

Discussion on the Research and Development Status and Innovation Promotion of Lithium-ion Battery Materials

Yonghui Zhou Zhiping Qiu

Shenzhen Defang Nanotechnology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

The paper mainly introduces the research and development status of lithium-ion battery materials and some views on their innovation promotion. The research and development of lithium-ion battery materials is rapidly advancing towards improving energy density, power density, cycle stability, and safety. In terms of positive electrode materials, layered oxides, spinel structured oxides, and polyanionic compounds have received widespread attention. In terms of negative electrode materials, silicon-based materials have become a research and development hotspot in recent years due to their high theoretical specific capacity. In terms of electrolyte and separator, optimizing the composition of electrolyte can improve ion conductivity and interface stability, and developing separator materials with high mechanical strength and high temperature resistance can enhance the thermal stability of batteries. Solid state electrolyte is an important research object for the new generation of high-energy density batteries, but still faces many problems and challenges.

Keywords

lithium-ion battery; material science; research and development status; innovation promotion

浅谈锂离子电池材料的研发现状和创新推进

周永辉 邱志平

深圳市德方纳米科技股份有限公司, 中国·广东深圳 518000

摘要

论文主要介绍了锂离子电池材料的研发现状以及对其创新推进。锂离子电池材料的研发正朝着提高能量密度、功率密度、循环稳定性和安全性等方向快速前进。正极材料方面, 层状氧化物、尖晶石结构氧化物和聚阴离子化合物等材料受到广泛关注。负极材料方面, 硅基材料因其高理论比容量而成为近些年的研发热点。电解液和隔膜方面, 通过优化电解液的成分提高离子导电性和界面稳定性, 通过研发具有高机械强度和耐高温的隔膜材料提升电池的热稳定性, 固态电解质是新一代高能量密度电池的重要研究对象, 但仍然面临诸多问题和挑战。

关键词

锂离子电池; 材料; 研发现状; 创新推进

1 引言

随着全球对清洁能源、储能材料、电动汽车的需求不断增长, 高性能锂离子电池成为关键发展路径之一。通过研发新型高能量密度、高功率密度、长循环寿命和良好安全性能的电池材料, 可以满足不同细分领域对锂离子电池的需求, 推动电动汽车和可再生能源存储等领域的发展。通过开发环保型电池材料和提高材料利用率, 以及废旧电池材料的回收利用, 可以减少对环境的影响和资源消耗, 促进可持续发展。

锂离子电池材料的创新推进具有重要的研究意义, 可以拓宽锂离子电池的应用场景, 为清洁能源和电动汽车等领

域提供更高性能、更安全、更环保的锂离子电池, 推动整个能源技术的进步和可持续发展。

2 锂离子电池材料的研发特征

当前锂离子电池材料的研发主要从提高能量密度和倍率性能、提高安全性能和热稳定性、提高环保性能和资源利用率三个维度展开。

2.1 提高能量密度和倍率性能

锂离子电池的能量密度和倍率性能是衡量其性能的重要指标, 也是相比于传统储能电芯最具有突出优势的指标, 研究人员致力于开发新型更高能量密度、更快充放电的锂离子电池材料^[1]。其中, 正极材料和负极材料的研究是关键。层状氧化物正极材料如 LiNiO_2 、 LiCoO_2 和 LiMnO_2 等具有较高的理论比容量, 研究人员通过掺杂、复合和表面修饰等手段进一步改善其能量密度和倍率性能, 但这类材料存在稳

【作者简介】周永辉(1987-), 男, 中国河南周口人, 硕士, 工程师, 从事锂离子电池材料研究。

定性不足和成本较高等问题,因而对其安全性的研究是重要方向之一。负极材料方面,石墨稳定,导电性好,具有较好的电化学性能,但其高电流密度下的容量衰减较快、低温倍率性能较差等问题需要解决。硅基负极材料是近些年研究热点,其具有较高的理论比容量,倍率性能和低温性能较好,但其在循环过程中的体积膨胀和电导率低等问题仍需要进一步改善^[2]。

2.2 提高安全性能和热稳定性

锂离子电池在充放电过程中可能会出现热失控、枝晶生长等问题,导致发生电池安全事故。研究人员致力于开发具有良好热稳定性和电化学稳定性的电池材料。正极材料方面,掺杂和复合技术可以提高材料的结构稳定性和热稳定性。负极材料方面,纳米化和表面修饰可以改善锂离子传输通道,降低循环过程锂枝晶产生。此外,电解质和隔膜也是影响电池安全性能的关键,目前主要使用液体有机电解液,高温下电解液不稳定、易燃,热稳定性差。开发新型电解液和隔膜材料,如高电压水系电解液、固态电解质和陶瓷隔膜等,可以提高电池的热稳定性和防止热失控。

2.3 提高环保性能和资源利用率

锂离子电池的生产和回收处理过程中会产生一定的废水、废气、固体废弃物等污染物。研究人员致力于各个环节的研究控制以减少对环境的影响。首先,源头控制,采用生物质材料等可持续来源的材料,减少不可再生资源的消耗。其次,提高资源利用率,将废弃矿渣在水泥、陶瓷、玻璃等领域进行二次利用,减少固废产生量。最后,废旧锂离子电池的高效回收利用,提取关键材料重新进入生产链,不仅提高关键资源的安全供给能力,也同时降低直接废弃造成的土壤污染、水质污染等^[3]。

3 锂离子电池材料的研发现状

3.1 正极材料

正极材料直接影响着电池的多项关键性能,目前研究较多的正极材料有橄榄石结构的磷酸铁锂(LiFePO_4)、尖晶石结构的锰酸锂(LiMn_2O_4)、层状结构的钴酸锂(LiCoO_2)、镍钴锰三元材料(NCM)和镍钴铝三元材料(NCA)等。

①磷酸铁锂(LFP):磷酸铁锂是一种常见的锂离子电池正极材料,因其较高的安全性、稳定的电压平台和较长的循环寿命而受到广泛应用。但其能量密度相对较低,低温性能较差。研究人员主要通过材料纳米化、表面包覆改性、离子掺杂等技术进行改善,进一步改善循环性能和倍率性能。

②钴酸锂(LCO):具有较高的能量密度,但成本较高,且存在安全风险,通过离子掺杂、表面包覆等手段可以改善其性能。

③镍钴锰三元材料(NCM)具有层状结构,理论容量高,其中Mn作为材料骨架起到稳定晶体结构的作用,Ni和Co作为活性物质,为了提升能量密度和循环性能倾向于提高镍

的含量,但镍含量越高,材料的稳定性越差,高温条件下容易出现相变、过渡金属溶解,以及晶界的晶间裂隙和大量的氧释放^[4]。目前主要通过调整金属元素配比和改善合成条件等方法进一步提升改善其安全性能,例如,在三元材料表面构建具有阻碍界面副反应的导电聚合物保护层,可以提高材料的电化学性能和热稳定性;通过电解液层面性能优化构建稳定的CEI层,抑制锰溶出,从而提升循环性能和安全性能。

3.2 负极材料

负极材料主要影响着电池的充放电效率和安全性。目前研究较多的负极材料有石墨、硅基材料、钛酸锂(LTO)等。①石墨:具有较好的充放电性能和热稳定性,但其能量密度相对较低,主要通过表面改性、优化导电剂等手段提高其性能。②硅基材料:硅(Si)因其高理论比容量(高达 4200mAh/g)而成为锂离子电池负极材料的理想候选者。然而,硅在充放电过程中会发生巨大的体积膨胀(可达300%以上),这会导致电极材料的破裂、容量降低、循环衰减过快等问题。为了解决这些问题,研究人员采取纳米化硅基材料、孔结构调控、表面包覆修饰、预锂化等技术,优化辅材配方引入新型粘接剂,复配高导电性的材料增加其导电率,改善电解液配方优化SEI成膜等多方面技术措施,以提高其结构稳定性和电化学性能^[5]。

3.3 电解质

①有机锂盐电解液:具有较好的充放电性能和热稳定性,但成本较高。通过选用合适的有机锂盐、溶剂和添加剂可以提高其性能。

②高电压水系电解液:相较传统有机体系,水系电解质具有显著的安全性提升,但其能量密度较低,应用场景受限,需进一步研制高电压水系电解质,提升水系锂电池的循环性能、能量密度。

③固态电解质:固态电解质是锂离子电池发展的一个重要方向,因为它可以同步大幅度提升锂电池的安全性和能量密度,兼顾能量密度高和安全性能好两大关键优势。目前开发路径较多,技术发展迅速,最具有商业化前景的是锂硫氧化物基固态电解质,室温下它具有较高的离子导电性和良好的化学稳定性,但制备成本较高,技术瓶颈多,应用条件苛刻。固态电解质的离子传输快慢由电解质体相和界面传输能力共同决定,相比液态体系电解质其离子传导速率仍较慢,需要深入研究晶格动力学和表界面的离子传输机理。固态电解质的界面研究是重点也是难点,攻克界面问题提高固态电解质的离子电导率有助于提高快充和快放特性以及低温特性^[6]。此外,循环过程中锂枝晶的生长会导致全固态电池安全隐患和容量快速衰减,仍需进一步研究。

4 锂离子电池材料的创新推进

4.1 技术创新

锂离子电池材料的技术创新是锂电池向上突破的基础,

主要目的是平衡锂离子电池能量密度、功率性能、循环性能、高低温性能、安全性能以及生产成本等多种需求。

①开发新型正极材料:研究新型正极材料,如高镍三元、磷酸锰铁锂、富锂锰基材料等,这些新型材料具有高容量、高电压等优势,进一步研究界面反应机理、热失控机理等,为提升电池能量密度的前提下保持材料稳定应用做好技术铺垫。

②优化负极材料:研究新型负极材料,如硬碳材料、硅碳复合材料、纯硅基材料、锡基材料等。这些材料具有不同于传统石墨材料的特性,可以改善电池的倍率性能、低温性能和能量密度等性能,有助于拓宽锂离子电池的商业化应用范围。

③创新电解液和隔膜材料:研究新型电解液和隔膜材料,如阻燃型电解液、固态电解质、新型聚合物耐高温隔膜、陶瓷隔膜等,这些材料具有优良的离子传输性能和机械性能,以期达到锂电池本质安全并从根本上解决锂电池自燃的问题,消除大规模产业化应用带来的安全问题。

④提高材料制备工艺:未来应当聚焦降本增质不断探索新的合成方法,如溶胶-凝胶法、化学气相沉积法、原位固化法、材料纳米化法、新型包覆沉积法等,以实现高性能锂离子电池材料的批量生产。

⑤其他关键辅材的优化:研究新型粘接剂、导电涂层和集流体材料,以提高电池的导电性能和机械强度等,也是解决锂离子电池应用现存问题的关键路径。

4.2 生产线建设与技术升级

生产线建设与技术升级是锂离子电池材料推进的另一关键突破口,聚焦材料的品质、安全与成本,提出如下建议:

自动化生产线:建设自动化生产线,提高生产效率和产品质量,降低人为操作引入的偏差。

智能化生产线:引入大数据、云计算与机器感知的应用,关键节点切入智能监测、AI自分析、闭环自调整等技术,充分结合数据、AI与设备的力量,实现生产智能化,进一步驱动产业革新。

电池产线全流程管理与优化:从设计、制造、安装、调试到交付的每个环节精心打造,通过严格的质量管理、供应链管理、全面的售后服务等措施,提高生产效率、降低生产成本、提升产品品质。

4.3 政策与市场推动

政策与市场推动也是锂离子电池材料推进的力量源泉,未来市场需求目标高,期望获得循环寿命长、安全性能好、

续航能力高、能够快充快放的锂离子电池。针对市场需求和政策影响,以下是一些关键的方向:

政策支持:政府应出台相关政策,支持与规范化锂离子电池材料的研究与产业化,建立相关产业集群促进产业转型和升级^[7]。

人才培养:加强锂离子电池材料领域的人才培养,提高研发能力和产业化基础力量。

标准制定:制定锂离子电池材料的产品标准、检测标准,提高产品的质量和适配性。

市场推广:积极挖掘锂电池应用领域新蓝海,在深化锂离子电池材料在新能源汽车、大型储能电站、手机笔记本等消费电子等领域的应用基础上,渗透至电动船舶、电动航空、eVTOL等新的增长点扩大市场需求。

通过不断优化材料性能,提高生产效率和质量,加强政策支持和市场推广,可以推动锂离子电池材料的发展,进一步推动锂离子电池技术的进步。

5 结语

锂离子电池材料的研发是电池产业持续发展的关键,不仅在当前有着活跃的现状,而且未来发展潜力巨大。锂离子电池材料的研发将促进新材料的加速应用和新产品的持续涌现,提供更加高效、环保的能源解决方案。

参考文献

- [1] 刘超帅,李振京,范广新,等.深冷处理对锂离子电池正极尖晶石锰酸锂结构及性能的影响[J/OL].化工新型材料,1-8[2025-01-13].<https://doi.org/10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2025.02.039>.
- [2] 籍凡妹.水热法制备V2O5作为高性能锂离子电池正极材料的思考[J].天津化工,2024,38(5):14-16.
- [3] 罗家玲,刘昕焯,刘思怡,等.有机酸浸法绿色回收废旧磷酸铁锂电池正极金属的研究[J].现代化工,2024,44(11):202-207.
- [4] 朱梦媛,李锋,叶泉,等.二氟双草酸磷酸锂的制备方法、性能及在锂离子电池中的应用[J/OL].化工科技,1-8[2025-01-13].<https://doi.org/10.16664/j.cnki.issn1008-0511.20240925.001>.
- [5] 曲杰,黄美华.锂离子电池膨胀力试验台开发及试验验证[J].机械工程学报,2024,60(22):329-339.
- [6] 高海超,陈明,宋亦诚.锂离子电池活性材料剥离强度的实验测试方法[J].力学季刊,2024,45(3):652-666.
- [7] 朱凡,孟必成,刘思名,等.辉铋矿基Sb2S3/石墨复合材料制备及其电化学性能[J].矿冶,2024,33(5):684-693.