

## 電動汽車和固定成本的難題

◎李麗女

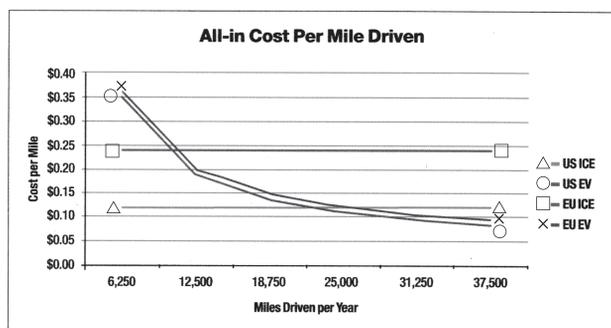
我是一位頑固不化的評論家，因為油電混合車是電池使用者當中較有效率的一類，與電動汽車相比每仟瓦小時的電池容量可節省5至6倍多的燃料，而且與電動汽車插入燃煤網相比所排放的二氧化碳較低。更重要的是，沒有人建立一隊大小像樣的電動汽車車隊，將它們放進平常人的手裡駕駛數年，以找出在真實的世界中它們是如何運轉表現。

當想像到廣闊的景象我無法將電動汽車歸類，因為它不只是一項實驗它對待買主尤如實驗室的老鼠，並讓他們為了此一殊榮付出代價。雖然有很多的理由可以評斷電動汽車，但我最大的問題是由固定成本與變動成本之間的交織而引發出來的。

對一部傳統配有內燃機的汽車而言，油

槽的固定成本低且燃油的變動成本高；對電動汽車而言是相反的，電池組的固定成本高而電力的變動成本低。以現在美國汽油價格為每加侖3元可以讓一部汽車行駛25英哩，得出每英哩的燃油成本為0.12元；現在歐洲汽油價格為每加侖6元，則每英哩的燃油成本為0.24元。這些數字將會因燃油價格變動而忽上忽下，但是因為買主的駕駛習慣它們終將不會被改變。

一部電動汽車因為有電池之固定成本與電力之變動成本，使得成本的計算更加複雜；最近華爾街日報報導Nissan公司製造Leaf品牌可跑100英哩航程之電池模組的成本大約為18,000元，當加上Nissan的一般毛獲利25%，則最終使用者這端的成本水準為24,000元或每仟瓦小時為1000元。



### 假設

以一些寬容的假設為前題，包括一個10年壽命、無容量漏失、無週期壽命限制以及最終價值4,000元的電池，電池組的直線折舊為每年2,000元；這表示：

- 對一位計程車司機每年開50,000英哩，

固定成本為每英哩0.04元；

- 對一位有固定推銷路線之業務員，每年開25,000英哩，固定成本為每英哩0.08元；
- 對一般的人每年開12,500英哩，固定成本為每英哩0.16元；而且
- 對一個都市人每年開6,250英哩，固定成本為每英哩0.32元。

為了計算車主的總成本，我們需要加上每英哩的電力成本，在美國為0.03元而在歐盟為0.04元，上圖是依據每年所行駛的哩數，於美國及歐盟的內燃機汽車及電動汽車每英哩之實際成本之比較圖。雖然很多假設認為未來電力價格將維持穩定，我認為那個假設有缺陷，因為再生能源及智慧電網所產生的碳稅及資本投資額的成本，最終將轉嫁到消費者身上。電力價格的改變率可能比石油價格的改變率還慢，但是在每一個合理的方案下它仍是重要的一環。

一個較令人恐懼的未知事物是服務壽命，電池由於誤用相當容易損壞，而且不管它們是否有被使用過最終將衰降。人類並非如電腦測試架一樣是可預測的，大多數的人類是不會逐頁讀使用者手冊，而且即使讀了我們也很少遵守指令，因為“僅這一次”的引誘擴大了容忍度的極限，就是太強烈以至於難以拒絕。

既然不會有太多的例外以造成多數電池的損壞，我仍舊認為鋰離子電池模組，使用於汽車上將不會超過10年以上。第二壽命價值是任何一個人的猜測，我並不期待電池技術的快速晉升，但是即使每年有5%的改善，則在2020年前新電池模組的成本將下降到15,000元。因為假設新電池模組在2020年將提供較佳的績效，則似乎未來的買主，不太可能花高於報廢價的錢，去買一個已被使用過且是以2010年技術

製造、而且已損耗了20%或30%容量之電池。

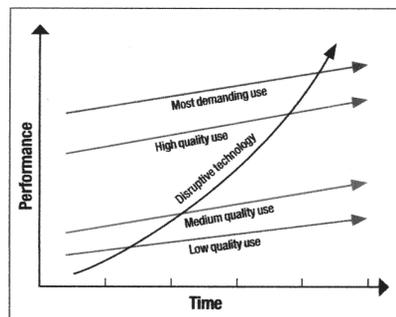
當你不買超過所需的電池而且只使用該組電池模組，則底限為電動汽車是屬於節約型的；這將導致憂慮與買得起兩個等級間的一個壽命與死亡的掙扎，當你把它不確定的因素加入，除非有一個較佳的答案出現，否則我必需相信若計畫將客車充電的想法終將被毀滅。

### 分裂性的技術

儘管面對電動汽車與鋰離子電池的挑戰，主流媒體似乎確信新奇的電池將使得所有的其它電池被報廢並能儲存從iPad到風車等各種器具設備的能量；它會引發出很多的故事，但在我們有生之年終將不會發生。

大部份的我們對分裂的技術概念熟悉，Clayton M Christensen創造了一個術語用於描述簡單、低成本技術，當它們臻於成熟完善時可取代已確定的技術。按照Christensen博士的看法，分裂性的技術通常缺乏精確性而且會有績效上的問題，因為它們是新的技術可迎合未受到政府關注的市場，而且可能有一個尚未被證明的應用；但是它們的低成本創造了一個新市場且引發出網路效應，並提供一項激勵以提升它們符合或甚至優於主要的技術。

下圖說明了該一現象：



歸納基本原理，民眾相信電池工業的技術發展是為了大部份的需求使用，並使得它們便宜到足以供應低品質的大量儲存需求之用。

在面對隨時間而得以印證的真實性之信條，開發者從未仔細考慮到技術性的改進，通常引導出新的應用市場，而且高品質產品之使用者是最激烈的價格競爭者。下表是鋰離子電池之可能應用，從最高值的每瓦特-小時到最低值的每瓦特-小時之簡單等級表。

先進電池的競爭性使用者	
裝置種類	電池容量
行動電話及MP3播放器	5瓦特-小時
可攜式醫療設備	10-50瓦特-小時
膝上型電腦	10-50瓦特-小時
電動腳踏車及踏板車	500-1,000瓦特-小時
油電混合汽車	1,000-1,500瓦特-小時
不斷電系統	2,000-8,000瓦特-小時
插電式混合動力車	10,000-16,000瓦特-小時
電力車	24,000-50,000瓦特-小時
公用事業設施	50,000+瓦特-小時

### 當前的動向

在密閉閥調式免維護鉛酸電池問世以來，花費於鉛酸電池的研究與發展經費，在70年代中葉被削減了，雖然鉛酸電池的研究經費被削減，但可攜式的電子產品之出現，引領先進的電池及大量的新物料的研究與發展經費之快速與持續成長。

直到最近此一變動並未改變，當有新的大量能源儲存需求，此給予研究員足夠的理由，回到研究新的製造方法及物料以使用於舊的化學產線。只要研究工作一啟動，其結果似乎是有魔力而且很迷人的。

在鉛酸電池世界一個主要的發展為Axion電力公司的鉛酸/碳(PbC)電池，一種不對稱的鉛-碳電容器，從美國海軍研究實驗室中的一篇報告詳細地討論到，報告之結論為PbC及相類似的電子化學電容器有特

我看到高價值應用的鋰離子電池的光明未來，該應用需要適度的電池容量，但是認為提議將它們變成電力車及常備的應用是幼稚的，因為它們是極具價格敏感度。

每一位明智的電池製造商會將其產品賣給能提供最高利潤的客戶，對高價值使用有快速的成長市場，只有多餘的及次等級的產品將被使用於插電式動力車及公用事業設施。

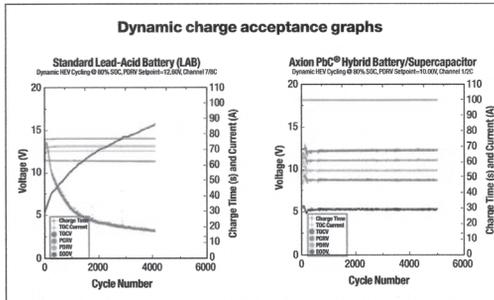
有的電壓：

- 比超級電容器輸送較高的能量密度，比電池具有較快速的充電-放電反應；
- 具有較長的壽命週期和較低的維護費；
- 供電系統的重量及體積有顯著的降低；
- 方便油電混合軍用汽車的調度與部署；以及
- 促進起重機及其它用具之再生性的電力系統。

最近在Orlando的先進汽車電池會議中，Axion將該公司的鉛酸/碳(PbC)與傳統的標準鉛酸(VRLA)之動態充電接受作一比較並公諸於世，以揭露其技術其如下圖所示。同樣地重要研究在有些公司也已經正在進行，如美國GE公司發展一種熔鹽電池以使用於混合動力及常備的器具上；義大利的FIAMM公司聯合瑞士MES-DEA公司，透過新成立的FZ Sonic公司加速推動

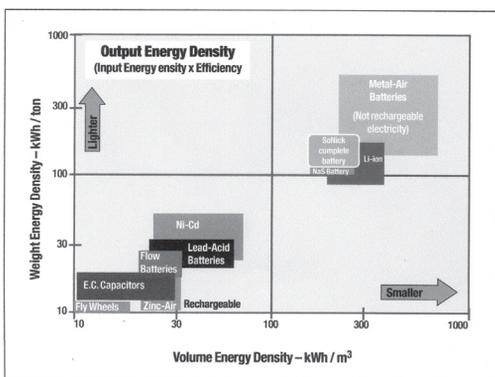


Zebra電池的商業化。在未來數年FZ Sonic計畫提升三倍產能到300MWh，並提供在價格上與鋰離子電池具有競爭性的高能量系統。



在MES-DEA之12年的運作歷史，已將數千部的電動汽車、卡車及巴士在馬路上行駛，並讓它們接受挑戰性的狀況以嚴厲的測試條件橫跨歐洲，我期待FZ Sonic在能源儲存行業能成為一個強勁的競爭者。

下圖為電子化學電容器與鈉電池之能量密度輸出所屬之階系，兩者將隨時間而改善，但是熔鹽可以改善到一定的程度，即對能量密度遮蔽金屬-空氣的那個點上。基本上PbC是一項電力技術，其特別適合於重複性的充電與放電循環，尤如我們在汽車上發現的自動推進的啟動-停止系統。比較上，熔鹽電池是最合適於儲存大容量的能量。



## 模糊不清之水晶球

PbC及熔鹽電池的共同主要特徵是兩者並非是銀彈，而是皆使用便宜且大量的原物料之舊有化學生產線，兩者可以在現存的設施中很容易地加以回收，而且皆可以利用新的製造方法及物料而有令人刮目相看的改善空間。這些共同的特徵使得兩種技術具有重要的破壞性潛力，因為不需要重複研發汽車即有足夠的空間以改善績效並降低成本。

Sandia國家實驗室針對它的太陽能整合電網計畫，於2008年7月的報告書中，預測非對稱性的鉛-碳電容器的成本，會如PbC在未來十年將下降至少50%，而熔鹽電池的成本也會下降近80%。

價格的下降將不是來自於電池化學產業的根本改變，而是來自於正常的學習過程而出現，無論何時一項新技術被市場所採用，或為利益動機導向的製造商所改善，此即因勢利導所致。

當尺寸大小和重量是關鍵性的而價格並非是優先的重點，則鋰離子化學將持續進步而且鋰電池將會是選擇的技術，我是不會質疑的。但我不能接受的提議是，它們公然抗拒經濟重心並取代如PbC較便宜的技術，而PbC較適合於低價值電力應用，且熔鹽電池較適合於低價值能源應用。

每一項工業的大變革軌跡上，皆萌芽於創新改革，在一個較低經濟成本上它傳遞較多的經濟價值。政府的介入以干涉強迫採用次佳的經濟方案，最終總是會失敗的。馬克吐溫教導我們，歷史本身是不會重複的，但它有它的韻律，忽略歷史教訓是不智之舉。

(資料來源：譯自Batteries International Spring/Summer 2010, John L Petersen)