

實驗報告

組員一 B12505014 葉哲綸

組員二 B12505047 陳澤諒

指導助教：景謙、劉誌軒

實驗日期：2024 年/3 月/13 日

摘要

本實驗目標是製作並校準滑線電位計，並以該電位計測量一電池的電動勢與內電阻。使用滑線電位計並調整接點位置，得到待測電池之電動勢為 1.5192 ± 0.00042 ，此時不確定度影響測量值 0.02%。使用滑線電位計使我們可以在不需要考慮電流的情況下，並連待測電池及不同的電阻，藉測量電阻線長度，換算成待測電池的端電壓，根據公式及兩種分析方式得到內電阻 r 。本實驗依照實驗的結果作 $1/V-1/R$ 圖以及 $V-I$ 圖得出了兩個結果， $1/V-1/R$ 圖分析所得之電動勢 ε_x 為 1.4841V 內電阻為 16.733Ω ； $V-I$ 圖分析所得之電動勢為 1.5036V，內電阻為 17.315Ω 。誤差來源可能是在量測上的不精準，導致兩組數據得到的結果不同。

一、結果 Results

甲、原始數據紀錄

1. 製作與校準：

參考電池電動勢為 1.5V。接點 A、B 間電阻線長度為 150.00cm。調整 D 點位置、使檢流計讀數為零。此時接點 A、B 間電壓為 1.5V。則電阻線上從 D 點至 C 點每單位長度的電位差，即電壓下降率

$$k = \frac{\varepsilon_x}{L} = \frac{1.5}{150.00} = 0.10000 \left(\frac{V}{cm} \right)。$$

2. 電動勢量測：

使用已經校準的滑線電位計，測量待測電池的電動勢。調整接點 B 的位置、使檢流計讀數為零。此時接點 A、B 間電阻線長度為 $AB = 151.92cm$ ，故

$$\text{待測電池的電動勢 } \varepsilon_x = \frac{1.5}{150.00} * 151.92 = 1.5192 (V)。$$

3. 內電阻量測：

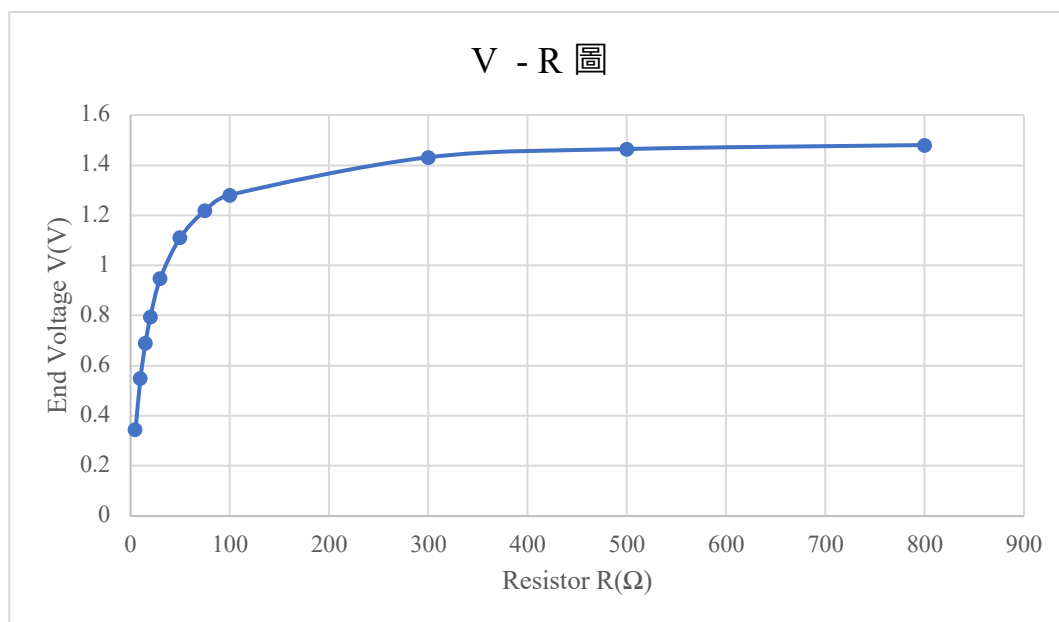
$R(\Omega)$	800	500	300	100	75
\overline{AB}	148.02	146.42	143.13	128.11	121.89
$V(V)$	1.4802	1.4642	1.4313	1.2811	1.2189
$I(A)$	0.0018502	0.0029284	0.0048710	0.018110	0.016252

$R(\Omega)$	50	30	20	15	10	5
\overline{AB}	111.05	94.78	79.53	68.87	54.99	34.41
$V(V)$	1.1105	0.9478	0.7953	0.6887	0.5499	0.3441
$I(A)$	0.022210	0.031593	0.039765	0.045913	0.054990	0.068820

乙、數據分析與討論

在本次實驗中，分別以 $V - R$ 圖、 $V - I$ 圖與 $1/V - 1/R$ 圖，對待測電池的電動勢與內電阻值進行分析。

V-R 圖：

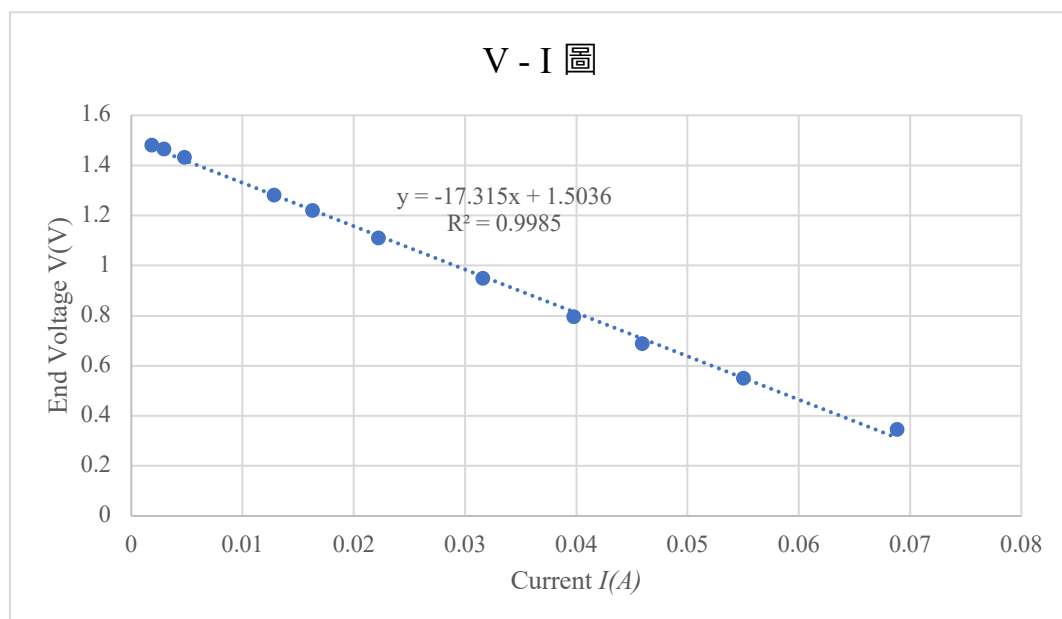


根據下列式子：

$$V = IR = \varepsilon_x - Ir = \frac{R}{R + r} \varepsilon_x$$

V-R 圖類似飽和曲線，表示當 R 越來越大時，V 將會趨近一個最大值（本次實驗中，最大值是 1.5V）。當 $R \gg r$ 時， $V \approx \varepsilon_x$ 。同理，當外接電阻組電阻待測電池內電阻相等時（即 $R=r$ ），V 為其最大值的一半（ $V = \varepsilon_x/2$ ）。但這個圖不好進行分析，因此我們將使用其他圖進行分析。

V-I 圖：

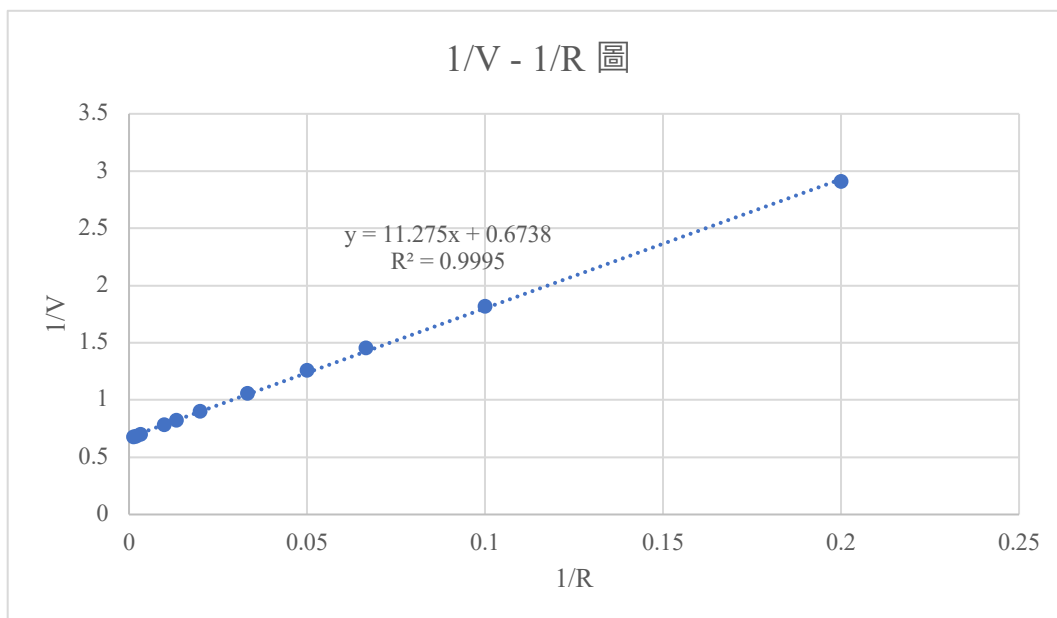


將上表 V 對 I 做圖並進行回歸直線分析，如上圖所示，根據下列式子：

$$V = \varepsilon_x + (-r)I$$

以及上圖可得知待測電動勢 $\varepsilon_x = 1.50V$ ，而待測電池的內電阻為斜率，即 $r = 17.315$

1/V - 1/R 圖



根據下列式子：

$$\frac{1}{V} = \frac{r}{\varepsilon_x} \left(\frac{1+r}{R} \right) = \frac{1}{\varepsilon_x} + \frac{r}{\varepsilon_x} \frac{1}{R}$$

並將電壓與電阻分別倒數做散佈圖、做回歸直線分析如上圖，可知待測電動勢即為截距的倒數，即 $\varepsilon_x = 1/0.6738 = 1.4841 V$ 。而待測內電阻 r 為斜率與電動勢之乘積，即 $r = 16.733\Omega$ 。

綜合討論：

	$\varepsilon_x(V)$	$r(\Omega)$
調整接點測電動勢	1.5192	x
V-I 圖	1.5036	17.315
1/V-1/R 圖	1.4841	16.733
平均值	1.4939	17.024
標準差	0.014	0.41

丙、關於不確定度分析

1. 假設外接電阻 R 和參考電池之電動勢不確定度皆為 0，而僅考慮接點 A、B 距離 AB ，其不確定度 u_{AB} 為 $\frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029$ 。
2. 因為 $V = AB * 0.01$ ，故 $u_V = u_{AB} = 0.029$ 。
3. 因為 $u_R = 0$ ，且 $I = \frac{V}{R}$ 。根據除法不確定度：

$$u_I = \sqrt{\frac{u_V^2}{R^2} + \frac{V^2 u_R^2}{R^4}}, \text{ 又因 } u_R = 0, \text{ 因此 } u_I = \frac{u_V}{R} = \frac{u_{AB}}{R}$$

$R(\Omega)$	$AB(\text{cm})$	$V(\text{V})$	u_{AB}	u_I
800	148.02	1.4802	0.029	3.6×10^{-5}
500	146.42	1.4642	0.029	5.7×10^{-5}
300	143.13	1.4313	0.029	9.6×10^{-5}
100	128.11	1.2811	0.029	2.8×10^{-4}
75	121.89	1.2189	0.029	3.8×10^{-4}
50	111.05	1.1105	0.029	5.8×10^{-4}
30	94.78	0.9478	0.029	9.6×10^{-4}
20	79.53	0.7953	0.029	1.4×10^{-3}
15	68.87	0.6887	0.029	1.9×10^{-3}
10	54.99	0.5499	0.029	2.9×10^{-3}
5	34.41	0.3441	0.029	5.8×10^{-3}

4. 電壓下降率 $k = \frac{V}{L} = \frac{1.5}{150.00} = 0.1$ ，根據除法不確定度計算公式：

$$u_k = \sqrt{\frac{u_V^2}{L^2} + \frac{V^2 u_L^2}{L^4}}, \text{ 且 } u_V = 0, \text{ 此時 } u_k = \frac{V u_L}{L^2} = \frac{1.5 \times \frac{0.1}{2\sqrt{3}}}{150^2} = 2.0 \times 10^{-6}$$

5. 待測電池之不確定度分析：

$$\text{由 } \varepsilon_x = k \times L_x, u_{L_x} = 0.029, \text{ 相乘不確定度 } u_{\varepsilon_x} = \varepsilon_x \times \sqrt{\left(\frac{u_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{u_{L_x}}{L_x}\right)^2} \\ = 0.00042。$$

6. 迴歸直線分析的不確定度：

由 Excel 的 Linest 函數，可以針對 V-I 圖與 1/V-1/R 圖找出他們 x 項係數與直線截距的不確定度。

	V-I 圖	1/V-1/R 圖
X 項係數不確定度	2.2×10^{-1}	8.7×10^{-2}
迴歸直線截距不確定度	7.8×10^{-3}	6.4×10^{-3}

7. 不確定度結論

我們認為不確定度主要來源有兩個，首先便是本次實驗，在判讀接點的部分，由於是使所用鱷魚夾，其接觸為一個較大的面積而非一個準確的點，導致在讀取長度時較為困難，因此要降低此誤差可以在每次讀取時以相同角度相同判讀方式來紀錄，或是選擇使用更細的夾子來進行實驗。再者，便是在校正完 D 點，後續實驗中可能誤觸 D 點導致了誤差的出現，對此的改善方法，可以在每次測量時，先檢查一次 D 點的位置是否出現偏差，如有的話，重新校正後再繼續進行實驗。

二、問題討論 Discussion

甲、問題一：背景原理中的問題：為什麼只有當 B 的位置恰使得 V_{AB} 等於 V_{PQ} 之值時，檢流計 G 的讀數才會是零？

檢流計的電阻非常小，可以忽略不計。而當 AB 之間的電位差等於 PQ 之間的電位差時，表示 AB 兩點的電位相同，兩端的電荷勢能相同。因此，電荷不會在兩端之間移動，也就沒有電流流過。因此在這種情況下，因為兩端電位相同，所以不會有電流流過檢流計，檢流計的讀數將會是零。

乙、問題二：滑線電位計所使用的工作電池可能也有內電阻，線路上的各接點可能也有內電阻，這些因素是否影響實驗結果？那麼標準電池的內電阻呢？

滑線電位計所使用的工作電池、線路各接點以及標準電池的內電阻都不會影響實驗結果。首先，工作電池本身可能具有內部電阻，但它的主要作用是建立滑線上的均勻電位降落。這意味著只要在每個步驟中確保滑線上的電流保持恆定且外部電路上的檢流計讀數為零，則工作電池的內電阻就不會對滑線長度與電位降落之間的正比關係產生影響。其次，線路上的各接點可能也具有內部電阻，但在實驗進行時，這些內部電阻已經在校正過程中被納入考慮，因此它們不會對實驗結果產生顯著影響。在校正滑線電位計時，我們使用檢流計確保待測物和滑線電位計之間的電流為零，這意味著電流不會通過標準電池。根據 $V = \varepsilon_x - Ir$ ，當電流為零時，內部電阻的影響也會被消除，因此標準電池的內電阻不會對實驗結果造成影響。

丙、問題三：檢視本實驗的數據，請問在什麼條件下可以說電池「沒電」了？

根據本實驗的數據，由於本實驗所用皆以外接電源供電，因此其內部電動勢與內電阻不變，故要說電池「沒電」的條件是當外迴路中的電流達到一定值時，使得電池的端電壓降至零。而在本實驗中，對於待測電池，從 V-I 圖中的擬合曲線可以得知，當外迴路中的電流達到約 86.63mA 時，會使得待測電池的端電壓為零，得以認為待測電池「沒電」。

丁、問題四：如果待測電池電動勢增為原來的 5 倍左右，利用本實驗的器材架構，可以如何量測出此待測電池電動勢？

若待測電池的電動勢增至約原來的五倍（約 7.5V），我們可以通過調整實驗儀器來進行測量。由於電阻滑線的最大可利用長度為 600cm，因此使用本次實驗儀器可測得的最大電動勢約為 6V。要測量更大電動勢的待測電池，我們需要調整工作電源的電動勢 ε_x 。這樣可以使得滑線上建立的更大電位下降率，從而使滑線電位計能夠測量更大的電動勢。

三、參考資料 References

1. 《國立台灣大學普通物理實驗》，台大出版中心，2023
2. LINEST 函數
<https://support.microsoft.com/zh-tw/office/linest-%E5%87%BD%E6%95%B8-84d7d0d9-6e50-4101-977a-fa7abf772b6d>
2024/03/18 查詢