

能源概論

**Sustainable
Energy**



第 14 章 電池電動車

- 14.1 簡介
- 14.2 電池的類型
- 14.3 BEV 的要求與設計
- 14.4 電池電動車 BEV 的歷史
- 14.5 超級電容器
- 14.6 摘要

14.1 簡介

- ◆ 交通對能源有其特殊的要求，這種能源必須是便攜式的。石油為基礎的產品對交通用途來說一直是占絕大多數的選擇。
- ◆ 生物燃料已經在世界上某些地方（如巴西）特別地成功，但它們在別處就不一定能這樣簡單直接地實行。

14.1 簡介

- ◆ 其他對環境有利的能源不是便攜性不足，就是能量密度非常低；如太陽能或風能。
- ◆ 車輛最可能使用之能量儲存的方式卻是電池和氫氣。如果是用來儲存由大多數替代方法所產生的電能，這兩種都是方便的機制，在此會相繼討論。

新能源汽車

- ◆ 近年來全球燃油車的使用量暴增，給我們的環境帶來更惡劣的影響，各國都紛紛需要減少或放棄燃燒傳統的一般汽油內燃機的汽車 **Internal Combustion Engines (ICE)** 並提出治污方案，推廣新能源汽車成為了改善空氣品質的一種途徑，新能源汽車包括五大類型：
 - 純電動汽車 **Battery electric vehicles (BEV)**
 - 油電混合動力汽車 **Hybrid Electric Vehicle (HEV)**
 - 插電式混合動力汽車 **Plug-in hybrid electric Vehicles (PHEV)**
 - 燃料電池電動車 **fuel cell electric Vehicles (FCEV)**
 - 其他新能源(例如：超級電容器、**氫能源車**、飛輪高效儲能器...等,) 汽車。

新能源車輛種類配置

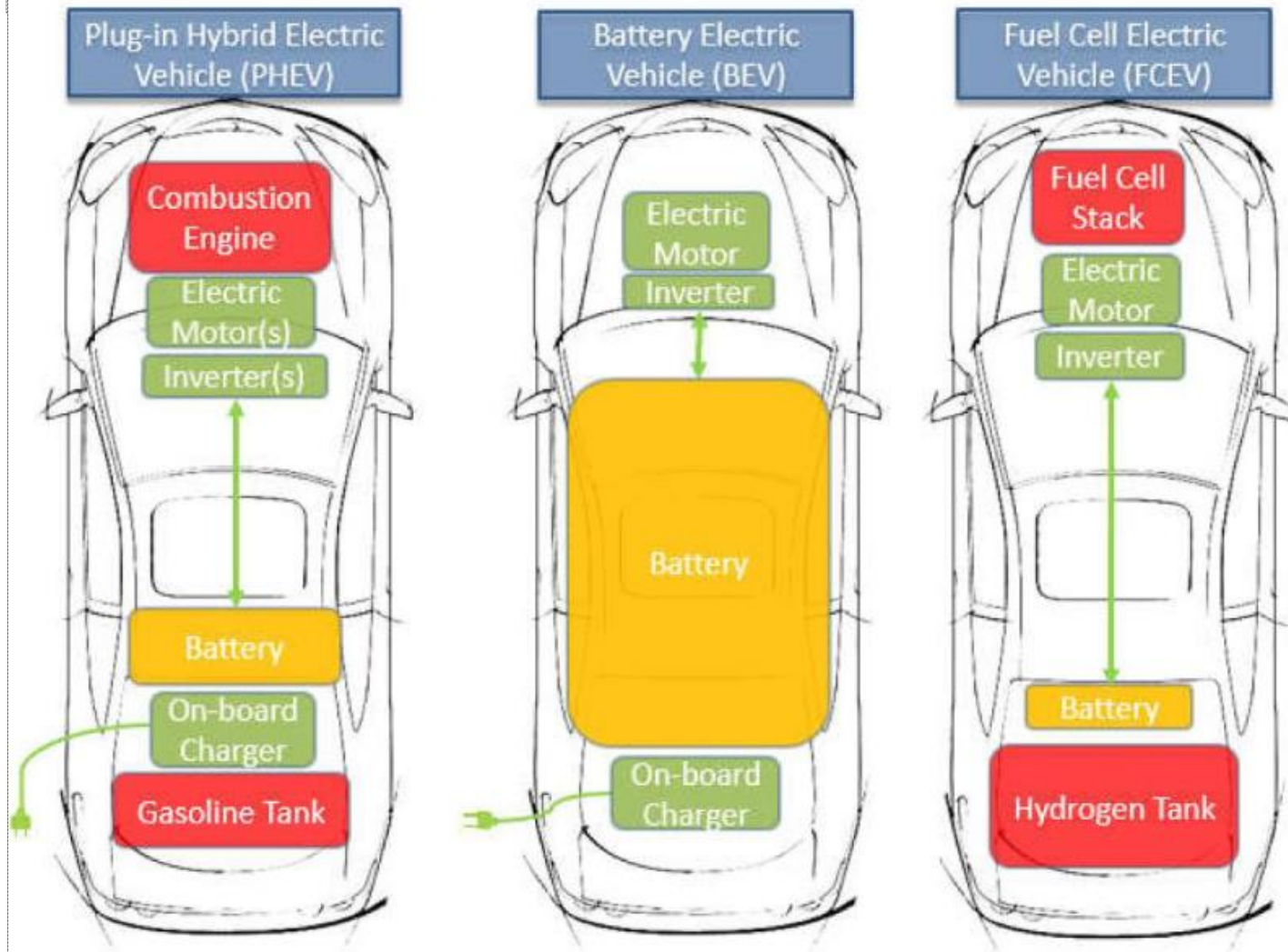


圖 1.新能源車輛種類配置

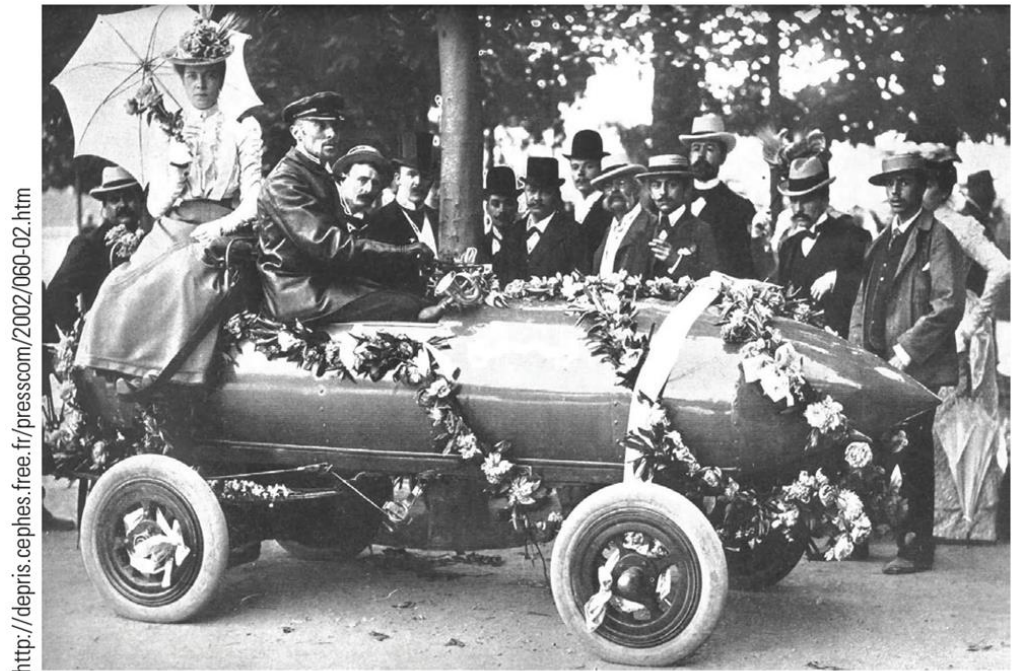
14.4 電池電動車的歷史

- ◆ **電動車** (electric vehicle, *EV*) 這個名詞實際上適用於廣泛範圍的設備，包括了如電動火車的完善技術。及電動自行車等。
- ◆ **電池電動車** (Battery Electric Vehicle, *BEV*) 或純電動車，是以電池的形式攜帶自己所需能源的設備，指以事前已充滿電的蓄電池供電給電動機，由電動機推動的車輛，而電池的電量由外部電源補充。如公共汽車、高爾夫球車。由於不會在路面排放廢氣，因此不會污染路面的空氣。

14.4 電池電動車的歷史 [10:33]

◆ 電動車曾比汽油動力車更多且更流行。其原因在於 BEV 是比較：

- 清潔的
- 安靜的
- 可靠的
- 容易啟動的
- 有力的



<http://depris.cephes.free.fr/presscom/2002/060-02.htm>

圖 14.3 卡米爾 Camille Jenatton 所設計並建造的雅邁 Jamais Contente (1899 年)。

電池電動車的原理

- ◆ 純電動車以蓄電池把能量存於車上，相等於一般汽車的油箱，為車輛提供電力給電動機，電動機把電能轉化為動能，推動車輛，結構上非常簡單。
- ◆ 純電動車所使用的電池是蓄電池，在電力用盡後經由車外輸入電源給電池充電。電動機推動車輪的方式可以是像傳統車輛般經差速器傳動到車輪，較新的作法是每個推動輪各自有一個電動機，電動機則直接推動車輪，省減了差速器。

- ◆ 電動車電池和一般車上負責啟動、照明以及點火（SLI）的汽車蓄電池不同。電動車電池需要可以在較長的時間內持續有功率輸出，屬於需要輸出相當程度電量的深循環電池（Deep-cycle battery）。例如用鎳鐵電池。深循環電池比較貴，壽命比較短一點，大約每三年就要更換。
- ◆ 電動車電池的特點是其較高的功率重量比、比能及能量密度：若電動車電池較輕，車重也會比較輕，可以提昇車輛的性能，因此一般會希望電動車電池的重量可以比較輕。
- ◆ 電池中儲存的電量（電荷數）是以安培小時或是庫侖為單位，而其儲存能量是以千瓦·時為單位。
- ◆ 相較於液態燃料而言，大部份電動車電池的比能仍然要過低，這也限制了車輛電動化的最大馬力範圍。里程數大到一定程度的車輛可能會因為重量問題而無法改為電動車。

- ◆ 電動車中的電池由於考慮其功率密度，最常見是鋰離子電池及鋰離子聚合物電池。其他用在電動車中的蓄電池有鉛酸蓄電池（滿槽鉛酸電池、深循環鉛酸電池，以及閥門調節鉛酸電池（valve regulated lead acid battery）、鎳鎘電池、鎳氫電池等，偶爾也有使用鋅空氣電池及熔融鹽電池（Molten salt battery）中的鈉鎳氯化物電池（zebra）。

電池電動車的原理

- ◆ 電動機通常除用作推動車輛外，在剎車時也充作再生制動系統的能量轉換器，把車輛的動能回收轉化為電能蓄存放電池中。不同於一般汽車，純電動在停下來時電動機是完全停下，完全不消耗能量。
- ◆ 特別的是純電動車馬達在低速時再加速能力傑出，已經有部分工作車輛（巴士、垃圾車高扭力需求的車輛等）換成電動馬達。同時也沒有怠速問題，就能有效抑制浪費。

污染及碳排放

- ◆但這不代表電動車必定不會產生污染或排碳，在產生電力給純電用車的過程中，視發電方式而會有不同程度的污染及碳排放；

製造過程與整個生命週期的污染及碳排放

- ◆ 在製造過程中，純電動車產生的碳排放量較多；而整個生命週期所產生的碳排放量較少，若把製造過程及整個生命週期所產生的碳排放一起計算，純電動車的碳排放不一定比一般汽車少，要視乎供電給純電動車充電的電源碳排放量多少而定，例如高效率的石化發電（因為內燃機效率常低於25%，採用發電廠渦輪則能換率就能達到60%）或是水力、風能、太陽能等再生能源來協助。

各類車輛所產生的二氧化碳如下：

類型	總排碳量 估算值(噸)	生產過程排 碳量比例	生產過程排碳量 (噸，估算值)
一般汽油內燃機的汽車：	24	23%	5.6
<u>油電混合動力：</u>	21	31%	6.5
<u>插電式混合動力汽車：</u>	19	35%	6.7
純電動車：	19	46%	8.8

- ◆ 純電動車產生的二氧化碳是一般汽車的79%，而混合動力車則是87.5%，
- ◆ 但若是在發電結構以燃煤發電為主的情況，例如在中國（可再生能源只佔20%），純電動車的碳排碳量會比混合動力車還高，如果是挪威，因為以水力和風力發電為主，就能讓排碳量獲得控制。然而，相關的論述也有提及如果將燃油在運輸過程中的耗能納入考量（例如將汽油透過管線或油罐車運輸至加油站的過程中之耗能），純電動車與混合動力車的單位里程碳排放量誰高誰低，仍然是個不易直接導出結論的問題。

碳排放量

- ◆ 電動車的碳排放量有兩個源頭，
 1. 一是車輛的生產過程，
 2. 二是行駛時需要發電廠提供電力，
- ◆ 根據"英國"的一個報導，以英國的情況：每度電產生500g二氧化碳（500g/kWh）及10%的汽油是生質燃料下，整個產品生命週期，包括生產、使用過程及棄置，
- ◆ 另一個純電動車的二氧化碳來源是電池，製造電池時產生的二氧化碳佔了整個生產程序的43%。

純電動車如何減低碳排放量

◆ 所以，純電動車若要真正能有助減低碳排放量就要以下四點配合：

1. 增加可再生能源在當地的發電量佔的比重，及發電設施的發電效率，以減小發電過程產生的二氧化碳。
2. 降低輸電網路的能量損耗。
3. 在離峰時間充電的碳排放會比在尖峰時間充電還要低。
4. 改善電池生產技術，以減小生產時產生的二氧化碳。

純電動車的加速性能

- ◆現今的純電動車性能在多方面都相當不錯。純電動車的加速性能取決於電池的放電功率大小。現時純電動車的加速性能已經與一般汽車無異，甚至較優。
- ◆純電動車跑車方面，Tesla Roadster，加速由0至97公里/小時只需3.9秒，一般房車例如Smart ED0至50km/h是6.5秒，這主要歸功於電動機的性能，

電動車電池的成本

- ◆ 電池組 (battery pack) 的成本佔電動車總成本中相當的比例。截至2019年，若以千瓦小時的單位成本來看，電動車電池的成本已較2010年下降了87%。2018年時，全電里程數超過250 mi (400 km) 的電動車 (像是Tesla Model S) 已商品化，應用在不同的車輛領域中。



(a)



(b)

圖 14.12 2011 年的 Tesla Model S 型電動車：(a) 外觀及 (b) 行李箱（底板可折疊起來增加兩個後向的兒童座椅）。

純電動車的性能

- ◆ 至於極速，很多純電動車都能達至100km/h以上，像Tesla Roadster一類跑車更達到200km/h以上，而且只需轉一次檔。
- ◆ 若考慮運行時的成本，純電動車在行駛時需要的電費是同功率汽車燃料費的一小部份而已，因此其能量轉換效率較高。

純電動車的性能 [10:25]

- ◆但當用在負重較大的用途上時，使用純電動車的還不多，這可能是由於電池的性能及成本所至。在扭力方面是電動機的強項，因此在一般用途扭力不會的是問題。
- ◆由於電動機的扭力輸出穩定，控制也比內燃機容易，純電動車的行駛較暢順，震動及雜訊也較小；也不需如一般汽車那樣需要經常換檔才能確保有足夠動力。

純電動車的性能

- ◆ 自從1990年代末開始，可攜式電子產品、筆記電腦、手機及電動工具的需求已帶動鋰離子電池的技術進展。電動車的市場也因此獲益，在電池的性能及功率密度上都有所提昇。鋰離子電池和以往的鎳鎘電池不同，鋰離子電池可以每天充放電，而且可以在任何電量狀態下進行充電或放電。

充電時間

- ◆ 理論上，純電動車的電池能在極短時間內充滿（**充電時間10分鐘內**），但快速充電代價是該次充電所得的電量較少，該次的行駛距離會明顯減少，對電池壽命也有不利影響。

- ◆ 另一個限制是現時純電動車的充電時間多是受制於輸電網路的輸出功率，例如北美國家最大是1.5kW (110V)，3kW (240V)，歐洲國家多數能夠提供三相電源，可以有20-30kW，充電時間約為7-20小時，如用專用充電配套，則可以有10分鐘至4個鐘頭，視乎電池種類大小而定。Mitsubishi i-MiEV就可以在30分鐘內充電達80%電量。
- ◆ 有別於一般汽車的入油情況，充電所需時間與電池容量關係不大，因為同一物料的電池，容量大的，也可相對應加大充電電流。

更換電池

- ◆ 除充電外，也有直接換上已充滿的電池，只要設計得宜，只要一兩分鐘就可以完成，但電池成本相對高。用換電池方式的話，多購一兩份電池，起始成本就高了不小，況且各款車所需電池也不同，難以同時在各處存放足夠各款電池。
- ◆ 對大型車輛來說，電池體積同重量也不小，要常更換也不是好主意。另一個問題則是能快速更換電池的設計很難以低成本兼顧安全性。

◆ 里程焦慮

- ◆ 里程焦慮一詞是源自於純電動車的問題，因為電池剩餘容量不能準確得知，所以當電池電量顯示讀數低時，駕駛者不能足夠精確地掌握餘下電量足以行走多遠。其實如果電池容量夠大，這並不是問題。

碳排放量及環境污染

- ◆ 純電動車同樣會產生污染及碳排放，不同的是純電動車把污染及排碳轉移到生產的工廠及發電廠，在這些設施中有較好的污染控制，污染排放位置離人口較遠，行走時的碳排放較低。

電動機

- ◆ 由於電動機（馬達）的功率重量比較內燃機引擎高，在同樣輸出動力下重量較輕，而且扭力穩定得多，沒有內燃機引擎在轉速低時扭力低的缺點。
- ◆ 一般汽油引擎的效率只有15%（即所消耗汽油有85%被浪費掉，只有15%用作推動汽車），而柴油引擎略好一點，有20%，電動車用的電動機則有80%以上，效率非常高。

- ◆現在使用在純電動車有多種電動機，有直流電動機，也有交流電動機。直流電動機方面一般是串聯直流無刷電動機，效率約有85-90%，最高紀錄達96%。另外有由步進馬達(Stepping motor)衍生出來的開關式磁阻電動機(SRM)。

- ◆ 交流電動機方面則有交流無碳刷電動機及電感電動機（非同步電動機）。由於電池輸出的是直流電，需要轉換器把直流轉成交流後才供應給交流電動機，設計較複雜。
- ◆ 這些電動機全部都是無刷設計，其成本較高，但效率較也較高，且較耐用及所需保養較少。直流無刷電動機及交流無碳刷電動機需要使用永久磁鐵，當中直流無碳刷電動機的推動相對較簡單。

- ◆ 由於電動機的扭力穩定而且較內燃機大，可以不經齒輪增強扭力就直接推動車輪。有些純設計在每個車輪都有獨立的電動機推動，電動機放近並直接推動車輪每個電動機，因而可以個別調整速度，以保持良好的循跡性能，免卻了離合器、變速器、差速器等機械傳動系統的能量損耗，減輕了車身重量，減低了噪音及震蕩，也省卻了部份機械維護工作，增加了可靠性，而且讓出更多車箱空間。
- ◆ 由於電動機體積小，某些設計直接把電動機裝在車輪之內，這種設計叫輪轂電動機或輪內電動機。

14.4

- ◆ 在電動車的設計和生產上需要關注幾點：
- 續航力（行駛範圍）
 - 充電時間
 - 成本
 - 電池更換成本

14.4 電池電動車的歷史

- ◆ 電池性能決定了純電動車的最大行程、充電時間。
- ◆ 電池成本占了整體成本相當大的比重，製造電池的排碳量也占了整個使用週期排碳量相當大部份（43%）。所以電池是純電動車發展的最重要的技術關鍵，
- ◆ 重要的電池性能參數有：電池容量、充電時間、電池壽命。
- ◆ 電池技術進步以及產量提昇帶來的電池成本下降，可以提昇電動車相較於傳統內燃機車輛的競爭力。

電池容量

- ◆ 電池容量取決於製造電池物質的能量密度，能量密度可以指在一定體積或重量下的儲存能量的多少，在純電動車中，一般較關注的是重量能量密度（ Wh/kg ），因為重量越大，車輛加速等情況消耗的能量越高。而當外來因素如上坡等需要增大輸出功率時，會使電池容量會變小，使得行駛距離比標稱預期的短。電池容量影響二次充電之間最遠的行駛距離，在合理體積及重量下現今的電池還未能提供純電動車及得上一般汽車的行程。

充電時間

- ◆ 近年電池技術在充電速度上有突破性進展，一般充電大約需時3至4個小時，某些種類的電池使用專用充電設施的話可以在15-20分鐘內充完滿，快將實化的新電池可在8分鐘充至80%充滿。
- ◆ 新技術使電池能在十數分鐘完成充電，但較慢速的充電方式相對地有利延長電池壽命，部份新研發的電池能令快速充電對壽命的影響降低，而快速充電能力帶來的另一好處是能更有效地在再生制動時，如剎車、落斜時回收並儲起在車輛的動能或位能，能增加實質行駛距離。

電池壽命

- ◆一般的充電電池只能充放電數百次，對純電動車來說並不足夠，所以使用在純電動車的電池都針對電池壽命作出改進。影響電池壽命的因素除製造電池的物質外，同一電池在不同使用條件下，電池壽命也有不同，在不同的電量狀態下，以不同的電流充電或放電會對電池壽命有不同影響；放電低於某一水平及充電至高於另一水平都會對電池壽命有損害，也即在剩餘電量不太高也不太低的一個"窗口"內充放電才不至損害電池壽命，但是這個窗口的大小會因放電電流或充電電流的變化而改變。

- ◆在混合動力車上在需要時可以即時由發電機向電池充電，使電池保持在理想電量之內，大幅延長電池壽命，有些型號的電池大多可使用超過10年。
- ◆但在純電動車上不可能在電池需要充電時就馬上有充電用的電源，而電動車本身的行程就已不太足夠，要預留一部份備用電量就變相減少電池可用電量。所以製造商在增加電池容量的同時，也研究如何增加不會損害電池壽命的電量範圍。

電池成本

- ◆ 麻省理工科技評論 估計2020年時電動車電池組的成本約在每千瓦小時225美元到500美元之間。2013年 美國節能經濟委員會的研究指出電池成本從2007年的1,300美元/kW-h降到2012年的500美元/kW-h。美國能源部設定其贊助電池研究的目標成本，在2015年時是300美元/kW-h，2022年時則是125美元/kW-h。
- ◆ 通用汽車在2015年在其年度全球商務會議上表示：他們預期鋰離子電池組的成本在2016年時，會降到145美元/kW-h，比許多分析師的預估都要低。通用汽車也預期在2021年底時的成本是100美元/kWh.全世界在2016年的鋰離子電池產量對應的電力有41.57 GW-h

- ◆ 前美國能源部長朱棣文 估計40英里時程的電池費用會從2008年的美金12000元，降到2015年的美金3600元，在2020年會再降到美金1500元。
- ◆ 相較於傳統的燃油車，鋰離子電池、鋰離子聚合物電池、鋁空氣電池及鋅空氣電池的比能值足以高到有夠理想的充電後里程數以及充電後次數。

14.2 電池的類型

- ◆ 電池所包含的總能量 (MJ) 與比能量 (MJ/kg) 和電池質量 (kg) 有關：
- ◆ 車輛的**續航力** (driving range , 又稱行駛範圍) 與可用的總能量有關 (或多或少) 。
- ◆ 在設計電動車時選擇電池的類型，必須盡可能提高比能量以及**比功率** (或稱功率密度，即每單位質量的功率) 。

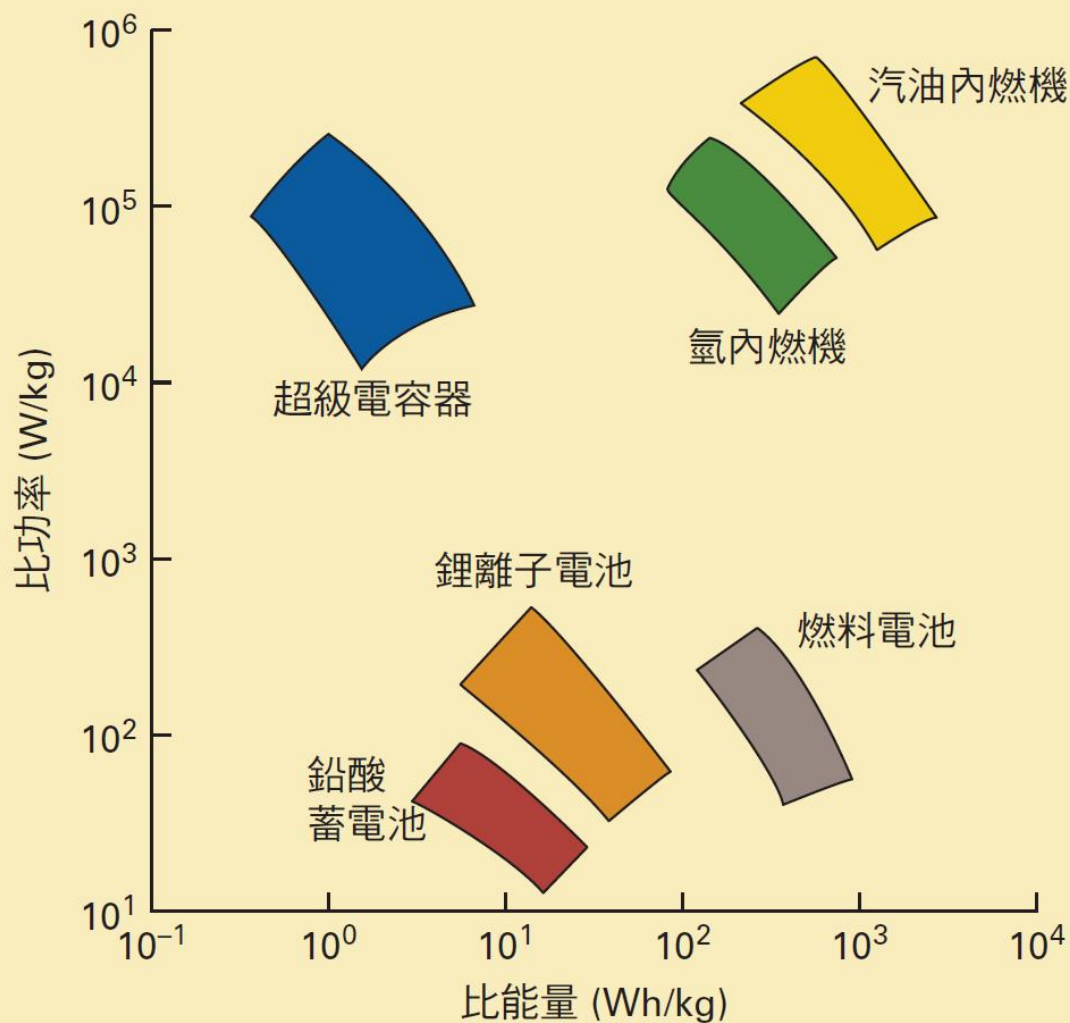


圖 14.2 各類型電池的功率能量關係（Ragone 圖），與其他可能用在運輸上之能量儲存方法比較。

電動車電池分類

- ◆ 鉛酸電池
- ◆ 鎳氫電池 (NiMH)
- ◆ Zebra電池
- ◆ 鋰離子電池

14.2 電池的類型

- ◆ 電池是一種將電能以化學能方式儲存起來的電化學裝置。它由一個或多個電池單元組成。
- ◆ 每一個電池單元由兩個串聯的半電池單元組成，其中一個半電池單元含有**陽極**（anode，或正極）以及電解質，而另一個半電池單元含有**陰極**（cathode，或負極）以及電解質。

14.2 電池的類型

- ◆ 電池可被分為
 - 一次 (primary) 電池
 - 二次 (secondary) 電池
- ◆ 一次電池一般都比較小，價格也相對地高，適用於功率需求相對較小的器件，或是只間歇性地利用電力的裝置；最常見的類型是一次鋰 (Li) 電池)、鋅 - 碳電池或鹼性電池。

14.2 電池的類型

- ◆ 電動車必須使用二次電池或可充電電池。
- ◆ 電池的能量含量取決於電池化學以及電池的大小。
- ◆ 比能量〔specific energy，或稱**能量密度**（energy density），即每單位質量的能量〕取決於電池化學，對於較大的電池來說，鋅—碳電池可達 36 Wh/kg 左右，而鹼性電池約為 160 Wh/kg。

表 14.1 一些標準鋅－碳電池與鹼性電池的性質。全都是圓柱形的，產生的電壓大約 1.5 V。

尺寸	直徑 (cm)	長度 (cm)	體積 (cm ³)	鋅－碳			鹼性		
				質量 (g)	能量 (mWh)	容量 (mAh)	質量 (g)	能量 (mWh)	容量 (mAh)
AAA	1.05	4.45	3.85	7	270	540	12	1875	1200
AA	1.35	5.05	7.23	14	560	1100	23	4275	2700
C	2.62	5.0	26.96	41	1600	3800	66	12,500	8000
D	3.42	6.15	56.50	90	3500	8000	148	30,750	12,000

© Cengage Learning 2015

表 14.2 一些二次電池的化學特性，所示者為標準值，比能量以標準公制單位（MJ/kg）表示，同時也以一般用於代表電池性能之傳統單位（Wh/kg）表示，其中 $278 \times (\text{MJ/kg}) = (\text{Wh/kg})$ 。（NiMH = 鎳金屬氫化物）

化學	電池電壓 (V)	比能量		比功率 (W/kg)	自我放電 (%/月)	壽命 (次數)
		(MJ/kg)	Wh/kg			
鉛酸	2.1	0.13	36	100	4	600
鎳鎘	1.2	0.22	56	150	20	1500
鎳氫	1.2	0.28	78	800	20	1000
鋰離子	3.6	0.58	160	300	7	1200

© Cengage Learning 2015

電動車鉛酸電池

- ◆ 電動車鉛酸電池可以分為兩種：負責車輛引擎發動點火的電池（汽車蓄電池），以及深循環電池（Deep-cycle battery）。汽車蓄電池在設計時會只用其一部份的電力，提供較大的放電電流，以啟動引擎，而深循環電池是持續性的提供電池，使電動載具（例如叉車或是高爾夫球車）運行。深循環電池也用在娛樂性車輛的輔助電池，不過需要多級充電。鉛酸電池放電時，不能使電量降到其容量的50%以下，若電量過低，會降低其壽命。鉛酸電池需要定期檢查電極及電解液，偶爾也需要補充電解液。

鉛蓄電池

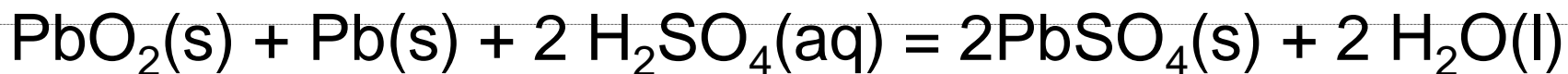
- ◆ 蒲朗第 (Gaston Planté , 1834-1889) 於1859年所發明世界上第一個實用的鉛蓄電池。剛開始由於初期的鉛蓄電池加工成型過程冗長難以大量生產，因而不受重視。直到1881年法國科學家福耳 (Camille Alphonse Faure , 1840-1898) 將電池設計做了重大改進，把氧化鉛 (Pb_3O_4) 直接塗佈於鉛板上，才讓鉛蓄電池開始得以商業化。
- ◆ 現今鉛蓄電池多用於汽、機車等交通工具，近年來更發展出各種不同用途如可在水中和在低溫下使用的電池，更使其使用範圍增大，對我們愈來愈重要。

鉛蓄電池

- ◆和一次性電池（Primary battery）不同，鉛蓄電池可再充電重複使用，又稱為二次電池（Secondary battery）或可充電電池（Rechargeable battery）。
- ◆因為使用鉛為原料，鉛的價格便宜，成為在二次大戰中被大量生產的二次電池。充電時，將兩電極接上直流電源（陰極接陰極，陽極接陽極），電池內部就會進行放電時的逆反應，使陽極的硫酸鉛還原成鉛，陰極的硫酸鉛氧化為氧化鉛。

鉛蓄電池

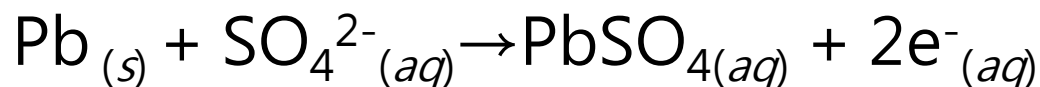
- ◆ 鉛蓄電池式最常見的電池之一，以硫酸為電解液，故又稱鉛酸電池。鉛蓄電池可在短時間內大量放電，且長時間放電電壓穩定，也沒有鹼性電池的記憶效應缺點。
- ◆ 鉛酸蓄電池一般由正極板、負極板、隔板、電池槽、電解液和接線端子等部分組成。鉛酸蓄電池中的正極板活性物質（二氧化鉛 PbO_2 ）與負極板活性物質（海綿鉛 Pb ）和電解液（30%-40%的稀硫酸溶液）。
- ◆ 正極：二氧化鉛(PbO_2)
- ◆ 負極：鉛(海綿鉛 Pb)
- ◆ 電解液：稀硫酸（30%-40%的稀硫酸溶液）



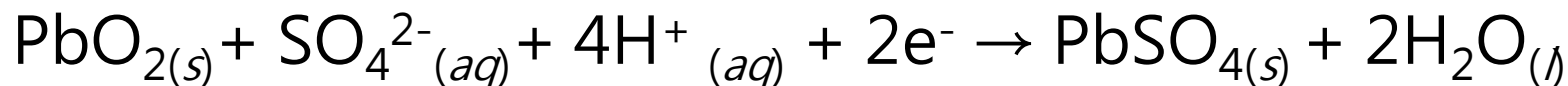
鉛蓄電池

◆ 鉛蓄電池的基本構造是在硫酸中浸泡氧化鉛板和海綿鉛板，而這兩塊板子就是兩個電極：負極為鉛板，正極為氧化鉛板(許多鉛蓄電池的電極使用銻含量4.2%的鉛銻合金，或含鈣0.8%的鉛鈣合金)。當電池放電時，陽極的鉛變成鉛離子並產生電子，並和硫酸中的硫酸根離子化合成硫酸鉛附著在陽極上。電子通過電線至陰極形成電流，和陰極的氧化鉛(IV)反應成硫酸鉛(II)。其反應式如下：

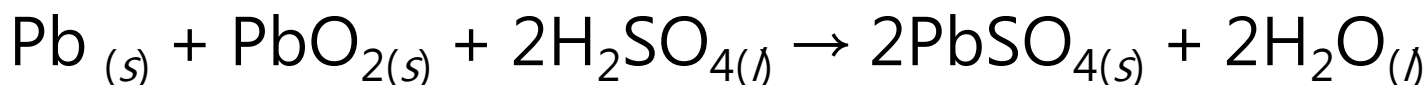
◆ 陽極反應： $E^\circ = 1.685$



◆ 陰極反應： $E^\circ = 0.356$



◆ 總反應： $E^\circ = 2.041$

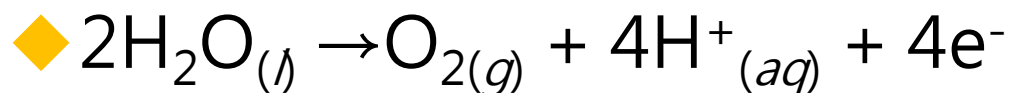


鉛蓄電池

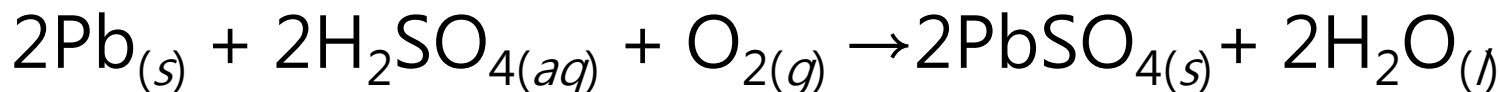
- ◆ 每一組鉛蓄電池的電壓約2伏特，一般汽車用12伏特電池是由6組串連所組成。
- ◆ 充電時，將兩電極接上直流電源（陰極接陰極，陽極接陽極），電池內部就會進行放電時的逆反應，使陽極的硫酸鉛還原成鉛，陰極的硫酸鉛氧化為氧化鉛。
- ◆ 陰極反應： $\text{PbSO}_4(\text{aq}) + 2\text{e}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Pb}(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$
 陽極反應： $\text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{PbO}_2(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^-$
 總反應： $2\text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Pb}(\text{s}) + \text{PbO}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$

- ◆ 為解決鉛蓄電池需要常加水的不便，科學家研發出免加水的鉛蓄電池。設計免加水的鉛蓄電池首先利用封閉系統使水分不致蒸發，此外讓水在電池反應中淨消耗降至最低。科學家讓二極板上的活性物之質量懸殊，使充電時有一極常處於充電不足的狀態；
- ◆ 在充電時，由於氧不會在電池內累積，且會生成水，而陽極總是充電不足狀態，不會產生氫氣，也就使水分不致短少，達到免加水的目的。

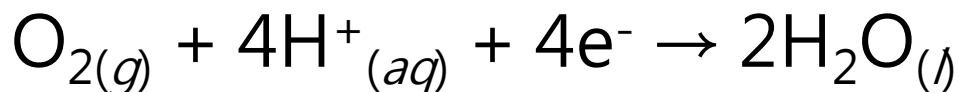
◆ 例如陽極上的鉛量遠大於陰極上的二氧化鉛，在充電時，陰極充足電，回復放電前二氧化鉛的狀態時，陽極仍在行充電的反應，於是陰極附近的水發生氧化，產生氧氣，



◆ 放出的氧氣擴散到陽極上，與活性物質鉛反應，



◆ 氧氣亦可在陽極與氫離子反應產生水：



- ◆ 目前深循環電池的效率（70–75%）及儲存電量會在溫度較低時下降，而加熱線圈最多會將效率及電池里程數降低40%。
- ◆ 鉛酸電池的充電及運行會釋放氫、氧、硫，這些是會自然產生的物質，若有適當通風，一般而言是無害的。早期的Citicar（Citicar）若沒有適當的通風，在充電之後立刻會在車廂內出現異味。
- ◆ 早期的電動車會使用鉛酸電池，例如通用汽車的原始版本EV1。現今純電動車所使用的電池有鎳氫電池或鋰離子電池，兩種電池都可以回收再用。

鎳氫電池

- ◆ 鎳氫電池（Ni-MH battery）是指以鎳及能吸收儲存、釋放氫離子的金屬組成的電池。鎳氫電池較重，能量密度（30-80 Wh/kg），比鉛酸電池高，但比鋰離子電池低。輸出功率也較低，而充放電效率也不及鋰離子電池，只有60-70%。壽命相當長，這在混合動力車上已得到證實。自放電較大及在低溫下性能較差的問題在近年已大為改進。雖然成本較鋰離子電池低，但由於效率低、較重及充電需時，新的純電動車大多不再使用鎳氫電池。

鎳氫電池

- ◆ 鎳氫電池的充電和放電的效率（60–70%）較鉛酸電池低，但其比能為30–80 Wh/kg，比鉛酸電池高很多。鎳氫電池若正確使用，其壽命非常的長，例如在混合動力車輛以及第一代的NiMH Toyota RAV4 EV（英語：Toyota RAV4 EV）已運行了十年，里程超過100,000英里（160,000公里）仍可以正常運作。其缺點有效率低、高自放電、充電週期不穩定，以及在冷天氣時的效能不佳。

鎳氫電池

- ◆ 鎳氫電池改良了鎳鎘電池，以儲氫合金取代負極的鎘，安全無污染，電壓：1.2 V
- ◆ 正極：氫氧化鎳 負極：儲氫合金
- ◆ 電解液：氫氧化鉀

總反應式： $\text{MH(s)} + \text{NiO(OH)(s)} = \text{M(s)} + \text{Ni(OH)}_2\text{(s)}$

- ◆ 有輕微的記憶效應與自放電性，可低溫(-20°C)下運作。能量密度較低,但電流較大。

熔融鹽電池 (Molten salt battery)

- ◆ Zebra電池
- ◆ 鈉鎳氯電池或稱為Zebra電池，用熔化的四氯鋁酸鈉 (NaAlCl_4) 為電極。Zebra電池是比較成熟的技術，其比能是 120 Wh/kg 。因為電池要加熱才能使用，在天氣冷時使用，除了因為加熱需要耗費的額外成本外，對性能的影響不大。
- ◆ Zebra電池的充放電循環可以超過1000次，而且沒有毒性。Zebra電池的缺點包括比功率較低 ($< 300 \text{ W/kg}$)，需要將電極加熱到 270°C (518°F)，會消耗一些能量，在長程的能量儲存上會是問題，而且也是潛在的危險。

鋰離子電池

- ◆ 最早商品化的鋰離子電池以鈷酸鋰為陰極，石墨為陽極，一開始是由N. Godshall在1979年發明，約翰·B·古迪納夫及吉野彰很快也開發了類似的產品。
- ◆ 傳統鋰離子電池的缺點包括對溫度很敏感、低溫的性能不佳、以及性能會隨著使用時間而退化。傳統鋰離子電池有會揮發的有機電解質、高危險的金屬氧化物，且其陰極SEI層對熱不穩定，若穿洞或是不正確充電，可能會著火。早期的電池在極低溫時無法充放電，因此有些氣候下必須配合加熱器使用。
- ◆ [特斯拉Roadster](#)以及特斯拉的其他車輛就使用傳統鋰離子電池，是用在筆電上的電池相似。

鋰離子電池 [18:44]

- ◆ 鋰離子電池：藉由鋰離子在電極間移動來運作。
- ◆ 電壓：3.3V~3.6V
- ◆ 正極：鋰鐵磷酸鹽 負極：石墨
- ◆ 電解液：鋰鹽
- ◆ 總反應式：



- ◆ 特點：無記憶效應、
- ◆ 工作範圍高(-25~45°C)

鋰離子電池

- ◆ 鋰離子電池 (Li-ion battery) 是以鋰及其他物質組成的電池。鋰離子電池較輕，能量密度高達(200+ Wh/kg)，輸出功率較高，充放電效率高達80-90%，而自放電較鎳氫細少，但價格較鎳氫高。
- ◆ 但一般手提電腦、手提電話用的鋰離子電池只有數百次的充放電壽命，即使儲存不使用，隨時間增加容量也會衰減，而且有潛在危險，例如爆炸等。而使用在純電動車的鋰離子電池有別於上述一般鋰離子電池，大幅改充放電次數、存放壽命等問題，缺點是容量較一般鋰電池略小（但仍比鎳氫電池大）
- ◆ How it is made - [鋰電池篇](#) [6:35]

例題 14.1

試計算能提供 1 kWh 能量之鉛—酸電池的質量。請重新對鋰離子電池再做一次這樣的計算。

解答

例題 14.1

試計算能提供 1 kWh 能量之鉛－酸電池的質量。請重新對鋰離子電池再做一次這樣的計算。

解答

從表 14.2 中，鉛－酸電池的能量密度是 36 Wh/kg。從方程式 14.1，電池的質量與比能量以及總能量有關，亦即

$$\text{質量} = \frac{\text{能量}}{\text{比能量}}$$

因而

$$\text{質量} = \frac{1 \text{ kWh}}{0.036 \text{ kWh/kg}} = 27.8 \text{ kg}$$

對於鋰離子電池而言，比能量為 160 Wh/kg，因此，其質量為

$$\text{質量} = \frac{1 \text{ kWh}}{0.160 \text{ kWh/kg}} = 6.25 \text{ kg}$$

- 近來的電動車已使用新一代的鋰離子電池技術，在比能以及比功率上比較差，但是在防火、環境友善程度、快充能力（多半在幾分鐘即可充飽）以及壽命上比較好。
- 這些差異（像是磷酸鹽，鈦酸鹽，尖晶石）已證實可以提高壽命，而用磷酸鋰鐵的A123 Systems型壽命可以超過10年，充放電週期超過7000次。
- LG化學開發的鋰離子氧化鎂電池（Lithium ion manganese oxide battery）預估可以使用超過40年。

- 現在適合並已用於純電動車的鋰電池有磷酸鋰鐵電池及鈦酸鋰電池。
- 由於鋰離子電池優點多，很多新研究都基於鋰離子電池；其他相關的研究有lithium-manganes spinel 電池、Lithium vanadium oxide 電池、Silicon nanowire 電池、silicon nanoparticles 電池及tin nanoparticles 電池。

◆ 磷酸鐵鋰電池，相對一般鋰離子電池，磷酸鐵鋰電池輸功率較大，充電速度較快，但容量低14%。磷酸鐵鋰電池可有數千次的充放電次數及超過十年的使用期，有的更可以達7000次以上的充放電週期，而且有較佳的化學及熱穩定性，不會爆炸，較為安全。

◆ **【Formosa LFPO Smart Power 台塑鋰鐵智慧型電池】** 鋰鐵電池 低碳節能 非凡新聞 [2:44]

- ◆ 鈦酸鋰電池，相對一般鋰離子電池，輸出功率較大，較安全，充電速度極高，壽命相當長，但容量有待改進而且成本特別高。
- ◆ 現時有兩家公司研發鋰鈦電池：
 1. 日本東芝研發的鋰鈦電池SCiB，20Ah電池在1C充放電4000次充放電後仍有80%的容量，充放電5000次後也有75%以上
 2. Altairnano的鋰酸鈦電池 Nanosafe電池，可在充放電15000次，12年後仍保有80%的容量。

【東芝】二次電池・SCiB(TM) [1:52]

- ◆現在在實驗室中也有許多有關鋰離子電池的研究。速霸陸汽車的原型G4e中已使用**鈳酸鋰電池**，其能量密度可以到一般鋰離子電池的二倍。陽極的矽奈米線、矽奈米顆粒及錫奈米顆粒可能也可以提昇能量密度，而陰極的複合材料及超晶格也可能會提昇能量密度。
- ◆有新的資料指出：鋰離子電池受熱以及快速充電都會使其退化的比一般使用要快，平均而言，電動車電池在服務六年六個月後，儲電量仍可維持原來的90%。像是Nissan LEAF的電池的老化速度是Tesla的兩倍，因為Tesla有電池的主動散熱系統，而LEAF沒有。

凝聚態電池

- ◆ 凝聚態電池擁有安全性高、可靠性強、循環壽命長等特點。除了能量密度高、安全性好，凝聚態電池的能量密度高達 500Wh/kg ，這相比起目前液態鋰離子電池的理論能量密度上限 350Wh/kg 就已經高出了30%，
- ◆ 凝聚態電池的另一個優勢是快速充電能力，要比傳統鋰離子電池快得多，傳統鋰離子電池通常需要幾個小時才能充滿電。凝聚態電池可在數分鐘內完成充電，因此非常適合需要快速充電的電動汽車和消費電子產品。
- ◆ 安全性能的提高也是凝聚態電池優勢，凝聚態電池由於其電解液完全不同於普通液態鋰離子電池的電解液呈完全100%的液態狀態，而是一種半固態化的膠質狀態，這使得凝聚態電池既能完成鋰離子在正負極的傳導工作，也因為電解液本身的粘性使得流動性降低，能提高動力電池整體的安全性能，避免了傳統液態鋰離子電池的熱失控的巨大風險。

次世代固態鋰電池

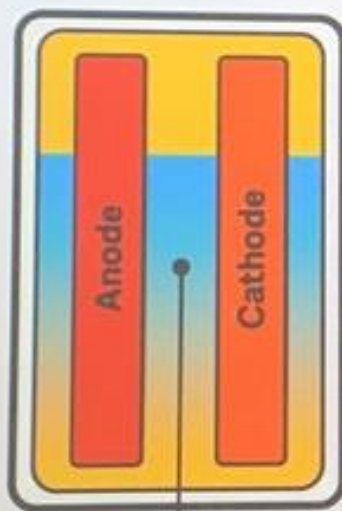
- ◆ 電池約佔一台電動車整車的 30-40% 成本，但現有的鋰電池是以凝膠體、聚合物等液態物質作為電解質，有易燃、需要特定擺放方向等問題。
- ◆ 但固態電池是用固態物質當電解質，相比液態電池更不容易過熱，而且能量密度更高，[輝能科技](#)表示，像這顆 Gogoro 的固態電池一旦量產，就能在跟一、二、三代相同體積的狀況下提升至 1.4~1.5 倍容量，儲存電量從 1.7 kWh 增加至 2.5 kWh。

- [2022/03/09 INSIDE 報導](#)

次世代固態電池 基礎原理

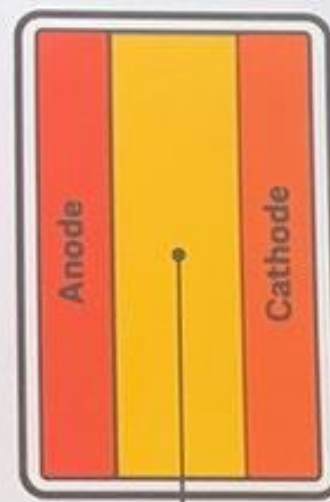
以固態電解質取代傳統易燃、低穩定性的電解液與隔離膜

傳統
液態鋰電池



高分子液/膠態電解質
X 低安全性
X 低穩定性
X 操作環境/條件侷限

次世代
固態鋰電池



固態電解質
O 高安全性
O 高穩定性
O 極端環境/條件耐受性

ProLogium

Based on Moura, J. B. Siegel, D. J. Siegel, H. K. Fathy, A. G. Stefanopoulou "Education on Vehicle Electrification: Battery Systems, Fuel Cells, and Hydrogen," Proceedings of the 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Lille, France, 2010

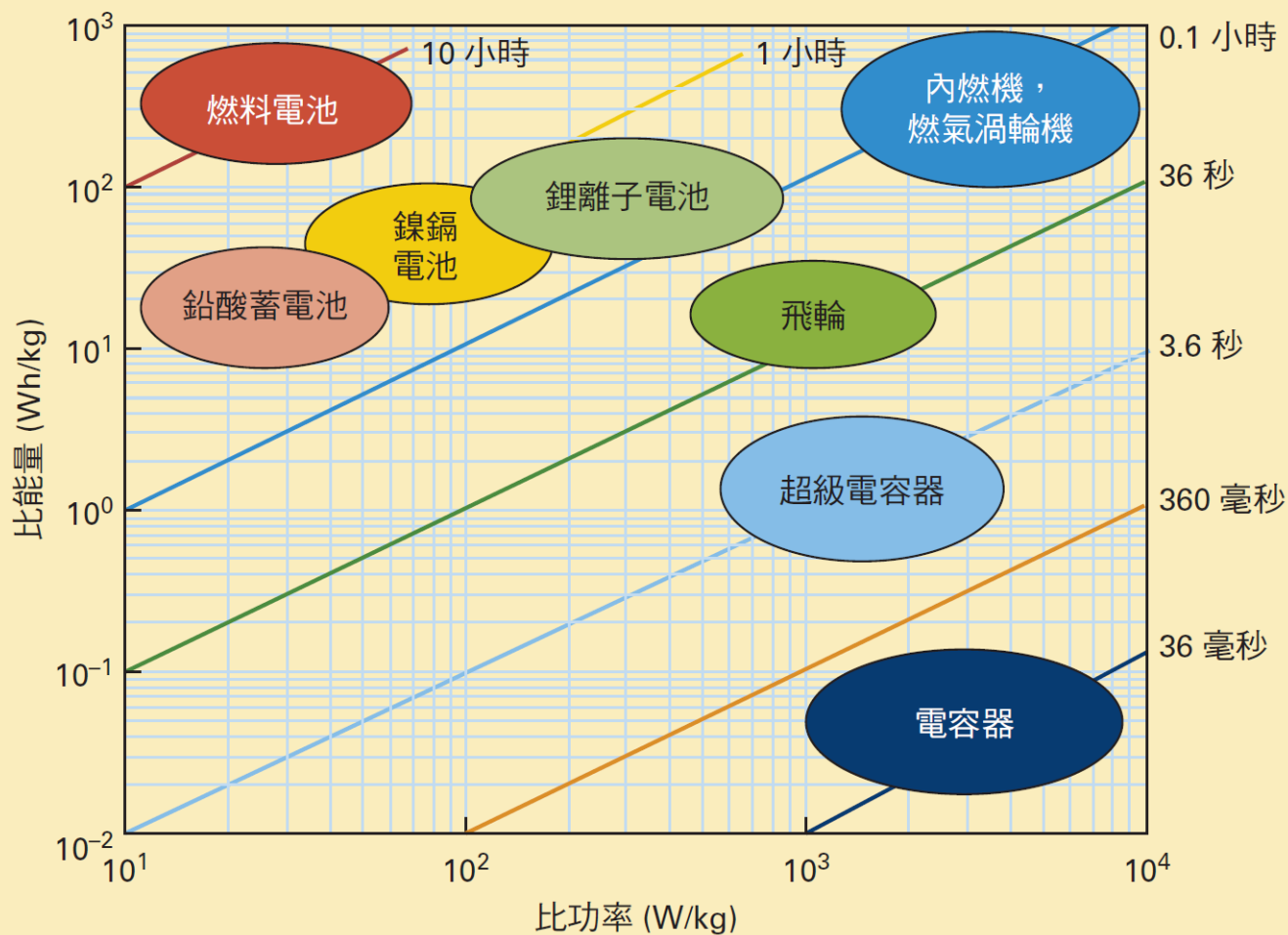


圖 14.1 二次電池類型之比能量和比功率 (Ragone 圖) 的關係，同時顯示其他之車輛相關能源儲存方法以做比較。

14.3 BEV 的要求與設計

表 14.5 使用鋰離子電池之電動車的特點。

© Cengage Learning 2015

電池質量	功率	續航力
100 kg	30 kW	80 km
300 kg	90 kW	250 km
725 kg	217 kW	600 km

- ◆ 在一般情況下，傳輸給車輪的最大電力受限於引擎的規格，而且可能比電池所能給的電力少得多，還有，在正常行駛期間所用到的電力也比最大可用電力少得多。

- ◆ 目前全球電動車動力電池主要供應商，以中國寧德時代、韓國LG Chem和日本廠商松下為主，由於正極材料又占鋰電池成本逾五成以上，從鋰電池的正極材料來看，大致上分成三大類：鈷酸鋰、磷酸鋰鐵與三元材料；三元指的是「鎳鈷錳」(NCM)或「鎳鈷鋁」(NCA, nickel-cobalt-aluminum)三種金屬元素聚合物，依照調配比例的不同而來，能量密度高、循環性能好是三元電池最大優勢，近幾年更成為電動車電池的主流。磷酸鐵鋰電池(LFP, Lithium-iron(Fe)-Phosphate)能量密度較低，低溫性能差，但近年已通過技術升級不斷被優化，開始被電動車大廠採用。

	鈷酸鋰	磷酸鋰鐵	三元材料
簡稱	LCO	LFP	NCM532、NCM622、 NCM811、NCA
成分	Li_xCoO_2	Li_xFePO_4	$\text{Li}_x\text{Ni}_{0.5}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$ 、 $\text{Li}_x\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$ 、 $\text{Li}_x\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ 、 $\text{Li}_x\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ 、
電壓(V)	3.5-3.7	3.2-3.7	3.7-4.2
密度(g/cm3)	5.0	3.6	4.5-4.8
容量(mAh/g)	140-150	120-145	160-200
循環壽命(圈)	500	1500-3000	500-1000
成本(USD/Kg)	50	15-25	30-40
應用	家電、3C產 品	小型儲能系統、 電動自行車、電 動巴士、UPS	3C產品、電動工具機、 電動車

馬斯克看好“磷酸鐵鋰電池”(LFP)

未來會全面取代現有的三元系鋰電池？

業者分析：短期內很難有誰取代誰的狀況

- 三元電池因續航力長、安全性差，因此成本高，適用於高階車款
- 磷酸鐵鋰電池因續航力短、重量重，但安全性佳、成本低，適用於平價車種

◆雖然三元電池在**能量密度、電壓強度和續航里程**上，相比磷酸鋰鐵電池都更勝一籌，但鈷礦的取得長年以來一直存有道德問題，據了解，非洲剛果民主共和國的鈷產量占全球七〇%，但許多當地礦廠卻雇用童工採礦引發爭議，而且三元電池當中的鎳、鈷原料在高溫結構不穩定，導致在高溫環境下容易爆炸，因此電動車產業需耗資數十億美元針對電池安全性做強化。再者，上游原材料鈷、鎳等價格近年持續走高，也對電動車商原料取得和生產成本產生壓力，更不利於電動車普及化，一般來說磷酸鐵鋰電池能量密度低，低溫性能差，這些問題近年已通過技術升級不斷被優化，因此開始被電動車大廠所採用。

例題 14.1

試計算能提供 1 kWh 能量之鉛—酸電池的質量。請重新對鋰離子電池再做一次這樣的計算。

解答

- ◆ 此外，這些鋰電池的陰極Cathode需要使用鈷(LiNiCoAlO₂)，而全球鈷產量有54%來自政治動蕩不安的剛果民主共和國(**Democratic Republic of the Congo**)。
- ◆ 鋰的全球供應量也有限，而目前鋰離子電池回收的比率還不到5%。從鋰離子電池回收的材料可用於新電池，把生產成本降低10%到30%，美國能源部也推出總獎金550萬元的鋰離子電池再生獎，鼓勵研究人員和企業發展可大規模使用的程序，以期用有利可圖方式回收美國90%丟棄或報廢的鋰離子電池。能源部訂定的目標是：把電動車電池的成本降到每一度電力80元。

電池回收問題

- 人們對鉛酸電池的污染印象太深。事實上鋰電池的利用價值高、回收技術豐富，而且創新活躍：
「現在主要是三條路徑：火法回收、濕法回收、直接回收。火法回收、濕法回收要把整個電池材料分解為元素，現在新出現的直接回收是保留材料晶體結構的，所以是更先進的、也是創新更活躍的一種。」

14.3 BEV (純電動汽車) 的要求與設計

◆ 生產能上市的電動車需要考慮到幾個重點：

1. 經濟
2. 電池耗盡電量時的充電問題
3. 電動車的總能量消耗
4. 是製造電池對環境的影響

14.3 BEV 的要求與設計

◆ 所有的汽油動力車不全然都具有相同的特性。

表 14.3 一些典型類別之消費汽車的實例和名義技術規範（ca. 2012）。使用指定的能量是汽油的初級能源含量，使用在車輪上的能量為這個值再乘上 0.17 的效率。

類型	典型實例	質量 kg	功率 kW	功率/質量 kW/kg	油耗 L/100 km	能源使用 MJ/km	續航力 km	新車價格 (US\$1000)
微型	智能車	820	53	0.065	6.2	2.2	530	13
小型	本田喜美	1200	105	0.088	7.9	2.7	630	16
家庭型	豐田 Camry V6	1575	200	0.13	10.7	3.7	650	25
豪華型	Mercedes 奔馳S63	2120	390	0.18	16.9	5.9	530	130
跑車	藍寶堅尼 Murcielago	1670	475	0.28	23.6	8.2	420	350
小型 SUV	馬自達 Tribute	1520	130	0.085	9.8	3.4	630	23
大型 SUV	Land Rover Range Rover	2590	230	0.09	15.7	5.5	660	78

14.3 BEV 的要求與設計

- ◆ 汽油的能量含量 (34.8 MJ/L)，每公里所使用的能量如下式

$$34.8 \text{ MJ/L} \cdot (\text{L}/100 \text{ km}) = 0.348 \text{ MJ/km} \quad (14.2)$$

表 14.4 一輛標準家庭電動車的規格。

屬性	目標
質量	1400 kg
功率	150 kW
續航力	600 km
價格	US\$20,000

© Cengage Learning 2015

14.3 BEV 的要求與設計

- ◆ 如果使用的是含量為 0.13 MJ/kg 的鉛—酸蓄電池，續航力為 600 公里所需要之電池的質量為

$$(600 \text{ km}) \times \frac{0.7 \text{ MJ/km}}{0.13 \text{ MJ/kg}} = 3230 \text{ kg} \quad (14.3)$$

- ◆ 由這些電池所提供的可用功率為

$$(3230 \text{ kg}) \times (0.10 \text{ kW/kg}) \times (0.85) = 275 \text{ kW} \quad (14.4)$$

- ◆ 滿足電力需求僅需要

$$\frac{150 \text{ kW}}{0.10 \text{ kW/kg} \times 0.85} = 1760 \text{ kg} \quad (14.5)$$

例題 14.2

試就能提供一輛續航力為 600 公里的汽車所需電力的鋰離子電池，計算其質量以及相應的最大可用功率。

解答

例題 14.2

試就能提供一輛續航力為 600 公里的汽車所需電力的鋰離子電池，計算其質量以及相應的最大可用功率。

解答

使用典型電動車之電池的能量需求 0.7 MJ/km 以及鋰離子電池的比能量 0.58 MJ/kg，可求出所需的質量：

$$(600 \text{ km}) \times \frac{0.7 \text{ MJ/km}}{0.58 \text{ MJ/kg}} = 724 \text{ kg}$$

724 公斤的鋰離子電池其最大可用功率可從比功率 300 W/kg 算出：

$$(724 \text{ kg}) \times (0.3 \text{ kW/kg}) = 217 \text{ kW}$$

行駛距離

- ◆ 純電動車的最大行駛距離一向都未如理想，這完全取決於電池的技術及成本。另外由於路面、交通情況，負重等多種因素都會令電池的效率、容量有變化，行駛距離不可能準確地掌握。
- ◆ 因此需要有在不同路面情況下行駛距離的測試準則，在各地區都有自己的純電動車行程距離測試標準，而也有分為一般行走距離與市區行走距離。美國的標準由美國國家環境保護局定立（EPA標準）。

續航里程

- ◆ 當初Tesla Roadster的續航里程為244英里（393公里）。一般 Roadster充一次電也可行320km。
- ◆ 整體來說，現今的純電動車的行程已經能趕上一般汽車。以目前現行販售的電動車款來說，純電續航力大多都落在**400至600公里之間**，對比一般燃油車可說兩者有著不相上下的成績，舉典型電動車Tesla Model 3為例，標準版就擁有485公里的純電續航力，頂規的Performance車型也能上看至563公里實力。
- ◆ 最常見的電耗表示單位為「km/kWh」，km/kWh代表「消耗1度電能開幾公里」，就像你現在會說1公升跑幾公里的概念，**數字越大越省電**。

電動車輛能源效率標示

- ◆ 2005經濟部能源局公告的電動車輛能源效率標示格式中，能源效率的表示單位即為「公里/度」，也就是目前很常見的「km/kWh」。舉個例子，Kona Electric EV300搭載的鋰電池組容量是39.2kWh，也就是將其從0充至滿電需要39.2度電
- ◆ 為了符合電氣化趨勢，經濟部能源局針對電動車的能源效率測試與標示，在2021年7/21日公告電動車輛能源效率標示格式，應包含年耗電量、車輛類別、廠牌、認證車型、能源效率、純電行程、最大輸出馬力及說明欄等。並於2022年1月1日起強制實施，

13.8 交通運輸

13.8b 混合動力車

13.8b 混合動力車 [2:07]

- ◆ 混合動力車同時含有汽油引擎和電池以提供動力給電動馬達。汽油引擎用於提供動力給車輛，而電池則驅動電動馬達來提供輔助電源。

13.8 交通運輸

13.8b 混合動力車

- ◆ 更近期的發展是**串聯式混合動力車**（series hybrid vehicle）。因為可以把車輛插入外部電源進行充電，有時被稱為**插電式混合動力車**（plug-in hybrid）。



Richard A. Dunlap

圖 13.21 第一代本田 Insight 混合動力車。



IFCAR

圖 13.22 雪佛蘭Volt（串聯式混合動力車）。