



基于机械测试与仿真技术的高比能锂电池模组开发

史 玲 华

(驻马店职业技术学院信息工程学院, 河南 驻马店 463000)

摘 要: 锂电池作为现代储能行业较为成熟的电力产品, 电池模组的开发一直是行业热门。对此, 本文针对高比能锂电池模组的开发技术进行研究综述。首先回顾锂电池研究进展, 包括电池结构和工作原理, 然后对锂电池模组的开发测试相关技术流程进行介绍, 包括机械测试方法和相应的仿真开发技术。事实证明, 锂电池模组的开发需围绕能量、结构强度、热能、压力及电气安全等核心需求展开, 通过机械测试与仿真技术相结合, 可有效提升电池模组性能。

关键词: 机械测试; 仿真技术; 电池模组

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0040

中图分类号: TM 911

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 02-500-03

Development of high specific energy lithium battery modules based on mechanical testing and simulation technology

SHI Linghua

(Department of Information Engineering, Zhumadian Vocational and Technical College, Zhumadian 463000, Henan, China)

Abstract: As a mature power product in the modern energy storage industry, the development of battery modules for lithium batteries has always been a hot topic in the industry. This article provides a research review on the development technology of high specific energy lithium battery modules. Firstly, review the research progress of lithium batteries, including battery structure and working principle. Then, introduce the technical process related to the development and testing of lithium battery modules, including mechanical testing methods and corresponding simulation development techniques. It has been proven that the development of lithium battery modules needs to focus on core requirements such as energy, structural strength, thermal energy, pressure, and electrical safety. By combining mechanical testing and simulation technology, the performance of battery modules can be effectively improved.

Keywords: mechanical testing; simulation technology; battery module

近年来社会市场对于高能量高密度的循环电池性能以及更低廉的成本价格。而电池模组是电池能有了更多需求, 即更高的能量密度、更优质的续航源系统的核心组成, 一般由电芯、隔热件、绝缘体

收稿日期: 2026-01-14; 修改稿日期: 2026-01-23。

基金项目: 河南省社会科学界联合会调研课题 (SKL-2023-1712)。

作者简介: 史玲华 (1982—), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为计算机硬件技术、计算机软件及计算机应用, E-mail: 13723076386@163.com。

引用本文: 史玲华. 基于机械测试与仿真技术的高比能锂电池模组开发[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(2): 500-502.

Citation: SHI Linghua. Development of high specific energy lithium battery modules based on mechanical testing and simulation technology[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(2): 500-502.

与机械组件构成。截至目前，针对锂电池的集成动力电池模组的分析研究还相对匮乏，对此，本研究基于机械测试和网络仿真技术，详细探讨了高比能锂电池模组的开发工作，以期为后续研究奠定基础^[1]。

1 锂电池基本概述

1.1 锂电池基本组成

锂电池在结构上主要分为5个部分，包括：正极材料、负极材料、电解液、隔膜以及外壳结构。其中正极材料一般会选择多类型层状结构单质材料，外部活性材料常与导电碳复合粉体进行混合刮涂处理。负极材料的选择范围较广，通常需采用能与锂离子实现适配嵌入脱出的层状碳基化合物，石墨、中间相碳微球等均为该领域的典型应用材料。考虑到安全性，隔膜材料的选择越来越严格，一般会选择复合类隔膜材料，保证电池内部稳定性，提高散热效率。对于锂电池来说，最核心的材料就是电解质材料，其性能会直接影响锂电池整体的运行效率，一般会选择含有锂盐的碳酸酯类材料^[2]。

1.2 锂电池的工作原理

锂电池的工作原理主要是基于离子电子之间的电能和化学能转化。在充电过程中，外接电源施加电场驱动正极材料发生氧化反应，晶格中的锂离子从多面体间隙脱出并进入电解液，同时正极材料中的过渡金属离子发生价态升高；锂离子在电解液中以扩散与电迁移方式向负极迁移，电解液中的锂盐解离出的阴离子通过静电屏蔽效应维持体系电中性，避免正负离子直接接触短路；负极材料的层状或微纳孔隙结构为锂离子提供嵌入位点，嵌入过程中负极电位降低，驱动电子经外电路从正极流向负极，在负极表面与锂离子发生电荷中和反应，完成电能向化学能的存储；放电时，负极材料中的锂离子因浓度梯度与电势差驱动从嵌入位点脱出，经电解液扩散至正极并重新嵌入晶格间隙，同时负极释放的电子经外电路定向移动形成电流，驱动负载设备运转，正极材料中的过渡金属离子价态同步降低，恢复初始化学结构^[3]。

2 锂电池模组机械测试

2.1 基础电池的选择与特性

锂电池在充放电的过程中，金属锂负极垂直面

的表面积会逐渐增大，而且通电后正极单位的金属硫质转化为固体硫化锂，也会出现一定的体积变化，所以对于电池外壳的选择首先需要摒弃传统较硬的金属外壳。其核心原因在于，金属外壳的形态一般具有不可变性，在日常工作中一旦金属锂的负极体积出现变化，就可能出现外壳挤压情况。所以现阶段大多数会选择软包电池外壳。

锂硫电池内部单质硫正极的电子与离子具有明显的绝缘特征，内部导电性能较差。因此在设计电机结构时，需要引入不同的复合组分，用以改善其电化学性能。但是这样的设计也会增加电池内阻，引起电池内部热量堆积。所以针对这一问题，在锂硫电池测试时，通常会将高导热石墨片放置到锂硫电池组和单体电芯之间，通过其导热效能，强化热扩散效率，提高电池组的散热效果。而从电力循环角度来看，锂硫电池的金属锂负极在整个充放电过程中，会出现明显的形体变化，可能会导致负极材料破损。与此同时，硫基正极材料的黏结性能相对薄弱。基于上述两方面因素，锂硫电池组必须维持内外部压力的动态平衡，而压力平衡的调控效果，正是决定电池组循环寿命能否提升的关键核心要素。

2.2 电池开发需求定义

锂电池模组的开发作为锂电池动力系统开发的核心，所有的设计需要围绕设计需求展开。现阶段锂电池组的设计需求主要包括结构需求、热能需求、压力需求、电气需求与安全需求。其中最核心的四个需求为：电池系统足够的能量需求、电芯强度和预紧力需求、与电池组相匹配的热需求以及高低压力连接下的安全保障需求。

对于能量需求方面，目前相关电器产业的核心问题在于续航能力不足，无法满足长时间的电力供给需求。而在结构强度和压力需求方面，电池模组在实现常规挤压、震动、冲击抵抗以外，还需要时刻保证电芯预紧力，保证锂电池循环下的热能稳定。热设计方面最重要的工作在于提升电芯使用中的热量消散效率，限制模组内的温差。而在电气安全方面，主要需要保证高低压的连接功能完整性，电气信号采集通路稳定。

3 锂电池模组仿真开发

3.1 模组结构设计

由于锂电池的外部设计已经采用软包结构，所

以为了保证模组的结构强度,就需要设计其他支撑构件。为了满足这一需求,设计采用加强梁和一体化镁合金的结构方案,经过检测不仅可以保证结构强度,还实现了模组的轻量化设计。

电池组短板则主要以高强度注塑材料为主,该类材料也可以用于锂电池内部骨架结构的制备,进一步提高了模组抗压性能。此外,该骨架还可以通过导热结构胶,缩减电芯与框架之间的间隙,不仅强化了整体结构,还可以有效避免振动冲击带来的内部组件碰撞,降低电芯损伤概率。

在热管理与电气性能协同优化层面,研究对电芯模组内部的排布方式进行重新设计,使电芯紧密贴合,并在电芯间隙处嵌入带硅胶边框的导热石墨片。这一设计既能提升散热效率,又能解决热量分布不均的问题;而硅胶边框则可增强电芯的预紧力,为电芯提供更为可靠的防护效果。

3.2 模组机械仿真

锂电池模组结构的可靠性会直接影响模组整体性能释放情况,通过机械仿真能够最大程度还原实况,减少资金和投入时间,从而有效提高电池模组开发效率^[4]。

首先基于电池系统应用场景提取机械仿真载荷需求,结合材料特性与几何特征构建参数化有限元模型;随后加载碰撞冲击、挤压侵入、振动疲劳等典型工况,采用显式或者隐式算法求解瞬态准静态力学响应;最终通过应力云图、能量曲线、失效模式量化评估结构强度,并经物理测试数据校准模型参数,形成“仿真预测-实验修正-精度提升”的螺旋优化机制,支撑电池包抗冲击结构轻量化设计及安全认证。

从具体操作来看,仿真一般会选择大众模组强度标准分析实验模组强度,主要评估方面包括冲击、挤压和随机振动表现。通过实验仿真数据,可以获取不同测试环境下电池模组的最大应力值和极限应力值,此外还能获取模组形变的最大依据,从而实现安全性评估。仿真软件可以采用 Hypermesh 和 ABAQUS 软件,设计相关建模参数,对锂电池模组进行挤压、振动冲击的 CAE 仿真分析^[5]。

4 结 语

锂电池作为现代电子设备与新能源汽车的核心储能元件,其性能提升与模组开发技术的革新对于推动相关产业发展至关重要。本文通过深入探讨锂电池的基本组成、工作原理及模组开发中的机械测试与仿真技术,揭示了锂电池模组在能量密度、循环寿命及安全性等方面的优化路径。未来,随着材料科学、仿真技术及制造工艺的不断进步,锂电池模组将朝着更高能量密度、更长使用寿命及更低成本的方向发展,为新能源汽车的普及与可再生能源的存储提供强有力的技术保障。

参 考 文 献

- [1] 祝国玺,孙富,鞠江伟,等.高比能高安全的柔性锂电池设计[J].科学通报,2024,69(10):1257-1278.
ZHU G X, SUN F, JU J W, et al. Strategies for developing flexible lithium batteries with high energy and high safety[J]. Chinese Science Bulletin, 2024, 69(10): 1257-1278.
- [2] 张超越,高金津,高秀玲,等.高比能量锂离子电池的全周期安全性[J].电池,2024,54(5):682-687. DOI: 10.19535/j.1001-1579.2024.05.016.
ZHANG Y C, GAO J J, GAO X L, et al. The full cycle safety of high specific energy Li-ion battery[J]. Battery Bimonthly, 2024, 54(5): 682-687. DOI:10.19535/j.1001-1579.2024.05.016.
- [3] 孙昭宇,赵经纬,刘军.高比能锂离子电池高电压电解液的设计[J].高等学校化学学报,2023,44(5):250-263. DOI: 10.7503/cjcu20220743.
SUN Z Y, ZHAO J W, LIU J. Design of electrolyte for high specific energy lithium ion batteries working at high voltage[J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2023, 44(5): 250-263. DOI: 10.7503/cjcu20220743.
- [4] 林玉敏.双能量源纯电动汽车能量管理的模糊控制研究[D].西安:长安大学,2015.
LIN Y M. Research on fuzzy control of energy management of pure electric vehicle with dual energy sources[D]. Xi'an: Changan University, 2015.
- [5] 朱方方,王康丽,蒋凯.基于 Simulink 的锂离子电池建模与仿真研究[J].电源技术,2019,43(3):434-436,489. DOI: 10.3969/j.issn.1002-087X.2019.03.024.
ZHU F F, WANG K L, JIANG K. Modeling and simulation of lithium-ion batteries based on Simulink[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2019, 43(3): 434-436, 489. DOI: 10.3969/j.issn.1002-087X.2019.03.024.