



更強、更安全、更永續

# 鋰電池價值鏈成明日之星

鋰離子電池商業化迄今30年，每年數以億計的手機、筆電等3C產品，加上電動車、綠能儲能等新興需求，推升鋰電池市場爆炸性成長。而鋰電池從材料、電池芯到電池組，進入各式產品，到功成身退的汰役電池降階使用，或報廢萃出有價材料，「從搖籃到搖籃」的循環經濟價值鏈，有機會成為下世代含金量最高的明星產業。



鋰電池「從搖籃到搖籃」的循環經濟價值鏈，有機會成為下世代含金量最高的明星產業。

撰文／林玉圓

西元前6世紀，希臘學者發現靜電後，人類自此識得「電的存在」，直到17世紀才知「用電」。1745年荷蘭發明的萊頓瓶（Leyden Jar）是第一個儲存靜電的裝置，以今天的標準來看，它僅是一次性放電的電容而非電池，卻開啟了電池技術的演進。從19世紀的碳鋅電池、鉛酸電池，到索尼（SONY）於1991年成功開發出的第一顆商用鋰離子電池，電池體積大幅縮小、續航力更強，也讓

筆電、手機等3C產品更輕薄，一躍成為全球主流的儲能裝置。

## 鋰電池驅動數位生活 諾貝爾獎表彰貢獻

鋰離子電池成為今日數位生活的要角，其發展過程並非一夕到位，而是經過幾個階段的改良。1970年代爆發石油危機，全球開始對電動車產生興趣，大型工業實驗室紛紛投入電池技術研發，以解

決主流鉛酸電池續航力不佳的問題。埃克森實驗室的研員威廷漢（Stan Whittingham）研發出採用鋰金屬為負極、二硫化鈦為正極的鋰電池，離子流動效果意外良好，可惜這種鋰金屬電池無法重複充電，且有著易燃的缺點。

隨著石油危機告終，加上1980年代一宗鋰金屬電池導致手機燃燒事件，鋰金屬電池自此被打入冷宮。科學界仍鍥而不捨，持續改良，美國學者古德納（John Goodenough）以鈷酸鋰（鋰鈷）取代二硫化鈦，發現能夠儲存更多能量；日本學者吉野彰（Akira Yoshino）進一步將負極的純鋰更換為焦炭，終於讓鋰電池的易燃風險降低，性能依舊良好。為表彰鋰電池於人類生活的貢獻，2019年的諾貝爾化學獎，將桂冠頒給了在鋰離子電池的演進上貢獻卓著的三位學者：威廷漢、古德納、吉野彰。

此後，鋰離子的正負極材料仍不斷演進，1990年代的第一代鋰離子電池採用鈷酸鋰（鋰鈷  $\text{LiCoO}_2$ ）、錳酸鋰（鋰鈷  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ）等為正極，以碳／石墨為負極；2005年低鎳鋰三元正極電池問世，應用於電動車；2018年負極也在石墨中添加了矽氧碳等。2010年商用磷酸鋰鐵（ $\text{LiMPO}_4$ ）電池問世，壽命更長、電壓更高；2008年特斯拉採用鋰鎳鈷鋁正極的鋰電池在其第一款電動車Roadster上面；2016年開始高鎳鋰三元正極被商業化應用，藉由提高鎳含量到80%，降低鈷含量到10%，不但增加正極材料電容量，也大幅提高電池的能量密度，並用於特斯拉電動車與儲能系統。

## 下世代鋰電池應用 電動車最大宗

隨著電動車普及、再生能源、智慧電網等應用推陳出新，鋰電池在能量密度、循環壽命、續航力、成本、安全等面向都須滿足更高規格的要求，也因此從汽車大廠、工業集團到新創公司，正全力投入下世代電池的研發。

工研院材料與化工研究所儲能材料及技術研究組組長陳金銘表示，下世代電池需求主要有兩大面向，一是定置式儲能，如家庭、工商、電網的儲能



下世代電池需求主要有兩大面向，一是定置式儲能，二是移動式儲能，其中又以電動車的爆發力最強、商機最大。

系統；二是移動式儲能，如電動車、電動機車、電動巴士等，其中又以電動車的爆發力最強、商機最大。以鋰離子電池技術而言，每回技術的躍進，意味著成本的降低，國際能源總署（IEA）估算，2020年車用鋰離子電池組每度電成本約105美元，較10年前大降9成，到了2030年，每度電將進一步降至70美元，成本優勢已與燃油車相近，鋰電池將在運輸電氣化的過程中，扮演關鍵推手。

「鋰離子電池應用日趨多元，前景固然看好，但也存在著挑戰和限制，」陳金銘說，傳統鋰離子電池的能量密度有其上限，要再進一步提升，必須使用鋰金屬取代石墨做為負極。然而，鋰金屬在液態電解液進行電池充放過程中會生成鋰枝晶（Lithium Dendrite），穿過隔離膜觸及正極，易造成電池短路甚至爆炸。此外，鋰離子電池的電解液是液態有機溶劑，容易被火苗點燃導致安全問題；隨著充放電次數增加，電池壽命也深受影響。

## 固態電池儲能新希望 大廠爭相投入

在這樣的限制之下，固態電池就成了儲能領域的新希望。所謂的固態電池，即以固態電解質來取代液態電解液，增加高能量電池的安全性，使得固態電池能量密度達450~500Wh/kg，是傳統鋰離子電池的能量密度180（鋰鐵電池）~250Wh/kg（鋰三元電池）的2倍，並同時兼具高安全性與不漏液的優點，固態電解質可抑制材料



## 鋰電池的前世今生

反應，不易燃燒、並可延長電池壽命；固態電池較輕，相同電容量的固態電池，重量僅為鋰離子電池的一半。

由於電池技術將是未來電動車勝出的最大關鍵，固態電池新創公司包括Quantum Scape、SES、Solid Power、Factorial Energy紛紛獲得各大主要車廠，如賓士、BMW、福特、福斯汽車等的投資；而日本豐田（TOYOTA）、日產（Nissan）則是選擇自行投入固態電池研發，豐田更發出豪語，將在2025年推出搭載固態電池的車款。

### 鋰電池回收再用 實現淨零不可或缺

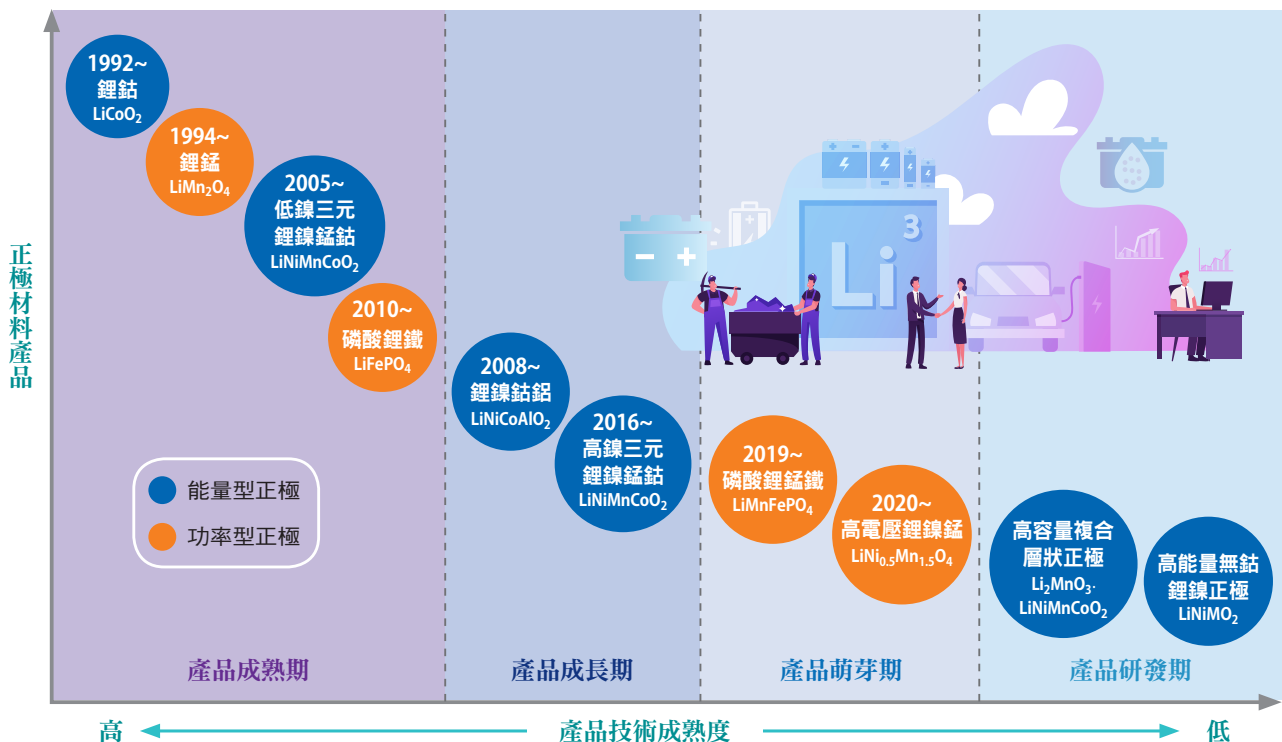
在追逐更高性能的下世代電池的同時，一場鋰電池「從搖籃到搖籃」的科技也正在發展中。彭博財經社預估，到2040年，全球三分之二的車輛是電動車，每部車搭載的電池系統，內含數百乃至上千個鋰電池芯，一旦電池續電力不足，或車輛報廢，所產生的鋰電池廢棄物可說是相當可觀。為解

決廢棄鋰電池造成的環境問題，減少生產鋰電池所需的能資源耗用，鋰電池的回收再利用可說是淨零碳排不可或缺的一環。

為協助國內產業爭取下世代電池商機，工研院持續精進鋰離子電池材料，投入固態電池研發，採用特殊樹脂化合物的固態電池獲得2020年全球百大科技研發獎（R&D 100 Awards）肯定；在鋰電池回收與處理技術方面，工研院也開發出電池降階回用的解決方案，運用人工智慧控制放電負載，讓汰役的不同性能電池模組，有效組合成儲能系統；此外，針對報廢鋰電池，也開發出濕法提煉技術，將有價金屬回收再利用。

鋰電池解除了定置供電的束縛，造就30年來無所不在的數位生活，未來在科技持續精進下，還有機會讓人類從化石燃料的世界解放出來，邁向淨零碳排的願景。在此之前，我們必須建立鋰電池從生產、廢棄到再生的綠色循環，讓鋰電池的前世與今生，與人类的永續發展一樣，生生不息。■

## 鋰電池正極材料發展歷程圖



資料來源：工研院材化所



# 鋰電池製作流程

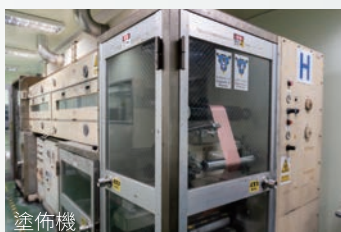
## 01 電池材料 開發與檢驗

將正極材料（鈷酸鋰、磷酸鐵鋰、鋰三元材料）原料混合分散、共沉澱製作成前軀體，再經由高溫燒結、表面改質、材料物理與化學性質檢驗分析及電性驗證、分級包裝。



## 02 極板製程 與檢驗

將鋰電池正負極板所需原物料經由混漿機調和成膏狀物，放入塗佈機製成捲片狀，透過碾壓機壓實密合極板上的化合物，並裁切成所需正負極板長寬。



## 03 電池芯製程

由於鋰電池正負極板容易與空氣水反應，因此需要在<1%的低濕度實驗室中，進行捲繞、堆疊、焊接、灌液、壓合、烘烤等步驟，將正負極材料、極板等材料壓成電池芯。



## 04 電池芯與 電池組檢測

製作完成的電池芯／電池組，需經由充放電機等檢驗設備，測試其阻抗、安全性、可靠性等指標是否合格。



## 05 鋰電池成品

