

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030208

如膠似漆—伏打膠體電池放電速率之研究

學校名稱：高雄市立龍華國民中學

作者： 國三 劉冠昀 國三 曾子瑜 國二 陳芸宣	指導老師： 方貴堂 林芳源
---	-----------------------------

關鍵詞：伏打膠體電池、溫度改變、放電速率

摘要

伏打膠體電池以洋菜膠電解液添加硝酸鈉溶液當作鹽橋，改進了傳統鋅-銅電池的缺點。我們發現極板電解液改採用硝酸鋅、硝酸銅，增大極板面積，減小洋菜膠厚度及極板距離，明顯提升電池的電流強度。

為了更深入探討電池放電速率與電解質溶液溫度的關係，於是依據阿瑞尼士方程式：

$$\ln(k) = -\left(\frac{E_a}{R}\right) \times \frac{1}{T} + \ln(A)$$

，利用 $\ln(k)$ 對 $1/T$ 作圖得一直線，可以得到直線斜率為 $-E_a/R$ 。

相同濃度之下，電解質溶液溫度 (T) 愈高，電池的電流強度愈大，電阻愈小，電池放電速率 ($k = \Delta I/t$) 愈快。

實驗結果得知，不同種類的伏打膠體電池(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)，當中以 (Mg | Mg²⁺ || NaNO₃ || Cu²⁺ | Cu) 的活化能(E_a)小，電阻(R)小，放電速率 (k) 居中，當作伏打膠體電池較為合適。

壹、研究動機

在做鋅-銅電池的實驗時，我們發現 U 形管鹽橋在倒立安裝時，內部常會出現氣泡，進而影響到電流大小。因此，我們設計了下列實驗裝置，以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋，並且嘗試使用不同金屬片 (如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅)，彼此搭配成不同伏打膠體電池，改進傳統鋅-銅電池的缺點，深入研究不同種類的伏打膠體電池(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅) 放電速率有何差異。

貳、研究目的

- 一、使用裝置 (1)。硝酸鉀溶液當做鹽橋，探討溫度改變對於鋅-銅電池放電速率 ($k = \Delta I/t$) 的影響。
- 二、使用裝置 (2)。以洋菜膠電解質溶液取代傳統鹽橋，探討影響鋅-銅電池電流強度的各種變因。使用不同金屬片 (如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅)，彼此搭配成不同伏打膠體電池 (鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)。探討不同種類伏打膠體電池，電流強度及內電阻大小之間的差異。

三、承二，使用裝置(2)。探討溫度改變對於鋅-銅膠體電池放電速率($k = \Delta I/t$)的影響。

四、承三，探討溫度改變對於不同種類伏打膠體電池(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)放電速率($k = \Delta I/t$)的影響。

參、研究設備及器材

No	器材及藥品	No	器材及藥品	No	器材及藥品
1	裝置(1)	15	鎂帶(4 cm×0.3 cm)	29	洋菜粉
2	裝置(2)	16	鋁片(4 cm×6 cm)	30	硝酸鋅($Zn(NO_3)_2$)
3	U形管	17	鐵片(4 cm×6 cm)	31	硝酸銅($Cu(NO_3)_2$)
4	毫安培計	18	鉛片(4 cm×6 cm)	32	氯化鋅($ZnCl_2$)
5	伏特計	19	硫酸鋅($ZnSO_4$)	33	氯化銅($CuCl_2$)
6	數位式三用電表	20	硫酸銅($CuSO_4$)	34	硝酸鉀(KNO_3)
7	鋅片、銅片(4 cm×6 cm)	21	玻璃棒	35	氯化鉀(KCl)
8	鋅片、銅片(4 cm×5 cm)	22	量瓶	36	硝酸鈉($NaNO_3$)
9	鋅片、銅片(4 cm×4 cm)	23	燒杯	37	硝酸鎂($Mg(NO_3)_2$)
10	鋅片、銅片(4 cm×3 cm)	24	鱷魚線	38	硝酸鋁($Al(NO_3)_3$)
11	鋅片、銅片(4 cm×2.5 cm)	25	砂紙	39	硝酸亞鐵($Fe(NO_3)_2$)
12	鋅片、銅片(4 cm×2 cm)	26	滴管	40	硝酸鉛($Pb(NO_3)_2$)
13	鋅片、銅片(4 cm×1.5 cm)	27	溫度計	41	恆溫槽
14	鋅片、銅片(4 cm×1 cm)	28	蒸餾水		

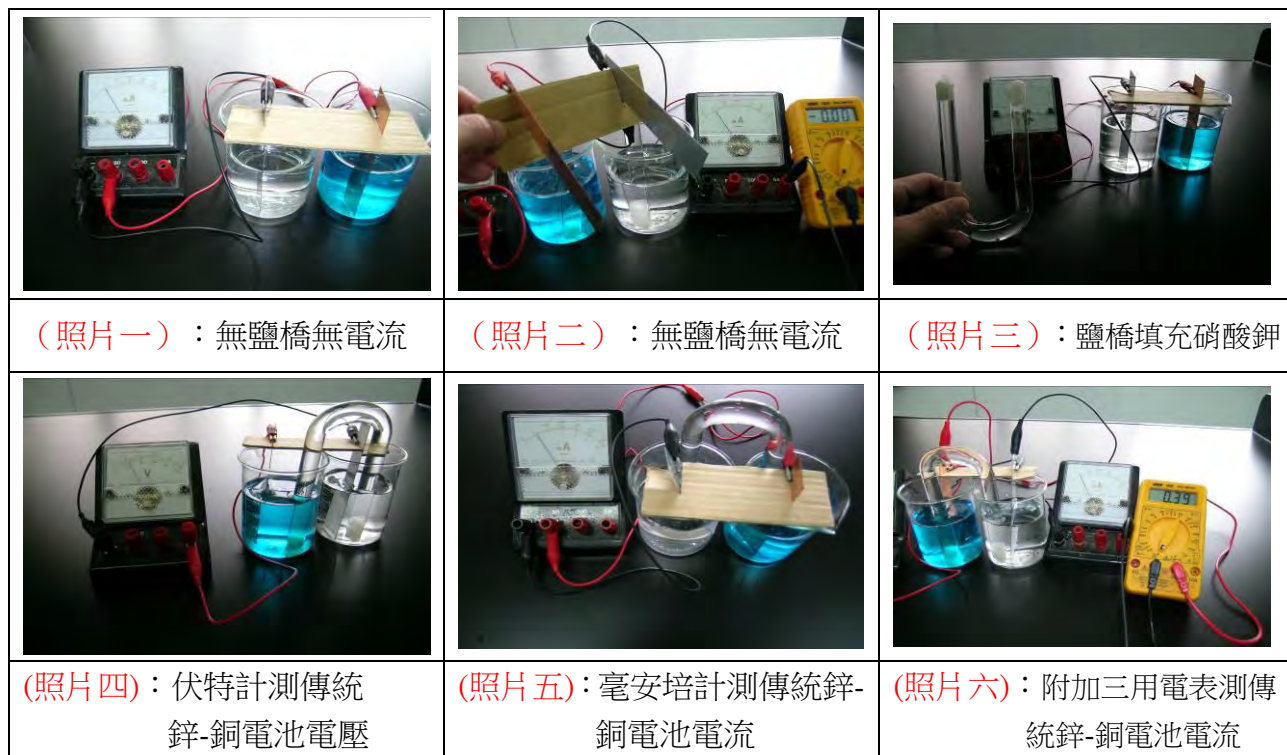
肆、研究過程及方法

一、裝置(1)，如圖(A)所示。鋅片放入硫酸鋅溶液，銅片放入硫酸銅溶液中，鹽橋填充硝酸鉀，探討溫度改變對於傳統鋅-銅($Zn|Zn^{2+}||KNO_3||Cu^{2+}|Cu$)電池放電速率($k = \Delta I/t$)的影響。

1、實驗步驟：

取燒杯兩個，貼上甲、乙標籤，甲杯加入 1M 硫酸鋅溶液至八分滿，並放入鋅片，乙杯加入 1M 硫酸銅溶液至八分滿，並放入銅片。用導線連接毫安培計(數位式三用電表)和銅片、鋅片，觀察其顯示的電流，如(照片一)、(照片二)。在 U 形管中倒入 1M 硝酸鉀溶液，並將兩管口用棉花塞住(不可太鬆或過緊，同時也注意管中不可有氣泡) 如(照片三)。將 U 形管連接於兩燒杯中，用導線連接伏特計和銅片、鋅片，觀察其顯示的電壓值，如(照片四)，每隔 30

秒觀察其變化，並記錄 5 分鐘內傳統鋅-銅電池的電流強度 I(mA) 如(照片五)、(照片六)。



(1) 控制變因：

[ZnSO ₄]和[CuSO ₄] (M)	Zn 片和 Cu 片面積 (cm ²)	Zn 片和 Cu 片距離 (cm)	[KNO ₃] (M)	時間 (分)
1 M	24.0 cm ²	14.0 cm	1 M	5 分鐘

(2) 操縱變因：溶液的溫度 T(°C)。 (3) 應變變因：電流強度 I(mA)。

2、結果：

(1) 如表 (一)：Zn|Zn²⁺ || KNO₃ || Cu²⁺|Cu (V=1.10(v))

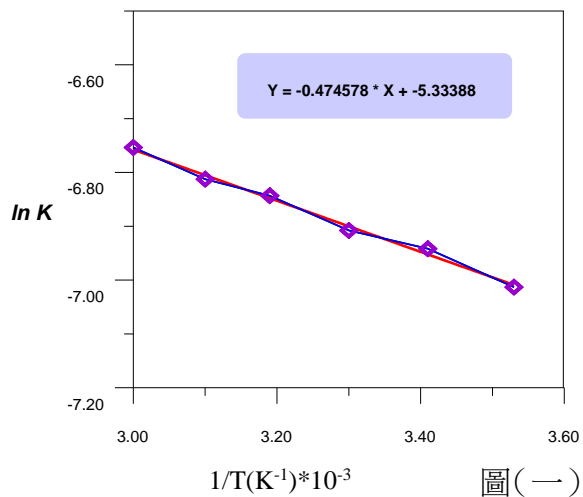
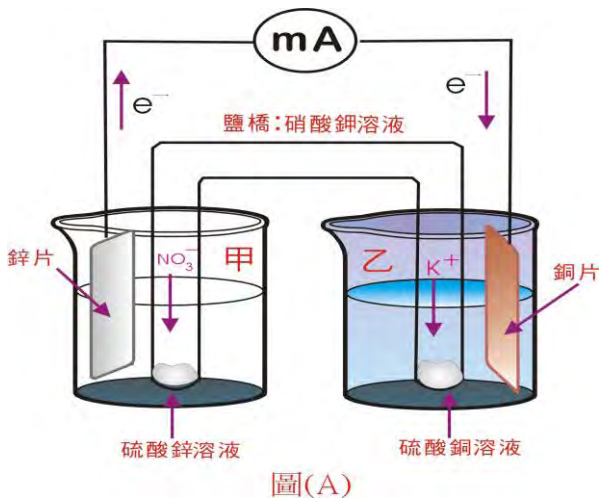
T=10(°C)=283 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	2.73	2.69	2.65	2.62	2.59	2.57	2.55	2.53	2.49	2.47	2.46
T=20(°C)=293 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	2.80	2.76	2.72	2.68	2.65	2.62	2.59	2.57	2.55	2.53	2.51
T=30(°C)=303 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	2.84	2.80	2.76	2.72	2.69	2.66	2.63	2.61	2.59	2.56	2.54

T=40(°C)= 313 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	2.89	2.85	2.81	2.77	2.73	2.70	2.67	2.63	2.60	2.58	2.57
T=50(°C)=323 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	2.93	2.89	2.85	2.81	2.77	2.74	2.71	2.68	2.65	2.62	2.60
T=60(°C)=333 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	2.98	2.94	2.89	2.85	2.81	2.78	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64

(2) 將表（一）整理計算如下：

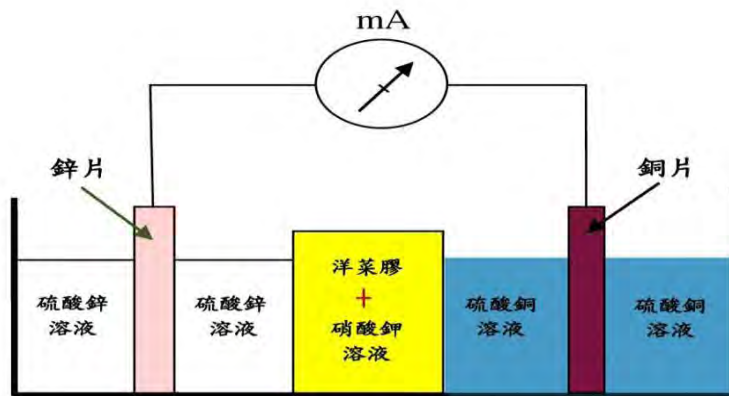
T(°C)	T(K)	1/T(K ⁻¹)	ΔI(mA)	ΔI/ t (mA/s)	1 / T(K ⁻¹ ×10 ⁻³)	ln(ΔI/ t)
60	333	0.0030	0.34	0.00113	3.00	-6.7855
50	323	0.0031	0.33	0.00110	3.10	-6.8124
40	313	0.0032	0.32	0.00106	3.19	-6.8494
30	303	0.0033	0.30	0.00100	3.30	-6.9077
20	293	0.0034	0.29	0.00096	3.41	-6.9485
10	283	0.0035	0.27	0.00090	3.53	-7.0131

(3) 傳統鋅-銅電池放電速率自然對數 ln(k) 對溶液絕對溫度倒數 1/T 的關係圖（一）：



(4) 傳統鋅-銅電池，Y 軸上截距為： $\ln(A) = -5.33388$ ，則 $A = 0.0048$ ；放電速率自然對數 $\ln(k)$ 對溶液絕對溫度倒數(1/T)作圖，得直線的斜率為： $-E_a/R = -0.4745$ ，則 $E_a = (0.4745)R$ ，其中 $R = 8.314$ 。

二、使用裝置（2），如圖（B）所示：



圖(B)

試驗 (一)、探討洋菜膠中，洋菜粉克數對電流強度的影響。

1、實驗步驟：

(1) 控制變因：

[ZnSO ₄]和[CuSO ₄] (M)	Zn 片和 Cu 片面積 (cm ²)	Zn 片和 Cu 片距離 (cm)	[KNO ₃] (M)	洋菜膠厚度 (cm)
1 M	24.0 cm ²	14.0 cm	1 M	9.0 cm

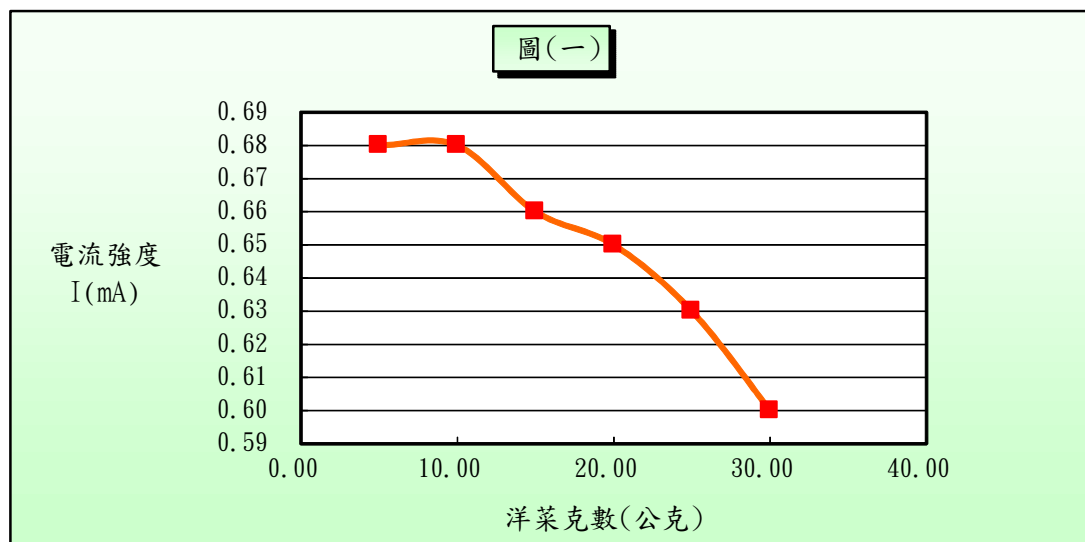
(2) 操縱變因：洋菜粉的克數。

(3) 結果：如表 (一)。

表 (一)

洋菜粉克數 W (g)	5	10	15	20	25	30
電流強度 I (mA)	0.68	0.68	0.66	0.65	0.63	0.60

(4) 電流強度對洋菜粉克數的關係圖 (一)：



(5) 討論：

1. 取洋菜粉先用少許水溶解，再加水至 900 毫升，加熱至完全溶解，並添加 1M 的硝酸鉀溶液至 1 公升，使均勻混合，冷卻凝固。
2. 由圖（一）知：洋菜粉 5 克時，濃度稀，雖然有利於離子移動，但是結凍不易，需長時間才能凍結。因此，採用洋菜粉 10 克時，可得到較大電流，較為適宜。然而，洋菜膠溶液如果濃度太稠，除了不利於離子移動，也使得硝酸鉀溶液的溶解度降低，電流強度反而減小。
3. 洋菜結凍時間取決於溫度因素和濃度因素。低溫下，洋菜結凍時間較短，因此，溫度因素影響結凍較為大些。

試驗（二）、探討洋菜膠中，添加不同[電解質]溶液對電流強度的影響。

1、實驗步驟：

(1) 控制變因：

[ZnSO ₄]和[CuSO ₄] (M)	Zn 片和 Cu 片面積 (cm ²)	Zn 片和 Cu 片距離 (cm)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)
1 M	24.0 cm ²	14.0 cm	9.0 cm	10 g

(2) 操縱變因：洋菜膠中不同[電解質]濃度。

(3) 結果：如表（二-1）、表（二-2）、表（二-3）。

表（二-1）

[KNO ₃] (M)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
電流強度 I (mA)	0.60	0.65	0.70	0.74	0.78	0.83	0.88	0.93

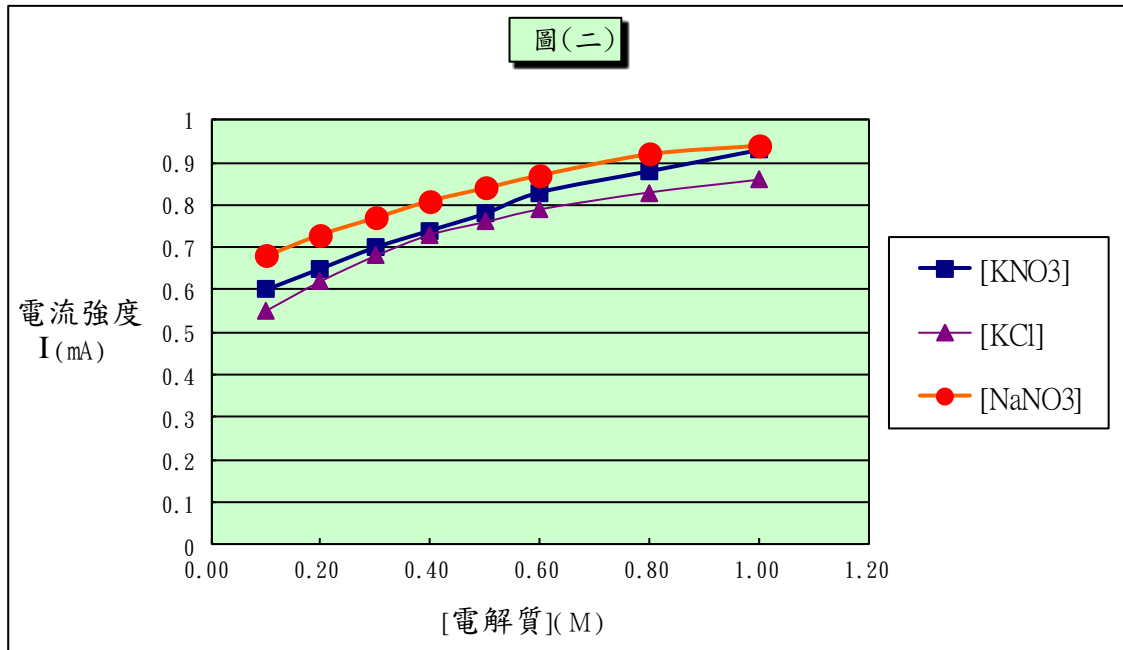
表（二-2）

[KCl] (M)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
電流強度 I (mA)	0.55	0.62	0.68	0.73	0.76	0.79	0.83	0.86

表 (二-3)

[NaNO ₃] (M)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
電流強度 I (mA)	0.68	0.73	0.77	0.81	0.84	0.87	0.92	0.94

(4) 電流強度對不同[電解質]濃度的關係圖 (二):



(5) 討論:

1. 由圖 (二) 知，電流強度大小順序為：硝酸鈉 (NaNO₃) 溶液 > 硝酸鉀 (KNO₃) 溶液 > 氯化鉀 (KCl) 溶液。表示，洋菜膠中添加硝酸鈉溶液明顯有助於鋅-銅膠體電池之電流強度的提升。然而，洋菜膠中添加氯化鉀溶液效果較差。
2. 空白試驗下，若不添加電解質於純洋菜膠溶液，並無法導電，以至於鋅-銅電池沒有電流產生。
3. [ZnSO₄]和[CuSO₄]溶液濃度為 1 (M) 時，洋菜膠中添加硝酸鈉溶液、硝酸鉀溶液或氯化鉀溶液，鋅-銅電池的電壓接近理論值 1.10 伏特，表示，已有減低了溶液與膠體間的界面電位 (乃由於陽離子、陰離子移動速率不同所造成) 影響的程度。
4. 鋅-銅膠體電池內電阻並不是一個定值。洋菜膠中，添加電解質溶液，隨著時間，內電阻增加，電流減小，最後電流歸於零。

試驗（三）、探討不同極板電解液對電流強度的影響。

1、實驗步驟：

(1) 控制變因：

[NaNO ₃] (M)	Zn 片和 Cu 片面積 (cm ²)	Zn 片和 Cu 片距離 (cm)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)
1 M	24.0 cm ²	14.0 cm	9.0 cm	10 g

(2) 操縱變因：不同[極板電解液]濃度。

(3) 結果：如表（三-1）、表（三-2）、表（三-3）。

表（三-1）

[ZnSO ₄]和[CuSO ₄] (M)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
電流強度 I (mA)	0.68	0.73	0.77	0.81	0.84	0.87	0.92	0.94

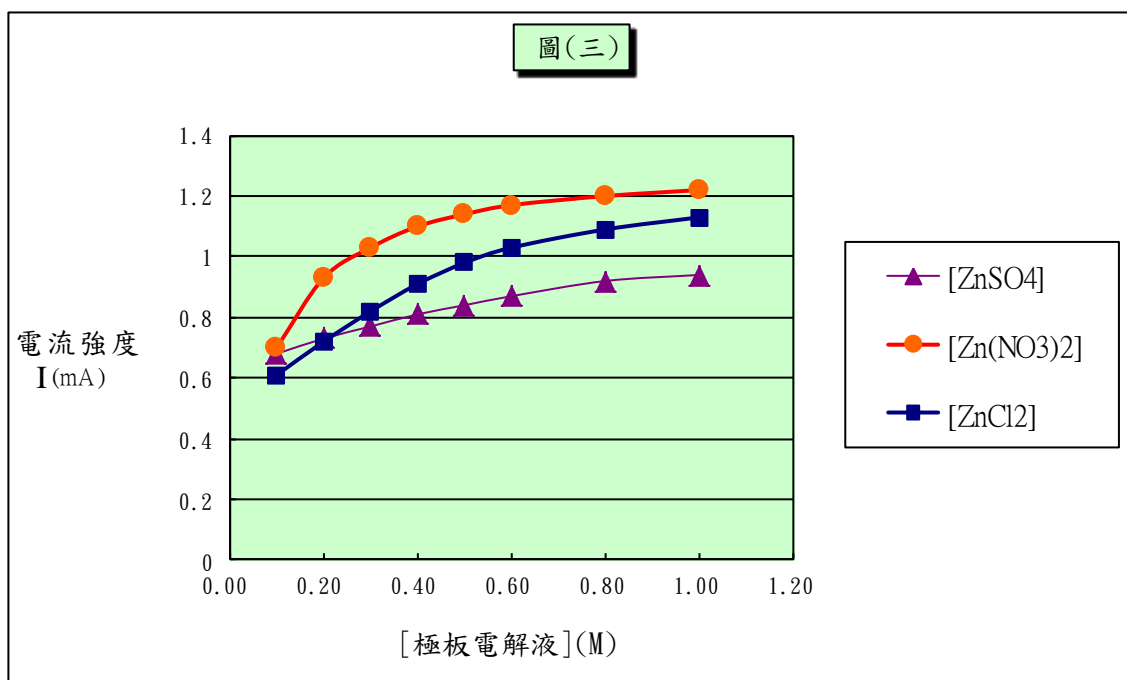
表（三-2）

[Zn(NO ₃) ₂]和[Cu(NO ₃) ₂] (M)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
電流強度 I (mA)	0.70	0.93	1.03	1.10	1.14	1.17	1.20	1.22

表（三-3）

[ZnCl ₂]和[CuCl ₂] (M)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
電流強度 I (mA)	0.61	0.72	0.82	0.91	0.98	1.03	1.09	1.13

(4) 電流強度對不同[極板電解液]濃度的關係圖 (三):



(5) 討論:

- 由圖(三)知,電池的電流強度大小順序為:硝酸鹽溶液 > 氯化物溶液 > 硫酸鹽溶液。
顯示,以硝酸鋅溶液、硝酸銅溶液當作極板電解液之下,鋅-銅電池之電流強度較為大些。此可以用溶解度大小來加以解釋,請參考分析化學(林洪志著)(p.589)。雖然,均配製同一濃度,但是各鹽類溶解度大小不同,導致實驗結果的差異。
- 極板電解液的濃度增大,鋅-銅膠體電池之電流強度也隨著增大。使用較高濃度的極板電解液,的確可以增加鋅-銅膠體電池的電流強度。

試驗(四)、探討 Zn 片和 Cu 片面積改變,對電流強度的影響。

1、實驗步驟:

(1) 控制變因:

[NaNO ₃] (M)	[Zn(NO ₃) ₂]和[Cu(NO ₃) ₂] (M)	Zn片和Cu片距離 (cm)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)
1 M	1 M	14.0 cm	9.0 cm	10 g

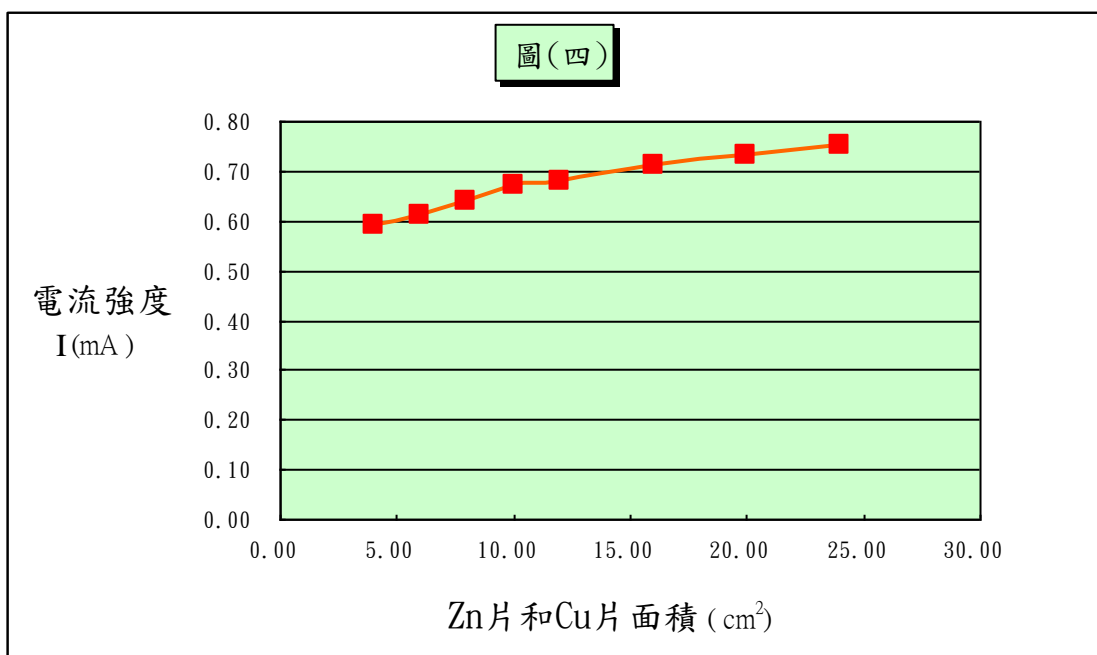
(2) 操縱變因: Zn 片和 Cu 片面積。

(3) 結果: 如表(四)。

表（四）

Zn 和 Cu 片面積 (cm ²)	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	16.0	20.0	24.0
電流強度 I (mA)	0.59	0.61	0.64	0.67	0.68	0.71	0.73	0.75

(4) 電流強度對 (Zn 片和 Cu 片面積) 的關係圖 (四) :



(5) 討論 :

1. 電流強度與 (Zn 片和 Cu 片面積) 並無正比關係。接觸面積大，反應速率較為大些。
2. Zn 片和 Cu 片面積增加，同時，與 Zn(NO₃)₂ 和 Cu(NO₃)₂ 溶液的接觸面積也相對增大，電流強度有明顯增大趨勢。

試驗 (五)、探討洋菜膠厚度改變，對電流強度的影響。

1、實驗步驟：

(1) 控制變因：

[NaNO ₃] (M)	[Zn(NO ₃) ₂]和[Cu(NO ₃) ₂] (M)	Zn 片和 Cu 片面積 (cm ²)	Zn 片和 Cu 片距離 (cm)	洋菜粉克數 (g)
1 M	1 M	24.0 cm ²	14.0 cm	10 g

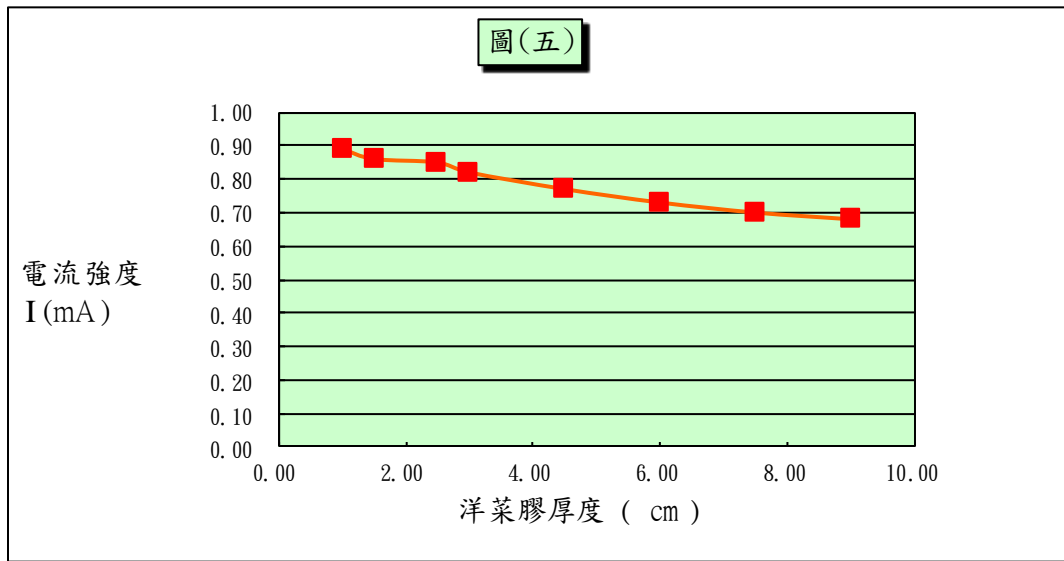
(2) 操縱變因：洋菜膠厚度。

(3) 結果：如表（五）。

表（五）

洋菜膠厚度 (cm)	1.0	1.5	2.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0
電流強度 I (mA)	0.89	0.86	0.85	0.82	0.77	0.73	0.70	0.68

(4) 電流強度對（洋菜膠厚度）的關係圖（五）：



(5) 討論：

1. 洋菜膠厚度小於 2 cm，效果最佳；厚度大於 2 cm 以上，鹽橋電阻太大，不利電流的傳導。
2. 以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋，可以儘量縮短兩杯 $Zn(NO_3)_2$ 和 $Cu(NO_3)_2$ 溶液的距離，降低鹽橋電阻。以下試驗(六)與試驗(七)，我們分別採用洋菜膠厚度（9.0 cm 及 1.5 cm）相互對照，更清楚瞭解 Zn 片和 Cu 片距離改變之下，電流強度的變化趨勢。

試驗（六）、洋菜膠厚度（9.0 cm）固定之下，探討 Zn 片和 Cu 片距離改變，對電流強度的影響。

1、實驗步驟：

(1) 控制變因：

[NaNO ₃] (M)	[Zn(NO ₃) ₂]和[Cu(NO ₃) ₂] (M)	Zn 片和 Cu 片面積 (cm ²)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)
1 M	1 M	24.0 cm ²	9.0 cm	10 g

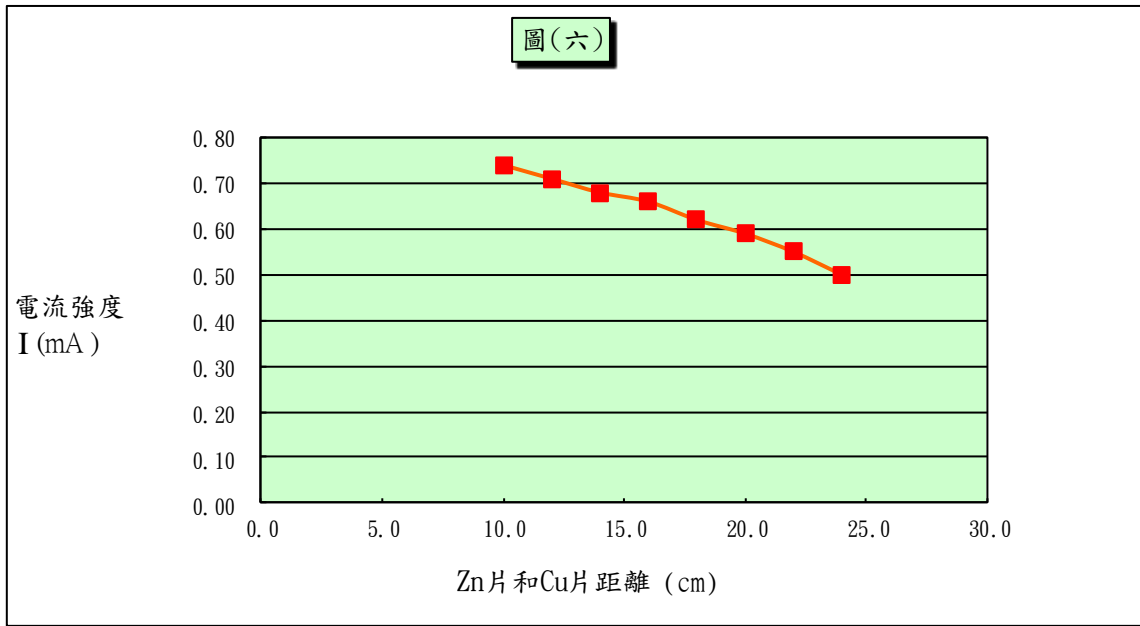
(2) 操縱變因：Zn 片和 Cu 片距離。

(3) 結果：如表（六）。

表（六）

Zn 和 Cu 片距離 (cm)	10	12	14	16	18	20	22	24
電流強度 I (mA)	0.74	0.71	0.68	0.66	0.62	0.59	0.55	0.50

(4) 電流強度對（Zn 片和 Cu 片距離）的關係圖（六）：



(5) 討論：

1. 洋菜膠厚度(9.0 cm)固定之下，Zn 片和 Cu 片距離每增加 1 cm，電流強度約減小 0.015mA。
2. Zn 片和 Cu 片距離愈短愈好；Zn 片和 Cu 片接近同時，仍要考慮洋菜膠厚度也不能太小，充填不易。

試驗（七）、洋菜膠厚度（1.5 cm）固定之下，探討 Zn 片和 Cu 片距離改變，對電流強度的影響。

1、實驗步驟：

(1) 控制變因：

[NaNO ₃] (M)	[Zn(NO ₃) ₂]和 Cu(NO ₃) ₂ (M)	Zn 片和 Cu 片面積 (cm ²)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)
1 M	1 M	24.0 cm ²	1.5 cm	10 g

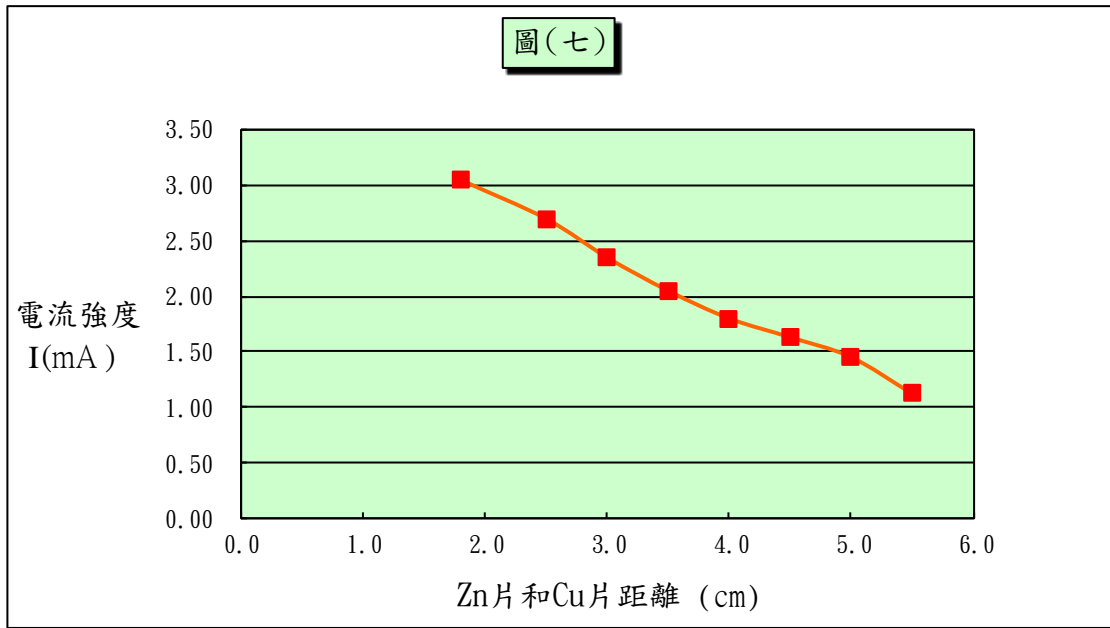
(2) 操縱變因：Zn 片和 Cu 片距離。

(3) 結果：如表（七）。

表（七）

Zn 和 Cu 片距離 (cm)	1.8	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
電流強度 I (mA)	3.05	2.70	2.35	2.05	1.80	1.63	1.45	1.12

(4) 電流強度對（Zn 片和 Cu 片距離）的關係圖（七）：



(5) 討論：

1. 洋菜膠厚度 (1.5 cm) 固定之下，Zn 片和 Cu 片距離每增加 1 cm，電流強度約減小 0.50mA。
2. 在下列試驗（八）中由金屬片（如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅），我們彼此搭配，進一步探討不同種類的伏打膠體電池放電速率有何差異。

試驗（八）、由金屬片（如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅），彼此搭配成不同伏打膠體電池，其電池的內電阻又如何？

1、實驗步驟：

(1) 控制變因：

[NaNO ₃] (M)	[金屬電解液] (M)	金屬電極距離 (cm)	金屬面積 (cm ²)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)
1 M	1 M	1.8 cm	24.0 cm ²	1.5 cm	10 g

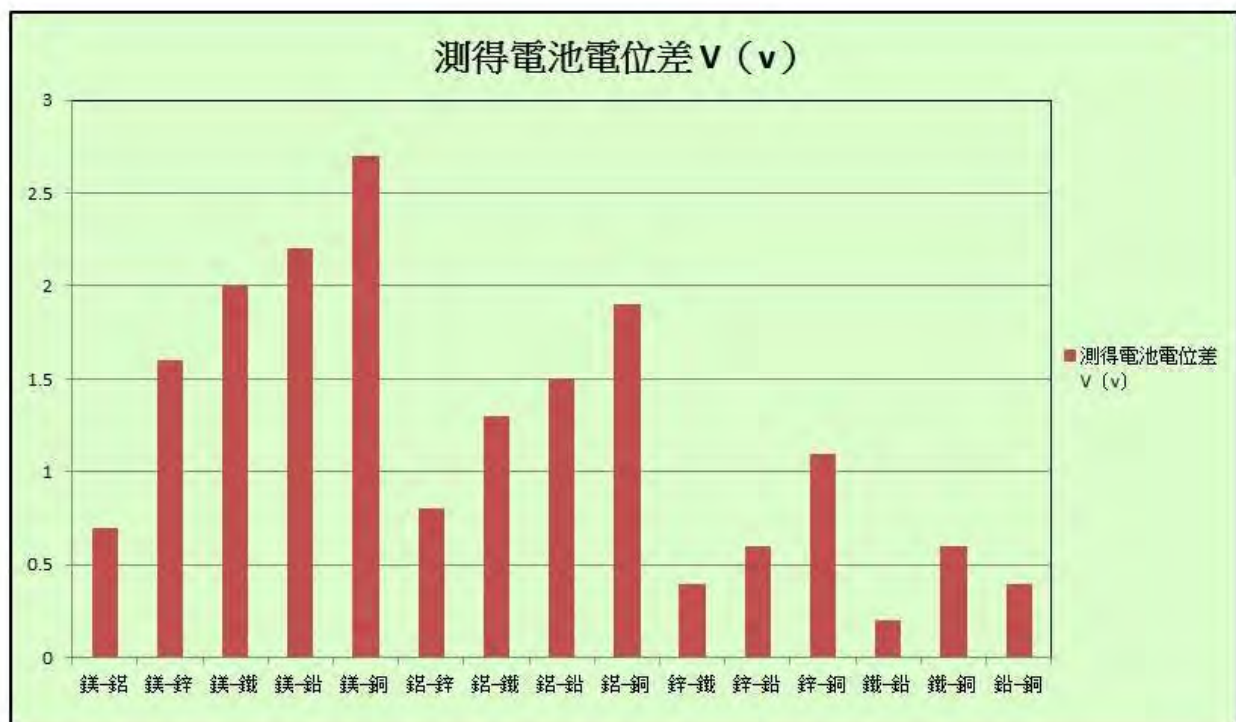
(2) 操縱變因：不同種類伏打膠體電池。

2.結果：如表（八）及圖（八-1）、圖（八-2）、圖（八-3）。

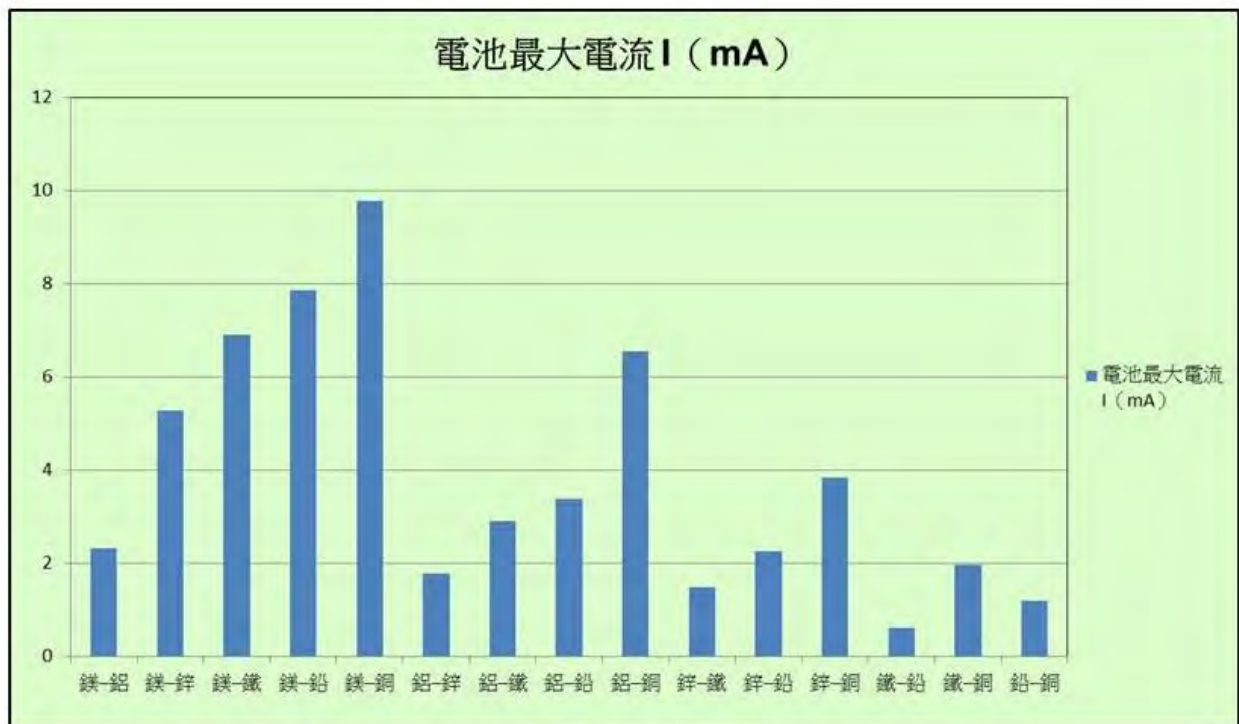
(1) 表（八）：(在 20°C 之下)

伏打膠體電池 種類	測得電池電位差 V (v)	電池最大電流 I (mA)	電池最小電阻 R (Ω)
鎂 - 鋁	0.7	2.32	301.7
鎂 - 鋅	1.6	5.29	302.5
鎂 - 鐵	2.0	6.92	289.0
鎂 - 鉛	2.2	7.88	279.2
鎂 - 銅	2.7	9.78	276.1
鋁 - 鋅	0.8	1.79	446.9
鋁 - 鐵	1.3	2.91	446.7
鋁 - 鉛	1.5	3.39	442.5
鋁 - 銅	1.9	6.55	290.1
鋅 - 鐵	0.4	1.49	268.5
鋅 - 鉛	0.6	2.26	265.5
鋅 - 銅	1.1	3.85	285.7
鐵 - 鉛	0.2	0.62	322.6
鐵 - 銅	0.6	1.97	304.6
鉛 - 銅	0.4	1.20	333.3

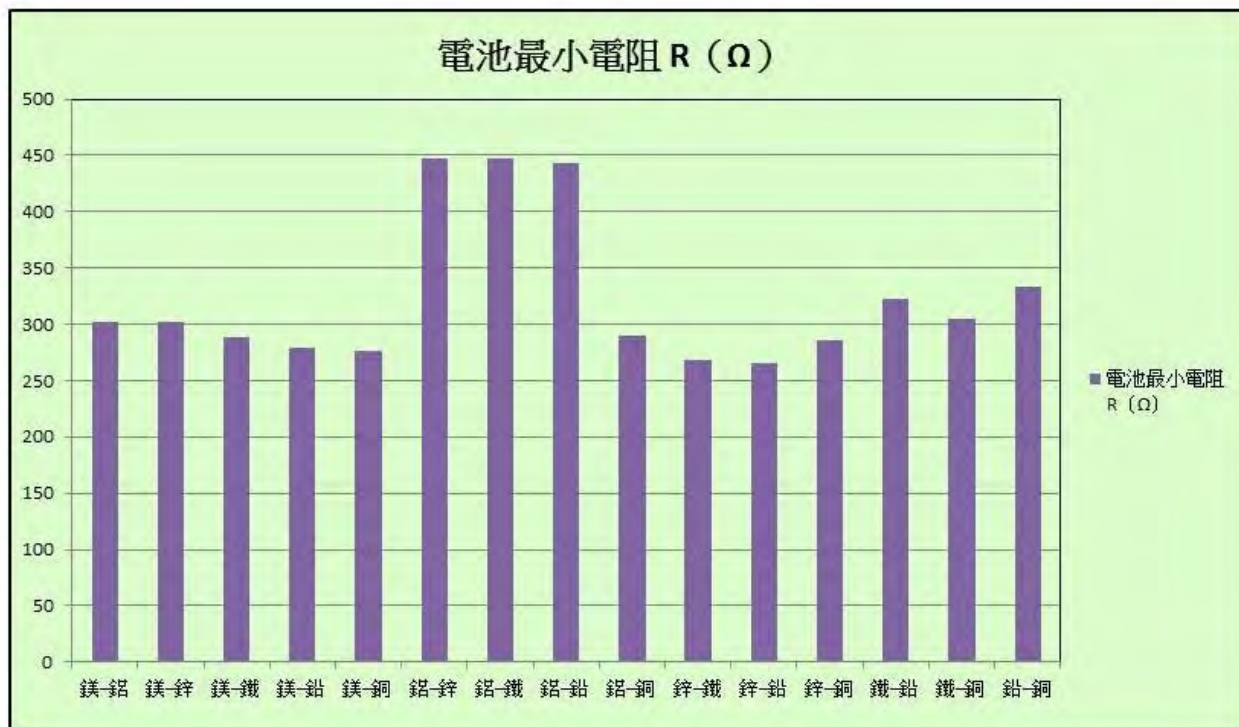
(2) 圖（八-1）：



(3) 圖(八-2):



(4) 圖(八-3):



3. 討論：

(1) 實驗所測得伏打膠體電池電位差 V (v) 大小順序為： $(Mg-Cu) > (Mg-Pb) > (Mg-Fe) > (Mg-Zn) > (Al-Cu) > (Zn-Cu) > (Al-Pb) > (Al-Fe) > (Al-Zn) > (Mg-Al) > (Zn-Pb) > (Fe-Cu) > (Zn-Fe) = (Pb-Cu) > (Fe-Pb)$ 。

(2) 測得伏打膠體電池電位差 V (v) 大小順序大致與與金屬的氧化電位大小有關。可以參考分析化學(林洪志著)(p.578~582)， E^0 (氧化電位)： $Mg > Al > Zn > Fe > Pb > Cu$ 。

金屬	Al	Fe	Cu	Pb	Zn	Mg
E^0 (氧化電位) (v)	+1.662	+0.440	-0.337	+0.126	+0.763	+2.363

(3) 依據 Nernst 方程式：(在 25°C 時)，參考分析化學(林洪志著)(p.376~380)。

$$E = E^0 - (0.05916 / n) \log K = E^0 - (0.05916 / n) \log ([Zn^{2+}] / [Cu^{2+}])$$

知：鋅-銅膠體電池反應 ($Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$)，金屬 (Zn、Cu) 的氧化電位大小以及電解液離子濃度 ($[Zn^{2+}] / [Cu^{2+}]$) 比值，影響到鋅-銅膠體電池電位差 V (v) 大小。另外，鹽橋離子溶液的移動，也關係到整個鋅-銅膠體電池內電阻大小。

(4) 不同種類伏打膠體電池內部的電池最小電阻 R (Ω)，以 (Mg-Cu) 及 (Mg-Pb) 較小，(Al-Zn) 及 (Al-Fe) 較大。

三、承二，使用裝置 (2)。探討溫度改變對於**鋅-銅膠體電池**放電速率 ($k = \Delta I / t$) 的影響。

1、實驗步驟：

(1) 控制變因：

[NaNO ₃] (M)	[Zn(NO ₃) ₂]和 [Cu(NO ₃) ₂](M)	Zn 片和 Cu 片 面積 (cm ²)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)	Zn 和 Cu 片 距離 (cm)	時間 (分)
1 M	1 M	24.0 cm ²	1.5 cm	10 g	1.8 cm	5 分鐘

(2) 操縱變因：溶液的溫度 T (°C)。 (3) 應變變因：電流強度 I (mA)。

2. 結果：

(1) 如表(二): $Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu$ ($V=1.10(v)$)

T=10(°C)=283 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	3.79	3.79	3.77	3.75	3.73	3.71	3.69	3.68	3.67	3.65	3.62
T=20(°C)=293 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	3.84	3.82	3.79	3.76	3.73	3.72	3.69	3.63	3.60	3.57	3.55
T=30(°C)=303 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	3.90	3.85	3.82	3.79	3.76	3.73	3.69	3.66	3.63	3.61	3.60
T=40(°C)=313 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	3.91	3.86	3.82	3.78	3.74	3.70	3.67	3.67	3.64	3.62	3.59
T=50(°C)=323 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	4.14	4.09	4.04	4.00	3.96	3.92	3.87	3.85	3.84	3.83	3.81
T=60(°C)=333 (K)											
t(sec)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
I(mA)	4.22	4.16	4.10	4.05	4.00	3.95	3.91	3.89	3.88	3.87	3.87

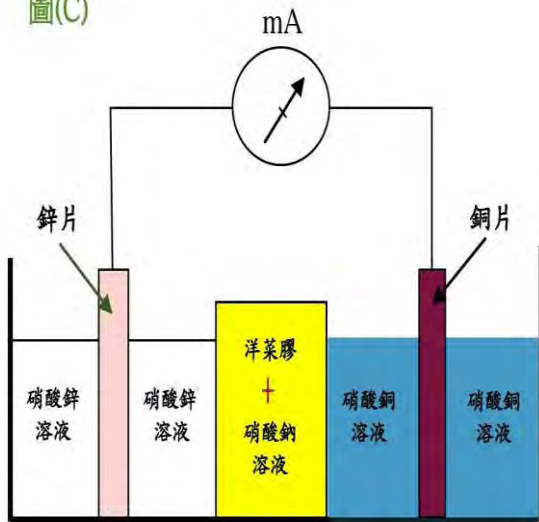
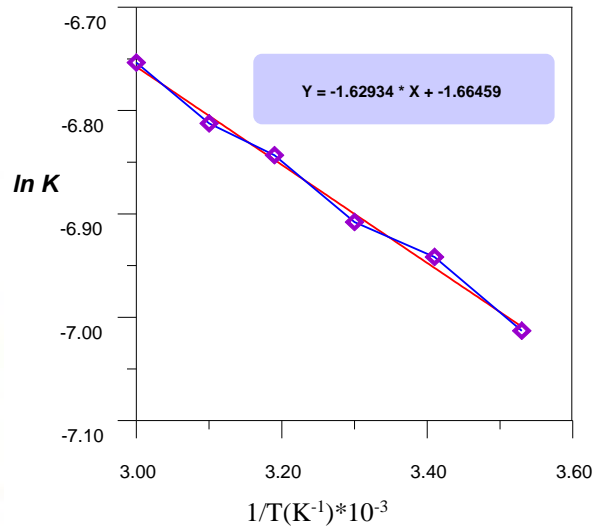
(2) 將表(二)整理計算如下:

T(°C)	T(K)	1/T(K ⁻¹)	ΔI(mA)	ΔI/t (mA/s)	1 / T(K ⁻¹ ×10 ⁻³)	ln(ΔI/ t)
60	333	0.0030	0.35	0.00116	3.00	-6.7593
50	323	0.0031	0.33	0.00110	3.10	-6.8124
40	313	0.0032	0.32	0.00106	3.19	-6.8494
30	303	0.0033	0.30	0.00100	3.30	-6.9077
20	293	0.0034	0.29	0.00096	3.41	-6.9485
10	283	0.0035	0.27	0.00090	3.53	-7.0131

(3) 鋅-銅膠體電池($Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu$), 如圖(C)。鋅-銅膠體電池放電速率自然對數

$\ln(k)$ 對溶液絕對溫度倒數 $1/T$ 的關係圖(二):

圖(C)

圖(二) $Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu$ ($V=1.10(V)$)

四、承三，更進一步探討溫度改變對於不同種類伏打膠體電池(鎂-銅、鋁-銅、鐵-銅、鉛-銅)

放電速率 ($k = \Delta I/t$) 的影響。

1. 鎂-銅膠體電池 ($Mg | Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+} | Cu$)

(1) 控制變因：

[Mg(NO ₃) ₂] 和 [Cu(NO ₃) ₂] (M)	Mg 片和 Cu 片面積 (cm ²)	Mg 片和 Cu 片距離 (cm)	[NaNO ₃] (M)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)	時間 (分)
1 M	24.0 cm ²	1.8 cm	1 M	1.5 cm	10 g	5 分鐘

(2) 操縱變因：溶液的溫度 T(°C)。 (3) 應變變因：電流強度 I(mA)。

2. 鋁-銅膠體電池 ($Al | Al^{3+} || NaNO_3 || Cu^{2+} | Cu$)

(1) 控制變因：

[Al(NO ₃) ₃] 和 [Cu(NO ₃) ₂] (M)	Al 片和 Cu 片面積 (cm ²)	Al 片和 Cu 片距離 (cm)	[NaNO ₃] (M)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)	時間 (分)
1 M	24.0 cm ²	1.8 cm	1 M	1.5 cm	10 g	5 分鐘

(2) 操縱變因：溶液的溫度 T(°C)。 (3) 應變變因：電流強度 I(mA)。

3. 鐵-銅膠體電池 ($Fe | Fe^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+} | Cu$)

(1) 控制變因：

[Fe(NO ₃) ₂] 和 [Cu(NO ₃) ₂] (M)	Fe 片和 Cu 片面積 (cm ²)	Fe 片和 Cu 片距離 (cm)	[NaNO ₃] (M)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)	時間 (分)
1 M	24.0 cm ²	1.8 cm	1 M	1.5 cm	10 g	5 分鐘

(2) 操縱變因：溶液的溫度 T(°C)。 (3) 應變變因：電流強度 I(mA)。

4. 鉛-銅膠體電池 ($\text{Pb}|\text{Pb}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$)

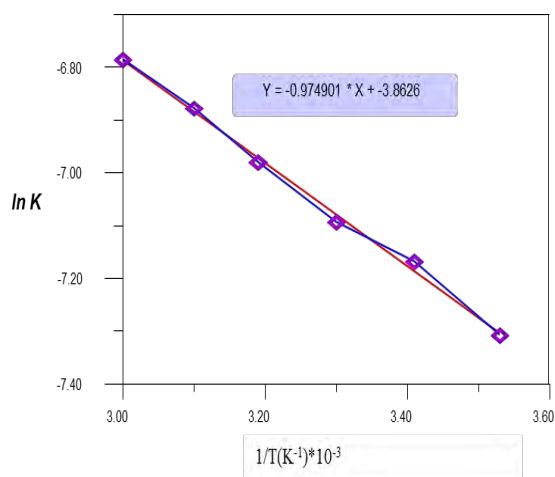
(1) 控制變因：

[Pb(NO ₃) ₂] 和 [Cu(NO ₃) ₂] (M)	Pb片和Cu片面積 (cm ²)	Pb片和Cu片距離 (cm)	[NaNO ₃] (M)	洋菜膠厚度 (cm)	洋菜粉克數 (g)	時間 (分)
1 M	24.0 cm ²	1.8 cm	1 M	1.5 cm	10 g	5分鐘

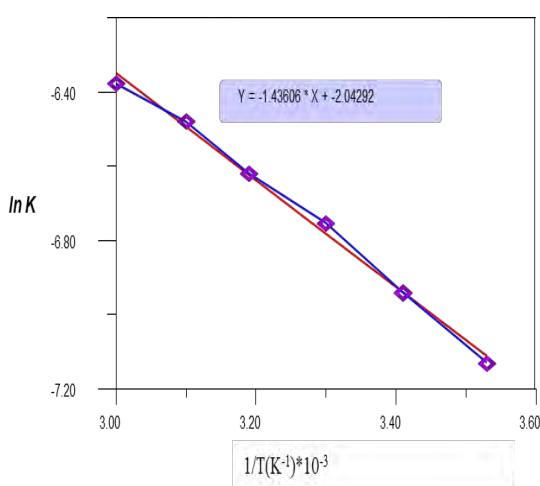
(2) 操縱變因：溶液的溫度 T (°C)。(3) 應變變因：電流強度 I (mA)。

結果：

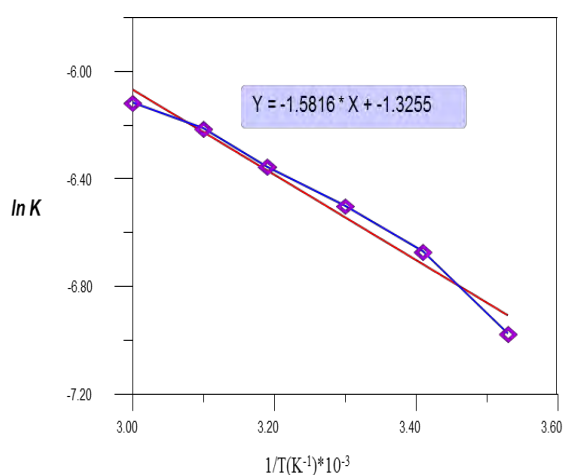
Mg |Mg²⁺|| NaNO₃|| Cu²⁺|Cu (V=2.70(v))



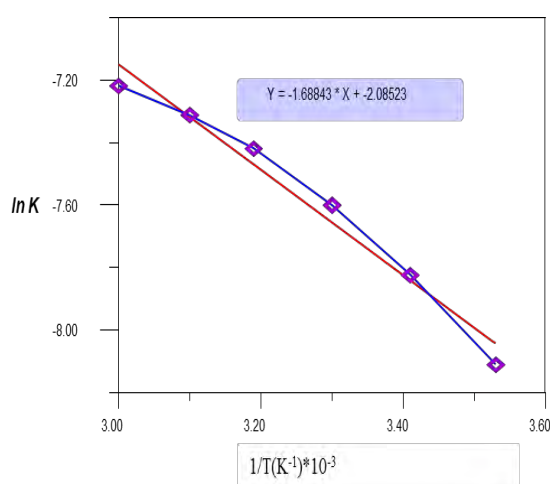
Al |Al³⁺|| NaNO₃|| Cu²⁺|Cu (V=2.10(v))



Fe |Fe²⁺|| NaNO₃|| Cu²⁺|Cu (V=0.77(v))



Pb |Pb²⁺|| NaNO₃|| Cu²⁺|Cu (V=0.44(v))



(一)、綜合整理不同伏打電池的活化能 (Ea) 及反應粒子間的碰撞頻率(A)實驗數值如下：

試驗單元	電池代號	伏打電池種類	電池的活化能 (Ea)	反應粒子間的碰撞頻率(A)
單元一	# 1	Zn Zn ²⁺ KNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=1.10(v))	(0.4745)R	0.0048
單元三	# 2	Zn Zn ²⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=1.10(v)) (膠體)	(1.6293) R	0.1892
單元四	# 3	Mg Mg ²⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=2.70(v)) (膠體)	(0.9749)R	0.0210
單元四	# 4	Al Al ³⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=2.10(v)) (膠體)	(1.4360)R	0.1296
單元四	# 5	Fe Fe ²⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=0.77(v)) (膠體)	(1.5816)R	0.2656
單元四	# 6	Pb Pb ²⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=0.20(v)) (膠體)	(1.6884)R	0.1242

(二)、綜合比較不同伏打電池在 10°C、20°C、60°C 之下的最小電阻 R (Ω) 大小關係，如下：

電池代號	不同伏打電池	10°C 最小電阻 R (Ω)	20°C 最小電阻 R (Ω)	60°C 最小電阻 R (Ω)
# 1	Zn Zn ²⁺ KNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=1.10(v))	305.4	298.6	280.5
# 2	Zn Zn ²⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=1.10(v)) (膠體)	289.6	286.0	260.6
# 3	Mg Mg ²⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=2.70(v)) (膠體)	286.8	276.3	245.0
# 4	Al Al ³⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=2.10(v)) (膠體)	301.7	290.0	256.8
# 5	Fe Fe ²⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=0.77(v)) (膠體)	309.9	304.1	269.2
# 6	Pb Pb ²⁺ NaNO ₃ Cu ²⁺ Cu (V=0.20(v)) (膠體)	367.4	333.4	295.1

伍、研究結果

- 一、相同濃度之下，溫度 (T) 愈高，鋅-銅電池的電流強度 $I(\text{mA})$ 愈大，放電速率 ($k = \Delta I / t$) 愈快。
- 二、
 1. 以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋。採用洋菜粉 10 克時，較為合適。洋菜膠濃度太稠，方便操作，與溶液保持區隔，除了不利於離子移動外，也使硝酸鉀溶液的溶解度降低，濃度減小，電流強度反而減低。
 2. 洋菜膠中添加硝酸鈉溶液有助於鋅-銅電池之電流強度的提升，效果最佳。其次為硝酸鉀溶液，然而，洋菜膠中添加氯化鉀溶液時，效果較差。
 3. 以硝酸鋅溶液、硝酸銅溶液當作極板電解液之下，鋅-銅電池之電流強度較為大些。其次為氯化物溶液，而硫酸鹽溶液效果較差。
 4. Zn 片和 Cu 片面積增加，與 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 和 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 溶液的接觸面積也相對增大，電流強度有明顯增大趨勢。
 5. 洋菜膠厚度小於 2 cm，效果最佳；厚度大於 2 cm 以上，鹽橋電阻太大，不利電流的傳導。
 6. 洋菜膠厚度 (9.0 cm) 固定之下，Zn 片和 Cu 片距離愈短愈好，可以增加鋅-銅電池的電流強度。
 7. 洋菜膠厚度 (1.5 cm) 固定之下，Zn 片和 Cu 片距離愈短，大大增加鋅-銅電池的電流強度。
 8. 測得不同種類伏打膠體電池電位差 $V (v)$ 大小順序為： $(\text{Mg}-\text{Cu}) > (\text{Mg}-\text{Pb}) > (\text{Mg}-\text{Fe}) > (\text{Mg}-\text{Zn}) > (\text{Al}-\text{Cu}) > (\text{Zn}-\text{Cu}) > (\text{Al}-\text{Pb}) > (\text{Al}-\text{Fe}) > (\text{Al}-\text{Zn}) > (\text{Mg}-\text{Al}) > (\text{Zn}-\text{Pb}) > (\text{Fe}-\text{Cu}) > (\text{Zn}-\text{Fe}) = (\text{Pb}-\text{Cu}) > (\text{Fe}-\text{Pb})$ 。藉由歐姆定律 ($V = I \times R$)，約略可以計算出膠體電池內部的最小電阻，其中，電池最小電阻以 $(\text{Mg}-\text{Cu})$ 及 $(\text{Mg}-\text{Pb})$ 較小， $(\text{Al}-\text{Zn})$ 及 $(\text{Al}-\text{Fe})$ 較大。
- 三、使用裝置 (2)，洋菜膠添加硝酸鈉溶液當鹽橋。溫度愈高，鋅-銅膠體電池 ($\text{Zn} | \text{Zn}^{2+} || \text{NaNO}_3 | | \text{Cu}^{2+} | \text{Cu}$) 放電速率 ($k = \Delta I / t$) 愈大。其電流強度 $I(\text{mA})$ 是傳統鋅-銅電池的 1.37 倍，隨著放電時間加長，電流強度 $I(\text{mA})$ 及電壓 $V (v)$ 會逐漸衰減。鋅-銅膠體電池 ($\text{Zn} | \text{Zn}^{2+} || \text{NaNO}_3 | | \text{Cu}^{2+} | \text{Cu}$) 活化能 (E_a) 是傳統鋅-銅電池的 3.4 倍，但反應粒子間的碰撞頻率 (A) 卻是傳統鋅-銅電池的 39.4 倍。

四、(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)膠體電池的差異整理如下。

- 1.相同溫度之下，膠體電池電阻大小次序為： $(\text{Pb}|\text{Pb}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Fe}|\text{Fe}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Al}|\text{Al}^{3+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Mg}|\text{Mg}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 電池。
- 2.膠體電池內部反應活化能(E_a) 的大小次序為： $(\text{Pb}|\text{Pb}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Fe}|\text{Fe}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Al}|\text{Al}^{3+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Mg}|\text{Mg}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 電池。
- 3.膠體電池內部反應粒子(離子)間的碰撞頻率(A)的大小次序為： $(\text{Fe}|\text{Fe}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Al}|\text{Al}^{3+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Pb}|\text{Pb}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Mg}|\text{Mg}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 電池。
- 4.(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)膠體電池放電速率($k = \Delta I / t$) 大小次序為： $(\text{Fe}|\text{Fe}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Al}|\text{Al}^{3+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Mg}|\text{Mg}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) > (\text{Pb}|\text{Pb}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 電池。

陸、討論

- 一、1. 傳統鋅-銅電池 ($\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{KNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}$)，使用硝酸鉀溶液當做鹽橋，鹽橋內硝酸根離子往鋅片移動，而鉀離子往銅片移動。鋅片在硫酸鋅溶液中，鋅片氧化溶解成鋅離子，而硫酸銅溶液中的銅離子獲得電子，還原析出紅色銅原子附著在銅片上。傳統鋅-銅電池會隨著放電時間 $t(\text{sec})$ 增加，其電流強度 $I(\text{mA})$ 有逐漸衰減的現象。
 2. 為了更深入探討電池放電速率與電解質溶液溫度的關係，於是依據阿瑞尼士方程式：
$$\ln(k) = -\left(\frac{E_a}{R}\right) \times \frac{1}{T} + \ln(A)$$
，利用 $\ln(k)$ 對 $1/T$ 作圖得一直線，可以得到直線斜率為 $-E_a/R$ 。
 3. 同濃度之下，電解質溶液溫度 (T) 愈高，傳統鋅-銅電池的電流強度 $I(\text{mA})$ 愈大，電阻 $R(\Omega)$ 愈小，電池放電速率 ($\Delta I / t$) 愈快，顯示：當溫度升高時，有效碰撞次數增加，越過活化能的離子數目也相對增多，有助於電池的放電速率的提升。
- 二、1. 洋菜結凍時間取決於溫度因素和濃度因素。低溫下，洋菜結凍時間較短，因此，溫度因素影響結凍大於濃度因素。

2. 鋅-銅電池內電阻並不是一個定值。洋菜膠中，添加電解質溶液，隨著時間，電池的內電阻增加，電流減小，最後電流歸於零。

3. 以硝酸鋅溶液、硝酸銅溶液當作極板電解液之下，鋅-銅電池之電流強度較為大些。使用較高濃度的極板電解液，將可以提升鋅-銅電池的電流強度。

4. 接觸面積大，反應速率較為大些。鋅-銅電池的電流強度與（Zn 片和 Cu 片面積）並無正比關係。

5. 以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋，可以儘量縮短兩杯 $Zn(NO_3)_2$ 和 $Cu(NO_3)_2$ 溶液的距離，降低鹽橋電阻。鹽橋存在是造成電流很小的主要因素，必須儘量設法減少洋菜膠厚度，使 Zn 片和 Cu 片互相接近，但又不可以接觸。減少洋菜膠厚度，的確可以使 Zn 片和 Cu 片距離接近，電流強度大幅增加。

6. 洋菜膠厚度(9.0 cm)固定之下，Zn 片和 Cu 片距離每增加 1 cm，電流強度約減小 0.015mA。

7. 洋菜膠厚度(1.5 cm)固定之下，Zn 片和 Cu 片距離每增加 1 cm，電流強度約減小 0.50mA。

8.

(1). 鋅-銅膠體電池反應 ($Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$)，金屬 (Zn、Cu) 的氧化電位及電解液離子濃度 ($[Zn^{2+}] / [Cu^{2+}]$) 比值，鹽橋離子溶液的移動，影響到整個鋅-銅電池電位差 V 大小。

(2). 其他膠體電池反應，負極（陽極）失去電子，正極（陰極）得到電子，也同樣受到上述因素的影響，造成內部電阻大小差異。

(3). 鎂帶寬度只有 0.3 cm，必須用夾子將二十片尺寸 (4 cm×0.3 cm) 的鎂帶上方加以固定，以控制金屬面積一定。

三、洋菜膠添加硝酸鈉溶液當鹽橋。溫度愈高，鋅-銅膠體電池放電速率 ($k = \Delta I / t$) 愈大。隨著放電時間加長，電流強度 I(mA) 及電壓 V (v) 會逐漸衰減。

四、由實驗結果，比較(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)膠體電池的差異整理如下。

1. 相同溫度之下，(Mg | Mg^{2+} || $NaNO_3$ || Cu^{2+} | Cu) 電阻最小，(Zn | Zn^{2+} || $NaNO_3$ || Cu^{2+} | Cu) 次之，(Pb | Pb^{2+} || $NaNO_3$ || Cu^{2+} | Cu) 電阻最大。

2. (Mg | Mg^{2+} || $NaNO_3$ || Cu^{2+} | Cu) 活化能最小，(Al | Al^{3+} || $NaNO_3$ || Cu^{2+} | Cu) 次之，(Pb | Pb^{2+} || $NaNO_3$ || Cu^{2+} | Cu) 活化能最大。

- 3.電池內部反應粒子（離子）間的碰撞頻率(A)的大小次序為： $(\text{Fe}|\text{Fe}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 最大， $(\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 次之， $(\text{Mg}|\text{Mg}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 電池碰撞頻率最小。
4. $(\text{Fe}|\text{Fe}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 電池放電速率最快， $(\text{Al}|\text{Al}^{3+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 與 $(\text{Mg}|\text{Mg}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 次之， $(\text{Pb}|\text{Pb}^{2+}||\text{NaNO}_3||\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})$ 電池放電速率最慢。

柒、結論

- 一、溫度 (T) 愈高，傳統鋅-銅電池的電流強度 I(mA) 愈大，電阻 R (Ω) 愈小，傳統鋅-銅電池放電速率 ($\Delta I/t$) 愈快，顯示：當溫度升高時，有效碰撞次數增加，越過活化能的離子數目也相對增多，有助於電池的放電速率的提升。
- 二、1.使用裝置 (2)，以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋。取洋菜粉先用少許水溶解，再加水至 900C.C.，加熱至完全溶解，並添加 1M 的硝酸鉀溶液至 1 公升，使均勻混合，冷卻凝固。採用洋菜粉 10 克時，較為合適。濃度太稀，雖然有利於離子移動，但是結凍不易，需長時間才能凍結。
- 2.洋菜膠中添加電解質，當做鹽橋，我們發現電池的電流強度大小順序為：硝酸鈉 (NaNO_3) 溶液 > 硝酸鉀 (KNO_3) 溶液 > 氯化鉀 (KCl) 溶液。表示，洋菜膠中添加了硝酸鈉溶液大幅降低溶液與膠體間的界面電位差，達到溝通電路的功能。
- 3.以硝酸鹽、氯化物、硫酸鹽溶液當作極板電解液之下，電池的電流強度大小順序為：硝酸鹽溶液 > 氯化物溶液 > 硫酸鹽溶液。顯示，以硝酸鋅溶液、硝酸銅溶液當作極板電解液之下，鋅-銅膠體電池之電流強度較為大些。
- 4.Zn 片和 Cu 片面積大小，關係到 Zn^{2+} 離子生成和 Cu^{2+} 離子消失的反應速率，接觸面積愈大，氧化還原反應速率愈快，鋅-銅膠體電池之電流強度相對也較大。
- 5.洋菜膠厚度薄，效果較佳；厚度太厚，鹽橋電阻太大，不利電流的傳導。Zn 片和 Cu 片距離愈短愈好，電流迴路減短，電阻減小，鋅-銅膠體電池的電流強度增加。減少洋菜膠厚度，的確可以使 Zn 片和 Cu 片距離接近，電流強度增加。但是，洋菜膠厚度太薄，操作不易，仍須避免 Zn 片和 Cu 片接觸。

- 6.使用裝置(2)，以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋，可以儘量縮短 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 和 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 兩杯溶液間的距離，降低鹽橋電阻。洋菜膠厚度(9.0 cm)固定之下，Zn 片和 Cu 片距離每增加 1 cm，電流強度約減小 0.015mA。
- 7.洋菜膠厚度(1.5 cm)固定之下，Zn 片和 Cu 片距離每增加 1 cm，電流強度約減小 0.50mA。我們發現 Zn 片和 Cu 片距離改變之下，採用洋菜膠厚度(1.5 cm)時，電流強度的變化幅度較大。
- 8.使用裝置(2)，由金屬片(如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅)，彼此搭配成不同膠體電池，電池最小電阻以(Mg-Cu)及(Mg-Pb)較小，(Al-Zn)及(Al-Fe)較大。其電池的內電阻差異，主要受到金屬氧化的電位大小、電解液性質(濃度、種類)以及金屬電極距離的影響，其中，金屬氧化電位的差距愈大，造成電池內部的內電阻也較為小些。
- 三、洋菜膠添加硝酸鈉溶液當鹽橋。溫度愈高，鋅-銅膠體電池放電速率($k = \Delta I / t$)愈大。隨著放電時間加長，電流強度 I(mA)及電壓 V (v)會逐漸衰減。
- 四、由實驗結果得知，(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)膠體電池當中，以 $(\text{Mg} \parallel \text{Mg}^{2+} \parallel \text{NaNO}_3 \parallel \text{Cu}^{2+} \parallel \text{Cu})$ 活化能小，電阻小，放電速率居中，當作伏打膠體電池較為合適。
- 五、雖然，本實驗結果並不是很完美，相信，未來在老師的指導之下，我們的科學素養與技能均可以有所增進。

捌、參考資料

- 一、國中自然與生活科技第六冊(康軒版)(p.45~51)。
- 二、分析化學基本原理(原著者 Skoog and West)(賀孝雍、陶雨台譯)(曉園出版社)(p.371~372)。
- 三、分析化學(林洪志著)(三民書局)(p.376~380)、(p.578~582)、(p.583)。
- 四、第 21 屆至第 30 屆中華民國中小學科展優勝作品專輯(p.317~327)、(p.381~391)。

【評語】 030208

優點：

1. 題目取題於國中自然與生物科技領域，針對課本實驗做改良，以洋菜膠電解液添加硝酸鈉溶液當作鹽橋，以改進傳統鋅-銅電池的缺點。使學生更加了解伏打電池的變化，內容值得嘉許。

建議：

1. 題目和歷屆作品有雷同之處，建議可觀測鹽橋內之離子移動情形或溶液內酸鹼變化，使作品具有創新及趣味性。
2. 應將實驗結果和理論值(不同金屬間的電位差)做比較，並進一步討論不同環境下所製備之洋菜膠之性質對實驗結果造成之差異性。

作品海報

摘要

伏打膠體電池以洋菜膠電解液添加硝酸鉀溶液當作鹽橋，改進了傳統鋅銅電池的缺點。我們發現極板電解液改採用硝酸鋅、硝酸銅，增大極板面積，減小洋菜膠厚度及極板距離，明顯提升電池的電流強度。

為了更深入探討電池放電速率與電解質溶液溫度的關係，於是依據阿瑞尼士方程式： $\ln(k) = -\left(\frac{E_a}{R}\right) \times \frac{1}{T} + \ln(A)$ ，利用 $\ln(k)$ 對 $1/T$ 作圖得一直線，可以得到直線斜率為 $-E_a/R$ 。

相同濃度之下，電解質溶液溫度 (T) 愈高，電池的電流強度愈大，電阻愈小，電池放電速率 ($k = \Delta I/t$) 愈快。

實驗結果得知，不同種類的伏打膠體電池(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)，當中以 $(Mg|Mg^{2+}||NaNO_3||Cu^{2+}|Cu)$ 的活化能(E_a)小，電阻(R)小，放電速率 ($k = \Delta I/t$) 居中，當作伏打膠體電池較為合適。

壹、研究動機

在做鋅銅電池的實驗時，我們發現 U 形管鹽橋在倒立安裝時，內部常會出現氣泡，進而影響到電流大小。因此，我們設計了下列實驗裝置，以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋，並且嘗試使用不同金屬片 (如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅)，彼此搭配成不同伏打膠體電池，改進傳統鋅銅電池的缺點，深入研究不同種類的伏打膠體電池(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)放電速率有何差異。

貳、研究目的

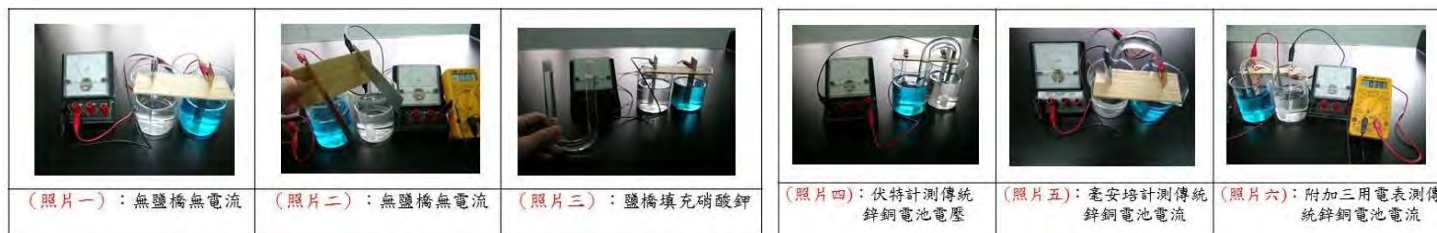
- 一、使用裝置 (1)。硝酸鉀溶液當做鹽橋，探討溫度改變對於鋅-銅電池放電速率 ($k = \Delta I/t$) 的影響。
- 二、使用裝置 (2)。以洋菜膠電解質溶液取代傳統鹽橋，探討影響鋅銅電池電流強度的各種變因。使用不同金屬片 (如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅)，彼此搭配成不同伏打膠體電池(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)。探討不同種類伏打膠體電池，電流強度及內電阻大小之間的差異。
- 三、承二，使用裝置 (2)。探討溫度改變對於鋅-銅膠體電池放電速率 ($k = \Delta I/t$) 的影響。
- 四、承三，探討溫度改變對於不同種類伏打膠體電池(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅)放電速率 ($k = \Delta I/t$) 的影響。

參、研究設備及器材

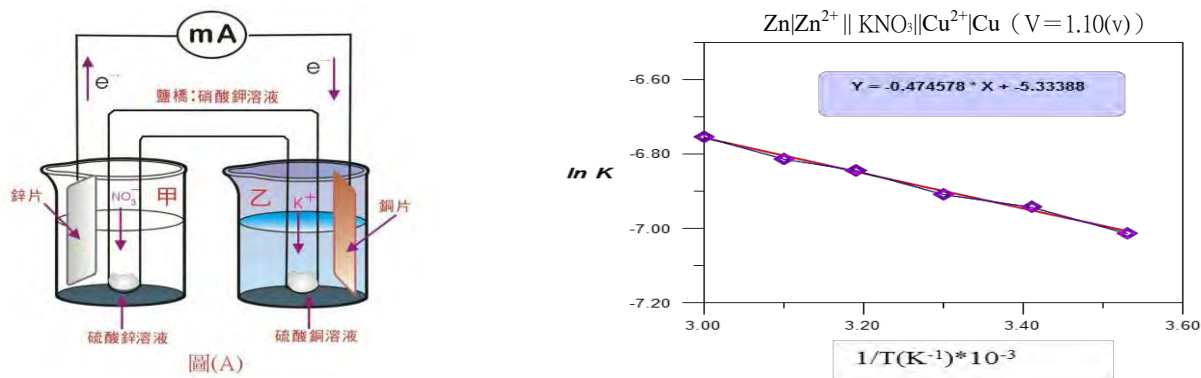
No	器材	No	器材及藥品	No	藥品
1	裝置 (1)	15	鎂帶 (4cm × 0.3cm)	29	洋菜粉
2	裝置 (2)	16	鋁片 (4cm × 6cm)	30	硝酸鋅 (Zn(NO ₃) ₂)
3	U形管	17	鐵片 (4cm × 6cm)	31	硝酸銅 (Cu(NO ₃) ₂)
4	毫安培計	18	鉛片 (4cm × 6cm)	32	氯化鋅 (ZnCl ₂)
5	伏特計	19	硫酸鋅 (ZnSO ₄)	33	氯化銅 (CuCl ₂)
6	數位式三用電表	20	硫酸銅 (CuSO ₄)	34	硝酸鉀 (KNO ₃)
7	鋅片、銅片 (4cm × 6cm)	21	玻璃棒	35	氯化鉀 (KCl)
8	鋅片、銅片 (4cm × 5cm)	22	量瓶	36	硝酸鈉 (NaNO ₃)
9	鋅片、銅片 (4cm × 4cm)	23	燒杯	37	硝酸鎂 (Mg(NO ₃) ₂)
10	鋅片、銅片 (4cm × 3cm)	24	鱈魚線	38	硝酸鋁 (Al(NO ₃) ₃)
11	鋅片、銅片 (4cm × 2.5cm)	25	砂紙	39	硝酸亞鐵 (Fe(NO ₃) ₂)
12	鋅片、銅片 (4cm × 2cm)	26	滴管	40	硝酸鉛 (Pb(NO ₃) ₂)
13	鋅片、銅片 (4cm × 1.5cm)	27	溫度計	41	恆溫槽
14	鋅片、銅片 (4cm × 1cm)	28	蒸餾水		

肆、研究過程或方法

- 一、裝置如圖 (1)，如圖(A)所示。鋅片放入硫酸鋅溶液中，銅片放入硫酸銅溶液中，鹽橋填充硝酸鉀，探討溫度改變對於傳統鋅-銅($Zn|Zn^{2+}||KNO_3||Cu^{2+}|Cu$)電池放電速率 ($k = \Delta I/t$) 的影響。

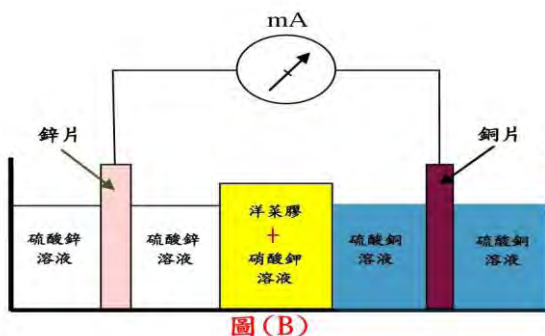


結果：傳統鋅-銅電池放電速率自然對數 $\ln(k)$ 對溶液絕對溫度倒數 $1/T$ 的關係圖 (一)：



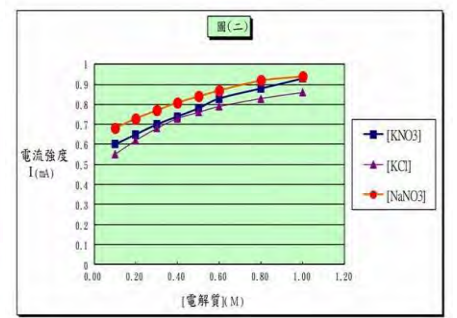
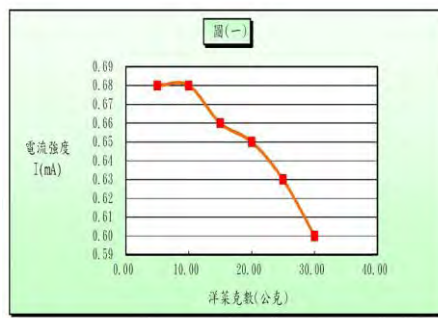
傳統鋅-銅電池，Y 軸上截距為： $\ln(A) = -5.33388$ ，則 $A = 0.0048$ ；放電速率自然對數 $\ln(k)$ 對溶液絕對溫度倒數 ($1/T$) 作圖，得直線的斜率為： $-E_a/R = -0.4745$ ，則 $E_a = (0.4745)R$ ，其中 $R = 8.314$ 。

- 二、使用裝置 (2)，如圖 (B) 所示：



試驗(一)、探討洋菜膠中，洋菜粉克數對電流強度的影響。

結果：如電流強度對洋菜粉克數的關係圖(一)

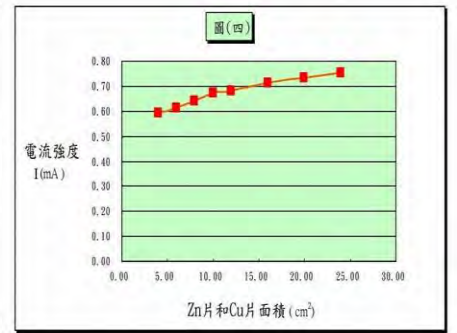
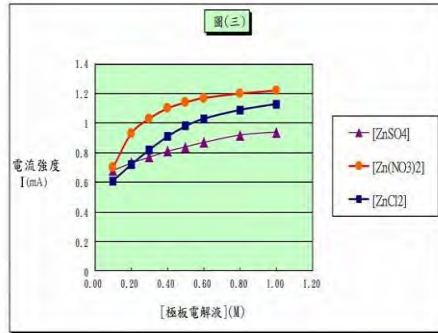


試驗(二)、探討洋菜膠中，添加不同[電解質]溶液對電流強度的影響

結果：如電流強度對不同[電解質]濃度的關係圖(二)

試驗(三)、探討不同極板電解液對電流強度的影響。

結果：如電流強度對不同[極板電解液]濃度的關係圖(三)

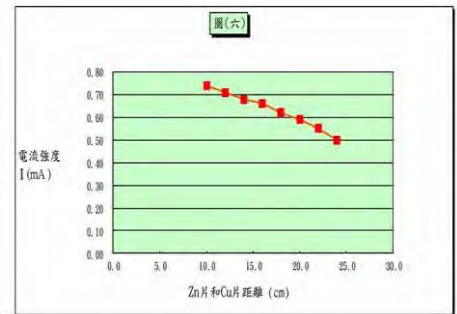
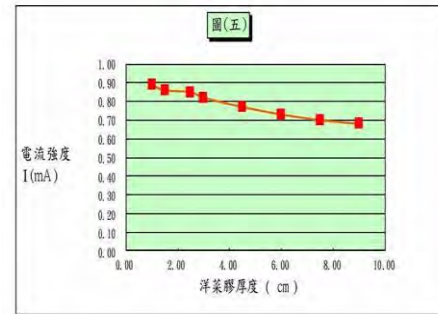


試驗(四)、探討 Zn 片和 Cu 片面積改變，對電流強度的影響。

結果：如電流強度對 (Zn 片和 Cu 片面積) 的關係圖(四)

試驗(五)、探討洋菜膠厚度改變，對電流強度的影響。

結果：如電流強度對 (洋菜膠厚度) 的關係圖(五)



試驗(六)、洋菜膠厚度 (9.0 cm) 固定之下，探討 Zn 片和 Cu 片距離改變，對電流強度的影響。

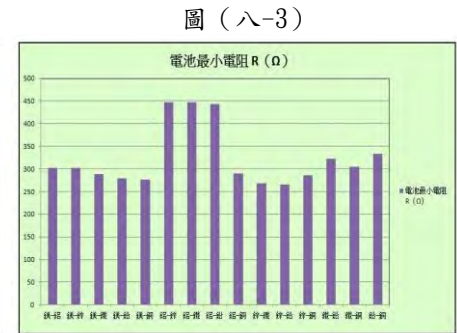
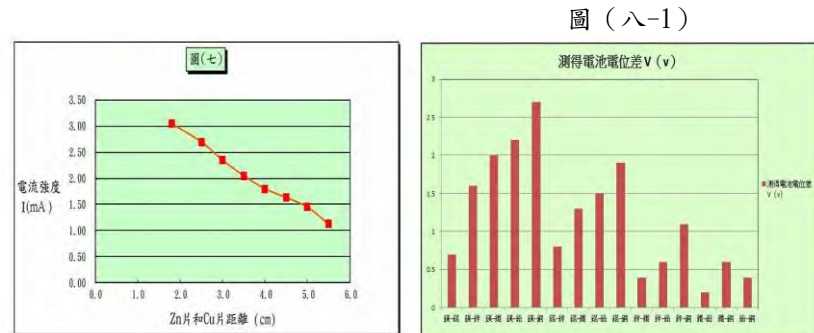
結果：如電流強度對 (Zn 片和 Cu 片距離) 的關係圖(六)

試驗(七)、洋菜膠厚度 (1.5 cm) 固定之下，探討 Zn 片和 Cu 片距離改變，對電流強度的影響。

結果：如電流強度對 (Zn 片和 Cu 片距離) 的關係圖(七)：

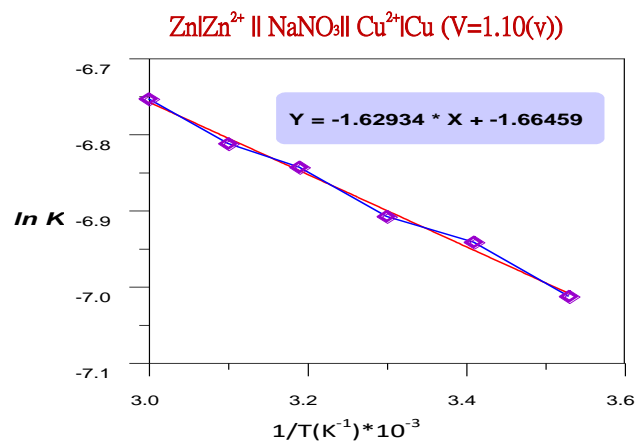
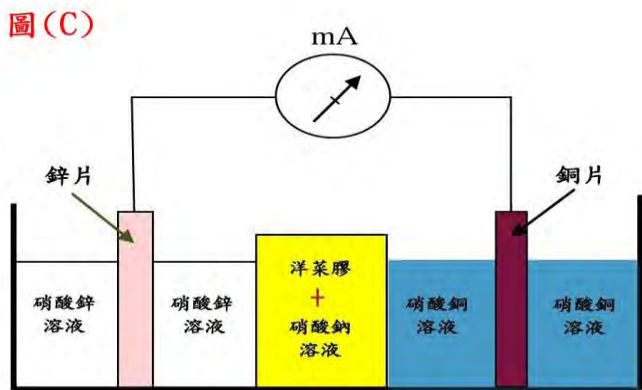
試驗(八)、由金屬片 (如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅)，彼此搭配成不同伏打膠體電池，其電池的內電阻又如何？

結果：如圖(八-1)、圖(八-2)、圖(八-3)



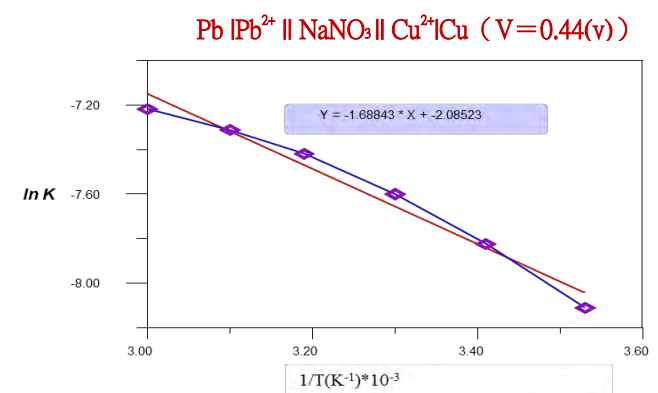
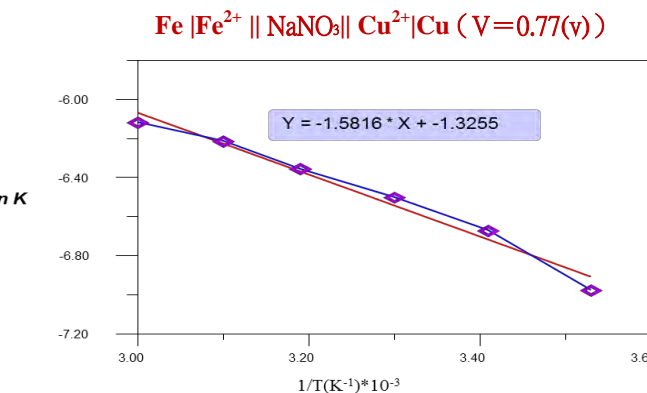
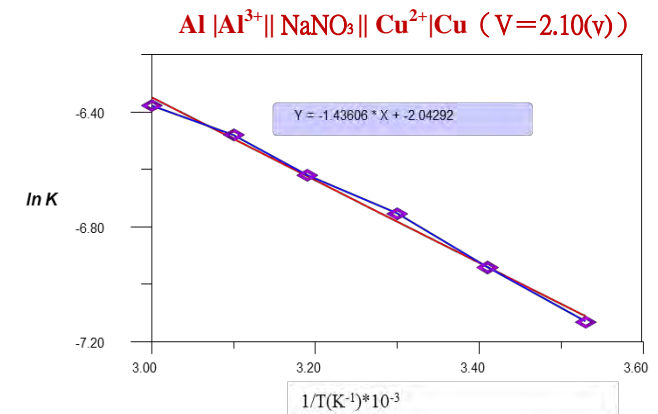
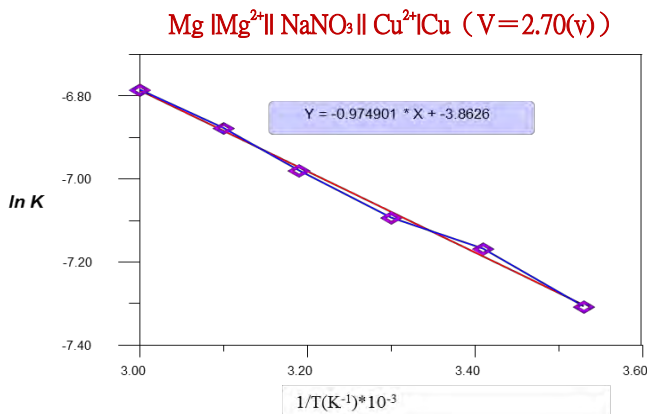
三、承二，使用裝置(2)。鋅-銅膠體電池 ($Zn|Zn^{2+}||NaNO_3||Cu^{2+}|Cu$)，如圖(C)。探討溫度改變對於鋅-銅膠體電池放電速率 ($k = \Delta I / t$) 的影響。

結果：($Zn|Zn^{2+}||NaNO_3||Cu^{2+}|Cu$) 電池放電速率自然對數 $\ln(k)$ 對溶液絕對溫度倒數 $1/T$ 的關係圖(二)



四、承三，更進一步探討溫度改變對於不同種類伏打膠體電池 (鎂-銅、鋁-銅、鐵-銅、鉛-銅) 放電速率 ($k = \Delta I / t$) 的影響。

結果：



伍、研究結果

- 一、相同濃度之下，溫度 (T) 愈高，傳統鋅-銅電池的電流強度 I(mA) 愈大，放電速率 ($k = \Delta I / t$) 愈快。
- 二、1. 以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋。採用洋菜粉 10 克時，較為合適。洋菜膠濃度太稠，方便操作，與溶液保持區隔，除了不利於離子移動外，也使硝酸鉀溶液的溶解度降低，濃度減小，電流強度反而減低。
2. 洋菜膠中添加硝酸鈉溶液有助於鋅銅電池電流強度的提升，效果最佳。其次為硝酸鉀溶液；添加氯化鉀溶液時，效果較差。
3. 以硝酸鋅溶液、硝酸銅溶液當作電解液之下，鋅銅電池之電流強度較為大些。其次為氯化物溶液，而硫酸鹽溶液效果較差。
4. Zn 片和 Cu 片面積增加，與 $Zn(NO_3)_2$ 和 $Cu(NO_3)_2$ 溶液的接觸面積也相對增大，電流強度有明顯增大趨勢。
5. 洋菜膠厚度小於 2 cm，效果最佳；厚度大於 2 cm 以上，鹽橋電阻太大，不利電流的傳導。
6. 洋菜膠厚度 (9.0 cm) 固定之下，Zn 片和 Cu 片距離愈短愈好，可以增加鋅銅電池的電流強度。
7. 洋菜膠厚度 (1.5 cm) 固定之下，Zn 片和 Cu 片距離愈短，大大增加鋅銅電池的電流強度。
8. 伏打膠體電池電位差 V (v) 大小順序為： $(Mg-Cu) > (Mg-Pb) > (Mg-Fe) > (Mg-Zn) > (Al-Cu) > (Zn-Cu) > (Al-Pb) > (Al-Fe) > (Al-Zn) > (Mg-Al) > (Zn-Pb) > (Fe-Cu) > (Zn-Fe) = (Pb-Cu) > (Fe-Pb)$ 。
- 三、使用裝置 (2)，洋菜膠添加硝酸鈉溶液當鹽橋。溫度愈高，鋅-銅膠體電池 ($Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu$) 放電速率 ($k = \Delta I / t$) 愈大。其電流強度 I(mA) 是傳統鋅-銅電池的 1.37 倍，隨著放電時間加長，電流強度 I(mA) 及電壓 V (v) 會逐漸衰減。鋅-銅膠體電池 ($Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu$) 活化能 (E_a) 是傳統鋅-銅電池的 3.4 倍，但反應粒子間的碰撞頻率 (A) 卻是傳統鋅-銅電池的 39.4 倍。
- 四、(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅) 膠體電池的差異整理如下。
1. 相同溫度之下，膠體電池電阻大小次序為： $(Pb|Pb^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Fe|Fe^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Al|Al^{3+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Mg|Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu)$ 電池。
2. 膠體電池內部反應活化能 (E_a) 的大小次序為： $(Pb|Pb^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Fe|Fe^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Al|Al^{3+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Mg|Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu)$ 電池。
3. 膠體電池內部反應粒子 (離子) 間的碰撞頻率 (A) 的大小次序為： $(Fe|Fe^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Al|Al^{3+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Pb|Pb^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Mg|Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu)$ 電池。
4. 膠體電池放電速率 ($k = \Delta I / t$) 大小次序為：(鐵-銅) 最快，(鋁-銅、鎂-銅) 次之，(鉛-銅) 電池最慢。

陸、討論

- 一、1. 傳統鋅-銅電池 ($Zn|Zn^{2+} || KNO_3 || Cu^{2+}|Cu$)，使用硝酸鉀溶液當做鹽橋，鋅片氧化溶解成鋅離子，而硫酸銅溶液中的銅離子獲得電子，還原析出紅色銅原子附著在銅片上。鋅-銅電池會隨著放電時間 t(sec) 增加，電流強度 I(mA) 有逐漸衰減的現象。
2. 為了更深入探討電池放電速率與電解質溶液溫度的關係，於是依據阿瑞尼士方程式： $\ln(k) = -\left(\frac{E_a}{R}\right) \times \frac{1}{T} + \ln(A)$ ，利用 $\ln(k)$ 對 $1/T$ 作圖得一直線，可以得到直線斜率為 $-E_a / R$ 。
3. 同濃度之下，電解質溶液溫度 (T) 愈高，傳統鋅-銅電池的電流強度 I(mA) 愈大，電阻 R (Ω) 愈小，電池放電速率 ($\Delta I / t$) 愈快，顯示：當溫度升高時，有效碰撞次數增加，越過活化能的離子數目也相對增多，有助於電池的放電速率的提升。
- 二、1. 洋菜結凍時間取決於溫度因素和濃度因素。低溫下，洋菜結凍時間較短，因此，溫度因素影響結凍大於濃度因素。
2. 鋅銅電池內電阻並不是一個定值。洋菜膠中添加電解質溶液，隨著時間，電池的內電阻增加，電流減小，最後電流歸於零。
3. 以硝酸鋅溶液、硝酸銅溶液當作極板電解液之下，鋅銅電池之電流強度較為大些。使用較高濃度的電解液，將可以提升鋅銅電池的電流強度。
4. 接觸面積大，反應速率較為大些。鋅銅電池的電流強度與 (Zn 片和 Cu 片面積) 並無正比關係。
5. 以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋，可以儘量縮短兩杯 $Zn(NO_3)_2$ 和 $Cu(NO_3)_2$ 溶液的距離，減低鹽橋電阻。鹽橋存在是造成電流很小的主要因素，必須儘量設法減少洋菜膠厚度，使 Zn 片和 Cu 片互相接近，但又不可以接觸。
6. 洋菜膠厚度 (9.0 cm) 固定之下，Zn 片和 Cu 片距離每增加 1 cm，電流強度約減小 0.015mA。
7. 洋菜膠厚度 (1.5 cm) 固定之下，Zn 片和 Cu 片距離每增加 1 cm，電流強度約減小 0.50mA。
8. (1) 鋅銅膠體電池反應 ($Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$)，金屬 (Zn、Cu) 的氧化電位及電解液離子濃度 ($[Zn^{2+}] / [Cu^{2+}]$) 比值，鹽橋離子溶液的移動，影響到整個鋅銅電池電位差 V 大小。
(2) 其他膠體電池反應，負極失去電子，正極得到電子，同樣受到上述因素的影響，造成內部電阻大小差異。
(3) 鎂帶寬度只有 0.3 cm，必須用夾子將二十片尺寸 (4 cm × 0.3 cm) 的鎂帶上方加以固定，以控制金屬面積一定。
- 三~四、洋菜膠添加硝酸鈉溶液當鹽橋。溫度愈高，伏打膠體電池放電速率愈大。 $(Mg|Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu)$ 電池活化能小，電阻小，放電速率居中，當作伏打膠體電池較為合適。

柒、結論

- 一、溫度 (T) 愈高，傳統鋅-銅電池放電速率 ($\Delta I / t$) 愈快，顯示：當溫度升高時，有效碰撞次數增加，越過活化能的離子數目也相對增多，有助於電池的放電速率的提升。
- 二、1. 使用裝置 (2)，以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋。取洋菜粉先用少許水溶解，再加水至 900C.C.，加熱至完全溶解，並添加 1M 的硝酸鉀溶液至 1 公升，使均勻混合，冷卻凝固。採用洋菜粉 10 克時，較為合適。濃度太稀，雖然有利於離子移動，但是結凍不易，需長時間才能凍結。
2. 洋菜膠中添加電解質，當做鹽橋，我們發現電池的電流強度大小順序為：硝酸鈉 ($NaNO_3$) 溶液 > 硝酸鉀 (KNO_3) 溶液 > 氯化鉀 (KCl) 溶液。表示，洋菜膠中添加了硝酸鈉溶液大幅降低溶液與膠體間的界面電位差，達到溝通電路的功能。
3. 以硝酸鹽、氯化物、硫酸鹽溶液當作極板電解液之下，電池的電流強度大小順序為：硝酸鹽溶液 > 氯化物溶液 > 硫酸鹽溶液。顯示，以硝酸鋅溶液、硝酸銅溶液當作電解液之下，鋅銅膠體電池之電流強度較為大些。
4. Zn 片和 Cu 片面積大，接觸面積愈大，氧化還原反應速率愈快，鋅銅膠體電池之電流強度相對也較大。
5. 洋菜膠厚度薄，效果較佳；厚度太厚，鹽橋電阻太大，不利電流的傳導。Zn 片和 Cu 片距離愈短愈好，電流迴路減短，電阻減小，鋅銅膠體電池的電流強度增加。減少洋菜膠厚度，的確可以使 Zn 片和 Cu 片距離接近，電流強度增加。但是，洋菜膠厚度太薄，操作不易，仍須避免 Zn 片和 Cu 片接觸。
6~7. 使用裝置 (2)，以洋菜膠電解液取代傳統鹽橋，可以儘量縮短 $Zn(NO_3)_2$ 和 $Cu(NO_3)_2$ 兩杯溶液間的距離，降低鹽橋電阻。我們發現 Zn 片和 Cu 片距離改變之下，採用洋菜膠厚度 (1.5 cm) 時，電流強度的變化幅度較大。
8. 使用裝置 (2)，由金屬片 (如：鎂、鋁、鋅、鐵、鉛、銅)，彼此搭配成不同膠體電池，電池最小電阻以 (Mg-Cu) 及 (Mg-Pb) 較小，(Al-Zn) 及 (Al-Fe) 較大。其電池的內電阻差異，主要受到金屬氧化電位大小、電解液性質 (濃度、種類) 以及金屬電極距離的影響，其中，金屬氧化電位差距愈大，造成電池內部的內電阻較為小些。
- 三、洋菜膠添加硝酸鈉。溫度愈高，鋅-銅膠體電池放電速率 ($k = \Delta I / t$) 愈大。放電時間加長，電流強度及電壓會逐漸衰減。
- 四、由實驗結果，比較(鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅) 膠體電池的差異整理如下。
1. 相同溫度之下，電阻大小次序為： $(Pb|Pb^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Fe|Fe^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Al|Al^{3+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Mg|Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu)$ 電池。
2. 電池內部反應活化能 (E_a) 的大小次序為： $(Pb|Pb^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Fe|Fe^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Al|Al^{3+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Mg|Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu)$ 電池。
3. 電池內部反應粒子 (離子) 間的碰撞頻率 (A) 的大小次序為： $(Fe|Fe^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Al|Al^{3+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Pb|Pb^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Mg|Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu)$ 電池。
4. (鎂-銅、鋁-銅、鋅-銅、鐵-銅、鉛-銅) 膠體電池放電速率 ($k = \Delta I / t$) 大小次序為： $(Fe|Fe^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Al|Al^{3+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Mg|Mg^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Zn|Zn^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu) > (Pb|Pb^{2+} || NaNO_3 || Cu^{2+}|Cu)$ 電池。

捌、參考資料及其他

- 一、國中自然與生活科技第六冊 (康軒版) (p.45~51)。
- 二、國中理化第三冊 (國編版) (p.90~p.100)。
- 三、分析化學基本原理 (原著者 Skoog and West) (賀孝雍、陶雨台譯) (曉園出版社) (p.371~372)。
- 四、分析化學 (林洪志著) (三民書局) (p.376~380)、(p.578~582)、(p.583)。
- 五、第 21 屆至第 30 屆中華民國中小學科展優勝作品專輯 (p.317~327)、(p.381~391)