

新能源风力发电系统中储能技术的实践探究

温钗, 王彬

天津明智润阳技术有限公司, 天津 300308

DOI:10.61369/ME.2025060039

摘要 : 全球能源结构向清洁低碳转型的进程中, 风力发电凭借资源可再生性与环境友好性的双重优势, 已成为推动能源系统变革的重要力量, 而储能技术作为衔接风电出力与电网需求的关键纽带, 其在风力发电系统中的合理应用, 是化解风电波动性影响、提升能源利用效率的核心路径。故此, 文章以风力发电系统对储能技术的实际需求为出发点, 从多个维度梳理储能技术在风电系统中的应用框架, 提出新能源风力发电系统中储能技术的实践路径, 希望能够为风电储能系统的高效设计与可持续运营提供理论支撑与实践指引。

关键词 : 风力发电系统; 储能技术; 技术适配性; 经济成本

Practical Exploration of Energy Storage Technology in New Energy Wind Power Generation Systems

Wen Chai, Wang Bin

Tianjin Mingzhi Runyang Technology Co., Ltd., Tianjin 300308

Abstract : Amid the global transition of the energy structure towards clean and low-carbon models, wind power generation has emerged as a pivotal force driving the transformation of energy systems, leveraging its dual advantages of renewable resources and environmental friendliness. Energy storage technology, serving as a crucial link between wind power output and grid demand, plays a central role in mitigating the impact of wind power fluctuations and enhancing energy utilization efficiency through its judicious application in wind power generation systems. Therefore, this article takes the practical demand for energy storage technology in wind power generation systems as its starting point, systematically organizing the application framework of energy storage technology in wind power systems from multiple dimensions. It proposes practical pathways for energy storage technology in new energy wind power generation systems, aiming to provide theoretical support and practical guidance for the efficient design and sustainable operation of wind power storage systems.

Keywords : wind power generation systems; energy storage technology; technological adaptability; economic costs

在“双碳”目标推动下, 我国风力发电产业实现快速发展, 风电在能源结构中的占比持续提升。但风能资源固有的随机性与波动性, 导致风电出力呈现不稳定特征, 不仅易造成电能资源浪费, 还对电网的安全稳定运行形成挑战, 成为制约风电进一步规模化发展的关键因素。储能技术作为平衡风电出力波动、增强能源系统灵活性的核心支撑手段, 其技术选型与实践应用效果直接关系到风力发电系统的运行可靠性与经济性。基于此, 深入研究新能源风力发电系统中储能技术对于推动风电产业高质量发展具有重要现实意义。

一、风力发电系统对储能技术的实际需求

(一) 适配电网负荷波动的需求

在风力发电系统与电网协同运行的过程中, 对储能技术的主要实际需求, 聚焦于依托储能设备的能量调节功能, 达成风电出力与电网负荷波动间的动态适配。风能资源受气象条件制约呈现的间歇性特征, 使得风电出力往往难以与电网实时负荷需求形成同步匹配, 若缺乏有效的能量缓冲环节, 极易引发电网层面的供需失衡问题, 进而导致频率偏移、电压波动等运行风险。在此情

境下, 储能技术需具备灵活可控的充放电调节能力: 当风电出力处于过剩状态时, 能够快速完成多余电能的吸收与存储, 规避能源浪费; 当风电出力出现缺口时, 可及时释放存储的电能, 弥补电网供电不足, 通过这一动态调节过程平抑风电出力与负荷需求间的差值, 保障电网始终处于供需平衡的稳定运行状态。

(二) 提升风电能源消纳效率的需求

从能源利用效能优化的维度分析, 风力发电系统对储能技术的需求集中体现为提升风电能源的消纳效率。受限于风能资源固有的不可控性, 当风电出力超出电网当前接纳能力时, 部分风电

资源可能因无法及时并入电网而面临弃用，这不仅造成清洁能源的浪费，也会降低风电项目的投资效益。储能技术作为风电能源存储与调配的“缓冲容器”，能够将弃风时段产生的电能进行存储，待电网接纳能力提升或用电高峰时段，再将存储的电能重新注入电网，通过能源的时空转移实现风电资源的高效利用，从而减少弃风现象，提升风电能源的整体消纳率。值得注意的是，随着风电在整体能源结构中占比的持续提升，电网对风电的消纳压力不断增大，这一背景下，储能技术还需具备与风电规模化开发相适配的储能容量及运行稳定性，确保在大规模风电接入的场景中，仍能有效提升能源消纳效率，推动风电从传统的“间歇性电源”向具备调度能力的“可调控电源”转型，为风电产业的规模化、高质量发展提供技术支撑。

（三）保障风电系统运行稳定性的需求

确保风电系统自身运行安全及并网后整体能源系统的稳定性，是风力发电系统对储能技术的另一关键需求。在风电系统运行过程中，风能的波动性会导致风机输出功率出现频繁变化，这种功率波动不仅会对风机自身的核心设备造成冲击，缩短设备运行寿命，还可能通过并网线路传递至电网，对电网的频率稳定、电压稳定及暂态稳定产生不利影响，增加电网运行风险。储能技术通过实时平抑风电出力的短期波动，能够有效减少功率变化对风机设备的冲击，延长设备使用寿命，同时降低功率波动向电网传递的影响，提升电网整体运行的稳定性。此外，当电网遭遇故障或突发扰动时，储能技术可发挥应急电源的作用，为风电系统提供短时供电支持，助力系统快速恢复正常运行状态，减少故障造成的经济损失与能源供应中断影响。

二、储能技术在风电系统中的应用框架

（一）基于场景适配的储能技术选型框架

储能技术在风电系统中的应用，首要环节是建立基于场景适配的技术选型框架，该框架需围绕风电系统的运行特性与需求差异，明确不同储能技术的适用边界^①。选型过程需综合考量风电系统的出力波动频率、能量调节时长、运行环境条件及经济成本约束等核心要素：针对短期功率波动平抑场景，需优先选择响应速度快、充放电循环寿命长的储能技术，以满足高频次、短时长的能量调节需求；针对长时容量补充场景，则需侧重储能容量与能量密度，确保能够实现跨时段的能量供需平衡；针对偏远地区或恶劣环境下的风电系统，还需纳入环境耐受度指标，保障储能设备在极端条件下的稳定运行。此外，选型框架还需兼顾技术成熟度与未来发展潜力，避免因技术迭代过快导致的投资浪费，通过多维度指标权重分配，形成科学的技术选型决策体系，确保储能技术与风电系统运行场景的精准适配。

（二）风电—储能协同运行控制框架

实现风电与储能的高效协同，需构建系统化的运行控制框架，该框架以保障电网稳定、提升能源利用效率为目标，通过实时数据交互与动态调节机制，协调风电出力与储能充放电行为。控制框架的核心在于建立多维度的监测与响应机制：一方面，需实时采集风电出力数据、电网负荷数据及储能设备运行状态数据，通过数据分析预判风电出力波动趋势与电网供需变化，提前制定储能充放电策略；另一方面，需设置分级响应机制，针

对小幅功率波动，通过储能设备的快速调节实现实时平抑；针对大幅负荷变化或电网故障，启动储能容量储备与风电出力调整的协同机制，避免对电网造成冲击。

（三）储能系统全生命周期管理框架

储能技术要在风电系统中实现长期稳定应用，必须以全生命周期管理框架为支撑。该框架贯穿储能设备从选型采购、安装调试、运行维护到退役处置的完整流程，核心目标在于保障储能系统安全运行、延长设备服役周期、实现全周期成本可控。在框架构建中，需按阶段明确差异化管理重点^②：在前期规划环节，需结合风电系统的设计生命周期，精准匹配储能设备的额定寿命与容量规模，避免因容量冗余造成的资源闲置，或因寿命不匹配导致的提前更换成本；进入运行维护阶段，需建立“定期监测+预防性维护”双重机制，实时追踪储能设备的性能衰减趋势，通过状态评估模型识别潜在故障风险，及时更换老化部件，最大限度缩短故障停机时长；在成本管控维度，需系统核算全生命周期内的采购成本、运维耗材成本、能耗损失成本及退役处置成本，通过成本分摊模型与优化算法，提升风电—储能系统的整体经济收益；面对设备退役场景，需制定符合环保标准的回收利用方案，尤其针对电池类储能设备，需重点攻克电解液无害化处理、电极材料资源化回收等技术难点，降低对生态环境的潜在影响。借助全生命周期的闭环管理体系，可确保储能系统在风电系统运行周期内持续发挥效能，最终达成技术可靠性、经济合理性与环境友好性的协同统一。

三、新能源风力发电系统中储能技术的实践路径

（一）基于系统特性的储能技术整合路径

在新能源风力发电系统中应用储能技术，首要实践方向是依据风电系统的固有特性，推动储能技术与风电系统的深度融合。这一路径需以技术适配性与系统兼容性为核心抓手，确保储能技术能够无缝嵌入风电运行体系。整合过程需先厘清风电系统的关键参数与运行诉求，包括出力波动区间、并网接口规范、控制信号传输协议等，以此为依据确定储能系统的技术指标与接入模式——例如，结合风电系统的功率调节需求，设定储能系统的额定功率与响应延迟阈值；参照风电并网的电压等级与频率稳定要求，设计储能系统的变流器接口结构与并网控制逻辑。

在硬件整合层面，需重点优化储能设备与风电设备的物理连接方式及空间布局方案，避免因设备间距不合理或线路连接偏差引发的能量损耗，同时降低安全事故发生风险；在软件整合层面，需打通储能控制系统与风电监控系统的数据交互链路，实现双方运行数据的实时共享与协同调控^③，例如，让储能系统能够动态获取风电出力实时数据，自主调整充放电策略，确保与风电出力变化趋势精准匹配。

（二）面向运行效率的储能策略优化路径

要提升风电—储能系统的整体运行效能，需通过持续优化储能运行策略构建实践路径。该路径以动态适配风电出力与电网需求为核心导向，借助精细化策略设计充分释放储能技术的应用价值。策略优化需以实时运行数据为基础，构建涵盖风电出力预测、电网负荷预测、储能状态评估的多维度分析模型，并利用历史风况数据库与实时气象监测数据，提升风电出力预测的精度；

结合电网调度计划与用电负荷变化特征，预判不同时段的电网接纳能力；通过实时监测储能系统的剩余容量、充放电转换效率、健康状态等参数，评估储能系统的即时调节潜力。

基于分析模型的输出结果，制定动态化储能充放电策略：当风电出力处于高峰且电网接纳能力充足时，控制储能系统减少充电量或暂停充电，避免能量冗余存储；当风电出力高峰但电网接纳能力受限，启动储能系统满负荷充电模式，高效存储多余电量；当风电出力低谷且用电负荷处于高位，控制储能系统按既定速率有序放电，填补电网供电缺口。

（三）储能系统全生命周期成本的精细化管控路径

储能系统全生命周期成本的精细化管控，是保障风电-储能系统经济性、推动其规模化应用的关键路径，需覆盖从采购规划、安装调试、运行维护到退役处置的全过程，通过全流程成本控制与优化，降低单位电能存储成本，提升项目整体收益。

在采购规划阶段，需建立“成本-性能-寿命”三位一体的评估机制，避免单纯追求低价而忽视长期成本。例如，在储能电池选型时，不仅要考量初始采购单价，还需结合电池的循环寿命、能量密度、衰减速率等参数，计算全生命周期内的单位电能成本，选择综合性价比最优的产品；对于储能变流器、控制系统等关键设备，需评估其可靠性与兼容性，避免因设备故障导致后期额外的维修与更换成本。在安装调试阶段，成本管控的重点在于优化施工方案与严格质量把控。通过精细化的施工设计，合理规划储能设备的布局的位置，减少线缆损耗、散热能耗及土地占用成本；选择具备资质的施工团队，规范施工流程，避免因安装不当导致的设备损坏或性能衰减，降低后期整改成本。调试阶段需制定详细的测试方案，对储能系统与风电系统的兼容性、控制逻辑的准确性、设备运行的稳定性进行全面检测，及时发现并解决问题，避免调试失误引发的长期运行隐患，从源头控制后期维护成本^①。

在运行维护阶段，需推行基于状态监测的预防性维护模式，替代传统的定期维护模式，实现“按需维护”。通过在储能设备上安装传感器，实时监测电池电压、电流、温度、容量衰减率等运行参数，建立设备健康状态评估模型，预判设备潜在故障风险，如当监测到某组电池容量衰减速率异常时，及时进行电芯更换，避免故障扩大导致的整组电池报废，降低维修成本^②。

在退役处置阶段，需构建“梯次利用-材料回收-环保处置”的成本优化体系。对于仍具备一定容量的退役储能电池，可

进行梯次利用，如用于低负荷需求的储能场景，延长其使用价值，降低处置成本；对于完全报废的电池，需通过专业化的回收工艺提取其中的锂、钴、镍等有价金属，实现资源循环利用，同时减少环保处置成本。

（四）政策与市场机制协同支撑的实践保障路径

储能技术在风电系统中的规模化应用，离不开政策与市场机制的协同支撑，需通过完善的保障路径为实践应用提供外部环境支持^③。在政策层面，需出台针对性的扶持政策与标准规范：一方面，制定差异化的补贴与激励政策，如对采用先进储能技术的风电项目给予额外的电价补贴，或对风电-储能一体化项目在土地审批、并网许可等方面提供绿色通道，降低项目建设门槛；另一方面，建立储能技术在风电系统中应用的标准体系，明确储能设备的性能指标、安全要求、测试方法等，如制定风电储能系统的并网技术标准，规范储能系统与电网的接口参数，避免因标准不统一导致的并网困难。

在市场机制层面，推动建立风电-储能协同参与的电力市场交易机制，如允许风电-储能系统作为整体参与电力现货市场、辅助服务市场交易，通过市场化定价体现储能的调峰、调频价值，如储能为电网提供调频服务时，可根据调频效果获得相应的服务收益；同时，探索储能容量租赁、共享储能等新型商业模式，如风电企业可通过租赁第三方储能运营商的储能容量，降低自身初始投资压力，提升储能应用的灵活性。通过政策引导与市场驱动的协同发力，为储能技术在风电系统中的实践应用提供可持续的外部保障。

四、结束语

综上所述，储能技术并非简单的“能量存储工具”，而是衔接风电出力特性与电网运行需求的核心纽带，因此在实践中要给予充分重视。要结合风力发电系统设计技术保障整体运行稳定性，破解规模化应用中的制度与经济性瓶颈。未来，随着风力发电的规模化扩张与高质量发展，储能技术的应用场景将继续拓展，技术路线也将随着材料科学、控制算法的进步不断迭代，因此可进一步探索多类型储能技术的混合应用逻辑、极端环境下储能系统的适应性优化，为能源结构清洁低碳转型提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 徐靖渝.新能源发电系统中储能技术的集成应用 [J].电站辅机,2025,46(02):26-28.
- [2] 贺文海.储能技术在新能源风力发电系统中的应用 [J].电子技术,2025,54(05):395-397.
- [3] 陈伟.电池储能技术在新能源发电系统中的应用与优化 [J].电力设备管理,2024,(24):138-140.
- [4] 田子健.新能源风力发电系统中储能技术的应用探索 [J].河南科技,2024,51(22):12-15.
- [5] 区彩娟.新能源发电系统中储能技术的集成与优化应用研究 [J].光源与照明,2024,(10):225-227.
- [6] 许嘉雯.新能源风力发电系统中储能技术的实践应用 [J].应用能源技术,2023,(11):43-47.