

化學魔術演示 - 微型電解與顏色變換

方金祥 * 徐永源 * 洪文東 **

* 國立高雄師範大學 化學系

** 國立屏東師範學院 自然科學教育學系

微型化學實驗 (Microscale chemistry laboratory, 簡稱 MCL 或 ML) 有將原傳統實驗裝置如玻璃材質之容器、試管、燒杯、冷凝管、滴定管 等加以微小化而成, 亦有將原傳統實驗裝置加以改良成不易破損的塑膠材質、體積小、輕便易攜帶的微型改良實驗裝置。微型有機化學實驗在國外發展非常迅速, 並帶動了無機化學、普通化學及中學化學的微型實驗的研究與應用。目前微型化學實驗在大學和中學化學中的應用已受到國際化學教育界的重視, 美國化學教育雜誌自一九八九年十一月起開闢了「微型實驗」的專欄, 以加強對微型化學實驗的報導, 至今微型化學實驗在世界上已有很好的發展。本文作者之一方金祥曾在本省大學及中學推展有關微型化學實驗多年, 在北、中南區及金門地區舉辦過三、四十場次的師生實作研習活動, 內容包含有電解、氣體製備、噴泉、木材乾餾、滴定 等等微型化學實驗, 由參與研習師生實際動手實作後, 心得與回饋資料在在顯示出微型實驗具有下列的優點為:

(一)微型化學實驗儀器之特點:

- (1)器材簡單, 組合、拆離及修理均很容易, 操作方便又安全。
- (2)可分段供給不同反應物使其反應發生。
- (3)體積小、裝置輕便、可隨身攜帶。
- (4)節省時間, 結果正確, 耗用藥少、節省經費

開支, 降低污染。

(二)微型化學實驗在化學教學實驗上之特點:

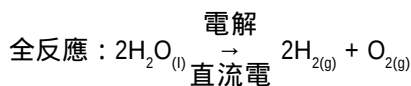
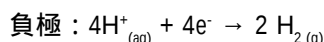
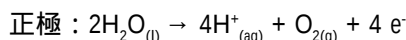
- (1)大幅度節省耗用藥品, 耗用量僅為傳統式的十分之一至百分之一, 甚至可少到千分之一。
- (2)污染低、實驗室安全、衛生與環境明顯改善。
- (3)取材、組裝、實驗操作等均很容易且安全性高, 可提供師生合作自製實驗教具的機會與能力。
- (4)縮短實驗時間, 可增加實驗項目及師生互相討論和發表實驗結果的機會。
- (5)體積小、價廉、學生可各自擁有一套器材, 自己動手組合與操作, 實驗過程極富趣味性能引起學生做實驗的興趣, 激勵學生創造思考的能力。
- (6)可在實驗室、教室、家裡或戶外等任何場所進行實驗。

水的電解在中等以上之各級學校之化學實驗中, 為一非常有趣且列為必做的一個實驗, 因此本文以微型電解實驗來介紹化學魔術的演示。其電解水之原理是基於當在一電解質溶液中通入電流, 則溶液中之陽離子會向陰極(負極)移動, 而陰離子會向陽極(正極)移動。由於帶電荷之離子的移動而使其電荷能橫越陰陽兩極並溝通電流, 此乃電解質溶液之所以會導電的原因。同時, 由於帶負電荷之陰離子在陽極處放出電子, 而帶正電荷

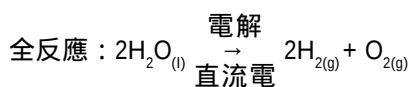
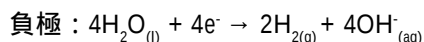
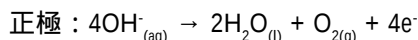
之陽離子在陰極處接受電子，而引起化學反應，此一現象即為眾所週知的電解(Electrolysis)。然而由於純水是不易導電的，因此電解水時必須加入一些本身不易被電解之酸(如硫酸)、鹼(如氫氧化鈉)或中性鹽類(如硝酸鉀)等來促進其導電，而在直流電源之電流介入之下便可使水分子加以分解，在正極會產生氧氣，負極則產生氫氣。

採用酸性、鹼性與中性等三種不同性質的電解質進行電解水時，雖在正、負兩極所發生之半反應有所不同，但其總反應乃是一致的，其反應式分別如下：

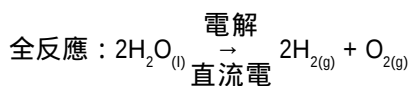
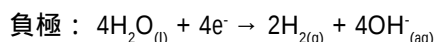
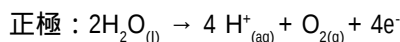
1. 在酸性溶液中電解之半反應與全反應：



2. 在鹼性溶液中電解之半反應與全反應：



3. 在中性溶液中電解之半反應與全反應：



水經電解之後，除了在負極產生氫氣，在正極產生氧氣之外。於正負兩極處之酸鹼

性也會隨之改變。筆者亦曾在本刊第 103 期中發表一篇「電解後陰陽兩極酸鹼度之速測法」，若欲觀察水電解過程中陰(負)陽(正)兩極酸鹼值之變化時，則不宜選擇酸性的稀硫酸或鹼性的氫氧化鈉等作為電解質，而以選擇中性的硝酸鉀或硫酸鈉為電解質為宜。此外再配合加入各種不同的化學酸鹼指示劑，便可輕易地由指示劑在正負極酸鹼性改變之同時，產生不同的顏色變化。若在電解幾分鐘之後，將原來的正極改為負極，負極改為正極。則會發現再經幾分鐘之電解後，兩極的顏色會互相轉換，使電解過程顯現得格外的神奇與有趣。

目的

設計一套小而省的微型電解裝置，進而進行水的電解，以能明確觀察到產生的氫氣與氧氣的體積比為正確的二比一。並於加入酸鹼指示劑後可顯現出正負兩極酸鹼性之顏色變化，電解後再更換正負極時，便可使在正、負極附近溶液的酸鹼性與其顏色互換，因此透過本文的學習或實做時，將可讓學生學習到：(1)指示劑在酸鹼性溶液中之顏色變化，(2)電解時正、負極處之溶液呈現出不同的酸鹼性，(3)當將正、負極對調後，由其顏色之再次變換，可使學生瞭解其原因是經由酸鹼中和後之結果。整個演示過程雖然是透過魔術的方式來展現，但可使學生覺得化學中電解之奇妙與趣味性，以及化學魔術的神奇所在，藉以增進學生學習化學之興趣，此乃為本文之主要目的。

材料與藥品

硝酸鉀溶液 (20 % KNO_3)	50 mL
化學指示劑 (酚、溴瑞香草藍、廣用指示劑)	各 10 mL
塑膠注射筒 (10 mL)	3 隻
塑膠注射筒 (20 mL)	1 隻
三通塑膠活栓 (Top Three-way Stopcock)	3 個
可變電壓整流器 (Laser, AC Adaptor)	
(附有正負極轉換開關者)	1 個
透明壓克力盒 (20 x 2 x 1.5 cm, 取自牙刷空盒子)	1 個
塑膠小漏斗	
(取自點滴輸液套)	2 個
塑膠培養皿 (直徑 20 cm)	1 個
熱熔膠及熱熔槍	1 組
乾電池(9V)	1 粒

微型電解裝置之設計

本套微型電解裝置是為了演示化學魔術而特別精心設計，有別於參考資料 5 至 8 中專供教學實驗用的微型電解裝置，為使化學魔術更具神奇及可看性之效果，乃將兩隻電解管加大距離，電解槽改用長方體的透明壓克力盒（電解後易於呈現出兩種顏色交界面之效果），另又在其電源部分改用附有正負極轉換開關之可變電壓整流器（方便於化學魔術演示中暗地裡變換正負極之位置）。

1. 取透明壓克力盒子（取自牙刷空盒子）作為電解槽，在其中央位置鑽一個小孔，然後在此小孔上黏一個雙通塑膠活栓（由三通塑膠活栓改裝而成），並在雙通塑膠活栓上接一隻 20 mL 的塑膠注射筒。
2. 在距離透明壓克力盒子兩端 5 cm 處各挖一個直徑約 1 cm 的孔，然後用熱熔膠在此孔上各

黏一隻 10 mL 的塑膠注射筒作為電解管。

3. 在兩隻 10 mL 的塑膠注射筒的正下方各用熱熔膠將一支接有導線的注射針（當電極用），然後將其底部用熱熔膠固定在塑膠培養皿上，使期能穩穩的置放於實驗桌上，如此便組合成一套微型電解裝置，如圖 1 所示。
4. 另在兩隻 10 mL 的塑膠注射筒的上方注射針接頭處，各接 1 個雙通塑膠活栓，並於其上在各接一條 2cm 長的橡皮管（作為抽取液體裝滿電解管之用）。
5. 檢驗電解後之氫氣與氧氣時，將雙通塑膠活栓上的橡皮管取下，改接上塑膠小漏斗（取自點滴輸液套改裝之），如圖 2 所示。

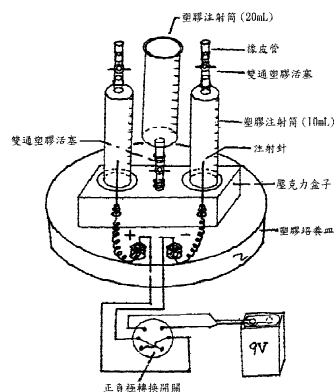


圖 1. 微型電解裝置圖

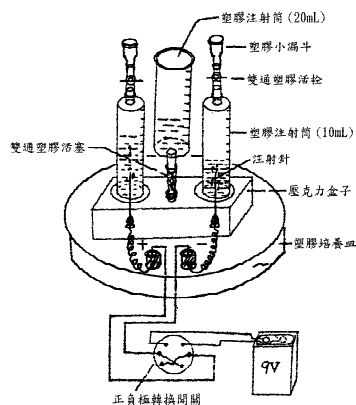


圖 2. 電解產物氫氣與氧氣檢驗裝置圖

化學魔術演示

1. 水的電解

- (1) 將微型電解裝置上三個雙通塑膠活栓全部打開。
- (2) 由 20 mL 的塑膠注射筒上方倒入 50 mL 20 % 的硝酸鉀溶液（當電解液）。
- (3) 待 50 mL 20 % 的硝酸鉀溶液進入另 2 隻 10 mL 的塑膠注射筒中，至液面等高。
- (4) 利用另一隻 10 mL 的塑膠注射筒接在第一隻電解管上方之雙通塑膠活栓上的橡皮管，抽取電解液至裝滿電解管後，將其下的雙通塑膠活栓關住。
- (5) 同步驟(4)將第二隻電解管裝滿電解液後，再將其下的雙通塑膠活栓關住。
- (6) 接上電源後便開始電解，經約 10 分鐘後關掉電源，準備檢驗氫氣和氧氣。

2. 氫氣和氧氣之檢驗

- (1) 電解 10 分鐘後關掉電源，讀取氫氣和氧氣的體積，並求出其比值為 2 : 1。
- (2) 先將 20 mL 的塑膠注射筒下方之雙通塑膠活栓關住。
- (3) 再將兩隻 10 mL 的塑膠注射筒上雙通塑膠活栓上的橡皮管取下，改接上塑膠小漏斗。
- (4) 氫氣之檢驗：打開氣體較多的電解管上之雙通塑膠活栓，並控制 20 mL 的塑膠注射筒下方之雙通塑膠活栓，使液體往下流而將氣體排至塑膠小漏斗中，然後再關住 20 mL 塑膠注射筒下方及該電解管上方的雙通塑膠活栓。迅速將一根點燃的火柴靠近塑膠小漏斗上方，若有小小爆鳴聲時，即可證明該電解管收集到的氣體為氫氣。
- (5) 氧氣之檢驗：打開氣體較少的電解管上之雙

通塑膠活栓，並控制 20 mL 的塑膠注射筒下方之雙通塑膠活栓，使液體往下流而將氣體排至塑膠小漏斗中，然後再關住 20 mL 塑膠注射筒下方及該電解管上方的雙通塑膠活栓。以一根點燃的線香插入塑膠小漏斗中，若發現線香變得更亮或燃燒起來時，便可證明該電解管收集到的氣體為氧氣。

3. 電解時正、負兩極顏色變化與互換

- (1) 為使本實驗之演示過程更顯現出化學魔術之神奇與趣味性，演示前需分別將電解槽（壓克力盒子部分）用有色紙浮貼遮住之，在演示中暫時不讓學生看到電解槽中溶液顏色之變化情形，另外再準備一個可將整套實驗裝置蓋住之紙箱盒子備用。
- (2) 將微型電解裝置上的三個雙通塑膠活栓全部打開，如圖 3 所示。由該裝置中間位置的 20 mL 塑膠注射筒上方倒入 50 mL 20 % 的硝酸鉀溶液（當電解液）及分別加入 5 mL 的化學指示劑（如酚、溴瑞香草藍、廣用指示劑），硝酸鉀與指示劑之混合溶液會進入其左右 2 隻 10 mL 的塑膠注射筒中至液面等高止。
- (3) 利用另一隻塑膠注射筒分別接在電解管上之橡皮管，抽取電解管中的空氣使電解液裝滿電解管，然後將 20 mL 的塑膠注射筒下方之雙通塑膠活栓關住，並將 20 mL 的塑膠注射筒取下來。
- (4) 將兩隻 10 mL 的塑膠注射筒（電解管）上方之雙通塑膠活栓打開，然後接上電源，將可變電壓之整流器控制在 9 V 的位置，便開始電解。
- (5) 經電解數分鐘之後，發現正、負兩極的溶液

會呈現出不同的顏色，此刻可請學生看清楚正負兩極之顏色並加以記錄。

- (6)取一個能蓋住整套微型電解裝置之紙箱子，將實驗裝置罩住，然後將可變電壓整流器上之正負極轉換開關暗地裡變換一下（此一動作勿讓學生看到），使原先的正極變為負極，而負極變為正極。
- (7)然後再經電解數分鐘之後，再把紙箱子移開，會發現原先呈現在正極的顏色會消失而呈現出另一種顏色，而原先呈現在負極的顏色也不見了，但也呈現出另一種顏色來，其結果如表一所列。

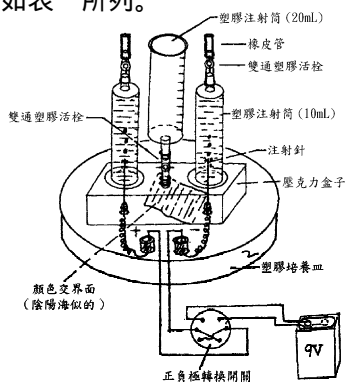


圖 3.電解正負兩極酸鹼性及顏色變化與變換之演示

表一、電解後正、負兩極酸鹼性及其顏色之變換

指示劑種類	電解前		電解後		正負極變換後	
	左電解管 (正極)	右電解管 (負極)	左電解管 (正極)	右電解管 (負極)	左電解管 (負極)	右電解管 (正極)
酚 酞	無色	無色	無色	粉紅色	粉紅色	無色
溴瑞香草藍	綠色	綠色	黃色	藍色	藍色	黃色
廣用指示劑	綠色	綠色	橘紅色	紫藍色	紫藍色	橘紅色

4. 微型電解裝置之特點

- (1)耗用藥品少，只需約 50 mL 的硝酸鉀溶液作為電解質，可永遠使用，減少污染。
- (2)可直接讀取電解所產生的氫氣和氧氣的體

積，並且能得到正確的比值（2:1）。

- (3)可直接在電解管上檢驗氫氣或氧氣之性質，效果明確、方便又安全。
- (4)加入不同指示劑與中性硝酸鉀溶液，可觀察電解時正負極的酸鹼性變化。
- (5)電解槽中之電解液在正負極附近形成兩種顏色之交界面，如同陰陽海似的非常美麗。
- (6)採用可使電壓及控制正負極轉換開關，可使正負極互相改變，導致正負極溶液之顏色也隨之改變，化學魔術之演示過程極具神奇與趣味性。
- (7)可在實驗室、一般教室、家庭甚至於戶外等場所進行實驗演示。

5. 注意事項

- (1)電解完畢後電解液可儲存在微型電解裝置中，供作下次實驗之用（永遠有效），不必倒出來處理。
- (2)在實驗室以使用可變電壓整容器（附有正、負極轉換開關者）為宜，方便變換正、負極（操作時避免讓觀看者看到此一動作），同時可避免廢電池產生，無污染較為環保。若無可變電壓整容器或在戶外時則可用 9 V 乾電池替代（要注意廢乾電池之回收）。

結論

利用本文設計的「微型電解裝置」來進行水的電解時，不但能節省很多藥品，操作容易又安全，結果正確（氫氣與氧氣體積比為 2:1），氣體性質之檢驗容易。又可供作化學魔術之演示，以本套微型電解裝置演示電解中正負兩極酸鹼性及顏色之變化與變換時，電解液以中性的硝酸鉀溶液較佳，因其溶液

為中性，電解後正極之 pH 值約為 5，負極之 pH 值約為 13 左右，使電解後正負兩極酸鹼性有很明顯的改變與差距，能使化學酸鹼指示劑在兩隻電解管中比較容易在幾分鐘之內達到酸鹼中和而有明顯的顏色變化。

此外，在電解槽中亦可看到靠近兩極的附近有兩種不同的顏色形成一明顯的界面，真有如陰陽海似的。因此若將電解槽之部分暫用白紙遮住，以及將整套裝置於第一次電解後用紙相盒子罩住，電源之供應以使用可變電壓整容器為宜（亦可用 9 V 乾電池替代之），於化學魔術演示之進行中只要偷偷地將正負及變換開關輕搬一下，即可將正負極加以變換，將可使整個演示更具有化學魔術的特性，使學生覺得此一過程非常驚奇，以展現出化學實驗之神奇與奧妙，藉以吸引住學生的好奇心與學習的注意力和興趣。

參考資料

1. 方金祥(民76) 電解中陰陽極酸鹼度之速測法。本刊第 103 期，51-57 頁。
2. 周寧懷、宋學梓 (1992) 微型化學實驗。杭

州，浙江科學技術出版社。

3. 方金祥(民84) 新型電解裝置之改良設計研究。化學，第 53 卷，第 4 期，385-394 頁。
4. 方金祥(民87) 中學微型化學實驗之設計研究。化學，第 56 卷，第 4 期，257-266 頁。
5. 蔡維藩、陳維華 (1998) 師範教育研究文集（微型化學實驗卷）。遼寧師範大學出版社。
6. 方金祥(1998) 微型實驗設計。中華優秀科學論文選（教育卷），總第三卷，789-796 頁，四川人民出版社印行。
7. 方金祥(民88) 微型電解裝置之設計研究。化學，第 57 卷，第 3 期，225-236 頁。
8. 周寧懷、王德琳 (1999) 微型有機化學實驗。北京，科學出版社。
9. 方金祥(民89) 微型化學實驗之設計與製作。高雄市，高雄復文圖書出版社（初版二刷），1-300 頁。
10. 方金祥(2000) 微型氫氣製備裝置之設計。化學教育（北京師大），第 6 期(總第 165 期)，39-42 頁。

(上承第 47 頁)

20. Taylor, W. C. and R. J. Hickey. 1992. Habitat, evolution, and speciation in Isoetes. *Annals Missouri Botany Garden* 79: p613-622.
21. Wilhelm, M. S., S. R. Lawry and D. D. Hardy. 1989. Creation and management of wetlands using municipal wastewater in northern Arizona: a status report, in *Con-*

structed Wetlands for Wastewater Treatment, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Mich., p179-185.

七、植物鑑定參考文獻

1. 臺灣植物誌第二版編輯委員會，1993-1998。Flora of Taiwan, 2nd ed. (臺灣植物誌第二版) vol.1-5。台大植物學系。