储能技术在提升电力系统安全可靠性的中的应用与管理策略

郭建建

国家电投集团北京电力有限公司, 北京 100032

摘要: 随着电力系统的发展, 储能技术成为提升其安全可靠性的关键。本文阐述储能技术在电力系统的应用场景, 分析其提升安全可靠性的作用机制, 并提出相应管理策略, 为储能技术在电力系统的高效应用提供参考。

关键词: 储能技术; 电力系统; 安全性; 应用; 管理策略

Application and Management Strategies of Energy Storage Technology in Improving the Safety and Reliability of Power Systems

Guo Jianjian

State Power Investment Corporation Beijing Electric Power Co., Ltd. Beijing 100032

Abstract: With the development of power systems, energy storage technology has become the key to improving their safety and reliability. This paper elaborates on the application scenarios of energy storage technology in power systems, analyzes its mechanism for enhancing safety and reliability, and proposes corresponding management strategies, providing a reference for the efficient application of energy storage technology in power systems.

Keywords: energy storage technology; power system; safety and reliability; application; management strategies

引言

传统电力系统的主要特点是供需平衡, 即电力的供应和需求达到平衡, 以确保系统的稳定运行。然而, 新能源技术的快速发展, 特别是风能、光能等非稳定性能源的大规模接入, 使得电力系统的供需平衡变得越来越困难。储能技术可在电力充裕时存储能量, 短缺时释放, 实现“削峰填谷”, 对提升电力系统安全性和运行效率意义重大。研究其在电力系统的应用与管理策略, 利于推动电力行业可持续发展。

一、储能技术概述

(一) 储能技术分类

储能技术多样, 按能量存储形式分为物理、化学和电磁储能。物理储能有抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能。抽水蓄能通过不同高度水库间水的存储与释放转换电能, 应用广泛; 压缩空气储能将电能转化为空气内能存储, 用时释放推动涡轮机发电; 飞轮储能靠高速旋转飞轮储存动能, 经电机实现动能与电能转换。化学储能包含铅酸电池、锂离子电池、钠硫电池等^[1]。锂离子电池因能量密度高、循环寿命长、充放电效率高而发展迅速; 铅酸电池成本低、技术成熟, 在成本敏感场景有应用; 钠硫电池高能量与功率密度, 适用于大容量储能。电磁储能主要是超级电容器储能和超导储能。超级电容器储能充放电快、循环寿命长, 用于短时间高功率电能存储与释放; 超导储能利用超导线圈无电阻损耗特性长时间存储大容量电能, 但技术难度与成本

高^[2]。

(二) 储能技术特性对比

不同储能技术在能量密度、功率密度、充放电效率、循环寿命、响应时间、成本等方面差异显著。能量密度上, 锂离子电池、钠硫电池等化学储能较高, 适合长时间大量储能; 抽水蓄能、压缩空气储能等物理储能较低, 但大规模储能有优势。功率密度方面, 超级电容器储能和飞轮储能出色, 能快速高功率充放电, 适用于高功率响应场景^[3]。充放电效率, 锂离子电池、超导储能较高, 可减少能量损耗。循环寿命上, 锂离子电池、超级电容器储能较长, 降低长期成本。响应时间, 超级电容器储能和电磁储能极快, 满足系统快速调节。成本是重要考量, 铅酸电池成本低, 超导储能、钠硫电池成本高。实际应用需结合电力系统需求与场景, 综合评估选择合适的储能技术。

二、储能技术在电力系统中的应用场景

（一）电源侧应用

电源侧，储能技术用于可再生能源发电的平滑输出与备用。因自然条件影响，可再生能源发电的随机性与波动性阻碍电力系统功率平衡及稳定运行。储能系统能在发电过剩时储电、不足时放电，提升发电稳定性、可靠性与可调度性。如在风电场或光伏电站配置锂离子电池储能系统，可实时调节，减少对电网的冲击^[4]。此外，发电设备故障或停电时，储能系统能为关键设备和重要负荷供电，维持电力系统运行，像偏远小型发电站用铅酸电池储能作备用电源。

（二）电网侧应用

电网侧，储能技术对调峰、调频及增强电网稳定性意义重大。电力系统负荷峰谷特性明显，储能系统通过低谷充电、高峰放电“削峰填谷”，提高电网设备利用率与运行经济性，例如城市电网建设抽水蓄能电站或锂离子电池储能电站调节峰谷负荷^[5]。同时，储能系统能快速响应频率变化，调节系统功率，维持频率稳定，超导储能和超级电容器储能可瞬间补偿频率偏差。并且，储能系统能通过提供无功支持等增强电网稳定性，在电网薄弱地区配置可改善电压稳定性。

（三）用户侧应用

用户侧，储能技术用于提升电能质量和实现需求响应。对电能质量要求高的场所，如医院、数据中心等，用户端配置储能系统可在电网电能质量出现问题时保障设备运行，像数据中心的UPS储能电池确保业务连续性。储能系统助力用户实施需求响应策略，低谷储电、高峰用电，降低购电成本，紧急时还能将电能反向输送给电网获取补偿，实现用户与电网互动，大型商业用户参与需求响应项目就是例证。

三、储能技术对提升电力系统安全可靠性的作用机制

（一）功率平衡调节

电力系统安全稳定运行需发电功率与负荷需求时刻平衡。传统靠调节发电设备出力实现，但可再生能源大规模接入后，其出力不确定性和波动性使仅靠发电侧调节难以满足。储能技术为功率平衡调节提供新途径，能在电力过剩时储电，不足时放电，弥补发电与负荷差值，维持功率平衡^[6]。风力或光伏发电因天气变化功率骤减时，储能系统迅速放电，补充功率缺口，防止频率和电压下降；负荷需求突增时，也能及时供电，缓解发电设备压力，保障系统安全稳定。储能系统与发电设备、负荷协同运行，大幅提高电力系统应对功率波动能力，增强功率平衡调节效果。

（二）频率稳定保障

频率是电力系统重要运行参数，保持稳定对安全可靠运行至关重要。系统频率取决于有功功率平衡，有功功率不平衡会导致频率变化。储能系统功率响应快，能在频率变化瞬间，通过充放电调节有功功率，抑制频率波动，维持稳定。频率下降时，储能系统放电注入有功功率，增加发电功率使频率回升；频率上升

时，快速充电吸收多余有功功率，降低发电功率使频率降低。与传统频率调节手段（如发电机调速器调节）相比，储能系统响应速度更快、调节精度更高，能更有效应对快速变化的功率扰动，保障电力系统频率稳定。尤其在高比例可再生能源接入系统中，储能系统在频率稳定保障方面作用更突出^[7]。

（三）电压稳定支持

电压稳定是电力系统安全可靠运行关键。系统电压分布与无功功率平衡密切相关，无功功率不足或分布不合理会导致电压下降或波动，影响电力设备运行。储能系统既能调节有功功率，也能通过调节输出无功功率有效控制电压。在电网薄弱或负荷集中区域，电压下降时，储能系统调节逆变器控制策略输出无功功率，提高无功补偿能力，提升电压水平；电压过高时，吸收无功功率降低电压。此外，储能系统优化接入位置和容量配置，可改善潮流分布，减少线路无功功率传输，降低线路损耗，进一步提高电压稳定性。储能系统对电压的稳定支持，保障电力系统各类设备正常运行，提升供电质量^[8]。

（四）故障应对与恢复

电力系统发生短路故障、设备故障等时，储能系统能发挥重要作用，助力系统快速应对故障并恢复。故障导致部分发电设备或输电线路退出运行，功率平衡被破坏，可能引发频率和电压大幅波动，甚至系统崩溃。储能系统在故障瞬间迅速放电，提供紧急功率支持，维持频率和电压稳定，防止故障扩大。故障切除后，协助系统恢复，注入电能帮助发电设备重启和恢复出力，加速功率平衡恢复。电网大面积停电事故后，储能系统作为应急电源，为关键电力设备和重要负荷提供临时供电，保障电力抢修，助力系统逐步恢复^[9]。储能系统在故障应对与恢复方面，显著提高电力系统抗故障和恢复能力，减少故障对系统和用户的影响。

四、储能技术在电力系统中的管理策略

（一）规划与布局管理

科学规划与合理布局是储能技术在电力系统高效应用基础。规划时需综合考虑电力系统负荷特性、电源结构、电网布局及未来发展趋势，确定储能系统最优配置。电源侧储能依可再生能源发电装机规模、分布及出力特性，合理配置容量和类型，实现对可再生能源发电的有效平滑和调节。电网侧储能结合电网负荷峰谷差、薄弱环节分布及电压稳定性要求，确定安装位置和容量，达到最佳调峰、调频和电压支撑效果。用户侧储能规划充分考虑用户用电需求、电能质量要求及参与需求响应意愿，提供个性化配置方案。同时，加强储能规划与电力系统整体规划协调，确保储能与发电、输电、配电等环节协同发展，避免重复建设或配置不合理。制定储能发展规划，明确发展目标、重点任务和实施步骤，引导储能产业健康有序发展。

（二）运行与维护管理

有效运行与维护管理确保储能系统安全可靠运行。建立完善运行监测与控制体系，实时监测储能系统运行状态，包括电池电压、电流、温度、荷电状态（SOC）等参数，以及充放电功率、

能量转换效率等运行指标。通过监测分析,及时发现问题和潜在风险并处理^[10]。加强日常维护,定期巡检、保养和维修储能设备,确保设备良好运行。如定期对电池充放电维护以保持性能和寿命,检查维护储能系统电气设备确保绝缘和连接可靠。制定完善应急预案,针对电池热失控、火灾等故障和事故,制定详细应急处理流程和措施,并定期演练,提高应对突发事件能力。加强对运行人员培训,提升专业技能和操作水平,保障储能系统安全稳定运行。

(三) 成本与效益管理

储能技术应用成本高,平衡成本与效益是推广关键。在成本管理上,一方面要依靠技术创新与规模化生产降低设备制造成本,比如研发新型储能材料、优化系统设计,以此提升能量密度与充放电效率,降低单位储能容量成本;另一方面需合理规划配置及运行策略,通过优化充放电控制策略,减少不必要充放电,提高利用效率,延长设备寿命,降低运行与更换成本。

效益管理上,深挖储能系统在电力系统的多重价值,参与市场交易获利,提升系统可靠性以间接创效。政府应出台政策激励,探索建立成本分摊与效益共享机制,保障各方合理收益,推动储能技术可持续发展。

(四) 政策与法规管理

完善政策与法规体系是储能技术在电力系统广泛应用和健康保障。政府加强政策支持,出台财政补贴、税收优惠、价格

支持等政策,降低储能项目投资成本,提高盈利能力,激发市场主体投资积极性。对建设储能项目企业给予财政补贴或税收减免,制定合理储能电价政策,保障其在电力市场交易中的合理收益。建立健全储能技术相关法规和标准,规范设计、建设、运行和维护等环节,确保安全可靠运行。制定安全标准、技术规范和验收规程,加强项目监管,保障储能产业健康发展。加强政策与法规协同配合,形成政策合力,为储能技术应用营造良好政策环境和制度保障。

五、结束语

储能技术在提升电力系统安全可靠方面作用关键,在电源侧、电网侧和用户侧应用广泛,通过功率平衡调节、频率稳定保障、电压稳定支持以及故障应对与恢复等机制,保障电力系统安全稳定运行。为实现高效应用与可持续发展,需从规划与布局、运行与维护、成本与效益、政策与法规等多维度实施有效管理策略。随着技术进步和政策完善,储能技术将在电力系统中应用更广泛深入,为构建安全可靠、清洁高效的新型电力系统提供支撑,推动电力行业可持续发展。未来需加强储能技术研发创新,提升性能和可靠性,降低成本,拓展应用领域,持续提高储能技术在电力系统的应用价值和管理水平。

参考文献

- [1] 阮文俐. 储能技术在新型电力系统中的应用 [J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(05): 191-193. DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2024.5.060.
- [2] 范玮. 储能技术研究进展及经济性分析 [J]. 煤质技术, 2024, 39(03): 21-29+38.
- [3] 张恒, 张宇, 张庆丰. 储能技术在电力系统中的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (12): 7-9. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202412003.
- [4] 兰兵权, 王强, 齐宇文. 储能技术在新能源电力系统中的应用探究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(04): 172-174. DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2024.4.051.
- [5] 苏南, 董梓童. 电力系统调节能力加速升级 [N]. 中国能源报, 2024-03-04(008). DOI: 10.28693/n.cnki.nshca.2024.000233.
- [6] 《电力系统新型储能技术》[J]. 自动化博览, 2024, 41(03): 7.
- [7] 葛全, 彭少卫. 新能源电力系统中的储能技术研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (06): 111-114.
- [8] 李更丰, 孙少华, 别朝红, 等. 面向新型电力系统弹性提升的储能优化配置与灵活调度研究综述 [J]. 高压电技术, 2023, 49(10): 4084-4095. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20230619.
- [9] 赵丹华. 新能源发电系统中储能系统的应用探究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (05): 89-91.
- [10] 宋超, 董浩, 吴怡儒. 新型电力系统下的电化学储能电站汇流电压等级选择研究 [J]. 电力勘测设计, 2023, (S2): 66-71. DOI: 10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2023.S2.012.