

智能电网中自动化控制与储能技术的协同应用研究

李宝健

扬州三新供电服务有限公司 江苏 扬州 225002

摘要: 本文围绕智能电网中自动化控制与储能技术的协同应用展开研究。首先阐述两类技术的基础理论,包括自动化控制系统架构、控制方法及储能技术分类与性能指标;接着从提升电网稳定性、优化可再生能源消纳、提高电网经济性三方面,分析协同应用的必要性;随后探讨协同控制策略、信息交互与通信技术、接口技术等关键技术;最后提出系统规划设计、集成调试、运行管理维护的实施路径。二者协同能有效解决电网运行痛点,为智能电网高效稳定运行提供技术支持,具有重要实践价值。

关键词: 智能电网; 自动化控制; 储能技术; 协同应用; 实施路径

引言: 在能源转型与电网智能化发展背景下,智能电网对稳定性、可再生能源消纳能力及经济性的需求日益提升。自动化控制技术可实现电网精准调控,储能技术能平衡能源供需,二者单独应用存在局限,协同应用成为突破电网发展瓶颈的关键。深入研究两者协同的基础理论、必要性、关键技术与实施路径,对解决电网运行难题、促进清洁能源利用、提升电网整体效能具有重要现实意义,也为智能电网技术升级提供有力支撑。

1 智能电网自动化控制与储能技术基础理论

1.1 智能电网自动化控制技术

智能电网自动化控制系统含调度层、控制层和设备层。调度层整合全网数据制定调度策略,控制层将调度指令转化为控制信号,设备层执行信号调整运行状态,三层通过数据网络交互形成完整控制链路,且各层级需具备冗余设计,避免单点故障影响整体控制功能。智能电网常用多种控制方法^[1]。PID控制靠比例、积分、微分环节调节输出,适用于电网频率、电压线性调节;模糊控制处理不确定信息,应对负荷波动等非线性问题;神经网络控制具备自学习能力,优化新能源出力波动场景控制效果,方法按需求选用,实际应用中常结合多种方法形成复合控制方案,提升调节精度。自动化控制应用于电网各环节。发电环节实现机组自动调频,维持电网频率稳定;输电环节调节线路功率防过载,保障线路安全;变电环节自动调压与监测,提升变电效率;配电环节快速隔离故障,减少停电范围;用电环节引导用户调整用电时段,提升整体效率。

1.2 储能技术概述

储能技术分物理、化学、电磁三类。物理储能中,抽水蓄能容量大但受地理限制,压缩空气储能响应快,飞轮储能适合短时调节;化学储能里,锂离子电池能效

优,铅酸蓄电池成本低,液流电池可扩容量;电磁储能中,超级电容器补瞬时功率,超导磁储能损耗小但需低温,技术按场景选择,且需考虑与电网接口兼容性,确保灵活接入。储能系统充电存能、放电释能。性能指标含能量密度、功率密度、充放电效率、循环寿命,能量密度决定单位体积储能量,功率密度影响充放速度,充放电效率反映能量损失,循环寿命关系长期使用成本,指标共同决定储能系统适用性,选型时需结合电网实际需求综合评估。储能技术对智能电网至关重要。可存储过剩电能、补充缺口平衡供需,避免电能浪费与短缺;吸收新能源波动电能提高接入比例,助力清洁能源利用;补偿电压暂降等问题改善电能质量,支撑电网稳定运行,同时为电网应急场景提供能量支持,增强电网抗风险能力。

2 自动化控制与储能技术协同应用的必要性分析

2.1 提升电网稳定性的需求

智能电网运行中常面临可再生能源出力波动与负荷突变等挑战,这些因素易导致电网频率偏移、电压波动,威胁整体运行稳定。自动化控制技术具备快速监测与指令下发能力,但单独作用时缺乏能量缓冲支撑,难以应对瞬时性、大规模的扰动。储能技术拥有能量存储与快速释放特性,却需要精准的调度指引才能高效发挥作用。两者协同应用时,自动化控制技术可实时采集电网运行数据,快速识别可再生能源出力骤降或负荷突增等异常情况,立即向储能系统下发充放电指令;储能系统则根据指令在毫秒级或秒级内响应,通过释放存储电能补充供电缺口,或吸收过剩电能避免频率过高,快速平抑电网参数波动。这种协同模式形成“监测-决策-执行”的完整响应链条,有效弥补单一技术在稳定性维护中的不足,确保电网频率、电压始终维持在安全运行范围内,提升电网抗扰动能力与运行可靠性。

2.2 优化可再生能源消纳的需求

风能、太阳能等可再生能源发电受自然条件影响显著,出力具有强烈的间歇性与不确定性,大规模接入电网时易造成发电与用电时段错配,导致部分电能因无法及时消纳而被弃用,制约可再生能源开发利用^[2]。自动化控制技术能够对可再生能源出力进行短期预测与实时监测,却无法直接解决能量时空错配问题;储能技术可存储过剩电能,但缺乏精准调度会导致储能容量浪费或消纳效果不佳。两者协同可有效破解这一难题,自动化控制技术通过分析历史出力数据与实时气象信息,预测可再生能源出力变化趋势,制定合理的储能充放电计划;当可再生能源出力高于电网实时需求时,自动化控制指令引导储能系统充电,将多余电能存储起来;当出力低于需求时,指令触发储能系统放电,将存储电能输送至电网,填补供电缺口。自动化控制还能根据电网负荷变化动态调整储能充放电节奏,实现可再生能源电能在规定时间内与空间上的优化配置,大幅减少弃风弃光现象,显著提高可再生能源在电网中的消纳水平。

2.3 提高电网经济性的需求

智能电网运行中,备用容量配置、线损控制等环节直接影响整体经济效益,单独依靠自动化控制或储能技术难以实现经济性最大化。自动化控制技术可优化电网运行流程,却无法减少因负荷波动所需的冗余备用容量;储能技术能替代部分备用容量,但若缺乏科学调度会增加运行成本。两者协同应用可从多方面提升电网经济性,在备用容量配置上,自动化控制与储能协同可通过储能系统存储的电能替代部分传统火电备用容量,减少火电机组启停次数与低负荷运行时间,降低备用容量建设与维护成本;在电网运行优化上,自动化控制技术根据负荷分布与线路损耗情况,调度储能系统在负荷低谷时段充电、高峰时段放电,优化电网潮流分布,减少电能传输过程中的线损,提高能源利用效率;此外,通过协同优化储能充放电时机,还能降低电网对高价火电的依赖,减少购电成本。这种协同模式从容量配置、运行优化、成本控制等多维度发力,有效降低电网整体运行成本,提升电网运行的经济性与可持续性。

3 自动化控制与储能技术协同应用的关键技术

3.1 协同控制策略

基于模型预测控制的协同策略以电网运行的数学模型为基础,通过对历史数据与实时信息的分析,预测未来一段时间内电网的负荷变化、可再生能源出力等状态。该策略能提前识别电网潜在运行风险,据此制定储能系统的充放电计划与自动化控制的调节方案,实现对电网

运行的前瞻性优化控制,减少突发波动对电网的影响。分层协同控制策略遵循“全局统筹、局部执行”的思想。调度层从电网整体运行角度出发,制定宏观协同目标与资源分配方案;控制层将调度层的目标转化为具体控制指令,协调不同区域的储能系统与自动化控制单元;设备层则负责执行指令,完成储能充放电操作与电网设备调节。三个层级分工明确且紧密协作,既保障电网全局运行优化,又确保局部控制的精准高效。多目标优化协同控制策略综合考量电网稳定性、经济性、环保性等需求。在制定策略时,通过科学的权重分配与优化算法,平衡各目标间的关系。例如,在保障电网稳定的前提下,尽可能降低运行成本,同时提升可再生能源利用率以减少碳排放,最终实现多目标的协调统一,满足电网多元化运行需求。

3.2 信息交互与通信技术

智能电网通信架构由骨干通信网、接入通信网和终端通信网构成。骨干通信网承担大范围、高容量的信息传输任务,保障电网整体调度指令的高效传递;接入通信网连接骨干网与终端设备,实现区域内信息的汇聚与分发;终端通信网则负责自动化控制设备、储能系统等终端的数据采集与指令接收^[3]。各层通信网络需满足高可靠性、低时延的要求,确保信息交互顺畅。数据采集与传输技术通过传感器、智能监测设备等采集自动化控制系统与储能系统的运行数据,包括电网频率、电压、储能荷电状态等。数据传输依托标准化的通信协议与接口,保障数据在传输过程中准确无误且实时送达,为协同控制决策提供可靠的数据支撑。信息安全技术是协同应用的重要保障。加密技术对传输的敏感数据进行加密处理,防止信息被窃取;认证技术验证接入设备与用户的身份,避免非法设备入侵;访问控制技术限制不同用户的操作权限,防止未授权操作导致系统故障,全方位保障信息交互安全。

3.3 储能系统与电网的接口技术

电力电子接口技术中,双向DC-DC变换器主要用于直流储能系统与直流母线的连接,实现电能的双向传输与电压调节;双向AC-DC变换器则负责储能系统与交流电网的连接,完成交直流电能的转换,同时具备功率因数调节能力。这些变换器是储能系统参与电网功率调节的关键设备,直接影响储能充放电控制的精度与电网运行的稳定性。接口控制策略涵盖充放电模式切换、功率控制、电压控制等内容。充放电模式切换根据电网需求与储能状态,实现储能系统在充电、放电、待机模式间的平稳切换;功率控制精准调节储能系统的充放电功率,

匹配电网功率需求；电压控制则维持接口处电压稳定，确保储能系统与电网连接时不影响电网电压质量，实现两者高效、稳定的协同运行。

4 自动化控制与储能技术协同应用的实施路径

4.1 系统规划与设计

协同系统需求分析需紧密结合智能电网的发展目标与运行特点，明确系统需实现的核心功能，比如电网波动快速响应、可再生能源消纳优化等，同时还需确定性能指标，包括响应时延、控制精度、储能容量适配性等，为后续设计提供明确方向。此外，需求分析还需考虑电网未来扩容需求与技术升级空间，避免系统建成后短期内面临功能滞后问题^[4]。系统架构设计需兼顾硬件与软件层面，硬件架构需规划自动化控制设备与储能装置的连接逻辑，明确数据采集模块、控制模块、储能模块的部署位置；软件架构则需设计数据交互接口、控制算法模块、监控界面等，确保各模块功能清晰且能高效协同。设备选型与配置需依据需求分析与架构设计结果，挑选符合性能要求的自动化控制设备，如高精度传感器、快速响应控制器，同时匹配适配的储能装置，结合电网负荷特征与储能需求，合理规划储能装置的容量与布局，保障设备间兼容性与系统整体效能。

4.2 系统集成与调试

硬件集成阶段需规范自动化控制设备与储能装置的连接方式，电气连接需遵循安全标准，确保电流、电压匹配，避免电路故障；通信连接需搭建稳定的传输链路，实现设备间数据实时互通，保障硬件系统运行可靠。集成过程中还需做好设备防护措施，避免外部环境干扰影响设备性能。软件集成需打通自动化控制软件与储能管理软件的数据壁垒，通过统一数据格式与通信协议，实现运行数据共享，同时整合控制功能，确保软件指令能精准传递至硬件设备，实现功能协同。系统调试需按步骤开展，先进行单机调试，检验单个自动化控制设备与储能装置的运行状态，排除设备自身故障；再进行联调，测试整体系统的协同运行效果，针对调试中出现的响应延迟、数据传输误差等问题，分析原因并优化参数，提升系统运行稳定性与控制精度。

4.3 运行管理与维护

运行监控与数据分析需搭建专门的监控平台，实时采集系统运行数据，包括电网频率、电压、储能荷电状态、控制指令执行情况等，通过数据分析工具识别数据异常，如储能充放电效率骤降、控制指令响应超时等，及时触发预警并采取调整措施。故障诊断与处理需采用多种技术手段，基于专家系统的故障诊断可依托历史故障案例库快速定位常见问题，基于神经网络的故障诊断能识别复杂非线性故障，同时需提前制定故障处理预案，明确不同故障类型的处置流程，确保故障发生后能快速恢复系统运行。设备维护与更新需制定定期计划，按时对自动化控制设备进行精度校准、部件检查，对储能装置进行电池性能检测、散热系统保养；同时关注技术发展动态，当现有设备无法满足电网升级需求时，及时更新设备或升级系统，保障协同应用长期适配电网运行需求。定期维护时还需做好记录存档，为后续系统优化提供数据支撑。

结束语

智能电网中自动化控制与储能技术的协同应用，是提升电网性能、推动能源转型的重要途径。通过协同控制策略、信息交互与通信技术、接口技术等关键技术的支撑，以及系统规划、集成调试、运行维护等实施路径的保障，二者协同能够有效提升电网稳定性，优化可再生能源消纳，提高电网经济性。未来，随着技术的不断进步，二者协同应用将更加成熟，为智能电网的高质量发展提供更强有力的支撑。

参考文献

- [1]卢夏,陈斌雷,徐慧玲.配电自动化技术在智能电网中的应用分析[J].网络安全和信息化,2023(11):86-88.
- [2]张宸睿.智能电网环境下的电气自动化设备协调控制研究[J].自动化应用,2025,66(02):147-149.
- [3]刘海成.智能电网中的电力系统自动化技术研究[J].光源与照明,2024,(12):210-212.
- [4]陈伟.电气工程自动化在智能电网中的应用与前景展望[J].工程建设与设计,2025,(08):60-62.