



## 基于多参数耦合模型的锂电池健康管理策略在智能物流仓储中的应用

周景景<sup>1,2</sup>, 李翔<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>嵩山少林武术职业学院, 河南 登封 452470; <sup>2</sup>贵州财经大学, 贵州 贵阳 550000; <sup>3</sup>河南工业贸易职业学院, 河南 郑州 451191)

**摘要:** 随着智能物流仓储的快速发展, 锂电池作为关键动力源, 其性能与可靠性备受关注。本文聚焦基于多参数耦合模型的锂电池健康管理策略在智能物流仓储中的应用, 在理论层次构建多参数耦合模型, 综合考量锂电池的电化学、热学、力学等参数, 实现对电池状态的精准评估。详细地阐述了该模型在电池健康状态监测、剩余寿命预测方面的应用, 有效提升了锂电池在智能物流仓储中的安全性与稳定性, 为优化物流仓储运营提供了有力支持。

**关键词:** 锂电池; 多参数耦合模型; 健康管理策略

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0210

中图分类号: TM 912

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 04-1409-03

## Application of lithium battery health management strategy based on multi-parameter coupling model in intelligent logistics warehousing

ZHOU Jingjing<sup>1,2</sup>, LI Xiang<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Songshan Shaolin Wushu College, Dengfeng 452470, Henan, China; <sup>2</sup>GuiZhou University of Finance and Economics, Guiyang 550000, Guizhou, China; <sup>3</sup>Henan Industry and Trade Vocational College, Zhengzhou 451191, Henan, China)

**Abstract:** With the rapid development of intelligent logistics warehousing, as a key power source, the performance and reliability of lithium-ion batteries have received extensive attention. This paper focuses on the application of lithium-ion battery health management strategies based on multi-parameter coupling models in intelligent logistics warehousing. At the theoretical level, a multi-parameter coupling model is constructed, comprehensively considering parameters such as the electrochemistry, thermology, and mechanics of lithium-ion batteries to achieve accurate assessment of battery status. The application of this model in battery health status monitoring and remaining useful life prediction is elaborated in detail, effectively improving the safety and stability of lithium-ion batteries in intelligent logistics warehousing and providing strong support for optimizing logistics warehousing operations.

**Keywords:** lithium-ion batteries; multi-parameter coupling model; health management strategy

收稿日期: 2026-03-12; 修改稿日期: 2026-04-09。

基金项目: 教育部人文社会科学资助项目 (18YJAZH051)。

第一作者及通信联系人: 周景景 (1989—), 女, 硕士, 讲师, 从事物流管理, 经济管理、经济贸易、体育旅游、资源与环境经济学研究, E-mail: 15036102134@163.com。

引用本文: 周景景, 李翔. 基于多参数耦合模型的锂电池健康管理策略在智能物流仓储中的应用[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(4): 1409-1411.

Citation: ZHOU Jingjing, LI Xiang. Application of lithium battery health management strategy based on multi-parameter coupling model in intelligent logistics warehousing[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(4): 1409-1411.

锂电池作为一种高效、能量密度高的储能设备,在各个领域都发挥着重要作用,推动了现代科技的发展和能源转型的进程<sup>[1]</sup>,然而锂电池性能受多种因素综合影响,传统的单一参数监测方式难以精准把控其健康状态,易引发续航缩短、突发故障等问题,干扰仓储作业连贯性与高效性,所以探寻一套全面健康的管理策略迫在眉睫,本文通过构建多参数耦合模型,对锂电池的电化学、热学、力学等参数进行综合考量,实现对电池状态的精准评估,并详细介绍了该模型在电池健康状态监测、剩余寿命预测的应用。

## 1 锂电池于智能物流仓储的关键地位与困境

### 1.1 关键效能

锂离子电池(lithium-ion battery, LIB)因具有能量密度高、循环寿命长、自放电率低以及无记忆效应等优点,成为智能物流仓储系统运行的核心能量支撑。其高能量密度的特点赋予了仓储设备强大的动力,比如AGV小车、堆垛机等设备,能在单次充电后连续工作数小时,满足物流高强度作业需求;循环寿命长的特性,则极为适配仓储设备频繁启停的工作场景,减少电池更换频率,降低了运维的成本。低自放电率的特性使得设备即使长时间闲置,电量损耗也极低,确保设备随时能投入使用。这三个特性有力支撑了智能物流仓储的自动化、全天候运行模式,成为保障系统流畅运转的能量基石。

### 1.2 面临挑战

尽管锂电池在智能物流仓储中发挥着极为显著的作用,但在工作过程中也面临着诸多挑战。

工况的复杂性:大多的仓储环境温度湿度波动是非常明显的,夏季时高温炙烤,冬季时低温严寒,冷热交替且设备任务负载多变,致使锂电池在充放电时电流起伏不定,导致充放电模式错综复杂,加速电池老化进程。

参数关联迷雾:电压、电流、内阻、温度等参数紧密交织,如果只对单一某项指标进行观测就犹如盲人摸象,难以洞察电池整体健康全貌,比如电压正常但内阻攀升可能暗示电池内部有了隐性损伤。

安全隐忧:长时间的循环使用中,锂电池不可

避免地会面临性能和容量的衰退问题,甚至可能引发火灾或交通事故,对货物与人员聚集的仓储空间构成极为严重的威胁。

## 2 锂电池多参数耦合模型构建

锂离子电池模型作为电池管理系统的核心技术之一,对电池性能的优化和寿命的延长起着至关重要的作用<sup>[2]</sup>。

### 2.1 电化学模型

锂电池的电化学过程是其充放电的核心,主要包括三大模型:浓差扩散模型、动力学模型和热力学模型。浓差扩散模型展示了锂离子在电极材料和电解液中的扩散过程,其扩散的速率就是影响电池的充放电性能的关键所在;动力学模型反映了电化学反应速率,能直观地显示电子转移以及锂离子的嵌入与脱嵌,通过对这些过程进行数学表达,能够为电池的电性能模拟提供重要基础,而热力学模型则主要研究的是电池在反应过程中的所发生的能量变化,比如电池的开路电压与温度、SOC之间的关系,为分析电池在不同工作情况下的热力学特性提供依据。

### 2.2 热学模型

锂离子电池产热对电池高能量和高功率密度下安全稳定的运行至关重要,如果产生的热量不能及时散出就会大大影响电池性能,解析锂离子电池运行过程中的产热机理和发展高精度温控技术是最大限度发挥锂离子电池性能的重要途径<sup>[3]</sup>。构建热学模型的目的就是用于描述电池的产热以及传热,电池热量的产生主要来源于焦耳热、反应热和熵变热,热量产生后是通过热传导、对流和辐射三种方式进行传导,在构建热学模型时,常采用的方法是通过傅里叶热传导定律来描述传导过程,同时考虑对流换热系数和辐射率等参数来模拟电池与环境之间的换热,构建热学模型可以预测电池在不同工作条件下的温度分布,为热管理策略的制定提供重要参考。

### 2.3 力学模型

在实际的工作过程中,锂电池可能会受到外界产生的机械应力,这些应力的出现会影响电池的内部结构和性能,力学模型的构建用于描述电池在机械应力下的力学响应,比如电池的形变、应力的分布以及疲劳寿命等,常用的力学模型主要包括线性

弹性模型与粘弹性模型两个类型, 外部机械应力大都不会使电池产生较大形变, 线性弹性模型便是适用于描述电池在小变形情况下的力学行为, 这种形变的应力与应变大都呈线性关系, 粘弹性模型则能够描述电池材料的黏性和弹性特性, 更加准确地反映电池在动态载荷下的力学响应。通过构建力学模型, 可以评估机械应力对电池性能的影响, 为电池的结构设计和安全防护提供重要指导。

#### 2.4 多参数耦合机制

锂电池电化学、热学和力学的三个过程都是相互关联影响的, 比如在电化学反应时所产生的热量也会影响电极材料的电导率和化学反应速率, 导致电池电化学性能的改变, 并且温度的变化还会引起电池材料发生热膨胀和收缩, 从而产生机械应力, 影响电池的力学性能, 机械应力的作用也可能导致电池内部结构损伤, 从而影响电化学反应的进行。多参数耦合模型通过建立各参数之间的数学关系, 将三大模型相互结合起来, 实现对电池复杂行为的全面考量, 在耦合过程中, 需要考虑各物理场之间的耦合系数和边界条件, 以确保模型的准确性和可靠性。通过数值模拟方法, 比如有限元分析, 能够求解多参数耦合模型, 得到电池在不同工况下的综合性能。

### 3 基于多参数耦合模型的锂电池健康管理策略

#### 3.1 电池健康状态监测

通过多参数耦合模型, 实时采集电池的电压、电流、温度以及应变等数据, 并将这些数据输入模型进行计算分析, 能够准确监测电池的健康状态(SOH)。比如利用模型计算电池的内阻、容量等相关参数的变化, 内阻的增加和容量的衰减是电池老化的重要标志, 通过对比当前参数与标准状态下的参数, 能够有效地评估电池健康状况。当电池内阻超过一定阈值或容量衰减达到一定程度时, 及时发出预警, 提示维护人员进行检查或更换电池, 避免因电池故障影响智能物流仓储系统的正常运行。

#### 3.2 剩余寿命预测

锂离子电池的容量衰减是一个渐变过程, 当电池容量达到预定使用寿命终止标准(例如初始容量的80%)时, 电池将不再满足应用需求<sup>[4]</sup>, 基于多参

数耦合模型, 考虑电池的历史运行数据和当前状态, 采用数据驱动与模型相结合的方法, 能够对电池的剩余寿命(RUL)进行预测, 利用模型分析电池在不同工况下的老化机制, 确定影响电池寿命的关键因素, 再通过对大量电池数据的统计分析和机器学习算法训练, 建立电池寿命预测模型。该模型能够根据电池当前的状态参数和未来可能的使用工况, 预测电池还能正常工作的时间。例如, 采用神经网络算法, 将电池的SOC、SOH、温度、电流等参数作为输入, 经过训练学习, 输出电池的剩余寿命预测值。

### 4 结果与讨论

本文通过构建多参数耦合模型, 综合考虑锂电池的电化学、热学和力学特性, 实现了对电池健康状态的精准监测。该策略的提出能够有效提高锂电池在智能物流仓储中的安全性与稳定性, 降低电池故障率、延长电池使用寿命、降低运营成本, 为智能物流仓储系统的高效运行提供有力保障。然而, 目前多参数耦合模型仍存在模型的计算复杂度较高, 模型参数的准确性不高等问题。未来的研究可以朝着优化模型算法、提高模型计算效率等方向展开, 以进一步推动智能物流仓储行业的高效发展。

#### 参考文献

- [1] 李嘉奇. 锂电池健康状态估计及剩余使用寿命预测方法研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2024.  
LI J Q. Research on health status estimation and remaining useful life prediction methods for lithium batteries[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2024.
- [2] 李建林, 彭禹宸, 王茜, 等. 锂离子电池建模研究现状与展望[J]. 发电技术, 2025, 46(5): 857-871.  
LI J L, PENG Y C, WANG Q, et al. Research status and prospect of lithium-ion battery modelling[J]. Power Generation Technology, 2025, 46(5): 857-871.
- [3] 李伟卓, 包志铭, 高清臣, 等. 基于显式格式的锂离子电池电化学-热耦合模型[J]. 工程热物理学报, 2025, 46(5): 1624-1633.  
LI W Z, BAO Z M, GAO Q C, et al. An electrochemical-thermal coupling model for lithium ion batteries based on explicit scheme [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2025, 46(5): 1624-1633.
- [4] 李元元. 基于数据驱动建模的锂离子电池健康管理研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2021.  
LI Y Y. Research on lithium-ion battery health management based on data-driven modeling[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2021.