

# “從誰開始”——氯氣和氫氣反應的探討

## 高中組化學科第三名

省立泰山高級中學

作 者：康益利、楊文全

指導教師：邱智宏

### 一、研究動機

打從國中開始，只要提到氯氣和氫氣的化合反應！老師都會不厭其煩的說這個反應有爆炸的危險，氯氣有毒，反應時不能見光……等原因，對這類實驗總是略而不做，當時對老師的話總是深信不疑，但是上了高中以後，對化學的課程接觸了更多，對這個實驗的興趣更濃，疑問也更多，是不是一定會爆炸，有沒有簡易又安全的實驗方法呢？是不是所有的光都能引起這個反應？這個反應從誰開始，氫還是氯呢？這些都是引起我們研究這實驗的動機。

### 二、研究目的

- (一) 設計一種安全，操作簡易的氯化氫合成器。
- (二) 驗證氯氣和氫氣生成氯化氫氣體的體積比。
- (三) 由光致化學反應探討氯化氫合成反應的反應機構。
- (四) 探討氫和氯反應爆炸的原因。

### 三、研究設備器材

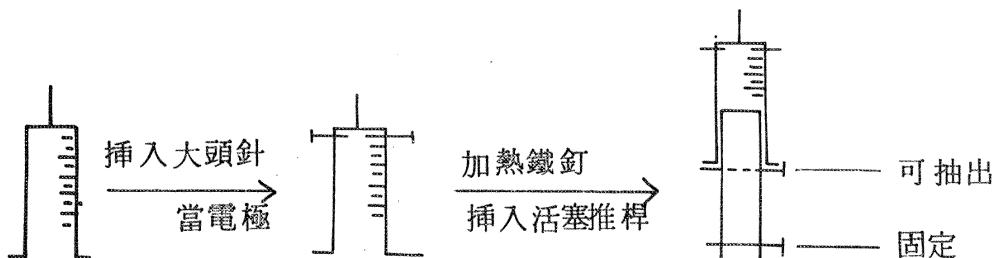
- |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| (一)針筒    | (二)廣用指示劑 | (三)大頭針   |
| (四)鐵釘    | (五)橡皮塞   | (六)橡皮管   |
| (七)保特瓶   | (八)錐形瓶   | (九)鹽酸    |
| (十)有色玻璃紙 | (十一)閃光燈  | (十二)氫氧化鈉 |

### 四、研究過程

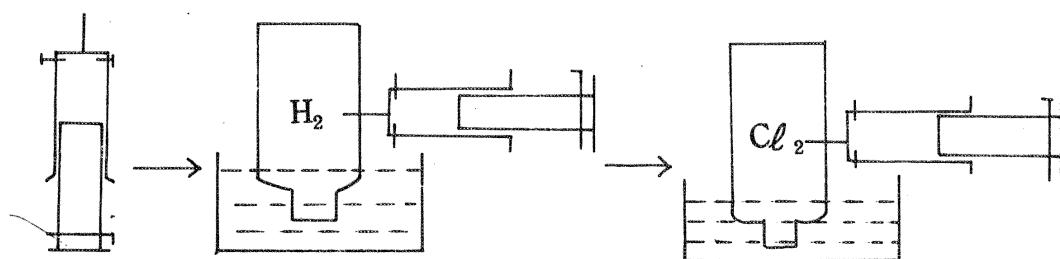
## [ 實驗一 ]

步驟：

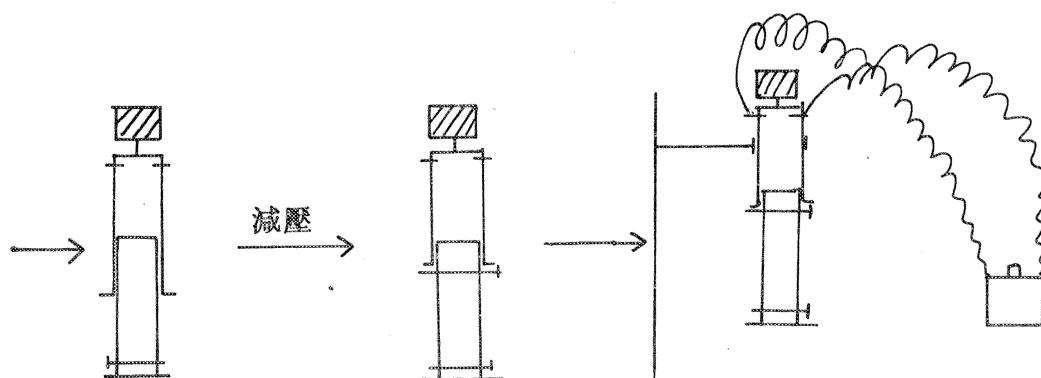
1. 先用保特瓶收集數瓶氫氣和氯氣，氫氣插入水中靜置冷卻，氯氣則加瓶蓋，用膠帶封住，使用前再插入水中。
2. 塑膠針筒加工



3.



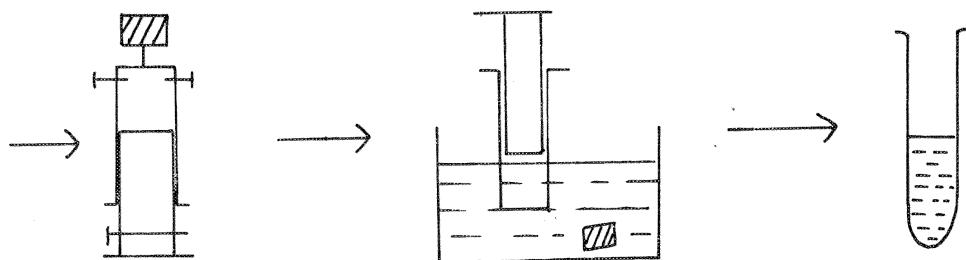
先吸入氫氣再推出 吸入定量的氫氣，再吸入定量的氯氣  
連續數次，使針筒 抽出針筒後用凡士  
內充滿氫氣 林封住針孔



插上橡皮塞

插入第二枝鐵釘

接上高壓連續點火  
器點火

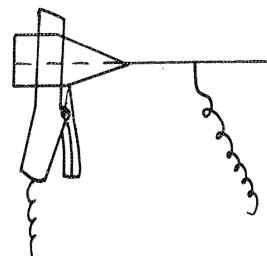


抽出鐵釘  
記下體積

針筒內的氣體是否  
溶於水，並記下剩  
下氣體體積

針筒內的水，加  
廣用指示劑，並  
且加氨水

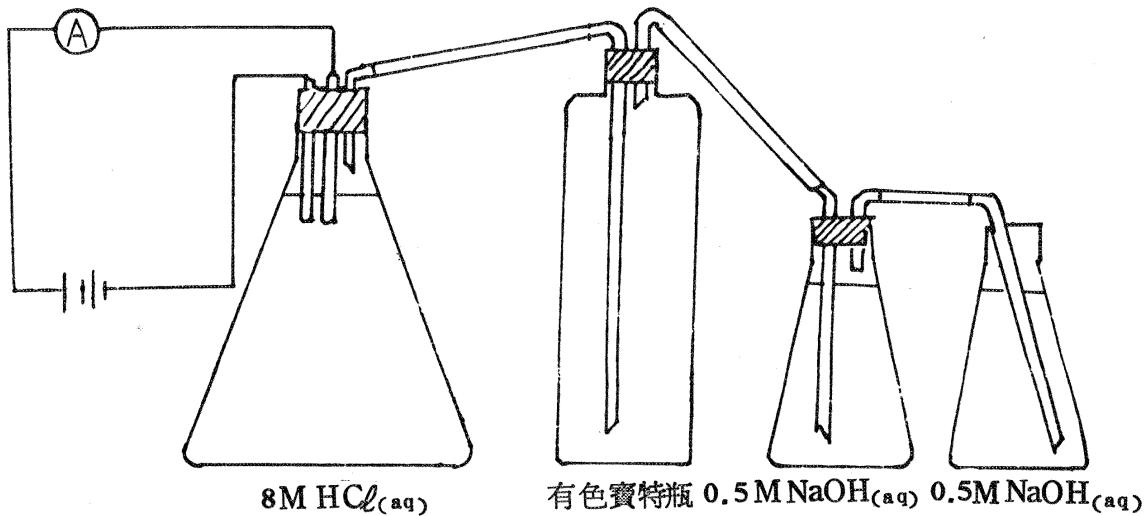
4. 裝置如上，但不插大頭針當電極，  
直接以針頭當電極，重做步驟 3.



## [ 實驗二 ]

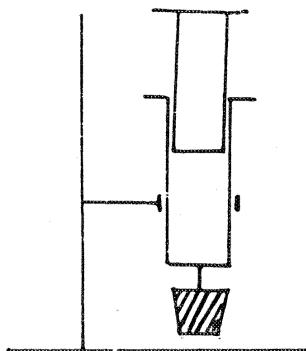
步驟：

1. 裝置如下圖



2. 通電約卅分鐘後，用針筒插入保特瓶內，吸取定量的混合氣體

3.



使用不同顏色的  
閃光燈照射針筒 → 記錄結果

## 五、實驗結果

[ 實驗一 ] 結果反應後氣體溶於水否加廣用指示劑加濃氨水

1. 測試項目	反應後氣體溶於水否	加廣用指示劑	加濃氨水
結 果	氣體大量溶於水	紅色	產生白煙

表一

2.

	$V_{CH_2}$	$V_{CO_2}$	反應後 總體積	溶於大量水後 氣體所剩下體 積	備 註
1	4 ml	5 ml	9 ml	剩下幾個氣泡	
2	5 ml	5 ml	10 ml	剩下幾個氣泡	
3	6 ml	5 ml	11 ml	1.1 ml	加氯氣 能繼續
4	10 ml	5 ml	15 ml	5.2 ml	反應， 加氯則否
5	0 ml	5 ml	5 ml	剩下幾個氣泡	

表二

## [ 實驗二 ] 結果

	紅光	橙光	黃光	綠光	藍光	紫光
波長	長於 6100 $\text{\AA}$	5900 $\text{\AA}$ S	5700 $\text{\AA}$ S	5000 $\text{\AA}$ S	4500 $\text{\AA}$ S	短於 4500 $\text{\AA}$
反應情況	無反應	無反應	無反應	無反應	有爆聲 推桿噴出	有爆聲 推桿噴出

表三

## 六、討 論

### (一) 實驗一部份

- 保特瓶收集自製的氣體，必須靜置冷卻，將反應時產生的水蒸氣冷凝出來。
- 針筒抽氣時，調整保特瓶內外水面一致，可保持針筒內壓力和大氣壓力一致。針筒抽出時，用凡士林封住針孔保持瓶內的氣體，可再重覆使用。
- 氫氣和氯氣在塑膠針筒中混合，只要不直接照射日光，就不會有爆炸的顧慮，既使照射後爆炸，也只有將活塞噴出而已。
- 氣體混合後，將活塞推桿拉至第二枝鐵釘孔處，插入鐵釘，使針筒內體積加大數倍，壓力減小，然後用高壓點火器，火花點火，則見針筒內白光一閃及細小的鳴爆聲，由於經過減壓的措施，使爆炸的威力減至很小，頂多鐵架震動一下，可說十分安全，能讓同學自行操作。
- 由表一可知氫氣和氯氣反應後產生的氣體，確實為氯化氫。
- 由表二第 5 組反應中，可見氯氣對水的溶解度頗大。
- 由 2、3、4 組中，可看出 5 ml 的  $\text{Cl}_{2(g)}$  可和 5 ml 的  $\text{H}_{2(g)}$

作用生成約  $10m\ell$  的  $\text{HCl}_{(g)}$ ，可見  $\text{H}_2 : \text{Cl}_2 : \text{HCl}$  的氣體體積比為  $1 : 1 : 2$  ( $\text{H}_{2(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightarrow 2 \text{HCl}_{(g)}$ )

8. 本實驗若能改用簡裝的氫氣和氯氣，因沒有水蒸氣及不純氣體的干擾，必定能達到非常準確的結果。
9. 本實驗操作簡易，比課本上使用奧特色球管、螺狀鉑絲及石英玻璃管等複雜儀器要方便安全多了。

## (二) 實驗二部份

1. 此實驗使用 8 M 的鹽酸，增大氫離子的濃度，是防止陽極產生氧氣 ( $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+$ ) 而有利於氯氣的產生 ( $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ )。
2. 針筒抽取混合氣體之前，必須先使氯氣將電解液飽和，並將保特瓶內的空氣排除，所以在用針筒抽氣前，須先通電約卅分鐘。
3. 保特瓶底可放一層氧化鈣或氯化鈣等除濕劑，去除瓶內多餘的水氣。
4. 此反應使用保特瓶直接收集氫和氯的混合氣體，可免除玻璃容器爆破的危險。又可免去人工混合氫和氯體積比為  $1 : 1$  的麻煩。
5. 廣口瓶內裝 0.5 M  $\text{NaOH}$  溶液，主要是中和溢出的氯氣，使其不造成污染。
6. 由表三知，並不是所有的光都能引起這個反應，波長必須短於藍光 ( $5000 \text{ \AA}$ ) 才能。根據

$$E = h \times v = h \times \frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{4.8 \times 10^{-7}}$$
$$= 4.1 \times 10^{-19} \text{ 焦耳/個}$$

引起此反應每莫耳藍光所含能量 =  $4.1 \times 10^{-19} \times 6.02 \times 10^{23}$   
= 247 KJ/mole。

7. 由  $\text{Cl}_2$  的鍵能為 243 KJ/mole， $\text{H}_2$  的鍵能為 436 KJ/mole，由此可知氫和氯反應的開始，應該由  $\text{Cl}-\text{Cl}$  的鍵先打開，

因為由討論 6 求出光的能量 ( 247 KJ/mole )，還不足以使 H—H 鍵被打斷，所以其反應機構應為



(2)(3)(2)(3)的連鎖反應，而不是



(叉) (口) (叉) (口) 的連鎖反應。



$$\Delta H = -185 \text{ KJ/mole}$$

當有 2 mole 的  $\text{HCl}_{(\text{g})}$  生成時，此反應會放出 185 KJ 的熱量，又由  $\text{HCl}_{(\text{g})}$  的比熱為  $29 \text{ J/mole}^{\circ}\text{K}$  ( $S = 0.19 \text{ cal/g}^{\circ}\text{K}$ )。所以 2 mole 的  $\text{HCl}_{(\text{g})}$  溫度應該上升

$$\frac{185,000 \text{ J/mole}}{29.0 \text{ J/mole}^{\circ}\text{K}} = 3,190^{\circ}\text{K}.$$

9. 反應時室溫為  $15^{\circ}\text{C}$  ( $288^{\circ}\text{K}$ )，1 atm 下，反應後溫度應為  $288 + 3190 = 3478^{\circ}\text{K}$ 。若反應時體積不變，由

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{P_2}{1} = \frac{3478}{288} \quad P_2 = 12.1 \text{ atm}$$

所以此反應，若在密閉系統中進行，由於瞬時大量放熱，壓力極速加大，大有爆炸的可能。

10. 實驗一中氫和氯均取 5 ml，最多可生成  $\text{HCl}_{(\text{g})}$  10 ml，因反應時將體積加大約 5 倍，由

$$\frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{P_2 \times 50 \text{ ml}}{1 \times 10 \text{ ml}} = \frac{3478^{\circ}\text{K}}{288^{\circ}\text{K}}$$

則  $P_2 = 2.42 \text{ atm}$  使壓力在理想狀況下，只增加了約 1.42 個大氣壓，再加上塑膠針筒的推桿尚有後退的餘地，和塑膠針筒也會吸熱，使少量的氯化氫溫度上升不如理想狀況來得大，壓力當然減得更小，反應時甚至只見白光一閃堪稱十分理想。

11. 將上面討論整理如下表

	溫 度	壓 力	減壓後壓力
反應前	$288^\circ\text{K}$	1 atm	0.2 atm
反應後	$3478^\circ\text{K}$	12.1 atm	小於 2.42 atm

## 七、結 論

使用塑膠針筒當氯化氫的合成器，有下列的好處：

1. 操作簡易，材料便宜。
2. 針筒上有方便的刻度，可做定量的計算，使氣體反應定律得以驗證。
3. 有減壓的安全設計，沒有玻璃儀器破裂的危險。

由光致化學反應使我們了解到：

1. 光也是種能量，可引起化學變化，也能轉換成其他能量。
2. 並不是所有波長的光都能引起氫氯的反應，必須波長短於 5000 Å 的光，能量才足於使反應開始。
3. 氢和氯合成氯化氫的反應是由 C1 — C1 的鍵打斷開始，而推出反應的機構。
4. 由反應熱的計算，導出溫度的上升，壓力的加大使對此反應會爆炸的原因，更加清楚。
5. 實驗二由氯化氫溶液電解產生氫氣及氯氣的混合氣體，再由混合氣體反應變回氯化氫氣體的循環，使我們對物質不滅及能量

守恒的定律，有更深一層的認識。

此反應若由光致化學反應，無疑的是 C<sub>1</sub>—C<sub>1</sub> 的鍵打斷開始，但若由實驗一的高壓放電點火，是不是也有可能由 H—H 的鍵打斷開始呢？因為火花放電的能量，對打斷氫分子的鍵結綽綽有餘，這個問題尚待我們繼續研究。

## 八、參考資料

- (一) Morrison And Body, Organic Chemistry, 3rd, Ed  
美亞
- (二) Morr, Physical Chemistry, 4th, Ed 美亞
- (三) 王澄霞 高中化學上冊 東華書局
- (四) 國中化學第二冊 P. 12 ~ 15 國立編譯館

**評語：**使用塑膠注射筒改良國中化學氫與氯的反應，使其減少危險性，惟實驗所用體積太少，易引起實驗誤差，如能改為較大注射筒，使用更多體積氣體，效果較佳。