锂电池循环收益环保两兼顾

文 | 林玉圆

一部电动车动力电池动辄由数百颗锂电池组成，但当其蓄电力降至原本的8成时，电池就需要更换？汰役电池去了哪里？该如何处理才不至于危害环境？锂电池降级利用与材料回收潜在市场庞大，台湾具备完整的电池供应链，若能建立锂电池回收标准并整合相关厂商，有机会成为亚洲锂电池循环的示范基地。

受惠电动车市场需求大增，全球锂电池市场快速成长，未来5到10年，将有大量锂电池面临汰役，这些废弃锂电池如何回收再利用，建立循环经济，成为各方投入资源的焦点。研究机构Marketsand Markets预估，2020年全球锂电池回收的市场规模约为36亿美元，2030年将增至107亿美元，年增幅约19.4%。

降低环境冲击 创造经济价值

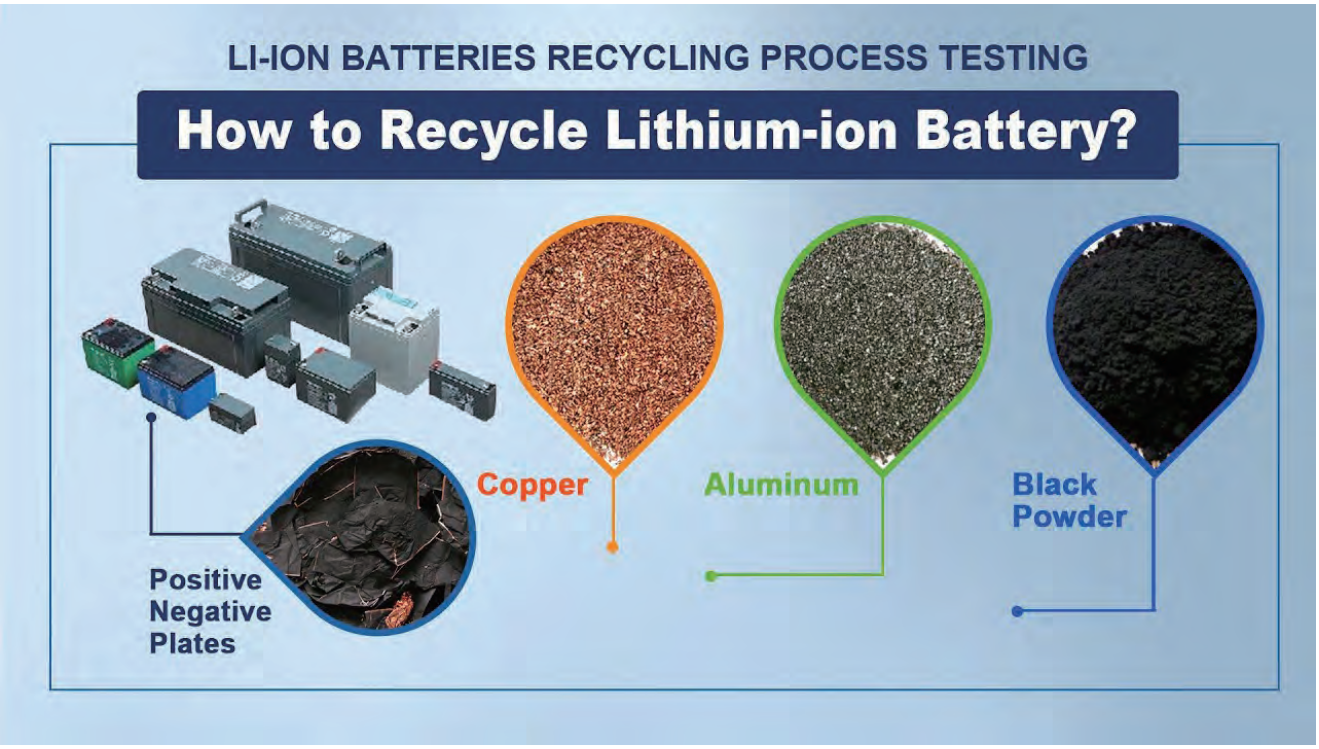
工研院材料与化工研究所副组长曹申表示，锂电池回收的主要原因有二：一是降低环境冲击，锂电池的毒性虽小于铅酸电池，但若不妥善处理，仍有污染环境的疑虑，而金属矿藏的过度开采也导致生态风险，若能从回收途径取得，更有利环境永续；二是创造经济价值：锂电池中的钴、锰、镍、铜等金属，因电动车热卖而价格波动剧烈，例如正极材料的碳酸锂，今年前3个月上涨95%，过去1年更大涨4倍。电动车动力系统被视为下世代的战略产业，透过锂电池的循

环经济来掌握原料来源、确保供应稳定，可以说是一兼二顾。

欧盟永续电池蓝图 车厂积极配合

以欧盟为例，其“电池 2030+”计划便提出永续电池的开发蓝图，并以短、中、长期目标来有序达成。欧盟设定在短程 3 年内，开发易拆解的电池设计、电池模块分选与再利用、并进行电池数据收集与分析；中程的 6 年期间则投入锂电池材料的分选及回复，让再生粉体的二次利用效率更高；长程的 10 年目标是建立从矿业、电池材料、精炼厂、回收厂到电池芯／模块／系统厂商的上中下游完整循环体系。

在欧盟的政策鼓励下，欧洲各国的锂电池制造商也积极以跨界合作，启动大规模的电池回收计划。例如瑞典电池厂 Northvolt 提出的 Revolt 计划，与挪威铝生产商 NorskHydro 合资建立电池回收中心，取得钴、铝、镍等材料；丰田汽车与 Umicore 合作，在欧洲的电池回收率已达 9 成以上；福斯汽车也成立锂电池回收示范场域，提炼电池中的有价金属。



美国锂电池回收 Redwood 独领风骚

在美国，由能源部成立的ReCellCenter是专责的锂电池回收技术研发中心，目标是发展具有国际竞争力的回收产业、降低对进口原物料的依赖、同时将电池成本降至80美元/kWh。美国民间的电池回收厂，则以特斯拉前技术长史特劳贝（J.B.Straubel）于2017年创立的RedwoodMaterials执业界牛耳，已成功打造电池回收、材料提炼、供应再利用的封闭式循环。

Redwood与松下、福特、亚马逊等多家知名电池厂、车厂及车队合作，回收废电池进行分解，不仅可提炼出镍、锂、钴、铜等成份，今年初更宣布，将进一步从废电池中提取正极铜箔，直接供应特斯拉的电池制造伙伴松下使用，以减少对亚洲铜箔的依赖，厂址就设在特斯拉内华达超级电池工厂Gigafactory1附近。

日本经济产业省于2020年成立“车用电池再利用工作小组”，除了回收原料，也研发如何掌握电池残存性能的方法、并建立汰役电池降级利用的流程。日本环境省也鼓励业界整合，促使回收厂及汽车品牌投入电池循环再利用，例如日本回收公司启爱社便将汰役车用锂电池与太阳能电池模块整合，打造出全新的平价储能系统。

中国也在政策鼓励下，启动电池降级利用及原料再生的工作。根据中国大陆《新能源产业发展规划》，2021至2030年中国大陆汰役车用动力电池的总量将达708GWh，足以供应全中国大陆所有5G基地台的备用电源需求；通信基础建设商中国铁塔公司，便已在数10万个基地台使用降级锂电池。

目前锂电池的循环方式有三大类，一是降级利用，将汰役电池重新整合，用于储能装置或低速电动车；二是回收金属材料，将完全失能的电池进行分解；三是废弃掩埋，但此法既不环保也欠缺经济效益，是业界极力避免的状况。

降级利用潜力大 建立标准程序是关键

汰役电池的降级利用，等同赋予电池二次生命。林欣蓉进一步说明，车用电池的效能一旦降至 8 成，将面临汰换，但若转为家户或工业储能，寿命仍可达 15 年以上，应用范围包括不断电系统、充电站等。根据国际环保组织绿色和平的《为资源续航——新能源汽车电池循环经济潜力》研究报告估算，2030 年当年度，若全球汰役电池均降级利用，电量达 368GWh，可满足全球定置型储能的需求。

虽然降级利用的潜力惊人，但也有不小的挑战。林欣蓉指出，首先是目前许多电池的设计过于复杂且不一致，回收后的拆解、分级与重组，十分困难；第二，电池效能信息不透明，让有意整合汰役电池的厂商难以精准掌握数据。有鉴于此，锂电池的降级利用若要成功，就必须建立标准化程序，以降低整合不同电池芯的成本，另更要从源头的研发阶段，打造易拆解的电池结构。未来导入软件功能，也可扩大降级电池的应用领域如租赁服务、充电站服务等。

若电池实在无法降级利用，就进入分解回收这套剧本，分离提炼出电池中的有价的原料。先将电池外壳剥离后进行粉碎，浮选出塑料原料等较轻的物质，再以磁选将不同金属材料加以分类，接着进入以溶液、吸附、电解方式萃取的“湿法”或熔炼或焚烧的“火法”阶段，最后取得五大类回收产品，包括用于正极或化工触媒的钴镍原料、炼钢添加剂的碳材原料、铜／铝再制原料、用于铸造的铁合金原料，以及用于塑料再制品的再生塑料料，这些都是可以再进入工业制程的有价材料。

湿法技术 让珍贵资源留在当地

台湾的锂电池供应链堪称完整，但因独缺回收循环体系，业者多仰赖材料从国外高价进口。为协助产业解决原料困境，工研院投入锂电池的循环技术，2020 年开始建置小型湿法处理设备，萃取获得的有价金属可导入电池或其他产业的再利用。

林欣蓉表示，目前国内厂商只能将回收搅碎的再生料简单区分为黑粉、金属和塑料，更有价值的金属提炼只能送往海外进行，无法将珍贵资源留在台湾。工研院开发的湿法提纯，不仅成本低、空污少，也可处理多样性材料，例如提取出的草酸钴及硫酸钴、氧化钴等，可用于油漆原料、马达的永磁材料、涡轮叶片的合金等。近年因回收成效良好，带动台湾锂电池回收数量明显增加，2021 年回收 620 吨，较前一年的 350 吨大增，未来还会呈现倍数成长。

“欧盟制定的锂电池条款，要求在 2030 年之后，大于 2kW 的电池必须使用一定比重的回收材料，也让电池回收产业的前景更被看好。”林欣蓉指出，目前废弃锂电池多来自一般消费产品如手机、笔电，难要求强制回收电池，主要是用户担心手机和笔电的个人资料外流，宁可闲置家中也不交付回收系统。所幸未来车用或工业电池属于事业废弃物，更易追踪及规范，可望带动锂电池回收比率。

RAIBA 技术 显著改善电池性能

在锂电池降级利用方面，工研院也有相关技术。“RAIBA 可动态重组与自我调节之电池数组系统”克服了以往不同性能汰役电池难以整合的障碍，其关键技术在于“在线恒电流开关模块”和“电池数组重组演算软件”，将新、旧电池模块整合为一套储能系统，即使电池模块的残存性能有所差异，也能有效搭配，延长系统寿命。实测数据显示，RAIBA 可改善系统衰退程度达 64%，循环寿命可延长 223%，同时稳定度提高、成本降低。目前已与国内外厂商共同打造小型示范场域，开创电池循环与共享的新经济模式。

配合政府的循环经济计划，工研院也布局不同阶段的锂电池循环目标，包括近程的 AI 智慧分选技术与低破坏拆解技术、中程的高效率补锂再生技术、长程的 Design-in 易循环材料设计。此外，更致力强化产业链结，以电动机车为主要载具，整合国内回收厂、材料厂、系统厂、电池管理商、梯次储能应用商、绿电营运站等，建立完整的供应链体系，打造台湾独有的电池循环经济模式，做亚洲示范平台。MFC