

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030209

超省電！The Automatically Controlled Fan

學校名稱：苗栗縣立文林國民中學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國二 彭昱道 國二 羅浚璋 國二 吳冠樺 | 指導老師： 李茂宗 葉淑雯 |
|---|-----------------------------|

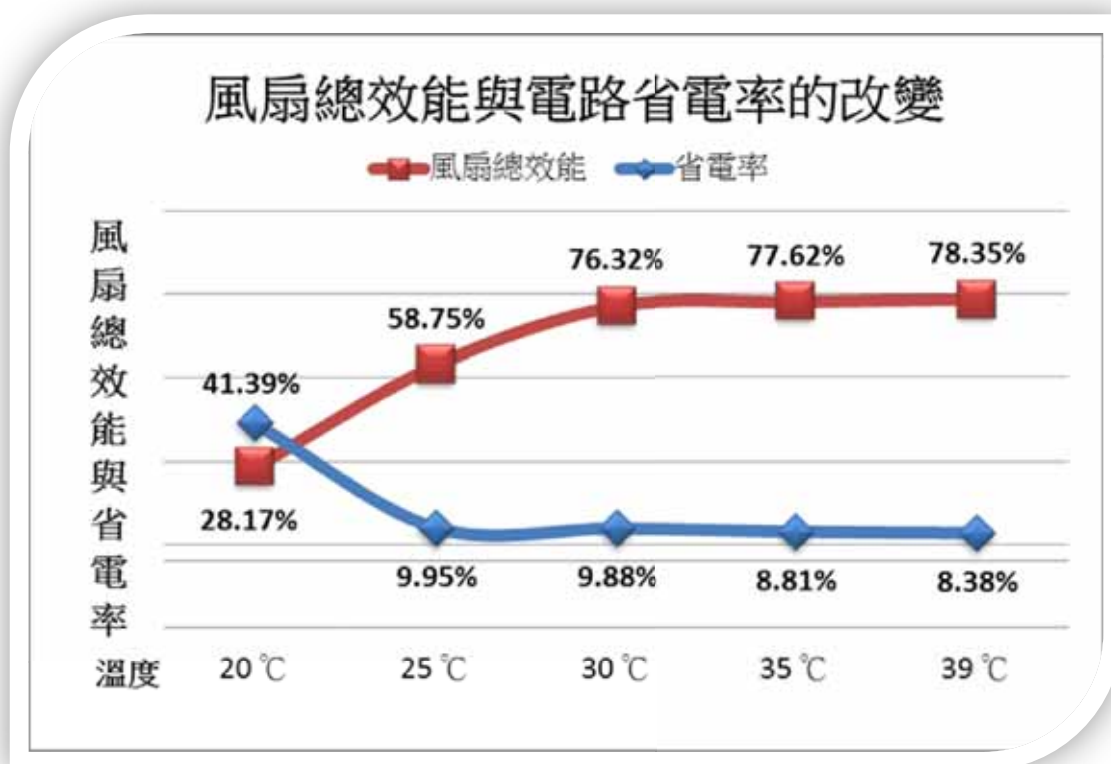
關鍵詞：電解質電導、氣體熱脹冷縮、省電率

超省電！The Automatically Controlled Fan

摘要

本組改良第 50 屆國中組化學科「愈熱愈涼快」的實驗。除了沿用電解池的導電性會隨著溫度的改變的原理外，有以下躍進：

1. 電壓由 15 伏特提升至 110 伏特，應用於一般電器。
2. 將直流電改為交流電，並以銅棒對硫酸銅溶液通電，溶液濃度與電極因此皆不會減少，能長期使用。
3. 利用溫度能使氣體熱漲冷縮的特性，製作氣體溫控升降儀，加大溫控效能，並達到自動化斷電目標。
4. 最後同時串聯四台風扇，模擬教室用電，增加實用性與發展可能。



研究成果：

高溫(40 °C)時，四台風扇的總效能達 78.35%；隨著室溫降低，升降儀將電解池拉離電極，此時風扇效能下降，但省電率上升(20 °C時，效能降為 28.17%，而省電率達 41.39%)；更低溫(約 18 °C)時，電解池離開電極，自動斷路。

壹、 研究動機

我們從二年級的暑假開始努力尋找資料，找資料的過程中，發現學長們之前做的「愈熱愈涼快」－15V 直流溫控風扇的實驗報告，覺得很有創意。在報告的最後，提到了許多還需修正的地方，例如碳棒在氫氧化鈉溶液中的崩解問題。翻閱了三年的自然課本，我們在國三的電流化學效應的單元裡發現了硫酸銅與銅棒的電解實驗，發現了通以直流電時會使兩邊的銅棒一粗一細的狀況。靈機一動的我們想：『若用交流電，銅棒是否就沒有這個問題了呢？』因此我們就開始了我們的實驗與研究，並希望藉由改良愈熱愈涼快，發展出更能隨溫度改變運轉效率的溫控風扇，並能延伸至 1 對多系統，增加實用性。

貳、 研究目的

- 一、 測量強電解質溶液的電壓與電流，探討在不同變因下，溶液與串連風扇的各項特性(如：電阻、導電度、電功率、熱效應、電能分配、省電率...等等)：
 - (一) 隨電壓與溶液種類的不同。
 - (二) 隨濃度與溫度的不同。
 - (三) 隨串聯的電器(電阻)的不同。
 - (四) 隨電極浸入溶液深度(銅棒接觸溶液的表面積)的不同。
- 二、 尋求加強溫控效能的方法：

由目的一之(四)，發展出利用氣體隨溫度熱漲冷縮的特性，製作並改良氣體溫控升降儀(以下簡稱升降儀)，加大溫控效能。
- 三、 由以上實驗結果，製作溫控風扇完整裝置，固定各項變因並做以下之測定與觀察：
 - (一) 計算溫控風扇的在高低溫狀況下，風扇運轉效能差異及省電功率。
 - (二) 經由與全縣科展的教授、老師們討論後，自行再改良出第三代的溫控儀，以適用與多台並聯的風扇串聯，增加實用性。
 - (三) 測量並觀察長時間使用下，風扇的電壓、電流的改變及電解池的變化。



參、 研究設備及器材

- 一、藥品及重要測定器材：




| 1M 硫酸銅水溶液、8M 氫氧化鈉水溶液、1M 硫酸水溶液 | 三用電表 | 電子秤 |
|---|--|---|
|  |  |  |

| | | | |
|---|---|--|---|
| 交直流電源供應器 | 數位型溫度計 | 量筒 | 110V 延長線 |
|  |  |  |  |

二、風扇、電解池組：

| | |
|---|--|
| 110V、60W 工業風扇 | 250mL 燒杯、酒精燈、陶瓷纖維網、三腳架、 電極夾、銅棒、試管夾、鱷魚夾導線 |
|  |  |

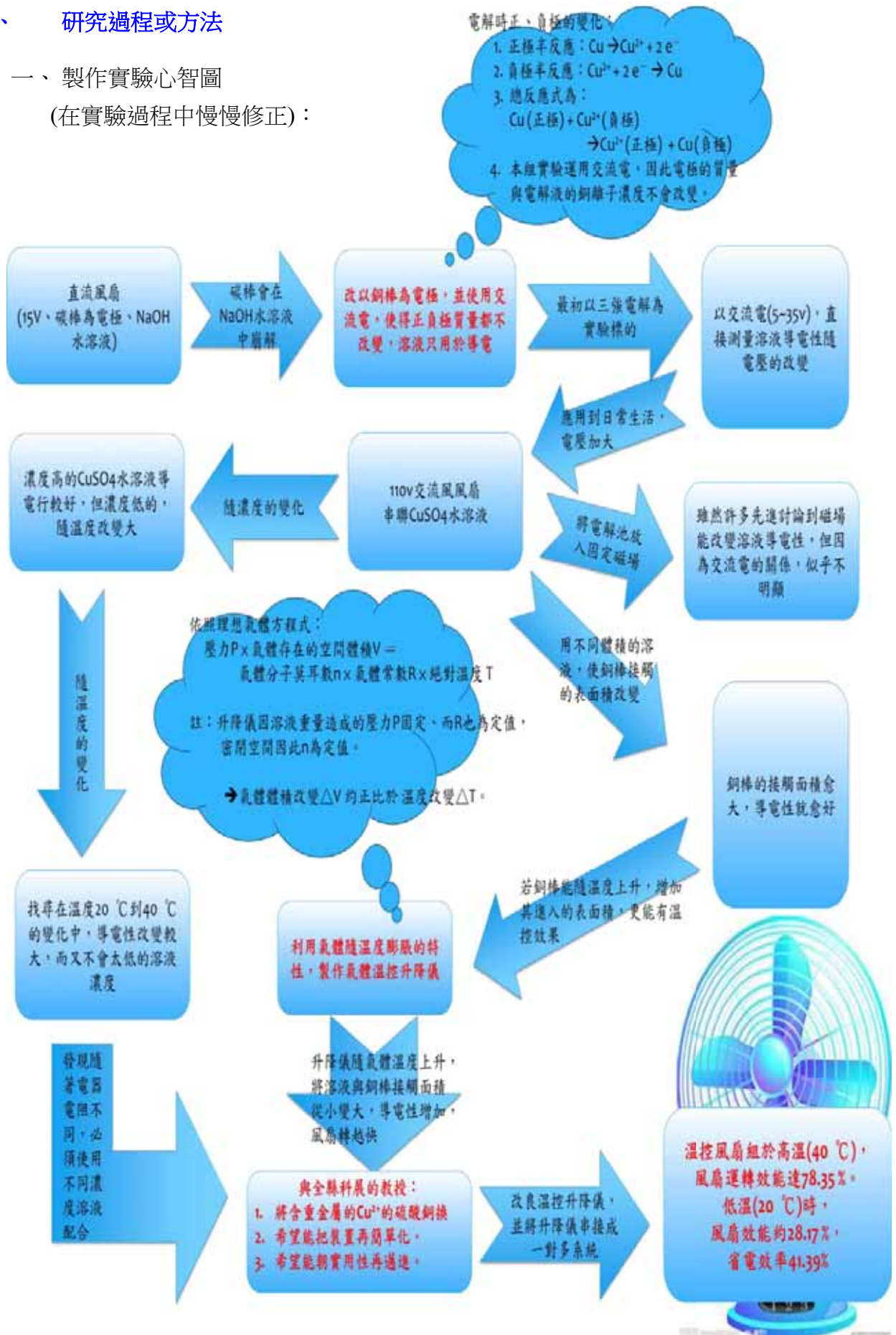
三、溫控升降儀組：

| | |
|---|--|
| 實驗鐵架、20mL 玻璃製針筒 20mL 塑膠針筒 250mL 燒杯 | 錐形瓶、橡皮塞、橡膠風管、 Y 型管、溫度計 |
|  |  |
| <p>第 3 代溫控升降儀</p> <p>3 公升玻璃瓶、鐵架(附鐵夾)、 250mL 燒杯、玻璃針筒、 電極夾(附銅棒)、數位溫度計 三用電表、鱷魚夾、延長線</p> |  |

肆、研究過程或方法

一、製作實驗心智圖

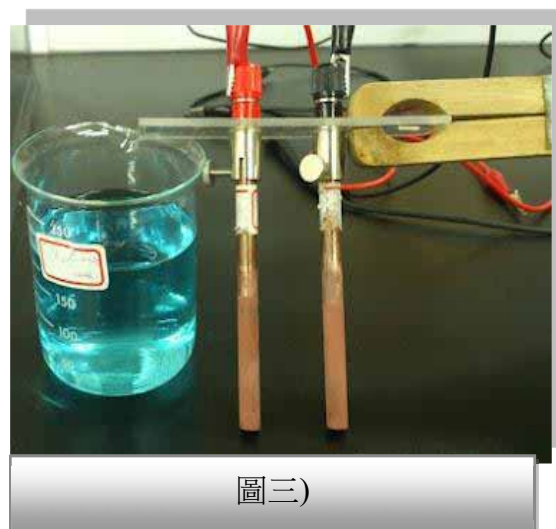
(在實驗過程中慢慢修正)：



二、裝置的選擇與設計：

(一) 電極的選擇：

1. 最初我們本想沿襲使用氫氧化鈉容易作為電解池，以碳棒作為電極，並使用直流電 15V，但我們也發現碳棒快速的崩解的問題，如下圖(二)，並會使整瓶氫氧化鈉溶液變黑的情況難以改善。
2. 在參考國三課本的電解單元後，我們決定改回以銅棒為電極。雖然在直流電的情況下會使銅棒一邊增加(負極)、一邊減少(正極)。但我們也想到，若改成交流電，正負極會不停的交換，就可以解決這個問題，如下圖(三)。此外，因為只有溶液中的銅離子與正極的銅棒起氧化還原反應，水不參與反應，因此只要把容器密閉就可以不用擔心水分散失的問題，這樣也改善了之前必須定期加水的問題。



註：圖(二)的資料來源—第 50 屆科展，國中組化學科—愈熱愈涼快。

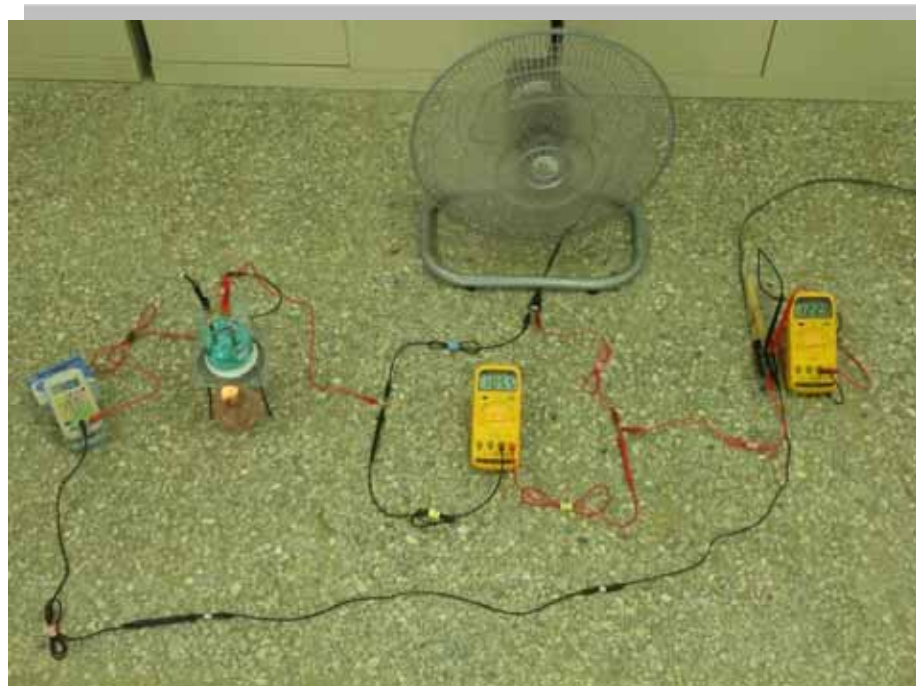
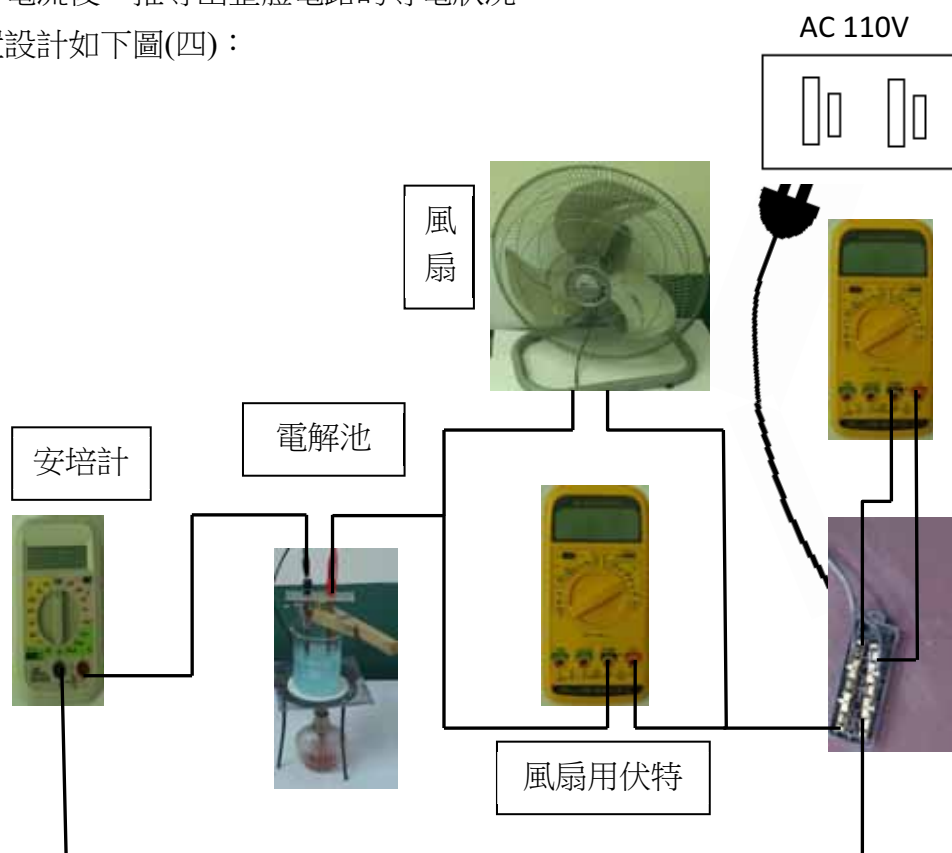
(二) 溶液的選定與配製方法：

1. 由實驗總反應式(Cu (正極) + Cu^{2+} (負極) \rightarrow Cu^{2+} (正極) + Cu (負極))可知，交流電狀況下，溶液只是用於導電的功能，因此我們先選定氫氧化鈉、硫酸與硫酸銅作為溶質，進行最初的測定。後來改成以硫酸銅為電解質溶液(詳述於過程四之(一))，最後利用我們所學，將溶液改回低濃度硫酸水溶液，以減少重金屬汙染問題。
2. 使用選定的溶液(如：1M 硫酸銅溶液)若干毫升，加入學校飲用水於 250mL 的燒杯中，稀釋出我們需要的濃度與體積來作為電解液。

(三) 基本裝置設計與量測的方法：

將電解池串聯電器，並取一個伏特計與電解池並聯、一個安培計與電解池串聯，再由電源輸出電壓(取另一伏特計，測其電源的電壓)。測量電解池的電壓、電流後，推導出整體電路的導電狀況。

裝置設計如下圖(四)：



圖四 — 溫控風扇，基本實驗裝置

三、探討強電解質溶液的導電性：

(一) 隨電壓的改變：

如右圖(四)，最初不串聯風扇，由電源輸出 5V 到 35V 的電壓，直接將電解池通電，每 5V 測量並紀錄相關數據(電壓、電流)，將數次結果計算並平均後，分別繪製 0.1M，200mL 硫酸銅、氫氧化鈉、硫酸溶液的導電度在室溫下的變化曲線。



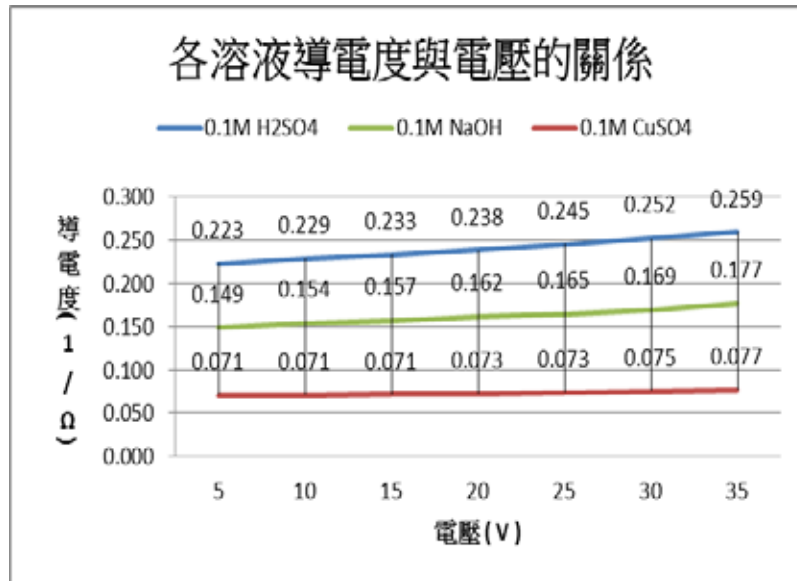
溶液隨電壓的導電性測量裝置

以硫酸與硫酸銅溶液為例，導電性隨電壓上升變化表

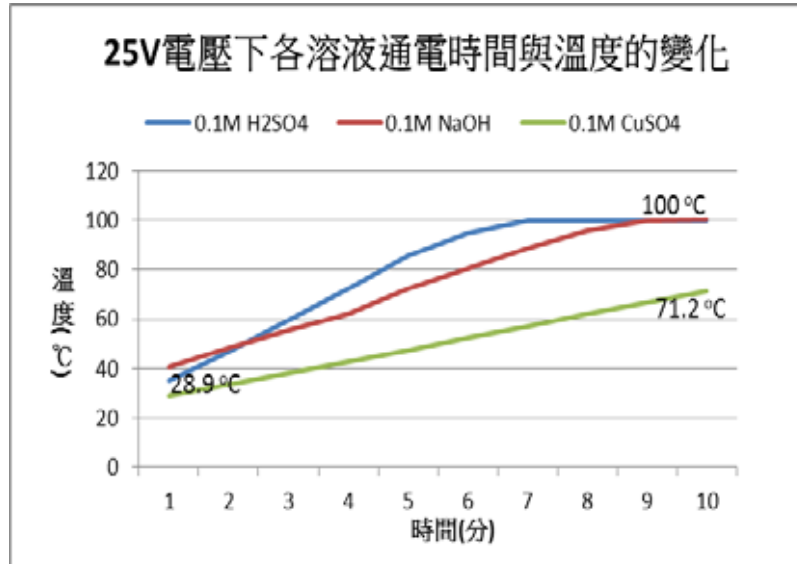
| 電源(AC) | | | 電解池 (0.1M、200 mL、H ₂ SO ₄) | | | |
|------------|-------|------------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 電壓(V) | 安培(A) | 功率(W) | 電壓(V) | 電阻(Ω) | 電導(S) | 發熱功率(W) |
| $V_{(AC)}$ | I | $P_{(AC)}$ $=V_{(AC)} \times I$ | $V_{(aq)}$ | $R_{(aq)}$ $=V_{(aq)} \div I$ | $G_{(aq)}$ $=I \div V_{(aq)}$ | $P_{(aq)}$ $=I^2 \times R_{(aq)}$ |
| 5 | 1.05 | 5.27 | 4.7 | 4.50 | 0.223 | 5.0 |
| 10 | 2.16 | 21.60 | 9.4 | 4.37 | 0.229 | 20.4 |
| 15 | 3.28 | 49.15 | 14.1 | 4.30 | 0.233 | 46.1 |
| 20 | 4.44 | 88.87 | 18.7 | 4.21 | 0.238 | 82.9 |
| 25 | 5.72 | 143.00 | 23.3 | 4.09 | 0.245 | 133.4 |
| 30 | 7.02 | 210.70 | 27.9 | 3.98 | 0.252 | 195.7 |
| 35 | 8.35 | 292.37 | 32.3 | 3.87 | 0.259 | 269.4 |
| 電源(AC) | | | 電解池 (0.1M、200 mL、CuSO ₄) | | | |
| 5 | 0.34 | 1.72 | 4.8 | 14.10 | 0.071 | 1.66 |
| 10 | 0.69 | 6.87 | 9.7 | 14.11 | 0.071 | 6.64 |
| 15 | 1.05 | 15.75 | 14.7 | 14.04 | 0.071 | 15.44 |
| 20 | 1.42 | 28.47 | 19.6 | 13.82 | 0.073 | 27.90 |
| 25 | 1.80 | 44.92 | 24.5 | 13.67 | 0.073 | 43.95 |
| 30 | 2.20 | 65.90 | 29.2 | 13.38 | 0.075 | 64.21 |
| 35 | 2.63 | 91.93 | 34.2 | 13.09 | 0.077 | 89.84 |

我們發現：隨電壓上升，溶液的導電性增加，由此可證電解質溶液不符合歐姆定律；同時電路電流量上升，溶液發熱功率隨著上升。

- 0.1M 的高濃度下，各溶液在 20 °C 左右就已表現出太好的導電性。這樣即使後面將溶液升溫，導電性應該也改變不大，缺乏了溫控的效果。



- 對三溶液來說，隨著溫度上升，溶液導電性會上升，因此串聯的電解池的所獲得的電壓會減少；但以氫氧化鈉與硫酸溶液為例，若獲得的電壓減少，溶液會出現導電性下降的狀況，出現了兩個效應互相抵銷的情況；而硫酸銅溶液隨著獲得電壓的減少，導電性相對下降較少，反而比較好。

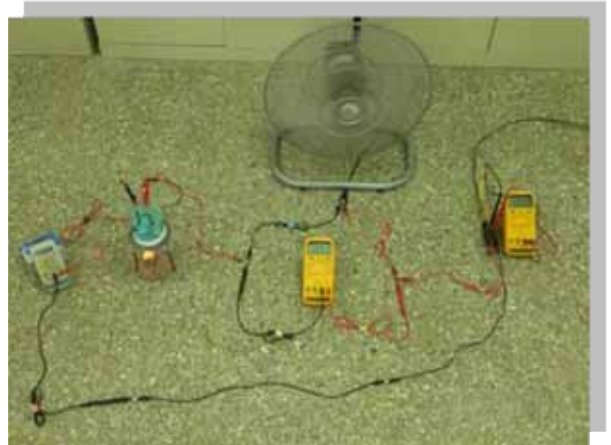


- 由於電解是一種放熱反應，依照發熱功率公式($P = I^2 \times R$)，並由上圖可知，導電性愈好(電路電流愈大)的溶液溫度上升太快(各通電 10 分鐘後，溫度都達 100 °C)，與室溫差距太大，而難以測定隨室溫變化的效果。即使是 0.1M 的硫酸銅溶液，溫度仍然都上升的太快。
- 基於以上三個理由，我們先選擇硫酸銅溶液作為電解液，降低濃度，並串聯電器。以提高電路電阻、降低電流後，繼續下面的實驗。

(二) 隨溫度、濃度的改變：

將電源換成 AC 110V，並串聯風扇後，利用濃度、溫度與電器電阻三項變因，交叉比對出最適合的電解池溶液濃度(能讓風扇運轉效率改變最多的)，步驟如下：

1. 以不同濃度(0.05M、0.04M、0.03M、0.02M、0.01M、0.005M)的硫酸銅溶液作為電解池。
2. 將以上各電解池溫度由 20 °C 以下開始加熱，並在 20°C 到 40°C 區間內，每 5 °C 各記錄一次風扇開強風(電阻小)與開弱風(電阻大)的電壓與電流，再推導出整體電路的相關數據。



電解液串聯風扇後的導電性測量裝置

以 0.03M CuSO_{4(aq)} 電解池串聯強風風扇為例，整體電路導電性隨溫度變化表

| 電解池 溫度 (°C) | 電源 | | | 電解池 (0.03M、200 mL、CuSO ₄) | | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------|-------------|
| | 電壓 (V) | 安培 (A) | 功率 (W) | 電壓 (V) | 電阻 (Ω) | 電導 (S) | 發熱功率 (W) |
| 20 | 112.8 | 0.44 | 49.44 | 35.8 | 81.53 | 0.0123 | 15.68 |
| 25 | 112.6 | 0.44 | 49.99 | 32.6 | 73.31 | 0.0136 | 14.45 |
| 30 | 112.6 | 0.45 | 50.33 | 30.5 | 68.12 | 0.0147 | 13.61 |
| 35 | 112.2 | 0.45 | 50.07 | 29.1 | 65.06 | 0.0154 | 12.97 |
| 40 | 112.0 | 0.45 | 50.23 | 26.6 | 59.20 | 0.0169 | 11.91 |

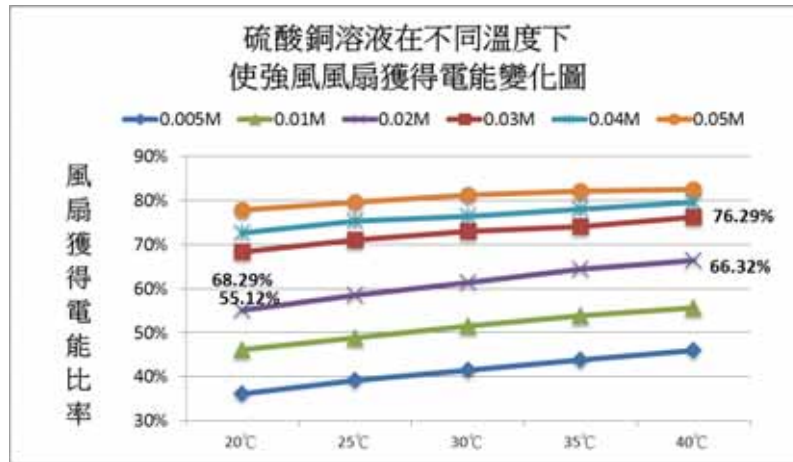
| 電解池 溫度 (°C) | 風扇 (開強風) | | | | |
|-------------------|--------------------|---|---|---|---|
| | 電壓 (V) | 電阻(Ω) | 電導(S) | 運轉功率(W) | 獲得電能比率 |
| T _(aq) | V _(fan) | R _(fan) = V _(fan) ÷ I | G _(fan) = I ÷ V _(fan) | P _(fan) = V _(fan) × I | P _(fan) ÷ P _(AC) × 100% |
| 20 | 77.0 | 175.60 | 0.0057 | 33.76 | 68.29% |
| 25 | 80.1 | 180.29 | 0.0055 | 35.54 | 71.09% |
| 30 | 82.2 | 183.78 | 0.0054 | 36.72 | 72.96% |
| 35 | 83.1 | 186.11 | 0.0054 | 37.10 | 74.10% |
| 40 | 85.5 | 190.52 | 0.0052 | 38.32 | 76.29% |

風扇獲得電能比率變化 = 76.29 - 68.29 = 8.00 %

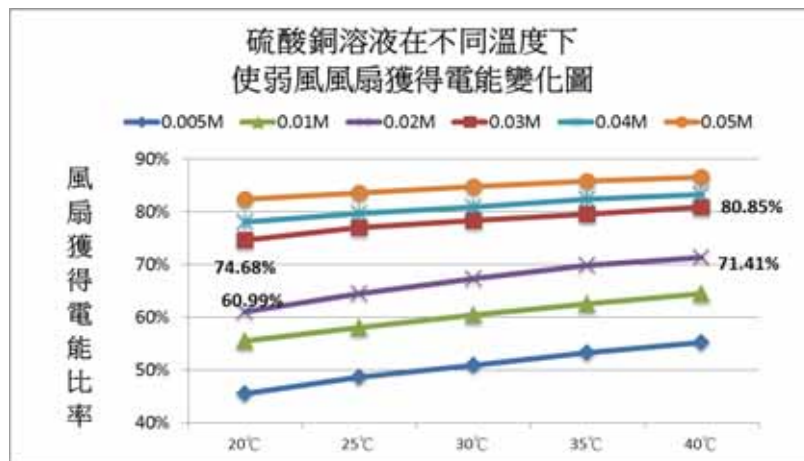
我們的發現：隨著溫度上升，溶液的導電性也會上升，串聯的風扇會得到更多電能，因此相對的風扇會轉得更快。

3. 將各濃度的資料輸入，並繪圖比較：

- (1) 0.02M 硫酸銅水溶液，在 40°C 到 20°C 的範圍內，讓強風風扇有 $(66.32 - 55.12) = 11.20\%$ 的獲得的電能比率增加最多。
- (2) 而 0.03M 硫酸銅溶液(電阻較小)，在相同的溫度改變範圍內，運轉效率差異減小，只有 8.00%，但在 40°C 時，較 0.02M 硫酸銅溶液時高了約 10% 的獲得電能比率。



- (3) 開弱風時的風扇電阻比開強風時的風扇大，在相同的電解池溶液影響下(電阻變化相近)，弱風風扇獲得的電能比率較高。(同以 0.03M、40°C 硫酸銅溶液為例，弱風 80.85% > 強風 76.29%)。
- (4) 而且弱風風扇獲得的電能比率變化，受電解池溶液的影響也比較小(同以 0.03M 為例，弱風 80.85-74.68 = 6.17% < 強風 8.00%)。



我們的發現：1. 要讓風扇能有高效能，溶液電阻必須低(高濃度溶液)、
2. 要讓風扇效能隨溫度改變大，溶液電阻必須變化大(低濃度溶液)。

4. 由上，我們若要讓強風風扇，隨溫度上升而有大的轉速改變，又不能使風速轉得太慢，應將硫酸銅溶液的濃度設定在 0.02M 到 0.03M 範圍之內，因此我們以此範圍的濃度進行下一階段的實驗。

(三) 銅棒浸入溶液的接觸表面積對導電度的影響：

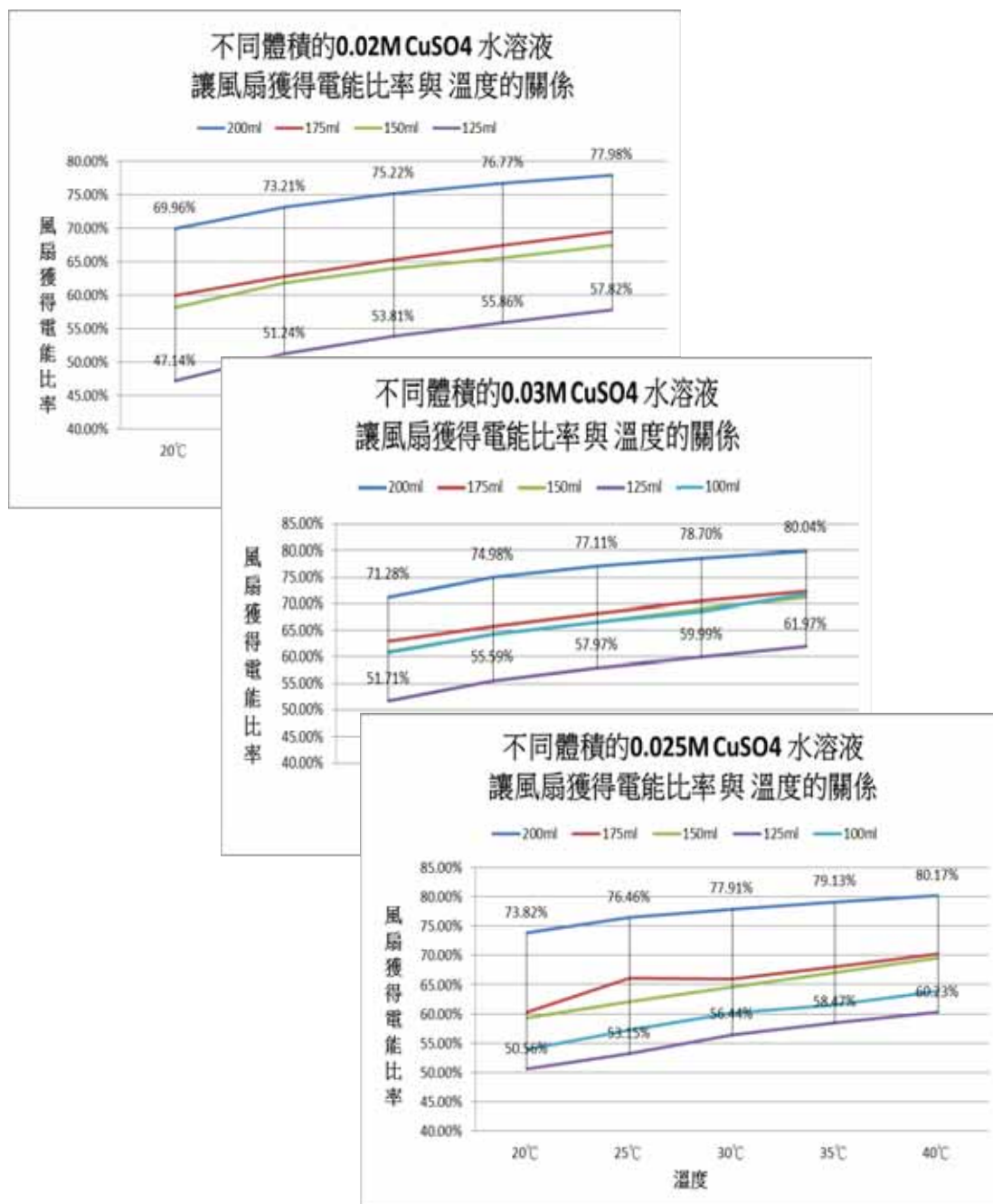
1. 分別配製 0.02M、0.025M 與 0.03M 的硫酸銅溶液各 200mL，在每次重複實驗步驟後，以量筒搭配滴管，每次減少 25mL，改變銅棒在液體中的深度(接觸表面積)，再重複實驗步驟及繪圖。(由於低於 100mL 時銅棒碰不到溶液，因此測量範圍定在 100mL 至 200mL 之間)

以 200 及 100mL $\text{CuSO}_{4(aq)}$ 電解池串聯強風風扇為例，整體電路導電性隨溫度變化表

| 電解池 體積 | 電源 | | | 電解池(0.025M、200 mL、 CuSO_4) | | | |
|--|-----------|----------------|-----------|--------------------------------------|--------------------|-----------|-------------|
| | 電壓 (V) | 安培 (A) | 功率 (W) | 電壓 (V) | 電阻 (Ω) | 電導 (S) | 發熱功率 (W) |
| 20 | 116.3 | 0.49 | 56.96 | 35.25 | 71.94 | 0.0139 | 17.27 |
| 30 | 116.3 | 0.49 | 56.99 | 27.8 | 56.73 | 0.0176 | 13.62 |
| 40 | 116 | 0.485 | 56.26 | 24 | 49.48 | 0.0202 | 11.64 |
| 電解池 溫度 ($^{\circ}\text{C}$) | 風扇(開強風) | | | | | | 獲得電能比率 |
| | 電壓 (V) | 電阻(Ω) | 電導(S) | 運轉功率(W) | | | |
| 20 | 81 | 165.31 | 0.0060 | 39.69 | 69.68% | | |
| 30 | 88.5 | 180.61 | 0.0055 | 43.37 | 76.10% | | |
| 40 | 92 | 189.69 | 0.0053 | 44.62 | 79.31% | | |
| 風扇獲得電能比率變化 = $79.31 - 69.68 = 9.63\%$ | | | | | | | |
| 電解池 體積 | 電源 | | | 電解池(0.025M、100 mL、 CuSO_4) | | | |
| | 電壓 (V) | 安培 (A) | 功率 (W) | 電壓 (V) | 電阻 (Ω) | 電導 (S) | 發熱功率 (W) |
| 20 | 115.7 | 0.38 | 43.97 | 63.5 | 167.11 | 0.0060 | 24.13 |
| 30 | 115.8 | 0.42 | 48.61 | 56.7 | 134.88 | 0.0074 | 23.79 |
| 40 | 115.5 | 0.45 | 51.40 | 51.3 | 115.28 | 0.0087 | 22.83 |
| 電解池 溫度 ($^{\circ}\text{C}$) | 風扇(開強風) | | | | | | 獲得電能比率 |
| | 電壓 (V) | 電阻(Ω) | 電導(S) | 運轉功率(W) | | | |
| 20 | 52.2 | 137.37 | 0.0073 | 19.84 | 45.12% | | |
| 30 | 59.1 | 140.71 | 0.0071 | 24.82 | 51.06% | | |
| 40 | 64.2 | 144.27 | 0.0069 | 28.57 | 55.58% | | |
| 風扇獲得電能比率變化 = $55.58 - 45.12 = 10.46\%$ | | | | | | | |

我們的發現：1. 要讓風扇能有高效能，銅棒浸入溶液的深度要多。
2. 同時，體積大的溶液，其電導的變化也較大。

2. 將各濃度的資料輸入，並繪圖比較：



我們的發現：由於銅棒浸入深度對於導電性也有影響，因此我們想到，若銅棒能隨著溫度，浸入溶液的表面积能增加，就可以更加大導電性的變化範圍。以 0.025M 硫酸銅溶液為例，若在 20°C 時電極才能接觸到溶液，使風扇獲得電能僅達 50.56%，而 40°C 時，風扇獲得電能達 80.17%，理想上就可以達到 30% 左右的差異！

3. 在查詢了課本內容並與老師討論後，我們決定試著用氣體的熱漲冷縮的特性，著手製作溫控升降儀。

(四) 製作氣體溫控升降儀：

1. 由理想氣體方程式($PV = nRT$)可知，氣體膨脹的體積(ΔV)與溫度差異(ΔT)約成正比，因此若要在 20°C (293K) 到 40°C (313K) 之內有體積(針筒體積約 20mL)上明顯的變化，密閉容器的氣體最初體積必須要夠大(最初裝於 1 個 500mL 錐形瓶，並在內部裝少許水，企圖利用水蒸氣增加高溫時的氣體體積)，才能順利將電解池推高，使銅棒浸入溶液。因此我們試做了升降儀 1 號。



2. 升降儀 1 號因為塑膠針筒內部摩擦力的關係，通常氣溫都超過 40°C 才上升。因此我們利用以下方法，逐次改良出升降儀 2 號(下圖)：

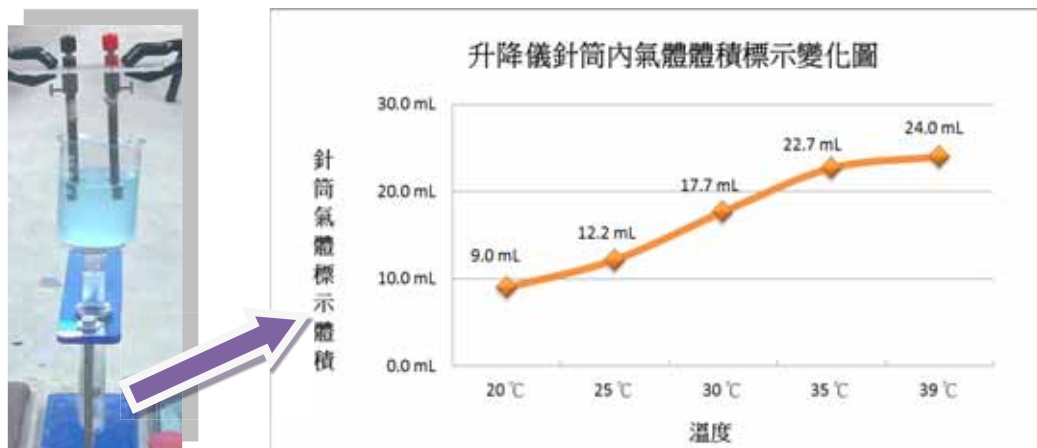
- (1) 更換針筒材質(從市售塑膠針筒，改選材料摩擦力較小的玻璃製針筒)
- (2) 噴上潤滑劑(降低摩擦力)。
- (3) 增加最初的氣體體積(利用 Y 形管，串接 3 個 500mL 錐形瓶)，以增加空氣隨溫度的收縮膨脹量，增加推力範圍。
- (4) 在針筒內外各設置兩個鉤磁鐵並讓他們同極相對，讓排斥的磁力能抵銷一些摩擦力。



- (5) 以打氣筒打入適量的氣體至升降儀內，使升降儀在溫度約 30°C 時升到頂端而降溫至 20°C 時，溶液下降至表面略碰觸到銅棒的位置。

註：我們本想用電流磁效應的方法，將磁鐵黏在針筒內部，並將電線纏繞在外面形成螺線管。利用電路中本來就有的電流形成的同極磁場，產生排斥力將電解池向上推。但因為電流形成的磁力不夠強，且磁力會隨著距離而縮小，更重要的是，使用電流會增加耗電量，與我們的實驗目標相違背，因此放棄此一想法。不過這也讓我們聯想到利用鉤磁鐵的排斥力銷去一些摩擦力的方法。

3. 將升降儀的三個錐形瓶的瓶內先降溫至 15 °C (浸入冰水)後，浸入溫熱水升溫，記錄隨溫度變化，升降儀體積的改變並繪製出下圖。



註：8mL 是最低點(由磁鐵磁力擋住)，而 24mL 時，針筒推到最高點。

四、省電風扇組合與改良：

- (一) 我們先測定風扇單獨接電源時的電流，並計算出它的功率。

| 電源電壓 | 風扇電壓 | 電流 | 運轉功率 |
|--------|--------|-------|---------|
| 114.4V | 114.3V | 0.49A | 56.007W |
| 120.1V | 120V | 0.50A | 60W |

- (二) 試做省電風扇組(如下圖)：依照前面的各項結果，我們選定裝有 0.025M 硫酸銅水溶液作為電解池，將其裝置在升降儀上，串聯風扇後，通以 110V 交流電源，將電解池與升降儀的錐形瓶加熱(我們盡量控制讓他們溫度相近)，記錄從 20°C 到 40°C 的範圍內，風扇與電解池兩者的電壓與電流、並計算與風扇單獨使用時效能比率及整體電路的省電率後，繪圖表示如下頁。



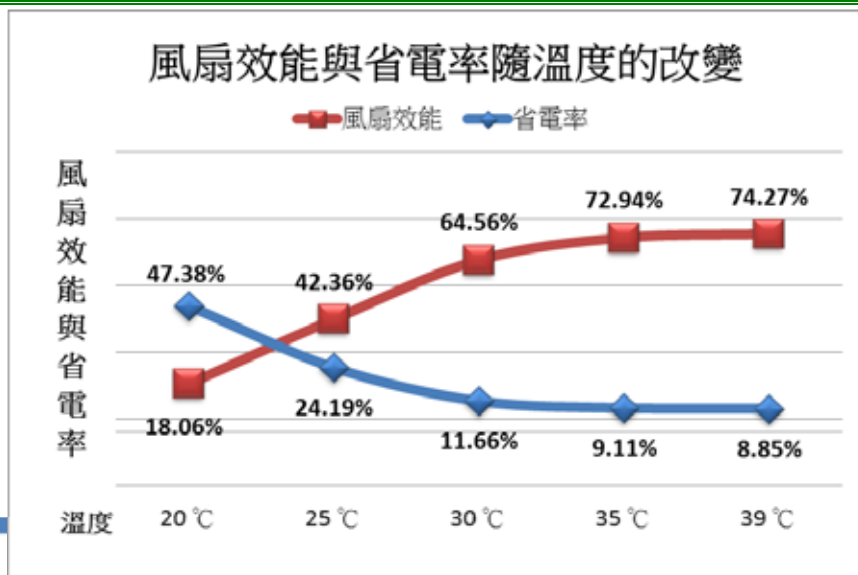
省電風扇 1 代 (改良前)

省電風扇 1 代，整體電路數據隨溫度變化表

| 電解池溫度 (°C) | 針筒標示體積 (mL) | 電源 | | | | 電解池 (0.025M、200 mL、CuSO ₄) | |
|------------|-------------|-----------------|--------|---------------------------------------|------------------------------|--|--|
| | | 電壓 (V) | 安培 (A) | 功率 (W) | 省電率 (%) | 電阻 (Ω) | 發熱功率 (W) |
| | | V _{AC} | I | P _{AC} = V _{AC} × A | (60 - P _{AC}) ÷ 60 | R _(aq) | P _(aq) = I ² × R _(aq) |
| 20 | 9.0 | 118.4 | 0.27 | 31.57 | 47.38% | 291.63 | 20.74 |
| 25 | 12.2 | 118.7 | 0.38 | 45.49 | 24.19% | 136.61 | 20.07 |
| 30 | 17.7 | 120.5 | 0.44 | 53.01 | 11.66% | 73.71 | 14.27 |
| 35 | 22.7 | 120.3 | 0.45 | 54.54 | 9.11% | 52.43 | 10.77 |
| 40 | 24 | 120.6 | 0.45 | 54.69 | 8.85% | 49.26 | 10.12 |

| 電解池溫度 (°C) | 針筒標示體積 (mL) | 風扇 (開強風) | | | |
|------------|-------------|--------------------|---|---|--------------------------------|
| | | 電壓(V) | 電阻(Ω) | 運轉功率(W) | 風扇效能 |
| | | V _(fan) | R _(fan) = V _(fan) ÷ I | P _(fan) = V _(fan) × I | P _(fan) ÷ 60 × 100% |
| 20 | 9.0 | 40.63 | 149.60 | 10.84 | 18.06% |
| 25 | 12.2 | 66.30 | 170.51 | 25.42 | 42.36% |
| 30 | 17.7 | 88.03 | 199.66 | 38.73 | 64.56% |
| 35 | 22.7 | 96.53 | 212.93 | 43.76 | 72.94% |
| 40 | 24 | 98.30 | 216.84 | 44.56 | 74.27% |

風扇效能變化 = 74.27 - 18.06 = 56.21 %



第一階段研究成果：

高溫(40°C)時，風扇的運轉效率達 74.27%；而隨著室溫降低(使用者較不需強風)，溫控升降儀便將電解池逐漸拉離電極，風扇效能雖下降，但省電率上升(20°C時，風扇效能 18.06%，而省電率達 47.38%)；更低溫(約 18°C)時，電解池完全離開電極，形成斷路，達到完全自動省電的目標。

- (三) 測量並觀察長時間使用下，溫控風扇的電壓、電流變化情形，及電解池與電極的變化。
- (四) 經全縣科展的教授的指教與討論後，我們再依據研究中所學到的，再改良出溫控升降儀 3 號：

1. 將硫酸銅溶液改回硫酸溶液(避免重金屬汙染)，並重新調整溶液濃度(降至 0.02M)與溶液體積(升高至 250mL)，以適應四台風扇並聯後造成的小電阻。
2. 以 1 個 3 公升玻璃瓶代替三個錐形瓶的組合(增加初始氣體含量、加大變化程度)、將瓶內液體改成酒精(增加氣體隨溫度增加時的揮發量)，並將玻璃針筒鑲嵌在蓋子內部，稍微改良其笨重之處。
3. 將一延長線並聯四個風扇，串聯溫控升降儀 3 號，模擬學校教室風扇用電狀況，做成省電風扇 2 代。



溫控升降儀 3 號



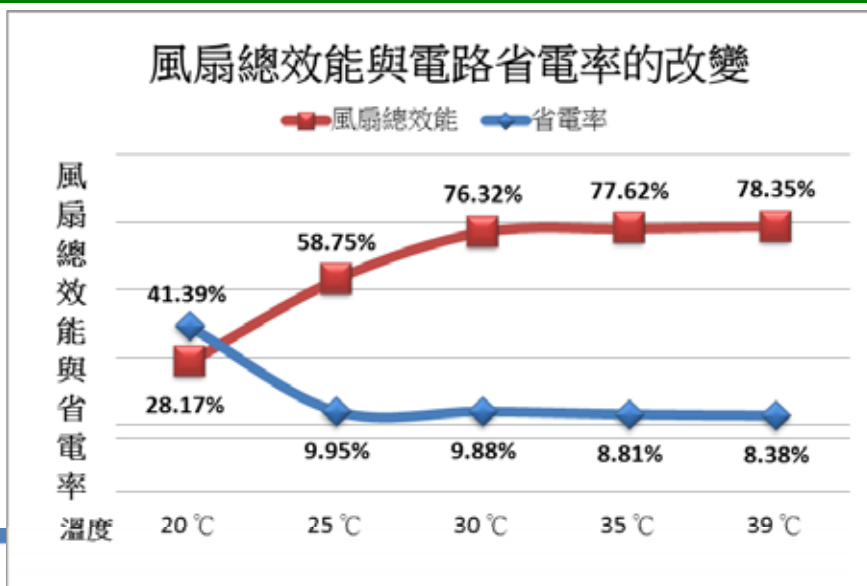
省電風扇 2 代 (改良後、可一對四個風扇)

省電風扇 2 代，整體電路數據隨溫度變化表

| 電解池溫度 (°C) | 銅棒浸入燒杯所標示的體積 (mL) | 電源 | | | | 電解池 (0.02M、250 mL、H ₂ SO ₄) | |
|------------|-------------------|-----------------|--------|---------------------------------------|--------------------------------|--|--|
| | | 電壓 (V) | 安培 (A) | 功率 (W) | 省電率 (%) | 電阻 (Ω) | 發熱功率 (W) |
| | | V _{AC} | I | P _{AC} = V _{AC} × A | (240 - P _{AC}) ÷ 240 | R _(aq) | P _(aq) = I ² × R _(aq) |
| 20 | 5 | 119.2 | 1.18 | 140.66 | 41.39% | 52.46 | 73.04 |
| 25 | 125 | 119.4 | 1.81 | 216.11 | 9.95% | 22.93 | 75.12 |
| 30 | 250 | 119.5 | 1.81 | 216.30 | 9.88% | 10.11 | 33.12 |
| 35 | 250 | 119.6 | 1.83 | 218.87 | 8.81% | 9.73 | 32.57 |
| 40 | 250 | 119.5 | 1.84 | 219.88 | 8.38% | 9.40 | 31.83 |

| 電解池溫度 (°C) | 針筒標示體積 (mL) | 四並聯風扇 (開強風，額定 60W × 4 台) | | | |
|------------|-------------|--------------------------|---|---|---------------------------------|
| | | 電壓 (V) | 電阻 (Ω) | 運轉功率 (W) | 風扇總效能 |
| | | V _(fan) | R _(fan) = V _(fan) ÷ I | P _(fan) = V _(fan) × I | P _(fan) ÷ 240 × 100% |
| 20 | 5 | 57.3 | 48.56 | 67.61 | 28.17% |
| 25 | 125 | 77.9 | 43.04 | 141.00 | 58.75% |
| 30 | 250 | 101.2 | 55.91 | 183.17 | 76.32% |
| 35 | 250 | 101.8 | 55.63 | 186.29 | 77.62% |
| 40 | 250 | 102.2 | 55.54 | 188.05 | 78.35% |

風扇總效能變化 = 78.35 - 28.17 = 50.18 %



第二階段研究成果：

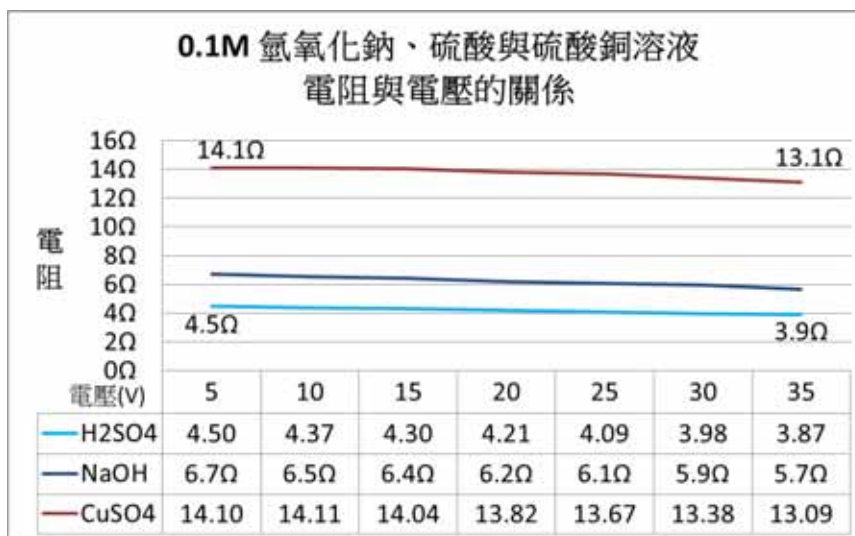
高溫(40 °C)時，四個風扇的總效能達 78.35%；而隨著室溫降低(使用者較不需強風)，溫控升降儀便將電解池逐漸拉離電極，風扇效能下降，但省電率上升 (20 °C時，效能為 28.17 %，而省電率達 41.39%)；更低溫(約 18 °C)時，電解池完全離開電極，形成斷路，仍可達到完全自動省電的目標。

伍、 研究結果與討論：

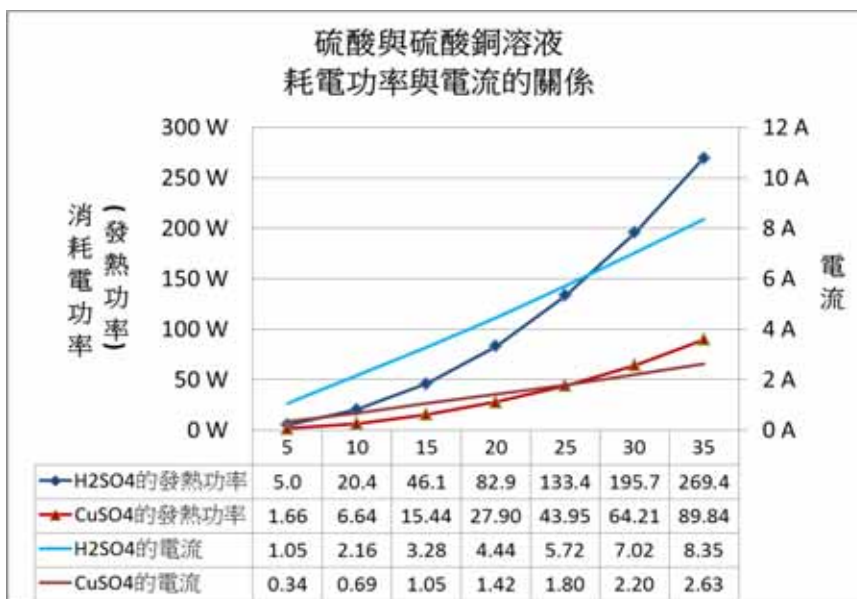
一、強電解質溶液在不同變因下，溶液的導電性改變情形：

(一) 隨電壓與溶液的不同：

1. 如下頁圖，我們發現，**電解質溶液並非完全的遵守歐姆定律**(電壓與電流的比值為一固定值，而成正比)。**隨著電壓上升，溶液電阻會下降**、導電性隨著上升。
2. 即使濃度相同，不同的強電解質溶液也有不同的電阻，其中硫酸溶液最小(約 4.5~ 4 Ω)、而硫酸銅(約 14~13 Ω)較高。

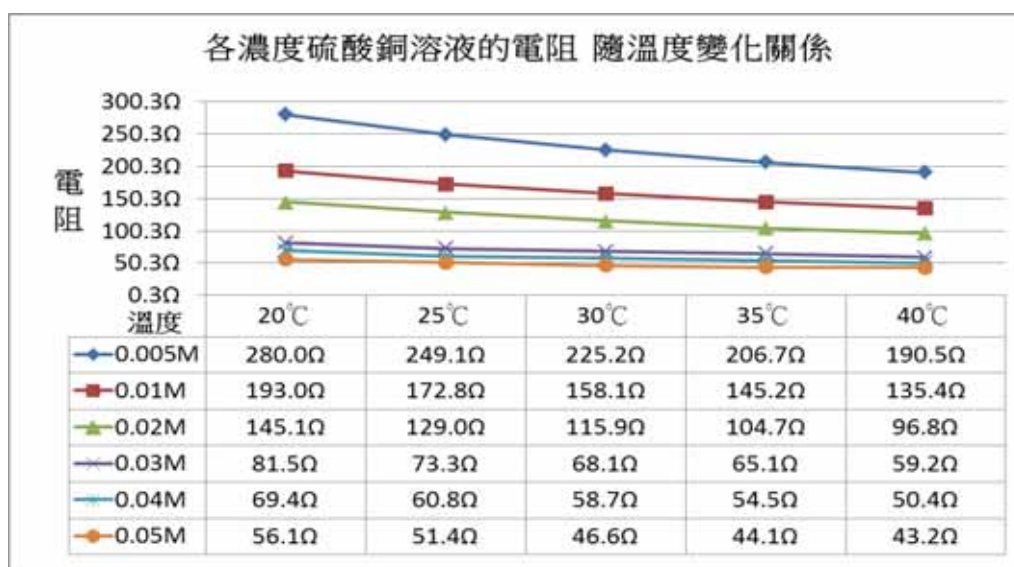


3. 如下圖，若以 0.1M 的硫酸銅與硫酸溶液為例，**在相同的電壓驅使之下，硫酸由於有較佳的導電能力，因而有較大的電流**。但**根據電流熱效應的公式**(發熱功率 $P = \text{電流平方 } I^2 \times \text{電阻 } R$)可知，硫酸溶液的熱效應會太大。這也是為何硫酸與氫氧化鈉**溫度會上升的太快**的原因。



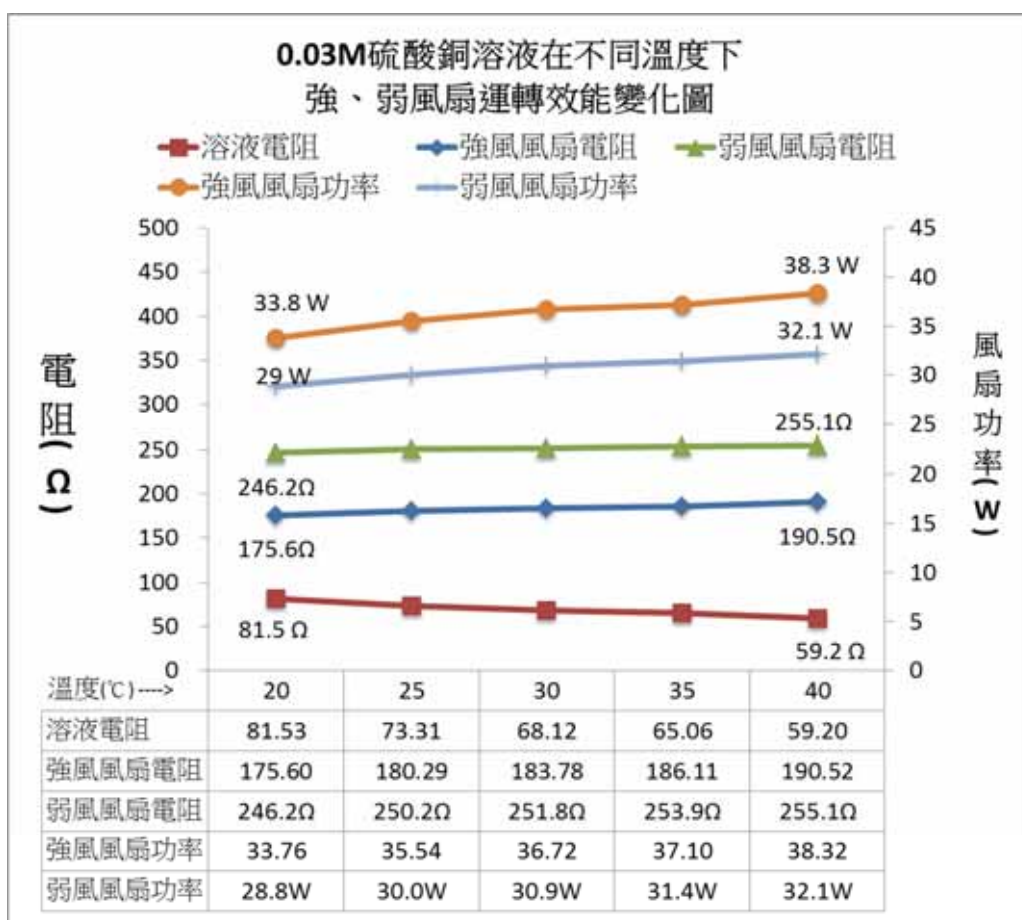
(二) 隨濃度與溫度的不同：

1. 如下頁圖，在相同溫度的比較中，濃度越高的溶液，表現出較高的導電性，由此可知，**溶液中離子的濃度與溫度越高，越能夠將電能傳遞**，而有較高的導電性、較低的電阻。
2. 相對的，**低濃度的溶液則對於溫度的升降，造成的導電性變化較大**，低溫時，雖然低濃度的溶液導電性差；但隨著溫度上升，低濃度的溶液電阻下降的多，相對於串聯的風扇來說，能夠讓它(風扇)獲得的電壓，也會因此改變較大，而有較好的溫控效能。我們推論，**自由離子的遊走範圍越空曠，越易因溫度升高而增加較多互相碰撞的機率，因此導電度上升量較多。**



(三) 串聯電器電阻隨溫度的改變：

1. 如下頁圖，以 0.03M 的硫酸銅溶液為例，溶液的電阻在溫度改變下，由 20°C 的 81.5Ω，下降成 40°C 的 59.2Ω。因此**溫度上升時，串聯的風扇獲得的電壓也因此上升，而加速運轉。**
2. 但我們也發現，**同時風扇的電阻增加**，表示風扇在不同的電壓驅動之下，也會改變他的電阻。這也**證明了，隨著的運轉功率的上升，風扇耗損的熱能也會增加**，由參考資料我們得知，**金屬的電阻會隨著溫度的上升而增加**，而這個特性，也能讓電扇獲得更多由電源提供的電能。
3. 而比較大小電阻的風扇，我們也發現，**溶液的電阻對不同電阻的風扇影響也不同，若想要使溶液對風扇的效能影響要大，必須讓溶液與風扇的電阻接近些。**以強、弱風扇為例，0.03M 的硫酸銅溶液的電阻變化對強風風扇(電阻較小)的影響較大(38.3W~33.8W)。



4. 承第 3 點，**溶液電阻雖接近但也不能太接近**。如下表的 0.005M 硫酸銅溶液為例，在溶液的電阻變化有限的條件下，即使溶液在高溫下電阻下降許多，還是有很大的電阻，**使得風扇運轉效能不佳**。

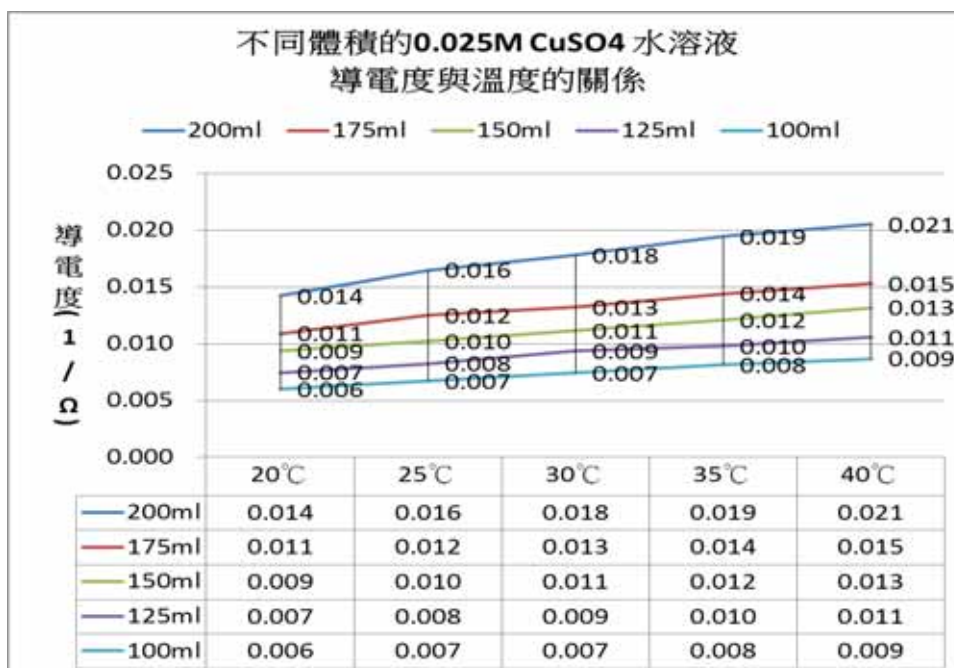
**0.005M硫酸銅溶液在不同溫度下
使強弱風扇運轉效能變化表**

| | 20°C | 25°C | 30°C | 35°C | 40°C |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 溶液電阻 | 280.0Ω | 249.1Ω | 225.2Ω | 206.7Ω | 190.5Ω |
| 強風風扇電阻 | 158.3Ω | 159.6Ω | 159.9Ω | 161.0Ω | 162.2Ω |
| 弱風風扇電阻 | 238.1Ω | 237.1Ω | 242.1Ω | 239.1Ω | 242.1Ω |
| 強風風扇功率 | 10.8W | 12.5W | 14.1W | 15.5W | 17.0W |
| 弱風風扇功率 | 11.4W | 13.0W | 13.9W | 15.4W | 16.5W |

(四) 隨電極浸入溶液中的深度(銅棒接觸溶液的表面積)不同。

- 如下頁圖，**隨著溶液體積增加，銅棒浸入溶液中的表面積增加，導電度也因此增加**。以 20 °C 的狀態為例，電導由 100mL 的 0.06 S 上升到 200mL 的 0.014 S，這應該是因為**溶液離子受正負極吸引時，同性離子濃度會有集中現象，因此通電的表面積大，離子可分布的較分散，彼此之間的排斥力便不那麼強**。(類似電線粗細的感覺，截面積越粗，導電度越好)。

2. 體積較大的硫酸銅水溶液隨著溫度的變化，電導也能有較大的變化，我們認為，當溫度上升時，能量大的自由離子較多，愈能攜帶電能穿過液體到正負兩極。



二、尋求加強溫控效能的方法：

1. 由於必須配合電器的電阻，電解池的濃度不能太低，體積也不能太大(雖然他們隨溫度變化大)，而且 20 °C 內的增加有限(大約 12 %以下)。
2. 我們本來利用了電流生磁的特性(力量有限，而且反作用力之下，反而會增加電阻與電源能量消耗)。
3. 後來我們利用氣體隨溫度熱漲冷縮的特性，製作並改良升降儀，成功加大溫控效能，但也因此加大了實驗器材的體積，而變得笨重。
4. 由於體積的問題無法避免，最後我們想到用一個溫控升降儀對多台電扇的作法，這樣就可以改良其實用性。

三、測量並觀察長時間使用下，溫控風扇的電壓、電流變化情形，及電解池的變化。

1. 電極的改變：

因每次使用的電解液濃度、體積等因素造成的電阻不同，電解池兩端的電壓因此不同，而產生相異的化學變化，有時是銅綠(電壓較低時)、有時是純度不一的紅銅色，有時鍍上去電極的銅較不密實(電壓較低時)，會有紅銅色的微粒脫落在電解液裡。有時為了不影響後續的實驗，我們會利用砂紙重新磨亮，但經過將近一年的實驗後，質量有略微的增加(最初 44.4g, 最後 45.9g、46.2 g)，這可能是每次反應結束後，電路的剩餘電能，將溶液中的離子還原、或者電極在空氣中氧化的結果。

2. 電解液的溫度效應而導致必須改進的問題：

由於電解是一種放熱反應，在交流電反覆交換中，電能最終就是變為熱能，導致電解液溫度上升，導電性更加強，風扇的效能在這段時間內會漸漸上升，比我們實驗所測得的會更高。以 25°C 的室溫下，0.025M 硫酸銅溶液為例，通電約半小時後，溶液本身溫度上升至約 40°C (若串聯的是風扇組，由於電流量更大，溫度則會達到 50°C)，而表現高溫的導電能力。因此若要再加強我們的實驗正確性，應找尋固定室溫的方法(為此，我們本來借用水浴槽控制、模擬燒杯外的溫度，但是發現燒杯溫度卻因此被固定住而失真)，然後在每個室溫之下，做持續長時間的測定。

陸、 結論與心得

在這將近一年的研究生活中，其實我們經過了很多的實驗失敗與重複的實驗。也常常會因為線路不小心接錯把電線燒壞、一個不小心就把燒杯打破、熱破或冷凍破，甚至把實驗室原本有的實驗器材拆掉，導致老師無言的狀況。過程中有很多趣事，但也深深感覺到科學研究的觀察、過程與歷程是很辛苦的，不過最棒的是，每次遇到困難，經過討論後，重新再做，最後突破瓶頸的感覺。這大概就是科學研究最迷人的地方吧！

我們的實驗結果為：

- (一) 以交流電解決正負極質量與電解液濃度、水分的減少問題。
- (二) 電解液並非遵守歐姆定律，隨電壓上升，電阻會些微下降。
- (三) 隨著濃度、溫度、電極與溶液接觸的表面積的增加，溶液的導電性都能增加。
- (四) 由於電解是放熱反應，單獨量測溶液時，導電性越好，電流越大，越易產生高熱，對於這個另外產生的廢熱之利用，則是我們希望能繼續延伸的研究目標。
- (五) 導電性強的溶液，隨溫度的上升，導電性的變化量較小。而低濃度、體積大的溶液，隨溫度的上升，導電性的變化量大，較能有溫控的效果。
- (六) 電解液的電阻(約為 1/3~1/2 倍)必須配合電器電阻，才可以對電器效能有較大範圍的影響，但也不能太接近導致高溫時仍因高電阻而消耗太多電壓。
- (七) 利用氣體的熱脹冷縮的特性，製作出密閉氣體的溫控升降儀，使電解液隨溫度改變接觸電極的面積，順利將效能、省電率改變範圍加大數倍，並達到自動啟動與關閉的目標。
- (八) 最後利用延長線並聯四台風扇，並以改良後的溫控升降儀 3 號，串聯並自動控制，模擬教室使用電能狀況增加實用性。
- (九) 高溫(40°C)時，風扇的運轉效率達 78.35% (長時間使用，將會更高)；而隨著室溫降低(使用者較不需強風)，升降儀便將電解池逐漸拉離電極，此時風扇效能下降，但省電率上升(20°C時，效能為 28.17%，而省電率達 41.39%)；更低溫(約 18°C)時，電解池完全離開電極，自動斷路，達到自動省電的高效果。

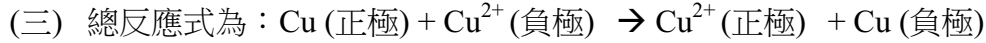
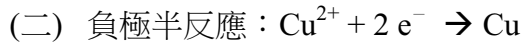
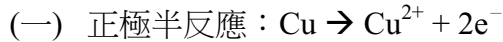
- (十) 若能夠把這樣的設計理念或裝置改良(如：縮小化、電子化)後，放入抽風機、冷氣空調、冰箱、燈光...等等與溫度相關的產品中，對於工業、學校節省用電一定會有更大的幫助，為能源日趨珍貴的地球，多盡一份心力。

柒、 參考資料及其他

- 一、 自然與生活科技第三冊至第六冊課本，康軒書局。
- 二、 第 50 屆全國科展－愈熱愈涼快。
- 三、 第 50 屆全國科展－亮不亮，有關係- LED 在電化學的應用與溶液電導度特性探討。
- 四、 第 46 屆全國科展－磁場中的離子轉速-探討硫酸銅水溶液濃度與離子遷移速度關係。
- 五、 第 42 屆全國科展－電解質溶液的電流磁效應。
- 六、 維基百科：<http://zh.wikipedia.org>。

附錄、先備知識

一、 電解時正、負極的變化：(來源－國三課本)



(四) 本組運用交流電，因此電極的質量與電解液的銅離子濃度不會改變。

二、 氣體膨脹與理想氣體方程式：(來源－國二課本、維基百科)

(一) 物質的體積會隨著溫度的上升，其中又以氣體的變化最大。原因為氣體分子在空間中會自由移動，過程中會互相撞擊之外，也會碰撞到容器，而對容器造成壓力，當容器內的壓力大於外界壓力，就會向外施壓。若容器具可壓縮性，就會因此向外膨脹、推擠。

(二) 依照理想氣體方程式，我們得知了，在一空間中氣體對外界帶來的壓力而造成的體積，與空間中氣體分子的數量(莫耳數)與氣體分子的溫度有關，關係式如下：

壓力 $P \times$ 氣體存在的空間體積 $V =$

氣體分子莫耳數 $n \times$ 氣體常數 $R \times$ 絕對溫度 T

註：由於我們的氣溫升降儀的外界壓力固定、而 R 也為定值，在升溫的過程中，水分子蒸發量應不多，所以氣體分子莫耳數 n 也改變不大，因此氣體體積差 ΔV 約正比於絕對溫度 ΔT 。

三、 莫耳濃度[]與稀釋：(來源－國二課本)

(一) 莫耳濃度，表示在單位體積(以公升 L 為單位)內，溶質的莫耳數(mol)，莫耳數則是指溶質分子的數量單位。

計算方法：溶質莫耳數(mole) = 莫耳濃度(M) \times 溶液體積(L)

(二) 因為稀釋只是加入水的動作，增加了溶液體積並減少了溶液濃度，而溶質分子的莫耳數本身沒有增加，因此莫耳濃度與溶液體積成反比，我們可以將計算式改為：

稀釋前 $M_1 \times V_1 =$ 稀釋後 $M_2 \times V_2$

(三) 將稀釋後的體積減去稀釋前的體積($V_2 - V_1$)，即可求得所應加入水的體積。

四、 電解質會導電的原因：(來源－國二課本)

(一) 電解質是指在溶液或熔融狀態下發生解離的物質，稱為離子。離子在溶液中可以自由移動，當通有電流時，正離子移向負極，而負離子移向正極。這些移動的離子，構成溶液的電流，所以水溶液可以導電。

(二) 一般來說，電解質的導電性會隨著溫度的上升而上升。

五、導電度(G)與電阻(R)：(來源－國三課本、維基百科)

- (一) 對一物體通電，在外加的電壓下，能通過物體的電流量，是物體的導電能力，稱為導電度，導電能力好的物質，在外加電壓小的時候，也能讓很多的電子移動通過，繼而發電、發熱等等。

計算方法： 導電度(G) = 電流(I) ÷ 電壓(V)

- (二) 電阻則與導電度相反，任何的電子元件都有電阻(就像對電子的阻力一樣)，電阻大表示導電能力差(電子難以移動、通過)，因此電阻與導電度互為倒數。

計算方法： 電阻(R) = V ÷ I

註：電壓(V)的單位伏特(V)，電流的單位為安培(A)，電阻的單位為歐姆(Ω)，而導電度(G)的單位為(1 / Ω)。

六、串聯與並聯：(來源－國三課本)

- (一) 串聯是一種將各種電子元件串接在同一條電路上的方法，將電子元件串接在一起，會讓電路的電阻增加，導致相同的外加電壓下，電流量會下降，因此電路消耗的電功率($V_{\text{固定}} \times I_{\text{減少}}$)因此下降。安培計(電阻極小)基本上也與電路串聯，這樣可以測得電路上的電流，也幾乎不會減少整體電路的電阻與功率。

- (二) 並聯則與串聯相反，外加電壓會個別對每個電子元件施壓，因此各電子元件之間不會互相影響，使得整體電流量上升。相同電壓下，總電流較大，表示整體的電阻下降了，總電功率($V_{\text{固定}} \times I$)因此上升。不過也因此伏特計(電阻極大)只需與電路並聯，需要極小的電流就可以測得電壓，不會減少整體電路的電阻與功率。

七、電功率 P：(來源－國三課本)

導體內的電子在正負極的兩端電壓的驅使下，電流會攜帶著能量在導體內流動，電流通過電器時，將能量傳遞給電器。電功率表示電器在單位時間內，所消耗的電能。

計算方法： 電功率 P = 電壓 V × 電流 I (註：電功率的單位為瓦特(W))

八、風扇獲得電能比率：(來源－第 50 屆科展，愈熱愈涼快)

定義為風扇在串聯電解池後的功率 P_2 與 電源輸出的功率 P_1 相除的比值。

計算方法： 風扇獲得電能比率 = $P_2 \div P_1 \times 100\%$

九、風扇運轉效能：(來源－第 50 屆科展，愈熱愈涼快)

定義為風扇在串聯電解池時的功率 P_2 與 單獨使用時的功率 P_3 相除的比值。

計算方法： 風扇運轉效能 = $P_2 \div P_3 \times 100\%$

十、省電率：(來源－第 50 屆科展，愈熱愈涼快)

定義為電源在連接單獨使用的風扇時輸出的功率 P_3 減去連接溫控風扇時的輸出功率 P_4 後，再與 P_4 相除的比值。

計算方法： 省電率 = $(P_3 - P_4) \div P_4 \times 100\%$

【評語】 030209

本實驗利用溫度控制電池中電解質與電極接觸的表面積，如此可控制電流的大小進而控制輸出的功率達到省電的效果，本作品的學理簡單，但具有創作性與應用性，頗值得鼓勵。