



■ 何冠廷、陳弘源、陳燦耀、方冠榮、張家欽

儲能發展的勁旅—— 鋰離子電池

鋰是世界上最輕的金屬，
鋰離子電池能驅動千百種電子產品。
在電動車的使用上已逐漸普及，
而在大型儲能設備的應用上也會大幅擴展。



要合理有效率地利用可再生能源，
必須透過儲能系統平衡發電量與用電量間的落差，
儲能技術及智慧電網的發展因而備受矚目。

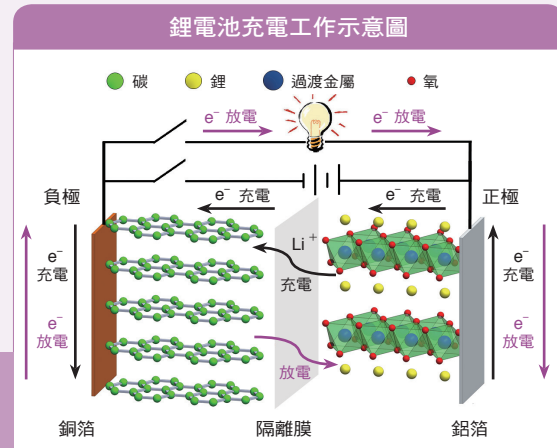
能源是人類生活的基本需求，充裕、可靠、穩定的電力供應也是國家經濟及安全的命脈。隨著科技的發展，對能源的需求與日俱增，卻也造成環境逐漸惡化，特別是燃燒發電與燃油車輛使用時所產生的溫室氣體，使全球氣候變化越來越極端。許多國家逐漸意識到要合理有效率地利用可再生能源，必須透過儲能系統平衡發電量與用電量間的落差，儲能技術在電動車及智慧電網的發展因而備受矚目。

儲能技術主要有電池儲能系統、壓縮氣體儲電技術、超級電容器等。其中，電池儲能系統主要是把風能、太陽能、海洋能等不連續的可再生能源產生的電能轉化成化學能後儲存。鉛酸電池雖然是現在最成熟的化學儲能方式，但鉛工業的汙染問題及部分基礎的電化學特性，較不適合作為智慧電網的儲能系統。目前，用於儲能電站的電池主要是液流電池、鈉硫電池與鋰離子電池。

鋰離子電池的工作原理是在充電時把鋰離子從含鋰的正極遷出，並嵌入可以接收鋰離子的負極材料。每當一個鋰離子遷出時會伴隨著一個電子的釋放，而鋰離子會穿過隔離膜到達負極，電子則經由外電路從正極移到負極。

正負極材料

鋰離子電池是透過鋰離子在正、負極間可逆地嵌入與遷出來工作。目前，商用鋰離子電池都採用遷出嵌入型電極材料，以含鋰的材料作為正極，當作電池中鋰離子的來源。常用的正極材料可分為層狀（鈷酸鋰）、



鋰離子電池主要由正極、負極、電解液及隔離膜四大部分所組成；正極是含鋰金屬的過渡金屬氧化物，負極主要是碳材料，電解液由鋰鹽及有機碳酸酯溶劑所組成，隔離膜主要避免正負極接觸並可使鋰離子通過。鋰離子電池於充電時，正極材料的鋰離子脫離，藉由電解液傳遞至負極材料，鋰離子可嵌入於負極材料的碳層中儲存。放電時鋰離子則會由負極脫嵌，經由電解液的傳遞嵌入正極材料內，而可回到正極的鋰離子比率越高則代表電池的穩定性及壽命較高。

尖晶石型（錳酸鋰）與橄欖石型（磷酸鋰鐵）。近年來，先進正極材料結合分別具有高循環性能、高電容量與高安全性的鈷酸鋰、鎳酸鋰、錳酸鋰而開發出多元層狀材料，其中 $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2$ 與 $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z)\text{O}_2$ 是具潛力且熱門的正極材料。

目前正極材料占電池整體成本的 28% 左右，因此性能良好的正極材料成為提升鋰離子電池性價比的關鍵。現已可利用第一熱力學原理進行分子計算，預測摻雜元素對材料性質的影響。從單元層狀材料摻雜計算轉為多元層狀材料摻雜計算，有效節省大量昂貴、耗時、人力密集的實驗試誤過程，以設計出高電容量、高電壓、高穩定性的複合層狀正極材料。

電池儲能系統主要是把風能、太陽能、
海洋能等不連續的可再生能源產生的電能轉化成化學能後儲存。



負極使用結構中具有足夠空間填入鋰離子，或能以其他形式接收鋰離子的材料，以避免鋰離子在負極沉澱堆積。石墨就是非常重要的負極材料，其理論電容量是 372 mAh/g 且材料本身密度低，可以降低電池的重量。

近年來，矽材負極的研究也非常熱門，因為矽具有很高的理論電容值，是石墨的 10 倍以上。更高的電容量意味著可以使用更少的材料提供更多的能量，對於電池的輕量化及小型化更有幫助。但矽在鋰離子嵌入後體積膨脹率高達 400%，由於矽材在鋰化後的延展性差，在體積膨脹後會造成活性材破碎而使電容量急速衰退，嚴重影響矽材負極的循環壽命。

近年也有把矽材改質成奈米級的多孔結構，利用預留孔隙的方式緩衝矽材的膨脹效應。也有嘗試混合矽材及碳材，利用微小粒子快速釋放應力的原理降低體積變化。矽材在鋰離子電池開發上開始占有一席之地，目前摻雜矽的電池也陸續上市。

特性

鋰離子電池最大的特點就是單位重量的能量密度高，且具高電容與高電壓。因為其電極是用鋰化合物與石墨做成，以同樣蓄電量比較，重量比傳統電池輕不少，非常適合作為攜帶式電子產品的電力來源。

鋰離子電池雖沒有記憶效應，不需要完全把電力放盡才充電，但其電容量會隨著出廠後的時間逐漸減少，出廠 2~3 年後無論是否使用過，電容量都會降低。鋰離子電池非常怕熱，最佳的工作溫度是 -20°C ~ 60°C 。若低於 -30°C ，電池內部的鋰離子移動可能受到限制，無法發揮電容量，電池內部的電解液也可能凝固。若高於 80°C ，電解液可能裂解，裂解後的產物會增加電池內部的電阻，縮短電池的壽命。

鋰離子電池需儘量避免過度充電，因充電時是把正極的鋰離子遷出並嵌入負極，若正極的鋰離子一直沒有回到正極，可能造成正極材料結構崩壞而影響電池的安全性及使用壽命。因此，鋰離子電池產品通常需要有電池管理系統，以維持其安全性及健康狀況。

製作方法

鋰離子電池的正極通常是把富鋰的活性材塗布在鋁箔上，負極則是把可接收鋰離子的活性材塗布在銅箔上製作而成。隨後把極片左右兩邊裁切到一樣的寬度再滾壓，以提高密度、降低活性材厚度，促進電池電性的表現。滾壓後把正極極片裁切至比負極略小的尺寸，因為鋰離子是從正極移動到負極，所以負極必須完全包覆正極，以免造成鋰離子無法嵌入負極而堆積沉澱。

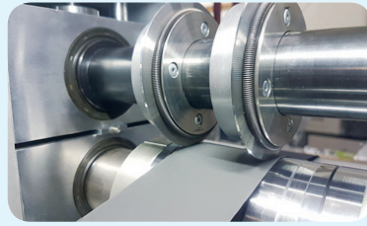
完成極片的製備後，會在正負極的一端銲上極柄。銲接完成後把隔離膜、正極、負極捲收，再把極捲放入罐中，把鋁柄及銅柄分別銲在罐底與上蓋，注入電解液後鉚合封裝。

分析技術

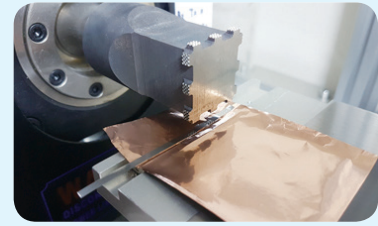
鋰離子電池製作完成後，必須先讓其「暖身」，稱作「化成」。就是把一顆全新未充放電過的電池，以較低的速率充放電進行 3 圈的循環。初次充放電時，極片表面會形成一層固液界面膜，在鋰離子第一次到達負極時，碰到在負極被還原的電解液會反應形成一層化合物，極片被界面膜包覆後，鋰離子開始通過界面膜嵌入負極。界面膜具有極佳的絕緣性，且是鋰離子的良好傳遞體。界面膜若不夠穩定，會持續消耗鋰離子形成過多的界面膜，導致內阻增加及電容量快速衰退。



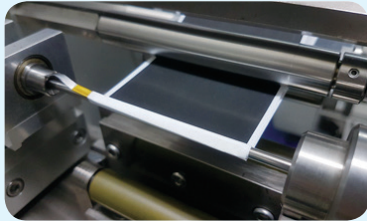
自動滾輪塗布熱風乾燥機
進行極片的漿料塗布、烘乾及捲收



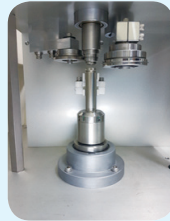
分條機
裁切極片至合適寬度



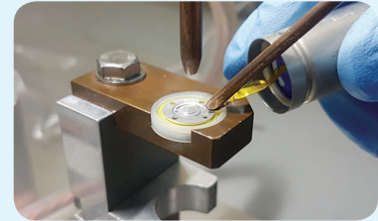
超音波金屬焊接機
把極柄固定在極片上



極捲繞機
把正極、負極與隔離膜捲繞成極捲



罐口成形機
固定 18650 極捲於罐體內



點焊機 (右)
焊接正、負極極柄在電池罐體上下蓋

圓筒型電池的製作流程

界面膜的穩定度可以透過電化學的原理來計算，擁有較低能量的最低未占有軌域的電解液分子會優先於負極還原，再利用自由能的概念計算還原後的電解液分子是否會繼續和其他分子、鋰離子反應或繼續還原。若電解液分子會繼續還原，可能會造成較大的不可逆電容量。因此，在電解液中都會加入少量的添加劑，其未占有軌域值比電解液更低且較不會持續反應，如此使電極表面形成穩定的界面膜，以減少不可逆反應。

電池的產氣效應對於電池內部的設計及反應控制相當重要。產氣分析可以搭配傅立葉轉換紅外線光譜分析儀、氣相色譜質譜儀、電池自動測試系統等，在電池充放電之任一時間直接分析。電化學反應及產氣收集裝置、分析系統及連接傅立葉轉換紅外線光譜分析儀分析圖譜，其結果可再結合界面膜組成分析，以推導界面膜的形成的機制。

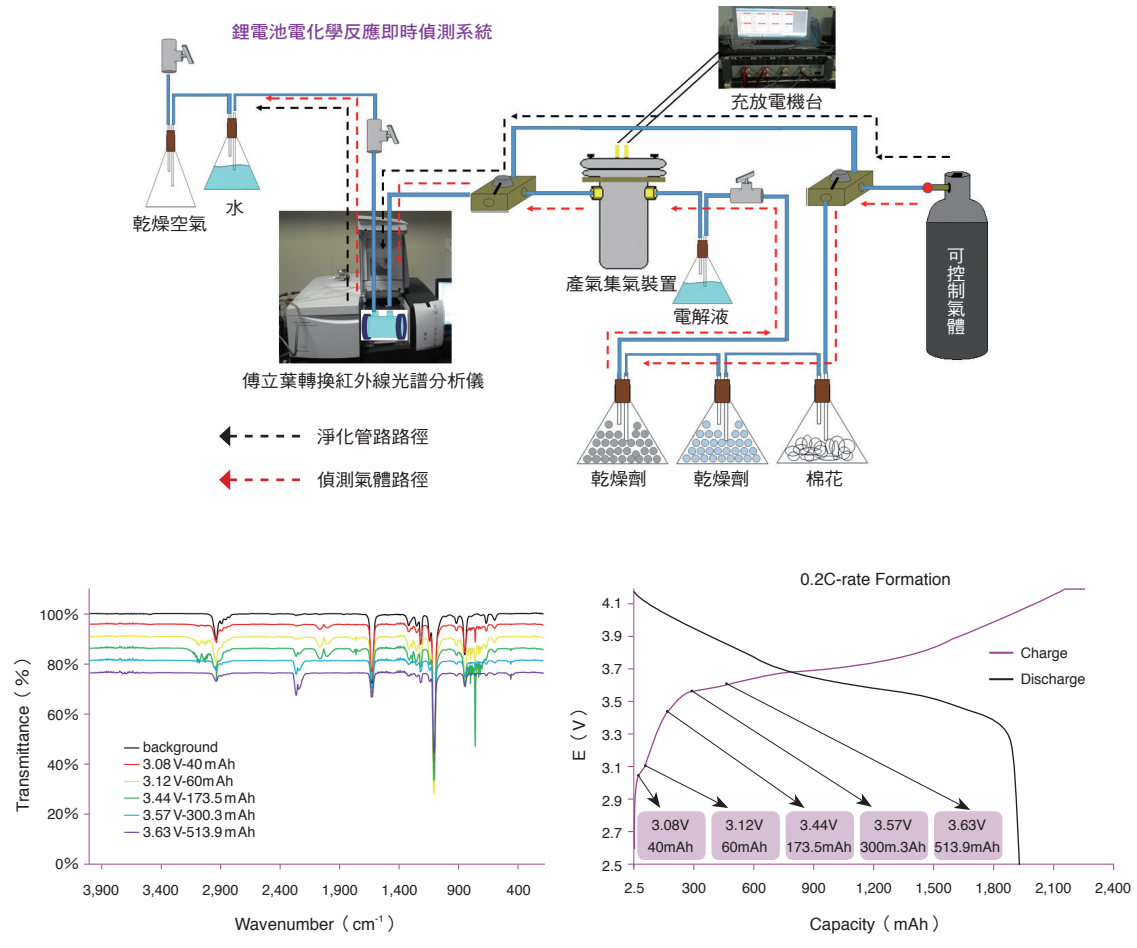
由於中子射線的高穿透性及對鋰元素的高敏感性、過渡元素的高分辨性，可利用原

位中子繞射獲得充放電過程中的即時中子影像，偵測電極材料的結構變化及相生成。這分析技術也可量測 18650 全電池在各溫度下即時充放電過程裡，鋰離子在正負極材料結構中的擴散行為，有助於開發低溫環境的電池材料及電池設計。

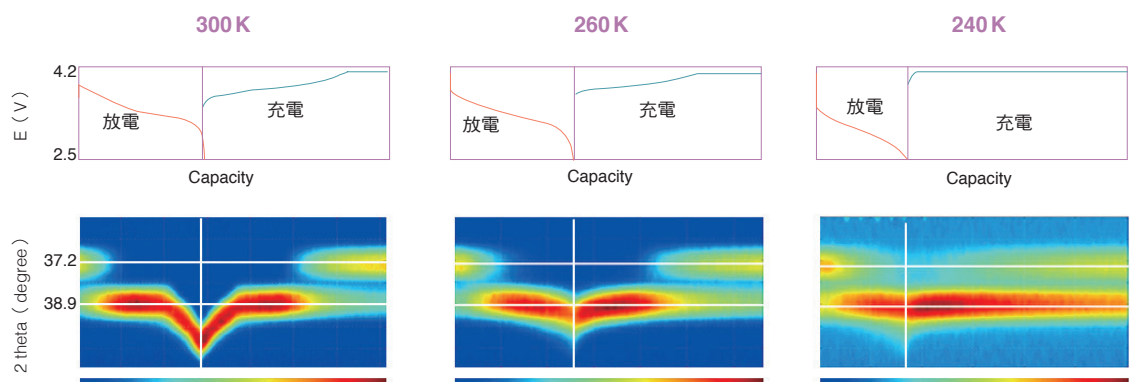
同步輻射臨場光譜也可用於鋰離子電池電極材料的環境溫度耐受性評估與故障分析，以組成的電池模組探討電極材料精細結晶結構與電性的關聯性，作為開發新一代鋰離子電池產業的高精密度、高效率檢測、故障分析，以及後段驗證的分析平台。這項技術具備高解析度與材料穿透力 X 光分析方法，較傳統商用分析設備檢測時間縮短 1/2 以上，可降低商用電池結構驗證時程。臨場檢測鋰離子電池充放電過程的結構變化，可作為老化測試的電池衰退參考依據。

利用雙極探針進行微區電性分析，建立電化學分析系統，結合掃描式探針顯微

電化學反應產氣收集裝置即時偵測系統



不同溫度下充放電，鋰離子在負極材的空間分布



在 -20°C 環境下充放電內阻較大，遷出或嵌入負極的鋰離子數量遽減。

隨著鋰離子電池需求量增加，尤其是電動車的動力電池汰換快速，其回收將成為一大問題。

術，可藉以量測材料表面微結構的電性。量測分析時，利用雙極探針搭載阻抗分析系統量測鋰離子電池各界面性質，以及單極式微區阻抗分析技術，可精準選定量測位置，解決傳統阻抗分析量測上尺度過大、反應複雜等問題。量測電極材料在不同循環狀態下的阻抗，透過等效電路的建立與回歸分析，有利於解析電池界面的反應機制。

應力表面電位顯微鏡分析可量測粉體表面電位差大小，進而計算出粉體表面功函數。隨著材料的不同或經過不同的表面改質方法，粉體表面電位會有所差異。藉由這方式量化粉體的表面電位差異，快速判斷粉末改質後在表面上所形成的化合物或元素，預測後續電性的結果，而能有效篩選材料。

電動車的動力電池

目前著名廠牌的電動車都是以鋰離子電池為動力來源，車輛性能與以汽油為動力的載具相差無幾。

應用在電動車內的電池通常是以 20 ~ 40 顆鋰離子電池為一組並聯，再以 96 ~ 100 組做串聯，形成一電池系統，以較高的電壓提供動能，如此可以降低工作時所需的電流，避免電池過高速率的放電。再藉由電池組管理系統、馬達系統等整合，設計優化技術達到電動車長時間使用的目標。

大型儲能技術

隨著各國儲能的補貼政策及透過上述各種計算原理預測電池材料、元件等參數，再透過雲端資料庫分析，以大數據的方式預測產品品質或控制生產程序，而且可由消費者的使用習慣及產業模式透過雲端分析回饋，使儲能元件的產品更穩定、更安全。

鋰離子電池產業的人才培育、技術背景及自動化生產製程已經相當成熟，在 3C 產業的應用、智慧電網的電力調整及社區型太陽能或風力的需求下，智慧化雲端資料的分析及回饋管理將可大幅提升電池品質與使用壽命，鋰離子電池會在儲能產業扮演重要的角色。而鋰離子電池的迅速擴展更帶動相關產業的發展，如製作電池時必須使用的隔離膜、電解液等產業，政府的環保政策也讓鋰離子電池穩定增長。

雖然鋰離子電池現在已經是全球主流的儲能技術之一，但面臨許多技術的競爭，包括抽水儲能、電磁儲能、超級電容等。鋰離子電池儲能產業發展快速，加上產業規模擴大與技術革新，鋰離子電池儲能系統的單位價格逐年下降，性價比因而提高，在儲能市場的應用將更為廣泛。

隨著鋰離子電池需求量增加，尤其是電動車的動力電池汰換快速，其回收將成為一大問題。目前雖已開發出許多有效回收的技術，但未來須更妥善面對暴增的廢棄潮。而電動車汰役電池轉為儲能系統使用，也是發展方向之一。電池大量使用終端回收材料循環再利用的技術開發，也是近期發展重點之一。

何冠廷、陳弘源

台南大學鋰離子電池研究中心

陳燦耀

清華大學工程與系統科學系

方冠榮

成功大學材料科學及工程學系

張家欽

台南大學綠色能源科技學系