

Research on the collaborative application of automation control and energy storage technology in smart grid

Weiwei Yue

Hebei Fengmei Coke Chemical Co., Ltd., Handan, Hebei, 056200, China

Abstract

The modern power system is undergoing a profound transformation, shifting from traditional unidirectional energy supply models to intelligent forms. The economic efficiency, reliability, safety, and flexibility of grid operations face higher demands and challenges under this transformation. The dynamic characteristics of power supply and demand have changed due to the continuous increase in renewable energy penetration. The rapidly changing energy supply and demand environment has made traditional regulation methods inadequate. Intelligent sensing technologies, information communication technologies, data analysis, and decision-making technologies, which serve as the central nervous system of smart grids, maintain system stability through real-time perception and dynamic response. Energy storage devices, represented by lithium-ion batteries, act as energy buffers, endowing the grid with time-varying regulation capabilities. The collaborative innovation of these two types of technologies can effectively overcome the limitations of individual technologies, forming a composite solution of “dynamic control + flexible regulation.”

Keywords

smart grid; automatic control; energy storage technology; collaborative application

智能电网中自动化控制与储能技术的协同应用研究

岳伟伟

河北峰煤焦化有限公司, 中国·河北 邯郸 056200

摘要

现代电力系统正在经历深度转型,从传统单向供能模式向着智能化形态转变,电网运行的经济性、可靠性、安全性、灵活性,在这样的变革下面临更高的要求和挑战。电力供需的动态特性因可再生能源渗透率持续增加而改变,快速变化的能源供需环境已让传统调节手段难以适应。作为智能电网中枢神经系统存在的智能化传感技术、信息通信技术、数据分析与决策技术等自动化控制技术,凭借实时感知与动态响应来维持系统的稳定;而以锂离子电池为代表的储能装置充当着能量缓冲池的角色,为电网赋予时空调节能力。两类技术的协同创新能有效突破单一技术瓶颈,形成“动态控制+柔性调节”的复合解决方案。

关键词

智能电网; 自动化控制; 储能技术; 协同应用

1 引言

在风电、光伏这类波动性能源占比不断扩大的背景下,电网运行面临新能源发电的不确定性、不同类型电源协调控制困难、负荷侧特性变化、电网结构与设备老化等新型挑战,传统控制策略应对复杂工况时的局限性逐渐显现出来。储能技术的突破性发展为系统调节开辟出了新的技术路径,但是独立运行的储能单元还无法将自身技术潜能彻底释放。自动化控制和储能技术的深度融合为解决上述问题开拓了新方向,二者协同作用能够形成“动态感知-智能决策-精准执行”的闭环控制体系。通过控制策略与储能调度有机联动形

成的协同应用模式,实现了电力供需双侧的协同优化,给构建智能电网提供了全新的思路。本文聚焦于两类技术的协同机制以及技术路径上,探索其联合应用对提升电网安全性与经济性的具体作用。

2 智能电网自动化控制与储能技术概述

2.1 自动化控制在智能电网中的作用

智能电网就是电网的智能化,也被称为“电网 2.0”,是建立在集成化、高速双向通信网络的基础上,通过智能电表、相量检测单元等先进的传感和测量技术,以及光纤通讯技术、5G、Wi-Fi、ZigBee 等先进的信息通信技术,通过优化调度算法协调发电、输电、配电等环节协调控制分布式电源和煤电电源协调运行,辅以大数据、AI 等先进的决策支持系统技术的应用,实现电网的可靠、安全、经济、高效、

【作者简介】岳伟伟(1983-),男,中国河北邯郸人,硕士,工程师,从事机电管理及自动化应用研究。

环境友好和使用安全的目标,其主要特征包括自愈、激励和保护用户、抵御攻击、提供满足用户需求的电能质量、容许各种不同发电形式的接入、启动电力市场以及资产的优化高效运行。智能电网自动化控制系统作为电力网络的中枢神经,其核心价值在于构建具备动态响应能力的能源调配体系,通过多层级信息交互平台实时感知电力负荷波动与环境参数变化。在电力传输环节,该系统依托先进量测装置与边缘计算节点,持续捕获线路温度、电压相位及频率偏移等关键指标,结合深度学习算法对海量运行数据进行特征提取与模式识别,从而动态调整继电保护阈值与无功补偿策略。在故障处理层面,系统集成知识图谱技术构建设备健康度评估模型,通过时序数据挖掘提前识别潜在风险点,当检测到绝缘老化或接触不良等隐患时,自动触发预防性维护指令并优化检修资源配置路径^[1]。

2.2 储能技术在智能电网中的应用现状

智能电网中储能技术的应用呈现出多维度发展趋势,各类储能系统正逐步嵌入发输配用各环节形成互补支撑网络。锂离子电池凭借高能量密度、循环寿命长、自放电率低、快速响应等特性在调频辅助服务领域占据主导地位,铅酸电池技术成熟、成本较低、安全性高在偏远山区应用广泛,液流电池和压缩空气储能则依托长时储能优势开始参与电网调峰与容量备用,氢储能作为新兴技术路线在跨季节能量存储方向展现出独特潜力。现有储能装置多采用模块化设计理念与电力电子变换设备深度耦合,其运行模式从早期孤岛式部署转向与能量管理系统、数据采集监控系统形成双向通信架构。不同技术路线在系统集成度、循环寿命等参数维度存在显著差异,导致实际工程应用中需结合区域电网负荷特性与电源结构进行定制化配置。地理气候条件与电网拓扑特征正成为影响储能选型的重要因素,高比例新能源渗透区域更倾向于部署具备毫秒级功率调节能力的分布式储能单元,传统电力枢纽节点则侧重配置大容量集中式储能系统以提升断面输电能力。

3 自动化控制与储能技术的协同应用机制

3.1 协同应用的必要性与优势

智能电网中自动化控制系统与储能装置的协同运作构筑了能源供需双向调节的动态平衡机制,在应对可再生能源间歇性波动与负荷峰谷差持续扩大的双重挑战时,二者形成互补性技术耦合。当光伏能源因云层遮挡、或风速突变造成输出功率、质量大幅变化时,控制中枢依据毫秒级预测数据同步调整储能充放电策略,既避免传统机组频繁动作造成的机械损耗,又维持母线电压稳定在安全阈值区间。针对配电网末端电压越限问题,储能单元在自动化指令驱动下释放预设容量的无功功率,这种就地补偿方式较之远程调度主变分接头更具时效性与经济性。在需求侧响应场景中,控制算法结合储能荷电状态动态优化负荷投切序列,在电网负荷较

低、新能源发电量较大时,让充电桩等设备多充电;在电网负荷高峰、变压器容易过载时,将部分空调的运行时间适当推迟或提前,减少此时的用电功率,避免在同一时间有过高功率设备运行,以缓解变压器过载风险,同时让更多的新能源电力并入电网并被有效利用,减少弃风、弃光等现象。

3.2 协同应用的系统架构与技术框架

智能电网协同应用架构采用分层控制结构构建多级决策体系,其中区域级控制层依托状态估计与拓扑分析生成全局优化指令,本地控制单元则根据设备运行状态执行动态调整。设备接口标准化设计使得储能变流器能够无缝接入自动化控制网络,基于统一通信协议实现控制指令与设备反馈的双向高速传输。核心算法模块整合负荷预测模型与新能源出力特性,建立涵盖分钟级至小时级的协调优化机制,采用滚动优化策略平衡实时调节精度与系统运行经济性。边缘计算节点部署在关键枢纽位置,结合设备物理特性建立自适应控制模型,在维持电压频率稳定的同时降低通信网络传输延迟。安全防护机制深度嵌入系统架构各层级,针对控制指令与能量流建立多重校验机制,确保协同运行过程满足电力系统安全约束。

3.3 协同应用的关键技术与方法

技术围绕多时间尺度能量管理构建动态调节体系,基于负荷波动特性和新能源出力规律建立多时间尺度协调控制模型,在秒级响应层部署动态阈值调节机制应对电压骤降等突发工况,分钟级优化层采用模型预测控制同步更新储能充放电计划与自动化控制参数。数据驱动技术融合电网运行信息与储能设备状态数据,设计具有容错能力的联合控制算法,利用数据同化技术修正控制指令与设备物理响应之间的偏差。安全约束优化算法嵌入控制逻辑核心层,将设备运行边界条件转化为不等式约束矩阵,在求解最优控制策略时同步满足设备寿命管理与电网安全运行双重要求。电力电子接口拓扑优化设计提升储能系统与控制指令的耦合效率,采用虚拟同步控制技术使储能单元具备主动支撑电网惯量的能力。异构通信协议转换模块消除自动化控制系统与储能装置间的信息交互壁垒,基于事件驱动的通信机制降低冗余数据传输造成的系统延迟。数字孪生模型实时映射物理系统运行状态,为协同控制提供高精度仿真环境,结合设备健康状态评估结果动态调整控制参数阈值,嵌入自适应学习机制使控制系统能够识别新型运行场景下的最优响应模式^[2]。

4 自动化控制与储能技术协同应用的优化策略

4.1 优化系统设计

系统架构师采用模块化架构设计理念构建可扩展的硬件平台,允许不同厂商的储能装置与自动化控制设备按标准化接口接入系统。设计人员制定统一通信协议规范,将电力系统专用规约与物联网通信协议进行深度适配,使得调度指令与设备状态信息能在广域时间同步框架内实现精准交互。

控制算法开发团队基于多源数据融合技术建立复合控制模型,将传统比例积分微分调节与人工智能预测算法有机结合,在维持系统稳定性的同时提升动态响应速度。电气工程师优化电力电子变流器拓扑结构,设计具备双向功率调节能力的通用接口模块,使储能系统既能平滑处理新能源波动又可参与电网调频服务。网络安全专家在设备层部署轻量化加密认证机制,为控制指令传输建立端到端防护通道,同时开发具备自学习能力的异常流量检测模块,实时阻断潜在的网络攻击行为。运维管理人员引入数字孪生技术构建三维可视化平台,将物理设备的实时运行参数映射为虚拟模型,结合历史运维数据训练设备健康度评估算法,为系统升级改造提供决策依据。

4.2 增强数据管理与分析

数据工程师设计多源异构数据采集框架,将电网量测装置、储能电池管理系统与自动化控制终端产生的结构化与非结构化数据进行时空对齐,建立具备毫秒级时间戳精度的数据湖底座。系统架构师开发轻量化数据中间件,完成不同厂商设备间 Modbus、IEC 61850 等异构通信协议的格式转换与语义解析,消除跨系统数据交互时的语义鸿沟。算法团队研发混合式数据清洗引擎,融合规则引擎与自监督学习模型,针对 SCADA 系统采集的电压电流波形数据与储能系统运行日志进行特征级噪声过滤。云计算专家构建分层式流数据处理架构,在边缘侧部署轻量级实时计算节点执行数据降维与特征提取,云端则运行分布式时序数据库支撑历史数据关联分析。机器学习工程师开发具有在线学习能力的负荷模

式识别模型,利用长短期记忆网络捕捉用户用电行为与储能充放电状态的动态耦合关系。安全团队设计数据溯源追踪机制,为每个数据单元附加包含采集设备、传输路径与处理节点的全生命周期元数据标签,构建细粒度数据溯源链条。跨学科团队联合开发数据-知识双驱动决策模型,将设备机理模型输出的物理约束条件与数据挖掘发现的隐式规律进行融合推理,形成具备可解释性的控制策略生成机制。

4.3 加强系统集成与测试

开发团队在设计阶段需构建标准化通信接口与统一数据模型,使得自动化控制模块与储能设备间能无缝解析功率指令与状态反馈信息。测试人员搭建多物理场耦合仿真平台,模拟台风天气下输配电线路舞动与储能系统热失控耦合工况,验证保护逻辑链的响应鲁棒性。运维团队针对储能变流器与继电保护装置的时间同步偏差问题,建立包含电磁暂态过程的全闭环测试用例库,重点考察控制指令在跨厂商设备间的传输一致性。技术人员开发基于数字孪生的在线诊断工具,当主站系统下发拓扑重构指令时,同步比对虚拟模型与实际场站的设备动作序列差异。制造商需在出厂前完成储能单元与控制柜的背靠背联调测试,特别是验证极端低电压穿越过程中功率模块与散热系统的协同稳定性。工程实施方应组织跨专业团队开展多轮次现场压力测试,重点攻克新能源场站集体脱网时储能系统支撑频率恢复的时序匹配难题,这类实操演练往往比理论计算更能暴露系统集成的深层矛盾^[3,4]。具体如图1所示:

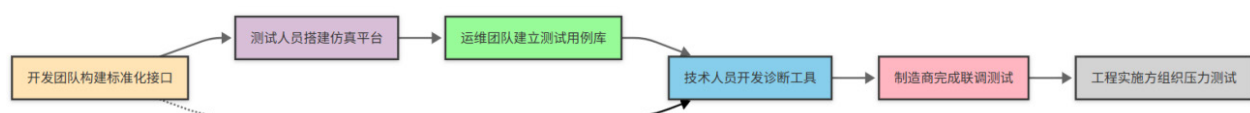


图1 智能电网系统集成测试分层架构图

5 结语

智能电网在持续发展进程中对技术创新有着从单一突破转变为系统整合的要求,在此情形下,自动化控制与储能技术协同应用所展现出的技术优势颇为显著。文章表明,将这两类技术进行深度融合能够构建起具备多维度特性的电网调控体系,如此不但可提升新能源的消纳能力,还能增强电网抗扰动的性能。就未来发展而言,建议未来着重突破异构设备协同控制、多时间尺度能量管理等关键技术瓶颈,并建立起标准化的协同运行框架。

参考文献

- [1] 闻娜,刘成伟,张晓阳,等. 智能电网中自动化控制与储能技术的协同应用研究[J]. 储能科学与技术, 2025, 14 (01): 219-221.
- [2] 郑一昂,刘吉川,崔明思,等. 论电网储能自动化控制对智能电网的贡献[J]. 黑龙江电力, 2019, 41 (03): 214-219.
- [3] 王钰. 智能电网中调度自动化控制系统的设计与应用[J]. 电子技术与软件工程, 2016, (04): 145.
- [4] 杨新. 智能电网自动化控制安全防护系统. 四川省, 成都卫士通信信息产业股份有限公司, 2005-08-03.