

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

第二名

040203

同是一家「氫」？—鹼性的酸式鹽陰離子溶液與  
活性金屬的氧化還原反應探討

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者： 高二 陳庭萱 高二 李尚儒 高二 歐宸瑋	指導老師： 許仁祥
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：鹼性酸式鹽、氧化還原

## 摘要

在氧化還原反應中，活潑金屬(Mg、Al、Zn、Fe)在酸性溶液中才能產生 H<sub>2</sub> 的反應是既有的認知自然現象，但在 pH > 7 的溶液中沒有傳統氧化劑的存在下，活性金屬仍會反應產生 H<sub>2</sub>，活潑金屬有可能會與酸式鹽鹼性陰離子(HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)或這些溶液中的氫離子反應產生氫氣，我們試著用 HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 兩種呈鹼性的陰離子與活潑金屬反應，觀察其反應狀況，礙於實驗設備，我們藉著測其短時間內氫氣體積量，檢驗此三種陰離子與活潑金屬的反應性，另外，我們亦試驗單純的 H<sup>+</sup>(HCl)、OH<sup>-</sup>(NaOH)溶液與活潑金屬反應作為比較及空白實驗。

由實驗結果顯示 HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 與 Mg 的反應狀況良好，可持續的產生氫氣，HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 與 Al、Zn、Fe 反應狀況極差，幾乎無法產生 H<sub>2</sub>，唯 Fe 表面有少量的氫氣產生。實驗顯示 HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 有可以與 Mg 產生 H<sub>2</sub> 的反應活性，且猜測兩者與水中微量氫離子相比，更容易附著在金屬上，所以反應進行的主要原因是陰離子的存在。

## 壹、研究動機

化學實驗課時，我們進行氧化還原反應實驗，其中有項實驗是活性金屬與酸性溶液的氧化還原觀察。出於好奇心，我們將鎂帶放入鹼性的磷酸氫二鉀溶液中，意外發現有氣體產生。

一直以來，我們對於「活性金屬和酸性溶液都會產生氫氣」這個想法深信不疑，卻沒有想過金屬能否和含有氫的陰離子團在鹼性環境中發生反應。根據實驗課時觀察到的現象，我們推論鎂帶是和磷酸氫根中的氫產生氫氣，也因此展開以下實驗。

## 貳、 研究目的

- 一、探討磷酸氫根離子( $\text{HPO}_4^{2-}$ )對活潑金屬(Mg、Al、Zn、Fe)的反應活性。
- 二、探討碳酸氫根離子( $\text{HCO}_3^-$ )對活潑金屬(Mg、Al、Zn、Fe)的反應活性。
- 三、磷酸氫根( $\text{HPO}_4^{2-}$ )和碳酸氫根( $\text{HCO}_3^-$ )與 Mg 的反應活性的比較

## 參、 原理和方法

1. 在酸性溶液中濃度足夠的氫離子對於部分金屬具有氧化力，例如：鋁、鎂、鐵、鋅。氧化電位：氫離子：0V、鎂：2.38V、鐵：0.44V、鋁：1.71V、鋅：0.76V
2. 磷酸氫根離子( $\text{HPO}_4^{2-}$ )溶液是鹼性溶液： $K_a=4.4 \times 10^{-13}$   $K_b=1.5 \times 10^{-7}$   
磷酸氫根離子( $\text{HCO}_3^-$ )中的有未解離的氫離子。  
相同地，碳酸氫根溶液也是鹼性： $K_a=4.7 \times 10^{-11}$   $K_b=2.2 \times 10^{-8}$   
碳酸氫根離子中有未解離的氫原子。
3. 為了確定鎂帶(Mg)和鐵片(Fe)並不是和溶液中的 OH 產生反應，我們預先配製與溶液同 pH 值的氫氧化鈉溶液，發現金屬並未與氫氧化鈉溶液產生任何氣體。



## 肆、 設備和器材

實驗器材：恆溫槽、針筒、橡皮塞、試管夾、燒杯、量筒、容量瓶、鑷子、電子秤、刮勺、玻棒、吸量管、剪刀、尺、pH 計、溫度計、碼表

實驗藥品：鎂帶、鐵片、鋁片、鋅片、磷酸氫二鉀( $K_2HPO_4$ )、碳酸氫鉀( $KHCO_3$ )、鹽酸、氫氧化鈉

## 伍、 實驗步驟

### (一)空白實驗：

1. 活潑金屬(Mg、Al、Zn、Fe)在不同 pH 值酸性溶液 (HCl 溶液) 中的反應觀察。
2. 活潑金屬(Mg、Al、Zn、Fe)在不同 pH 值鹼性溶液中(NaOH 溶液)的反應觀察。

### (二)實驗一： $HP0_4^-$ 與金屬的反應

1. 配製 1M、1.5M、2M、2.5M、3M 的磷酸氫二鉀溶液，以 pH 計測量 pH 值。
2. 將恆溫槽設定為 20°C、30°C、40°C，並將步驟 1 中的溶液調至與恆溫槽相同溫度。
3. 取鎂帶約 1.5 平方公分，平均分成幾段，以鹽酸清洗後放入針筒，並預留 0.5mL 的空間。
4. 以針筒吸取 2.0mL 的溶液，紀錄針筒刻度並用橡皮塞堵住針筒後放入恆溫槽中，使其反應三分鐘。
5. 觀察反應後的針筒刻度，紀錄氣體產生量。
6. 取鋁片、鋅片、鐵片約 1.5 平方公分，重複步驟 3 至 5，紀錄氣體產生量。



### (三)實驗二：HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>與金屬的反應

1. 配製 0.1M、0.25M、0.5M、0.75、1M 的碳酸氫鉀溶液，以 pH 計測量 pH 值。
2. 將恆溫槽設定為 20°C、30°C、40°C，並將步驟 1 中的溶液調至與恆溫槽相同溫度。
3. 取鎂帶約 1.5 平方公分，平均分成四段，以鹽酸清洗後放入針筒，並預留 0.5mL 的空間。
4. 以針筒吸取 2.0mL 的溶液，紀錄針筒刻度並用橡皮塞堵住針筒後放入恆溫槽中，使其反應三分鐘。
5. 觀察反應後的針筒刻度，紀錄氣體產生量。
6. 取鋁片、鋅片、鐵片約 1.5 平方公分，重複步驟 3 至 5，紀錄氣體產生量。

### 陸、 流程圖



## 柒、 實驗結果

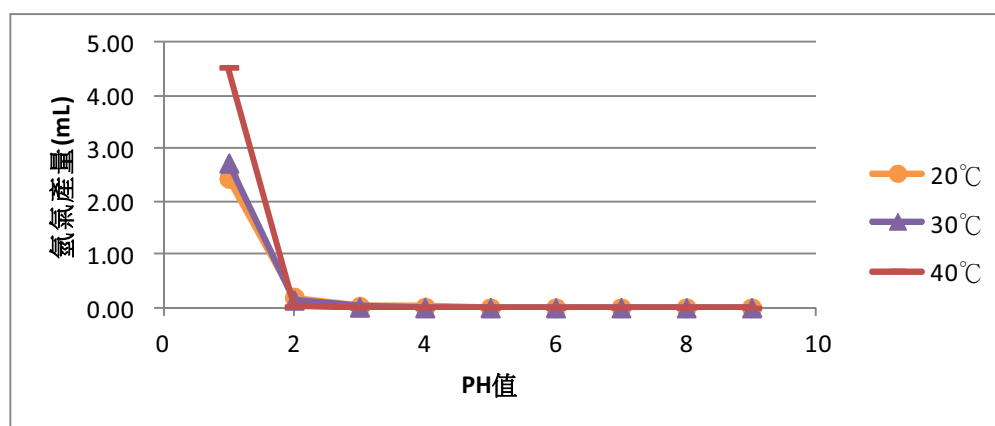
### 一、 空白實驗

在室溫下 Mg 與酸性溶液(HCl)要到 pH < 2 以下才看得到有產生 H<sub>2</sub>，Al、Zn、Fe 甚至與 pH=1 的溶液也沒有反應；而在鹼性溶液(NaOH)中 Mg、Al、Zn、Fe 在任何 pH 值情況下均不產生 H<sub>2</sub>。

#### Mg+HCl

PH值 \ 溫度	20°C	30°C	40°C
1	2.44	2.73	4.54
2	0.20	0.14	0.02
3	0.03	0.01	0.00
4	0.01	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00

(單位: mL)



### 二、 磷酸氫根與金屬的反應

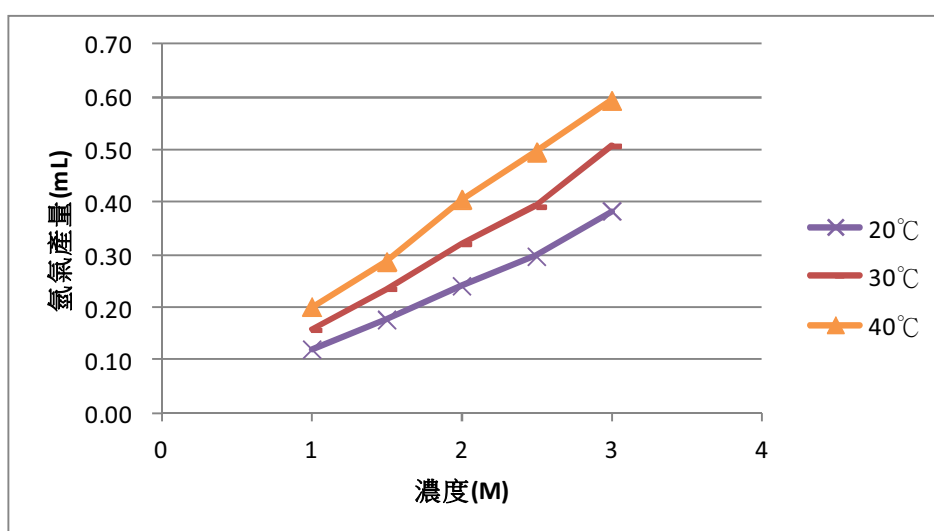
為了證明反應所產生的氣體是氫氣，我們燃燒針筒中的氣體，發現有輕微爆裂聲，此反應的可能生成物中，只有氫氣具有此特性。

## (一)磷酸氫根與鎂帶

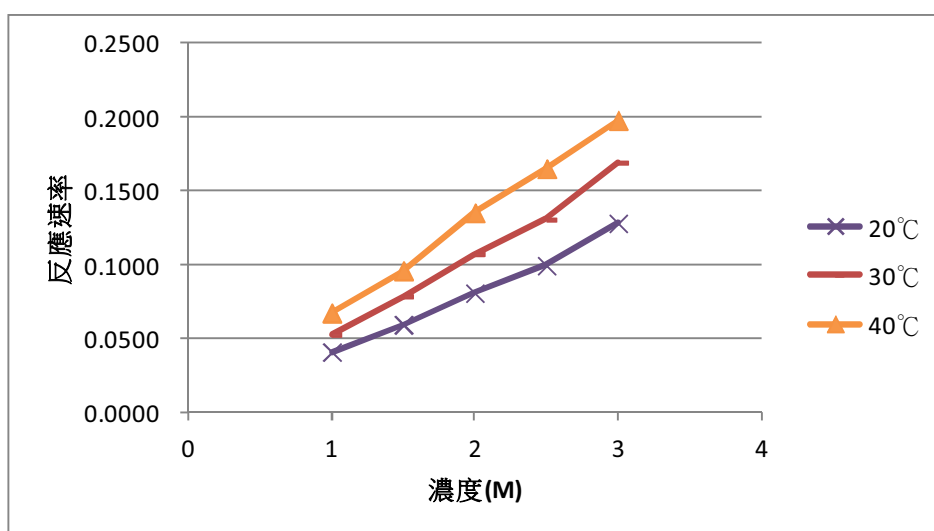
濃度(M) \ 溫度	20°C	30°C	40°C
1(PH=9.0)	0.12	0.16	0.20
1.5(PH=9.1)	0.18	0.24	0.29
2(PH=9.2)	0.24	0.32	0.41
2.5(PH=9.3)	0.30	0.39	0.50
3(PH=9.4)	0.38	0.51	0.59

(單位 :

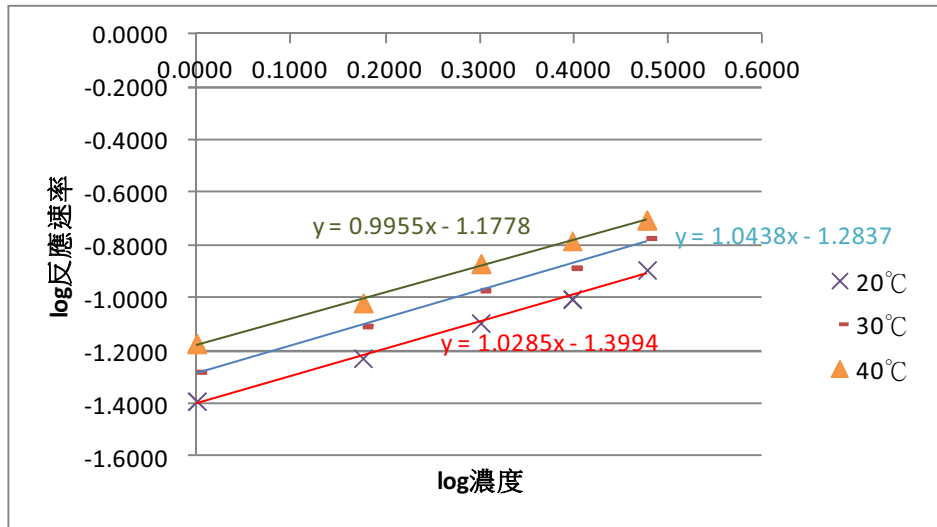
mL)



由上圖可以看出，濃度越大時，氣體產生量比較多。為了更進一步確認其中的關係，我們換算出反應速率圖表。



再對濃度與反應速率取 log :



再反推可得：

$$20^{\circ}\text{C} : \text{反應速率} (R) = 10^{-1.3994} \times [\text{濃度}]^{1.0285} ; 10^{-1.3994} = 0.0399$$

$$\text{所以 } R = 0.0399 \times [\text{濃度}]^{1.0285}$$

$$30^{\circ}\text{C} : \text{反應速率} (R) = 10^{-1.2837} \times [\text{濃度}]^{1.0438} ; 10^{-1.2837} = 0.0520$$

$$\text{所以 } R = 0.0520 \times [\text{濃度}]^{1.0438}$$

$$40^{\circ}\text{C} : \text{反應速率} (R) = 10^{-1.1778} \times [\text{濃度}]^{0.9955} ; 10^{-1.1778} = 0.0664$$

$$\text{所以 } R = 0.0664 \times [\text{濃度}]^{0.9955}$$

## (二)磷酸氫根與鋁片、鋅片

濃度(M) \ 溫度	20°C	30°C	40°C
1(PH=9.0)	0.00	0.00	0.00
1.5(PH=9.1)	0.00	0.00	0.00
2(PH=9.2)	0.00	0.00	0.00
2.5(PH=9.3)	0.00	0.00	0.00
3(PH=9.4)	0.00	0.00	0.00

(單位: mL)



濃度(M) \ 溫度	20°C	30°C	40°C
1(PH=9.0)	0.00	0.00	0.00
1.5(PH=9.1)	0.00	0.00	0.00
2(PH=9.2)	0.00	0.00	0.00
2.5(PH=9.3)	0.00	0.00	0.00
3(PH=9.4)	0.00	0.00	0.00

(單位: mL)

根據實驗結果，我們發現磷酸氫根離子溶液和鋁片、鋅片皆無產生反應。

### (三)磷酸氫根與鐵片

濃度(M) \ 溫度	20°C	30°C	40°C
1(PH=9.0)	0.0000	0.0100	0.0200
1.5(PH=9.1)	0.0000	0.0100	0.0200
2(PH=9.2)	0.0000	0.0100	0.0200
2.5(PH=9.3)	0.0000	0.0100	0.0200
3(PH=9.4)	0.0000	0.0100	0.0200

(單位: mL)

由上表我們判斷，磷酸氫根與鐵片的產量太少，肉眼也未觀察到其冒泡，可視為反應未進行。

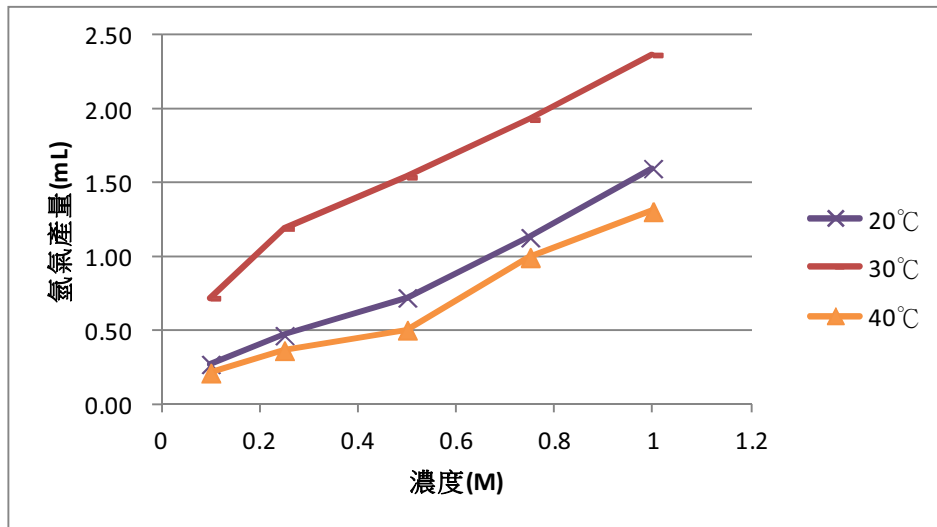
氫離子溶液對鎂具有氧化力，而其餘金屬的氧化電位低於鎂，而磷酸氫根可氧化鎂帶卻不能氧化其他金屬，因此我們推測：磷酸氫根的氧化力不如氫離子，其氧化電位僅低於鎂。

## 三、碳酸氫根與金屬的反應

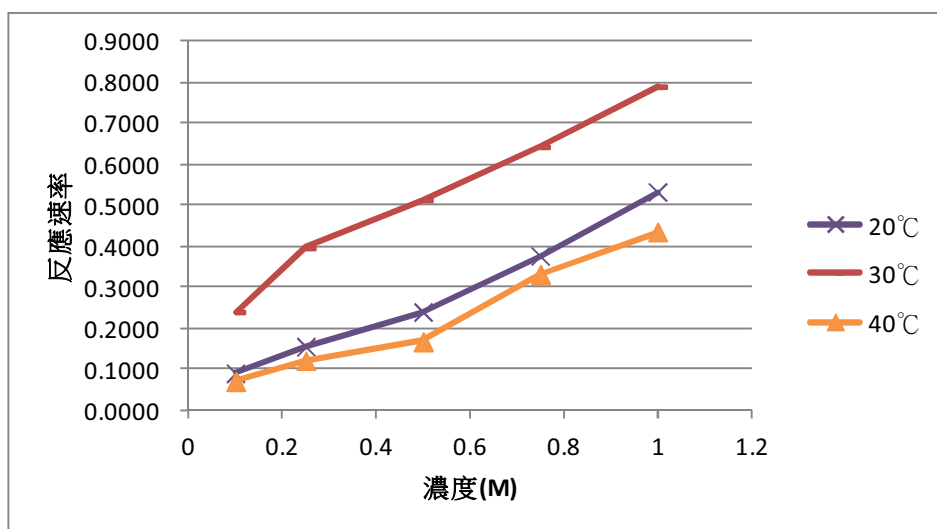
### (一)碳酸氫根與鎂帶

濃度(M) \ 溫度	20°C	30°C	40°C
0.1(PH=8.9)	0.27	0.72	0.21
0.25(PH=8.9)	0.47	1.19	0.36
0.5(PH=8.8)	0.72	1.54	0.50
0.75(PH=8.7)	1.13	1.93	0.99
1(PH=8.6)	1.60	2.37	1.31

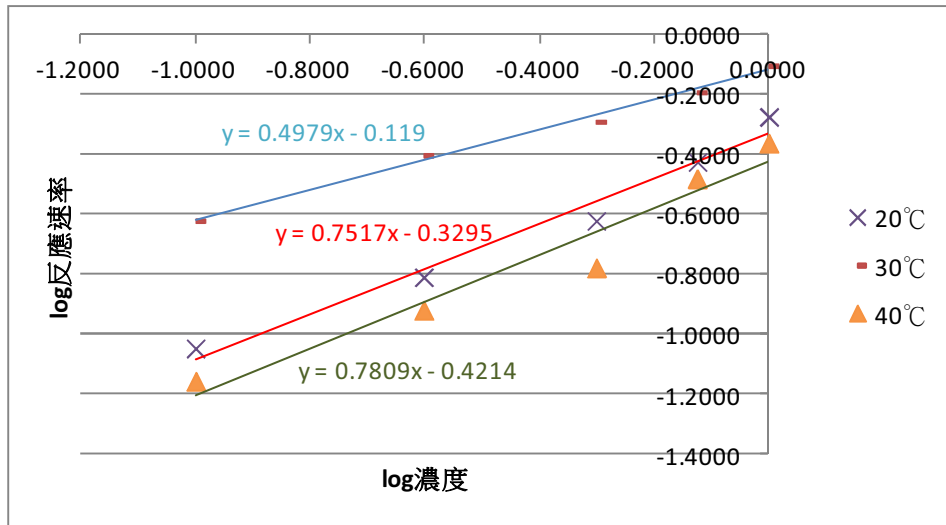
(單位：mL)



由圖表可以推論，濃度越大，氫氣產量越多。30°C的產量多於20°C和40°C，推論出：鎂帶和碳酸氫根的反應，並不是環境越高溫就越有利進行，其高峰有可能介於30°C至40°C之間。為了確定變因與反應的關係，我們製作了反應速率圖表。



對濃度和反應速率取 log :



再反推可得：

20°C：反應速率 (R) =  $10^{-0.3295} \times [\text{濃度}]^{0.7517}$  ;  $10^{-0.3295} = 0.4683$

所以  $R = 0.4683 \times [\text{濃度}]^{0.7517}$

30°C：反應速率 (R) =  $10^{-0.119} \times [\text{濃度}]^{0.4979}$  ;  $10^{-0.119} = 0.7603$

所以  $R = 0.7603 \times [\text{濃度}]^{0.4979}$

40°C：反應速率 (R) =  $10^{-0.4214} \times [\text{濃度}]^{0.7809}$  ;  $10^{-0.4214} = 0.3790$

所以  $R = 0.3790 \times [\text{濃度}]^{0.7809}$

## (二)碳酸氫根與鋁片、鋅片

濃度(M) \ 溫度	20°C	30°C	40°C
0.1(PH=8.9)	0.00	0.00	0.00
0.25(PH=8.9)	0.00	0.00	0.00
0.5(PH=8.8)	0.00	0.00	0.00
0.75(PH=8.7)	0.00	0.00	0.00
1(PH=8.6)	0.00	0.00	0.00

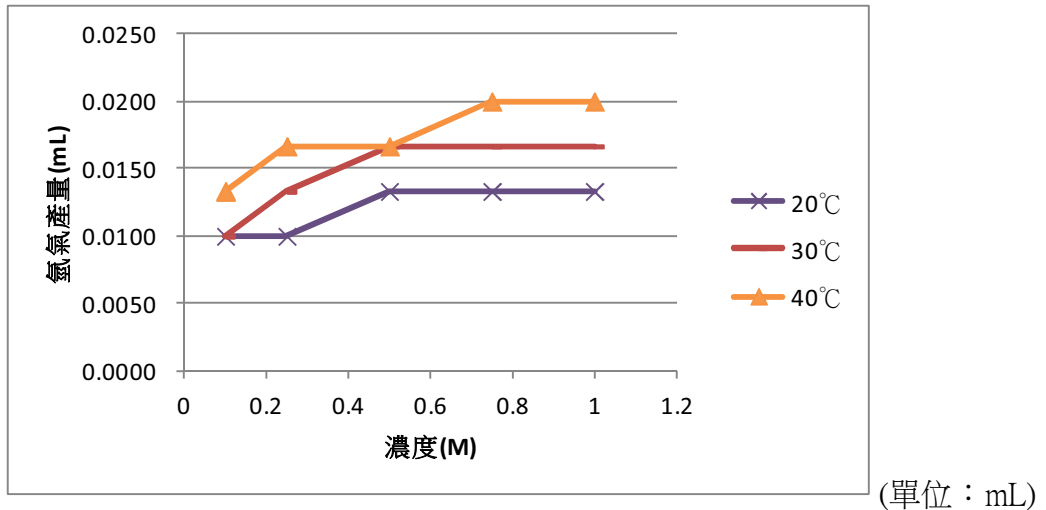
(單位: mL)

濃度(M) \ 溫度	20°C	30°C	40°C
0.1(PH=8.9)	0.00	0.00	0.00
0.25(PH=8.9)	0.00	0.00	0.00
0.5(PH=8.8)	0.00	0.00	0.00
0.75(PH=8.7)	0.00	0.00	0.00
1(PH=8.6)	0.00	0.00	0.00

(單位: mL)

根據實驗結果，我們發現碳酸氫根離子溶液和鋁片、鋅片皆無產生反應。

### (三)碳酸氫根與鐵片



經由此圖表，加上肉眼未觀察到其冒泡現象，我們判斷碳酸氫根與鐵片未進行反應。

## 捌、 實驗結論

1. 我們觀察到鎂會與磷酸氫根( $\text{HPO}_4^{2-}$ )溶液反應，但經由空白實驗「鎂不和同 pH 值下的氫氧化鈉鹼性溶液反應」這點來看，我們認為金屬並不是與  $\text{OH}^-$  產生氣體。另外，我們也藉由解離常數說明金屬不是和溶液中稀少的  $\text{H}^+$  離子發生反應。於是我們推論：金屬不是和溶液中的  $\text{OH}^-$  或  $\text{H}^+$  離子發生反應，而是被  $\text{HPO}_4^{2-}$  上的還未解離的氫所氧化了。這說明了氫未解離成氫離子前，便具備了對活性金屬的氧化能力。
2. 金屬被磷酸氫根離子氧化，進而產生氫氣。鎂帶和鋅片、鋁片、鐵片比較之下，鎂帶的氫氣產量較多，速率也較快，且無法用肉眼觀察到其他金屬有氣體產生的現象。因此我們推論，磷酸氫根離子的氧化力不如氫離子，只能和鎂反應，而對鋅、鋁、鐵的氧化能力較差，更進而猜測，磷酸氫根上的氫原子氧化電位位於鎂原子和鋁原子之間。
3. 碳酸氫根離子( $\text{HCO}_3^-$ )氧化金屬而產生氫氣，實驗結果和實驗一相似：鎂帶的氫氣產量較多，而其他金屬並無反應。兩項實驗中，陰離子上的氫原子都對鎂帶具有氧化力，但對其餘金屬卻沒有影響，這說明陰離子上的氫原子，其氧化力並不如氫離子。
4. 同取鎂帶實驗來討論，鎂與碳酸氫根離子產生的氫氣量多於磷酸氫根離子。我們推測：因為碳的電負度(2.55)大於磷(2.19)，碳酸氫根離子的電子雲相對較往中間集中，導致碳酸氫根離子上氫原子與氧原子的鍵結較弱，也因此，碳酸氫根的氫原子更容易氧化金屬，產生氫氣。

所以推論  $\text{HCO}_3^-$  對鎂的反應活性要比  $\text{HPO}_4^{2-}$  好上許多。

在相同反應條件的情況下， $\text{HPO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 與 Al(氧化電位 1.71V, 0.1M NaOH 下)、Zn(氧化電位 0.76V)沒有任何反應，也許是兩性元素的因素，需要有不同的反應條件才能反應。



### 玖、 未來展望

1. 無論碳酸氫根或磷酸氫根，其氧化力明顯不如氫離子，我們預計嘗試直接測定溶液中的陰離子含量，藉由實驗結果來說明金屬與鹼性酸式鹽溶液的反應關係，並對兩種陰離子的氧化力有更明確比較。
2. 除了實驗中使用的兩種藥品外，尚有其他陰離子也含有氫原子，我們計畫將實驗盡量擴展到各種符合的藥品，整理出氫原子在不同環境下的氧化力。另外，我們推測溶液的酸鹼環境也有可能影響氣體產量，環境 pH 值改變時，氫氣產量也許會有所改變。
3. 從實驗結果中發現，鎂與碳酸氫根離子在 30°C 的氫氣產量多於在 40°C 時，我們推測：溫度較高時，反應產量越大，但在 30°C 與 40°C 之間有一臨界點，溫度高過臨界點後，較少碳酸氫根離子附著在金屬之上，也因此較不能氧化金屬，未來我們會進行更多實驗，找出背後的原因。

### 壹拾、參考資料

歷屆科展資料  
高中化學〈氧化與還原〉

## 【評語】 040203

本作品探討鹼性酸式鹽和活性金屬反應生成氫氣的機制具有創意，但在證據的呈現上欠缺完整性，作者對問題的瞭解和回答清楚完整。建議再加強反應證據的佐證，將使作品更完整。