

# 鋰離子電池及電池電量計介紹

## 目錄

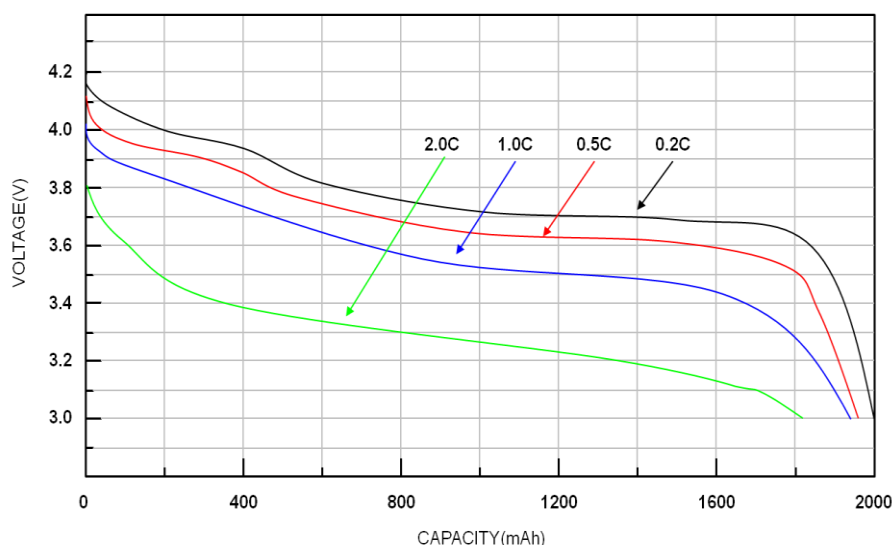
1. 鋰離子電池介紹.....	1
2. 電池電量計簡介.....	4
3. RT9428 電池電量計及測試 .....	9

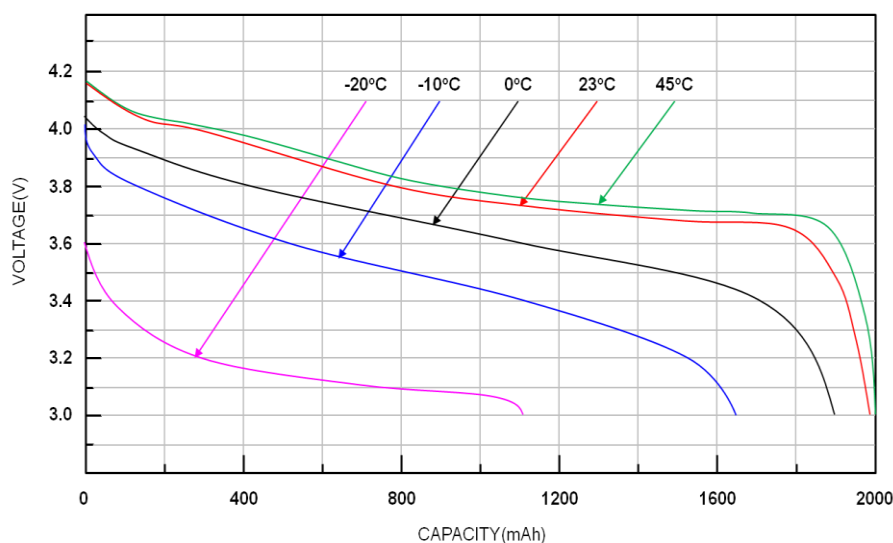
## 1. 鋰離子電池介紹

### 1.1 荷電狀態 (State-Of-Charge ; SOC)

荷電狀態可定義為電池中可用電能的狀態，通常以百分比來表示。因為可用電能會因充放電電流，溫度及老化現象而有不同，所以荷電狀態的定義也區分為兩種：絕對荷電狀態 (Absolute State-Of-Charge ; ASOC) 及相對荷電狀態 (Relative State-Of-Charge ; RSOC)。通常相對荷電狀態的範圍是 0% - 100%，而電池完全充電時是 100%，完全放電時是 0%。絕對荷電狀態則是一個當電池製造完成時，根據所設計的固定容量值所計算出來的參考值。一個全新完全充電電池的絕對荷電狀態是 100%；而老化的電池即便完全充電，在不同充放電情況中也無法到 100%。

下圖顯示不同放電率下電壓與電池容量的關係。放電率愈高，電池容量愈低。溫度低時，電池容量也會降低。





圖一、不同放電率及溫度下電壓與容量之關係

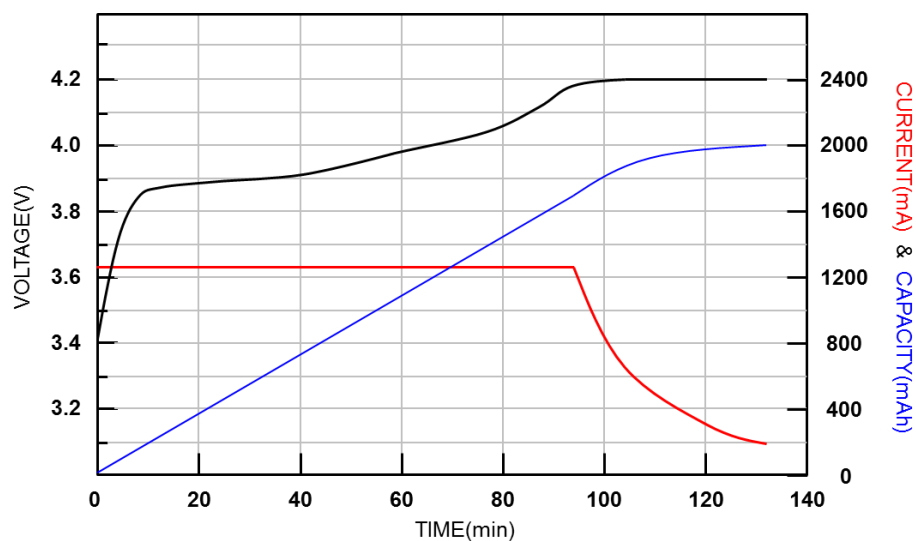
## 1.2 最高充電電壓 (Max Charging Voltage)

最高充電電壓和電池的化學成分與特性有關。鋰電池的充電電壓通常是 4.2V 和 4.35V，而若陰極、陽極材料不同電壓值也會有所不同。

## 1.3 完全充電 (Fully Charged)

當電池電壓與最高充電電壓差小於 100mV，且充電電流降低至  $C/10$ ，電池可視為完全充電。電池特性不同，完全充電條件也有所不同。

下圖所顯示為一典型的鋰電池充電特性曲線。當電池電壓等於最高充電電壓，且充電電流降低至  $C/10$ ，電池即視為完全充電。



圖二、鋰電池充電特性曲線

## 1.4 最低放電電壓 (Mini Discharging Voltage)

最低放電電壓可用截止放電電壓來定義，通常即是荷電狀態為 0% 時的電壓。此電壓值不是一固定值，而是隨著負載、溫度、老化程度或其他而改變。

## 1.5 完全放電 (Fully Discharge)

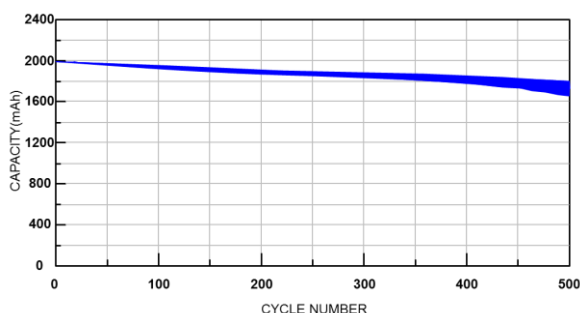
當電池電壓小於或等於最低放電電壓時，可稱為完全放電。

## 1.6 充放電率 (C-Rate)

充放電率是充放電電流相對於電池容量的一種表示。例如，若用 1C 來放電一小時之後，理想的話，電池就會完全放電。不同充放電率會造成不同的可用容量。通常，充放電率愈大，可用容量愈小。

## 1.7 循環壽命

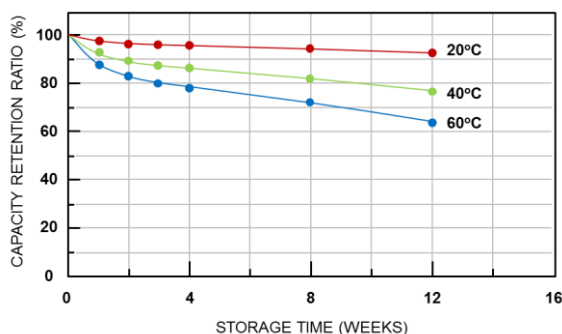
循環次數是當一個電池所經歷完整充放電的次數，是可由實際放電容量與設計容量來估計。每當累積的放電容量等於設計容量時，則循環次數一次。通常在 500 次充放電循環後，完全充電的電池容量約會下降 10% ~ 20%。



圖三、循環次數與電池容量的關係

## 1.8 自放電 (Self-Discharge)

所有電池的自放電都會隨著溫度上升而增加。自放電基本上不是製造上的瑕疵，而是電池本身特性。然而製造過程中不當的處理也會造成自放電的增加。通常電池溫度每增加 10°C，自放電率即倍增。鋰離子電池每個月自放電量約為 1 ~ 2%，而各類鎳系電池則為每月 10 ~ 15%自放電量。



圖四、鋰電池自放電率在不同溫度下的表現

## 2. 電池電量計簡介

### 2.1 電量計功能簡介

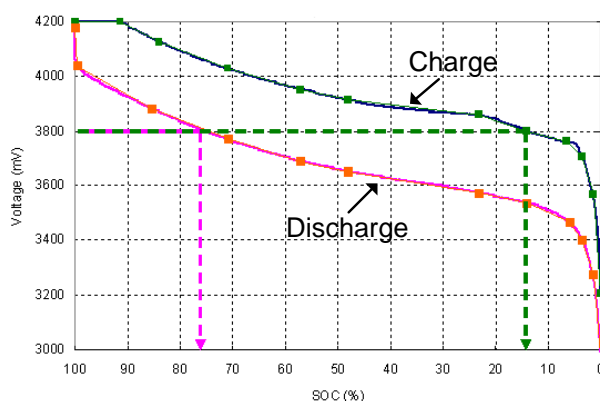
電池管理可視為是電源管理的一部分。電池管理中，電量計是負責估計電池容量。其基本功能為監測電壓，充電/放電電流和電池溫度，並估計電池荷電狀態 (SOC) 及電池的完全充電容量 (FCC)。有兩種典型估計電池荷電狀態的方法：開路電壓法 (OCV) 和庫侖計量法。另一種方法是由 RICHTEK 所設計的動態電壓演算法。

### 2.2 開路電壓法

用開路電壓法的電量計，其實現方法較容易，可藉著開路電壓對應荷電狀態查表而得到。開路電壓的假設條件是電池休息約超過 30 分鐘時的電池端電壓。

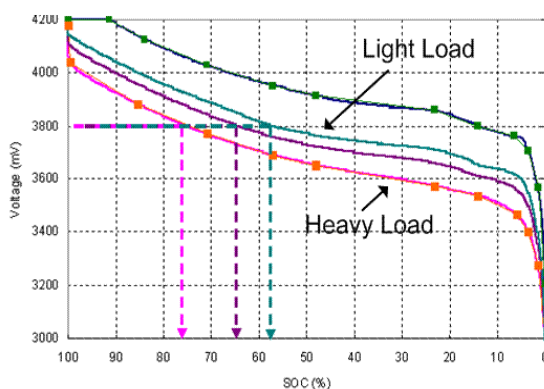
不同的負載，溫度，及電池老化情況下，電池電壓曲線也會有所不同。所以一個固定的開路電壓表無法完全代表荷電狀態；不能單靠查表來估計荷電狀態。換言之，荷電狀態若只靠查表來估計，誤差將會很大。

下圖顯示同樣的電池電壓分別在充放電之下，透過開路電壓法所查得的荷電狀態差異很大。



圖五、充、放電情況下的電池電壓

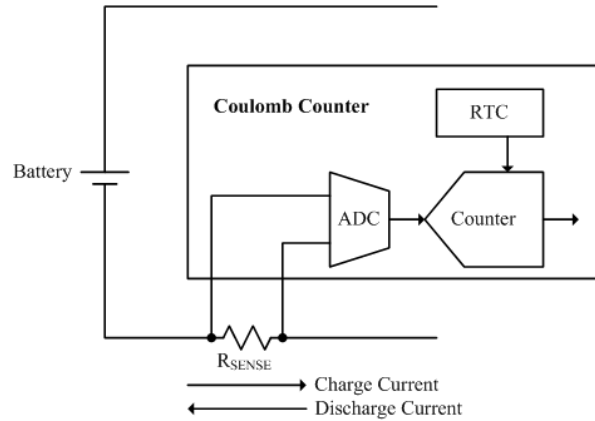
下圖可知，放電時不同負載之下，荷電狀態的差異也是很大。所以基本上，開路電壓法只適合對荷電狀態準確性要求低的系統，像汽車使用鉛酸電池或不間斷電源等。



圖六、放電時不同負載之下的電池電壓

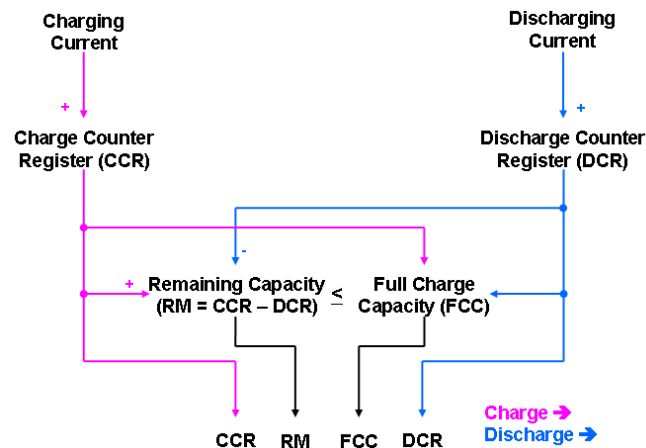
### 2.3 庫倫計量法

庫倫計量法的操作原理是在電池的充電 / 放電路徑上的連接一個檢測電阻。ADC 量測在檢測電阻上的電壓，轉換成電池正在充電或放電的電流值。即時計數器 (RTC) 則提供把該電流值對時間作積分，從而得知流過多少庫倫。



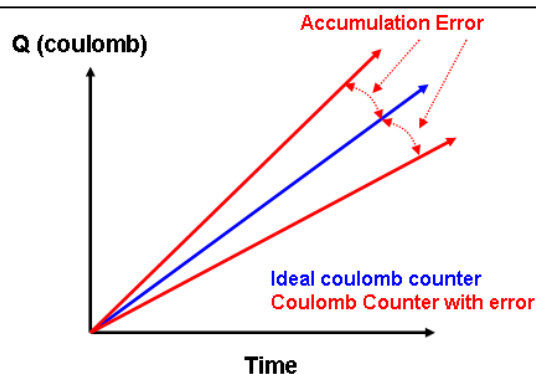
圖七、庫倫計量法基本工作方式

庫倫計量法可精確計算出充電或放電過程中即時的荷電狀態。藉由充電庫倫計數器和放電庫倫計數器，它可計算剩餘電容量 (RM) 及完全充電容量 (FCC)。同時也可用剩餘電容量 (RM) 及完全充電容量 (FCC) 來計算出荷電狀態，即 ( $SOC = RM / FCC$ )。此外，它還可預估剩餘時間，如電力耗竭 (TTE) 和電力充滿 (TTF)。



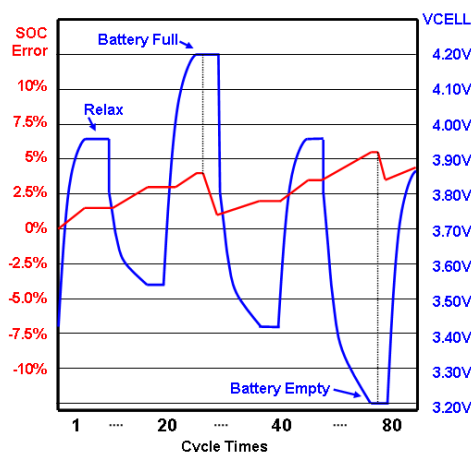
圖八、庫倫計量法的計算公式

主要有兩個因素造成庫倫計量法準確度偏差。第一是電流感測及 ADC 量測中偏移誤差的累積。雖然以目前的技術此量測的誤差還算小，但若沒有消除它的好方法，則此誤差會隨時間增加而增加。下圖顯示了在實際應用中，如果時間持續中的未有任何的修正，則累積的誤差是無上限的。



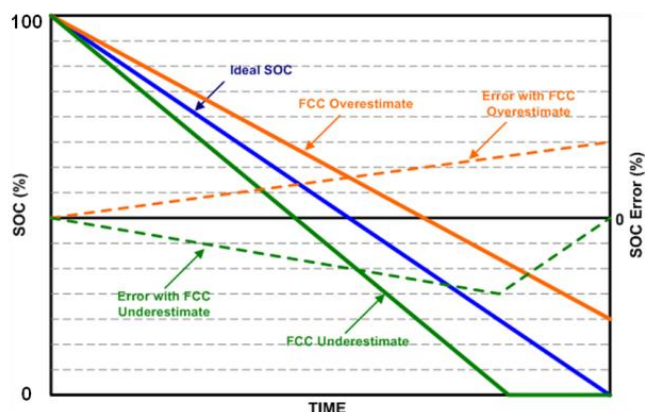
圖九、庫倫計量法的累積誤差

為消除累積誤差，在正常的電池操作中有三個可能可使用的時間點：充電結束（EOC），放電結束（EOD）和休息（Relax）。充電結束條件達到表示電池已充滿電且荷電狀態（SOC）應為 100%。放電結束條件則表示電池已完全放電，且荷電狀態（SOC）應該為 0%；它可以是一個絕對的電壓值或者是隨負載而改變。達到休息狀態時，則是電池既沒有充電也沒有放電，而且保持這種狀態很長一段時間。若使用者想用電池休息狀態來作庫倫計量法的誤差修正，則此時必須搭配開路電壓表。下圖顯示了在上述狀態下的荷電狀態誤差是可以被修正的。



圖十、消除庫倫計量法累積誤差的條件

造成庫倫計量法準確度偏差的第二主要因素是完全充電容量（FCC）誤差，它是由電池設計容量的值和電池真正的完全充電容量的差異。完全充電容量（FCC）會受到溫度，老化，負載等因素影響。所以，完全充電容量的再學習和補償方法對庫倫計量法是非常關鍵重要的。下圖顯示了當完全充電容量被高估和被低估時，荷電狀態誤差的趨勢現象。



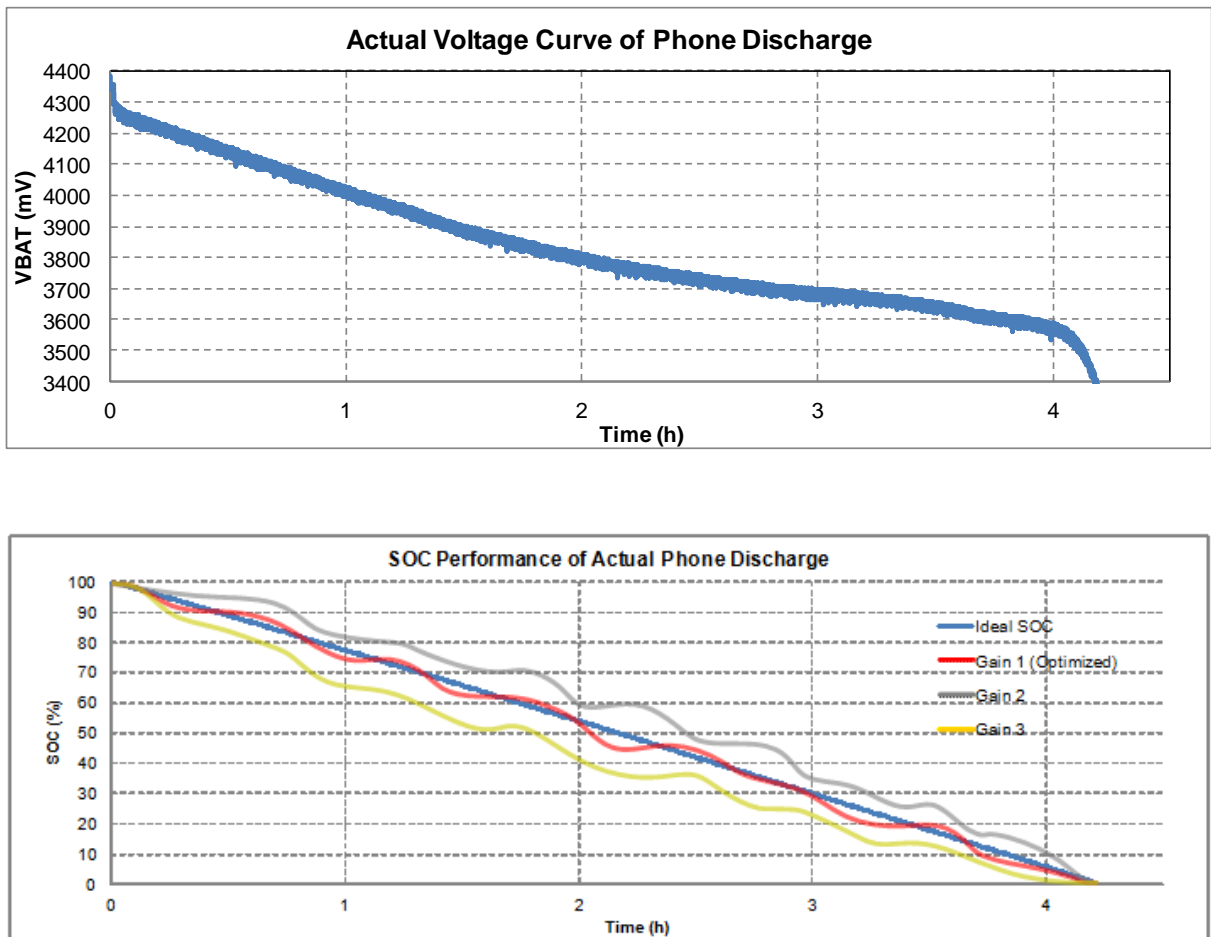
圖十一、完全充電容量被高估和被低估時，誤差的趨勢

## 2.4 動態電壓演算法電量計

動態電壓演算法電量計僅根據電池電壓即可計算鋰電池的荷電狀態。此法是根據電池電壓和電池的開路電壓之間的差值，來估計荷電狀態的遞增量或遞減量。動態電壓的資訊可以有效地模擬鋰電池的行為，進而決定荷電狀態 SOC (%)，但此方法並不能估計電池容量值 (mAh)。

它的計算方式是根據電池電壓和開路電壓之間的動態差異，藉著使用迭代演算法來計算每次增加或減少的荷電狀態，以估計荷電狀態。相較於庫侖計量法電量計的解決方案，動態電壓演算法電量計不會隨時間和電流累積誤差。庫侖計量法電量計通常會因為電流感測誤差及電池自放電而造成荷電狀態估計不準。即使電流感測誤差非常小，庫侖計數器卻會持續累積誤差，而所累積的誤差只有在完全充電或完全放電才能消除。

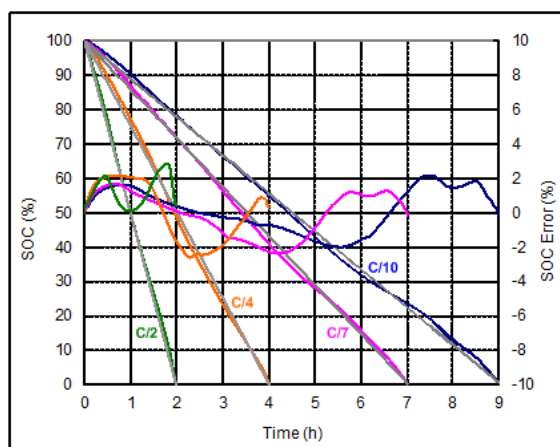
動態電壓演算法電量計僅由電壓資訊來估計電池的荷電狀態；因為它不是由電池的電流資訊來估計，所以不會累積誤差。若要提高荷電狀態的精確度，動態電壓演算法需要用實際的裝置，根據它在完全充電和完全放電的情況下，由實際的電池電壓曲線來調整出一最佳化的演算法的參數。



圖十二、動態電壓演算法電量計和增益最佳化的表現

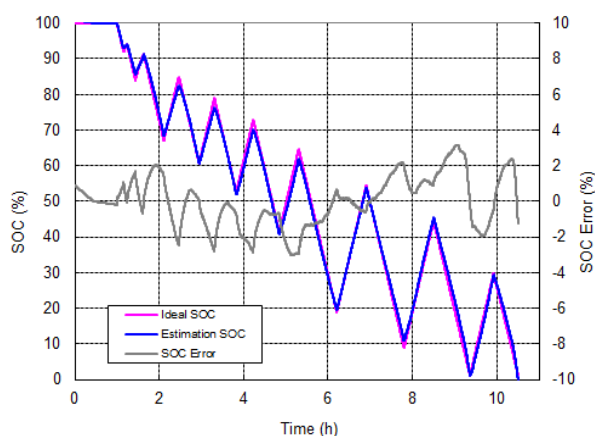


下面是動態電壓演算法在不同放電速率條件下，荷電狀態的表現。由圖可知，它的荷電狀態精確度良好。不論是在 C/2，C/4，C/7 和 C/10 等的放電條件下，此法整體的荷電狀態誤差都小於 3%。



圖十三、不同的放電速率條件下，動態電壓演算法的荷電狀態的表現

下圖顯示在電池短充短放情況下，荷電狀態的表現。荷電狀態誤差仍然很小，且最大誤差僅有 3%。



圖十四、在電池短充短放的情況，動態電壓演算法的荷電狀態的表現

相較於庫侖計量法電量計通常會因為電流感測誤差及電池自放電而造成荷電狀態的不準的情形，動態電壓演算法它不會隨時間和電流累積誤差，這是一個大優點。因為沒有充 / 放電電流的資訊，動態電壓演算法在短期精確度上較差，且反應時間較慢。此外，它也無法估計完全充電容量。然而，它在長期精確度上卻表現良好，因為電池電壓最終會直接反應它的荷電狀態。

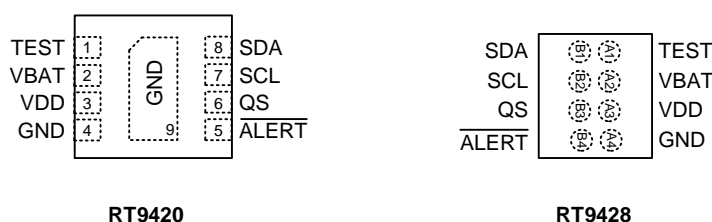


## 3. RT9428 電池電量計及測試

### 3.1 RT9428 簡介

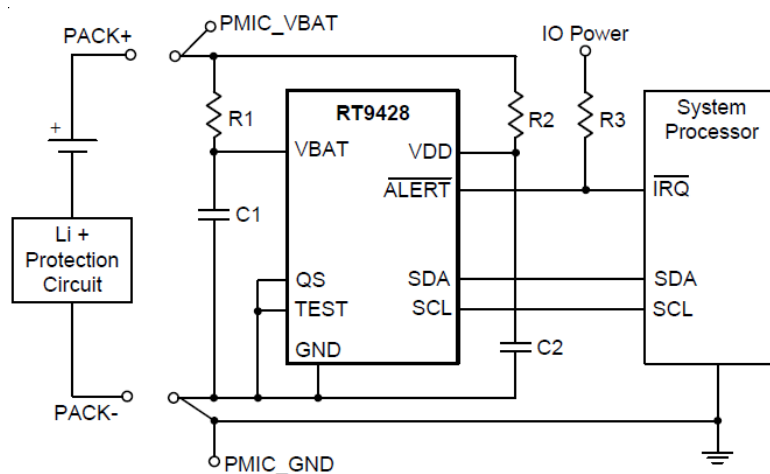
RT9428 是一用於行動裝置主機側的電量計晶片。所內置的電量計功能，計算荷電狀態是根據電池電壓及開路電壓之間的動態差異，來估計荷電狀態遞增或遞減量。

RT9428 和 RT9420 具有相同的功能，只是封裝類型不同。RT9428 是 WL-CSP-8B 1.6x1.52（BSC）的封裝和 RT9420 則是 WDFN-8L 2x3 的封裝。



圖十五、RT9420 及 RT9428 的封裝及其接腳的定義

以下為 RT9428 的應用電路，使用 RC 濾波器過濾 IC 電源供應及 VBAT 接腳電壓量測上的雜訊。為減少電阻造成的壓降，連接時儘量使 VBAT 腳和電池靠近。當偵測到電池容量低時，ALERT 腳會提供電池低容量的中斷信號給系統處理器。QS 腳在一般情況下不用，而直接接到 GND。



圖十六、RT9428 的應用電路

使用動態電壓演算法的 **RT9428** 可提供穩定的荷電狀態，且不會隨時間和電流而有累積誤差。相較於庫侖計量法會因為電流感測誤差及電池自放電而造成荷電狀態的不準的情形，這是一個優點。下表是動態電壓演算法和庫侖計量法兩者之間的比較。

解決方案	優點	缺點
開路電壓查表法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 僅須量測電壓，不用感測電流</li> <li>• 電路設計較容易</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 動態負載時，荷電狀態較不準</li> </ul>
庫侖計量法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可產出剩餘電容量 (mAh)</li> <li>• 可產出荷電狀態 SOC (%)</li> <li>• 可補償動態負載效應</li> <li>• 單一次放電時，有較精確的 SOC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 需完全充、放電的循環</li> <li>• 需電流感測電阻</li> <li>• 有累積誤差</li> </ul>
動態電壓演算法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 不需完全充、放電的循環</li> <li>• 不需量測電流即可計算 SOC (%)</li> <li>• 沒有累積誤差</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 動態負載時，響應較慢</li> <li>• 不能產出剩餘電容量 (mAh)</li> </ul>

### 3.2 RT9428 溫度補償

根據章節 1.1，在不同溫度下，電池特性也將不同。在軟體驅動器來作電量計溫度補償之前，先判定在不同溫度下的電池參數，一般溫度是選在 5 / 25 / 45°C 之下。然後，軟體驅動器會週期性地檢查系統的溫度，再根據溫度把對應的參數 (VGCOMP) 寫回 RT9428。以下為軟體程式碼可為參考。

```
// RT9428 software driver
// optimization pre-defined battery parameters
RT9428_VGCOMPL=[0x32, 0x0F, 0x05, 0xFE];
RT9428_VGCOMPM=[0x0F, 0x3A, 0x35, 0x91];
RT9428_VGCOMPH=[0x41, 0x3A, 0x82, 0x69];

// temperature compensation
temperature = get_system_temp_origin();
if (temperature >= 45)
    vgcomp = RT9428_VGCOMPH;
else if (temperature <= 5)
    vgcomp = RT9428_VGCOMPL;
else
    vgcomp = RT9428_VGCOMPM;

// upload FG parameters into RT9428
rt9428_vgcomp_write(vgcomp);
```

圖十七、RT9428 軟體驅動器的程式碼

## 3.3 測試條件

定義：

理想的荷電狀態：荷電狀態是測試完成後，根據實際充放電容量及完全容量計算而來。理想的荷電狀態在測試完成後只能重新計算，因為實際的放電容量是在放電完成後才計算出來的。

荷電狀態：電量計回報的荷電狀態

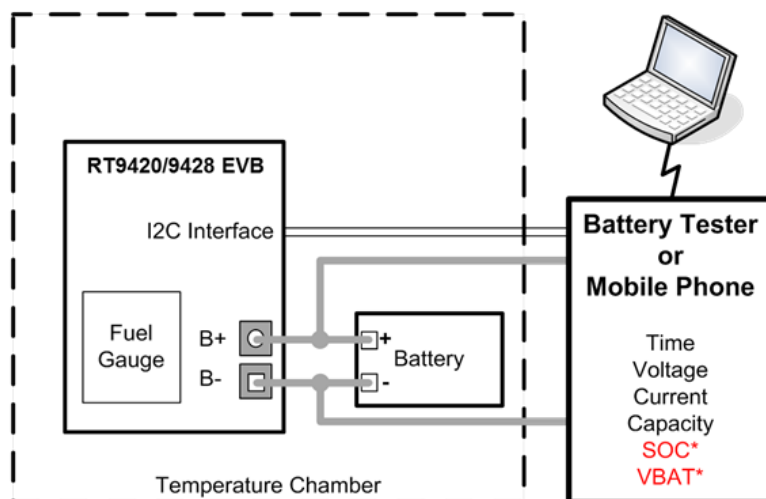
完全充電容量：完全充電容量在測試完成後是透過電流對時間來積分計算出來的。

荷電狀態誤差：計算的荷電狀態和理想的荷電狀態之間的差異。

以下為測試 RT9420 / RT9428 電量計功能的各種條件：

- 定電流放電、充電測試
- 定功率放電測試
- 實際手機測試

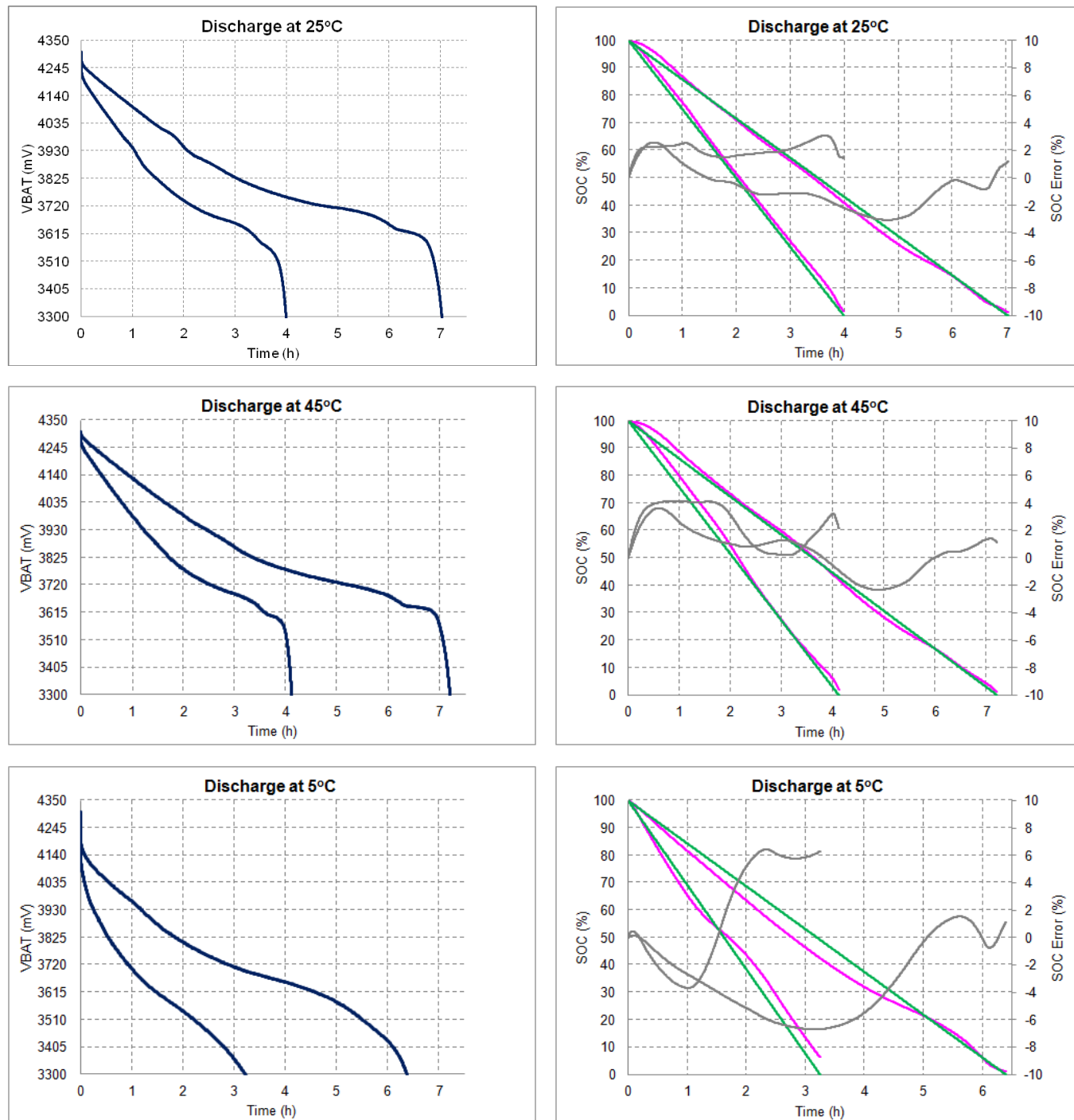
測試的方塊示意圖



圖十八、從電量計透過 I<sup>2</sup>C 界面和測試器或手機存取 SOC，VBAT

### 3.4 定電流放電測試範例

測試以確認電量計可提供在不同負載、溫度條件下準確的荷電狀態回報。測試條件為以 C/4，C/7 定電流放電，直至電壓降至 3.3V，溫度分別在 5 / 25 / 45°C 下。

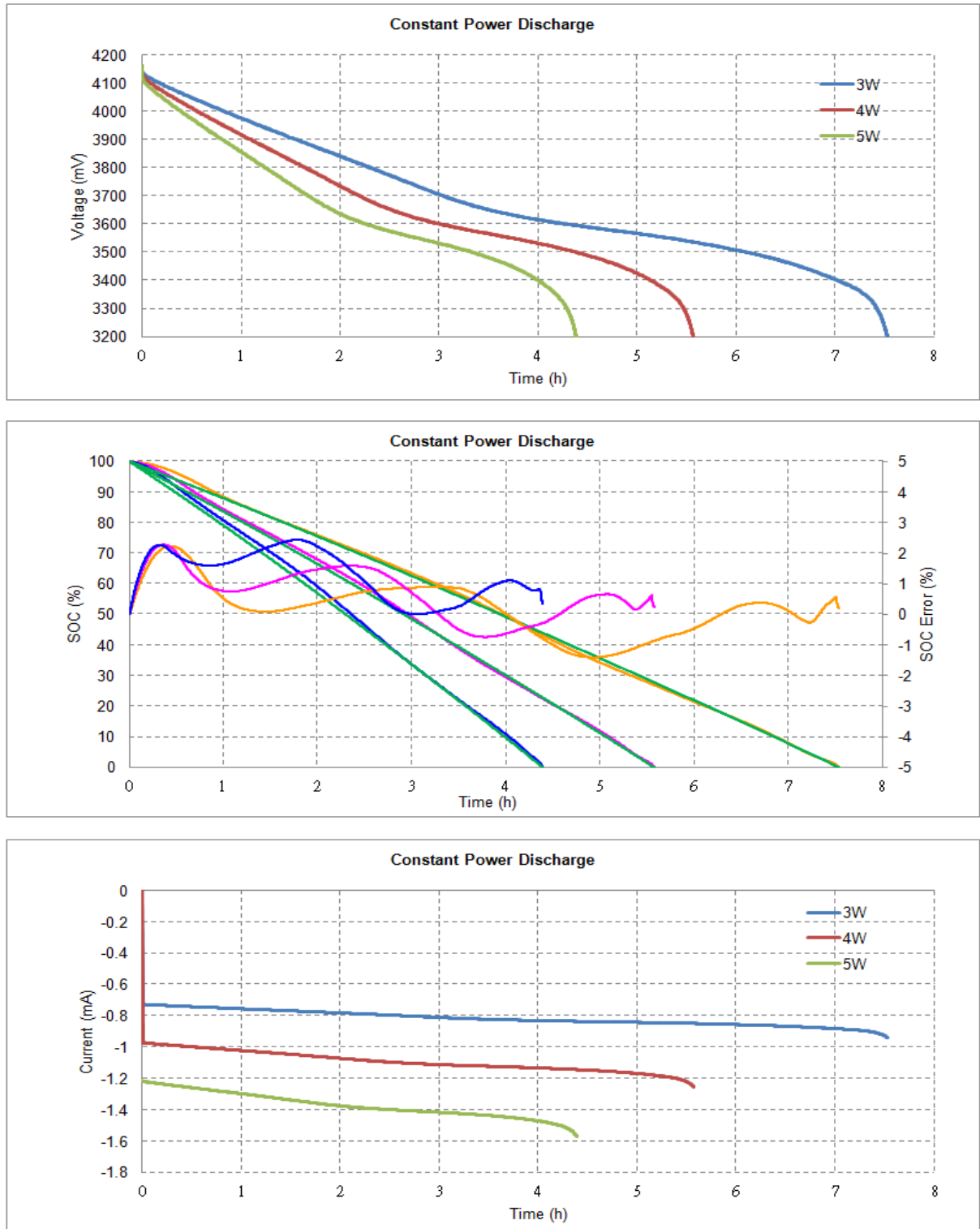


圖十九、定電流放電的測試結果

### 3.5 定功率放電測試範例

在不同負載下，電量計確可提供精確的荷電狀態回報。

測試條件：分別為 3W、4W、5W 的定功率放電，直至電壓降至 3.2V。



圖二十、定功率放電測試結果

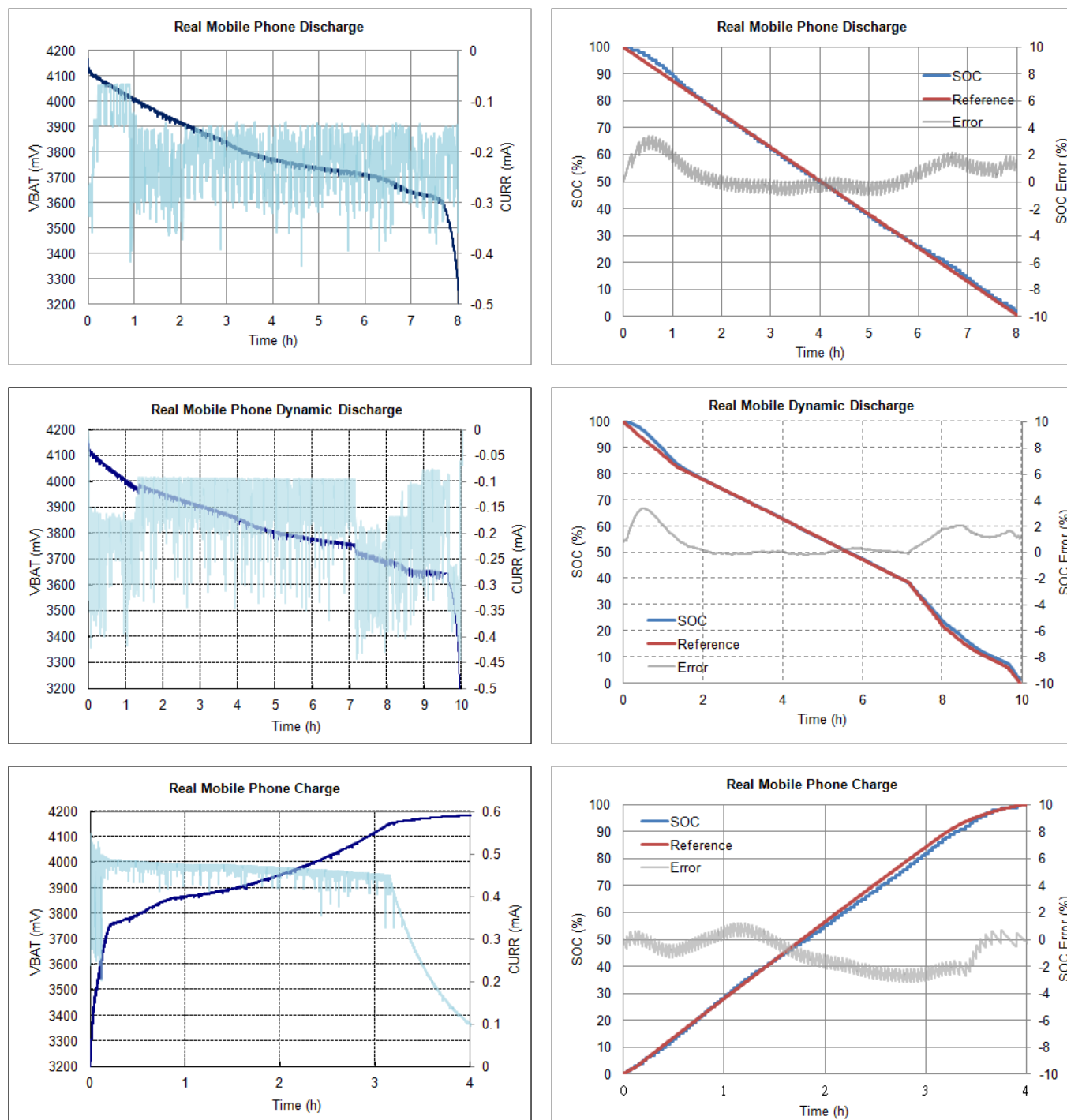
### 3.6 實際手機測試範例

用實際手機作測試，電量計確可提供精確的荷電狀態。

測試條件：

動態及正常放電直到手機自動關機狀態。

正常充電直到手機自動停止充電。



圖二十一、實際手機測試結果

## 相關資源

[立錡科技電子報](#)

[訂閱立錡科技電子報](#)

## Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1<sup>st</sup> Street, Chupei City

Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.