

锂电池电极材料稳定性问题及改进策略

杨 博

吉林大学材料科学与工程学院 吉林长春

【摘要】生态文明建设是现代化社会的主题，各行各业在提升经济效益的同时，应兼顾生态文明效益，打造环境友好型社会。当前，全球能源结构突破了传统模式，逐渐迈向清洁化的目标，锂电池作为广泛应用的储能技术，已经成为驱动能源结构清洁化转型的关键要素，其电极材料的稳定性是否达标，与储能系统的效率、安全性和经济性密切相关。锂电池电极材料相关行业为了攻克电极材料稳定性的难关，积极响应国家政策和相关文件，《关于推动能源电子产业发展的指导意见》等产业政策成为重要导向，有助于开拓锂电池电极材料的市场前景，积极探索改进电极材料稳定性的创新路径。

【关键词】锂电池；电极材料；稳定性；问题及策略

【收稿日期】2025 年 4 月 12 日

【出刊日期】2025 年 5 月 15 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250158

Stability issues and improvement strategies of lithium battery electrode materials

Bo Yang

School of Materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin

【Abstract】 Ecological civilization construction is the theme of modern society. While improving economic benefits, various industries should also take into account the benefits of ecological civilization and create an environmentally friendly society. Currently, the global energy structure has broken through traditional models and is gradually moving towards the goal of cleanliness. As a widely used energy storage technology, lithium batteries have become a key factor driving the transformation of the energy structure towards cleanliness. The stability of their electrode materials is closely related to the efficiency, safety, and economy of the energy storage system. The industry related to lithium battery electrode materials actively responds to national policies and relevant documents in order to overcome the difficulty of electrode material stability. Industrial policies such as the "Guiding Opinions on Promoting the Development of Energy Electronics Industry" have become important guidance, which helps to explore the market prospects of lithium battery electrode materials and actively explore innovative paths to improve electrode material stability.

【Keywords】 Lithium battery; Electrode material; Stability; Problem and strategy

引言：相关行业及技术人员应总结分析电池技术面临的关键问题和技术瓶颈，全面优化电池性能，推动整个锂电池产业链实现技术突破性的目标，向高性能、高安全性的方向发展。技术人员应针对锂电池电极材料面临的问题，积极探寻针对性的解决方案，提升其稳定性，以便于获取更高的经济与生态效益。

1 锂电池电极材料的稳定性问题分析

1.1 正极材料稳定性问题

锂离子电池具有高比能、长循环寿命、高功率和低环境污染等优点，在新能源汽车、航空及储能等领域运用广泛。然而，随着锂离子电池能量密度的提升，电

池的安全问题也愈发严重，引起人们广泛关注^[1]。正极材料稳定性问题，是锂电池电极材料稳定性的问题之一，主要涉及热稳定性和结构稳定性两方面。如果未能提升正极材料的稳定性，则会导致锂电池的安全性、循环寿命以及能量密度受到负面影响。正极材料的热稳定性与锂电池应用的安全性密切相关，这主要是因为正极材料本身具有高温分解特性，尤其对于高能量密度电池而言，如果正极材料的稳定性不达标，则会在使用期间增大热失控风险，不利于维护锂电池的性能和安全。正极材料的结构稳定性不佳，容易导致锂电池的循环寿命备受限制，增大了容量衰减的风险。三元材料

作者简介：杨博（2004-）男，甘肃省金昌市人，汉族，本科，材料学（无机非金属）。

的热不稳定性、钴酸锂的热失控风险等,均是正极材料稳定性问题的表现,例如,三元材料中的镍、钴、锰三种金属元素,是影响正极材料稳定性的关键要素,锂电池在使用期间,如果温度超过临界点,三元材料则会因为自身的热不稳定性,受到温度因素的影响,大量释放晶格中的氧气,同时与电解液产生剧烈反应,增大了锂电池热失控的风险。钴酸锂作为一种正极材料,应用于手机和笔记本电脑中,根据钴酸锂特性来看,处于 180℃ 温度下,发挥出高分解性质,释放出的大量氧气与电极液反应,锂电池温度在短时间内急剧上升,证明了正极材料的热稳定性不高,增加了锂电池使用的安全风险。从结构稳定性来看,锂电池在日常放电期间,锂离子需要不断进出晶格,长期使用会影响结构的稳定性,主要是因为钴酸锂与三元材料具有层状结构,在循环过程中面临层间滑移与扭曲阳离子混排的问题。

1.2 负极材料稳定性问题

负极材料稳定性是锂电池电极材料稳定性问题之一,主要表现在体积膨胀与界面稳定性方面。从体积膨胀方面来看,导致这一问题的原因是负极材料与锂离子之间相互作用的机制,多种类型的负极材料在嵌锂或脱锂过程中,呈现出多样性的体积变化现象,若要提升负极材料的稳定性,应从体积膨胀的具体过程分析,探索解决该问题的针对性措施。近年来,随着新能源技术的广泛推广和交通领域电动化进程的加速,市场对锂离子电池的关键性能参数,如能量密度、安全性和循环寿命,提出了更为严苛的要求,因此只有提升负极材料的稳定性,控制其稳定性的影响因素,才能维护锂电池使用的安全和效能^[2]。

例如,石墨负极材料本身的插层膨胀机制,是导致膨胀性的问题之一,从石墨负极材料与锂离子相互作用的机制层面来看,石墨通过锂离子在石墨层间的可逆插层实现储能,在此基础上形成了插层化合物,最终导致体积膨胀。负极材料的界面稳定性表现在多方面,包括 SEI 膜的反复破裂与再生、锂枝晶的不可控生长、界面副反应的持续发生、活性锂的持续消耗等方面,例如 SEI 膜发生反复破裂与再生,根据其破裂机制来看,负极材料在电池使用期间持续放电,其体积受到放电过程的影响逐渐膨胀,SEI 膜受到拉伸作用,在体积不断变化的同时破裂^[3]。锂晶枝是影响电池安全性的关键因素,主要是锂电池负极表面形成的沉积物,表现为针状或者树突状,产生这一问题的原因主要是充电速率过快、温度过低或者负极表面不平整,无法促使锂离子均匀分布,增大了某些点的沉积率。

1.3 环境稳定性问题

温度是影响锂电池电极材料稳定性的环境因素,在高温环境下,电极材料结构退化,例如高镍三元正极材料在具体应用中,受到高温环境因素的影响会在材料表面形成副产物,进而加大了锂电池的内阻,一旦环境温度超出耐受标准,大于 60℃,正极材料的晶体结构会从有序转化为无序,严重阻碍锂离子的传输。镍、钴、锰均属于锂电池内部的过渡金属,在高温环境因素的影响下,容易导致过渡金属元素溶出,从正极晶格迁移至负极表面,最终导致 SEI 膜被破坏,提升了活性锂的消耗量。环境温度低于标准值,通常会导致锂电池电极材料的不稳定,发生电解液冻结、锂离子扩散受阻等现象。例如,在极低温环境中,电解液受到冷空气的影响增大黏稠度,甚至出现凝固现象,不利于锂离子稳定持续地传输。锂离子在低温影响下缓慢扩散,难以保持正常的迁移速度。

2 锂电池电极材料稳定性问题的解决策略

2.1 提升锂电池正极材料的热稳定性和结构稳定性

锂电池正极材料的热稳定性和结构稳定性问题,与电池使用的安全性和循环寿命相关,为了解决这一问题,技术人员在攻克锂电池电极材料稳定性问题期间,应结合正极材料的具体性质和潜在风险,探索提升热稳定性与结构稳定性的策略,制定完善的解决方案。基于能源紧缺现状以及“双碳”目标要求,开拓和发展安全环保的清洁能源技术势在必行。锂离子电池具有能量密度大、输出电压高自放电小、循环性能优异等优点,在便携式电子产品、汽车和大规模储能等领域均得到广泛应用^[4]。基于生态建设目标,技术人员采取表面包覆技术,借此解决热稳定性与结构稳定性的问题,主要是在电极材料外部添加保护层,避免正极活性物质与电解液发生剧烈反应,增大锂电池的应用风险^[5]。例如,技术人员通常选择氧化物包覆技术,利用多种氧化物与优异的化学稳定性,以及锂离子的导电性,不仅可以维护正极材料应用的安全性,而且有助于锂离子稳定安全的传输。氧化铝包覆膜作为氧化物包覆技术的应用材料之一,应控制包覆厚度,通常应在 2-5nm 之间,过厚或过薄均会影响锂离子的传输稳定性和效能。

技术人员在锂电池正极材料表面添加包覆膜,能够高效抑制过渡金属离子的溶出,达到提升正极材料热稳定性和结构稳定性的目标。技术人员在实施材料改性措施之外,从结构设计方面采取创新措施,同样能

够达到提升稳定性的目标,在传统锂电池正极材料的应用过程中,主要应用传统的多晶正极材料,该类型的材料主要由小晶粒构成,受到晶界因素的影响,增大了结构破坏的风险,技术人员在创新结构设计时,一般利用单晶化技术取代多晶正极材料,利用大单晶颗粒解决结构破坏性问题^[6]。

2.2 提升锂电池负极材料的稳定性

体积膨胀与界面稳定性是负极材料不稳定的表现形式,技术人员应结合体积膨胀与界面稳定性问题成因,探索提升锂电池负极材料稳定性的方案。对于锂电池电极材料的稳定性问题而言,关乎正极、负极、电解液与隔膜等多个组件的协同作用,如何提升锂电池负极材料的稳定性,已经成为维护电池应用安全和性能的关键措施。技术人员若要提升锂电池负极材料的稳定性,则需要明确锂电池的基础性作用,并突破关键技术瓶颈,守住安全防线。材料纳米化与结构设计,是提升锂电池负极材料稳定性的措施之一,具体来看技术人员针对硅基负极设计了纳米结构,将其应用于锂电池中有助于控制体积膨胀问题,纳米结构的设计在体积膨胀问题解决方面具有显著优势,可以解决 300% 的问题,多孔硅结构的创新意义显著,主要表现在能够打造缓冲空间方面,借此将体积膨胀率降到了 50% 以下。石墨负极的体积膨胀问题具有温和性特征,技术人员一般采取表面氧化处理措施,能够显著降低膨胀率,与此同时需要根据石墨负极的性质和潜在隐患,精准控制石墨化程度和层间距,进而预防控制结构应力带来的不稳定性问题。

技术人员通过建构人工 SEI 膜有助于提升稳定性,例如科学选择电解液添加剂,在电解液中添加特定成分,保证锂电池在首次充放电过程中,在电解液与特定成分的反应下生成稳定的保护层,一般常用碳酸亚乙烯酯、氟代碳酸乙烯酯等类型的添加剂,赋予 SEI 膜不同的特性,对于石墨或硅碳等负极材料,一般选用碳酸亚乙烯酯添加剂,提高 SEI 膜的弹性,硅基或锂金属等负极材料,通常利用氟代碳酸乙烯酯添加剂,利用还原分解作用提高 SEI 膜的化学稳定性与机械强度,避免电解液进一步分解^[7]。

2.3 加大高温低温环境的控制力度

高温和低温环境是影响锂电池电极材料稳定性的关键因素,只有加大高温和低温环境的控制力度,才能提升电极材料的稳定性,维护锂电池应用的安全性和性能。技术人员在锂电池电极材料的研发与应用中,为了控制高温环境对稳定性的影响因素,一般利用正极

材料表面包覆技术,有助于隔离正极材料与电解液,避免发生直接反应。从该技术的应用原理来看,选择氧化物、固体氧化物、磷酸盐等包覆材料,有助于控制氧气的释放量,提高锂电池对外界高温环境的防御能力。在利用包覆材料之外,技术人员着眼于热管理与系统设计方面,旨在设计高效的散热系统,全面提升锂电池的散热效率^[8]。

例如引入智能化水平高的温控系统,可以动态跟踪锂电池应用期间的温度变化,一旦温度超出标准范围,系统则会自动开启冷却装置,保障环境温度的稳定性。低温环境同样不利于锂电池的应用安全,容易增大电池应用风险,针对这一问题采取保护措施,需要采用电极材料的低温改性技术,创新优化正极和负极材料,从创新负极材料的措施方面来看,技术人员科学采用锂电池负极材料,比如硅碳材料,通过本身的优异性质在实际应用中有助于扩大层间距,从而解决锂离子受低温环境影响导致内阻增大的问题。正极材料借助碳包覆技术方式,可以优化正极材料,维持电池在低温环境中的导电性质,突破环境因素的限制。

3 结束语

生态文明建设是现代化社会的主题,各行各业在提升经济效益的同时,应兼顾生态文明效益,打造环境友好型社会。锂电池电极材料稳定性的研究,是提升安全性、延长循环寿命、追求高能量密度、推动产业升级的必然要求,在锂电池电极材料稳定性研究中,应着眼于正极、负极材料的稳定性问题,以及环境因素的影响,采取针对性的措施。

参考文献

- [1] 张文婧,肖伟,伊亚辉,钱利勤.锂离子电池安全改性策略研究进展[J].储能科学与技术,2025,14(1):104-123
- [2] 张文杰,任东生,吴宇,芮新宇,刘翔,冯旭宁,卢兰光.基于 Li₁₀GeP₁₂S₂ 全固态电池关键材料的热稳定性[J]. 储能科学与技术,2025,14(6):2193-2199.
- [3] 刘娜,张锟,田君,梁晓婧,胡道中,王一拓,佟蕾,徐春常,田崔钧,高洪波,张跃强.锂离子电池高镍层状正极材料循环稳定性研究进展[J].材料工程,2024,52(11):62-73.
- [4] 张继国,吴田,赵旭,杨钊,夏天,孙士恩.钠离子电池正极材料循环稳定性提升策略及产业化进程[J].无机材料学报,2025,40(4):348-362.
- [5] 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.

- [6] 凌仕刚,刘亚飞,陈彦彬.锂离子电池正极材料的表界面改性策略[J].矿冶,2024,33(6):796-809.
- [7] 史姝娴,李致朋,马建民,蓝凌霄,金晶,江卫良,曾文明,周彤,吴元花,詹锋.表面改性对锰基锂电池电极材料电化学性能的影响[J].大众科技,2024,26(3):81-84.
- [8] 雷洪根.改性磷酸铁锂电极材料的制备及其电池性能研

究[J].电子制作,2025,33(7):98-102.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS