

電動車技術應用社群成果

臺中市高級中等學校課程發展中心群科輔導團



科目：電動車概論

單元：電動車電池 (20230901 修正)

編撰者：周照崇老師

日期：112 年 9 月 01 日 (修正)

一、電池概述

(一) 前言

電池是電動車的重要零組件之一，重要程度如同燃油車輛的燃料，若無電池能量的提供，是無法驅動車輛的。因此，在電動車發展的產業中流傳著一句話：「得電池者、得電動車天下。」(如圖1)

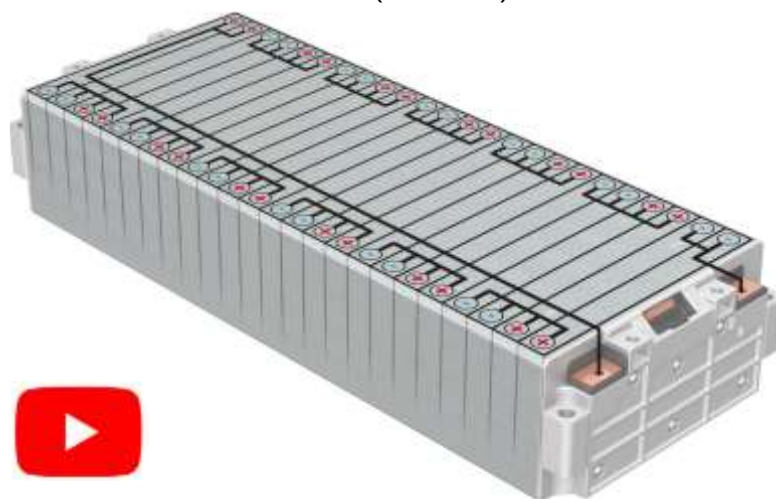


圖1 電動車高壓鋰離子電池模組

在電動車電池發展的過程，電池的儲存電量能力、再次充電時間、充放電次數、安全性、環境的友善程度等，都是電池發展是否突破進步的重要關鍵因素。

電池的種類眾多，如鉛酸電池(Lead acid)、AGM 吸收玻璃纖維墊深循環電池(Absorbent-Glass-Mat)、鎳鎘電池 (Ni-Cd)、鎳氫電池(Ni-MH)、鋰離子電池(Li-ion)等等，但本章節將著重於電動車輛目前普遍使用的鋰離子電池(Li-ion)作為討論重點。

(二) 電池構造

1. 鋰元素：

鋰 (Li，其英文名為 lithium) 是一種**銀白色**的元素，本身很柔軟，具有高活性和易燃性，是世界上最輕的金屬 (如圖2)。鋰廣泛運用於工業領域中，如耐熱玻璃、鋰皂基潤滑脂、鋰電池、鋰離子電池等。



圖2 鋰元素(Li)

鋰電池(Li)是以鋰金屬或鋰合金為陽極材料，使用非水電解質溶液的電池，是屬於一次性電池，常見如車用免鑰匙鈕扣型電池（如圖 3）。

鋰離子電池(Li-ion)則是以鋰鈷氧化物、鋰鎳氧化物、鋰錳氧化物、鋰鐵氧化物等等為陽極材料，具有高能量密度、無記憶效應^{註 1}等優點。電池主要依靠鋰離子在正負極之間移動完成充電及放電工作，是屬於重複性充電電池，常見如電動車用鋰離子電池、手機充電電池、筆記型電腦電池等等。



圖 3 鈕扣型鋰電池(Li)與車用鋰離子電池(Li-ion)

二、鋰離子電池構造

鋰離子電池(Li-ion)的構造，主要由四大組件組合而成(如圖 4)，分別為陽極(Cathode)、陰極(Anode)、隔離膜(Separator)、電解液(Electrolyte)，其各組件功能分別：

(1) 陽極(Cathode)：

常稱**正極(Positive)**，陽極通常使用具導電性的**鋁箔**作為集流器，再把含「**鋰(Li)**」的金屬氧化物與溶劑、粘合劑，以及導電劑一起塗佈在鋁箔上，並加入些許導電物質。

鋰離子電池的循環壽命與正極所使用的材料息息相關，研究顯示若以**磷酸鋰鐵**為主要陽極材料，電池循環壽命估計可達**數千次**(目前主流為磷酸鋰鐵)；若採用三元系(鎳鈷錳 NCM/鎳鈷鋁 NCA)，則僅只數百次。陽極製程尚有諸多開發潛能與機會(例如：將可提升電池安全性的添加劑導入陽極製程)，是鋰離子電池產業未來發展的重點之一。

註 1：記憶效應是一種發生在某些充電電池上（如鎳鎘電池或鎳氫電池），

經過多次充電後導致電池容量減少的現象。

(2) 陰極(Anode)：

常稱**負極(Negative)**，市場上有高達 90%的鋰離子電池以**石墨(Graphite)**作為陰極材料並以**銅箔**作為集流器，具有成本穩定及高安全性等優點。在鋰離子電池市場(如智慧型手機、電動車等商品)逐步追求高電容量的發展趨勢下，許多研究團隊投入以**矽**或**矽氧**為主的矽基材料開發，以期望能提高電池的能量密度。

(3) 隔離膜(Separator)：

以**聚丙烯(PP)/聚乙烯(PE)**等塑料所製成的微孔隙薄膜，置於陽極與陰極板之間，用以阻絕正負極以避免電池自我放電及兩極短路等問題。隔離膜上布滿大量可使鋰離子通過的緻密微孔，讓電池得以形成完整的充放電迴路。

(4) 電解液(Electrolyte)：

作為鋰離子在正負極之間順利傳遞的介質，鋰離子電池電解液可以是**凝膠體**、**聚合物**(鋰離子/鋰聚合物電池)、或**凝膠體與聚合物的混合物**，電解液在鋰離子電池的性能表現上扮演極重要的角色。若欲提升電池循環壽命、安全性以及鋰離子的傳輸特性等效能，可從電解液配方與電解液添加劑著手改善，合適的鋰離子電池電解液可使鋰離子電池效能發揮到極致。

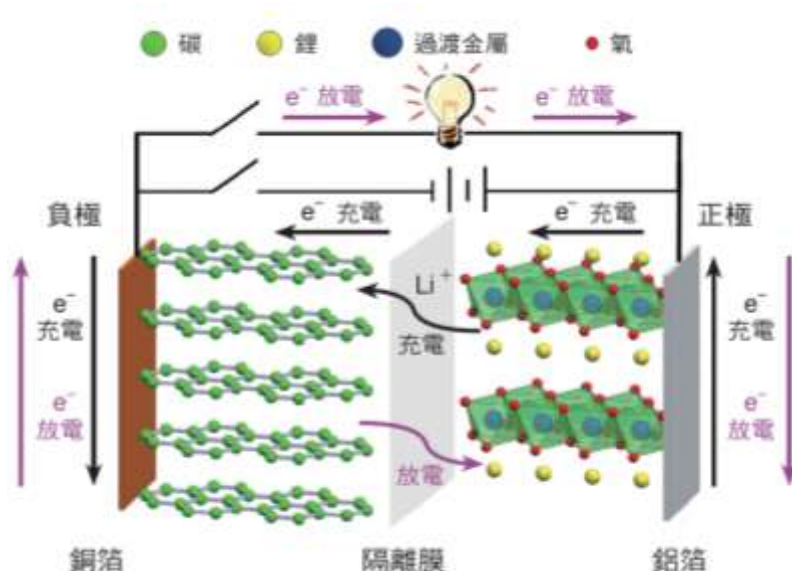


圖 4 鋰離子電池構造及作用原理

三、鋰離子電池工作原理

鋰離子電池的工作狀態可分為**充電狀態**及**放電狀態**兩方面來說明，鋰離子電池顧名思義，就是利用「鋰離子」的移動來完成充/放電工作。

1. 充電狀態(接上電池)：

鋰離子會從含鋰的金屬氧化物中釋出，此時鋰離子利用電解液作為擴散媒介穿過隔離膜、嵌入鋰離子電池的負極材料，達成儲能工作(如圖 4)。而電子則由正極跑向負極，產生電子流。

2. 放電狀態(接上負載)：

鋰離子會再由負極中遷出，藉電解液擴散穿越隔離膜，回到正極(如圖 4)，而電子則由負極跑向正極，產生電子流，因此電流可使負載作功。如此便能在鋰離子電池有限的循環壽命(Cycle life)中，透過反覆充/放電動作驅動各式鋰離子電池裝置。

四、電動車電池常用名詞介紹

1. cell(單電池)、module(電池模組)、pack(電池組)

電動車電池最基本的單元為 cell(單電池)，由數個 cell 組合而成的稱之為 module(電池模組)，通常電池模組內會先進行 cell(單電池)的並聯以提高電容量，再進行串聯提高電壓，例如：4 顆 3.7V、60AH 的 cell(單電池)先並聯為 240AH，再進行串聯成為 11.1V 的 module(電池模組)(如圖 5)。



圖 5 cell 單電池及 module 電池模組

然而，最後再由數個的 module(電池模組)串聯組成一個最大的 pack(電池組)，例如：36 個 11V 的 module(電池模組)串聯成為 396V 的 pack(高壓電池組)(如圖 6)。



圖 6 pack 高壓電池組構造圖

2. SOC 充電狀態(State Of Charge)

$$\text{SOC} = \frac{\text{殘留電量}}{\text{額定電量}} \% , \text{例如：SOC}=0\% , \text{代表電池殘留電量為}$$

0% , 意即電量已耗盡。若 SOC=100% , 則表示電量尚未使用。通常情況下若 SOC=20% , 則會出現電壓不足的情況。

SOC 在純電動車 (BEV) 、混合動力車輛 (HV) 或插電式混合動力車 (PHEV) 中 , 電池組的電量類似一般汽車的油量錶 , 會決定後續不加油 (或不充電) 可以再行駛的里程(如圖 7)。



圖 7 電動車駕駛儀錶 - 剩餘可行駛里程

3. DOD 放電深度(Depth Of Discharge)

$$\text{DOD} = \frac{\text{放電量}}{\text{額定電量}} \% , \text{SOC 與 DOD 的量測方式相近，但意義相}$$

反 (100%表示電池完全放電，0%表示完全充滿) 。在討論放電使用中的電池時，會用 SOC 描述電池的情形，若是討論反覆充放電的電池壽命時，會用 DOD 來說明。

4. SOH 電池健康狀態(State Of Health)

$$\text{SOH} = \frac{\text{充電完成可釋放電量}}{\text{額定電量}} \% , \text{用以衡量電池的使用壽命及良}$$

好情況的指標稱為電池的健康狀態。例如：一顆 70AH，SOH100%的電池，表示充滿電時可以釋放 70AH 的電量，若隨著時間的使用 SOH 下降至 50%，此時充滿電後僅能釋放 35AH 的電量。通常 SOH 降低會直接影響電瓶充電後的性能表現

5. 容量(Capacity)

電池所能放電的電量(AH，安培小時)，例如：240AH，若以 5A 放電，可使用 48 小時。

電動車亦常以「度」電 (kWh，仟瓦小時) 來表示電池容量。

6. 重量能量密度(Density of Energy)

係指電池單位重量所能供應之能量，單位為：瓦-小時/公斤 (Wh/kg)。電池種類不同，能量密度也不同，其值越大越好。例如：100Wh/kg，則表示每公斤的電池可提供 100 瓦特小時的能量。

7. 能量轉換效率

$$\text{電池能量轉換效率} = \frac{\text{電池可放出之能量}}{\text{充電器對電池充入之能量}} \% , \text{其值越大越}$$

好。

五、電池的分類

一般來說，電池的分類主要可分為一次性電池(不可充電，使用後即棄)、二次性電池(可充電，重複使用)。雖然充電電池可由充電程式回復容量，但仍有其充電次數對壽命限制，本章節針對電動車之充電電池(鋰離子電池)作為討論重點，並將電池分類整理(如下表 1)：

表 1 電池分類整理表



a. 鉛酸電池(Lead Acid)：

發展最早，生產最成熟且已達量產階段，因此製造成本較低，具瞬間放電強，使用溫度範圍廣。但鉛酸電池在能量密度、體積、重量、使用循環壽命等性能表現較差，目前大量使用於汽機車蓄電系統。

b. 鎳鎘電池(Ni-Cd)：

鎳鎘電池能量密度及壽命均較鉛酸電池來的高，且可放電時，電壓變化不大，對於輕度的過充電/過放電之容忍度較大。但本身具有記憶效應及鎘之重金屬環境汙染，使其漸漸被淘汰。

c. 鎳氫電池(Ni-MH)：

鎳氫電池由鎳鎘電池改良而成(如圖 8)，以能吸收氫的金屬替代鎘，相同的價格下具有更高的電容量、較不明顯的記憶效應，且不具環境汙染。其次，鎳氫電池安全性較佳，電解液為水溶液，若發生短路情況也不易燃燒。回收再利用的效率比鋰離子電池好，被稱為是最環保的電池。但是與鋰離子電池比較時，卻有一定的記憶效應。



圖 8 生活用之鎳氫充電電池 3 號

鎳氫電池雖能量密度較鋰離子電池差，但運用於混動技術可以藉助引擎釋放能量補足，能量密度則不是最重點考慮因素，且鎳氫電池使用壽命也優於鋰電池(以目前市售油電車鎳氫電池可達 8-10 年)。由於研發和生產鎳氫電池產品已經超過 20 多年，品控、質量都已經得到很好控制，因此深受日本豐田 TOYOTA 油電

混合技術獨愛(如圖 9)。

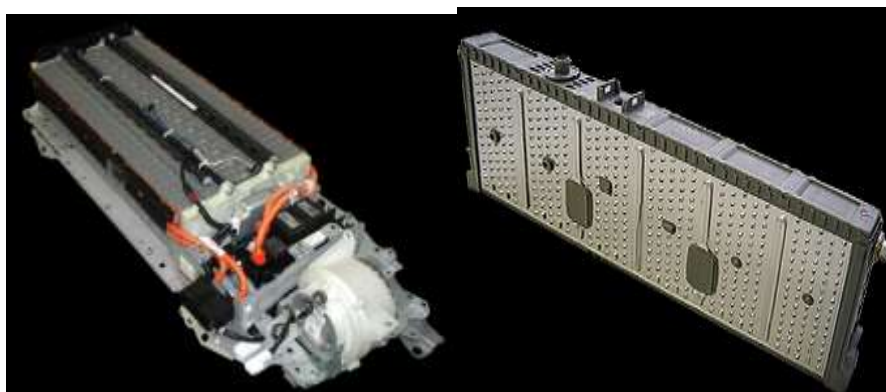


圖 9 TOYOTA 油電混合車之鎳氫電池(Ni-MH)

不過，隨著鋰離子電子技術發展日趨成熟，安全性逐漸提升，能量密度高及不具記憶效應的優勢使得鎳氫電池仍無法勝出。在超級電池問世之前，動力電池市場主流選擇依然是三元鋰電池和磷酸鐵鋰電池。

六、鋰離子電池的比較

1. 鋰鎳電池 (LiNiO_2)：

鋰鎳電池的成本較低且電容量較高，不過，製作過程困難且材料性能的一致性和再現性差，最嚴重的是依然有安全性問題。

2. 鋰鎳鈷電池 ($\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$)：

鎳鈷鋰電池是鎳鋰電池和鈷鋰電池的固溶體（綜合體），兼具鎳鋰和鈷鋰的優點，一度被產業界認為是最有可能取代鈷鋰電池的新正極材料，但是，鋰鎳鈷的循環壽命差、安全性不佳，需有安全迴路設計，若設計不良，容易因為使用時間過長造成過熱現象，甚至爆炸起火，加上鈷價格高，以致無法廣泛應用。

3. 鋰錳電池(Li-MnO_2)：

鋰錳電池成本低且安全性比鋰鈷佳，但循環壽命欠佳，且在高溫環境下有時會出現錳離子溶出的現象，造成嚴重自放電，導致儲存特性差。

4. 磷酸鋰鐵電池(LiFePO_4 , LFP)：

磷酸鐵鋰電池是一種使用磷酸鐵鋰作為正極材料，碳作為負極材料的鋰離子電池，單體額定電壓為 3.2V，充電截止電壓為 3.6V~3.65V。

磷酸鐵鋰電池同時擁有鈷鋰、鎳鋰和錳鋰的主要優點，但不含鈷等貴重元素，原料價格低且磷、鋰、鐵存在於地球的資源含量豐富，不會有供料問題，而且，工作電壓適中、電容量大、高放電功率、可快速充電且循環壽命長，在

高溫與高熱環境下的穩定性高，不會有燃爆的危險，是目前產業界認為較符合環保、安全和高性能要求的鋰離子電池(如圖 10)。



圖 10 兒童電動車電池 - 磷酸鋰鐵電池

5. 三元鋰電池($\text{LiNi}_{0.3}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_2$ ，NCM/NCA)：

三元鋰電池是以鋰離子電池的正極材料為命名，其材料包括**鎳鈷錳**酸鋰或**鎳鈷鋁**酸鋰等三元聚合物(如圖 11)。其中「三元」指的是包含**鎳、鈷及錳(或鋁)**3 種金屬元素的聚合物，正極材料中鎳、鈷、錳(或鎳、鈷、鋁)3 種元素的混合比例之不同，藉此調整電池成本與所需求的電化學性質等特性。

三元材料具有優異的高容量比、高標準電壓、高壓實密度以及低溫性能，且由於近幾年，三元正極材料經不斷淬煉改良，已具備相當優質的綜合性能，可滿足電動車輛鋰電池產品需求，成為目前最具有發展前景的新型鋰離子電池正極材料之一。



圖 11 鎳(Ni)、鈷(Co)、錳(Mn)三元鋰電池

(一) 電池的特性、用途、能量密度、壽命等比較。

上述介紹了眾多的電池種類、特性、用途等等，各種電池有各自的優點與缺點，我們可針對此將電池各種特性整理成一比較表如下(如表 2)，使我們對

於電池能有更進一步的了解。

表 2 電池產品特性比較表

| | 鉛酸電池 | 鎳鎘電池 | 鎳氫電池 | 鋰錳電池 | 磷酸鋰鐵電池 | 三元鋰電池 |
|-------------------|-------|------|------|------|----------|----------|
| 工作電壓 | 2V | 1.2V | 1.2V | 3V | 3.2-3.7V | 3.7-4.2V |
| 主要用途 | 汽機車蓄電 | 一般蓄電 | 油電車 | 一般蓄電 | 電動車 | 電動車 |
| 重量能量密度 (Wh/kg) | 30 | 60 | 80 | 110 | 140 | 300 |
| 安全性 | 佳 | 佳 | 佳 | 尚可 | 優 | 較差 |
| 充電時間 | 長 | 短 | 中 | 中 | 短 | 中 |
| 能量效率(%) | 60 | 75 | 70 | 90 | 95 | 95 |
| 記憶效應 | 無 | 大 | 小 | 無 | 無 | 無 |
| 循環壽命(次) | 400 | 500 | 500 | 500 | >2000 | 800 |
| 環保問題 | 有 | 有 | 無 | 無 | 無 | 有 |

整體而言，鋰離子電池問世以來，它相關的研究、開發工作便不斷的進行。以長期來看，已逐漸取代鉛酸電池、鎳氫電池。以上表可得知，考量磷酸鋰鐵電池及三元鋰電池之能量密度、安全性、充電時間、壽命等，是較可能成為電動車電池發展的主流，當然未來也可能出現更佳的電池選擇。

然而，磷酸鋰鐵電池及三元鋰電池有各自之優點及缺點，以磷酸鋰鐵電池來說，安全性高、循環壽命長(可達 7-8 年)、價格較低。但缺點為能量密度差，即意味著續航力較差。反觀三元鋰電池的能量密度高，即續航力佳，但缺點為安全性差、循環壽命差、元素有毒。

綜上所述，電池就如同電動車的心臟般的重要，無論哪一種類的電池，各大電池廠商^{註 2}最終的發展方向即是朝如何有更佳的能量密度、安全性、循環壽命、充放電效率及對環境的友善度。

註 2：截至 2021 年止，世界三大電池廠商為寧德時代(CATL)、LG 化學及 Panasonic 松下。

(二) 市售電動車輛使用之電池整理

為使讀者了解目前電動車市場所採用之鋰離子電池型式，盡可能蒐集市售廠牌之電動車電池型式資料，整理如下，以供參考。

表 3 各品牌電動車輛鋰離子電池型式整理表

| 品牌 | 車型 | 鋰離子電池型 式 | 電壓 | 容量(kWh) | 電池供應商 |
|----|----|-------------|----|---------|-------|
|----|----|-------------|----|---------|-------|

| | | | | | |
|---------|---------|-----|-------|-------|-----------|
| TOYOTA | BZ4X | NCM | 355V | 71.4 | Panasonic |
| NISSAN | Leaf | NCM | 350V | 40 | AESC |
| ADUI | E-tron | NCM | 396V | 95 | LG 化學 |
| Porsche | Taycan | NCM | 800V | 93.4 | LG 化學 |
| BENZ | EQC | NCM | 349V | 80 | 孚能科技 |
| BMW | i3 | NCM | 360V | 22 | 三星 SDI |
| Tesla | Model 3 | LFP | 360V | 74~77 | 寧德時代 |
| | | NCM | | | Panasonic |
| | | | | | LG 化學 |
| Gogoro | 全車系 | NCM | 43.2V | 1.3 | - |

****整理日期截至 2022.5

七、鋰離子電池內電阻實作檢測技術(配合實作單)

內電阻定義及功能：

內阻，又稱**內電阻**（internal resistance），是指電源內部存在對電流的阻礙作用。在理想狀態中，電壓源的串聯內電阻等於零，即是沒有電壓下降。但在實際電源中，均存在內阻。**實際電源可視為一個內阻為 0 的理想電源與一個電阻串聯**。在使用電源時，內阻會消耗一部分電能，同時也是使電源發熱的原因之一。

電池內阻，可以看成是一個內阻為 0 的電池與一個電阻串聯。電源內阻的大小取決於電池的大小、化學性質、使用時間、溫度和負載電流，**電池的內阻很小**，我們一般用**毫歐姆 mΩ**的單位來含義它。

電池的內阻通常隨著電池使用的時間增加而增大，所以當電池使用較久時，其內阻會增大，進而導致對外輸出的電動勢下降。因此，電池的內阻是衡量電池性能的一個重要技術指標。正常情況下，**內阻小的電池其大電流放電能力強，內阻大的電池放電能力弱**。

目前市售較出色的 18650 鋰離子電池**全新內阻值約 0.3~30mΩ**左右。一般正常狀態下參考值(不同廠牌內阻值會有所不同)：

- (1)電池的內阻值約 50m Ω為正常。
- (2)50-100m Ω能夠使用，但性能開始衰減。
- (3)100m Ω以上要並聯使用。
- (4)200m Ω以上無法使用。