



锂离子电池储能电站智能监测技术与运行保障

陈 玮, 杨万春

(内蒙古电力集团电网储能有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要: 随着锂离子电池储能电站的规模化发展, 其运行安全性和状态评估准确性面临严峻挑战。传统监测方法存在评估指标单一、数据协同性差、故障预警延迟等问题, 难以满足实际工程需求。文章系统分析了锂离子电池储能电站智能监测技术关键参数, 探讨了电化学阻抗法、等效电路模型及数据驱动方法等多种智能监测技术, 并提出了锂离子电池储能电站运行保障方法, 为储能电站的优化管理提供了重要理论依据与工程实践方案。

关键词: 锂离子电池; 储能电站; 状态监测

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0452

中图分类号: TM91

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 06-2316-03

Operational status monitoring and evaluation of lithium-ion battery energy storage stations

CHEN Wei, YANG Wanchun

(Inner Mongolia Power Group Grid Energy Storage Co., Ltd., Hohhot 010020, Inner Mongolia, China)

Abstract: With the large-scale development of lithium-ion battery energy storage power station, its operation safety and condition evaluation accuracy are facing severe challenges. Traditional monitoring methods have some problems, such as single evaluation index, poor data coordination, delay of fault early warning and so on, which are difficult to meet the actual engineering needs. This paper systematically analyzes the key parameters of intelligent monitoring technology of lithium-ion battery energy storage power station, discusses various intelligent monitoring technologies such as electrochemical impedance method, equivalent circuit model and data-driven method, and puts forward the operation guarantee method of lithium-ion battery energy storage power station, which provides important theoretical basis and engineering practice scheme for optimal management of energy storage power station.

Keywords: lithium-ion battery; energy storage station; operational status monitoring

在能源转型背景下, 以新能源为主体的新型电力系统快速发展, 锂离子电池储能电站因其高能量密度和快速响应特性成为关键支撑技术。然而, 电池本体安全故障与系统运行风险日益凸显, 现有状态监测技术存在评估指标单一、数据协同性差、故障预警延迟等不足, 难以满足规模化储能电站的安

全管理需求。因此, 深入研究电池运行状态的精确监测与评估方法, 对于提升储能系统运行可靠性与寿命至关重要。文章旨在系统分析电池健康状态评估关键技术, 探索多特征融合与智能算法在状态监测中的应用, 为储能电站的安全高效运行提供技术支撑与解决方案。

收稿日期: 2026-05-26。

第一作者及通信联系人: 陈玮 (1989—), 男, 高级工程师, 研究方向为储能电站的运营管理, E-mail: bhels2234@163.com。

引用本文: 陈玮, 杨万春. 锂离子电池储能电站智能监测技术与运行保障[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(6): 2316-2318.

Citation: CHEN Wei, YANG Wanchun. Operational status monitoring and evaluation of lithium-ion battery energy storage stations[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(6): 2316-2318.

1 锂离子电池储能电站智能监测的关键参数

锂离子电池储能电站的运行状态监测依赖于对电压、电流和温度等基础外部运行参数的持续采集与精准分析, 这些参数直接反映了电池的瞬时工作状态与稳定性。同时, 电池的健康状态和剩余寿命作为评价其长期性能的核心指标, 需借助内部特性参数进行间接而深入的评估, 例如通过容量保持率、内阻变化、充电时间、放电平台电压、循环次数以及自放电率等多维度健康指标来综合判断电池的老化程度与性能衰减趋势^[1]。

在规模化储能系统中, 电池不一致性成为重要的监测对象, 主要表现为电压、温度、内阻和容量等方面的差异, 这些差异既源于生产制造过程中的细微偏差, 也受到使用过程中环境条件与工况变化的累积影响。电压不一致性会显著降低电池组的充放电效率, 而温度分布不均则会加速电池的老化进程, 甚至引发热安全问题。因此, 实现电池多维度参数的精确采集与综合分析构成了状态监测的基础, 现代电池管理系统需具备实时测量与协调管理能力, 并采用均衡技术缓解不一致性问题, 从而保障储能系统的高效与安全运行。

2 锂离子电池储能电站智能监测技术

2.1 电化学阻抗法

电化学阻抗法通过向电池系统注入不同频率的小幅正弦电压或电流信号, 并精确测量系统的响应信号, 从而计算出电池的阻抗值, 形成电化学阻抗谱。测试过程需在特定充放电状态及温度条件下进行, 以确保数据的全面性与代表性, 测试结果常以奈奎斯特图和波德图形式呈现, 奈奎斯特图可直观展示电池电化学特性, 波德图则能详细反映阻抗幅值和相位角随频率变化的规律。随着电池循环次数的增加, 其内部欧姆内阻和极化电阻会发生变化, 这些改变直接导致电化学阻抗谱曲线发生整体移动, 例如曲线高频区域阻抗实部增大或曲线右移等现象。通过分析阻抗谱中电荷转移电阻、界面电阻和双电层电容等特征参数, 研究人员能够有效推测电池的健康状态并评估其老化程度。电化学阻抗谱技术具有高灵敏度和无损检测的优点, 能够在不破坏电池结构的情况下实时监测电池健康状态, 为电

池安全使用和寿命预测提供重要技术支持。

2.2 等效电路模型法

等效电路模型方法采用电阻、电容等基本电路元件构成的网络来模拟锂离子电池的动态特性, 从而描述其外特性电压响应与内部状态变化之间的关系。常见的模型结构包括 Rint 模型、Thevenin 模型以及多阶 RC 模型等, 它们通过不同的网络拓扑和参数配置以刻画电池工作过程中的欧姆极化、电化学极化和浓差极化等行为。在电池老化过程中, 模型参数会发生规律性变化, 例如欧姆内阻随电解液分解和活性物质损失而增大, 极化电阻因电极界面膜增厚而上升, 这些变化直接影响模型的响应精度与状态估计的可靠性。为准确识别模型参数, 常采用系统辨识算法, 例如扩展卡尔曼滤波通过状态空间模型实现参数与状态的联合估计, 粒子滤波则通过序列蒙特卡罗方法处理非线性与非高斯噪声问题, 这些方法能够基于实时采集的电压与电流数据在线更新模型参数, 进而实现电池健康状态的连续估计, 为电池管理系统的决策提供支持。等效电路模型因其结构简洁、物理意义明确且易于集成于嵌入式系统, 已成为工程实践中电池状态估计与性能分析的重要工具。

2.3 数据驱动法

数据驱动法通过分析锂离子电池运行过程中产生的大量历史数据, 挖掘其性能退化规律与健康状态变化模式, 避免了复杂电化学机理建模的困难。该方法采用支持向量回归、高斯过程回归和长短期记忆网络等机器学习算法, 建立电池老化特征与健康状态之间的非线性映射关系, 实现对电池性能衰减趋势的准确预测。健康因子作为模型输入的关键特征, 需要从电池外特性参数中有效提取, 主要包括恒流充放电过程中的电压曲线变化特征、工作温度波动特性以及特定荷电状态区间内的充电时间变化等参数。这些特征参数能够反映电池内部阻抗增长、活性物质损失及电解液分解等老化机制, 为数据驱动模型提供区分不同健康状态的有效依据。通过优化特征选择与算法参数, 数据驱动方法能够在不同工况下实现电池健康状态的可靠评估, 为储能电站的预测性维护提供技术支持^[2]。

3 锂离子电池储能电站运行保障方法

3.1 电池不一致性分析与检测

电池不一致性作为影响储能系统整体性能与安

全运行的关键因素,其成因主要来源于制造过程与运行环境的双重作用。在生产阶段,电极浆料均匀度、涂布面密度控制、装配工艺偏差等因素导致电池在容量、内阻及自放电率等初始参数上存在差异。进入使用阶段后,电池组内温度分布不均、散热条件差异、充放电策略波动以及连接部件老化等问题进一步加剧了参数离散化,形成动态正反馈,加速系统性能衰减。为有效识别与量化不一致性,当前检测方法主要发展为三类技术路线。统计学分析法通过计算电压、容量等参数的标准差,并应用 3σ 准则或离群点检测算法识别异常电池,实现对一致性状态的初步判断。机器学习分析法则采用聚类算法如K-means对电池进行分选,或通过回归模型预测容量与内阻变化,从而对电池一致性进行动态分类与评估。多特征加权综合法则融合电压、温度、内阻、容量等多维度指标,采用熵权法或层次分析法分配特征权重,构建一致性综合评价体系,克服单一参数评价的局限性。这些方法为电池组的精细化分组维护、均衡控制策略制定以及早期故障预警提供了关键依据,显著提升储能系统的运行可靠性与寿命^[9]。

3.2 安全预警

储能电站安全预警技术通过对电池运行过程中产生的电压、电流、温度及气体浓度等多源数据进行实时采集与分析,识别潜在故障并评估系统风险。基于特征参量信息熵的健康状态评价方法能够有效量化电池老化程度,其识别准确率可超过90%,为早期故障诊断提供了可靠依据。面向调峰、调频、调压等不同应用场景,需制定差异化的控制策略,通过优化充放电流程与功率分配,避免电池组频繁承受大倍率充放电冲击,从而延缓电池老化速率并延长整体使用寿命。故障录波系统作为安全预警体系的关键组成部分,能够完整记录事故前后电压、电流、温度等关键参数的动态变化波形,其触发机制包括突变量启动、阈值越限启动及开关量变位启动等多种方式,为事故事后分析与责任界定提供了翔实的数据基础。系统采用自供电设计,可在极端运行条件下持续工作,保障数据记录的连续性与完整性。此外,通过多级联动处置与智能融合判断,储能电站能够实现从状态感知、风险

预警到主动防护的全链条安全管控,显著提升了系统运行可靠性。

3.3 集群调度

集群调度技术解决了单座储能电站利用率低的问题。分时复用调度方法根据电网需求动态分配储能电站的功率和电量,使其同时参与调峰、调频和调压等多种应用场景,显著提升利用率。多能互补协同调度方法利用储能电站的快速响应特性,优先响应电网功率支撑需求,水电火电等其他资源随后响应,既保证了电网稳定性,又减少了传统电源的频繁调节。

储能集群调度控制系统实现了区域内所有储能电站的统一调度。系统通过协调优化充电时间段,促进新能源电量消纳,减小电网净负荷峰谷差率。实际运行数据显示,该系统使储能电站日均利用小时数显著增加,电网调节能力得到大幅提升。

4 结 论

锂离子电池储能电站的运行状态监测与评估是保障其安全高效运行的关键。通过电化学阻抗、等效电路模型和数据驱动等方法,可以实现电池健康状态的准确评估。电压、温度和内阻等多特征融合分析提高了电池不一致性检测的准确性。安全预警技术和故障录波系统为储能电站提供了有效的故障预防和事故分析手段。集群调度控制通过分时复用和多能互补策略,显著提升了储能电站的利用率和电网调节能力。这些技术的发展和應用将极大促进储能电站的安全运行和规模化发展,为新型电力系统建设提供重要技术支撑。

参 考 文 献

- [1] 张磊. 锂离子电池储能电站的运行状态监测与评估[J]. 储能科学与技术, 2025, 14(9): 3538-3540.
ZHANG L. Operating status monitoring and evaluation of lithium-ion battery energy storage power stations[J]. Energy Storage Science and Technology, 2025, 14(9): 3538-3540.
- [2] 王志福, 杨忠义, 罗崴, 等. 基于数据驱动的锂离子动力电池剩余使用寿命预测方法综述[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(15): 6279-6289. DOI:10.3969/j.issn.1671-1815.2023.15.002.
- [3] 冯联友. 锂离子电池不一致性改善措施研究[J]. 电子质量, 2023(12): 103-106.