

能源概論

**Sustainable
Energy**



13.9 抽蓄水力電廠

- ◆ 典型的電力需求是時間的函數，它也有長期的季節性變化。
- ◆ 可行的方案就是擁有一個輔助發電設施，在需要時可以讓它迅速接上電網；另一種方案是將低需求期間所產生的多餘能量儲存起來，然後在需求超過容量時使用它。

13.9 抽蓄水力電廠

◆ 抽蓄水力發電是一個完善的技術，公共事業普遍使用它來解決電力需求的變化。

◆ 法蘭西斯水輪機一類的渦輪機既可逆轉作為泵，也可順轉用來驅動發電機。儲存在上水庫之水的能量由下式給出

$$E = mgh \quad (13.8)$$

◆ 所產生的功率是

$$P = \frac{dE}{dt} = gh \frac{dm}{dt} = \rho gh \frac{dV}{dt} \quad (13.9)$$

Based on <http://www.tva.gov/power/pumpstorart.htm>, <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/boysen2/images/f2big.gif>, http://www.consumersenergy.com/uploadedImages/CEWEB/OUR_COMPANY/Electricity/Pumped_Storage/how-the-ludington-pumped-storage-facility-works.gif?n=2055

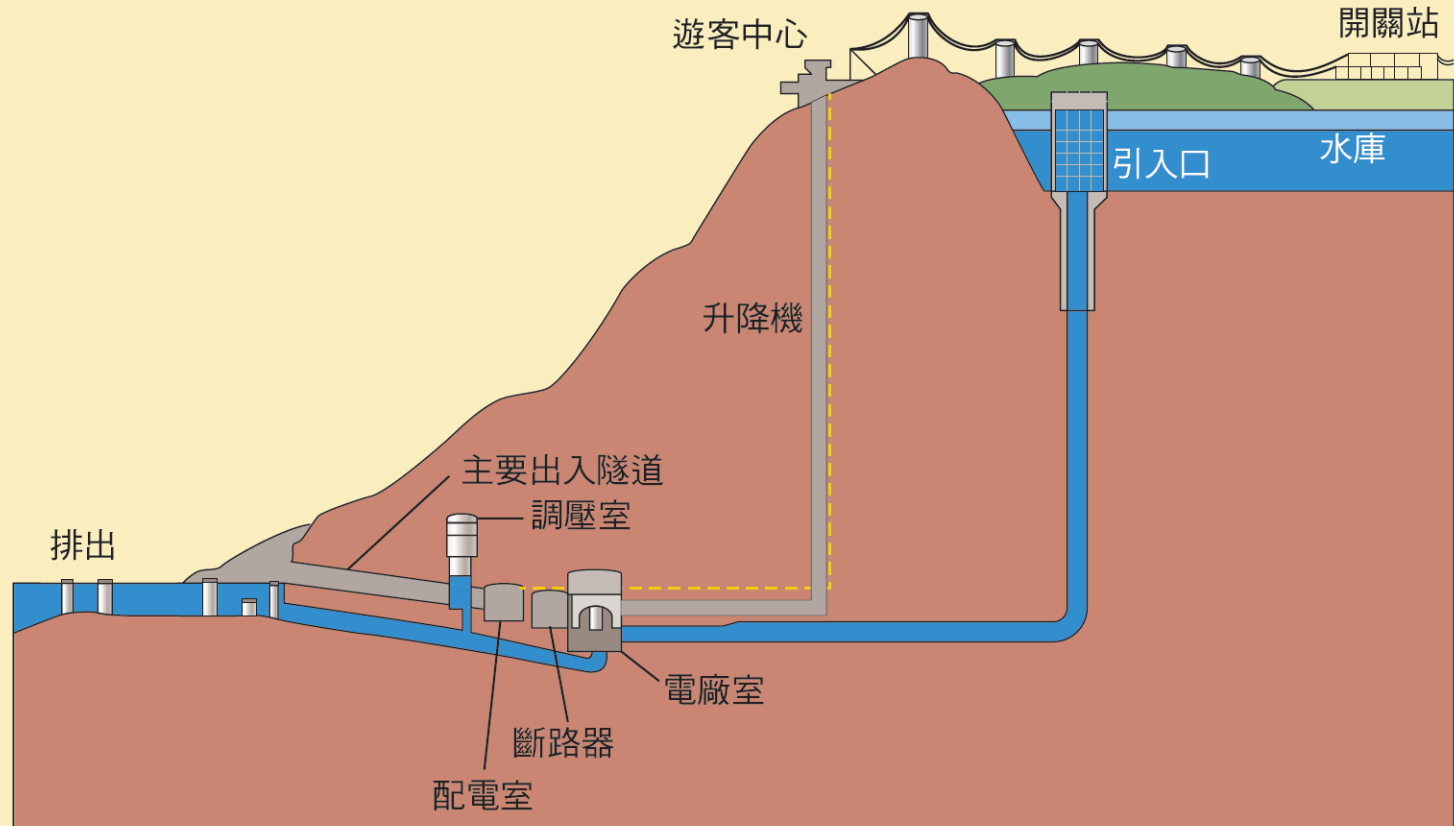


圖 13.23 抽蓄水電設施的圖解。

13.9 抽蓄水力電廠

- ◆ 抽蓄水電儲存是最適合作為一種與發電方法結合的蓄電方法，這些發電方法本質上是會有變化的，諸如太陽能或風能。

例題 13.8

一個抽蓄水電站之上水庫面積為 0.5 km^2 ，平均深度為 10 m 。水頭為 100 m 的水流向較低的水庫。試問可用的總能量為多少 MWh ？

解答

例題 13.8

一個抽蓄水電站之上水庫面積為 0.5 km^2 ，平均深度為 10 m 。水頭為 100 m 的水流向較低的水庫。試問可用的總能量為多少 MWh？

解答

儲存在水中的重力位能由下式給出

$$E = mgh$$

儲存在上水庫之水的總質量可由其體積和水的密度算出來：

$$m = \rho V = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (0.5 \times 10^6 \text{ m}^2) \times (10 \text{ m}) = 5 \times 10^9 \text{ kg}$$

因此儲存的能量為

$$E = (5 \times 10^9 \text{ kg}) \times (9.8 \text{ m/s}^2) \times (100 \text{ m}) = 4.9 \times 10^{12} \text{ J}$$

轉換為 MWh 是

$$E = (4.9 \times 10^{12} \text{ J}) \times (2.78 \times 10^{-10} \text{ MWh/J}) = 1361 \text{ MWh}$$

13.9 抽蓄水力電廠

- ◆ 抽蓄水電儲存的基礎設施成本相當大，但維護和運行成本卻也相當的低。它可以迅速回應需求的變化而被連上電網。儲存的壽命很長，雖然因為自然滲漏和蒸發的緣故致使壽命不確定。
- ◆ 全世界抽蓄水電的總容量超過 80 GW。在美國，抽蓄水電產能約占基礎負載發電量的 2.5% 左右。在歐洲，它大約是 5.5%

13.10 壓縮空氣儲能

- ◆ 壓縮空氣跟抽蓄水力發電很像，是一種大型能量儲存的裝置。
- ◆ 壓縮空氣早在 1800 年代末就已有大量的使用，作為一種配送動力的方法；在 1890 年代，整個巴黎城市約有 50 多公里長的壓縮空氣管路，為工業應用、縫紉機、印刷機和其他機器提供機械動力。

13.10 壓縮空氣儲能

◆ 在壓縮氣體中所需要的能量為

$$E = nRT \cdot \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right) \quad (13.10)$$

◆ 在某些溫度和壓力的限制內，儲存在壓縮空氣中的能量（以 kJ/m^3 表示）可近似於

$$E/V = 100 \cdot \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right) \quad (13.11)$$

13.10 壓縮空氣儲能

- ◆ 在實際應用上，當氣體被壓縮時，部分被輸入到系統中的能量會加熱氣體（而不是壓縮它）。這種壓縮稱為絕熱壓縮，會導致一些能量的損失。
- ◆ 目前有兩個類型的商業設施正在運作中：
德國 Huntorf 和美國阿拉巴馬州
- ◆ 歐洲的電廠具有 290 MW 的容量而北美的電廠為 110 MW。兩家電廠都利用天然地下洞穴作為儲氣庫。

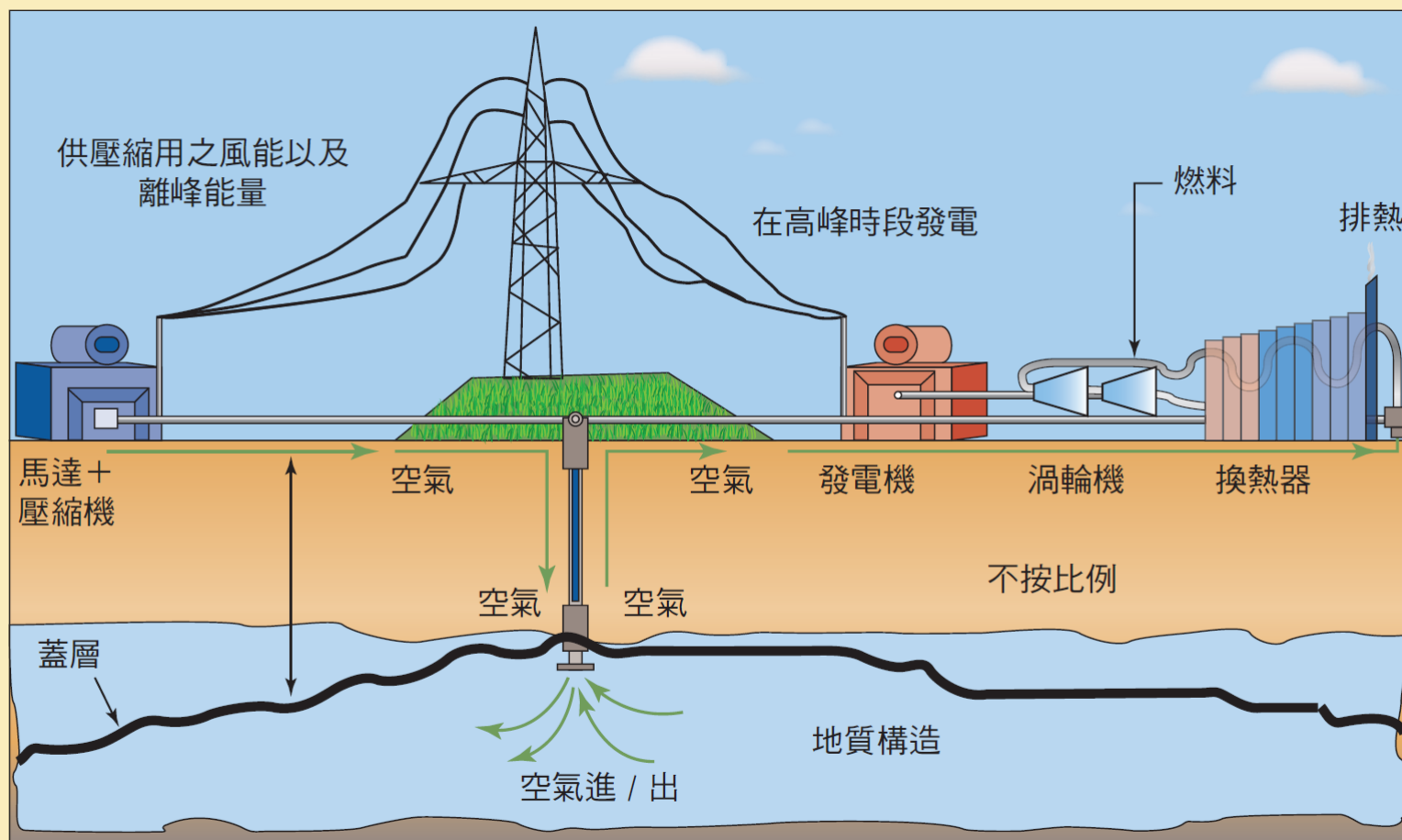


圖 13.24 典型大型壓縮空氣能量儲存系統的示意圖。

例題 13.9

試估計一個大小為 $10 \times 10 \times 10 \text{ m}^3$ 之洞穴中的壓縮空氣，在 5 MPa 的壓力下理論上所能儲存之最大能量。

解答

例題 13.9

試估計一個大小為 $10 \times 10 \times 10 \text{ m}^3$ 之洞穴中的壓縮空氣，在 5 MPa 的壓力下理論上所能儲存之最大能量。

解答

從方程式 13.11，

$$\frac{E}{V} = 100 \cdot \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right)$$

5 MPa 的壓力相對於大氣壓的大小是

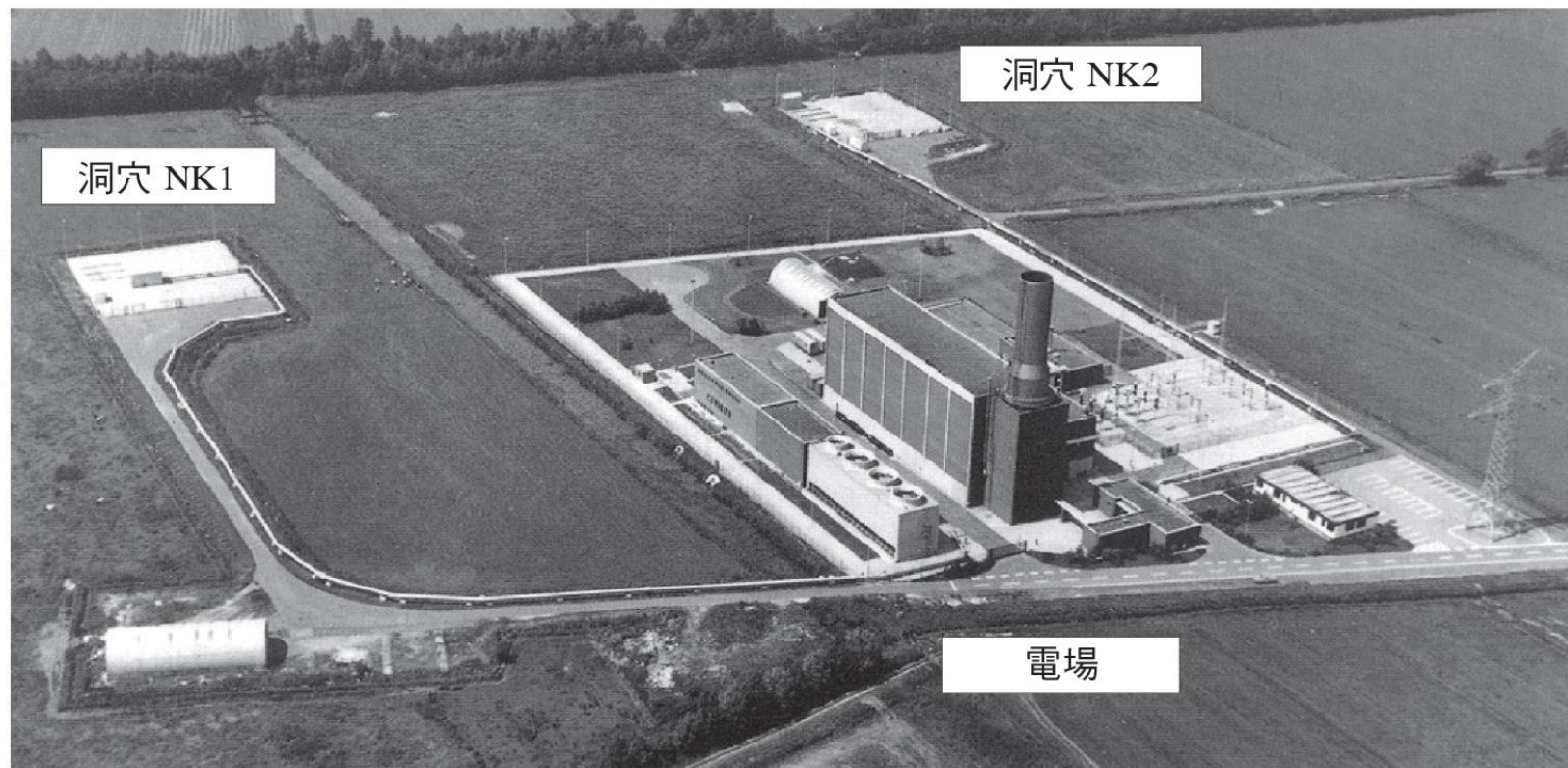
$$\frac{5 \text{ MPa}}{0.1013 \text{ MPa}} = 49.3$$

所以每單位體積儲存的能量是

$$\frac{E}{V} = 100 \ln(49.3) = 390 \text{ kJ/m}^3$$

體積為 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 1000 \text{ m}^3$ 時其儲存的總能量為

$$390 \text{ kJ/m}^3 \times 10^3 \text{ m}^3 = 390 \text{ MJ}$$



 **13.25** Huntorf 壓縮空氣儲能設施。

13.10 壓縮空氣儲能

- ◆ Huntorf 電廠利用了兩個地下洞穴，總可用體積達 $300,000 \text{ m}^3$ 。壓縮機需要約 12 小時才能充分壓縮洞穴內的空氣，而當空氣從洞穴釋放時，渦輪機可以產生高達 290 MW 的電力，長達 3 小時（總共 870,000 kWh）。
- ◆ 在阿拉巴馬州的麥金托什工廠由於熱回收系統的改善，使它的效率超過了 Huntorf 電廠。它使用一個更大的地下洞穴（約 $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ），雖然所產生的電力較少，但它可以供電長達 26 小時。

13.11 飛輪

- ◆ 飛輪 (flywheel) 是一種機械裝置，帶有很大的慣性距 (moment of inertia)，已多年被用來穩定那些軸上轉速的起伏，軸轉速的起伏不定是由於力矩變動所引起的。
- ◆ 運動中的物體具有一個與其質量 m 和速度 v 有關的動能：

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \quad (13.12)$$

13.11 飛輪

- ◆ 轉動中的物體具有一個與其旋轉運動相關的動能

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (13.13)$$

- ◆ 與其每秒轉動幾圈的頻率 f 有關，如下所示

$$\omega = 2\pi f \quad (13.14)$$

- ◆ 軸對稱的物體（圓柱形），其轉動慣量與其質量和半徑有關

$$I = k m r^2 \quad (13.15)$$

13.11 飛輪

◆ 這些方程式可以合併為

$$E = 2\pi^2 k m r^2 f^2 \quad (13.16)$$

◆ 就飛輪而言，最有利的幾何形狀是環。這種形狀保證質量分布盡可能地遠離轉軸。這在過去一直是飛輪一種常用的設計，用來穩定旋轉軸上的負載

表 13.3 方程式 13.15 中不同幾何形狀的常數 K 。

幾何形狀	k
圓盤	1/2
環	1
實心球	2/5
球殼	2/3

© Cengage Learning 2015

13.11 飛輪

- ◆ 例如，貨運火車的鋼輪，這大約是一個質量 $m = 400 \text{ kg}$ 且半徑 $d = 0.85 \text{ m}$ 的典型固體盤（例題 1.3）。這樣一個行駛中之典型貨運列車之車輪的轉動能量可以點亮 60 W 燈泡大約半小時。
- ◆ 飛輪材料的機械性質對設計來說非常重要。
- ◆ 飛輪設計的一個簡單的定量方法，必須考慮到圓形旋轉物體之邊緣上的應力。

13.11 飛輪

◆ 輪緣應力可以表示為

$$\sigma = \rho r^2 \omega^2 \quad (13.17)$$

◆ 這個式子可以與方程式 13.13 和方程式 13.15 結合而得到

$$E = \frac{1}{2} km \left(\frac{\sigma}{\rho} \right) \quad (13.18)$$

例題 13.10

考慮一個理想的自行車車輪，質量為 1.2 kg ，其所有的質量位於一個直徑為 0.7 m 之薄環的邊緣上。如果車輪的初始轉動頻率為每秒 2 轉（相當於以 4 m/s 的速度行進的自行車），試計算這個車輪的轉動能量能夠照亮一個 60 W 燈泡（轉換效率為 100% ）多少時間。

解答

例題 13.10

考慮一個理想的自行車車輪，質量為 1.2 kg，其所有的質量位於一個直徑為 0.7 m 之薄環的邊緣上。如果車輪的初始轉動頻率為每秒 2 轉（相當於以 4 m/s 的速度行進的自行車），試計算這個車輪的轉動能量能夠照亮一個 60 W 燈泡（轉換效率為 100%）多少時間。

解答

從方程式 13.16，

$$E = 2\pi^2 k m r^2 f^2$$

以下列的值代入上式： $k = 1$ （表 13.3 所給出適合環的）、 $m = 1.2 \text{ kg}$ 、 $r = 0.35 \text{ m}$ 且 $f = 2 \text{ s}^{-1}$ 。可得

$$E = 2 \times (3.14)^2 \times (1) \times (1.2 \text{ kg}) \times (0.35 \text{ m})^2 \times (2 \text{ s}^{-1})^2 = 11.6 \text{ J}.$$

一顆 60 W 的燈泡每秒使用 60 J，所以 11.6 J 可以點亮燈泡的時間為

$$t = \frac{11.6 \text{ J}}{60 \text{ W}} \approx 0.2 \text{ s}$$

13.12 超導磁儲能 (SMES)

- ◆ 電能會像電流一樣透過導體傳送。在一般導體內，電流的流動總會有一些阻力存在，導致一些電能的損失以及熱量的耗散。
- ◆ 超導磁儲能 (SMES) 在研究實驗室內使用得相當普遍，用來穩定電線上因需求的變化所致的電壓波動，或者更像是短暫停電時的臨時備用電力。

13.12 超導磁儲能 (SMES)

- ◆ 儲存在線圈循環電流中的能量由下式給出

$$E = \frac{1}{2} LI^2 \quad (13.19)$$

- ◆ 對於核心為空氣的螺線圈，一個能給出電感極佳近似值的半經驗關係式為

$$L = frN^2 \quad (13.20)$$

- ◆ f 是一個幾何因數，當 r 的單位為 m 時，其值為

$$f = \frac{3.9 \times 10^{-5}}{\left[9 + \frac{10l}{r} \right]} \text{J}/(\text{m} \cdot \text{A}^2) \quad (13.21)$$

例題 13.11

考慮一個直徑為 1 m (半徑為 0.5 m) 且長也為 1 m 的超導體螺線圈，有 5000 匝。試計算當電流為 1000 A 時，儲存在線圈中的能量有多少？

解答

例題 13.11

考慮一個直徑為 1 m（半徑為 0.5 m）且長也為 1 m 的超導體螺線圈，有 5000 匝。試計算當電流為 1000 A 時，儲存在線圈中的能量有多少？

解答

結合方程式 13.20 和方程式 13.21，可得出線圈的電感為

$$L = \frac{3.9 \times 10^{-5} \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{A}^2)}{\left[9 + \frac{10l}{r} \right]} r N^2$$

當 r 和 l 的單位為 m，電感的單位為 H 且值為

$$L = [3.9 \times 10^{-5} \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{A}^2)] \times (0.5 \text{ m}) \times \frac{5000^2}{9 + (10/0.5)} = 16.8 \text{ H}$$

使用方程式 13.19，可求出能量為

$$E = \frac{1}{2} L I^2 = (0.5) \times (16.8 \text{ H}) \times (1000 \text{ A})^2 = 8.4 \text{ MJ}$$

13.12 超導磁儲能 (SMES)

- ◆ 建構 SMES 設施的主要困難，在於達到使線圈成為超導體所需有的條件。超導材料在高溫時有正常的電學性能。如果溫度降低，它們會在某個溫度 T_c (critical temperature, **臨界溫度**) 轉變成超導體。
- ◆ 亞歷山大米勒 (Karl Alexander Müller) 和喬治貝德諾爾茨 (J. Georg Bednorz) 發現了所謂的高溫超導體 (high-temperature superconductor, HTSC)。

13.12 超導磁儲能 (SMES)

- ◆ SMES 的效率不是 100%。雖然在線圈中循環的電流不會有損失，但仍然需要能量來冷卻使導線線圈的溫度低於超導體的轉變溫度。

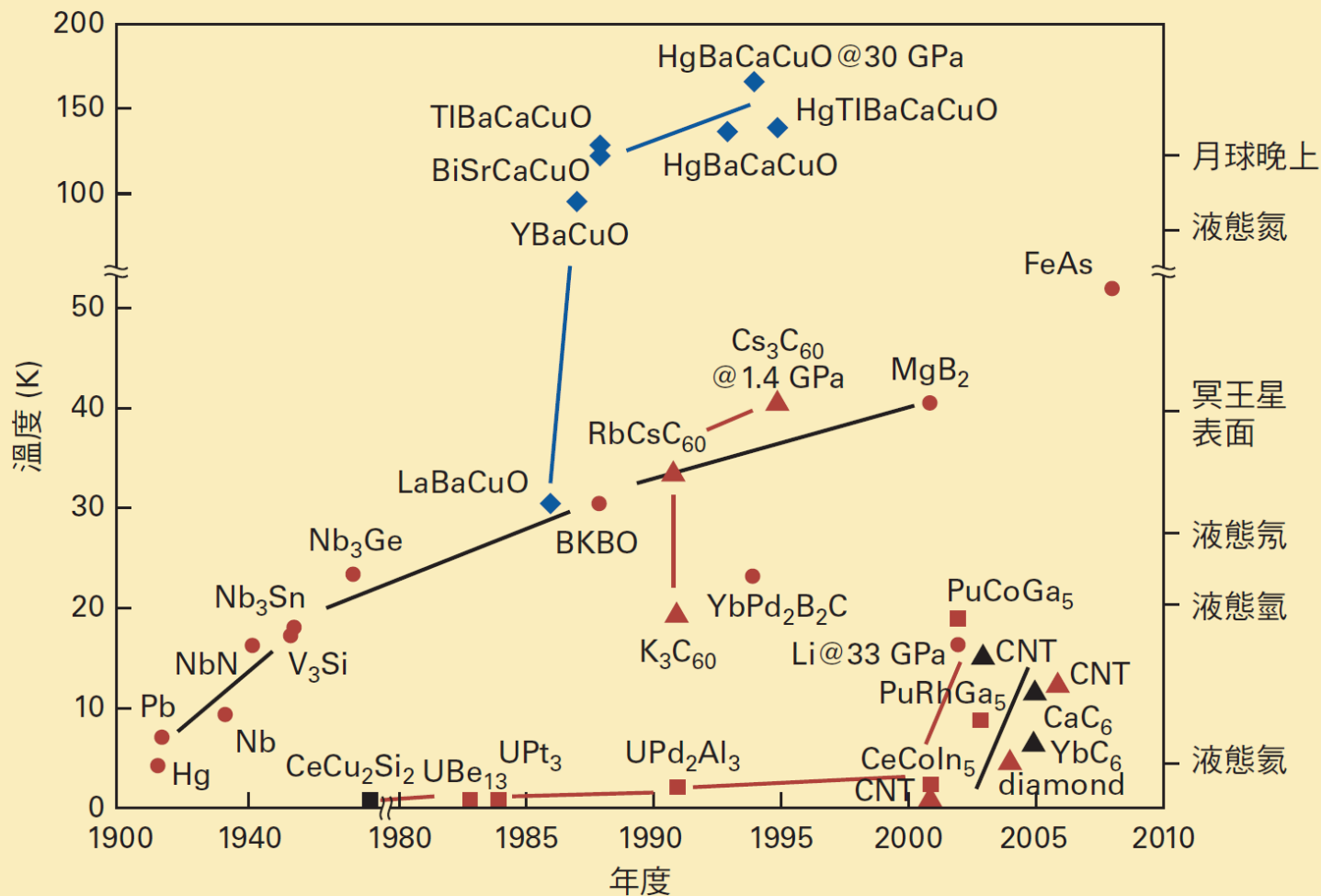


圖 13.26 在提高超導體 T_c 上的進展。這些符號代表不同類別的材料：碳化合物（三角形）、稀土和銅系元素化合物（正方形）、鈣鈦礦（菱形）以及過渡金屬和鹼化合物（圓圈）。

13.12 超導磁儲能 (SMES)

- ◆ 傳輸線所攜帶的電流通常是交流電 (AC)，而儲存在超導磁體中的電流卻是直流電 (DC)。這個 AC - DC - AC 轉換循環的效率大約為 95%，是本系統中主要的能量損失。
- ◆ 世界上最大的 (截至2009 年為止) SMES 系統是日本境內的夏普龜山電廠 (Sharp's Kameyama Plant)，可以提供高達 10 MW 的電力。

13.13 摘要

- ◆ 節能減碳是一個能提供綠色能源之長期計畫的重要部分。
- ◆ 在地區層級上，最有效的節能方法經常涉及到許多因素，例如氣候、地理及社會傳統和經濟。
- ◆ 汽電共生是指直接利用熱力發電的過剩熱供給空間加熱的需求。這種方法對小型發電設施特別有效。

13.13 摘要

- ◆ 將再生能源與傳統化石燃料和核能發電設施做高效的整合裡，以及對社區用電量的有效監管中，智慧電網是一個重要部分。
- ◆ LED 燈可以比傳統照明節省 60% 的電力消耗。
- ◆ 如何減少家庭能源使用的各種方法，如使用高效率的取暖通風和空調（HVAC）系統，使用高效率的隔熱元件來減少熱損失，以及使用緊湊型螢光燈和 LED 燈來減少照明的電力消耗。

13.13 摘要

- ◆ 的串聯式或插電式混合動力車可以節省燃油，而且是邁向廣泛使用電池電動車技術的一步。
- ◆ 抽蓄水力發電儲存，是在低需求時段所產生的過剩電力，被用來把水泵抽到較高的水庫；當需求量超過容量時，水庫的水通過較低處的渦輪機被排出，以產生額外的電力。

13.13 摘要

- ◆ 過剩的電力可用來壓縮空氣，而後在電力需求較高的時段，它可以用來驅動渦輪機發電。
- ◆ 對於一給定質量和幾何形狀的飛輪而言，其最大能量儲存容量與拉伸強度對飛輪材料密度的比率(σ/ρ) 成正比。

再生能源好夥伴 - 下世代快速充效儲能電池技術平台 - 工研院開放式創新系統平台

◆ 發佈日期：2017年5月11日 [3:43]

◆ 想像一下，一座完全透過綠色能源運作的城市會是什麼樣子？所有能源潔淨環保、不排碳，彼此串聯互補、智慧管理。這樣，不僅使能源的使用效率提高，供電穩定，更能讓地球的環境永續地發展下去。而要實現綠能未來的關鍵，就在於能夠達到穩定、長效與安全的電力儲能系統。因此，工研院整合跨單位團隊，成立「創新電池研發開放平台」，針對下世代電池進行開發，打造革命性的電力儲能系統。

儲能設備於再生能源整合應用市場之挑戰

- 太陽光電、風力發電等成熟的再生能源技術皆仍有供電不穩定的問題，再加上我國土地資源有限，儲能被視為增進再生能源併網占比，使再生能源發揮最大效益、提升能源自主之重要工具。

• 英文關鍵字

energy storage, battery, renewable energy, off-grid, Ancillary Services

- 過去已有許多文獻詳盡地分析儲能各種可能的應用，由於各項技術有其不同特性(供電功率、充放電時間等)，因此依照不同的應用所適合的技術便有所不同，除了技術相關資訊，國際市場規模亦為產業關注之重點，因此透過國際案例及文獻，探討儲能結合再生能源應用之市場規模及其成長面臨之挑戰。

貳、儲能與再生能源搭配的市場潛力

- **2015**能源產業白皮書列示之美國能源部經驗，當再生能源占比大時，為因應之瞬間變化，儲能裝置容量約為電網上再生能源裝置容量之**8%~15%**，若要因應尖離峰差異，則需**20%**。
- 以美國能源部 (**DOE**) 的全球儲能資料庫應用案例作為分析基礎。其中再生能源相關的儲能應用，以化學儲能技術為主，若涉及移峰填谷，則熱儲能也有不少應用案例。

- 估計再生能源裝置量與儲能裝置量之線性關係，估計結果顯示化學儲能設備裝置量與風力裝置對應之關係約為**22%**，太陽能對應之係數則不顯著，可能原因為太陽能發電時間與用電尖峰時間相近，儲能需求多源於降低電網衝擊。

- 若以我國**2030**年再生能源推廣目標來看，風力(陸域及離岸)為**5.2GW**，以**22%**係數估算，需**1.14GW**的儲能裝置量需求。
- 亦有文獻以再生能源發電量**20%**估計儲能需求量(謝錦隆，**2014**)。
- 現有情境下之全球風力發電裝置容量為**864GW**。若以IEA的**WEO 2015**風力發電裝置容量估算，**2030**年需**190 GW**之儲能量，花旗集團預測值則更高，**2030**年達**240GW** (Citigroup, **2015**)。

- 以上推估應偏於樂觀，原因在於目前案例觀察到成功案例多屬在再生能源結合離網供電，非離網供電之再生能源併網，除了占比是否提高到對電網造成衝擊之門檻？輸配電業是否以儲能取代傳統方式解決併網衝擊？都是市場成長的疑慮。
- 由於過去軍用發電設備大多使用柴油，可能遭敵軍透過熱能鎖定，戰時電力系統容易遭受攻擊，因此需要結合綠能、節能及儲能等技術，研發電源轉換及能量管理技術，達到戰時確保裝備正常運作的作戰力。

- 根據IEA的ETP 2014，2DS情境假設下，全球28%之電力來自再生能源，2050年歐美中印四大市場合計才可能達到近300GW，且在電動車普及取代部分儲能之情境下，可能使儲能需求減少一半。IRENA (2015a) 引用Navigant 之市場預測相較保守，2023年年裝置量可達14GW，累積約達50 GW，年銷售額約180億美元，其中40%來自再生能源整合應用，其它約50%來自移峰填谷相關應用 (load shift 37% and peak saving 15%)。

參、儲能市場成長之阻礙: 儲能應用之多重價值不易顯現

- **Sioshansi(2012)** 和**Bhatnagar (2013)** 提及許多儲能市場之阻礙因素，由其研究可知「技術成本高」雖是眾所皆知的發展阻礙，但儲能還面臨了許多效益不易顯現的問題。
- 例如傳統電業通常未將輔助服務自成本中區隔，依據國內外經驗，即便將輔助服務獨立出來 (如圖7.2)，競標市場決定之價格通常偏低或是波動大，例如圖1除了負載追隨外，大部分輔助服務之價值低於離網供電之價值 (亦可參閱**ETP 2014**; 魏華洲 2014; **Bhatnagar,2013**; 黃維綱,2014)。

圖1 各項儲能應用之市場價值

Table 7.2 Estimated storage value by application		
	Price setter	Value (USD/MWh)
Seasonal and inter-seasonal storage	LCOE natural gas CCGT	70-105
Arbitrage	LCOE natural gas CCGT	70-91
Frequency regulation	Market	45-51
Load following	LCOE natural gas OCGT	99-193
Spinning reserve	Market	8-22
Non-spinning reserve	Market	4-8
Voltage-support	Long-term contracts	2-6
T&D investment deferral	LCOE natural gas OCGT	89-105
Off-grid	LCOE diesel generator	250-420

Notes: MWh = megawatt hour. Range of natural gas LCOE reflects different full-load hours. Gas prices for LCOE range from USD 4 per million British thermal units (MBtu) to USD 10/MBtu. Market prices are approximate ranges in USD/MWh for 2005 and include US power grids in California, ERCOT and New York. Unless otherwise stated, all costs and prices are in real 2012 USD, i.e. excluding inflation.
Source: IEA analysis; Kirby, 2007.

資料來源: IEA ETP(2014)。

- 此外，若終端用戶極少暴露在電力品質不穩定之風險下、或是時間電價差距誘因不足等 (例如我國及一些電業未自由化之國家)，用戶無法感受儲能應用於電力管理帶來之效益，儲能在用戶端市場擴展的可能性便有限，進而使延緩輸配電投資之效益也難以顯現。

肆、結語

- 儲能與再生能源結合雖是目前市場最可行的方向，但因為離網供電以外之應用可能礙於規模太小、未同時考量多重應用、不易評估市場價值等原因，使效益未能如期顯現。以再生能源裝置**2**成推估儲能市場，應保守解讀為離網供電應用之經驗值，且與風力發電之關係較顯著，若用來推估整體儲能與再生能源結合的市場規模可能過於樂觀。

- 台灣儲能市場規模2023年起會有顯著成長，2025年累積容量突破1GW/3GWh，同時全球電化學儲能市場的占比也逾1%；2026-2030年預期儲能累積規模將由3GWh快速成長至2030年的15GWh。(台塑集團衝刺電池材料、儲能應用 2022/06/06 工商時報)
- 儲能於電力系統可提供之服務雖然多樣，但價值不易顯現即造成預期收益不明確，廠商便不易在市場上取得資金，唯資本雄厚的企業才有能力承擔此風險，或仍得仰賴政策支持，市場成長阻力能否降低，是重要觀察方向。

資料來源: Infolink市場調研公司預測，

參考資料

- 1. 魏華洲 (2014)，電網儲能技術應用潛力，經濟部能源局能源知識庫。
- 2. 黃維綱 (2014)，台灣電力系統輔助服務價格之模擬競價結果分析-以火力電廠為例，台電工程月刊795期。
- 3. 謝錦隆 (2014)，島嶼儲電系統建置規劃建議，經濟部能源局能源知識庫。
- 4. 經濟部能源局(2015)，2014能源產業白皮書。

淺談鋁電池

- ◆一則自由時報新聞：(發布於2015年4月7日)
手機一分鐘充飽！可折戳不壞的新型電池 –
史丹佛大學開發的這款鋁電池電壓為1.69V，乍看之下似乎沒什麼，因為中學生在化學實驗課所做的鋁空氣電池就能做出比這還高的1.8V。

- ◆鋁空氣電池

陽極(負極)氧化半反應： $Al + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3 + 3e^- - 2.31 V$

陰極(正極)還原半反應： $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- + 0.40 V$

全反應： $4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3 + 2.71 V$

- ◆由於需要從外界汲取氧氣來參與反應，所以鋁空氣電池不是一個密閉的系統。

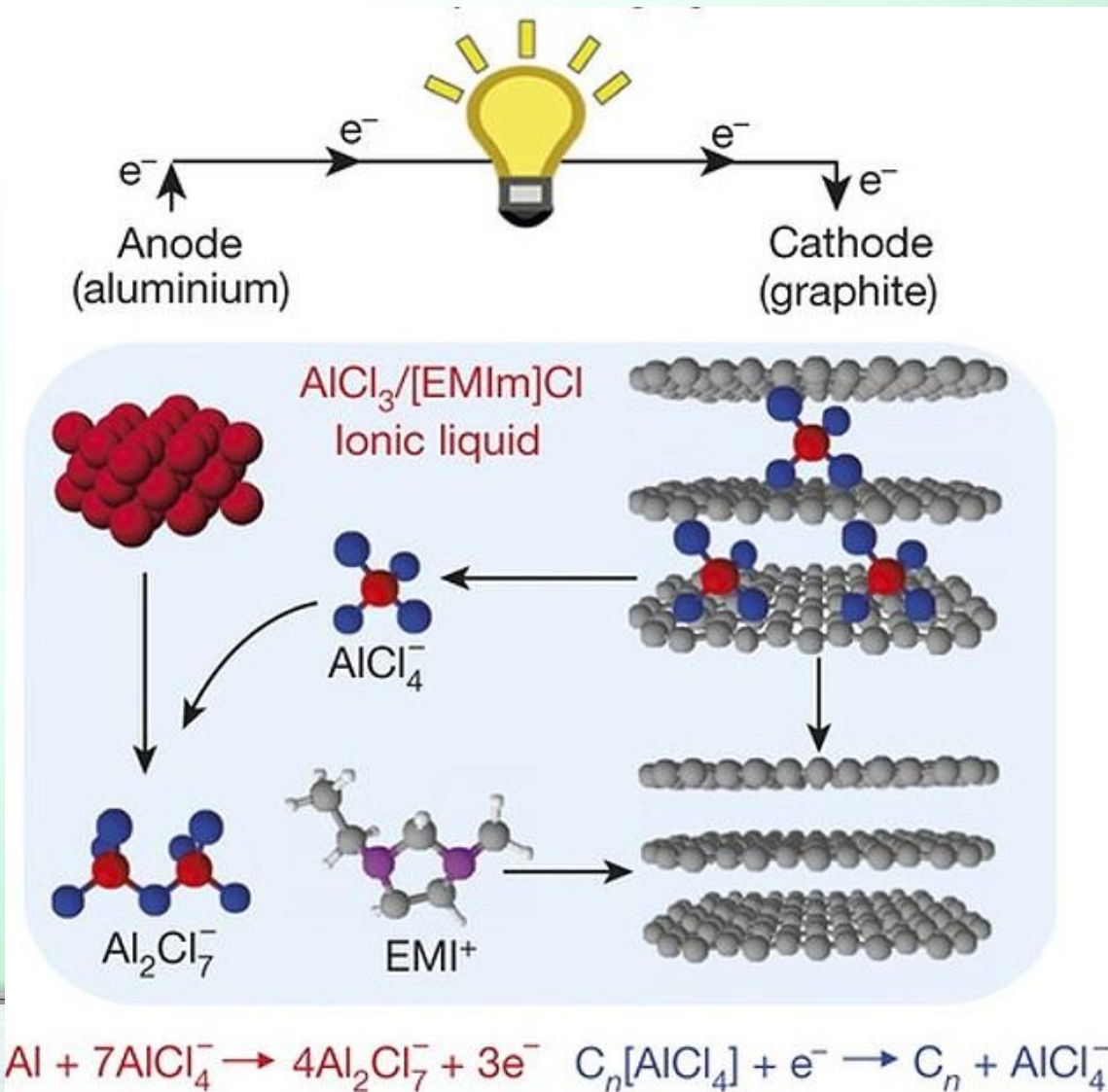
淺談鋁電池

◆研究團隊也說,目前這種鋁/石墨電池的能量密度約40瓦小時/公斤(Wh/kg) , 看來似乎也不高 , 因為二年前 Phinergy 與美國鋁業公司Alcoa就已經開發出一款使用在電動車上的鋁空氣電池 , 其能量密度那時就已經達到300瓦時/公斤。

◆英文關鍵字

◆Aluminium-ion battery, Grapheme, Energy storage

◆ 於鋁離子電池，它則是一個可循環的密閉系統↓



◆ 圖片中陽極材料是金屬鋁[以紅色表示]；圖片右側的則是當作陰極的石墨[以灰色物表示]，不過在它層狀結構中可以卡進帶負電的四氯化鋁離子。電解質則是使用氯化鋁 / [EMIm(氯鋁酸鹽陰離子)]的離子液體組合物。在放電過程中，陽極側的金屬鋁和四氯化鋁離子 AlCl_4^- 形成 Al_2Cl_7^- 的離子（逆反應即為充電）。在陰極側，放電時主要是四氯化鋁離子 AlCl_4^- 從石墨層間脫嵌（充電則是嵌入）。

◆ 陽極(負極)氧化半反應： $\text{Al} + 7 \text{AlCl}_4^- \rightarrow 4 \text{Al}_2\text{Cl}_7^- + 3 \text{e}^-$

◆ 陰極(正極)還原半反應： $\text{C}_n[\text{AlCl}_4] + \text{e}^- \rightarrow \text{C}_n + \text{AlCl}_4^-$

- ◆ 這款鋁離子電池之所以能快速充電，是藉由石墨優良的導電性能和三維空間所具有的巨大表面積來達成，因此能夠極大的縮短電池之充電時間。使離子的擴散和插層能在充電的1分鐘內，電流密度就高達約4000mA/g，並在7500次的充放電循環後僅有2%的電容量衰退。
- ◆ 同時它也具有低成本、低可燃性(使用不易燃的離子液體電解質)和電解產生的離子液體無毒等優點。

◆另外，由於鋁原子為三價金屬，因此就比一價的鋰電池或是二價的鎂電池更具有高容量的蓄電能力。在過去的研究工作中，其實有不少團隊遇到正極材料解體、放電電壓過低、循環壽命不足（少於100個充放電循環）、蓄電量快速衰退（100個循環有26%~85%的衰退）等問題，因此在過去30年中可充電鋁電池始終處於概念階段。

淺談鋁電池

◆ 目前在日常生活中使用最頻繁的是鋰電池，但鋰電池容量低、壽命短（循環壽命一般為300次，鋁電池循環7500次後容量幾乎沒衰減），且存在高溫、碰撞等條件下容易自燃或爆炸等巨大安全隱憂，因此高容量和安全的可充電鋁電池一直是科學界致力研究的重頭戲。如今史丹佛研究團隊解決了鋁電池在材料上的瓶頸問題，雖然現在的能源密度還不高，不過假以時日，相信鋁離子電池不僅可以使用在手機等小家電上，還將在電動汽車等容易產生劇烈碰撞與高溫的地方取代目前的電池。

鋁電池的優缺點

◆ 鋁電池的優點

- 快速
- 充電只要一分鐘。 **耐久**
- 可充放電一萬次，遠超過鋰電池的一千次。 **安全**
- 可凹折，穩定，將鋁電池鑽透，不但未著火，還能運作。

◆ 鋁電池的缺點

- 電壓：鋁電池電壓約2伏特，低於智慧手機鋰電池普遍電壓為3.7伏特或4伏特低。量產前研究團隊還得拉高電壓。
- 體積：電池體積尚無法比鋰電池小，目前無法取代手機電池。

壹、前言

- 鋰離子二次電池是目前產品應用上最廣泛的儲能系統，但隨著使用者對於充電時間的要求，必須以極高的功率進行充放電，以目前的技術仍有困難之處，因此找尋更有效率與低成本的儲能系統一直是產學研共同努力的目標，新世代儲能材料包括鋁離子電池、石墨烯等關鍵材料，具有高功率密度、快速充放電能力、循環壽命長等優點，應用領域非常廣泛，如：電子產品、電動汽機車、太陽能系統、住宅用儲電系統、工商用儲電系統、電網級儲能系統等。

- 在樂觀情境預測下，未來新世代材料在克服技術瓶頸後，有機會應用在大型儲能系統與電動汽車分散式儲能系統中扮演高功率輸出、輔助服務與增加電池循環壽命等用途，與鋰離子二次電池形成相輔相成的效果，有關新世代儲能材料的現況與發展，說明如下：

貳、鋁離子電池

- 鋁是目前地球上含量最多的金屬之一，具備高能量密度及高電位的特性，取得成本也相對較低，是研究人員一直希望應用在電池的材料之一，鋁離子電池可以解決現階段電池成本過高、壽命不足以及充電時間過長的問題，藉由石墨優良的導電性和三維空間所具有的巨大表面積等特性，能夠縮短電池之充電時間，並由於石墨結構的創新，使離子的擴散和插層能快速充電以及在**7000**次的充放電循環後僅有**2%**的電容量衰退，具有較高充放電次數及較強蓄電能力，同時也有低成本、低可燃性、電解產生的離子液體無毒、有可撓性等優點。

- 然而在過去研究中鋁離子電池仍有相當多問題待突破，不少團隊遇到正極材料解體、放電電壓過低、循環壽命不足等問題，工研院與史丹福大學嘗試克服技術瓶頸並提升安全性。目前由工研院與史丹福大學共同開發之「可高速充放電鋁離子電池」技術有三大優勢，一是石墨結構的創新並找出鋁金屬與石墨材料的極佳組合，突破鋁離子電池材料的技術瓶頸；二是開發出和紙張一樣薄型、可彎折，容易量產的薄型導電材料，未來能針對不同需求與特性來製造生產；三是安全、性能穩定及壽命長，即使受到外力撞擊，亦不須擔心引發災害。

- 然而，「可高速充放電鋁離子電池」技術目前受限於實際能量密度約**40 Wh/kg**，低於鋰離子電池的表現，以及輸出**2伏特**電壓過低，無法在一般消費性電子產品上使用，後續研究將朝向提升石墨材料之電容量以提高能量密度，及改良石墨陰極材料以提高輸出電壓兩大方向，仍待與石墨材料搭配的技術成熟，盡快降低技術風險與投資成本，才能逐步引導進入示範與部署階段。

參、石墨烯

- 2004年Geim等人利用石墨多層二維堆積結構，獨立分離出單層石墨烯，使得各國的專家學者開始投入石墨烯的研究，發現單層的石墨烯之電子傳導率、機械強度、拉伸模數、比表面積、熱傳導係數等皆具有優異的物理特性，2013年電池大廠特斯拉在官網針對石墨烯超級電容做討論，使得石墨烯在儲能系統的應用受到廣泛的重視，由於石墨烯的電阻率極低，可減少充電時間，再加上理論電容量高，可增加蓄電量，特斯拉在接受英國汽車雜誌《**Auto Express**》專訪時更樂觀的預測，未來在電動汽車應用上續航里程將達到約**800**公里，可望引領電動汽車行業新的里程碑。

- 然而2015年6月高工鋰電的報導[2]卻指出，並未見過西班牙電池大廠Graphenano公司的石墨烯相關實體產品，相關的基本參數如充放電曲線、電壓等也無資料提供，亦釐清石墨烯聚合材料與氧化還原石墨烯(RGO)二者的差異，同時提醒閱讀學界資料時應注意其數據是否為超級電容器而非石墨烯聚合材料的能量密度。

- 石墨烯作為電極材料，表面特性具有拉住鋰離子的能力，雖然可提供較高的電容量，但其理論電容量僅是石墨的兩倍，卻產生電壓過高及降低循環壽命等缺點，**Novoselov** 等學者[3]指出，石墨烯的發展基於石墨烯材料本身的不可逆性及表面缺陷等因素，尚待研發技術的突破與克服。

- 最後，有關石墨烯聚合材料電池快充技術的討論，台南大學張家欽教授[4]以 **TESLA Model S** 電動車為例，認為電池要在**10分鐘**要充飽電行駛**1000km**，所需功率約為**1080(kW)**，對於目前科技是一大挑戰。儘管西班牙的**Graphenano**公司預計於**2015**年將投入生產石墨烯電池，並計劃與德國的電動汽車業者進行試驗，然而技術瓶頸是否已經突破，仍需由後續試驗的結果進一步驗證，才可確保為電動車帶來跳躍式之進展。

肆、結語

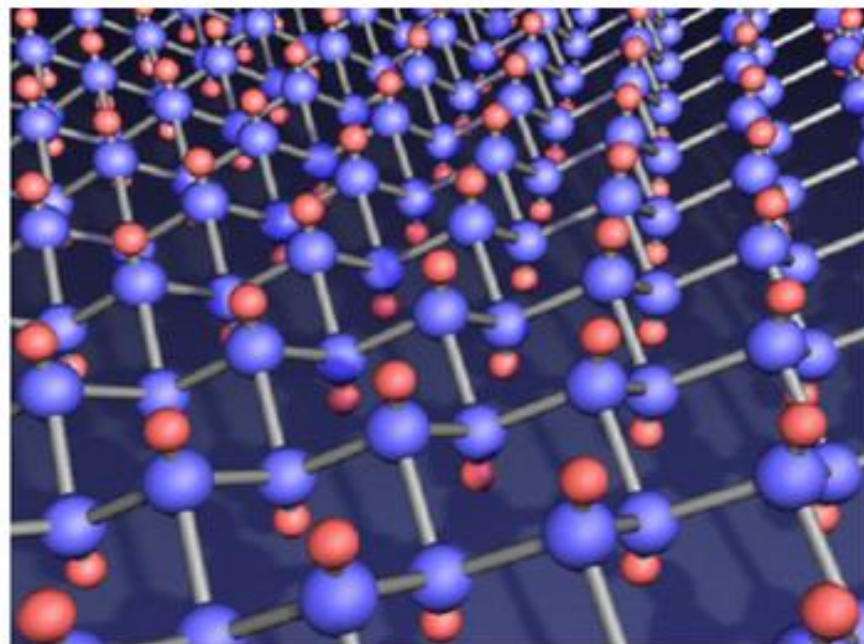
- 新世代儲能材料高功率密度、快速充放電能力、循環壽命長的特性，可改善目前電池容量小、充電時間長以及充電次數不大的問題，現階段仍有技術瓶頸尚待突破，未來是否成功應用在分散式儲能系統以及大型集中式儲能系統方面，以達國際嚴峻的減碳目標，值得大家期待與觀察。

參考文獻

1. Meng-Chang Lin, Ming Gong, Bingan Lu, Yingpeng Wu, Di-Yan Wang, Mingyun Guan, Michael Angell, Changxin Chen, Jiang Yang, Bing-Joe Hwang & Hongjie Dai (2015), An ultrafast rechargeable aluminium-ion battery, Nature 520, 324-328.
2. 陳姿穎 (2015)，未來的電池特輯鋁離子電池，科技產業資訊室。
3. K. S. Novoselov, V. I. Fal'ko, L. Colombo, P. R. Gellert, M. G. Schwab & K. Kim (2012), A roadmap for graphene, Nature 490, 192-200.
4. 台南大學張家欽教授發表於鋰離子電池產學聯盟FB社團
<http://pg2online.com/battery/?p=666>
5. JFD (2015)，為何說石墨烯用作鋰電負極產業化前景渺茫，高工鋰電。

- 西元2004年，蓋姆和諾渥謝夫在英國曼徹斯特大學從石墨分離出石墨烯後，石墨烯便一直被認為是未來科技的新寵兒，
- 2010年發明者得到諾貝爾獎後，石墨烯在學術界和產業界更是當紅炸子雞。

圖一、石墨烯材料結構圖



Source: Nanotechweb.org (2009)

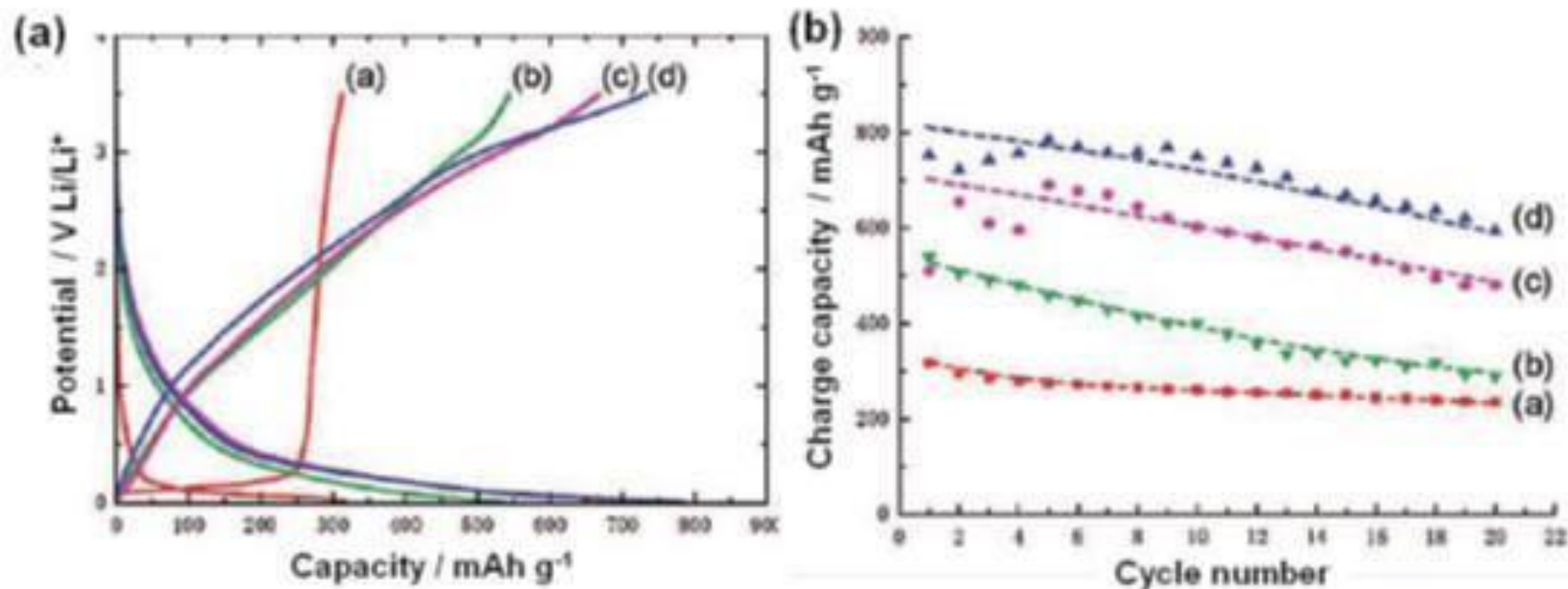
- 石墨烯是為目前世界上厚度最薄、硬度最高並具高導電性、高電子傳輸速度、高韌性與高強度的材料，可應用於單分子氣體偵測、連結各積體電路的石墨烯奈米線、透明導電板、太陽能電池、超級電容等[1]，

- [1] 維基百科，石墨烯

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%9F%B3%E5%A2%A8%E7%83%AF>

石墨烯聚合物電池

- 1. 石墨烯於電池產業應用
- 但石墨烯聚合物電池的儲電量，是無法達到目前市場最好產品的三倍電容量，以**18650**電池為基準特斯拉汽車使用日本松下電池之電容量為**3.4Ah**，一電池電容量需包含各材料組合而成，以目前正極最佳材料與石墨烯搭配也無法達到**10Ah**之電容量。石墨烯的震實和壓實密度都非常低，不適合取代鋰離子電池負極或取代其他石墨類電池材料。
- 參考資料:
- <http://www.xincailiao.com/.../xianjinjie.../2015/0116/2075.html>



圖一：不同鋰電池負極材料之 (a) 充放電曲線以及 (b) 循環壽命。
其中圖(b) 中之(a) 為石墨，(b) 為graphene，(c) 為graphene/CNT，(d) 為graphene/C60

Reference: Large Reversible Li Storage of Graphene Nanosheet Families for Use in Rechargeable Lithium Ion Batteries. E. J. Yoo, J. Kim, E. Hosono, H. Zhou, T. Kudo, and I. Honma, Nano Letters, 8, 2277 (2008).

- 2.既然單獨使用石墨烯作為負極不可行，可發展石墨烯複合負極材料。目前較可靠之石墨烯負極之電容量可達**540 mAh/g**(Honma 之研究團隊)，其充放電曲線與循環壽命分析如圖一所示。此外，**graphene** 製程中修飾**C60** 與**CNT** 形成複合材料，可將材料之電容量分別提升**730** 及**784 mAh/g**，也證實提高碳材成兼具可以擁有較高的電容量。
- JFD，”【高工鋰電·技術前研】JFD：為何說石墨烯用作鋰電負極產業前化前景渺茫？”，高工鋰電，2015/06/25，

石墨烯聚合物電池

- 3. 目前是無法達到市場最好產品的三倍電容量
科技產業資訊室於2015年7月17日刊登之文章” 石墨烯電池的發展現況與未來可行性”。指出西班牙 Graphenano公司的石墨烯電池新聞為假報導，從未見過該公司生產的石墨烯相關實體產品，也釐清石墨烯與氧化還原石墨烯(RGO)二者易造成混淆的差異，
- Chemical reduction of graphene oxide
- 也提醒一般民眾閱讀學界資料時應該注意其數據是否為超級電容器的能量密度以免誤植。
<http://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=11348>

- 2. 電動車發展，充電設備也是一道考驗
以目前TESLA電動車為例，Model S 電池容量 85kWh 可行駛472公里，所以如果要把行駛距離提高至1000公里，勢必功率要提升至180 kWh，然而要在10分鐘內充飽電的話，帶入公式所示($Q=I*V*T$)
- $180(\text{kWh}) * 3600(\text{s}) * 1000 = I * V * 600(\text{s})$
- 可得知如果要在10分鐘充飽行駛1000km所需電量需要功率 $P=1080000 \text{ W } (> 1\text{MW})$ ，對於目前的科技是一大挑戰。