

# 馬鈴薯電池的電化學實驗 (下)

王楨、楊水平\*

國立彰化師範大學化學系

\*[yangsp@cc.ncue.edu.tw](mailto:yangsp@cc.ncue.edu.tw)

↑ 承【馬鈴薯電池的電化學實驗 (上)】

能是，硬幣的表面在反應後吸附氫氣，阻擾氫根離子到達硬幣表面，以致電流漸漸下降。

## ■ 實驗結果和討論

### 輸出電壓、電流及電功率

#### A. 串聯馬鈴薯電池

由圖 11 可知，馬鈴薯電池串聯數與輸出

馬鈴薯串聯數 (個)	1	2	3	4	5	6	7	8
電壓 (V), V	0.92	1.73	2.63	3.57	4.44	5.26	6.13	6.98
電流 (I), mA	0.32	0.32	0.34	0.35	0.35	0.34	0.35	0.34
電功率 (I × V), mW	0.29	0.55	0.89	1.25	1.55	1.79	2.15	2.37
小型鬧鐘可否運轉?	否	否	否	否	可	可	可	可
紅光 LED 可否發光?	否	否	微亮	微亮	稍亮	稍亮	亮	亮

電壓大小呈現幾乎正比的關係。

由圖 12 可知，馬鈴薯電池串聯數

在利用三用電表測量馬鈴薯電池的電壓時，電壓值會不斷上升，過一段時間會漸緩。相反地，測量電流時，電流值會不斷下降，過一段時間會漸緩。本實驗所紀錄的輸出電壓和電流都是讀取最後的穩定值或趨近穩定值。馬鈴薯電池電壓上升的原因可能是，插入華司後鋅與馬鈴薯的電解質接觸逐漸增加，導致電壓漸漸上升。電流下降的原因可

與輸出電流強度無關，串聯多個電池的電流強度與單一電池大致相同。

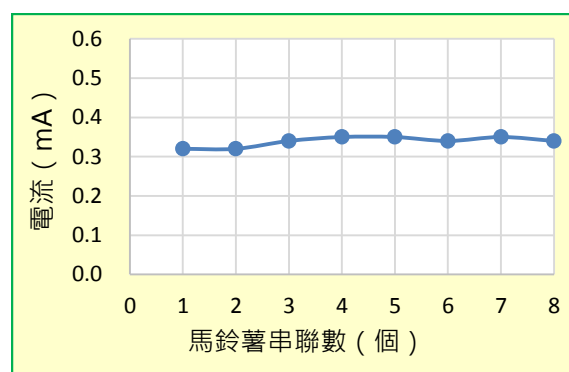


圖 12：馬鈴薯串聯數與電流的關係

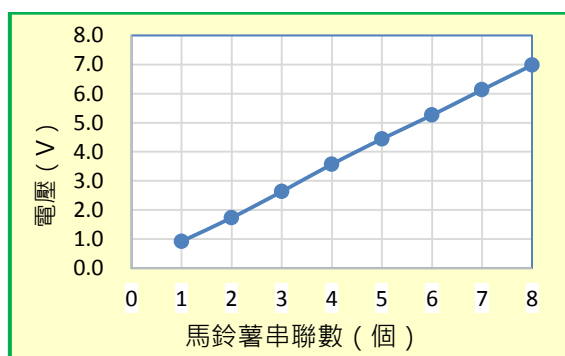


圖 11：馬鈴薯串聯數與電壓的關係

由圖 13 可知，馬鈴薯電池串聯數與電功率大致成正比的關係。由於馬鈴薯電池串連數與輸出電壓大小大致成正比，且與輸出電流強度無關，因此馬鈴薯串聯個數與輸出電功大致成正比。此結果與公式  $P = I \times V$  大約

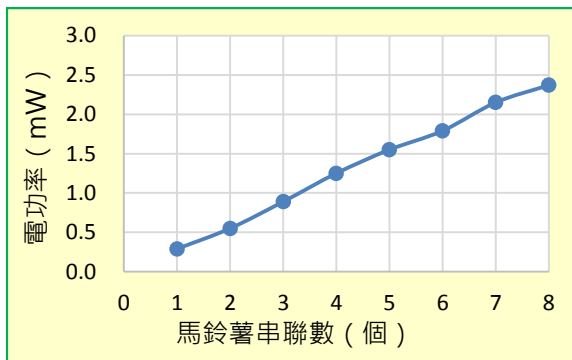


圖 13：馬鈴薯串聯數與電功率的關係

一致。

### 驅動負載

串聯五個以上(含)馬鈴薯電池可使小型鬧鐘的指針運轉，這是因為這些串聯電池輸出的電功率大於此鬧鐘的電功率，而且這些串聯電池輸出的電壓高於此鬧鐘的馬達運轉所需要的啟動電壓。

串聯三個馬鈴薯電池可使紅光 LED 發光的亮點直徑約 1-2 mm，串聯個數越多量點越大，串聯八個時亮點的直徑約 4-5 mm。由於紅光 LED 發光的正向偏壓為 1.63-2.03 V，串聯三個以上(含)馬鈴薯電池的電壓為 2.63 V 以上，超過紅光 LED 發光的正向偏壓，因此紅光 LED 會發光。

### B. 並聯馬鈴薯電池

馬鈴薯並聯數 (個)	1	2	3	4	5	6	7	8
電壓 (V), V	0.92	0.90	0.88	0.88	0.87	0.86	0.84	0.84
電流 (I), mA	0.32	0.49	0.75	0.98	1.23	1.51	1.77	2.02
電功率 (I × V), mW	0.29	0.44	0.66	0.86	1.07	1.30	1.49	1.70
小型鬧鐘可運轉?	否	否	否	否	否	否	否	否
紅光 LED 可發光?	否	否	否	否	否	否	否	否

在利用三用電表測量並聯馬鈴薯電池的

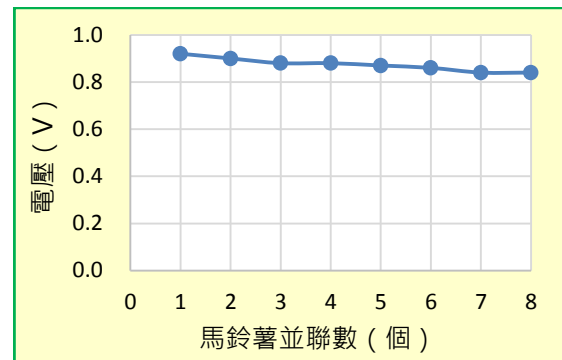


圖 14：馬鈴薯並聯數與電壓的關係

輸出電壓和電流時，與串聯馬鈴薯電池大致相同，電壓會逐漸上升且電流會逐漸下降。

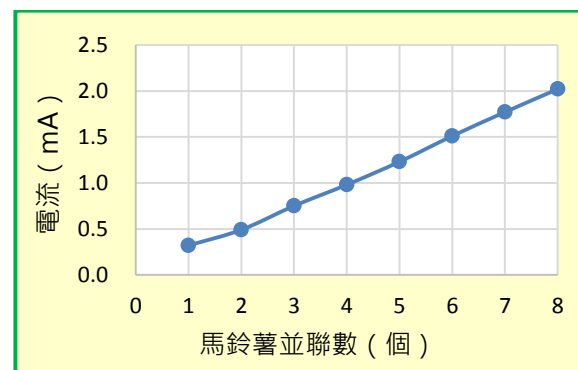


圖 15：馬鈴薯並聯數與電流的關係

### 輸出電壓、電流及電功率

由圖 14 可知，馬鈴薯電池並聯數與輸出電壓大小大致無關，但是並聯電池數目越多，輸出電壓大小有稍微下降的現象。

由圖 15 可知，馬鈴薯電池串聯數與輸出電流強度大致呈現正比關係。

由圖 16 可知，馬鈴薯電池並聯數與電功

率大致成正比的關係。由公式  $P = I \times V$ ，得知電功率 ( $P$ ) 與電流 ( $I$ ) 和電壓 ( $V$ ) 的乘

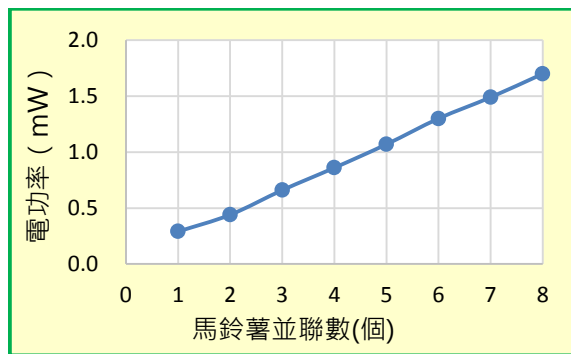


圖 16：馬鈴薯並聯數與電功率的關係

積成正比。由於馬鈴薯電池串連數與輸出電壓大小無關，且與輸出電流強度大致成正比，因此馬鈴薯串聯個數與輸出電功率大致成正比。

### 驅動負載

並聯八個馬鈴薯電池無法使小型鬧鐘的指針運轉。雖然並聯八個電池輸出的電功率大於此鬧鐘的電功率，但是這些電池輸出的電壓低於此鬧鐘的馬達運轉所需要的啟動電壓。

並聯八個馬鈴薯電池也無法使紅光 LED 發光。由於紅光 LED 發光的正向偏壓為 1.63-2.03 V，並聯多個馬鈴薯電池的電壓為 0.84-0.92 V，未超過紅光 LED 發光的正向偏壓（起始電壓），因此紅光 LED 不會發光。

### C. 馬鈴薯內電阻

馬鈴薯電池電壓 $V_0$	0.80 V
外加電阻 $R_1$	200 $\Omega$
外加電阻兩側電壓 $V_1$	0.37 V
電流 $I = R_1 / V_1$	$1.85 \times 10^{-3}$ A
電池內電阻 $R_0 = (V_0 - V_1) / I$	232 $\Omega$

馬鈴薯電池的內電阻很高，原因可能是馬鈴薯主要成分為澱粉，澱粉分子為非導體。馬鈴薯電池的內電阻計算如下所示：

$$R_0 = [(V_0 - V_1) / V_1] \times R_1$$

$$R_0 = [(0.80 \text{ V} - 0.37 \text{ V}) / 0.37 \text{ V}] \times 200 \Omega$$

$$R_0 = 230 \Omega$$

### ■ 安全注意與廢棄物處理

- 使用水果刀切馬鈴薯時，必須非常小心不要割傷手。
- 用過的馬鈴薯不可食用，可當作堆肥。
- 用過的華司與硬幣洗淨後，可再使用。

### ■ 教師教學與家長指導提示

- 日常生活中，有很多水果和蔬菜含有電解質，像是蘋果、檸檬、橘子、榨過的果汁等等。老師及家長可以多準備不同的食品，讓學生或孩童有更多探索的機會。
- 本實驗馬鈴薯煮過或是搗碎，讓學生探究改變變因是否影響輸出的電壓與電流，並比較各實驗結果。同樣地，學生可以測試這些馬鈴薯電池的內電阻是否改變。

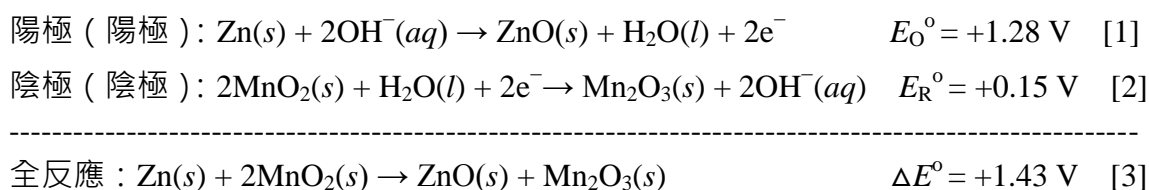
### ■ 原理與概念

#### 兩極半反應

常見的鹼性電池是由二氧化錳 ( $\text{MnO}_2$ )、鋅粉 ( $\text{Zn}$ )、炭粉及氫氧化鉀 ( $\text{KOH}$ ) 水溶液所構成。在鹼性電池中，鋅粉和氫氧化鉀當作電池的陽極（負極），二氧化錳和炭粉作為電池的陰極（正極）。當鹼性

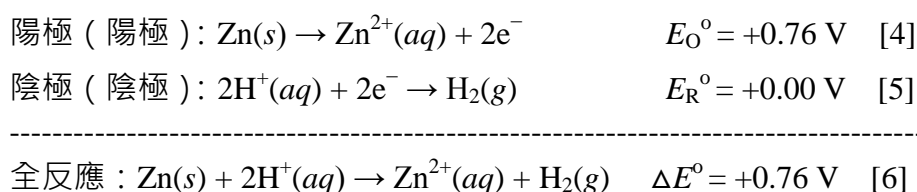
電池放電時，其兩極半反應如式[1]和[2]及全反應如式[3]所示。

一般鹼性電池的標準電壓為 1.5 V，而一個全新尚未用過的鹼性電池，其電壓值大約為 1.50 ~ 1.65 V，當有負載條件下的平均電壓為 1.1 ~ 1.3 V。鹼性電池的電流一般是 700 毫安培。



以化學角度觀之，馬鈴薯的成分有檸檬酸、碳酸鉀和磷酸，磷酸的含量只比蘋果少。而最重要的是，在蒸煮馬鈴薯時不可去皮，因為碳酸鉀應該在馬鈴薯烹調過程中被保留，否則，其會失去 7% 的碳酸鉀和 5% 的磷酸。

馬鈴薯電池的發電原理與乾電池大致相同，當馬鈴薯插入含銅的硬幣和表面鍍鋅的華司時，活性大的金屬鋅會失去電子而發生氧化反應 ( 陽極，負極 )，電子通過負載到達硬幣 ( 僅供導電之用 ) 的表面，在硬幣表面有馬鈴薯含酸的電解質，氫離子接收電子而發生還原反應 ( 陰極，正極 )，形成迴路而發電。當馬鈴薯電池放電時，其兩極半反應式如式[4]和[5]及全反應如式[6]所示。



馬鈴薯電池放電的實際電壓約 0.8-0.9

V，比理論值 0.76 V 還高，真正原因有待探討。

### 驅動負載

電功率 ( Electric power ) 是指每單位時間發電機或電池所產生的電能，電能能夠轉換成機械能 ( 馬達 )、動能 ( 指針式時鐘 )、

光 ( 燈泡 )、聲音 ( 耳機 )、

熱 ( 烤箱 )、或化學變化 ( 電鍍 )，電功率的單位為瓦特 ( W )。電器設備 ( 負載 ) 能否被驅動或可否運作可由電池所輸出的電功率是否超過電器設備的功率來判定。而且有些負載，例如：指針式鬧鐘的馬達需要達到特定的啟動電壓才能運作。

發光二極體 ( Light-Emitting Diode, LED ) 只能夠往一個方向通電，稱為正向偏壓，當電流流過時，電子與電洞在其內重合而發出單色光，稱為電致發光 ( electroluminescence ) 效應。發光的光線波長、顏色與其所採用的半導體物料種類及故意摻雜的元素有關，電致發光物料有摻雜銅和銀的硫化鋅、藍色鑽石 ( 含硼 )、砷化鎵等。放射波長 760-610 nm 的紅光 LED 發光之正

向偏壓為 1.63-2.03 V。通過 LED 的電流強度越大，發光的亮度越亮。

### 內電阻

電池內電阻是指使用電池時，電池內部

存在一種對電流阻礙的作用。在理想狀態中，電池是沒有內電阻，但在實際使用時，一定有存在內電阻，內電阻會消耗一部分的電能，這也是使電池發熱的原因。

電池內電阻的測量原理，如圖 17 所示，內電阻為  $R_0$ ，外加電阻為  $R_1$ ，當開關未關上（未加外電阻）時，三用電表測得電壓為  $V_0$ 。當開關閉合（有加外電阻）時，三用電表測得電壓為  $V_1$ ，電池內電阻可以由式[7]求得：

$$R_0 = (V_0 - V_1) / I \quad [7]$$

若外電阻  $R_1$  為已知，則只需要測量  $V_0$  和  $V_1$ ，即可用  $R_1$  來運算而求得電池內電阻  $R_0$ 。式[7]可改為式[8]：

$$R_0 = [(V_0 - V_1) / I] \times (V_1 / V_1)$$

$$R_0 = [(V_0 - V_1) / V_1] \times (V_1 / I) \quad [8]$$

由於外電阻  $R_1 = V_1 / I$ ，因此式[8]可改為式[9]：

$$R_0 = [(V_0 - V_1) / V_1] \times R_1 \quad [9]$$

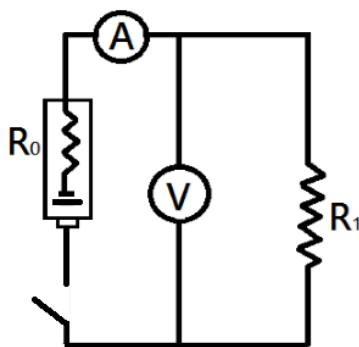


圖 17：測量電池內電阻的示意圖

事實上，不僅電池存在內電阻，像是三用電表、鱷魚夾電線等也有電阻存在。電池的內電阻取決於電池的大小、化學性質、使用時間、溫度和負載電流等，但通常只有幾歐姆左右。電池的內電阻通常隨電池使用時

間增長而增大，當電池使用較久時，內電阻會增大，進而導致對外輸出的電壓會下降。

## ■ 參考資料和讀物

1. Battery, Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Battery\\_\(electricity\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_(electricity)).
2. Internal resistance, Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Internal\\_resistance](http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_resistance).
3. Light-emitting diode, Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode](http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode).
4. Electric power, Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power).
5. How to Measure the Internal Resistance of a Cell, eHow, [http://www.ehow.com/how\\_10039516\\_measure-internal-resistance-cell.html](http://www.ehow.com/how_10039516_measure-internal-resistance-cell.html).
6. How to Calculate Battery Internal Resistance, eHow, [http://www.ehow.com/how\\_7492842\\_calculate-battery-internal-resistance.html](http://www.ehow.com/how_7492842_calculate-battery-internal-resistance.html).
7. 電壓源內阻測量儀，[http://www.zeroplus.com.tw/E-paper/200902/image/200902ZEROPLUS06\\_voltage.pdf](http://www.zeroplus.com.tw/E-paper/200902/image/200902ZEROPLUS06_voltage.pdf).
8. Alkaline Batteries, Electrical Engineering, <http://www.electrical4u.com/alkaline-batteries/>.
9. Ingredients: Potato, <http://www.oldtimeremedies.co.uk/2009/01/ingredients-potato.html>.