

渾身是勁

—以廢電池改裝為高功率的鋅銅電池

高中組化學科第一名

省立嘉義高中

作者：蕭捷健、丁建裕、許軒榮、何顏均
指導教師：吳聰健

一、研究動機

由於實驗課本的鋅銅電池裝置，輸出功率不及一毫瓦特，以致不具實用性。在歷屆中小學科展中，已有不少改良鋅銅電池的作品，但仍不具有實用性。而且仍有許多可能影響電池電流的變因未經探討，因此引發我們進一步研究的動機。由於市售乾電池已具有鋅極，所以我們希望能回收廢電池，將其改裝為功率與市售乾電池相當的鋅銅電池。

二、研究目的

(1)影響鋅銅電池電流大小的變因有許多，我們將被探討過的變因重新驗證；並就未被探討的變因加以研究。又在我們翻閱的眾多資料中，鋅銅反應的活化能值未曾被測定。我們設計了一個簡單的化學動力學研究方法，來測定鋅銅電池反應的活化能。

(2)利用廢電池的鋅極，並以我們的研究結果，將其改裝為電流較大的鋅銅電池，使廢電池可以資源回收再利用。

三、研究器材

硫酸銅、硫酸鋅、濃硫酸、濃氨水、硝酸鉀、U型管、燒杯、量筒、量瓶、鋅片、銅片、銅箔、數位式電錶、棉花、棉布、廢棄乾電池。

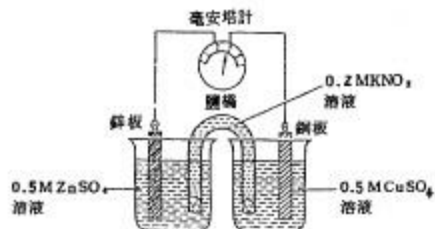
四、研究方法

〔研究一〕

1. 主題：測定不同溫度下的電流大小，推測出鋅銅電池反應的活化能。

2. 研究設計：

(1) 裝置：如下圖（一）



圖（一）

(2) 說明：

由於電流大小為單位時間流經導線的電荷數，而單位時間流經導線的電荷數正比於單位時間鋅離子或銅離子莫耳數的改變量。亦即電池電流大小正比於電池反應速率。由Arrhenius equation得知，溫度對反應速率的影響程度，取決於反應活化能 E_a 值大小。故本研究由溫度與電流大小的關係，推測出電池反應的活化能值。詳細推導過程如討論。

(3) 實驗步驟：

控制變因

CuSO_4	ZnSO_4	KNO_3 鹽橋	銅片浸入液面	鋅片浸入液面
0.05M	0.5M	0.2M	2.7 cm^2	2.7 cm^2

操作變因：將裝置放於不同溫度之恆溫槽

(4) 結果：

T ($^{\circ}\text{C}$)	25 $^{\circ}\text{C}$	35 $^{\circ}\text{C}$	45 $^{\circ}\text{C}$	55 $^{\circ}\text{C}$
I (mA)	0.858	0.915	0.972	1.030

(5) 討論：

(a) 由實驗結果可知，溫度愈高，電池電流愈大。而電壓並無顯著變化，所以未列入表中。此結果顯示溫度升高，電池反應速率增加，所以電流隨之增加。

(b) 由於本研究濃度大小為控制變因，所以速率 $r \propto$ 速率常數 $k \propto e^{-\frac{E_a}{RT}}$ 。

$$r_1 \alpha e^{\frac{E_a}{RT_1}} ; r_2 \alpha e^{\frac{E_a}{RT_2}} \text{ 因此 } \ell \frac{r_2}{r_1} = \frac{e^{\frac{E_a}{RT_2}}}{e^{\frac{E_a}{RT_1}}} \dots\dots ①$$

又速率 $r \propto$ 電流 i ，所以①式可改寫為

$$\ell \frac{i_2}{i_1} = \frac{e^{\frac{E_a}{RT_2}}}{e^{\frac{E_a}{RT_1}}} \dots\dots ②$$

(c)將上表25℃，35℃時之電流分別為0.858及0.915mA代入②式（溫度需改為絕對溫度）算出 E_a 值=4.908 KJ/mole；同理由35℃，45℃時之電流分別為0.915，0.972mA代入②式算出 E_a 值=4.921 KJ/mole；再以45℃，55℃電流分別為0.972，1.030代入②式，算出 E_a 值=4.872 KJ/mole，求出 E_a 平均值為4.900 KJ/mole。由於我們從眾多資料中，並未找到鋅銅電池活化能值，所以未研究所測定結果無法計算誤差，以驗證本方法的準確性，我們深以為憾。

(d)在高中化學第六章中提到，一般化學反應在室溫附近，每增加10℃，反應速率加倍，但事實上此假設要成立，必需在活化能約為50 KJ/mole的化學反應才可適用。

〔研究二〕

1.主題：電極板與液面的接觸面積對電流的影響

2.研究設計

(1)裝置：如圖（一）

(2)實驗步驟：

控制變因		
CuSO ₄	ZnSO ₄	KNO ₃
0.5M	0.5M	0.2M

操作變因：改變電極板侵入液面的表面積

(3)結果：

電極浸入液面面積 (cm ²)	1.25	2.50	3.75	5.00
電流 (mA)	0.828	0.842	0.853	0.865

(4)討論：

(a)本研究結果顯示，電極浸於液面下之面積愈大，電流愈大，但電壓值不變。此結果與第三十屆中小學科展國中化學組第三名作品的研究結果不符。該研究結果認為電極與電解液的接觸面積，並不影響電流大小。概因當時使用的電流計較不靈敏之故。

(b)由於電極與電解液的接觸面積愈大，反應速率將愈大，故電流亦愈大。但彼此並非正比關係。

〔研究三〕

1.主題：電極板與鹽橋的距離對電流的影響

2.說明：在我們參考資料中，並未有此項變因之討論，而是討論到兩電極愈靠近，電流愈大，但真的是這樣嗎？

3.研究設計：

(1)裝置：如圖（一）

(2)實驗步驟：

控制變因			
CuSO ₄	ZnSO ₄	KNO ₃	電極溶液接觸面
0.5M	0.5M	0.2M	2.7cm ²

操作變因：改變電極板與鹽橋的距離

(3)結果：

將鋅極固定在鹽橋上，改變銅極與鹽橋之距離

銅極與鹽橋距離 (cm)	0.00	1.00	2.00	3.00
電流 (mA)	0.822	0.820	0.818	0.816

將銅極固定在鹽橋上，改變鋅極與鹽橋之距離

鋅極與鹽橋距離 (cm)	0.00	1.00	2.00	3.00
電流 (mA)	0.822	0.820	0.818	0.816

(4)討論：

(a)由本研究之結果顯示，電極離鹽橋愈近，電流略為增大。在我們的參考資料中有作者提及兩電極彼此愈靠近，電流愈大，但我們驗證的結果發現事實上這是錯誤的說法。我們驗證的過程如以下討論(b)。

(b)我們將兩電極均放於鹽橋內側且與鹽橋距離2公分，測完電流後，將電極移至鹽橋外側與鹽橋距離2公分，再測一次電流。前後二次實驗電極與鹽橋的距離並未改變，但前者兩電極的距離卻較後者近。而我們測定電流顯示前後二次測定的電流完全相同。顯示電流大小與兩電極板彼此間的距離無關。那麼，為何有兩電極板愈靠近，電流愈大的錯誤說法呢？事實上，這是因為兩電極在彼此靠近

的過程中可能因而更靠近鹽橋而電流變大。

(c)由本研究的結果顯示，在從事科學研究時應思維嚴緊，詳細求證，以免所得結果解釋錯誤。

〔研究四〕

1.主題：電解質濃度對電流大小的影響

2.說明：在以往的作品中，只論及兩邊溶液同時改變的影響，我們希望再探討固定某電解液濃度而改變另一電解液濃度時的影響。

3.研究設計：

(1)裝置：如圖（一）

(2)實驗步驟：

控制變因

KNO ₃	電極與溶液接觸	電極與鹽橋距離
0.2M	2.7cm ²	0

操作變因：CuSO₄及ZnSO₄濃度

(3)結果：

兩電解質同時改變

ZnSO ₄	1.00	0.50	0.25	0.125
CuSO ₄	1.00	0.50	0.25	0.125
電流 (mA)	0.822	0.790	0.765	0.741

固定ZnSO₄為1M改變CuSO₄濃度

CuSO ₄ (M)	1.00	0.50	0.25	0.125
電流 (mA)	0.822	0.806	0.801	0.792

固定CuSO₄為1M改變ZnSO₄濃度

ZnSO ₄ (M)	1.00	0.50	0.25	0.125
電流 (mA)	0.822	0.829	0.836	0.844

(4)討論：

(a)由實驗結果顯示兩電解液濃度若同時降低，電流變小。這是因為濃度愈

小，反應速率愈小，故電流愈小。

(b)若固定 ZnSO_4 濃度時，當 CuSO_4 濃度愈小，電流愈小，這是因為 CuSO_4 濃度愈小將使電壓下降且反應速率愈小，故電流愈小。

(c)若固定 CuSO_4 濃度時，當 ZnSO_4 濃度愈小，電流反而愈大。這是因為當 ZnSO_4 濃度變小時，並不影響正向反應速率，但卻造成電壓增大，而使電流增大。

【研究五】

1.主題：電解液pH值對電流的影響

2.說明：在以前的作品並未探討之變因。我們希望加以探討。

3.研究設計：

(1)裝置如圖（一）

(2)實驗步驟：

將電池組合後，兩溶液滴入等量濃硫酸，並觀察電流大小。

(3)結果：

pH值的改變並未對電流造成改變。

(4)討論：

(a)本研究發現，無論兩溶液一起改變pH值或僅一溶液改變pH值，電流均未變化。此結果代表氫離子濃度對電壓及反應速率均不造成影響，故電流一定。

(b)另外，我們發現若在 CuSO_4 溶液中加入濃氨水，將使電壓及電流均降低，而若在 ZnSO_4 溶液中加入濃氨水，卻使電壓及電流均增大。我們推測可能因形成錯離子有關。當形成穩定的銅氨錯離子，將使正向反應變小，而相反的形成鋅氨錯離子，將使反應電動勢增大，故得到如我們觀察到的結果。

【研究六】

1.主題：鹽橋懸空，貼底的影響

2.說明：由於我們在實驗時發現鹽橋懸空與否，電流讀數不同，所以才得以探討此一未被探討過的變因。

3.研究設計：

(1)裝置：如圖（一）

(2)實驗步驟：

控制變因				
CuSO_4	ZnSO_4	KNO_3	電極與溶液接觸	電極與鹽橋距離
0.5M	0.5M	0.2M	2.7 cm^2	0 cm

改變變因：鹽橋懸空與否

(3)結果：

鹽橋位置	電流 (A)
懸空	0.820
貼於燒杯底	0.805

(4)討論：

(a)這個結果讓我們覺得有趣，並感嘆在從事科學研究的過程中，要完全掌握變因確實不易。

(b)由此實驗結果，可推測當鹽橋懸空時，離子流動較容易。使電流較大，我們將鹽橋貼底，並用力加壓，發現電流將更低，更證明上述的推測無誤。為了控制此一變因，我們從事的每一實驗，鹽橋均懸空放置。

〔研究七〕

1.主題：鹽橋濃度大小對電流的影響

2.研究設計：

(1)裝置：如圖（一）

(2)實驗步驟：

控制變因

CuSO ₄	ZnSO ₄	電極與溶液接觸	電極與鹽橋距離
0.5M	0.5M	2.7 cm ²	0 cm

操作變因：鹽橋中KNO₃的濃度

(3)結果：

KNO ₃ (M)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
電流 (mA)	0.822	1.274	1.584	1.852	1.933	1.864

(4)討論：

(a)由實驗結果顯示，KNO₃濃度愈大電流愈大，但濃度1.0M以上電流反而變小。

(b)當鹽類濃度愈大時，離子游動速率愈快，所以導電性愈好。但鹽類濃度過高，由於離子強度太大，解離度及活動性都變小，以致電流反而變小。

(c)雖然結果顯示電流與鹽橋電解質濃度有關，但對電壓卻沒有顯著影響。

概因電解質濃度增加，並未降低鹽橋的內電阻，但因離子游動性變大，故使電流增加。那麼鹽橋所造成的內電阻如何有效降低呢？由於鹽橋的角色在提供離子，維持溶液電中性。具導體的功能，所以我們認為鹽橋的截面積愈大，電阻愈小。因此我們繼續研究八的探討。

〔研究八〕

1.主題：鹽橋截面積，對電流的影響。

2.說明：我們取數個截面積相同的鹽橋，藉由改變鹽橋數目的使用，以改變鹽橋與電解質溶液的接觸面積。

3.設計實驗：

(1)裝置：如圖（一）

(2)實驗步驟：

控制變因

CuSO ₄	ZnSO ₄	KNO ₃	電極與溶液接觸	電極與鹽橋距離
0.5M	0.5M	0.2M	2.7 cm ²	0 cm

操作變因：鹽橋的數目

(3)結果：

鹽橋數	1	2	3	4
電流 (mA)	0.886	1.754	2.673	3.473

(4)討論：

(a)由結果顯示電流大小與鹽橋數目成正比。而且鹽橋與電解液接觸面積加倍時，電流則呈1.98倍。但電壓值並未明顯改變。

(b)由結果我們推論，因為電流值很小，所以內電阻所造成的電位降很小，因此電壓值的改變不明顯。但因無負載下，整個電路的電阻取決於內電阻，所以當鹽橋截面積愈大，內電阻愈小，電流愈大。

(c)由實驗結果，鹽橋接觸面積變二倍，電流變1.98倍，假設當鹽橋的截面積為 n 時，此時內電阻來自於電解液者為 R_e ，來自於鹽橋為 R_b ；此時內電阻為 $R_e + R_b$ ，而截面積 $2n$ 時內電阻來自於電解液者仍為 R_e ，而來自於鹽橋者為 $\frac{R_b}{2}$ ，此時內電阻 $R_e + \frac{R_b}{2}$ ，依電流與電阻成反比，截面積變2倍，電流變1.98，可得一關係為

$$\frac{R_1+R_2}{R_1+R_2} \cdot 1.98 \rightarrow R_1=98R_2$$

推測得知在內電阻部分，來自於鹽橋者遠較於來自於電解液。

(d)由本研究結果可知，因為內電阻的來源主要於鹽橋，所以要改良鋅銅電池，使其電流放大，必需由改善鹽橋的電阻著手。而改善的方法在於加大鹽橋與電解質溶液的接觸面。

(e)我們由研究一至研究八得到如何提升電流的努力方向，於是我們配合研究結果，來將廢電池改裝為改良型的鋅銅電池。

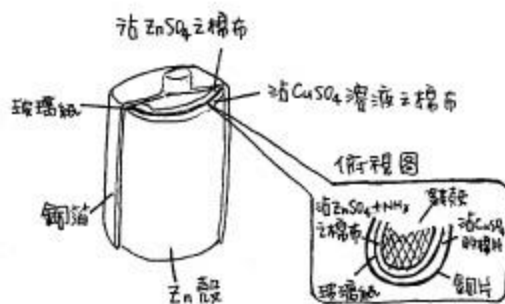
〔研究九〕

1.主題：將廢電池改裝為改良型鋅銅電池

2.說明：由我們前面的研究結果，要改良鋅銅電池可有下列方向：

- (a)電極與溶液的接觸面積要大
- (b)鹽橋與溶液的接觸面積要大
- (c) CuSO_4 濃度愈大， ZnSO_4 濃度愈小
- (d)可在 ZnSO_4 中加入少量 NH_3

我們依上述改進方向，將廢電池改裝如下圖（二）



圖（二）

如此改裝的優點如下：

- (a)電極與電解液完全接觸。
- (b)利用玻璃紙的半透性，擔任鹽橋角色，如此可使鹽橋與溶液完全接觸。
- (c) CuSO_4 1.0M而 ZnSO_4 0.1M，利用濃度差使電壓提升。
- (d)加入少量 NH_3 於 ZnSO_4 溶液中使鋅離子形成穩定的錯離子。

3. 結果：

改裝的廢電池電壓及電流如下：（以小燈泡為負載）

無負載電壓	1.035V
無負載電流	1.205A
負載電壓	0.908V
負載電流	89.3mA

4. 討論：

(a)此改裝電池與課本的實驗裝置，電流在無負載條件下已放大一千倍以上。（原裝置電流約0.8mA）。

(b)電流放大的效應，電流放大的效應，主要來自於鹽橋的改良。此結果使研究八內電阻主要來自於鹽橋的推論，進一步獲得證實。

(c)改裝電池若要提高電壓，可藉由數個改裝電池的串聯而達到目的。

(d)改裝電池可連續點亮小燈泡或推動小馬達（如小型電風扇、電鬚刀）達1小時以上，已具有實用價值。

五、結論

（一）在研究中我們利用化學動力學方法，推測出鋅銅電池反應的活化能值為4.900 KJ/mole。因該反應未涉及化學鍵的斷裂，所以活化能較低，與課本所提到的相互吻合。

（二）本研究二發現，電極與電解液的接觸面積愈大，則電流愈大。但與電極本身之總面積無關，總面積愈大，電流愈大的說法有誤。

（三）本研究三發現，電極與鹽橋的距離愈近，則電流愈大，而電流大小與兩電極間的距離無關。以前作品中兩電極愈近電流愈大的說法有誤。此乃因作者從事研究時，兩電極靠近時，因此也與鹽橋距離變小，而將其誤認為變因。

（四）本研究四發現，若硫酸銅濃度較硫酸鋅濃度大而形成濃度差時，電壓、電流都將放大。且在硫酸鋅溶液加入氨水，也可使電流加大。

（五）本研究五發現，鋅銅電池電流大小與溶液pH值無關。

（六）本研究六發現鹽橋懸空比鹽橋貼放於杯底時的電流較大。兩者間的差異在靈敏度較差的電錶上不易察覺。本研究因使用精密度較高的數位式電錶（市售價錢約500元）所以觀察到一以前未經察覺的變因。

(七) 本研究七發現，若鹽橋電解質愈大，電流愈大，但若太大時電流反而下降。

(八) 本研究八發現，若鹽橋與電解液接觸面積愈大電流愈大。由於其成正比關係而得到鹽橋為鋅銅電池內電阻的主要來源。

(九) 我們以上述八個研究的結果為依據，將廢電池改裝成具實用性的鋅銅電池。

六、展望

本研究基於資源回收再利用的理由，將廢電池改裝，不但可減少廢棄物達到環保的目的。我們希望繼續努力再進一步改良，例如有效避免電解液外洩，增加電池壽命等。我們並建議各學校在從事鋅銅電池實驗時，可參考本研究的改裝法，讓學生實際動手改裝廢電池，以加深學生資源回收，永續利用的環保意識。實不失為推廣環保教育的題材。

七、參考資料

1. 高中化學第二冊 國立編譯館
2. 第二十九屆，第三十屆中小學科學展覽優勝作品專輯 國立台灣科學教育館
3. 高中化學實驗上冊 國立編譯館
4. Theodore L. Brown & H. Eugene Lemay, JR. CHEMISTRY The CENTRAL SCIENCE. (1988)

評語

本作品首先探討影響鋅銅電池電流大小的變因，進而利用廢電池鋅極，將其改裝為電流較大的鋅銅電池。有關電池的研究，過去科展雖已出現過多次，但本作品組裝的電池，可以實際點亮小燈泡或推動小馬達1小時以上，有了相當大的改進。

