

電路模擬之解析板

高中教師組物理第三名

省立台南一中

作者：朱君煦

一、動機：

電路之種種物理原理，僅由虛無的想像，配合推論，加以瞭解。固然都有客觀的實驗作為論證的依據，然而這些實驗若不是儀器複雜，操作不易，（如密立根油滴實驗以驗證基本電荷之存在）就是間接推論（如以熱力學方式測定電動勢），都不是簡潔明快的方式，使學生對電路有一清晰的概念。為了教學上的方便及基本理念的灌輸，擬以此解析板解說電池，電位差、電阻、電流、電流計……等之基本意義，也進一步表現電阻定律、歐姆定律、電阻之串，並聯等定律，以期學生能以最簡單、直接之方法全盤了解這些物理量間之關係。

二、儀器設計及裝置——如參展之“電路模擬解析板”。

1 A、B、V、R……等均為電路元件。

2 A'、B'、V'、R'……等均為模擬之對應裝置。

2 A：安培計 R：電阻 Q：電量

V：伏特計 K：電鍵

B：電池 I：電流

三、使用方法：

1 電池（B）之功用：

(1) 將“水”由低水位（低處水瓶 B_1 ）送到高水位（高處水瓶 B_2 ），經過抽水機（ B' ）內部時，單位水量均得到一定量的能量（重力位能）。

(2) 將“正電荷”由低電位（電池負極）送到高電位（電池正極）經過電池內部時，單位正電荷均得到一定量的能量（電位能）。

〔註〕電池也可將負電荷由正極推送至負極，電荷仍得到電

位能。

2. 電動勢 (ϵ) :

(1) 單位“水量”通過“抽水機”內部時，得到一定量的能量， $\Delta U_{g'} = mg \cdot \Delta h$ ，抽水機功率越大，此時 Δh 越大， ΔU 也越大。

(2) 單位“正電荷”通過“電池”內部時，得到一定量的能量 ϵ 。
。串聯電池數越多，此電動勢越大。

[註] 調整高處水瓶之高度，恰如調整電池個數。

3. 電位差 (ΔV) :

(1) “單位質量的水”在水通路上兩定點 P_1' , P_2' 處所具有重力位能之差額，可由標尺 (V') 表之。

(2) 單位電荷在電路上兩定點 P_1 , P_2 處所具有電位能之差額可由伏特計 (V) 表之。

4. 伏特計 (V) 特性及使用方法 :

(1) 標尺 (V') 為另一並排之傍路，管內阻力極高，使用時與被測之 R' 並聯，接於 P_1' , P_2' 點。 V' 上讀數為水位差。

(2) 伏特計 (V) 為另一並聯電路，內電阻極高，使用時與被測之 R 並聯，接於 P_1, P_2 點，讀數為電位差。

5. 電流 (I) :

(1) 單位時間內流過某一水管截面之水量多寡，可由 (V') 中蹠輪轉速表示水流強度。

(2) 單位時間內流過電路某一截面之電量大小，可由電流計 (A) 讀數表示電流強度。

6. 電量 (Q) :

(1) 經時距 Δt ，由某水管某一截面流出之水量，可由計數器 (Q') 得知。

(2) 經時距 Δt ，流過某截面之電荷總數，可由電流計讀數和時距相乘得之。

7. 電流計 (A) 之特性及使用方法 :

(1) 蹠輪 (A') 為串接在待測水路中之儀器，本身內部阻力甚小

，其轉速用以表達水流強度之大小。

(2) 電流計 (A) 為串聯於待測電路之儀器，本身內電阻甚小，其讀數用以表達電流強度之大小。

8. 電阻器及其中能量之轉換：

(1) 打開夾子 K_1 ，則 R_1 為通路，水由 P_1 流到 P_2 處。重力位能減少 $mg \Delta h$ ，變為 R_1 中摩擦所生之熱。(稍有不同者，所生之熱大多被水帶走。)

(2) 接通電鍵 K_1 ，則 R_1 為通路，正電荷由 P_1 點流到 P_2 點處，電位能減少 $Q \Delta V$ ，變成 R_1 上所生之熱，大多保留在 R_1 中。 R_1 溫度增高。

9. 歐姆定律： $I = \Delta V / R$ 之解說。

(1) a. 打開 K_2 ，使水流經 R_2 管。由 A' 中測得水流強度為 I_2 。改變水瓶 B_1 之高度，使 B_1, B_2 有不同的高度差 (ΔH)，測得水流為 I_2 ，由實驗知 $I \propto \Delta V$ 。

(2) a. 保持 B_1 瓶位置不變，而改用 K_5 (R_5 長度為 R_2 之兩倍；阻力也將為二倍。) 由 A' 測得 $I_5 = I_2 / 2$ 。

b. 保持自耦變壓器 B_1 不變，而改接 K_5 (R_5 長度為 R_2 之兩倍) 則 $I_5 = I_2 / 2$ ，可知 $I \propto \frac{1}{R}$ 。

結論：由上述知 $I = \Delta V / R$ 成立。

10. 電阻定律： $R = \rho \frac{l}{a}$ 之解說。(ρ 為金屬之電阻係數， l 為導線之長度， R 為電阻值， a 為導線截面積。)

(1) a. 打開 K_2 或 K_5 ，則由 A' 中測得水流強度為 I_2 或 I_5 ，得知 $I_2 = 2 I_5$ ，故 R_2 中阻力為 R_5 中之半。

b. 接通 K_2 或 K_5 ，則由 A 中測得電流強度為 I_2 或 I_5 ，得知 $I_2 = 2 I_5$ ，故知 R_2 之電阻為 R_5 之半，故 $R \propto l$ 。(註： $l_5 = 2 l_2$ ，其他參數未變。)

(2) a. 打開 K_2 或 K_4 ，由 A' 中得知水流強度為 I_2 或 I_4 ，但 $I_2 = n I_4$ 。已知 R_2 及 R_4 長短粗細均同，但 R_4 中有較大阻

力。

b. 接通 K_2 或 K_4 ，由 A 中得知電流強度為 I_2 或 I_4 ，而 $I_2 = n I_4$ 。已知 R_2 及 R_4 長短粗細均同，僅材質不同。故知 $R \propto \rho$ （良導體 ρ 小，不良導體者 ρ 大）。

(3) a. 打開 K'_1 或 K'_2 ，由 A' 中知水流強度為 I'_1 或 I'_2 ，而 $I'_2 = n I'_1$ 。但 R'_1 較粗， a'_1 大，而阻力小， R'_2 較細， a'_2 小，而阻力大。由實驗知 $a'_2 = n a'_1$ 。

b. 接通 K_1 或 K_2 ，由 A' 中知電流強度 I_1 或 I_2 ，而 $I_1 = n I_2$ 。但 R_1 、 R_2 同質料，同長度，但 $a_1 = n a_2$ ，故 $R \propto l/a$ 。

結論：由上所述 $R = \rho \frac{l}{a}$ 成立。

11. 電功率： $P = IV = I^2 R = V^2/R$ 之解說。

(1) 由 Q' 得知經時距 Δt ，共有 q' 水量由 P'_1 流到 P'_2 點，共失去重力位能 $\Delta U' = q' \cdot g \cdot \Delta H$ 。此項能量轉變為熱能（所不同者，此熱能由水帶走）。

(2) 由 A 得知經時距 Δt ，共有電量 $q = I \cdot \Delta t$ ，由 P_1 點流到 P_2 ，而放出電位能 $\Delta U_e = I \cdot \Delta t \cdot \Delta V$ ，此項能量轉變為熱能（所不同者，此熱使 R 溫度升高）。

結論：電功率 P 為每秒由電位能所供應之能量，

$$\text{故 } P = I \cdot \Delta t \cdot \Delta V / \Delta t = I \cdot \Delta V$$

$$\text{故 } P = I^2 R$$

$$= \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

12. 電阻之串聯並聯之解說：

(1) 電阻之串聯：

如前述第 10 項之 (1)， R_5 長度為 R_2 之兩倍，實可視為兩條相同 R_2 導線之串聯，由是得知 R_1, R_2, R_3, \dots 串聯時總電阻 $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

(2) 電阻之並聯：

a. 打開 K'_2 由 A' 中得知水流強度為 I'_2 。若同時打開 K'_2, K'_3 由

得知水流强度爲 I'_{23} 。經由數據得知 $I'_{23} = n I'_2$ 。而

$$\frac{R'_2 R'_3}{R'_2 + R'_3} = \frac{R'_2}{n} \quad \text{故} \quad \frac{1}{R'} = \frac{1}{R'_2} + \frac{1}{R'_3} \quad (\text{簡要言之, 總阻力 } R' < R'_2 \text{ 或 } R'_3)$$

b. 接通 K_2 由 A 中得知流動强度爲 I_2 ，若同時打開 K_2, K_3 ，則由 A 中得知電流爲， $I_{23} = n I_2$ 。

$$\text{而} \quad \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{R_2}{n} \quad \text{故並聯後總電阻 } R,$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{R^3} + \dots$$

四、檢討：

1. 本模擬解析板，因製作材料係就地取材，不盡理想，例如蹣輪之摩擦力大，扇葉數目不足，形狀不理想等，致使水流量小時，不能轉動。雖在數量比較上，不如理想，但在現像之表達上，尚不失其實用性。
2. 蹣輪所帶動者，爲計數器，若將車輛之速率表，加以改良當可直接指出轉速，而與電流計作直接而對等之模擬。
3. 所用抽水機，變壓器、專裝置，略嫌粗大、笨重。若細加選材，當可較靈巧輕便。

評語：①將抽象的電磁概念具體化。