

鎳鎘電池的應用

小笨鳥

或許大家會覺得奇怪，鎳鎘電池(nickel-cadmium)有甚麼好說的呢？不就只是充電放電而已嘛！其實不然喔，對於一般電動槍的新使用者來說，電池才是問題最多最令人傷腦筋的地方呢，往往因為不懂得如何充放電而弄壞電池的槍迷大有人在，也使得鎳鎘電池成為一些槍迷玩槍時最昂貴的消耗品。對於鎳鎘電池來說，電動槍的馬達是消耗電流相當驚人的重負載，鎳鎘電池推動它可不比推動家用無線電話那樣子地輕鬆省電，而是讓鎳鎘電池折壽的一大殺手，電動槍玩者在盡情地掃射享受快樂之際，槍身裡面的電池可是全身滾燙燙地身在火熱當中賣命呢，在遊戲中玩得正當興高采烈之際，卻也往往因為電池電量耗盡而掃興地終止遊戲，因而槍友們對於鎳鎘電池的電量與壽命也相當的敏感。

大部分的電動槍新使用者都是第一次貼切地接觸到鎳鎘電池，而且幾乎都是使用後才體驗到自己根本不瞭解鎳鎘電池，加上槍迷們往往不是學電子電機的背景出身，對電池完全不知該如何正確地使用，花一大筆錢買了一大堆昂貴的電池來揮霍之後，才經由電池的損毀過程悟出一絲絲微薄的經驗。不過這經驗未免太慘痛了一點，犧牲的代價有點高，如果早先對鎳鎘電池有所瞭解就好了。

因此，如果說讀者您也是像筆者一樣是窮學生、窮上班族，想玩電動槍又不想花費太多錢買電池，更不希望對電池的相關知識不一竅不通，希望自己的電池壽命長一點不要用沒多久就燒壞，那麼偷偷地告訴您一件事，底下關於電池的文章是又臭又長的，您就節哀順變慢慢地看下去吧，祝您好運囉。

基本電學公式

首先來介紹幾個很簡單的基本電學公式，希望讓沒有電子方面背景的讀者們能對幾個物理現象有點概念。

$$\text{電壓}(V) = \text{電流}(I) \times \text{電阻}(R)$$

$$\text{電荷量}(Q) = \text{電流}(I) \times \text{時間}(T)$$

$$\text{功率}(P) = V \times I = I^2 \times R$$

$$\text{能量}(W) = P \times T = Q \times V$$

任何物體都有阻抗，在阻抗兩端加上一電位差則會產生電荷流過該阻抗，阻抗越大則單位時間內(一秒)流過的電荷量越小，阻抗越小則單位時間內流過的電荷量越多。若將電位差增大則單位時間內流過的電荷量越多，將電位差減小則單

位時間內流過的電荷量越少。此電位差稱之為電壓(V)，單位為伏特(V)，單位時間內流過的電荷量多寡稱之為電流(I)，單位為安培(A)，阻抗稱為電阻(R)，單位為歐姆(Ω)。電流(I)強度越大表示單位時間內流過的電荷數目越多，那麼在在T秒內流過電阻的電荷數目總共有 $I \times T$ ，用以描述此電荷量多寡的名詞為電荷量(Q)，俗稱稱電量，單位為庫倫(Q)。電阻消耗的功率(P)為 $I \times V$ ，單位為瓦特(W)，消耗功率越大代表越耗電。消耗的能量(W)為 $P \times T$ ，單位為焦耳(J)，時間越久消耗能量越大，同樣時間消耗功率越大的消耗能量也越大。

例如：一顆 1.5V 的乾電池接上 0.5Ω 的燈泡時，消耗電流為 3A，消耗功率為 4.5W，10 秒鐘內共流過了 30 庫倫的電荷，消耗了 45 焦耳的能量。

鎳鎘電池的材料

電池的分類有很多種，在化學電池中不可充電用完就扔掉的電池稱為一次電池，可以多次充電再使用的電池稱為二次電池，而鎳鎘電池是屬於二次電池中鹼性蓄電池的一種。鎳鎘電池在材料方面陽極是使用過氧氫氧化鎳，陰極使用鎘化合物之活性物質，電解液則是使用氫氧化鉀等鹼性水溶液。當對鎳鎘電池充電時，會在陽極上面產生氫氧化鎳，在陰極上面產生金屬鎘，因而在兩極間形成了電位差。將鎳鎘電池的陽極和陰極兩端外接負載放電時，陰極端產生帶負電的電子經由外接負載流向陽極，因此提供能量供外部負載消耗。

過度充電

在充電過程中電池的電壓會隨著儲存電量的增加而逐漸上升，當電池儲存的電量達到飽和電極材料無法繼續充電時，若繼續充電則電解液會起電解，並且在陽極產生氧氣，在陰極產生氫氣，如此會在密封的電池內部造成內部壓力上升，會對電池內部結構造成破壞。像這種現象稱之為過度充電。

為了避免過度充電電池遭毀損，通常將陰極之容量製作得比陽極容量大，如此當過度充電時陽極會先達到飽和並產生氧氣，而陰極卻未飽和而不會產生氫氣，陽極產生的氧氣擴散到陰極之後會與充電產生的金屬鎘起化學反應吸收掉氧氣，且此反應的速度與金屬鎘產生的速度平衡，因此可以有效地避免電池的壓力上升。但是若充電電流過大(使用快充時)就會失去平衡，電池的內壓過大會將電池的安全閥推開，氫氣和氧氣會洩漏到電池外部，直到壓力降低安全閥關閉電池才又再密封起來。但是氣體的洩漏已使得內部化學材料減少，造成電池壽命的縮短。

充電電壓的變化

電池過度充電時，因為陽極產生的氧氣與陰極起化學反應會產生熱，使得電池溫度會上升外殼發燙。由於溫度越高電池的充電電壓會變得比較低，因此充電時電池電壓會持續上升直到過度充電時，電池溫度會突然地快速上升，電壓不再上升轉而由峰值開始下降。

標稱電壓

鎳鎘電池在標準放電條件下放電時，電壓會緩緩地下降直到當電量幾乎釋放完時，電壓會大幅度地下降，此電壓值稱之為標稱電壓。一般鎳鎘電池的標稱電壓為 1.2V，與一般乾電池標註的 1.5V 是相同意思，都是標註於電池外殼上面。鎳鎘電池只要有電量電壓值一定至少在標稱電壓 1.2V 以上，儲存的電量越多電壓也越高。

放電終止電壓

電池在放電時其電壓會隨著電池電量的減少而逐漸降低，當電壓降到所要求的準位時就不再讓它繼續放電，稱為放電終止，而此電壓準位稱之為放電終止電壓。通常廠商建議的放電終止電壓約在 0.9V ~ 1.1V 左右，電壓放電到此準位時電量幾乎已經放光了，此狀況稱為完全放電。若鎳鎘電池已經完全放電了還不移掉負載而讓它繼續放電下去，那麼就成了過度放電，電壓會急速下降直到 0V 為止。若電壓尚未降到 0V 左右就終止放電，則電池電壓會自動快速回升到標稱電壓 1.2V 左右。

過度放電

鎳鎘電池的一大致命傷就是被過度放電，將放電終止電壓設定在此狀況下，不但沒有電力可以推動負載，對電池壽命也會造成損害。而且一旦不慎讓電壓繼續下降到幾乎等於 0V 時，就算想終止放電把負載移走恐怕也來不及了，電池的電壓無法再自動回升，一般的充電器也無法再把電充進去，它的電壓會一直固定住停留在 0V 不動。此刻的它就像是中風似的癱瘓在那邊，就別說折壽了，更是往往一命嗚呼哀哉不能再使用了。

電池容量的定義

電池的容量係指對電池放電，直到電壓降到終止電壓為止，在這期間所能取得的放電電荷量。若是在規定的電流和溫度等標準放電條件下，對充飽電的電池進行放電直到放電終止，所得到的容量稱之為額定容量（或標稱容量）。容量的大小與其所消耗的電極材料之活性物質的量有關，而標準放電條件則是依照電池

種類的不同有所規定。容量是根據電池的放電反應來定義，而非充電反應來定義，因此我們常說的電池容量有多大，是指放電時可得到的累積放電電荷量有多少，而非充電時流進去的電荷量有多少。

電池容量的表示法

電池的容量的大小，可以用[(放電電流) $\times$ (電壓降到放電終止電壓所經之放電時間)]，計算後所得到的值來表示。之前所介紹的基本電學公式中，電量為電流 $\times$ 時間，單位是庫倫(Q)，電池若以多少庫倫來表示電池容量的話，可能是比較不好理解，因此電池的容量都是把電流 $\times$ 時間的值，直接以 $C=IT$ (單位以mAh或Ah)來表示，其中C是容量(與庫倫是同意義)，I是電流，A是安培，mA表示電流大小為毫安(千分之一安培， $10^{-3}A$)，h代表小時(hour)，也就是說以千分之一安培的電流放電一小時所累積的放電量為1mAh。因此 $C=I \times T$ =多少mAh，mAh就是庫倫的等效表示方式。通常電池的外殼包裝上面都會標明電池的額定容量，用來表示該電池的最大容量。新的鎳鎘電池在第一次充放電時容量都可以達額定容量，但容量會隨著充放電次數的增加而減少。

例子：以1安培電流放電需要二小時才能將電池電量放光，那麼電池容量約為2000mAh。若將電池容量以庫倫來表示的話，那麼 $C = I \times T = 1A \times 7200 \text{ sec} = 7200 \text{ 庫倫}$ 。您是不是也發現用2000mah來表示比用7200庫倫來表示比較不空洞而明瞭多了呢？

C表示式

電池除了以安培(或毫安)做單位來表示電池的充放電流大小之外，也使用英文字母C(capacity)來當作額定容量(電流 $\times$ 時間)之電流部分，以它做為電流大小衡量的單位。比如說額定容量600mAh的電池，C就是600mA的意思，所以電流1C就是600mA，電流2C就是1200mA，電流0.1C就是60mA。以後購買電池時若在規格上找不到充放電流的安培數時，請先別著急，別忘了找找看有沒有寫著多少C喔。

充放電率

所謂充(放)電率是將全部容量的電荷放(充)完所需要的時間，做為充(放)電時的標準速度。一般用來說明放(充)電的速度是多少，比如說二小時率的放電，是指用0.5C的電流，在二個小時的時間將電池全部容量放完。20分鐘率表示用3C的電流在20分鐘內將電池額定電量全部放完。在廠商的電池規格書上面，也常使用小時率來表示標準放電時間，只要根據額定容量來換算就知道標準

放電電流是多了。通常廠商提供的規格上額定容量是以溫度 20°C，而放電是以 5 小時率 0.2C 的條件來量測。

充電效率

電池不可能充多少電量進去就能儲存有多少電量，一定會有所耗損，除了陽極和陰極漏電間的絕緣體漏電之外，材料也不可能無瑕地儲存所有電量。電池放電時取出的電量與充電時流進去電池的電量之比，稱之為充電效率。

通常電池廠商都是建議充電量必須為額定容量的 1.5 倍，才能將電池充飽。也就是說若以 0.1C 的電流充電需要充 15 小時，以 3C 的電流充電需要充半小時，雖理論填充量是額定容量的 1.5 倍，但實際填充量差不多剛好為額定容量。

利用率

雖然理論上電池的額定容量很大，但實際上充飽電後再放電時可得到的電量卻往往小於理論容量，表示電池可儲存的實際儲存容量並沒有那麼大，此實際容量相對於理論容量的比率稱之為利用率。通常電池的放電電流越大，或者周遭溫度降低時，利用率會減小。

放電深度

電池放電時所放電量與所儲存電量的比率稱之為放電深度，以百分比表示。例如放電深度 20% 表示電量放電到剩下 80% 電量的程度。

週期壽命

通常鎳鎘電池在應用上都是拿來做反覆充電與放電的週期性工作，電池的壽命是有限的，容量不可能一直保持而不下降，在一定的工作條件之下反覆充放電之後，電池的容量會下降到額定容量的 80% (或定義在 60%)。此反覆充放電的次數稱之為週期壽命，週期壽命越高表示該電池的使用壽命越長。有些電池的參考規格上面會標明充放電週期，寫著放電深度多少時約多少次，意旨週期壽命。隨著充放電流、放電深度與其他充放條件的不同，週期壽命也隨著變化，尤其是使用大電流充放電時，一定會有壽命縮短的現象。現在的鎳鎘電池只要依照購買時廠商所附的說明正常地使用，通常都可以反覆使用 500 次以上。

電池內阻與電壓

電池是有內阻的電壓源，可以視為是一個理想電壓源(沒有內阻)串聯一電阻輸出。未接負載時電池兩端量到的端電壓就是理想電壓源的電壓，稱之為開路電壓，當電池外接負載時，負載與內阻串聯接到理想電壓源上，因此負載上所得到的分壓也就是電池的端電壓，會小於理想電壓源的電壓，稱之為閉路電壓。電池的內阻越高則負載可分得的電壓就越小，因此理想的電池是沒有內阻。

鎳鎘電池的內部電阻非常的低，一般只有幾毫歐姆到數十毫歐姆左右，因此外接大小不同之負載時放電電壓還是很穩定，放電電流曲線很平坦，可以做大電流放電使用。一般乾電池內阻動輒數歐姆，放電電壓不穩定放電電流曲線不平坦，相較之下鎳鎘電池屬於特性較理想的電池。

自我放電

電池由於內部會起化學反應的關係，內部會自我放電，雖未外接負載但是電池所儲存的電量會隨著時間而逐漸消失。自我放電的速度稱為自我放電率，周遭溫度越高時自我放電電流也越大。根據專家實驗的結果，鎳鎘電池在 0°C 時約三個月會放電 20% 使殘餘容量剩下 80%，在 20°C 時一個月約放電 25%，三個月放電 40%，若溫度越高 45°C 時，一個月就已經放掉 70% 的容量了。因此，在夏天電池充飽電後只要短短幾天的時間，容量就剩下 80% 甚至 50% 了，難怪專家建議，最好的保存方法就是將電池密閉包裝妥當後置於冰箱中冷藏(不能受潮)，不是沒有道理的。

連續放電與間歇放電

連續放電是指電池在放電過程中不中斷，持續放電直到電池的電壓降至放電終止電壓才停止，間歇放電則是指放電過程中電池與負載之間的電流通路斷斷續續，時而導通時而斷路，直到電池的電壓降至放電終止電壓為止。電池在放電過程中電壓會慢慢地持續下降，若過程中暫時停止放電則電壓會馬上上升回復到某一準位才停止，若再繼續放電則電壓又從該準位開始下降。

連續放電方式的實際放電時間與放電期間是相同的，而間歇放電的實際放電時間則是放電期間電流通路導通的時間片段累積和。比較相同容量的電池以兩種方式進行放電時，在同樣的終止電壓下，由於電池電壓會回復的關係，間歇放電方式的實際放電時間會比連續放電的實際放電時間還長，且間歇放電方式所釋放的容量也比連續放電方式的放電容量還多。

一般的電池都有上述現象，使用大電流來放電時放電容量會無形中減少了許多，而使用間接放電方式會比連續放電方式多出更多容量，尤其當電池外接重負

載(負載電阻越小)時差異現象越是明顯。鎳鎘電池的內阻小短路電流大放電曲線平坦特性佳，一般情況使用連續放電與間歇放電時容量差異不大，但是電動槍的馬達在由靜止開始運轉啟動之際，阻抗非常的低是屬於重負載，電池的放電電流相當的大，間歇放電方式產生的效果就非常明顯了。

根據經驗電動槍使用全自動射擊時，往往打沒幾百發電池就令人錯愕的沒電了，這與廣告上所號稱的可連續射擊 1000 發的吹噓差異甚遠，不知是電池品質不好還是怎樣，年紀輕輕的還沒被你摧殘就欲振乏力，或者開始懷疑電槍的 mecabox 內部有問題。但是若您願意嘗試克制一點不要那麼興奮，盡量使用單發射擊而少用全自動胡亂掃射揮霍 BB 彈的話，您會發現您的電池還可以打個好幾百發沒問題，電池品質好不好也可以從發射彈量來做比較客觀地的分析。

溫度對電池的影響

鎳鎘電池是靠化學物質的反應來動作，化學材料往往會自我消耗，在溫度高的環境下自我消耗的情形會較嚴重，容量會降低，也可能會有漏液與生鏽的情形，在高溫下進行充放電更是會對電池造成破壞降低壽命。鎳鎘電池可穩定工作的溫度範圍還算很廣，充電約 $0 \sim 45^{\circ}\text{C}$ ，放電約 $-20 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ，保存約 $-30 \sim 45^{\circ}\text{C}$ ，平常最好保存於較冷但不潮濕的地方。

溫度對於電池的壽命以及充放電特性影響很大，充放電時若環境溫度越高，則電池的材質受到破壞，極版之活性物質的功能降低使容量減小，陽極陰極隔離版間的隔離版絕緣降低造成短路，且溫度升高電池之電壓也變得較低，充放電效率降低了許多，電池的容量大大地減少。因此除非使用的鎳鎘電池是耐熱型的，否則充放電時應留意電池的溫度，不要使用過大之電流充放電以免溫度過高。

充電方式

鎳鎘電池若不以當備用電源為用途，而是以反覆性的充電和放電來使用時，根據電流的大小可以把電池的充電方式分為標準充電與急速充電(快充)兩種，標準充電是指參考電池額定容量以 0.1C 的電流，對電池作 14~16 小時的充電，也就是說充電容量大約是電池額定容量的 1.5 倍時可以將電池幾乎完全充飽。急速充電是使用較大的電流充電，並且在充電末期對電壓與電流加以控制防止過充電。急速充電的電流大小一般約在 0.3C 左右，使能夠在 4~6 小時完成充電，現在有些超急速型的電池，能以 1.5C 或更大電流做超急速充電，在不到一小時的極短時間內完成充電動作。

一般型的鎳鎘電池若以快充方式來充時，產生的氣體無法快速吸收會嚴重的

影響電池壽命，雖然標準充電方式耗時數小時，為了電池能用久一點好是遵照此方式來充比較好。快充型的電池是比較能夠承受大電流，不過使用大電流充電對電池而言絕對是沒有好處，不同廠牌之電池的品質良劣參差不齊，對使用者而言廠商標榜的規格是否有誇大事實並無從得知，除非該電池之性能口碑值得信賴，否則時間不催促的話最好是以標準方式來充。

使用在急速充電裡預防過充電的偵測方法，比較常見的有定電壓控制、溫度上升控制以及 $-\Delta V$ 控制，或者三種方式混合使用。

定電壓控制

當偵測到電池電壓上升到設定的電壓準位時就停止充電。這種方式是最簡單的方式，只要根據電池特性知道電池的電壓上升曲線，就可以將偵測電壓設為最接近充飽時的準位，不同款式的電池充飽時之電壓準位不大一樣，新舊電池特性也不一樣，用此方法比較無法設定理想電壓。這種方式雖然簡單但也相當危險，前面說過溫度較高時電池電壓會降低，以大電流充電更是會提高電池溫度，如此電池有可能已經充飽但是電壓卻尚未達到設定的準位，且電池充飽後電壓不再上升而開始下降，如此的過充電後果相當嚴重，若加上電池發生內部短路充電器未具備保護電路時，一旦電流過大造成危險後果不堪設想，因此在此方式進行充電期間，使用者必須加以留意。

溫度上升控制

電池容量充到飽和時產生的氧氣會在陰極和鎳反應產生氧化熱，電池的溫度會開始快速上升，利用此現象偵測到溫度到達某程度時即結束充電。在同樣的充電量下充電電流越大此上升的溫度也越高，因此若充電電流過大時，達到預定之溫度時電池可能尚未飽和，但是電流若太小，則氧化吸收快溫度就不會明顯上升，充電動作就會一直持續下去而不知終止。此外這種方式會受周遭溫度影響，無法判別電池的溫度是內部自行產生的化學熱，還是由周遭環境引起的高溫而誤判，因此此方式在高溫的環境下會充電不足而低溫的環境會充電過度。

$-\Delta V$ 控制

充電時電池的電壓會隨著充電容量的增加而升高，當充電容量達到飽和時，電壓上升到峰值，並轉而開始緩慢下降。利用此電壓下降的特性可以用來控制充電終止，待電壓下降幅度達到 ΔV 時即停止充電，通常1.2V的鎳鎘電池其下降幅度差不多會有20mV以上(實際之數據得參考電池規格)，在充電過程可以以電表明顯的觀察出來。電池電壓的充電曲線受到充電電流與溫度的影響，在同樣的

充電容量下，電流越大或溫度越低時，電壓上升的幅度較大，下降的幅度也比較明顯。電流越小或溫度越高時，電壓上升的幅度較小，下降的幅度也較為平坦不易分辨。因此 $-\Delta V$ 控制方式比較適用在急速充電的方式裡，且為了避免溫度的影響使 $-\Delta V$ 偵測失靈，通常配合溫度上升控制使用，以防止過充電。

鎳鎘電池若經保存過久未使用，或者已經日薄西山，那麼初次再行充電的前幾分鐘，會發生電壓不但充上去且還往下降的情形然後再上升的情形，因而造成 $-\Delta V$ 的誤判而終止充電。 $-\Delta V$ 控制方式是較佳的控制方式，特性不同的電池仍能可利用 $-\Delta V$ 的特性來對電池作完全充電，比較不用再擔心電壓控制設定或溫度設定出問題而傷害電池。

目前許多高級的微電腦控制型充電器都是使用此種控制方式，且價格比一般充電器昂貴，有些雖然打著 $-\Delta V$ 的名號，實際上其控制程式以及充電電路設計得並不怎好，對 $-\Delta V$ 也往往有誤判的情形發生，不是將電池充到可以煎雞蛋，就是連充都還沒充到就罷工判斷電池已充飽，因此比較好的 $-\Delta V$ 充電器除了增加溫度控制之外，再根據充電時間、電壓與電流的大小變化，計算出充電容量，並且判斷出是否電池真已達到飽和。

上述三種方式都是急速充電的方法，在充電終了後，基於電池會自我放電的特性，一般都是對電池繼續施以小電流的補充充電，以彌補電池的漏電電流，並且急速充電並不能保證一定能百分之百達到完全充電，以小電流繼續補充充電剛好能填補不足之容量。通常補充電流的大小約在 $C/20 \sim C/40$ 之間，一般充電器在使用急速充電模式對電池充電終止後，都是逕行進入所謂的慢充模式，其實也就是以此小電流對電池繼續補充充電。在此模式下，微小的電流幾乎不會讓電池產生多少熱，也不會讓電壓有明顯的變化，因此充電器幾乎都是設計成一直施行補充充電而不會自動停止，雖然還不至於對電池造成過充電，但是為了避免增加鎳結晶現象，使用者還是得斟酌補充充電的持續時間。

容量的估算

電池的容量估算方式很多種，每每總都脫離不了 $C=I \times T$ 的計算方式。電池放電時流過電池的電流大小為 $I = \frac{V}{R}$ ， V 是電池的端電壓， R 是負載電阻，電池的

放電容量就是為 $C = \frac{V}{R} \times T$ ， T 是時間。電池的電壓是隨著放電時間的長短而逐漸降低的，要估算出比較準確的放電容量的方法，就是採用積分方式，從開始放電起到電壓降至終止電壓為止這段期間內，每一個時間點上的電壓值換算成電流之後對時間積分起來，即可得到很準確的放電容量。

因為電池的放電曲線並非線性，且欲取得在每一時間點的電流變化來計算有困難，因此一般都是使用積分的近似估算方式，將時間細分成很多小時段，擷取每一個時段內某一參考點的電壓值(或者該時段之平均電壓值)來當作該時段的電壓值，每一時段各自計算其放電容量，再將每一時段的容量加起來就成了放電容量的近似值。時段切割得越細越準確，但是要人工計算非常困難，因此只有具備微電腦處理能力的充電器才能做精密計算，而若要用手工計算可能以大時段計算出大略數值。

另一種比較簡單但是誤差較大的估算方式，是在放電期間內任意選取幾個適當的時間點(包括放電啟始與終止)，以梯形面積的計算公式 $C = \frac{(I1 + I2) \times T}{2}$ 來計算，求取每一個時間點之間的放電容量之後，將整個放電期間各放電容量加起來即可得到粗略的放電容量了。

電動槍受制於槍身空間狹小的關係，只能擠得下體積較小電流額度也小的電池，要推動電動槍馬達這樣的重負載負荷相當沈重，大電流縮短了鎳鎘電池的壽命降低了可容量，尤其槍友們喜歡把槍改得特別強，更換了更強的彈簧更是讓電池與馬達吃不消，在如此的摧殘下電池的耗損相當地嚴重，往往充放電不到幾十次電池容量就下降到剩下不到 50%了，短短期間下降範圍相當的大。因此採用梯形面積的計算方式，來對使用在電動槍的鎳鎘電池估算算是可以接受的了。

要測量電壓、電流以及電阻，最方便最簡單的工具就是三用電表，很多槍友為了瞭解自己的電池狀況都備有三用電表，平常除了做一般電氣量測之外，在電池充放電時也用來輔助充電器觀察電壓電流之變化，以隨時掌握過程求取最佳狀況。通常估算得到的值都只是個概略值，也會比理論上的容量還稍微少一些，但作為測量電池壽命的參考指標已經是綽綽有餘了。

記憶效應

鎳鎘電池放電時若不予以完全的放電，而是以特定的放電深度來重複地放電充電的話，那麼在反覆充放電幾次之後，因為每次電池都有殘餘容量，使得電池會有記憶現象而將此放電終止電壓的值記憶住，當電池不再只以此放電深度來放電時，電壓逐漸下降超過被記憶住的電壓值時，電池電壓會突然間崩潰性地急速下降很大的準位，然後才又繼續慢慢地下降，這種現象稱為記憶效應。

記憶效應是反覆充放電產生的，在實際應用方面這種反覆以特定放電深度充放電的情形很多，像是攝影機、手機、刮鬍刀等等，不論鎳鎘電池或鎳氫電池如

此使用都是擺脫不了會有記憶效應。記憶效應並不影響電池容量，但是定電壓崩潰的特性卻對負載影響很大，往往不為負載所接受而形同電力不足，無法繼續推動負載。因此形成記憶效應之後雖仍有相當大的容量，但是可使用的容量卻是減少了許多。

記憶現象在周遭溫度高時會比較明顯，使用較低充電電流($C/15$ 以下)時也會有記憶現象，因此在使用時要特別留意工作溫度，以及不要使用太小的電流來充電。記憶效應形成之後，若要消除記憶效應所造成的影響，必須對電池做一兩次完全充放電，以 $C/10 \sim C/2$ 的充電電流， $C/2 \sim 1C$ 的放電電流來進行時，可以比較有效地消除記憶效應。做完全放電時，額定電壓 1.2V 的電池只要降到廠商建議的放電終止電壓，也就是不會有殘餘容量的 0.95V 左右即可，不要過放電以免毀損電池。

鎳結晶

鎳鎘電池充電時，會於陰極生長出樹枝狀的鎳結晶物，尤其長期過充電或以小電流長期充電時更容易生成，此結晶物會使得電極表面之活化面積減少而降低容量。鎳鎘電池作完全放電時鎳晶體會溶解除失，不過在一般放電應用上很少完全放電，電池仍有殘餘容量，反覆的充放電會使得結晶物日益累積延伸，終可貫穿兩極間的隔離板而觸及陽極，造成兩極間的短路引起大量漏電。因此要消除鎳結晶現象有如消除記憶效應般，每充放電數次之後，作一次完全放電以釋放殘餘容量。

電動槍之電池

鎳鎘電池的標稱電壓是 1.2V，將 N 顆電池串聯起來後，整體電壓是 $N \times 1.2V$ 。串聯後工作電壓雖增加了 N 倍，不過額定電流可是不變沒有增加喔，在對電池串聯進行充放電時，可不要誤以為容許的工作電流也增加了 N 倍而改以 N 倍的大電流去充，那麼電池是否會爆炸是不曉得，不過引起電線過熱溶毀電線短路引起火災是非常有可能的。

目前 Marui 的電動槍系列大部分都是使用內部構造相似，彈簧強弱也相近之 mecabox，為了配合馬達的驅使 Marui 訂製了專用之鎳鎘電池，以 7 顆 1.2V 600mAh 的單體包裝成 8.4V 的電池串，全新電池完全充電後，大約可射擊 1000 發左右。不過由於電動槍的威力不強，大部分的槍友們都會另行購買改裝套件，包括將彈簧改強一點，使得原廠電池的推動能力降低，充飽電之後能射擊數十發至數百發，甚至完全推不動齒輪導致電流過大燒掉保險絲，大大地降低電池的壽命。

有鑑於此，槍友們的解決之道，不外乎採購較大容量的電池(例如 2000mAh)，或者串聯更多顆電池，藉以彌補推動能力不足之遺憾。茲將此兩種方法的優缺點說明如下。

1. 提高容量

電動槍改強之後消耗電流增大，希望電池能堪承受大電流，又希望電量充足 BB 彈可以多打幾發，使用大容量的電池是最佳的辦法。額定容量越大的電池其可承受的充放電電流也越大，只要彈簧沒改太強，就不用擔心驅動馬達的大電流會太過傷害電池，超大的容量，讓槍手不須再攜帶數條備用電池，不再有打沒幾發就得拆槍更換電池的困擾。

容量較大的電池相對的體積比較大，在狹小的槍身內部是沒有多少空間可以容納電池的，不同款式的槍枝擺置電池的部位也不一樣，通常不外乎固定槍托內部以及前護木內，部分則填塞於其他小縫隙。目前為止能塞得進大電池的地方，大概只有某些槍型的固定槍托了，2000mAh 左右的大電池勉強塞進去不成問題。至於塞不進去的槍型，只好把大電池以電池袋綁在槍身外面，直接將電線接頭從縫隙拉進槍身內接好。當然，醜不拉讖的外觀破壞槍枝美感是無法避免的了，重重的電池也讓手臂增加不少負擔。不過使用電池袋外掛也有個好處，電池能獲得較佳的散熱，壽命比裝在密閉的槍身內部發燙還長。

電池的造型很多，有些 AA 型(尺寸與 3 號乾電池相近)鎳鎘電池容量約有 1000mAh 左右，某些款式的槍空間可能塞得下，若槍沒改太強對於此容量又可以接受的話，就不用外掛重重的大電池了。

2. 提高電壓

外掛電池醜醜的外貌令很多人無法接受，好端端漂亮的一把槍表面卻增加了一陀大大的電池包，叫人怎不心疼呢？因此很多同好在空間許可的情況下，自行購買電池來焊接，以 8~10 顆電池串成提供 9.6V 以上的較高電壓，希望藉此增加射擊彈量。

雖然電池推動馬達時隨著容量的消耗，電壓逐漸降低內阻逐漸增大，電流也逐漸減小，當電流小至馬達無法推動齒輪而停下時，電池的殘餘容量相當的多，彈簧越強殘餘容量也越大。此種提高電壓的方法會讓流過馬達的電流大一些，馬達比較不容易因為電流不夠強而被齒輪拖住，殘餘容量也能小一些，活塞每多轉一行程子彈就多射出一發。不過有一點得注意的是，電池串聯時容量並沒有增加，在相同的電池容量下，耗電流增大會使馬達轉速增加，子彈射擊的速度增快

(發/分)，相對的會使得可供射擊的時間縮短。

因此此種方式使用在單發射擊時，可以增加射擊的次數和時間，而使用在全自動射擊時，打得很過癮，不過很快就又得填裝子彈(都是錢啊)，以及更換備用電池了。在遊戲中可具有優越的連發火力壓制對方，若戀棧下去很快地會彈盡援絕，只好好壯烈成仁了。

小容量的電池提升電壓後，固然有重量輕與高連發速度的好處，但也承受較高的電流，用來推動 M100 的彈簧(初速 100m/s)壽命還沒問題，若欲驅動更強的彈簧時，以大容量之電池來驅動才是正確的方法。

充電器之選擇

在台灣電動槍販售出去的數量非常的多，不過卻很難見到為電動槍設計的專用充電器，原因是日本方面生產的專用充電器，引進台灣後價格昂貴因而乏人問津，要台灣的 BB 槍愛好者，自動自發當起凱子，以天價去購買價格昂貴的日本塑膠 BB 槍，是一件非常輕易的事，但是要叫台灣的凱子，掏出腰包以高價去購買台灣到處買得到的『充電器』，是不大可能的事。在販售專用充電器利潤不如電動槍的前提下，店家也賣得興趣缺缺。槍店通常有販售用在如遙控模型上面所使用的充電器等等，很多槍友們也是將就點購買來使用，不過比較講究的槍友還是會另行去找尋讓自己滿意的充電器。

電動槍的電池是由 7~9 顆 1.2V 的電池串成，每顆電池充飽電時電壓上升到約 1.4V 左右，因此充電器的輸出電壓至少必須有 10~13V 以上的驅動能力，才能將電池串做完全充電。電槍使用的電池容量從 600mAh ~ 2000mAh 以上都有，充電器要能夠大小通吃就必須能提供足夠大的電流才行，否則只能以小電流慢充的話，打仗前夕您可就得徹夜未眠，守著一堆排隊等著充電的電池了。充電器的種類琳琅滿目，規格不見得一定適用，有些是有電池座針對 UM-3/4/5 等的小電池設計，有些是使用大空中接頭與您的電池接頭不合，有些提供的電池個數或電壓根本不足您的電池的需求，不同功能和不同的價位，想找到完全符合要求的充電器是得靠點運氣。若對槍店所陳列的機型不滿意，只好辛勤點到遙控模型店、電池行以及電子材料行打探看看。若您怎找就是找不到滿意的充電器，那麼只好將就點買個比較相容的，去電子材料行購買電線和相容之連接頭自己焊上去，暫時能用就好，等待來日有機會時再更換。

一般電動遙控模型上的鎳鎘電池，也是用來推動耗大電流之馬達，電器特性和電槍很接近，不過遙控模型使用充電器雖有很多種但並不是設計給電動槍使用，其輸出電壓範圍不一樣，比較常見的輸出電壓都太低，尤其是附有電池座用

來充 UM-3/UM-4 電池的那一類，購買此類充電器時必須留意充電器上標明的規格，瞭解一下它提供的電壓範圍有多高，充電電流有多大，是否足以充飽您的電池毫無問題。一般情況可充 6 顆單體電壓 7.2V 的充電器，用來充 7~8 顆單體串成的電池時是還可以接受，只是要注意的是，尚未充飽時充電器會因誤判電壓準位而自動終止充電，使用時得觀察電池的溫度和壓降變化，多充幾次之後電池之充電容量才能比較接近飽和。

在遙控模型中有比較高級的充電器，內部是以具 A/D 轉換介面之微處理器控制，以 $-\Delta V$ 方式偵測電池飽和容量，外表具備有 LCD 液晶顯示器，可以顯示電池的電壓、電流以及已充放電量之值，甚至檢查電池的好壞。這類充電器通常提供了快充、慢充、快充快放、慢放、快放、快放快充等功能，充電電流大小可由使用者自行調整，範圍小至幾 mA 到至數安培都可以，而電池的單體數量範圍大約在 4~8 顆甚至更多，使用者可以根據您的電池狀況決定要使用哪種操作模式，不用擔心過充電或是過放電。這類充電器完全滿足電動槍之需求，小笨鳥的充電器就是屬於這類型，可接 4~9 顆單體串接之電壓模組，270mAh~4500mAh 之容量，0~6.5A 之充電電流，汽車直流電源或交流電源，在使用上非常方便，不但不用擔心充放電池，還可以根據顯示之數據隨時掌握電池之各種狀況。

很多槍友自己備有電源供應器，那麼就省下一筆錢不再另行購買充電器了。電源供應器可提供巨大的電壓和電流，要對電池充電時必須非常小心，充電電流不可調整過大，首先必須先調整限流大小到您希望的充電電流大小，將電壓往上調整至快接近可使電池充飽的電壓準位，然後才將電池接上去。電池接上後電源供應器上的電壓表會往下掉至電池之電壓，電流表則顯示充電電流，在充電期間得留意電池溫度以及電壓電流之變化。若電流快速下降表示電池電壓已充到接近您設定的電壓值，若您發現電壓上升到某程度又開始微微下降時，表示您電源供應器的電壓調整過高，而現在電池已經充到過飽和電壓並開始下降，相信此時已經有點遲，電池已經滾燙燙，必須立刻取下電池停止充電。

使用電源供應器充電是一件非常危險的事，電壓電流調整不好電池會報銷，在充飽電時沒稍微留意充過頭電池也是報銷，尤其是在充電時人員不在旁邊待命，跑去別處又忘記正在充電的話，萬一出意外讓正負兩端的鱷魚夾碰在一起，就算電源供應器有保護電路，鎳鎘電池的短路也是照樣會引起電線走火，有引發火災的危機，因此使用時必須非常小心，最好在電源端加上定時器以增加一層保護措施。

製作放電器

一般低價位的充電器並沒有提供放電功能，要避免記憶效應就必須自己製作

放電器，以便適時地對電池進行完全放電。電阻是最簡單的放電器，根據你所希望的最大放電電流選擇適當的電阻值，將之接在電池接頭兩端即可放電。假設你希望放電電流不超過 300mA，而你的電池是 7 顆串成標稱電壓 8.4V，有殘餘電量時電壓範圍在 8.4V~9.8V 之間，因此你必須選擇的電阻值最小必須為 $9.8V \div 300mA = 32.7\Omega$ 以上。電阻必須能承受 300mA 之電流，並且該電阻之額定功率必須大於 $0.3A^2 \times 32.7\Omega = 2.943W$ ，以免電池過熱而冒煙燒毀。要能耐高溫又能承受此消耗功率，水泥電阻是最佳選擇，電子材料行有販售，價格不到十塊錢。在放電時水泥電阻非常的熱，使用者切莫以手觸摸以免灼傷。

或許讀者思緒一晃已經考慮到兩個問題，我要如何知道它已經放完電？有沒有辦法讓它自動停止放電而不會過放電呢？當然是有方法囉！水泥電阻串接一汽車用之小燈泡，當燈光暗掉時就知道電量已經差不多放光了。話雖如此但並不知道電壓準位已經掉到多低，且人要在旁邊守候著也是非常無聊浪費時間的事，因此你可以在電子材料行買到稱為二極體(Diode)的電子零件，二極體只有兩隻腳一端正一端負，必須正端接上超過 0.7V 以上的正電源時二極體才會導通，若是正負接反了二極體就不導通。將一顆(或更多顆)二極體、水泥電阻和燈泡串在一起，當電池電壓降至 0.7V(或二極體個數 $\times 0.7V$)時，電池就不再放電了。

如果沒加二極體萬一不小心電池電壓被放電至 0V 時怎麼辦？此時電壓會一直保持在 0V 無法上升，使用充電器不但無法將電量充進去且被充電器判定為短路，比較差點的充電器保護電路若做得不好還會燒掉。小笨鳥也遇過這種情形，解決的方法是用電源供應器，將電流限流調到電池可承受的最大電流，電壓調到 0V 以減少火花，電池接上之後電源供應器是在短路狀態，將電壓旋鈕慢慢調高，通常不須調到正常狀況 10V 的位置時，您就可以聽到喀一聲電壓表的指針瞬間跳至正常電壓位置，電池已經恢復到正常標稱電壓以上的準位了。電池之所以能救回是靠電源供應器強而有力的電流推動力，對電池做電擊強迫電池還陽的，若電池已停在 0V 不馬上處理，電池內部會起化學反應，拖得越久救回的希望是更渺茫。

電池 DIY

Marui 訂製的 8.4V 600mAh 的鎳鎘電池品質不錯，推動為改強的電動槍是沒問題，可惜在台灣販售的價格非常昂貴，加上槍友們不喜歡玩太弱的槍，喜歡把槍改得強一點，那麼 Marui 的電池再好也無用武之地了，必須以更適合的電池來取代。槍店和代理商會自行向電池廠商訂製各式電池組擺在槍店販售，價格比 Marui 的電池低了近一半，不過很多像我們這樣子的窮人家，有時候都是自行到電池行買電池來鋸，自己 DIY 未必能比較便宜多少，不過可以挑選自己喜愛的電池廠牌、容量，以及針對愛槍的需求排列成適當之形狀。

同樣的一顆電池在不同的電池行或電子材料行，價格差異甚大，日本比較有名的大廠如三洋與 TOSHIBA 等製造出來的品質還不錯，至於一些包裝上沒有廠牌，只打著 MADE IN JAPAN 等字樣的電池，多是來路不明的冒牌貨，買到台灣製造的還好，買到大陸偽造的日本貨品質就非常的低落。對電動槍而言，如果槍沒有怎麼改，MADE IN JAPAN 的電池還可以用很久，槍有改的話這些電池就不適合，週期壽命非常的短。

Marui 的電池以及一般日本正廠製作的電池，最初幾次充電時容量可以達到 600mAh 沒問題，拿去讓電動槍摧殘好幾次之後，容量還是保有近 550mAh 左右，且週期壽命非常的長，充放電特性也非常的棒。至於 MADE IN JAPAN 等雜牌電池，第一次能充 600mAh 是有可能，不過充放幾次之後能再充到 400mAh 至 500mAh 以上似乎已經有點勉強，充電過程中充得是滾燙燙，週期壽命相當的短，有些充放一兩次後，充電電流太小即無法充進去，雖然還是新電池，但也只能死馬當活馬醫從此改以快充硬充。日本正廠電池的價格當然是比較貴，不過在電槍馬達的摧殘下，壽命可是抵得過幾條雜牌電池。

電池行是有幫人焊電池，槍友不放心他們焊接的技術的話也可自己焊，焊接時有些事項必須注意的。馬達是低阻抗，電線上的電阻必須非常的小才不會把功率浪費在電線上，電池之電線是越粗越好以塞得進接頭為參考，裡面的線蕊不要太小條，可以的話使用價格較貴的鐵弗龍線或銀線等導電性較佳的電線。電線端之空中接頭有大小公母之分，得參考槍身方面之接頭形式來選用，接頭裡面的金屬插鞘夾在電線上後得焊接好以免造成產生接觸不良。電線要焊接於電池上時必須避免烙鐵直接接觸電池，以免電池過熱傷害電池，應先將焊錫焊於電線上後，再快速地將電線鉗於電池正負極，並確保錫溶解黏著後表面光亮，無鬆動或阻抗過大之情形。焊接時切記不要造成電池陽極和陰極外殼的短路，眼睛和手指離焊接點遠一點，免得短路時被灼傷和被噴濺的焊錫燙傷。

有些槍友為了提高電池電壓，直接將舊有電池直接加上一顆新電池，這是錯誤的作法，因為舊電池上面殘有的容量不等於新電池殘有的容量，且舊電池特性早已惡化，與新電池串接等於是舊木接新條，不但新木沒活成舊木沒更好，而且會弄巧成拙讓新組合的電池更糟糕。電池串聯時，流過每一顆單體的電流是相等，每顆增加(或減少)的電量也是相等，若充電時其中一顆的容量先飽和，繼續充的話這顆會過充電，下降的微弱電壓還不如其他顆增加的電壓，因而充電器無法偵測而繼續充，該顆充壞了不能再充放電，其他各顆也別想能流過電流了。同樣的若放電時容量較少的先放光，再繼續放此顆會先過放電，然後變成反向充電，電池反向充電會如何就不用說明了，等其他各顆放到幾乎光時這顆是帶負電壓的，這些電池也報銷了。當你將新舊電池混在一起充電後才發現電量不足，使

用時間變短時，這些電池差不多可以扔掉了，你不知道哪幾顆電池已經遭破壞。新電池要焊接之前要確保每一顆電量是空的或電量相等，通常新電池每一顆都充著微小的電量，直接焊接即可，切莫對其中部分做充放電，基於同樣的道理，不同額定容量的電池串接一起也是行不通的，徒增困擾而已。

電池焊接後總是得包裝，電池行當然是有電池專用的熱縮膠包裝，將電池套進熱縮膠之後，以吹風機對其均勻地烘一下，它縮小就緊緊的包住電池了。如果找不到電池行，到五金行或橡膠行應該找得到熱縮膠或熱縮套管等替代品。如果包裝過後散熱不良，可在不暴露電池串接處的部位開幾個小洞以幫助散熱。

安全性

鎳鎘電池是能量密度很高的能量儲存元件，而不是消耗能量的元件，內阻非常的小，外接負載時放電曲線平坦，正負兩端短路時電流相當地大，產生的高溫與火花可以將電線與焊接點融毀引發火災。為了預防萬一，鎳鎘電池平常不使用時最好先作放電，再保存於乾燥陰冷處，切莫置於潮濕處以免短路。鎳鎘電池遇熱時化學物亦遭破壞而發生漏液生鏽等減少壽命之情形，應避免棄置於高溫或日曬處。鎳鎘電池尤其嚴禁置於火中，否則內部的氣體與電解液因過熱而沸騰會造成外殼爆裂，皮膚或眼睛遭電解液噴濺時會造成傷害。

射擊時注意事項

電池擺置數小時至數日未使用，射擊的前幾發會有電力不足之現象，馬達轉速變慢 mecabox 聲音怪異，電量足夠時就恢復正常轉速。但若原本之殘餘電量就不足的話，齒輪轉至半途就會卡住，內活塞被齒輪後拉至半途停止，彈簧保持在壓縮之狀態無法釋放。此情況在使用全自動射擊時最容易發生，此時馬達阻抗最低流過之電流相當大，扳機應立即釋放切勿持續扣著，否則電流將燒毀保險絲。彈簧若長久未釋放，彈簧會鬆弛，持續的施力也會壓迫塑膠內活塞造成內活塞齒扭曲變形，若內活塞是金屬則和齒輪都會造成磨損，軸承也會被破壞，因此必須儘快更換備用電池再扣一次扳機射一發，讓齒輪繼續轉完一行程以釋放彈簧及內活塞。若無充有電之電池則應將正在使用之電池卸下，以快充充一分鐘左右，再接上電槍以半自動將該發擊發，隨後該電池卸下暫停使用。

鎳鎘電池在電動槍內部散熱不易，使用全自動射擊時產生的溫度非常的高，槍友盡情掃射之際最好稍加留意，記得停頓一下給它喘口氣。電量不足推不動馬達取下要再充電時，不用擔心記憶效應而每次都放電，充電幾次之後再做一次完全的充電放電就可以了。射擊時盡量使用單發點放少用全自動，雖有點掃興，但可節省電量增加射擊時間，並可提高電池週期壽命。

結語

讓電池保持在最佳的狀態，會讓電動槍好玩多了，一條電池用個幾年，比起別人盲目地一再購買新電池，您是不是已經省下了數千元呢？在槍林彈雨中與友軍互射時，對方的BB彈是像煙花雪絮般地密集往你飛過來，而你才玩一兩場而已正想要發揮之際，就在找掩護換電池，這不是有點糗嗎？當年小笨鳥每天的娛樂就是玩電動槍，每天都還沒過癮就掃興地回去守在充電器旁充電，對電動槍是又愛又恨，不解為何那麼耗電，經過長久花錢學經驗失敗求教訓之後，才瞭解到癥結在於不瞭解鎳鎘電池。一條電池幾百塊到兩千多塊都有，當年短短一年內燒壞的電池可真多啊，現在我都快忘記電池行該怎麼走了。

現在包括台灣在內的玩具槍廠商也在開發電動槍，相信在未來的幾年內電動槍將是玩具槍市場主流。玩具槍的馬達體積小扭力大，想推動它必須使用高能量密度有能力推動重負載的高效率電池，鎳氫電池雖然比鎳鎘電池更具高能量密度容量也比鎳鎘電池更具優勢，但是用來推動電動槍馬達時卻形同老牛拖車一般使不出勁，因此鎳鎘電池在未來數年內仍將是新一代電動槍的動力來源，槍迷們有必要進一步的瞭解。

口沫橫飛地介紹完鎳鎘電池之後，相信讀者也已經是昏昏欲睡了，希望您睡醒之後對電池還有一點印象。若您想再深入的瞭解鎳鎘電池，坊間也有專門介紹電池的書籍，讀者可以參閱看看。

小笨鳥 1999/3/1