

电化学储能电站主动安全研究

陈国辉

贵州西能电力建设有限公司 贵州贵阳 550081

摘要：在储能技术广泛应用的背景下，电化学储能电站逐渐成为电网稳定运行的关键设施。为此，本文聚焦于电化学储能电站的主动安全问题，围绕热、电、化学与控制风险展开系统分析，识别当前隐患，剖析现有技术短板，并提出强化智能感知、动态调控、协同防御、推进生命周期管理和标准引导的安全对策，旨在为储能电站稳定运行提供理论支持，建立闭环、前置的安全防控机制。

关键词：电化学储能；储能电站；主动安全

引言

随着新能源产业的迅速发展，储能技术逐渐成为支撑新型电力系统的重要组成部分。电化学储能是其中应用最广泛的一类，具备能量密度高、响应速度快、布局灵活等特点，已在电力系统各环节得到应用。同时，储能电站是电化学储能的核心载体，其规模化部署在提高电网调节能力、缓解负荷波动方面发挥着关键作用。因此，把主动安全机制融入电化学储能电站运行全流程，是保证系统安全运行的核心路径。

一、电化学储能电站安全体系概述

（一）电化学储能技术简介

电化学储能技术以电池为核心，把电能转化为化学能储存，在需要时释放电能，实现能量的高效调节。该技术本质在于电池内部的电化学反应，依托控制电解质、正负极材料及其界面行为，实现充放电循环的稳定运行。当前主流的电化学储能形式包含锂离子电池、钠离子电池等，其差异主要体现在材料组成、电压平台的参数上。同时，材料优化、电池结构创新不断推动电化学储能技术向更高可靠性、更长寿命的目标迈进。

（二）储能电站安全风险分类

储能电站的安全风险可以按照诱因来源、作用对象与演化机制进行分类，主要包含电气风险、热风险、化学风险和控制风险。其中，电气风险通常源于电流、电压或功率的异常波动，可能引起短路、过载的现象，进而损害设备绝缘。同时，热风险集中表现为热失控，它受电池内部反应热积累、散热条件不良等因素影响，当系统无法及时释放多余热量时，其温度会快速上升，引发热蔓延或爆炸。另外，化学风险主要与电解液挥发、

材料反应性和气体释放有关，在异常环境或极端运行状态下，可能释放有毒有害气体。然而，上述风险往往不是单一存在，而是相互作用、相互诱发。因此，有效识别这些风险的类型，是建立主动安全体系的前提。

二、电化学储能电站安全现状分析

（一）存在多种安全隐患

电化学储能电站的安全隐患主要集中于电池性能退化、监测系统不足以及设备老化环节。电池性能的衰退表现为容量减小，这种变化使电池单体间出现不均衡，进而加剧热失控风险。同时，监测系统存在盲区，制约快速识别异常状态的能力。而监测盲区使得部分关键参数无法被及时捕捉，降低风险预警的效率，影响安全决策的准确性。另外，设备随着运行时间推移出现老化现象，内部结构劣化使系统稳定性下降。以上因素交织作用，使储能电站面临复杂且多变的安全挑战。

（二）现有主动安全技术不足

主动安全技术的感知能力存在明显不足，限制电化学储能电站及时识别潜在风险。传感器数量有限且分布不均，无法全面监测部分关键参数。另外，传感器的灵敏度无法满足快速变化的电池状态需求，无法及时捕获异常信号。数据处理方面，系统实时分析海量传感数据的能力不足，影响故障预警的准确度。因此，感知技术的单一是主动安全体系的瓶颈，亟须提高传感精度、增加监测维度，并加强智能分析能力，才能有效支撑电站安全风险主动防控。

三、电化学储能电站主动安全创新对策

（一）强化智能感知，实现安全预警

研究人员要强化智能感知以实现电化学储能电站的安全预警，这一流程始于布设高精度传感器网络，用来

捕捉电池单体的关键物理参数。前期,研究人员可在不同位置前布置传感器,包含温度、电压、电流的多维数据,保证全面覆盖风险源。数据采集后,研究人员可借助边缘计算技术初步处理原始信息,滤除噪声,提高数据质量。紧接着,研究人员要把清洗后的数据传输至中央处理单元,并提前揭示潜在异常趋势。然后,研究人员可依托历史运行数据,不断调整算法参数,提高预警的响应速度。预警生成后,研究人员要依据智能感知系统发出的风险信号,及时开展风险评估,减少事故发生概率。

例如,研究人员可借助智能感知技术,提高某电化学储能电站的安全预警能力,其流程将从传感器网络的精确布设开始。研究人员要在电池模组的关键节点前布置温度、电压和电流传感器,传感器的布置密度预计达到每10个/m²,以便实时捕获细微的物理参数变化。同时,研究人员可运用滤波算法剔除环境噪声,使得数据误差控制在3%以内。处理后的数据将会被实时传输至中央处理单元,需要研究人员用深度学习模型提取数据特征,识别潜在的异常模式。然后,研究人员可依据历史运行数据不断调整模型参数,使预警的准确率达到95%以上,并缩短预警响应时间至1秒以内。随着预警信号的生成,研究人员要迅速开展风险评估,确认风险点的具体位置,启动相应的安全策略,并监控整个流程的反馈数据,调整传感器布置,形成动态优化闭环,从而有效降低电池热失控的风险,保证储能电站的安全稳定运行。

(二) 优化动态调控, 保证系统稳定

研究人员要优化动态调控策略,保证电化学储能电站的系统稳定。前期,研究人员可采集电池的电压、温度等关键参数,建立多变量动态模型,揭示系统内部的非线性特性。随后,研究人员可运用先进的预测控制算法,基于模型预测未来状态变化趋势,提前调整充放电策略,避免异常状态发生。控制指令经过验证后,研究人员要实时下发至储能系统的管理单元,协调电池组间的功率输出,维持电网的稳定运行。动态调控流程中,研究人员要持续收集反馈数据,更新模型参数,修正控制策略,形成闭环控制。因此,优化动态调控将提高系统适应外部扰动、内部变化的能力,助力电化学储能电站的安全稳定运行。

例如,在开展动态调控策略的优化工作时,研究人员要在某储能电站的关键电池模块前安装高精度电压和温度传感器,采集实时数据,传感器采样频率预计达到

每秒100次,以便捕捉快速变化的运行状态。同时,采集的数据将会用于建立多变量动态模型,需要研究人员运用非线性状态空间方法描述电池的充放电特性。随后,研究人员可设计基于模型预测控制的算法,预测未来30秒内电池状态变化趋势,调整充放电功率,防止电压波动超过 ± 0.05 伏,温度变化超出 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的阈值。控制指令将在验证其合理性后,实时下发给储能系统的能源管理单元,实现电池组间功率的协调分配。动态调控流程中,研究人员要持续采集反馈数据,进行参数辨识,修正控制策略,以应对外部负载波动带来的影响。除此之外,研究人员预计该闭环控制将使系统响应时间缩短至1秒以内,系统稳定性指标提高20%以上,从而有效减少电池过充、过放风险,提高储能电站的寿命,保证电网的平稳运行。

(三) 建立协同防御, 提高应急响应

在电化学储能电站日益复杂的运行环境中,研究人员要建立协同防御体系,提高系统的应急响应能力。前期,研究人员可整合电池管理系统、消防系统的数据,建立统一的信息平台,实现多系统的信息共享,并设计智能决策算法,分析多源数据,识别风险等级,制定应急预案。同时,研究人员要开发自动化响应机制,让系统在检测到异常信号后快速触发联动措施,协调启动报警、隔离故障单元。响应中,研究人员可持续监控事故演变,调整防御策略,指导现场人员进行有效处置。然后,研究人员要分析事故数据,总结经验教训,优化协同防御流程,提高系统整体的应急反应速度,保证系统安全稳定运行。

例如,在某电化学储能电站面对复杂多变的安全挑战时,研究人员要建立完善的协同防御体系。前期,研究人员可在某电站的关键设备前整合电池管理系统,建立覆盖全站的统一信息平台。该平台将支持每秒采集超过500条传感数据,包含温度、压力、烟雾浓度多种信号,实现多系统的实时信息共享。同时,研究人员要基于大数据分析技术,开发智能决策算法,判定传入数据的风险等级,识别出轻微异常和严重故障的区别,及时制定应急预案。随后,研究人员可设计自动化响应机制,当系统检测到温度超过 60°C 时,能在1秒内触发联动控制,自动启动报警系统,快速切断故障电池单元电源,并激活消防喷淋系统,防止事故扩大。响应中,研究人员要持续跟踪事故的演变,依托平台反馈数据调整防御策略,指导现场人员有序撤离并开展抢修。事故处理完毕后,研究人员要详细分析事故数据,挖掘故障根源,

总结应急处置中的经验。基于分析结果，研究人员应优化协同防御流程，完善智能算法，提高系统的应对能力，不断增强电化学储能电站的安全保障能力，最大限度减少事故带来的损失。

（四）推进全生命周期，深化风险管理

研究人员可推进电化学储能电站的全生命周期管理，深化风险管控体系的建设。前期，研究人员要建立详尽的电池生产、运输、安装档案，跟踪关键参数的变化规律，形成完整的数据链条。同时，研究人员可依托大数据分析技术，评估不同阶段的风险因素，制定相应的风险控制措施。随后，研究人员要设计动态风险预警模型，结合实时运行数据，动态调整安全管理策略，防范潜在故障。后期，研究人员可开展风险复盘，归纳总结风险演变规律，优化管理流程。全流程形成闭环管理，研究人员将不断提高风险防范能力，助力电化学储能电站安全稳定运行。

例如，在建立某大型锂电储能电站风险防控体系的过程中，研究人员可推进电化学储能系统的全生命周期管理，着眼于风险数据的动态分析。前期，研究人员可基于二维码追踪的档案系统，详细记录每一组电芯从生产到安装的批次、参数、环境条件与运输信息。研究人员将在安装完成后，持续采集运行中电池组的温度、电压、SOC参数，并按月存入生命周期数据库。随后，研究人员要基于已有1.5TB的运行数据建立风险评估模型，识别电池组在不同运行阶段的异常概率。同时，研究人员可引入机器学习算法，设定阈值浮动范围，当模型预测某电池在未来72h内出现热失控风险概率超过20%时，系统将推送警报。模型预测完成后，研究人员要远程发出指令，将高风险单元转入休眠状态，规避进一步扩散。事件处理后，研究人员要开展复盘分析，修正本次风险触发的算法权重，并更新设备健康评分机制，推动主动安全体系落地。

（五）强化电芯监测，建立主动防线

在建立电化学储能电站主动安全机制的过程中，研究人员要强化电芯监测，建立前端防线，以实现风险的源头防控。前期，研究人员要布设高密度传感器，采集电芯的温度、电压，并把单体间的监测间距控制在合理范围内，以获取均衡状态的细微变化。然后，研究人员可在节点端应用降噪算法清洗原始信号，剔除环境干扰。处理完成后，研究人员要借助动态阈值算法分类识别电芯状态，提取出早期异常特征，并依据识别结果生成初步风险等级，快速回传至管理系统触发局部响应。随后，

研究人员要持续更新模型参数，提高电芯状态判断的灵敏度，不断优化算法结构，让主动安全能力深入储能单元最底层。

例如，研究人员将在“智慧电芯监测系统”项目中着力强化电芯监测，建立主动防线以实现早期风险控制。前期，研究人员要在储能电站的关键电池模组内布设分布式高精度传感器网络，并把监测间距严格控制在3至5cm间。传感器采集频率将达到每秒20次，以捕捉电芯温度的微小波动，其温度变化阈值设定为0.2℃以内，保证能够识别电芯处于均衡状态时的微弱异常信号。随后，研究人员要把采集到的原始信号传输至储能单元内的边缘计算节点，并高效滤除信号中的环境干扰，保证数据的纯净度。经过降噪处理后，研究人员可利用动态阈值算法分析处理后的数据，分类识别温度和电压的异常变化。该算法能够提取电芯的早期异常特征，并基于识别结果自动生成风险等级。随后，研究人员要持续优化动态阈值模型，借助机器学习方法结合反馈数据不断调整模型参数，提高异常检测的灵敏度，使主动安全监测逐步渗透到储能单元的每一个电芯，从而最大限度地减少安全隐患的产生，保证电化学储能电站运行的安全稳定。

结束语

随着新能源大规模接入，电化学储能电站成为支撑电力系统稳定运行的关键基础设施。储能技术的广泛部署让运行结构更加复杂化，也带来了更高的安全风险隐患。研究人员持续深化技术创新，有助于电站向转向主动防御。未来，主动安全机制将在全生命周期内逐步完善，助力储能行业实现智能化、标准化、可持续发展目标。

参考文献

- [1] 贾一凡, 安海舰, 周敏刚, 张春民, 朱志遥. 电化学储能电站研究现状综述[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(03): 99-105.
- [2] 严超, 黄文, 陶坡. 我国电化学储能电站安全风险分析及对策建议[J]. 中国工程咨询, 2025, (06): 77-82.
- [3] 杨健, 张华, 翟新军, 胥勇, 刘彦攀, 刘亮山, 李伟强. 储能安全风险防控关键技术研究[J]. 中国高新技术, 2022, (20): 24-27.
- [4] 金阳, 薛志业, 姜欣, 吕娜伟. 储能锂离子电池安全防护研究进展[J]. 郑州大学学报(理学版), 2023, 55(03): 1-13.