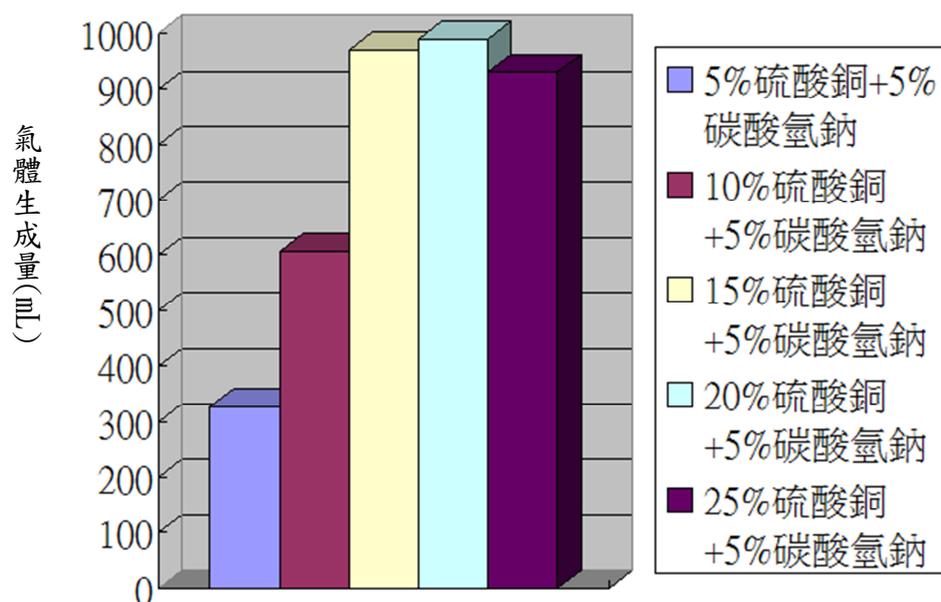
(三)結果:

<表一>實驗三之生成二氧化碳總體積

5% NaHCO <sub>3</sub> +	5% CuSO <sub>4</sub>	10% CuSO <sub>4</sub>	15% CuSO <sub>4</sub>	20% CuSO <sub>4</sub>	25% CuSO <sub>4</sub>
氣體生成量 (mL)	314	599	990	954	808
	300	587	990	992	949
	368	635	932	1022	1033
平均 氣體生成量 (mL)	327.3	607.0	970.6	989.6	930.0

結果說明:

- 1.由上述結果可知，其反應之最極限在20%~25%之間。
  - 2.由氣體生成量推斷，15%的CuSO<sub>4</sub>實驗為其中最穩定之值。
- 其平均之趨勢如下<圖6>。



<圖6> 以不同濃度的硫酸銅水溶液與5%的碳酸氫鈉水溶液反應所生成氣體體積關係圖

#### 實驗四

(一)問題:二氧化碳的生成與NaHCO<sub>3</sub>水溶液的濃度有關嗎?

(二)步驟:

- 1.調配五杯相同重量百分濃度為10%的CuSO<sub>4</sub>水溶液。
- 2.分別調配重量百分濃度為1%、2%、3%、4%、5%的NaHCO<sub>3</sub>水溶液。
- 3.將廣口瓶裝滿水，玻璃片蓋緊瓶口後倒立，置於裝水半滿的水槽後再移除玻璃片。
- 4.取步驟1之重量百分濃度10%的CuSO<sub>4</sub>水溶液放進過濾瓶中，並接上橡皮導管。

- 5.將薊頭漏斗穿過橡皮塞並塞緊過濾瓶，使漏斗末端盡量接近瓶底，在薊頭漏斗上端加入少量的水使漏斗末端沒入液面下。
- 6.將步驟2之重量百分濃度5%的CaCO<sub>3</sub>水溶液、K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>水溶液、NaHCO<sub>3</sub>水溶液、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>水溶液緩緩滴入薊頭漏斗中，再將橡皮導管插入水槽的廣口瓶中，收集產生的氣體。
- 7.當氣體充滿廣口瓶後，在水中以玻璃片蓋緊瓶口，取出水面瓶口朝上放置。
- 8.透過橡皮管排至廣口瓶所排開的水量，測量氣體之排放量(廣口瓶的總體積-廣口瓶內水的總體積=氣體體積)。

(三)結果:

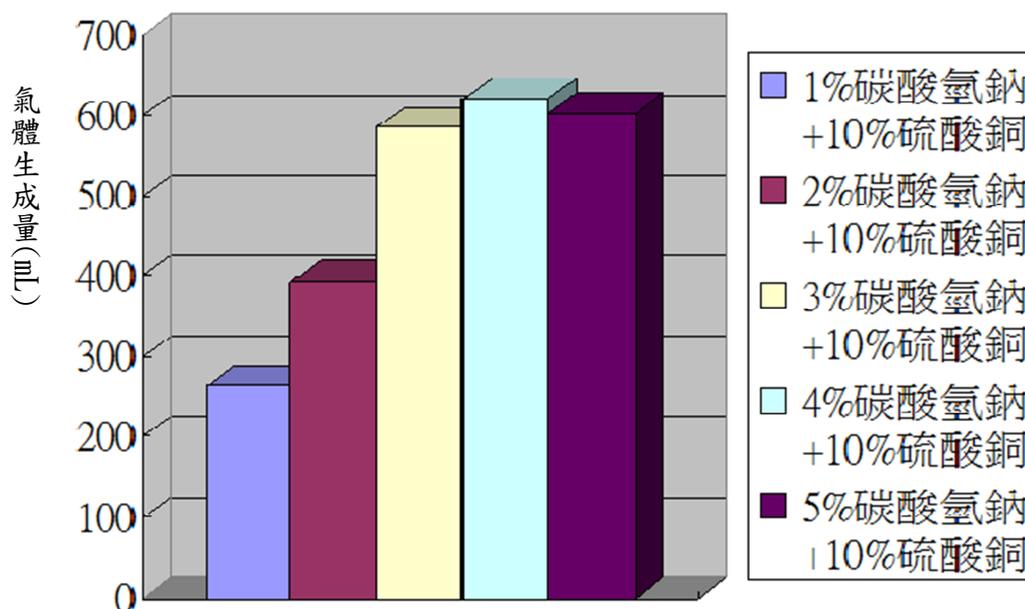
<表二>實驗四之生成二氧化碳總體積

10% CuSO <sub>4</sub>	1% NaHCO <sub>3</sub>	2% NaHCO <sub>3</sub>	3% NaHCO <sub>3</sub>	4% NaHCO <sub>3</sub>	5% NaHCO <sub>3</sub>
氣體生成量 (mL)	256	435	590	638	628
	276	442	567	610	597
	260	304	600	616	584
平均 氣體生成量 (mL)	264	393.6	585.6	621.3	603

結果說明:

- 1.由實驗數據推測，3%~5% NaHCO<sub>3</sub> 為此實驗最極限值。
- 2.由實驗數據推測，4%~5%為實驗最佳值。

其平均之趨勢如下<圖7>。



<圖7> 不同重量百分濃度之NaHCO<sub>3</sub>水溶液，與相同濃度之CuSO<sub>4</sub>水溶液產生氣體體積關係圖

### 實驗五

(一)問題:不同碳酸鹽類水溶液，與CuSO<sub>4</sub>水溶液反應一樣會產生氣體嗎?

(二)步驟:

- 1.調配重量百分濃度10%的CuSO<sub>4</sub>水溶液。
- 2.調配重量百分濃度5%的CaCO<sub>3</sub>水溶液、K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>水溶液、NaHCO<sub>3</sub>水溶液、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>水溶液。
- 3.將廣口瓶裝滿水，玻璃片蓋緊瓶口後倒立，置於裝水半滿的水槽後再移除玻璃片。
- 4.取步驟1之重量百分濃度10%的CuSO<sub>4</sub>水溶液放進過濾瓶中，並接上橡皮導管。
- 5.將薊頭漏斗穿過橡皮塞並塞緊過濾瓶，使漏斗末端盡量接近瓶底，在薊頭漏斗上端加入少量的水使漏斗末端沒入液面下。
- 6.將步驟2之重量百分濃度5%的CaCO<sub>3</sub>水溶液、K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>水溶液、NaHCO<sub>3</sub>水溶液、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>水溶液緩緩滴入薊頭漏斗中，再將橡皮導管插入水槽的廣口瓶中，收集產生的氣體。
- 7.當氣體充滿廣口瓶後，在水中以玻璃片蓋緊瓶口，取出水面瓶口朝上放置。
- 8.透過橡皮管排至廣口瓶所排開的水量，測量氣體之排放量(廣口瓶的總體積-廣口瓶內水的總體積=氣體體積)。

(三)結果

<表三>實驗五之生成氣體總體積

10% CuSO <sub>4</sub>	5% NaHCO <sub>3</sub>	5% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5% CaCO <sub>3</sub>
氣體生成量 (mL)	563	123	200	150
	573	191	212	129
	564	138	224	146
平均 氣體生成量 (mL)	566.6	150.6	212.0	141.6

結果說明:

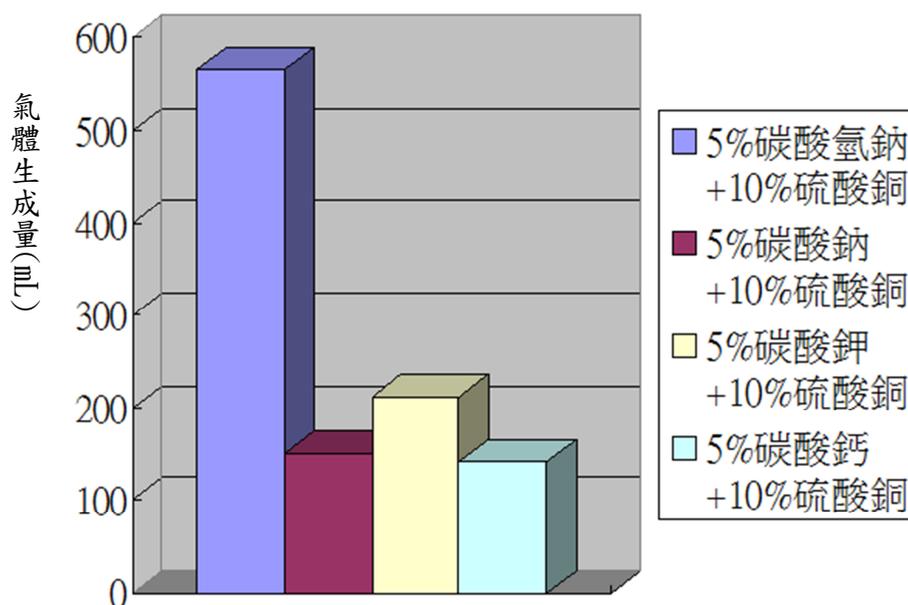
- 1.由此實驗得知，以重量百分濃度5%，但不同的碳酸鹽類水溶液，與硫酸銅水溶液反應所產生的氣體生成量比較: NaHCO<sub>3</sub> > K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> > Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> > CaCO<sub>3</sub>。
- 2.NaHCO<sub>3</sub> 與 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>水溶液所生成之氣體生成量比較，彼此差距約400 mL。其平均之趨勢如下頁<圖8>。

### 實驗六

(一)問題:不同硫酸鹽類水溶液，與NaHCO<sub>3</sub>水溶液反應一樣會產生氣體嗎?

(二)步驟:

- 1.調配4杯重量百分濃度5%的NaHCO<sub>3</sub>水溶液。
- 2.調配各1杯重量百分濃度10%的CuSO<sub>4</sub>水溶液、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液、CaSO<sub>4</sub>水溶液、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液。
- 3.將廣口瓶裝滿水，玻璃片蓋緊瓶口後倒立，置於裝水半滿的水槽後再移除玻璃片。
- 4.取步驟2之重量百分濃度10%的CuSO<sub>4</sub>、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液、CaSO<sub>4</sub>水溶液、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液放進過濾瓶中，並接上橡皮導管。



<圖8> 相同重量百分濃度，不同碳酸鹽類水溶液，與CuSO4水溶液產生氣體體積關係圖

- 5.將薊頭漏斗穿過橡皮塞並塞緊過濾瓶，使漏斗末端盡量接近瓶底，在薊頭漏斗上端加入少量的水使漏斗末端沒入液面下。
- 6.將步驟1之重量百分濃度5%的NaHCO<sub>3</sub>水溶液緩緩滴入薊頭漏斗中，再將橡皮導管插入水槽的廣口瓶中，收集產生的氣體。
- 7.當氣體充滿廣口瓶後，在水中以玻璃片蓋緊瓶口，取出水面瓶口朝上放置。
- 8.透過橡皮管排至廣口瓶所排開的水量，測量氣體之排放量(廣口瓶的總體積-廣口瓶內水的總體積=氣體體積)。

(三)結果:

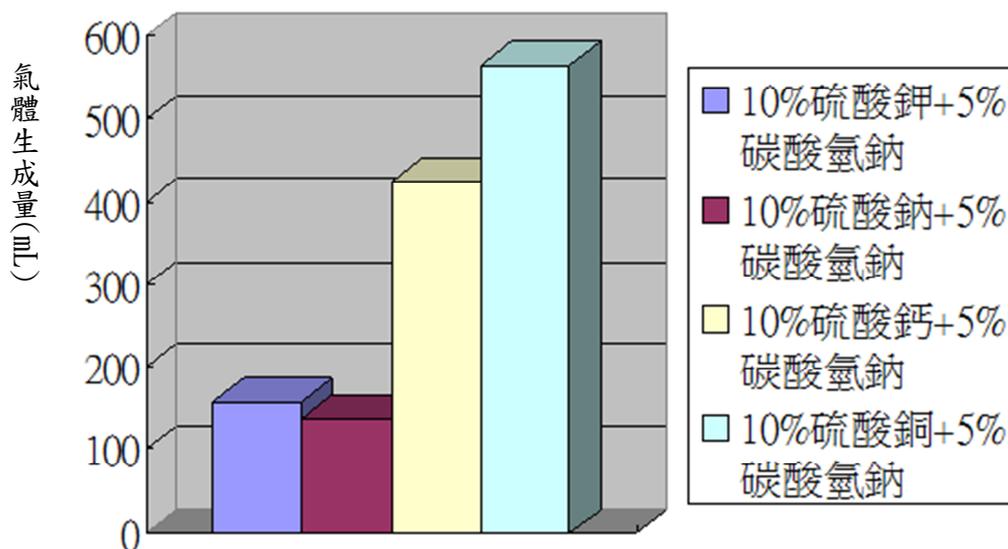
氣體生成量詳細請見<表五>:

<表四 >實驗六之生成氣體總體積

5% NaHCO <sub>3</sub> +	10% K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10% CaSO <sub>4</sub>	10% CuSO <sub>4</sub>
氣體生成量	173	143	427	516
(mL)	133	143	418	599
平均	167	126	428	581
氣體生成量	157.6	137.3	424.3	565.3
(mL)				

結果說明:

- 1.由實驗中發現，5% NaHCO<sub>3</sub> 水溶液+10% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液所產生之氣體生成量最少。
- 2.由實驗中發現，5% NaHCO<sub>3</sub> 水溶液+10% CuSO<sub>4</sub>水溶液所產生之氣體生成量最多。其趨勢請參見下頁<圖9>。



<圖9> 相同重量百分濃度，不同硫酸鹽類水溶液，與碳酸氫鈉水溶液產生氣體體積圖

## 參・結論

### 一、討論:

#### 1. 檢驗CuSO<sub>4</sub>水溶液之酸鹼性：

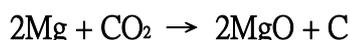
以廣用試紙與紅、藍石蕊試紙檢驗，發現廣用試紙呈黃色，紅色石蕊試紙不變色，藍色石蕊試紙變成紅色，因此硫酸銅水溶液為酸性。

2. 由於NaHCO<sub>3</sub>水溶液為弱鹼性，CuSO<sub>4</sub>水溶液為弱酸性，兩者可進行酸鹼中和反應，此反應類似NaHCO<sub>3</sub>水溶液加入酸，會產生二氧化碳。

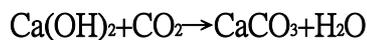
#### 3. 檢驗NaHCO<sub>3</sub>水溶液與CuSO<sub>4</sub>水溶液所產生之氣體的方法：

(1) 線香一點燃後，放入裝滿氣體的廣口瓶，如果線香熄滅代表氣體為CO<sub>2</sub>。

(2) 鎂帶一放在燃燒匙上點燃，放入裝滿氣體的廣口瓶，如果在瓶壁上發現有碳粒，代表二氧化碳已被還原成碳，證實NaHCO<sub>3</sub>水溶液與CuSO<sub>4</sub>水溶液所產生之氣體為CO<sub>2</sub>。此反應式為氧化還原反應，氧化劑為 CO<sub>2</sub>，還原劑為 Mg。化學反應式如下：



(3) 澄清石灰水-倒入裝滿氣體的廣口瓶，瓶內呈現出混濁狀，證實NaHCO<sub>3</sub>水溶液與CuSO<sub>4</sub>水溶液所產生之氣體為CO<sub>2</sub>。化學反應式如下：



4. 由文獻探討中我們知道，NaHCO<sub>3</sub>受熱或與酸反應都會產生二氧化碳，所以我們假設此氣體為CO<sub>2</sub>，由於二氧化碳略溶於水，通常會以排水集氣法收集(李明芳等, 2015)，所以本研究使用排水集氣法收集，經由實驗進而確定NaHCO<sub>3</sub>水溶液與CuSO<sub>4</sub>水溶液所產生之氣體為CO<sub>2</sub>。

5. 研究小組搜尋網路資料，發現廣西師範大學化學與藥學學院：鹼式碳酸銅的製備一文中，提到碳酸鈉與硫酸銅反應式為下：



所以研究小組認為 NaHCO<sub>3</sub>水溶液與 CuSO<sub>4</sub>水溶液的化學反應式可能如下：



6. Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>稱為鹼式碳酸銅，俗稱孔雀石，呈銅綠色。不溶於水但溶於酸，其加熱時易分解。能與鹽酸反應，將碳酸鈉溶液加入到銅鹽中，可得鹼式碳酸銅沉澱。鹼

式碳酸銅可用於顏料、殺蟲滅菌劑和信號彈等。

7. 實驗二的生成物變黑的原因是受熱產生氧化銅，而突沸的原因是因為產生二氧化碳，其化學反應式如下：



8.  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  (鹼式碳酸銅)，其化學式與分子式相異，分別為  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  與  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ，在分子式方面具有「過渡金屬水合離子」( $\text{Cu}^{2+}$ )及「配位基」( $\text{CO}_3^{2-}$ )，使得此兩溶液的化合物成為錯離子。錯合物，也稱配位化合物，簡稱為配合物、絡合物，包含由中心原子或離子與幾個配體分子或離子以配位鍵相結合而形成的複雜分子或離子，通常稱為配位單元。凡是含有配位單元的化合物都稱做配位化合物。
9.  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  (鹼式碳酸銅) 具備  $\text{Cu}^{2+}$ ，當加入氨水時，能與  $\text{Cu}^{2+}$  發生絡合反應，形成絡離子，溶液呈深藍色。
10. 硫酸銅水溶液與碳酸氫鈉、碳酸鈉、碳酸鉀、碳酸鈣反應皆會產生二氧化碳與鹼式碳酸鹽，結果如實驗五，所有化學反應式如下：
- (1)  $4\text{NaHCO}_3 + 2\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + 3\text{CO}_2 \uparrow$
  - (2)  $2\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 \downarrow + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow$
  - (3)  $2\text{K}_2\text{CO}_3 + 2\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 \downarrow + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow$
  - (4)  $2\text{CaCO}_3 + 2\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 \downarrow + 2\text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow$

這四種碳酸鹽類水溶液與硫酸銅水溶液所產生之鹼式碳酸銅以氨水檢驗，溶液皆呈現深藍色。

## 二、結論

1.  $\text{NaHCO}_3$  水溶液與  $\text{CuSO}_4$  水溶液反應所產生的氣體為二氧化碳。
2.  $\text{NaHCO}_3$  水溶液與  $\text{CuSO}_4$  水溶液反應產生的沉澱物為  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  (鹼式碳酸銅)。
3. 二氧化碳的生成與  $\text{CuSO}_4$  水溶液的濃度有關。以 5% 的碳酸氫鈉水溶液參與反應，其反應之最極限在 20%~25% 之間。15% 的  $\text{CuSO}_4$  實驗為其中最穩定之值。
4. 二氧化碳的生成與  $\text{NaHCO}_3$  水溶液的濃度有關。以 10% 的硫酸銅水溶液參與反應，3%~5%  $\text{NaHCO}_3$  為此實驗最極限值；4%~5% 為實驗最佳值。
5. 硫酸銅水溶液與碳酸氫鈉、碳酸鈉、碳酸鉀、碳酸鈣反應皆會產生二氧化碳與鹼式碳酸鹽。
6. 碳酸氫鈉水溶液與硫酸銅、硫酸鉀、硫酸鈉、硫酸鈣反應皆會產生二氧化碳。但硫酸鉀、硫酸鈉水溶液與碳酸氫鈉水溶液反應產生的二氧化碳量較少；而硫酸銅產生的二氧化碳量較多。

## 肆・參考資料

1. 李明芳等編撰。2015。翰林版國中自然與科技第三冊課本。翰林出版社出版。
2. 李明芳等編撰。2016。翰林版國中自然與科技第四冊課本。翰林出版社出版。
3. 許茂智、李永專編撰。2015。高中基礎化學(三)課堂講義。泰宇出版股份有限公司。
4. 蘇卡奇編撰；蔡信行譯。2014。觀念化學III。遠見天下文化出版有限公司。
5. 基督教協同高級中學：酸鹼鹽。於 2016 年 4 月 3 日取自 <http://teacher.cmesh.cyc.edu.tw/~yesmydi/class/class102d.htm>
6. 廣西師範大學化學與藥學學院：鹼式碳酸銅的製備。於 2016 年 4 月 3 日取自 [http://www.ce.gxnu.edu.cn/inorganic/jxkj/experiment9\\_2.pdf](http://www.ce.gxnu.edu.cn/inorganic/jxkj/experiment9_2.pdf)