

风力发电场站的智慧储能技术研究

赵成业 刘耀东 郑 蕊

内蒙古华电锡林浩特新能源有限公司 内蒙古 锡林浩特 026000

摘 要:风电出力的间歇性与波动性使储能系统成为场站稳定运行的关键支撑,但传统储能在功率预测偏差适配、电池一致性维持、多单元协同调度及通信实时性等方面仍存在明显短板。本文围绕智慧储能的多层级架构与功能定位展开,分析风储联合运行中的技术瓶颈,从智能充放电策略、电池健康在线评估、多类型储能协同控制及边缘计算驱动决策等维度提出关键技术突破路径,并从一体化集成、运维体系构建、安全热管理优化及全生命周期性能衰减应对四个层面给出落地实施方案,为风电场站智慧储能技术的深化应用提供参考。

关键词:风力发电;智慧储能;风储协同;电池管理;边缘计算

引言:风能资源的天然波动属性使风电出力始终处于动态变化之中,并网功率的频繁偏移给电网调度带来持续压力。储能技术可以完成电量的时空转移与功率的快速补偿,是平抑风电波动的关键手段。伴随智能化技术向储能领域渗透,智慧储能系统逐步替代传统固定参数调控模式,在充放电管理、电池状态评估与多单元协同等环节展现出更强的适配能力。围绕智慧储能技术在风电场站的应用逻辑与优化方向展开梳理,对提升风电并网质量与储能运行效能具有实际参考价值。

1 风力发电场站储能系统的技术架构与运行逻辑

1.1 风力发电出力特性与储能需求的内在关联

风能资源的动态变化会造成风电出力状态的不稳定,发电功率出现的间歇性波动会干扰电网调度秩序,破坏电网功率供需的平衡状态。自然环境变化引发的发电状态变动,会让风电并网功率产生频繁偏移,增大电网运行调控的难度^[1]。风电运行过程中存在差异化的调节需求,不同时间维度的发电波动,会催生储能系统不同维度的调节作用。短时功率扰动需要储能提供快速的功率支撑,长时发电过剩或发电空缺,则需要储能完成电量的时空转移。风电场站装机体量决定整体发电能力与波动幅度,储能配置规模需要适配场站发电体量的整体特征,依托场站发电运行规律建立合理的匹配关系,保障电力供给结构的合理性。

1.2 智慧储能系统的多层级架构设计

智慧储能系统依托多层级结构实现稳定运行,各层级单元承担差异化的运行任务。电池管理系统负责监测电池集群的运行状态,把控储能单元的安全运行条件。能量管理系统承担场站能量资源的统筹分配工作,完成

各类运行数据的分析与调度指令生成。站控系统实现场站整体设备的运行统筹,衔接各子系统的运行流程。储能变流器作为能量交互的核心设备,能够调节电能输入输出状态,对充放电运行过程中的功率状态进行精细化调控。智慧储能体系涵盖云端管理与本地控制两大运行模块,云端平台完成大范围数据汇总与统筹分析,场站本地控制单元负责现场设备的即时调控,双向数据传输渠道可以保障信息交互的通畅性,支撑系统分层运行的稳定推进。

1.3 储能系统在风电场站中的功能定位

储能技术应用于风电场站可以实现多种电网辅助服务,不同功能对应差异化的运行调控模式。储能可以弱化风电出力的波动幅度,修正发电出力的偏移状态,贴合电网运行的计划曲线标准,也可以参与电网调频工作,维持电网运行频率的稳定。电量时空转移的运行模式可以优化场站电力产出结构,缓解电网用电时段的供需差异。应急供电模式可以应对场站突发运行工况,提升风电并网运行的稳定程度。各类功能在实际运行中存在不同的适用场景与运行范围,多类功能叠加运行的场景中,储能系统可以依据场站运行状态调整调控优先级,有序完成各类调控任务,适配风电场站复杂多变的运行工况。

2 风力发电场站储能系统的运行瓶颈

2.1 风电功率预测偏差对储能调度的干扰

风电功率预测技术无法完全匹配风电出力的随机变化特征,短期功率测算产生的误差会对储能调度工作形成明显干扰。风电出力数据的动态偏移会让既定的储能充放电运行方案无法适配实时场站工况,系统需要持续

更改充放电运行策略以适配并网标准^[2]。预测误差会在连续运行时段内不断累积,造成储能荷电运行状态逐步脱离预设的合理运行区间。储能系统为修正运行偏移状态会开展多次工况调整,频繁的运行模式切换会加剧电池循环损耗,压缩储能设备整体的正常使用周期,降低场站储能配置的长效运行价值。

2.2 储能电池组的一致性衰减问题

储能系统通过多组电池串并联组合的方式形成完整电池簇,长期处于往复循环的充放电工作状态中。单体电池的生产制造细微差异与运行环境的细微区别,会让电池容量与内阻参数逐步产生分化现象。电池集群运行过程中会呈现明显的短板约束效应,性能衰减速度更快的单体电池会限制整个电池簇的能量吞吐能力。电池集群一致性水平的持续下滑,会缩减电池组可利用的有效容量,大幅拖累储能系统整体的充放电转化效率,造成储能资源无法得到充分利用。

2.3 多储能单元协同管理的调度难题

风电场站搭配的多元储能单元具备不同的技术原理,各类单元展现的充放电速率、耐受负荷区间与损耗特性均存在明显区别。多类型储能单元并入同一场站系统开展联合运行时,功率分配机制与运行均衡控制的实施难度会显著提升。通用化的调度调控体系无法适配不同储能单元的运行特质,缺乏针对性的统筹调度机制会让各储能单元独立运行状态产生相互约束。不合理的单元运行配比会造成部分储能资源闲置,部分储能设备超负荷运行,破坏场站储能系统的整体运行稳定性。

2.4 场站通信与数据采集的实时性不足

多数风力发电场站选址远离城市核心区域,周边通信基础设施建设水平有限,通信链路的传输带宽与运行稳定性存在明显局限。储能设备运行状态数据、场站发电数据的采集与上传流程存在时间延迟,云端调度平台无法及时获取场站实时运行工况。调度指令下发与落地执行的节奏受到延缓,远程管理体系对场站设备的调控灵敏性大幅下降^[3]。数据传输的滞后问题会割裂本地设备控制与云端统筹管理的衔接流程,弱化风电与储能协同运行的整体调控效率。

3 智慧储能系统的关键技术突破路径

3.1 面向风电场景的智能充放电策略

风电出力具备极强的随机波动属性,常规固定参数的储能调控方式难以适配复杂的并网运行场景。智能充放电策略可以依托风电功率预测生成的数据分析结果,对储能充放电功率进行连续动态调节,适配发电侧的实

时波动变化。调度体系综合接纳电网下发的调度指令,结合场站实时运行负荷与设备运行状态开展多维度优化调度,让储能运行方式适配电网运行规范与场站运行实际。自然风速的持续变动会改变风机出力水平,不同风速区间会形成截然不同的发电工况。储能系统可依据风速层级差异切换适配的运行模式,针对低速小风、额定风速、大风限功率等不同工况调整充放电力,弱化风电出力波动幅度,提升发电功率输出的平稳程度。

3.2 电池健康状态的在线评估与主动均衡技术

储能电池簇长期循环运行会出现性能参数的渐进式偏移,单体电池参数差异会逐步累积并影响整套储能系统的运行效能。依托场站海量运行监测数据构建的估算模型,能够搭建精准的荷电状态与健康状态在线估算算法,实现电池运行状态的持续跟踪研判。主动均衡电路可以针对电池簇内部出现的容量偏差与内阻偏差开展实时修正,缩小单体电池之间的性能分化程度,缓解集群整体性能衰减速度。监测算法搭配数据研判体系可以完成劣化电池的早期甄别,依托长期运行参数变化规律搭建科学的退役预警机制,及时捕捉电池性能衰退趋势,为电池运维更换工作提供数据支撑,维持电池集群整体运行的稳定水平。

3.3 多类型储能单元的协同控制技术

不同储能介质拥有差异化的能量响应特性,锂电池擅长开展大容量电量的持续吞吐,超级电容具备快速的功率响应能力,两类设备组合形成的混合储能体系可以互补运行优势,适配风电场景复杂的调节需求。多类储能单元共同接入场站系统运行时,需要科学的调控方式完成功率资源的合理配置。动态分配机制可以依据各储能单元的运行特性,完成实时功率分配调控,维持所有单元荷电状态的均衡稳定。一体化能量管理框架能够兼容多种技术路线的储能设备,搭建统一的调度管控标准,完成多元储能单元的联合调度运行。合理的调控模式可以化解不同储能设备运行特性差异带来的调度矛盾,充分挖掘各类储能设备的调节潜力,提升场站整体储能资源的利用效率。

3.4 边缘计算驱动的场站级智能决策

风电场站本地部署的边缘计算节点可以就近承接场站运行数据的解析运算,大幅提升数据处理效率,实现毫秒级的调度响应速度,满足风电波动场景下的快速调节需求。网络链路异常造成的数据传输中断阶段,本地智能体系可以独立完成储能工况调控操作,落实完备的安全保护逻辑,保障场站设备始终维持安全稳定的运行

状态。智慧储能运行体系划分两级运行管控模式，云端平台负责统筹全局运行策略的编制与下发，本地边缘节点承担现场精细化调控任务。分级协同的运行机制可以融合全局统筹优势与本地快速响应优势，完善场站智能决策体系，提升风电储能一体化调控的精细化水平。

4 智慧储能技术在风电场站的落地实施与运维保障

4.1 储能系统与风电场站的一体化集成方案

智慧储能设备需要依托合理的电气拓扑结构完成与风电设备的融合接入，科学的耦合接入方式能够优化电能交互通道，保障发电侧与储能侧能量交互的平稳推进^[4]。场站层级的站控平台可以重构风电设备与储能设备的管控逻辑，搭建一体化监控框架，实现发电状态与储能运行状态的统一采集与统筹调控。系统架构设计围绕设备运行联动需求展开，打通不同设备子系统之间的数据交互壁垒，实现发电出力与储能吞吐的协调匹配。全新规划建设的风电场站可以从整体设计阶段纳入储能配置需求，同步规划电气布局与控制架构。已经投入运行的存量场站则依托适配性改造手段完成储能设备加装，结合原有设备布局与控制系统基础制定适配的改造路径，保证改造工作不会影响场站原有运行体系的稳定性。

4.2 智慧储能系统的运维管理体系构建

长效稳定的运维机制是智慧储能系统持续运行的重要基础，针对电池集群建立常态化检测机制，按照合理运行周期开展设备状态排查与性能研判。常态化检测工作可以及时捕捉设备性能变化趋势，维持储能系统整体运行的可靠性。场站运行过程中持续积累的充放电循环数据，可以作为运行策略优化的核心依据。系统依托数据变化规律完成调控策略的动态迭代，让储能运行模式持续适配风电工况的动态变化。风电储能一体化场站涵盖电气控制、电池运维、数据管控等多个专业工作领域，明确不同专业岗位的工作内容与管理边界，细化各岗位对应的运维职责，构建多专业协同运维的管理模式，提升场站运维工作的精细化水平。

4.3 储能安全防控与热管理优化

电池热失控是储能系统运行过程中的主要安全隐患，搭建多级预警体系可以从温度变化、电压波动、参数异常等多个维度捕捉危险前兆。主动抑制技术能够在故障萌芽阶段干预热失控发展趋势，降低安全事故发生概率。不同散热技术具备差异化的散热效率与环境适配能力，风冷模式结构简单、运维便捷，液冷模式散热

均匀、温控精度更高。结合风电场站的空间布局、气候条件与储能装机规模筛选适配的热管理形式，可以提升温控体系的运行质量。储能舱体结构需要匹配专业消防设计标准，完善舱内防火隔离与灭火配置，梳理标准化的应急处置流程，针对各类故障场景制定规范的处置流程，强化储能场站整体安全防护能力。

4.4 储能系统全生命周期的性能衰减应对

储能设备在长期往复充放电过程中会出现缓慢的性能衰减，持续追踪不同运行阶段的容量变化规律，可以搭建贴合场站实际运行工况的衰减模型，精准刻画性能衰退演变趋势。电池性能下降至标准运行要求后可转入梯次利用阶段，结合剩余容量参数划分电池复用层级，拓展电池应用场景。无法继续复用的退役电池需要依托规范化流程完成拆解与资源回收，减少资源浪费与环境影响^[5]。全生命周期运行管理需要兼顾技术运行质量与经济投入成本，平衡设备运维、改造更新与资源复用的各项支出与收益，让储能系统在完整运行周期内维持良好的技术运行状态与经济运行价值。

结束语

风力发电场站智慧储能技术的落地，需要从技术架构、运行瓶颈、关键突破与实施保障多个维度协同推进。功率预测偏差、电池一致性衰减、多单元调度冲突与通信实时性不足等问题，持续制约储能系统的运行效能。智能充放电策略、电池在线评估与主动均衡、多类型储能协同控制及边缘计算驱动决策等技术路径，能够有效削减各类运行损耗。一体化集成方案、常态化运维体系、多级安全防控与全生命周期性能管理等保障措施，可以为智慧储能的长期稳定运行筑牢基础，推动风电储能一体化管理走向精细化与系统化。

参考文献

- [1] 张明. 风力发电场站的智慧储能技术研究 [J]. 低碳世界, 2026, 16(1): 56-58.
- [2] 张雷, 闫艳. 储能技术在风力发电系统中的运用 [J]. 中国高新科技, 2022(3): 59-60.
- [3] 高福伟. 储能技术在风力发电系统中的应用研究 [J]. 电子制作, 2022, 30(4): 95-97.
- [4] 韩先勇. 风力发电储能技术的发展与应用 [J]. 新潮电子, 2025(1): 145-147.
- [5] 王永康, 张世强, 陈瀚龙, 等. 风力发电技术与储能技术的融合研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2024(10): 20-23.