

知識反饋歷程的試探

• 國中化學教科書中有關水的電解實驗改良芻議 •

國中組化學第一名

台北市立金華女子國民中學

製作學生：曾莉雲等八人

指導老師：紀恭謙

一、實驗動機：

知識是經驗的累積，經驗則有賴於知識的沖激，兩者相生相成，相互為用，乃有所謂「知識爆發」時代的降臨。

英哲羅素曾經喟嘆，今日人類擁有太多的「知識」，但是卻缺乏「智慧」，「智慧」的開啓與孕育，必須各階段的教育以及各種範疇的教育密切配合，在科學教育方面，特別著重於科學精神的培養以及科學方法的訓練，如果對於從科學教科書上求得的知識囫圇吞棗，不求甚解，或光會背誦書文內容，而不能學習科學方法，鍛鍊自己解決問題的能力，則不是我們求知的本意，更談不上「智慧」的增進。

美國 CHEM study 化學教材開宗明義就強調「化學」是一種「實驗的科學」(“Chemistry-An Experimental Science”)，其重視實證的精神自不待言，曾經主持過「國家長期發展科學委員會」的胡適之先生生平最喜歡的一句口號是：「拿出證據來！」科學上的知識有很多是要我們「拿出證據」來的，這種「證據」包括「實證」與「推理過程」，科學的精神及其嚴密性就在於此。

我們已經學了一年半的國中化學，我們的化學知識大部分是經由國中化學教科書得來，在科學方法的訓練上，我們也是秉承化學教科書的教學行為目標而循序受益，我們很感激教科書所賜予的「知識」以及替我們開啓的「智慧」，但是在國中化學教科

書第二冊，有關水的電解實驗部分，我們自己動手實驗，發現了實驗結果與教科書所記載的有些出入，向老師求教時，老師要我們以既有的化學知識以及所受過的科學方法訓練，自己去發現問題，並謀求解決問題的方法，並且引 Ralph L. Woods 在「圖書館是什麼？」（“What Is A Library?”）一文中的一句話：「人們從圖書館中取出愈多的知識，最後回送給圖書館的知識也會愈多！」（“……the more knowledge people take from the library, the more will eventually return to it!”）而說：「這就叫做知識的『反饋』（feed back）」於是我們乃以有限的化學知識，以及戰戰兢兢的心情，展開了「知識反饋歷程的試探」。

二、實驗目的：

教科書中說明以硫酸為導電液，滴加入水中，以碳棒為電極，加以電解，可產生 H_2 與 O_2 兩種氣體，且其體積比恰為2：1，事實上不然，本實驗的目的，在於找出教科書中所載與事實不符的原因何在？並且提出一些由我們自己控制若干變因所做的實驗數據與結果，加上我們在操作過程中所獲得的心得等，綜合、比較、研判，為該電解水的實驗提供一些改良的小小意見。

三、實驗步驟與結果：

1. 重做教科書中所載的實驗，其儀器裝置如圖一所示，導電液 H_2SO_4 在水中的濃度，教科書中以「數滴」表示，不作硬性規定。但若以五、六滴濃硫酸滴加在600毫升燒杯半滿的蒸餾水中，其濃度約在0.01M至0.05M之間，因此為控制變因起見，本實驗在此步驟中， H_2SO_4 的濃度始終保持為0.05M，電源則以1.5V的乾電池四具串聯，總電壓為6V，室內溫度為18度，通電後按下馬錶，記錄時間與生成氣體體積的關係，實驗三次。電解完成之後，以燃著的火柴棒試驗陰極所生的氣體並以火柴餘燼檢驗陽極所生之氣體觀察並記錄結果。
2. 實驗裝置及步驟同前，但以0.1M的NaOH為電解液，分別各以碳棒及鉑絲為電極，通以電流電解。
3. 實驗裝置三座如附圖三所示，以碳棒為電極，並聯在電壓15V

的直流電源裝置上，分別各以0.1M、0.5M、1M等三種濃度的NaOH為電解液，通以電流。

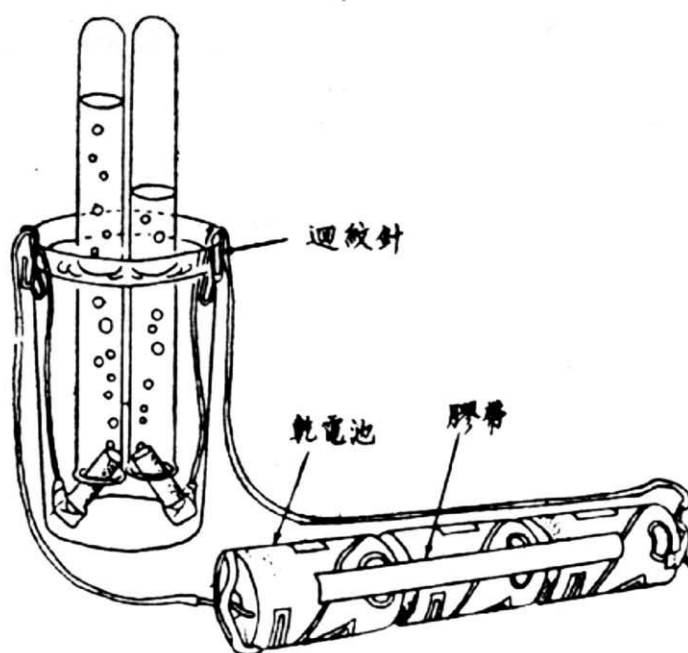


圖 一

4. 實驗裝置兩座如附圖三所示，並聯在15V的直流電源裝置，以銀片為電極，分別各以0.05M的 H_2SO_4 及0.1M的NaOH為電解液，通電加以電解，實驗結果示於記錄本上。

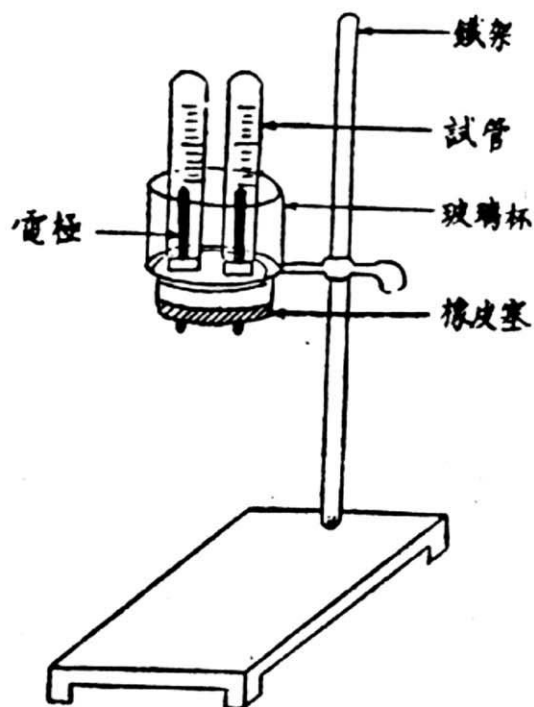


圖 二

5. 實驗裝置兩座如附圖三所示，以碳棒為電極分別各以0.05M的 H_2SO_4 及 0.01M的 NaOH 為電解液，前者接於15V的直流電源，後者接於6V的直流電源，加以電解，實驗結果詳見記錄本上第一及第十六頁，其個別平均值參見右方附表一及附表十六。

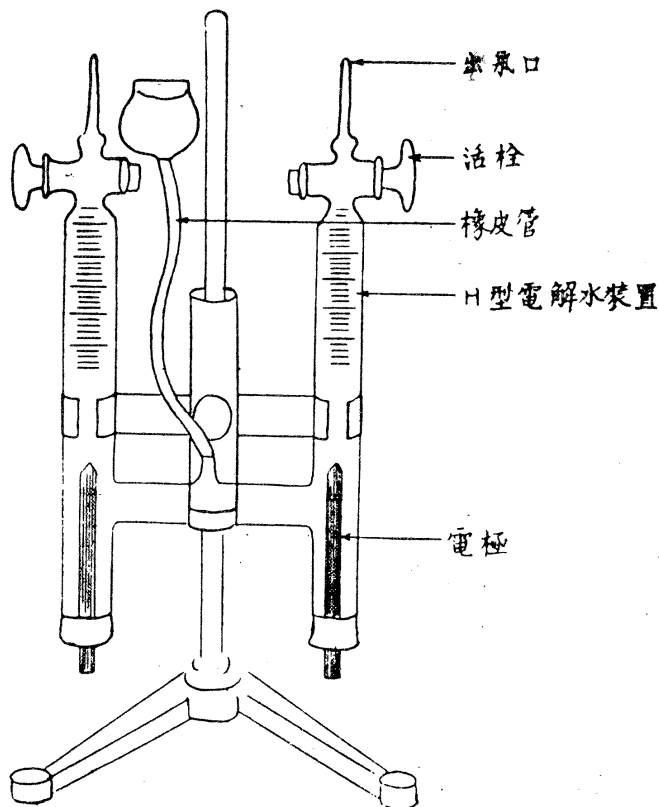


圖 三 鐵架

6. 實驗裝置五座如附圖四所示，並聯於6V的直流電源裝置，以鉑絲為電極，分別以0.1M、0.2M、0.5M、0.7M及1M的 H_2SO_4 為電解液，通電加以電解，實驗結果詳見記錄本上。

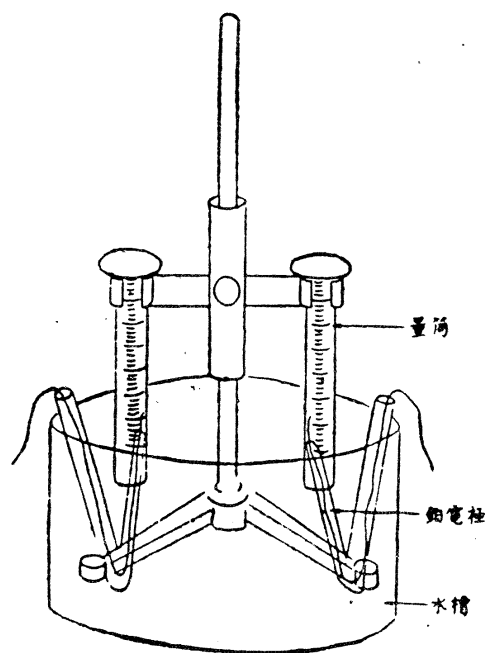


圖 四

7. 實驗裝置五座如附圖四所示，並聯於15V的直流電源裝置，以

鉑絲爲電極分別以 0.05M、0.1M、0.4M、0.5M 及 1M 的 NaOH 爲電解液，通電加以電解，實驗結果詳見記錄本。

8. 實驗裝置一座如附圖三所示，以 0.05M 的硫酸爲電解液，碳棒爲電極，接於 15V 的直流電源裝置，但陽極管活栓上頭的出氣口連接一橡皮管，再接一玻璃管，通入裝有澄清石灰水的試管中，先關閉該活栓，使不漏氣，通電八小時，待收集陽極氣體約 10 毫升之後，打開活栓使氣體通入澄清石灰水中，觀察石灰水之變化，發現石灰水變爲混濁狀。（在操作過程中陰極管上頭之活栓始終打開成通路，讓氫氣從出氣口溢出，以免因氫氣生成過多，壓低陰極液面而使電解電路中斷）。

四、討論與結論：

1. 實驗結果顯示以硫酸爲電解液，碳棒爲電極，加以電解，陰陽兩極所產生的氣體體積比約爲 7 : 1（參見附表一及表五）與課本所載 2 : 1 出入頗大，故陽極所生氣體是否爲氧氣殆有疑義。
2. 由實驗步驟 8 澄清石灰水變爲混濁狀，知上述陽極管所產生之氣體，應爲二氧化碳（ CO_2 ）。
3. 尋求以 NaOH 代替 H_2SO_4 爲導電液，仍以碳棒爲電極，發現生成之氣體確爲氫氣與氧氣，體積比雖比較接近 2 : 1，但誤差仍大（參見表 8、表 9 及表 10），且由實驗得知 NaOH 濃度愈大，誤差愈厲害。
4. 由前述 1.2.3. 知碳棒必須在 H_2SO_4 的存在下，才能與電解所產生的初生態氧〔O〕化合而成 CO_2 ，在 NaOH 存在下則否，顯然 H_2SO_4 扮演了「催化劑」的角色。
5. 尋求以銀片代替碳棒，發現不論以 NaOH 或 H_2SO_4 爲導電液，實驗結果陰陽兩極所生氣體之體積比約爲 2 : 1，準確度極高（參見表二及表三），但實驗後，在以 H_2SO_4 爲導電液的陽極銀片表面皆變黑，顯示在硫酸中電解，陽極的銀片起了某種反應，老師告訴我們銀片可與硫化氫或硫的蒸氣產生黑色的硫化銀沉澱，因此以銀片爲電極， H_2SO_4 爲導電液會有極化現象之虞，若改以 NaOH 爲導電液則否。

6. 尋求以鉑絲代替碳棒爲電極，而以 NaOH 爲導電液時，發現實驗結果， H_2 與 O_2 的體積比，均極理想（參見表十七、表十八、表十九、表二十。）
7. 若以鉑絲爲電極， H_2SO_4 爲導電液，發現除去可能的人爲誤差之外，效果亦極良好。
8. 以鉑絲爲電極， 0.1M 的 H_2SO_4 及 0.1M 的 NaOH 爲導電液，同以 6V 電壓的電源加以電解，實驗結果顯示產生氣體的速度， NaOH 約爲 H_2SO_4 的 1.5 倍，但 0.1M 的 H_2SO_4 含有 0.2M 的 H^+ 及 0.1M 的 SO_4^{2-} ， 0.1M 的 NaOH 僅含 0.1M 的 OH^- ，及 0.1M 的 Na^+ ，以離子總濃度而言， H_2SO_4 優於 NaOH ，而生成氣體的速度却居劣勢，故就幫助導電效能而言 NaOH 實優於 H_2SO_4 。
9. 由前述 5.6.7.8. 知若以 H_2SO_4 爲導電液，電極除了鉑絲較理想之外，銀片及碳棒皆有不良效應發生，至若以活性較大之金屬如銅或鎳鉻絲等用爲電極，則不待通電，便與 H_2SO_4 產生激烈的作用了，其誤差更大；若以 NaOH 爲導電液，實驗效果似乎不錯，但 NaOH 對玻璃儀器具有腐蝕性，對於刻有刻度的儀器，尤不宜長期盛裝 NaOH ，以免因腐蝕而造成儀器準確性之偏差過大，故 NaOH 仍不宜爲導電液。若尋求以其他酸類如 HCl 、 HNO_3 或中性鹽類如 NaCl 、 NaOH_3 來代替 H_2SO_4 ，則因活性關係，陽極產生的氣體已不是 O_2 而爲 Cl_2 或 NO ，這就失去了電解水的意義了，所以電解水應以 H_2SO_4 爲導電液，鉑絲爲電極最恰當。
10. 電解水裝置，一般實驗室常見的有如附圖一、圖二、圖三所示三種，圖一之缺點爲欲使試管裝滿水，倒插入杯面不大的燒杯中，操作上不甚容易，加以導線浸入溶液中，無論膠布包紮多緊密，疏漏在所難免，導線遂與溶液產生作用而造成實驗誤差。附圖二則不但試管倒插困難如圖一，而且其玻璃杯底的橡皮塞要塞緊到不漏水地步，以國中女生氣力而言，頗費工夫。附圖三如能克服下端橡皮漏水與上端活栓漏氣的問題，確不失爲一極佳的裝置，但這在所購買的儀器精良與否以及操作是否得

當，都是很值得考慮的，加以電極如圖二一般，須附於橡皮塞上，若用碳棒為電極，則碳棒穿孔處以及橡皮塞與玻璃管接觸處常漏得厲害，且有顧此失彼之憾，市售之純碳棒且會呈碳芯滲水現象；若電極為金屬絲或金屬片，則與導線焊錫位置，必須在橡皮塞外面，不使與溶液接觸，這在橡皮穿孔以及導線焊接的技術上，必須很講究，而同學們自己既不易辦到，求之以市面上之儀器行，則往往馬虎行事，因此附圖三構想雖佳，但操作上難臻理想，加以該H型裝置售價昂貴，洗滌或架設時甚易損壞，補充消耗不易。

11. 附圖四係我們自己根據操作的心得所設計的裝置，將鉑絲與導線焊接後，穿過彎曲玻璃導管，以高熱噴燈將鉑絲一端的玻璃熔化而密封，鉑絲便被夾在熔合的玻璃管中而成電極，此種電極導電時在靠近鉑絲的一端，玻璃管內外隔絕，可以防止導線與管外的溶液起反應，唯此種焊接行之於鉑絲而不適用於其他金屬或碳棒，此因碳棒在噴燈高熱的吹灼之下，容易燃燒而產生 CO_2 ，其他金屬則在高熱下不是表面氧化（如銅變黑）就是本身熔化掉。圖四的裝置要使量筒裝滿水而倒插於水槽內甚易，加之量筒上的刻度準確性也高，既不怕漏水也不怕漏氣，因此我們認為是比較理想的裝置。
12. 本實驗在電流強度的變因上不易控制，此因電解過程中，溶液的「濃度」時刻變動，濃度的大小影響到「電導」的強弱，從而線路中「電阻」不為固定值，雖然電源電壓控制為固定值，但依據歐姆定律得知電流與變動中的「電阻」成反比例，所以電解過程中電流不是一個定值。
13. 將所得數據依電解時間與電解所生成之氣體體積關係畫成座標圖，比較接近理想值的圖形， O_2 所標示的線段應該是 H_2 所標示的線段與橫軸所夾角度的分角線，而且兩線皆應通過原點，從這個標準去衡量，立即可以找出那一個實驗的誤差是較大的，並且可以比較其誤差的所在之處。
14. 座標圖中的圓圈，係代表以平均值為圓心，其最大偏差為半徑所涵蓋的偏差範圍。

附表：

	溶 液	濃 度	電 極	裝 置	電 壓	溫 度
表 一	H ₂ S O ₄	0.05M	碳 棒	如圖三	15V	18° C
表 二	H ₂ S O ₄	0.05M	銀 片	如圖三	15V	18° C
表 三	NaO H	0.1M	銀 片	如圖三	15V	18° C
表 四	NaO H	0.05M	鉑 絲	如圖四	15V	18° C
表 五	H ₂ S O ₄	0.05M	碳 棒	如圖一	6 V	18° C
表 六	NaO H	0.1M	碳 棒	如圖一	6 V	18° C
表 七	NaO H	0.1M	鉑 絲	如圖一	6 V	18° C
表 八	NaO H	0.1M	碳 棒	如圖三	15V	18° C
表 九	NaO H	0.5M	碳 棒	如圖三	15V	18° C
表 十	NaO H	1 M	碳 棒	如圖三	15V	18° C
表十一	H ₂ S O ₄	0.1M	鉑 絲	如圖四	6 V	18° C
表十二	H ₂ S O ₄	0.2M	鉑 絲	如圖四	6 V	18° C
表十三	H ₂ S O ₄	0.5M	鉑 絲	如圖四	6 V	18° C
表十四	H ₂ S O ₄	0.7M	鉑 絲	如圖四	6 V	18° C
表十五	H ₂ S O ₄	1 M	鉑 絲	如圖四	6 V	18° C
表十六	NaO H	0.01M	碳 棒	如圖三	6 V	18° C
表十七	NaO H	0.1M	鉑 絲	如圖四	15V	18° C
表十八	NaO H	0.4M	鉑 絲	如圖四	15V	18° C
表十九	NaO H	0.5M	鉑 絲	如圖四	15V	18° C
表二十	NaO H	1 M	鉑 絲	如圖四	15V	18° C

電解所生成氣體的體積(實驗三次平均值)

(毫升)

電解時間 (分)	H ₂	CO ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	CO ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂
5	1.43	0.02	1.25	0.25	1.28	0.60	0.00	0.00	0.43	0.00	0.18	0.10	1.12	0.73	0.68	0.22	4.70	1.94
10	2.53	0.13	2.53	0.77	2.32	1.05	0.00	0.00	0.88	0.00	0.67	0.32	1.80	0.97	1.32	0.77	註一	註一
15	3.48	0.30	3.68	1.32	3.33	1.55	0.12	0.00	1.28	0.00	1.10	0.47	2.40	1.27	2.28	1.20	註一	註一
20	4.60	0.43	4.66	1.78	4.55	2.15	0.77	0.00	1.62	0.00	1.48	0.65	3.15	1.58	3.27	1.52	註一	註一
25	5.61	0.61	5.28	1.97	5.45	2.57	1.13	0.12	2.04	0.00	1.72	0.78	3.77	1.90	3.87	1.60	註一	註一
30	6.68	0.75	6.20	2.17	6.13	2.92	1.40	0.42	2.33	0.18	2.10	0.92	4.43	2.13	5.20	2.32	註一	註一
每分鐘所產生氣體體積	0.22	0.03	0.21	0.09	0.20	0.10	0.06	0.01	0.07	0.01	0.08	0.03	0.11	0.06	0.20	0.09	0.92	0.33
最大偏差	±0.08	±0.01	±0.08	±0.06	±0.18	±0.08	±0.11	±0.05	±0.02	±0.01	±0.04	±0.01	±0.09	±0.04	±0.07	±0.28	±0.16	±0.23

H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂
7.38	2.88	0.55	0.05	1.62	0.94	1.63	0.70	3.58	2.03	3.02	1.55	0.00	0.00	1.48	0.68	3.43	1.90	3.23	1.86	7.05	3.63
註二	註二	0.82	0.27	2.83	1.68	3.33	1.52	6.47	3.43	6.42	3.17	0.00	0.00	2.60	1.42	6.47	3.43	6.73	3.60	註九	註九
註二	註二	1.02	0.40	4.30	2.28	5.03	2.33	9.58	5.03	註六	註六	0.00	0.03	3.67	1.97	9.60	5.00	10.33	5.43	註九	註九
註二	註二	1.30	0.50	6.53	2.87	6.77	3.20	註五	註五	註六	註六	0.13	0.12	4.77	2.50	註七	註七	註八	註八	註九	註九
註二	註二	1.70	0.70	註三	註三	8.02	3.85	註五	註五	註六	註六	0.33	0.33	6.38	3.05	註七	註七	註八	註八	註九	註九
註二	註二	2.00	0.88	註三	註三	註四	註四	註五	註五	註六	註六	0.68	0.50	7.40	3.60	註七	註七	註八	註八	註九	註九
1.51	0.52	0.08	0.04	0.32	0.13	0.37	0.19	0.52	0.31	0.65	0.32	0.05	0.02	0.22	0.11	0.61	0.28	0.71	0.36	1.61	0.78
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
0.43	0.26	0.07	0.01	0.85	0.07	0.14	0.07	0.26	0.15	0.02	0.01	0.05	0.01	0.10	0.03	0.04	0.06	0.13	0.05		