

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

最佳團隊合作獎

031629

「差」了就來電

學校名稱： 臺北縣立福和國民中學

作者：	指導老師：
國二 林宇臻	許名智
國二 李映萱	魏忠誠
國二 廖曉蕙	
國二 洪銘隆	

關 鍵 詞：溫差電池、太陽能電池、廢熱利用

「差」了就來電

摘要：

鋅銅電池中若兩電極使用同一種金屬片，兩杯溶液及鹽橋使用相同濃度該金屬的鹽類溶液，當改變兩杯溶液溫度時，兩電極便會產生電位差，此產生電流的裝置稱為溫差電池。

溫差電池中若僅進行 $M_{(s, \text{低溫})} + M^{n+}_{(aq, \text{高溫})} \rightleftharpoons M_{(s, \text{高溫})} + M^{n+}_{(aq, \text{低溫})}$ 的反應，則其電池電壓與溫差成正比，且純粹是利用化學反應將熱能轉換成電能，此類電池我們稱之為「典型溫差電池」，例如 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 及 AgNO_3 溫差電池都屬於此類，但兩者差異是 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溫差電池的高溫杯為正極，而 AgNO_3 溫差電池的高溫杯為負極。典型溫差電池的電壓與溫差、電解液種類及電解液濃度有關，電解液濃度愈小，電池的電壓反而愈大。

我們利用典型溫差電池的原理，自製環保、節約能源、可重複使用的實用溫差電池，以 PVC 水管當容器，上、下兩端開口用銅片封住當電極，管內裝海棉及 1M 的 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溶液，熱源加熱上層銅片形成溫差，當溫差維持在 60°C 至 70°C 之間，單一電池的電壓約 40 mV，若串聯 50 個實用溫差電池，估計電壓可達 2 V 以上，就可以對鉛蓄電池充電。實用溫差電池的熱源可由回收冷氣機、工廠的廢熱，或直接利用太陽能來當熱源。



「差」了就來電

壹、研究動機

我們看到自然課本中有關伏打電池可將化學能轉換成電能釋放出來，且從歷屆科展作品中發現僅是改變兩極的溶液濃度或溫度也可釋放出電能，因為有關溫差電池的研究非常少且無適合的式子或定律可完整的說明，所以引起我們對研究溫差電池的興趣。

近年來油價頻頻創新高，使得新能源的開發與能源利用效率的提高成為目前人們最重視的課題，因為我們使用的能源最後大部分都浪費成散亂的熱能，所以我們想利用對溫差電池研究的結果，自製可利用回收廢熱或利用太陽能來產生電能的實用溫差電池。

貳、研究目的

- 一、研究溫差電池中，兩極溫度差異對電池電壓及電流的影響。
- 二、研究溫差電池中，電極與電解液的種類對電池電壓及電流的影響。
- 三、研究溫差電池中，電解液的濃度對電池電壓及電流的影響。
- 四、利用溫差電池的原理，自製利用回收廢熱或太陽能當熱源的實用溫差電池。

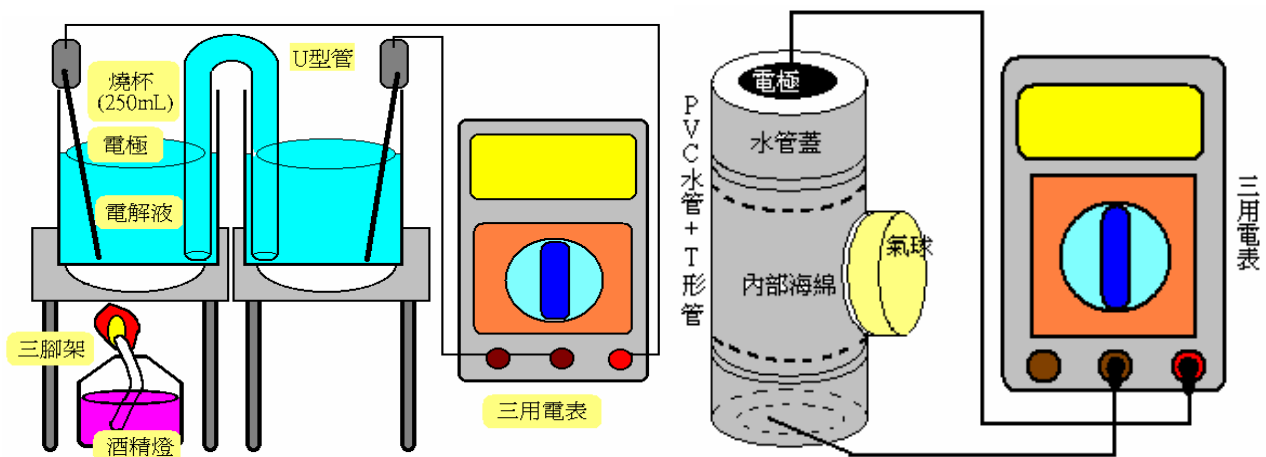
參、研究設備及器材

PVC 水管、水管蓋、橡皮圈、防水膠布、水管專用黏膠、海綿、250mL 燒杯、U 型管、三腳架、陶瓷纖維網、酒精燈、酒精溫度計、熱電偶溫度計、三用電表、附鱷魚夾的導線、250 瓦燈泡、銀片、銅片、鋅片、鋁片、鐵片、硫酸鋁、硫酸鋅、醋酸鋅、硝酸鋅、硫酸鐵、醋酸銀、硝酸銀、硫酸銅、醋酸銅、硝酸銅。

肆、研究方法及步驟

一、研究方法：

- (一)、**鹽橋式溫差電池裝置**：如左下圖裝置，將甲、乙兩燒杯(250mL)及 U 形管置入電解液(200ml)，將 U 形管倒插入兩燒杯中，兩燒杯中分別插入電極，電極盡量貼近杯壁，再用導線連接電極至三用電表，加熱其中一燒杯，並用溫度計測量兩溶液的溫度。



(二)、實用溫差電池的製作：如右上圖裝置

- 1、電極裝置：先將甲、乙兩 PVC 水管裁至適當大小；然後再將兩個水管蓋挖洞，再將銅片黏至水管蓋內當電極，黏上橡膠圈和防水膠布，分別組裝至甲、乙 PVC 管上。
- 2、電池裝置：將甲、乙兩電極裝置組裝至 T 形管兩端，置入電解液，並將裁切好的海綿裝入 PVC 管中，再用橡皮筋將汽球橡皮套在 T 形管的側管上。
- 3、測量裝置：用導線分別連接兩銅片至三用電表，並用熱電偶溫度計測量兩銅片溫度。

二、研究步驟:

一、實驗甲：溫差電池的理論研究

(一)、使用鹽橋式(U形管)溫差電池的裝置，電解液為該電極的金屬鹽類溶液：

- 1、甲、乙兩燒杯中均置入銅片當電極，電解液為 0.0625M 的硫酸銅。
- 2、固定甲杯溶液溫度為室溫，並用酒精燈加熱乙杯溶液，當兩杯溶液的溫差每增加 10 °C 時，記錄三用電表的電壓及電流讀數。
- 3、同上，但硫酸銅的濃度分別改為 0.125 M、0.25M、0.5M 及 1M。
- 4、同上，但電解液分別改為硝酸銅及醋酸銅。

(二)、同步驟(一)，但將電極改為鋅片，電解液分別為硫酸鋅、硝酸鋅、醋酸鋅。

(三)、同步驟(一)，將電極改為銀片，電解液改為硝酸銀。

(四)、同步驟(一)，將電極改為鐵片，電解液改為 0.0625M 硫酸鐵。

(五)、同步驟(一)，將電極改為鋁片，電解液改為 0.0625M 硫酸鋁。

二、實驗乙：自製實用溫差電池

(一) 如研究方法(二)的裝置，金屬片為銅片，電解液為濃度 1M 的硝酸銅，PVC 管口徑 2 吋，兩金屬片距離 20 公分，容器中以海綿塞滿，兩極以導線連至三用電表，將 PVC 管直立放置，以 250W 燈泡照射上層金屬片加熱，當上、下兩金屬片溫差每增加 10°C 時，紀錄電池的電壓及電流。

(二) 同步驟(一)，但兩金屬片距離分別改為 30 公分、40 公分、50 公分。

(三) 同步驟(一)，但 PVC 管口徑改為 2.5、3、3.5 吋。

(四) 再製作步驟(一)的溫差電池 4 個，串聯 2 至 5 個溫差電池，其餘同步驟(一)。

伍、研究結果

一、實驗甲：溫差電池理論研究（鹽橋式溫差電池裝置）

表 1-a：6 種不同的溫差電池，電解液濃度 0.0625M，電壓與溫差的關係。

電壓 組合 \ 溫差 (mV)	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
Cu—CuSO ₄	9.7	17.6	27.4	41.2	54.3	65.9
Zn—ZnSO ₄	10	20.3	28.2	36.8	40.6	50
Fe—Fe ₂ (SO ₄) ₃	-9.7	-21.5	-34.4	-57.2	-77.8	-109.9
Al—Al ₂ (SO ₄) ₃	43.1	18.6	-4.8	-23.8	-31.8	-5.9
Ag—AgNO ₃	-4.7	-9.4	-14.5	-18.3	-22.9	-26.6
Ag—AgCH ₃ COO	-6.3	-10.4	-14.2	-16.8	-18.2	-21.2

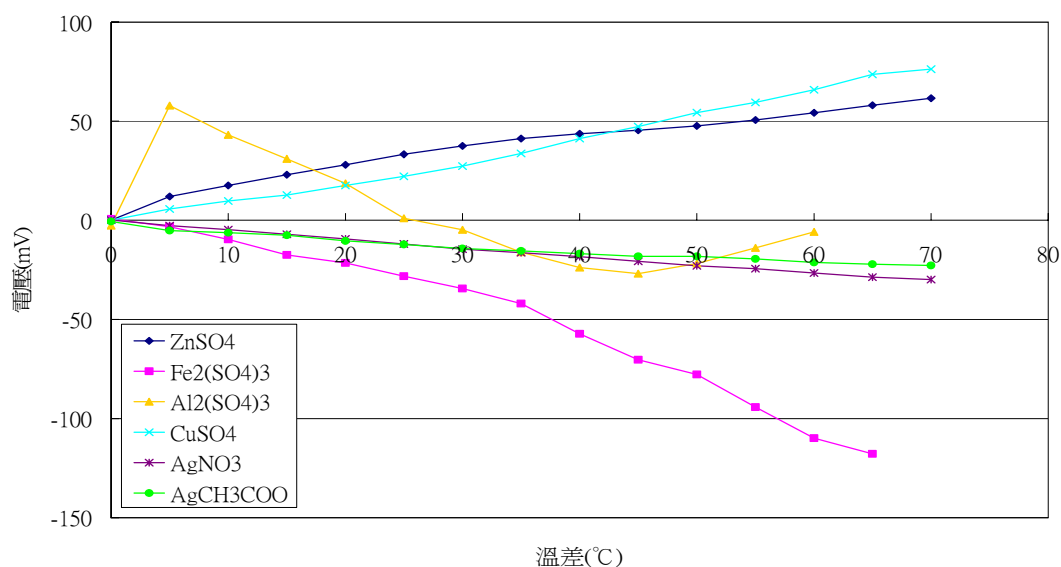


圖 1-a：由表 1-a 數據所得，6 種溫差電池電壓與溫差的關係圖。

表 1-b：6 種不同的溫差電池，電解液濃度 0.0625M，電流與溫差的關係。

電流 濃度 \ 溫差 (mA)	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
Zn—ZnSO ₄	0.004	0.008	0.011	0.013	0.015	0.018
Fe—Fe ₂ (SO ₄) ₃	-0.006	-0.012	-0.021	-0.037	-0.051	-0.074
Al—Al ₂ (SO ₄) ₃	0.01	0.004	-0.001	-0.007	-0.006	-0.001
Cu—CuSO ₄	0.002	0.005	0.009	0.015	0.020	0.026
Ag—AgNO ₃	-0.001	-0.002	-0.004	-0.006	-0.008	-0.010
Ag—AgCH ₃ COO	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.004	-0.005

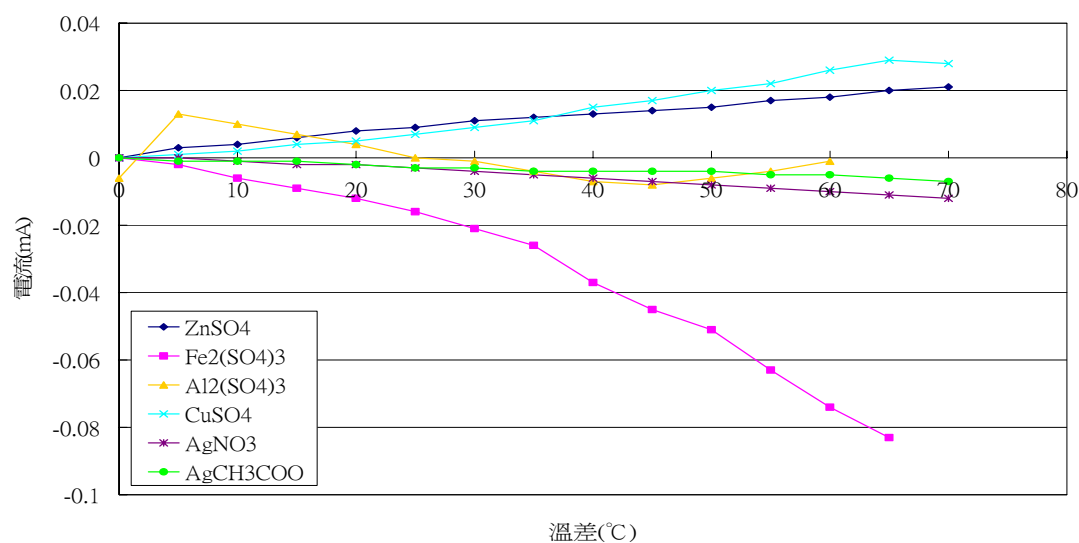


圖 1-b：由表 1-b 數據所得，6 種溫差電池電流與溫差的關係圖。

表 2-1-a：CuSO₄ 溫差電池中，各種 CuSO₄ 濃度，電壓與溫差的關係。

電壓 濃度 \ 溫差 (mV)	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
1M	8.9	19.4	24.1	35	39	49	56.9
0.5M	9	17.2	24.8	34.5	46.5	58.8	65
0.25M	5.7	14.8	20.9	27.8	49.3	57.6	63.3
0.125M	8.3	13	20.3	35.7	53.6	67.4	83.1
0.0625M	9.7	17.6	27.4	41.2	54.3	65.9	76.2

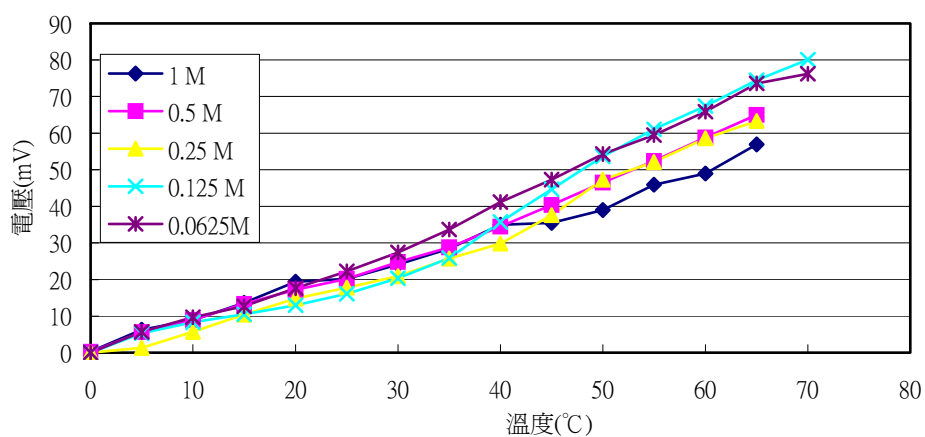


圖 2-1-a：由表 2-1-a 數據所得，各種 CuSO₄ 濃度，電壓與溫差的關係圖。

表 2-1-b：CuSO₄ 溫差電池中，各種 CuSO₄ 濃度，電流與溫差的關係。

電流 濃度 \ 溫差 (mA)	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
1M	0.017	0.03	0.047	0.063	0.082	0.106	0.126
0.5M	0.011	0.022	0.032	0.039	0.057	0.075	0.09
0.25M	0.005	0.015	0.022	0.034	0.056	0.071	0.077
0.125M	0.004	0.007	0.012	0.022	0.034	0.044	0.054
0.0625M	0.02	0.005	0.009	0.015	0.02	0.026	0.028

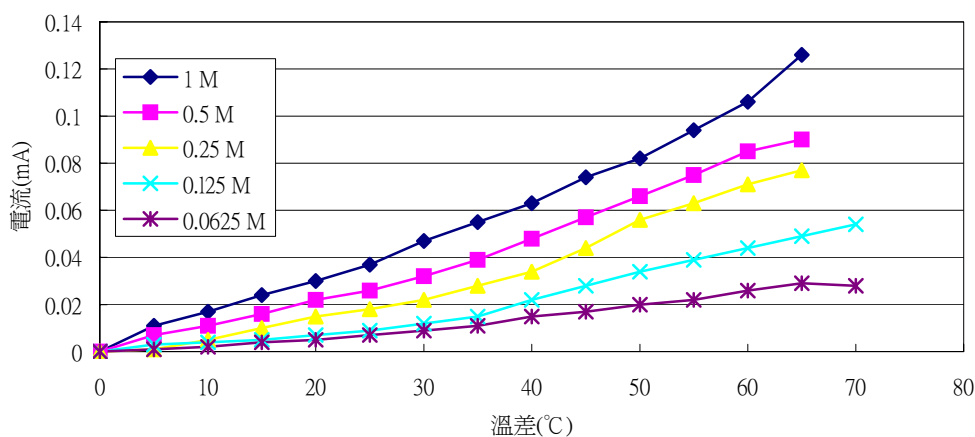


圖 2-1-b：由表 2-1-b 數據所得，各種 CuSO₄ 濃度，電流與溫差的關係圖。

表 2-2-a：Cu(NO₃)₂ 溫差電池中，各種 Cu(NO₃)₂ 濃度，電壓與溫差的關係。

電壓 濃度 \ 溫差 (mV)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1M	9.5	16.5	23.7	31.3	39.8	48.2	55.4
0.5M	10.1	16.3	23.2	30.1	38.2	46.9	60
0.25M	5.4	10.4	17.7	24.4	32.9	60	67
0.125M	7.4	13.4	21.5	34.9	49.3	60	71.8
0.0625M	5.5	10.2	17.8	35.3	53.1	66	84.9

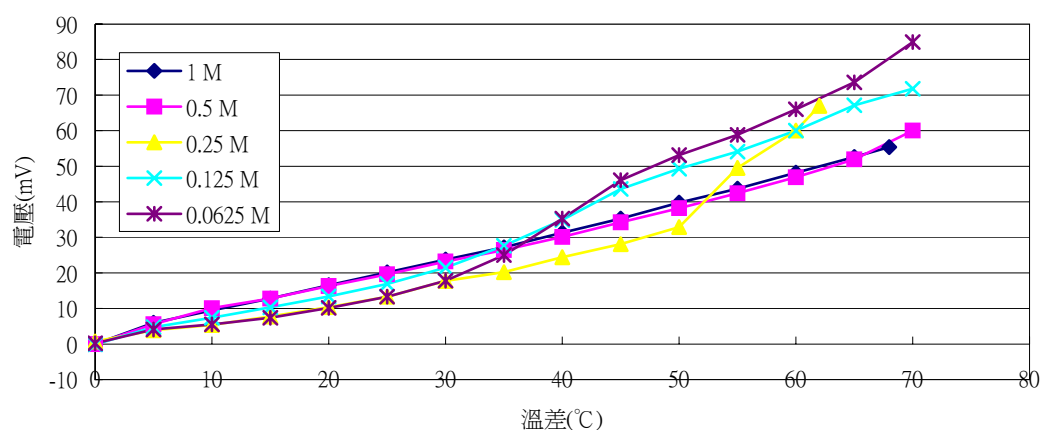


圖 2-2-a：由表 2-1-a 數據所得，各種 Cu(NO₃)₂ 濃度，電壓與溫差的關係圖。

表 2-2-b：Cu(NO₃)₂ 溫差電池中，各種 Cu(NO₃)₂ 濃度，電流與溫差的關係。

電流 濃度 \ 溫差 (mA)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1M	0.03	0.054	0.078	0.104	0.148	0.188	0.217
0.5M	0.019	0.032	0.049	0.068	0.091	0.112	0.154
0.25M	0.008	0.017	0.03	0.044	0.063	0.117	0.135
0.125M	0.006	0.012	0.021	0.038	0.056	0.071	0.086
0.0625M	0.002	0.005	0.01	0.022	0.033	0.044	0.059

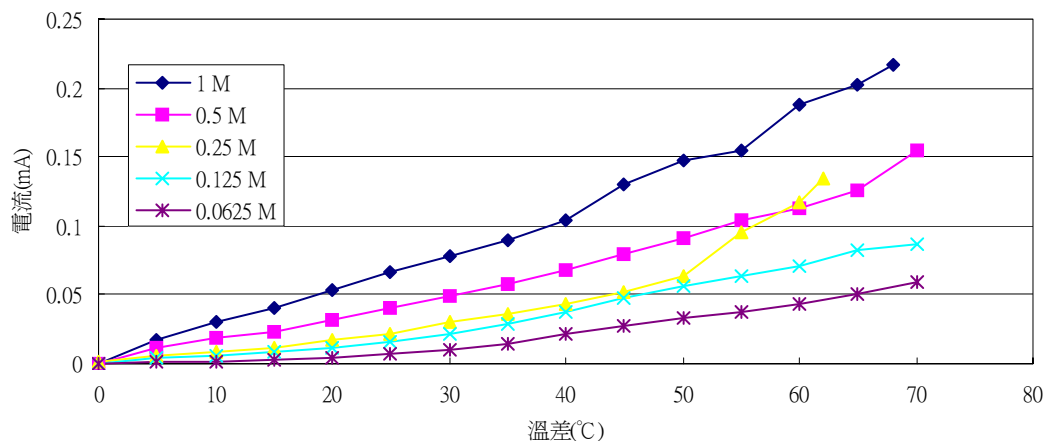


圖 2-2-b：由表 2-2-b 數據所得，各種 Cu(NO₃)₂ 濃度，電流與溫差的關係圖。

表 2-3-a：Cu(CH₃COO)₂ 溫差電池中，各種 Cu(CH₃COO)₂ 濃度，電壓與溫差的關係。

電壓 濃度 \ 溫差 (mV)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
0.25M	20	33.9	48	60	70.2	78.5	83.4
0.125M	16	28.9	42	54.9	65	74	77.4
0.0625M	22.7	37.6	46.5	57.1	67.7	78	76.9

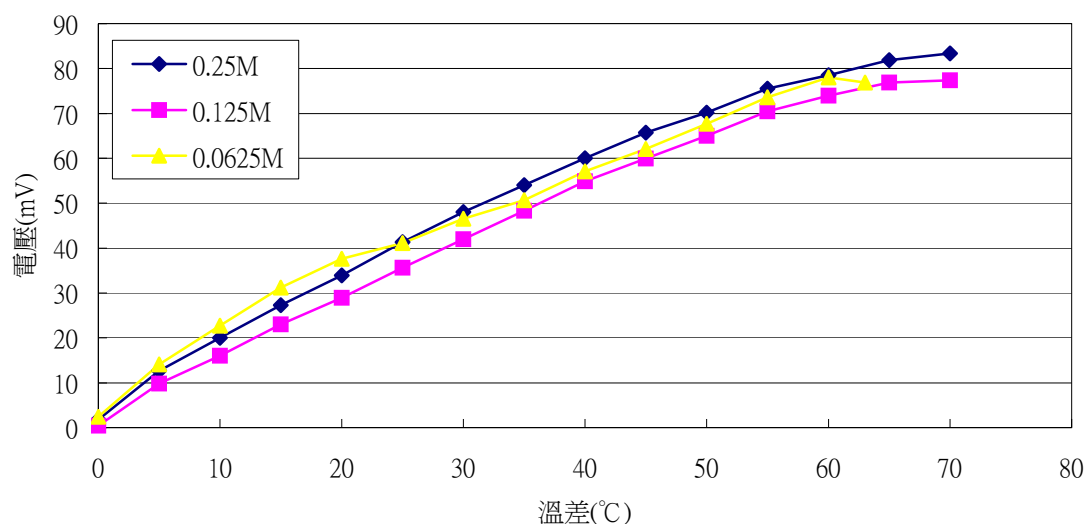


圖 2-3-a：由表 2-3-a 數據所得，各種 Cu(CH₃COO)₂ 濃度，電壓與溫差的關係圖。

表 2-3-b：Cu(CH₃COO)₂ 溫差電池中，各種 Cu(CH₃COO)₂ 濃度，電流與溫差的關係。

電流 濃度 \ 溫差 (mA)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
0.25M	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025	0.028	0.031
0.125M	0.003	0.006	0.009	0.013	0.017	0.02	0.02
0.0625M	0.003	0.005	0.007	0.009	0.012	0.014	

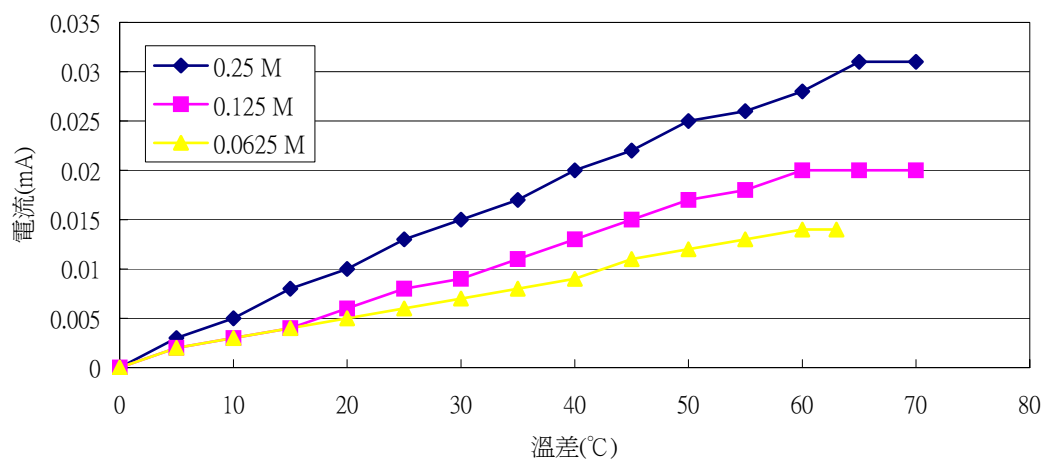


圖 2-3-b：由表 2-3-b 數據所得，各種 Cu(CH₃COO)₂ 濃度，電流與溫差的關係圖。

表 2-4-a：Zn(CH₃COO)₂ 溫差電池中，各種 Zn(CH₃COO)₂ 濃度，電壓與溫差的關係。

電壓 濃度 \ 溫差 (mV)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1M	9.8	18.9	25.2	27.4	29.4	32.4	33.3
0.5M	10.8	19.2	28.6	31.5	34.1	36.6	35.8
0.25M	9.1	15.7	22.6	29.4	36.9	42.6	45.3
0.125M	5.9	12.6	20.4	26.9	33.9	42.9	54
0.0625M	10.7	18.8	23.3	29.9	36.4	46.4	53.9

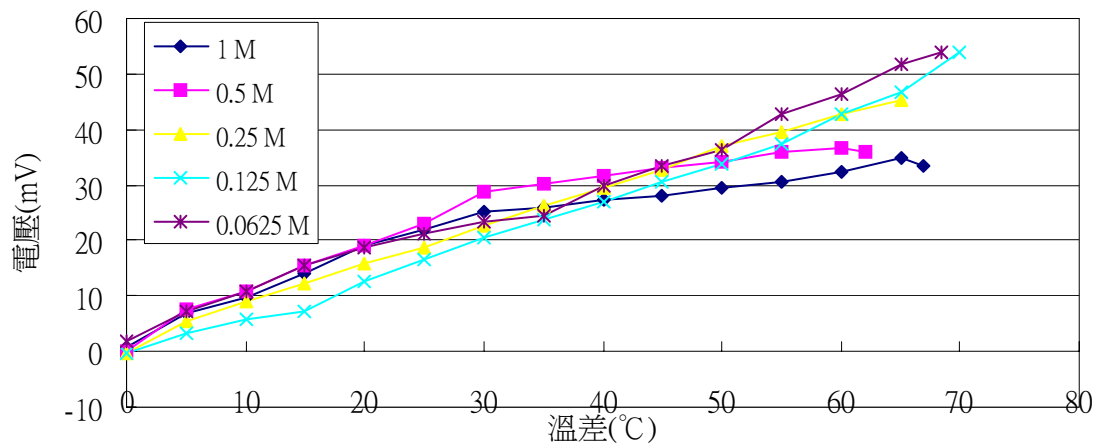


圖 2-4-a：由表 2-4-a 數據所得，各種 Zn(CH₃COO)₂ 濃度，電壓與溫差的關係圖。

表 2-4-b：Zn(CH₃COO)₂ 溫差電池中，各種 Zn(CH₃COO)₂ 濃度，電流與溫差的關係。

電流 濃度 \ 溫差 (mA)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1M	0.006	0.012	0.019	0.021	0.024	0.026	0.027
0.5M	0.008	0.015	0.022	0.026	0.028	0.033	0.03
0.25M	0.004	0.008	0.013	0.017	0.022	0.027	0.028
0.125M	0.002	0.004	0.008	0.01	0.014	0.018	0.023
0.0625M	0.003	0.005	0.007	0.009	0.011	0.014	0.016

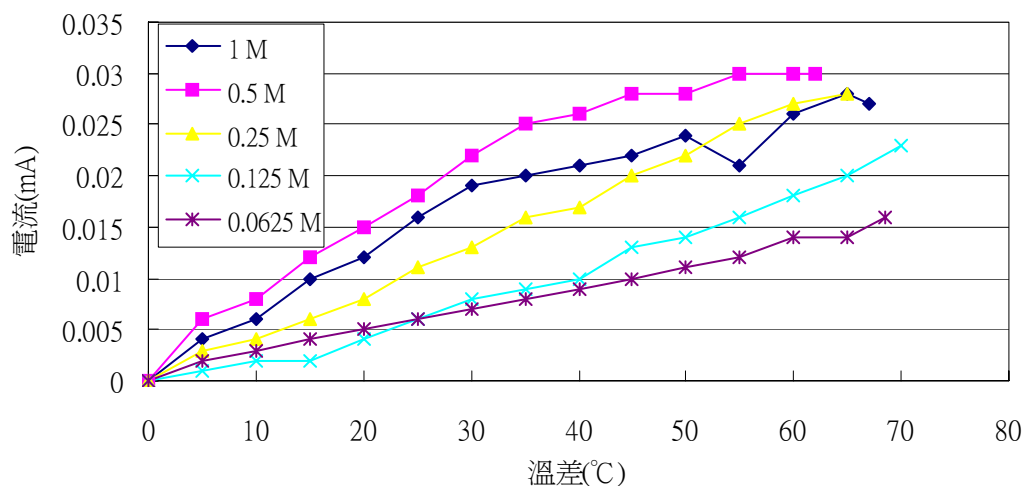


圖 2-4-b：由表 2-4-b 數據所得，各種 Zn(CH₃COO)₂ 濃度，電流與溫差的關係圖。

表 2-5-a：ZnSO₄ 溫差電池中，各種 ZnSO₄ 濃度，電壓與溫差的關係。

電壓 濃度 \ 溫差 (mV)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1M	12	21.7	31.3	40	46.6	52.3	53.9
0.5M	12.6	21	29.9	37.4	44.3	57.2	59.5
0.25M	12.6	17.9	23.8	28	33	39.2	42.9
0.125M	13.4	21.4	28.7	36.6	45.3	55.2	63
0.0625M	17.6	28	37.5	43.6	47.6	54.2	61.6

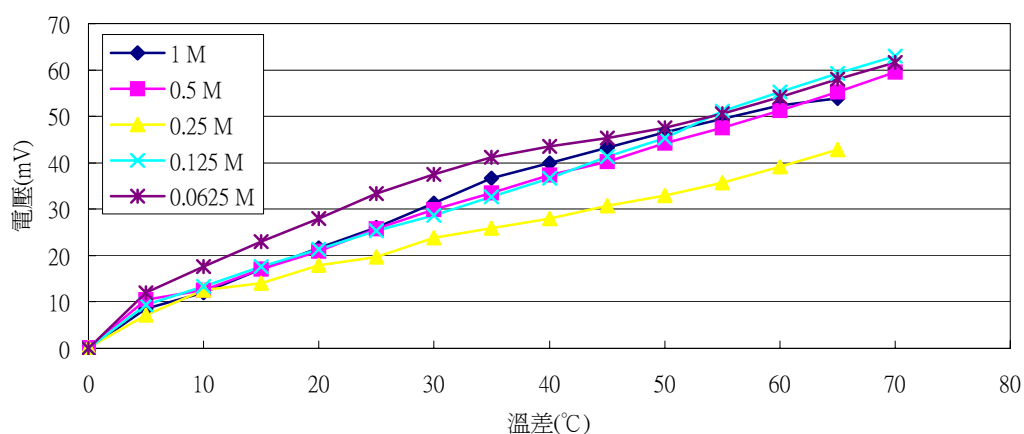


圖 2-5-a：由表 2-5-a 數據所得，各種 ZnSO₄ 濃度，電壓與溫差的關係圖。

表 2-5-b：ZnSO₄ 溫差電池中，各種 ZnSO₄ 濃度，電流與溫差的關係。

電流 濃度 \ 溫差 (mA)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
1M	0.02	0.04	0.057	0.081	0.092	0.104	0.116
0.5M	0.016	0.027	0.041	0.053	0.065	0.078	0.091
0.25M	0.008	0.014	0.02	0.025	0.03	0.037	0.04
0.125M	0.005	0.009	0.013	0.017	0.023	0.029	0.033
0.0625M	0.004	0.008	0.011	0.013	0.015	0.018	0.021

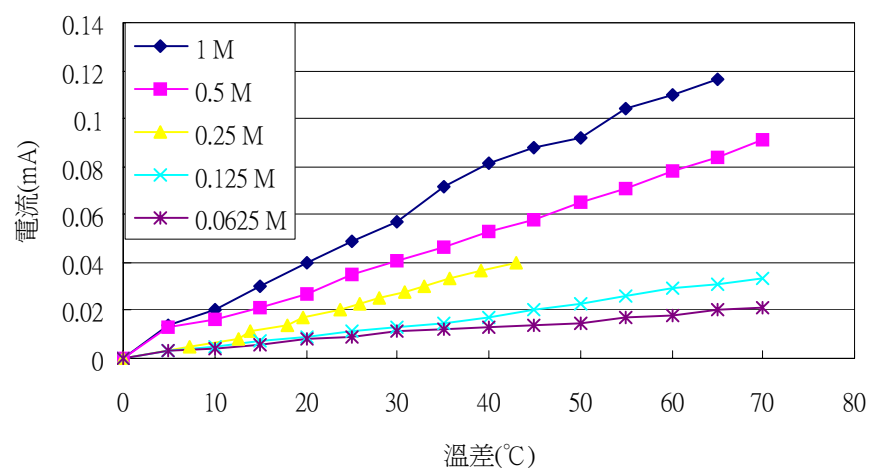


圖 2-5-b：由表 2-5-b 數據所得，各種 ZnSO₄ 濃度，電流與溫差的關係圖。

表 2-6-a：AgNO₃ 溫差電池中，各種 AgNO₃ 濃度，電壓與溫差的關係。

電壓 濃度 \ 溫差 (mV)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
1M	-3.0	-6.1	-9.5	-12.8	-14.1	-14.2
0.5M	-3.3	-6.2	-9.0	-12.8	-16.7	-17.0
0.25M	-5.7	-10.3	-15.6	-19.8	-21.7	-23.5
0.125M	-5.8	-10.4	-15.1	-19.9	-22.7	-23.3
0.0625M	-4.7	-9.4	-14.5	-18.3	-22.9	-26.6

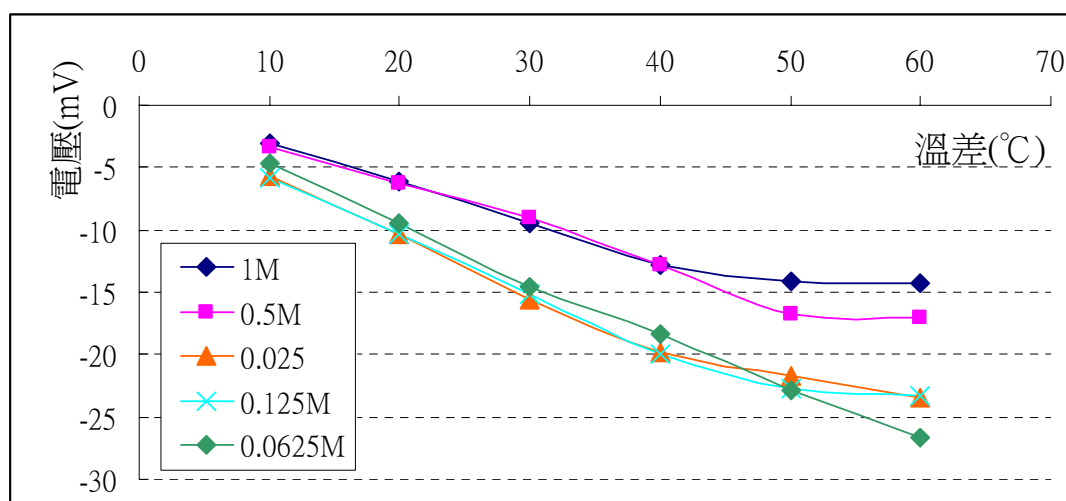


圖 2-6-a：由表 2-6-a 數據所得，各種 AgNO₃ 濃度，電壓與溫差的關係圖。

表 2-6-b：AgNO₃ 溫差電池中，各種 AgNO₃ 濃度，電流與溫差的關係。

電流 濃度 \ 溫差 (mA)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
1M	-0.007	-0.013	-0.020	-0.028	-0.032	-0.038
0.5M	-0.003	-0.008	-0.013	-0.021	-0.027	-0.030
0.25M	-0.004	-0.008	-0.013	-0.014	-0.020	-0.025
0.125M	-0.002	-0.005	-0.007	-0.015	-0.016	-0.017
0.0625M	-0.001	-0.002	-0.004	-0.006	-0.008	-0.010

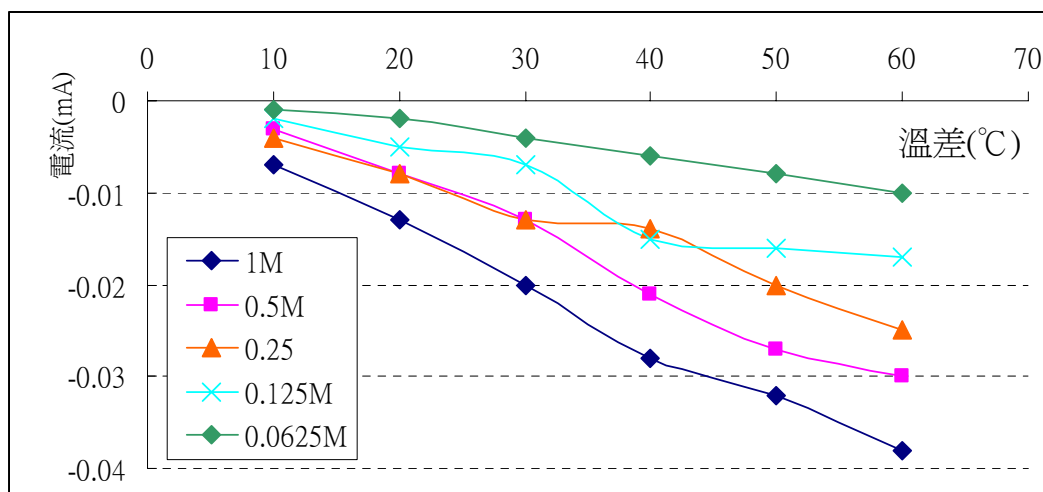


圖 2-6-b：由表 2-6-b 數據所得，各種 AgNO₃ 濃度，電流與溫差的關係圖。

二、實驗乙：自製實用溫差電池（PVC 水管裝置，電解液 1M $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ）

表 3-1-a：實用溫差電池，管內有無海綿，電池電壓與溫差的關係。

電壓 有無	溫差 (mV)	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
	(mV)							
有		6	10.3	12.1	15.3	20.1	25.2	
無		4.4	7.9	11.3	15.1	19.4	24.1	28.8

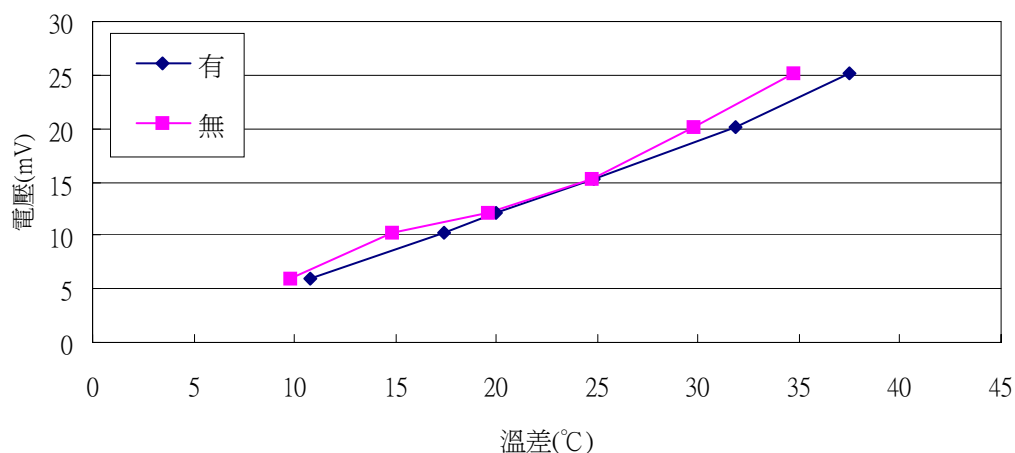


圖 3-1-a：實用溫差電池，管內有無海綿，電池電壓與溫差的關係圖。

表 3-1-b：實用溫差電池，管內有無海綿，電池電流與溫差的關係。

電流 有無	溫差 (mA)	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
	(mA)							
有		0.031	0.054	0.063	0.067	0.091	0.12	
無		0.021	0.036	0.054	0.068	0.092	0.121	0.144

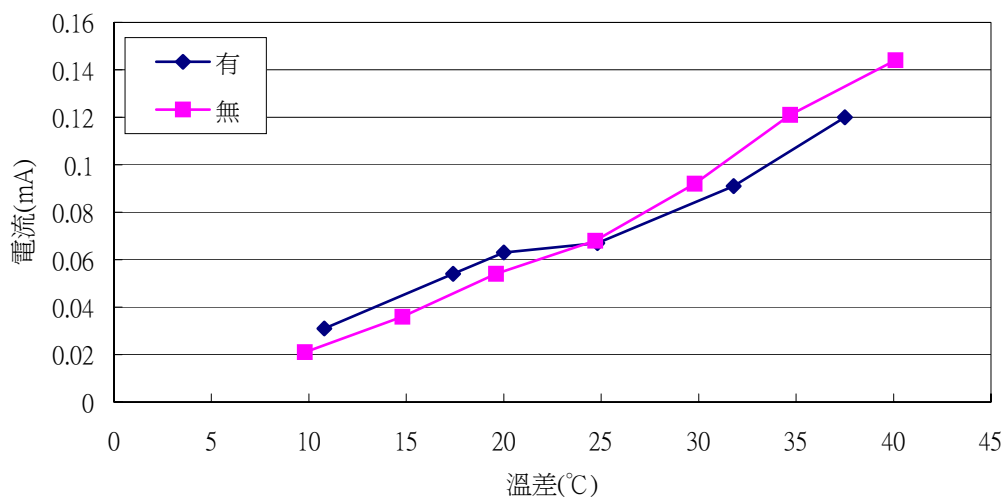


圖 3-1-b：實用溫差電池，管內有無海綿，電池電流與溫差的關係圖。

表 3-2-a：實用溫差電池，PVC 管不同口徑，電池電壓與溫差的關係。

電壓 口徑 \ 溫差 (mV)	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
2 吋	5.4	8.8	12.6	15.4	18.9	23.5	26.9
2.5 吋	5.5	9.3	13.2	15.7	19.6	23.7	26.6
3 吋	5.7	8.9	12.9	16.8	20.5	24.4	28.0
3.5 吋	5.5	9.2	13.1	16.0	19.7	25.1	27.7

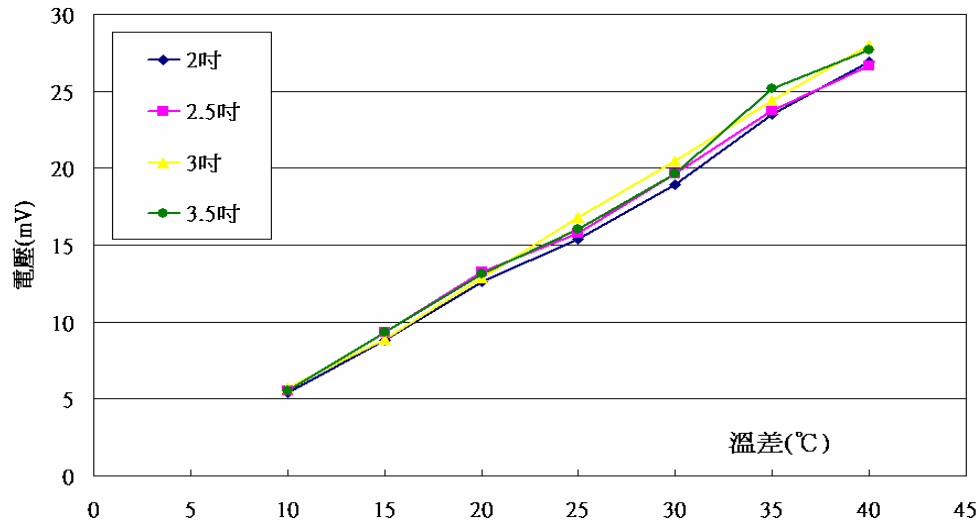


圖 3-2-a：實用溫差電池，PVC 管不同口徑，電池電壓與溫差的關係圖。

表 3-2-b：實用溫差電池，PVC 管不同口徑，電池電流與溫差的關係。

電流 口徑 \ 溫差 (mA)	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
2 吋	0.029	0.047	0.063	0.068	0.086	0.112	0.128
2.5 吋	0.035	0.056	0.081	0.095	0.120	0.157	0.179
3 吋	0.042	0.075	0.104	0.136	0.167	0.194	0.228
3.5 吋	0.068	0.103	0.138	0.177	0.203	0.265	0.302

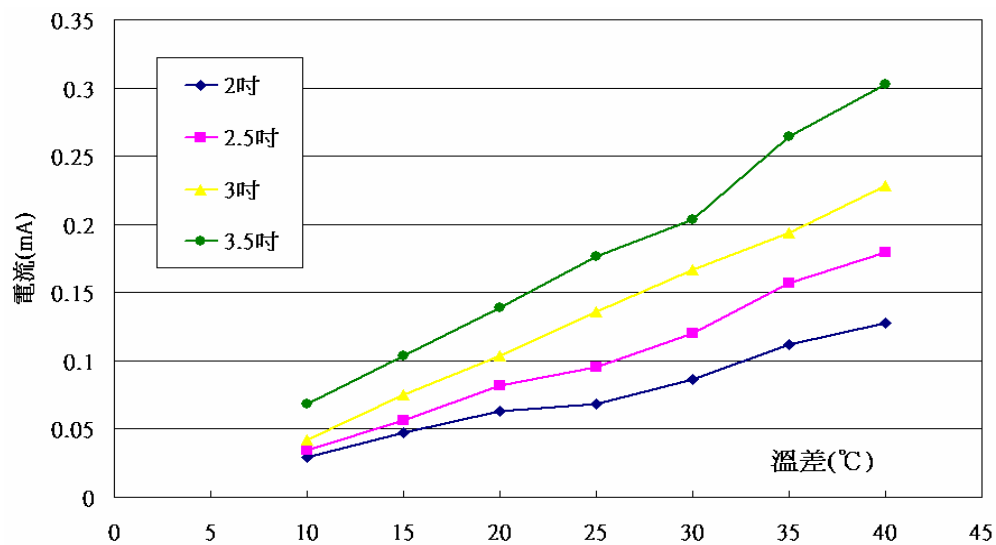


圖 3-2-b：實用溫差電池，PVC 管不同口徑，電池電流與溫差的關係圖。

表 3-3-a：實用溫差電池，PVC 管不同長度，電池電壓與溫差的關係。

電壓 長度 溫差 (mV)	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
20cm	7.1	10.5	17.1	22.0	24.9	27.8	30.8
30cm	6.4	9.6	13.9	18.3	23.1	26.7	29.8
40cm	6.9	9.3	13.6	17.3	21.7	24.9	27.9
50cm	6.3	9.0	13.7	17.7	21.4	24.4	27.2

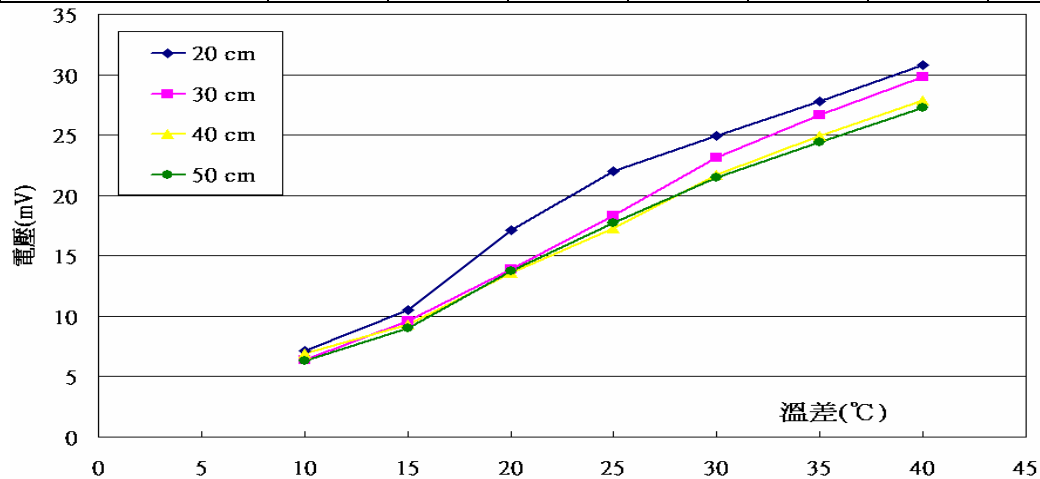


圖 3-3-a：實用溫差電池，PVC 管不同長度，電池電壓與溫差的關係圖。

表 3-3-b：實用溫差電池，PVC 管不同長度，電池電流與溫差的關係。

電流 長度 溫差 (mA)	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
20cm	0.050	0.073	0.102	0.127	0.154	0.176	0.200
30cm	0.033	0.041	0.063	0.106	0.138	0.158	0.178
40cm	0.024	0.032	0.051	0.076	0.097	0.124	0.144
50cm	0.019	0.026	0.041	0.053	0.078	0.093	0.115

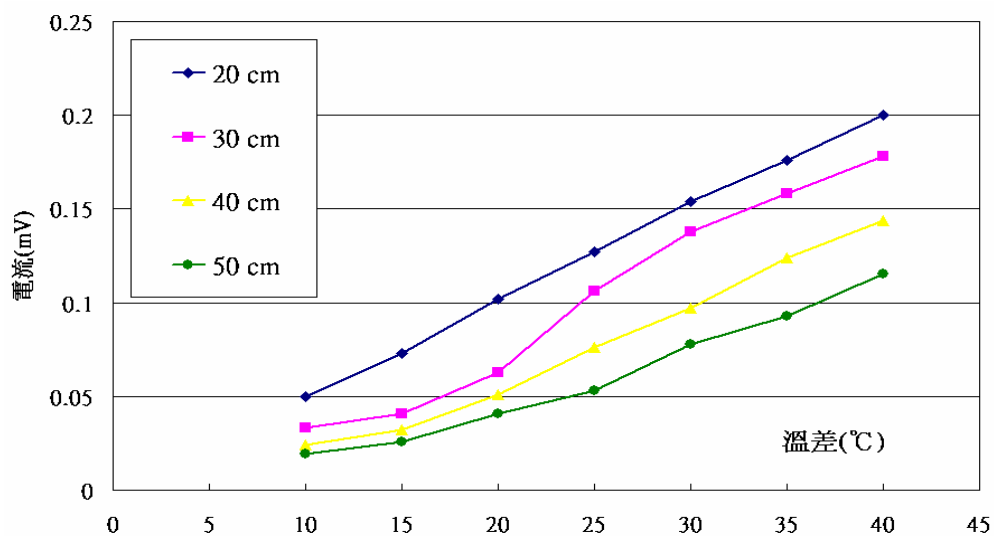


圖 3-3-b：實用溫差電池，PVC 管不同長度，電池電流與溫差的關係圖。

表 4-1：甲、乙兩實用溫差電池，分別正立、倒立，電池電壓與溫差的關係。

電壓 編號 \ 溫差 (mV)	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃
甲 (正立)	5.2	12.3	19.3	25.7	32.3	39.9	45.3
乙 (正立)	4.6	10.7	17.1	23.9	33.1	39.6	47.3
甲 (倒立)	5.9	12.8	18.9	24.2	31.9	38.5	43.8
乙 (倒立)	4.1	10.8	16.8	22.9	32.2	39.5	46.3
平均	5.0	11.7	18.0	24.2	32.4	39.4	45.7

表 4-2：實用溫差電池，溫差為 75℃ 時，電壓、電流與電池串聯個數的關係。

串聯個數	1	2	3	4	5
電壓(mV)	50.4	99.6	148.8	198.2	243.7
電流(mA)	0.381	0.467	0.580	0.655	0.722

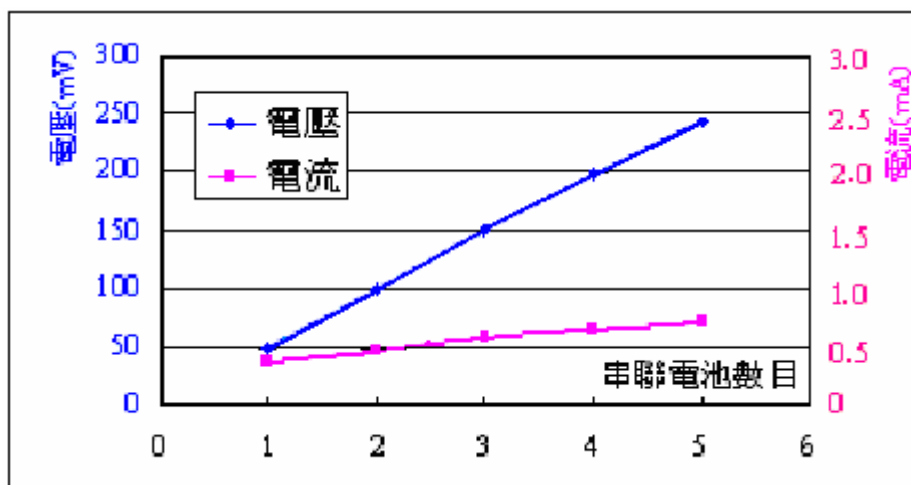


圖 4：同表 4-1 的資料，電壓、電流與電池串聯個數的關係圖。

陸、討論

一、典型溫差電池的探討

1、溫差電池研究裝置的改良：

我們爲了研究伏打電池中，如果兩電極爲相同金屬片，兩杯電解液都是同濃度的該金屬鹽類，是否兩極也會有電位差，我們將傳統伏打電池的鹽橋內改置入同濃度的該金屬鹽類，而且U形管兩端不須要塞棉花，利用熱對流原理，高溫杯溶液的熱量不易經由U形管傳遞至低溫杯，實驗結果顯示當高溫杯溶液的溫度達90℃時，低溫杯溶液僅約上升0.5℃。

2、典型溫差電池：

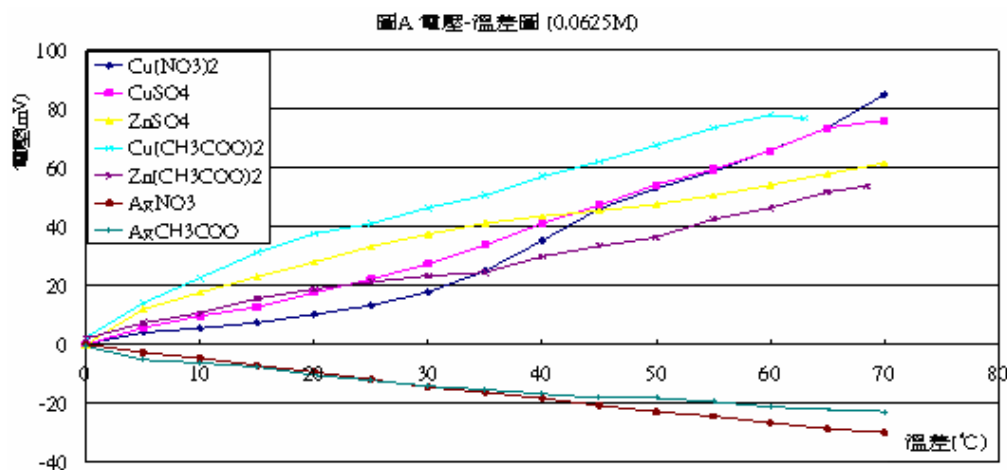
- (1) 表1-a及表1-b所列爲Cu、Zn、Al、Fe的硫酸鹽溫差電池及Ag的硝酸鹽、醋酸鹽溫差電池（Ag₂SO₄難溶於水），兩極間電壓、電流與兩杯溶液溫差的關係，由表得知當兩杯溶液的溫度不同時，兩電極間會有電位差，也就是可以形成溫差電池。
- (2) 由圖1-a可發現Cu、Zn、Ag溫差電池其電壓與溫差成正比，我們稱此類溫差電池爲「典型溫差電池」，其中Cu、Zn溫差電池，溫度高的那杯電極電位較高，而且兩杯溶液的溫

度差距越大，電池電壓就越大，而Ag溫差電池雖然電池電壓也與兩杯溶液溫差成正比，但溫度高的那杯電極電位卻較低。

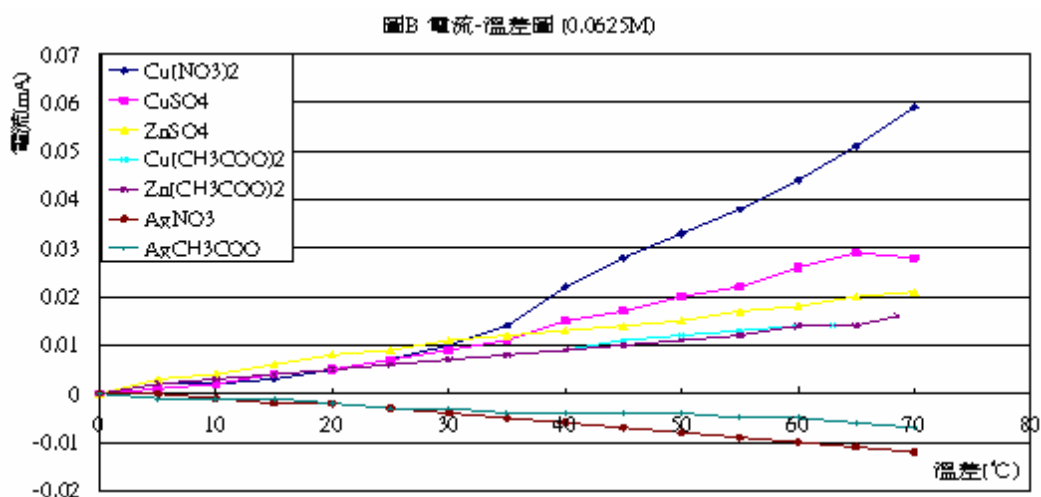
- (3) Cu溫差電池放電一段時間後，可以發現高溫杯溶液中的銅片表面有金屬銅析出，表示進行 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ 的反應，所以高溫端是電池的正極，而低溫杯溶液中銅片表面逐漸溶解，表示進行 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ 的反應，所以低溫端是電池的負極。Zn 溫差電池也有類似的現象。
- (4) Ag 溫差電池放電一段時間後，可以發現高溫杯溶液中銀片表面逐漸溶解，表示進行 $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$ 的反應，所以高溫端是電池的負極，高溫杯溶液中銀片表面有金屬銀析出，表示進行 $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$ 的反應，所以低溫端是電池的正極。

3、典型溫差電池電壓、電流與電池種類的關係：

- (1) 下圖 A 是 Cu、Zn、Ag 等 7 種典型溫差電池（電解液濃度均為 0.0625M）的電壓對溫差作圖，由圖可知相同溫差時，電池電壓大小關係為 Cu 溫差電池 > Zn 溫差電池 > Ag 溫差電池，不過電解液中負離子種類也會影響電壓大小，Cu 溫差電池中以 $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 電池電壓最大，Zn 溫差電池中以 ZnSO_4 電池電壓較大，Ag 溫差電池中以 AgNO_3 電池電壓較大，所以判斷典型溫差電池電壓大小不能光看負離子種類而定，而應看正、負離子組合種類而定。

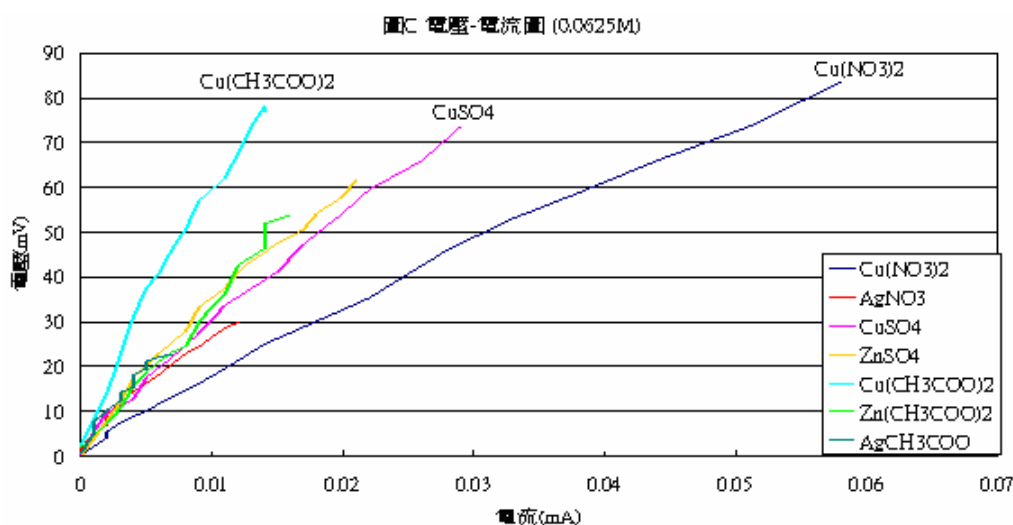


- (2) 下圖 B 是 Cu、Zn、Ag 等 7 種典型溫差電池（電解液濃度均為 0.0625M）的電流對溫差作圖，由圖可知電流變化趨勢與電壓的變化趨勢大致一樣，兩者最大的差異是當溫差大於 30°C 時， $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 電池的電流大幅增加。



4、典型溫差電池的內電阻

- (1) 如下圖 C 將 Cu、Zn、Ag 等 7 種典型溫差電池的電壓對電流作圖，圖中曲線的斜率大小即為電池的內電阻，從圖 C 可以發現 7 種典型溫差電池的電壓與電流約呈線性關係，不過隨著電壓升高，內電阻略微下降。
- (2) 比較 7 種典型溫差電池的內電阻，可知內電阻受正離子種類影響的關係不明確，但受負離子種類影響較有規律，Zn 溫差電池的內電阻幾乎與負離子種類(SO_4^{2-} 、 CH_3COO^-)無關，Ag 溫差電池的內電阻略受負離子種類影響(內電阻： NO_3^- 略小於 CH_3COO^-)，Cu 溫差電池的內電阻受負離子種類影響最大 (內電阻： $\text{NO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{CH}_3\text{COO}^-$)，因此 7 種典型溫差電池中， $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 電池的內電阻明顯偏小， $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 電池的內電阻明顯偏大。



5、典型溫差電池的電壓、電流與電解液濃度的關係：

(1) 電壓與電解液濃度的關係：

圖 2-1-a 至圖 2-6-a 顯示 6 種 Cu、Zn、Ag 典型溫差電池，其電壓與電解液濃度的關係，由關係圖發現這 6 種典型溫差電池，當電解液濃度愈小，電壓竟然愈大。

(2) 電流與電解液濃度的關係：

圖 2-1-b 至圖 2-6-b 顯示 6 種 Cu、Zn、Ag 典型溫差電池，其電流與電解液濃度的關係，由關係圖發現這 6 種典型溫差電池，當電解液濃度愈小，電流也跟著愈小。雖然濃度愈小，電壓略微增大，但電解液中導電離子數目大減，造成電流減小。

二、非典型溫差電池的探討

- 1、Al 溫差電池 ($\text{Al} / \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{aq})$)，隨著溫差愈大，電壓的大小呈現不規則變化，且溫差在 20°C 以下時，高溫杯是正極，溫差在 30°C 以上時，高溫杯反而是負極，同時高溫杯產生大量氣體，以點燃線香檢驗之，有爆鳴聲出現，可知此氣體為 H_2 ，此乃因鋁的活性大，鋁雖然不會與常溫的水起反應，但會與高溫的水反應產生氫氣。
- 2、Fe 溫差電池 ($\text{Fe} / \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{aq})$)，隨著溫差愈大電壓也愈大，但不成線性增加，且高溫杯總是負極，在溫差 60°C 時電壓甚至高達 109.9mV ，同時高溫杯產生大量氫氣，鐵的活性應該不足以與高溫的水產生氫氣，但鐵片單獨置入有 Fe^{3+} 離子的高溫溶液就會產生氫氣。
- 3、Zn 溫差電池中，如果電解液選用 $\text{ZnSO}_4(\text{aq})$ 或 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ，電壓與溫差都會成正比，但如果電解液選用 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ 時，雖然隨著溫差愈大，電壓也愈大，且高溫杯總是正

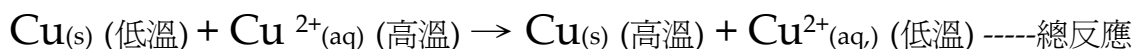
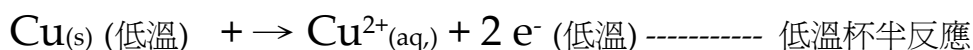
極，但高溫杯溶液溫度超過 50°C 時會產生氫氣，且隨著溫差愈大，電壓增加幅度更大，電壓與溫差不呈線性關係。

- 4、以上討論的溫差電池其電壓與溫差不成正比，我們稱之為「非典型溫差電池」，其共同特色是產生了 $M_{(s, \text{低溫})} + M^{n+}_{(aq, \text{高溫})} \rightleftharpoons M_{(s, \text{高溫})} + M^{n+}_{(aq, \text{低溫})}$ 之外的反應，例如產生 $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ 的反應，因此「非典型溫差電池」有部分的電能是由化學能所轉換而來，並不純粹是熱能轉換成電能。

三、典型溫差電池的理論探討

為了探討溫差電池放電的原理，我們查閱相關資料及請教老師，老師指示「能士特方程式」只能適用在定溫下，也就是只能解釋濃差電池，對於溫差電池只能回到原始熱力學第二定律來解釋，由於此理論超出我們所學，所以我們在老師的協助下，利用研究結果配合熱力學原理，對溫差電池做了下列的推論：

- 1、熱力學公式 $G = H - TS$ ，其中 G 為自由能， H 為焓(熱含量)， T 為溫度， S 為熵， $\Delta G = \Delta H - \Delta(TS) = -nF\varepsilon$ ，若 ΔG 為負值，則向右反應為自發反應，電池電動勢 ε 與自由能變化 ΔG 成正比，與得失電子數 n 成反比。
- 2、Cu 溫差電池中的反應如下：



一定溫差下，金屬銅 $Cu_{(s)}$ 在高溫時比低溫時，其熱含量(H)大，同樣地，銅離子 $Cu^{2+}_{(aq)}$ 在高溫時比低溫時，其熱含量(H)大，但兩者差值不同，使得總反應 $\Delta H \neq 0$ ，同理，總反應 $\Delta(TS) \neq 0$ ，所以總反應 $\Delta G \neq 0$ ，而使得反應朝自由能減少的一方進行，對於銅與鋅的溫差電池，向右反應(正反應)自由能減少，所以反應向右進行，而使得高溫杯進行得電子的還原半反應，因此電位較高為正極。

- 2、對於銀的溫差電池，向右反應(正反應)自由能增加，所以反應向左進行，而使得高溫杯進行失電子的氧化半反應，因此電位較低為負極。
- 3、各種不同電解液的典型溫差電池的電動勢 ε 的大小，與自由能變化 ΔG 成正比，與得失電子數 n 成反比。($\Delta G = -nF\varepsilon$)，典型溫差電池放電反應的自由能變化 ΔG 的大小會隨金屬、金屬離子種類的不同而有較大差異，電解液中負離子的種類也會造成 ΔG 的大小有些微的不同，另外不同的溫差電池 $M_{(s)} \rightleftharpoons M^{n+} + ne^-$ 得失電子數 n 不盡相同，所以典型溫差電池電動勢 ε 的大小與電極金屬種類、電解液負離子種類有關。
- 4、各種不同電解液的典型溫差電池，隨著電解液濃度越小，其電動勢 ε 越大，同一種電解液，在同一溫度，當濃度不同時，其焓與熵也會不同，使得濃度越小，典型溫差電池的自由能變化越大，電動勢 ε 也就越大。

四、實用溫差電池的探討

- 1、實用溫差電池的製作：

(1) 電極及電解液種類的選擇：

爲了製作可重覆使用且純粹由熱能轉換成電能的實用溫差電池，必須選擇典型溫差電池，又爲了製作功率大的實用溫差電池，必須考慮如何提升電池的電壓及電流，由前面的研究發現，典型溫差電池中以 Cu 溫差電池的電壓較大，且其中 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溫差電池的電流最大，因此我們選擇 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溫差電池來製作實用溫差電池。

(2) 電解液濃度的選擇：

雖然電解液濃度越小，電壓略微增加，但爲了得到較大的電流，我們選擇濃度較大的 1M $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ 溶液當電解液。

2、實用溫差電池的裝置：

(1) PVC 管裝置

PVC 管的材質不易導熱及導電，所以適合當容器，不同於傳統伏打電池是將金屬片浸在電解液中，我們將銅片當作整個容器兩端的外殼，銅片只有一側與電解液接觸，如此裝置的優點是熱源供給的熱量幾乎只加熱上層銅片及臨近銅片的一小部分電解液，不但使得加熱快速而且容易維持兩極的溫差。另外 T 型側管的橡皮是爲了維持電池內的壓力一定。

(2) 加熱裝置

兩電極採上下配置，熱源由上方傳遞至上層金屬片，因上熱下冷的水溶液不容易發生對流，可維持兩極的溫差。我們實驗時是用燈泡發光照射上層銅片，實際使用時可由熱源利用散熱片將熱傳導至上層銅片，但散熱片與上層銅片間要隔一層電的絕緣體。

3、實用溫差電池的結構選擇：

(1) 海綿：由圖 3-1 可知，管內加裝海綿對電壓影響不大，但會使電流略微減小，我們選擇加裝海綿，是爲了防止上層高溫銅片及電解液向下輻射熱量，且萬一電池有搖晃時，可避免電解液流動。

(2) 兩電極距離(電池長度)：由圖 3-2 可知，兩電極距離對電壓影響不大；而兩電極距離愈小，電流愈大。但兩電極距離太小時，無法維持兩極溫差，所以我們選擇 20 公分。

(3) 電極板面積(電池粗細)：由圖 3-3 可知，電極板面積對電壓影響不大；而電流與電極板面積約成正比。但我們考慮電池總重量不要太大，所以僅選用直徑 2 吋的 PVC 管。

4、實用溫差電池的測試：

(1) 電池電壓的穩定性與重覆性：

由表 4-1 看出甲、乙兩同規格的實用溫差電池及將它們倒置後，在同一溫差，電壓差異不大，也就是電壓的重現性高，而且可以倒置反覆放電，因此可做爲重覆使用的永續電池。

(2) 電池的串聯：

由圖 4 得知，實用溫差電池串聯時電壓具有加成性，電流亦隨串聯數目增加而些微升高。由表 4-1 得知，實用溫差電池，當溫差維持在 60 至 70℃ 之間，單一電池電壓約 40 mV，若串聯 50 個實用溫差電池，估計電壓可達 2 V 以上，就可以對鉛蓄電池充電。

5、實用溫差電池的應用：

(1) 廢熱回收溫差電池的應用：

冷氣機在產生冷氣的過程中，往外排出的熱氣能量會高於輸入電力的 3 至 6 倍，工廠機器消耗能源的同時，也會產生大量的廢熱，這些散亂的廢熱除了造成熱污染之外，也大幅降低能源的使用效率。我們自製的實用溫差電池就可利用工廠機器或家庭電器

所排出的廢熱當熱源，達到環保、節能、實用與重複使用的目的。

(2) 太陽能溫差電池的應用：

現有太陽能板電池售價昂貴，我們自製的低成本實用溫差電池可代替傳統太陽能板電池，當白天太陽能電池作完功，傍晚可將電池上下倒置，隔天再由電池另一端照射陽光，如此反覆操作，兩極硝酸銅溶液及銅片均不會消耗，成為一個永續使用的電池。

柒、結論

- 1、兩相同金屬片插入兩杯同濃度的此金屬鹽類溶液，中間以相同金屬鹽類溶液當鹽橋連接，當兩杯溶液的溫度不同時，兩電極間會有電壓，即可形成溫差電池。
- 2、金屬為銅或鋅的溫差電池(硝酸鋅鹽類除外)，電池的電壓與兩杯溶液溫度差成正比，且溫度高的一端電位較高，為正極。金屬為銀的溫差電池，其電壓與兩杯溶液溫度差也成正比，但溫度高的一端電位較低，為負極。以上溫差電池我們稱之為「典型溫差電池」。
- 3、典型溫差電池中，正極有金屬析出，負極有金屬變成金屬離子而溶解，電池總反應為
$$M_{(s, \text{低溫})} + M^{n+}_{(aq, \text{高溫})} \rightleftharpoons M_{(s, \text{高溫})} + M^{n+}_{(aq, \text{低溫})}$$
，整個反應過程金屬與電解液總質量均沒有改變，所以可以反覆使用放電，因其僅是將熱能藉由化學反應轉換成電能，只要熱源不斷，便是一個符合環保與節約能源的永續電池。
- 4、典型的溫差電池中，電解液濃度越小，電壓反而略微增加，但電流減少很多。
- 5、在考慮製造電壓大，內電阻小，永續放電的實用溫差電池，我們以直立的PVC管當容器，銅片當電極，1M的硝酸銅當電解液，熱源直接加熱上層銅片而非加熱水溶液，不但長時間維持上、下兩銅片的溫差，且使熱能轉換成電能的比率大幅提高。
- 6、上述自製的實用溫差電池可利用太陽能或工廠機器、家庭電器所排出的廢熱當熱源，當上、下兩銅片的溫差達 60℃ 以上時，串聯 50 個溫差電池，估計電壓可達 2 V，再對鉛蓄電池充電，就可以達到環保、節能、實用與重複使用的目的。

捌、參考資料

- 1、康軒文教事業（民 94）。自然與生活科技 第五冊 第 3 章 電與化學（59-78 頁）。
- 2、國立臺灣科學教育館(無日期)。2004臺灣國際科學展覽會優勝作品專輯。
<http://www.ntsec.gov.tw/activity/race-all.asp>
- 3、黃秉鈞(無日期)。熱泵 (Heat Pump)是什麼？
<http://www.allmegavc.com/ch-hp200-principle.htm>

評語

031629 「差」了就來電

很有趣的研究，可惜和國際科展得獎作品相似度高了些，基本的原理是相同的。非典型溫差電池值得作進一步的探討。