

Research on the Adaptive Transformation of Electrical Systems in Thermal Power Plants under the Background of New Energy Integration

Kaiqiang Wen

Huadian Xinzhou Guangyu Coal Power Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 034000, China

Abstract

The large-scale integration of new energy poses challenges to the stable operation of the power system. The electrical system of thermal power plants, as the core support of the power industry, is of vital importance for its adaptive transformation. The transformation is not only a core requirement for ensuring the safety and stability of the power system, but also a key support for promoting the transformation of the energy structure, and an inevitable choice for thermal power plants to enhance their survival and development capabilities. In practice, multiple measures should be taken to promote the transformation. Through technical optimization, the regulation capacity and power quality of the units can be improved. Based on equipment upgrades, old facilities can be replaced and new equipment can be adapted. In addition, a well-structured standard system can be built through improved management and enhanced maintenance capabilities. This will help thermal power plants adapt to the scenarios of new energy integration, and contribute to the clean, low-carbon transformation and safe, efficient operation of the power system.

Keywords

New Energy; Thermal Power Plant; Adaptive Transformation of Electrical System

新能源接入背景下火电厂电气系统适应性改造研究

温凯强

华电忻州广宇煤电有限公司, 中国·山西忻州 034000

摘要

新能源大规模并网给电力系统稳定运行带来挑战, 火电厂电气系统作为电力核心支撑, 其适应性改造至关重要。改造既是保障电力系统安全稳定的核心需求, 也是助力能源结构转型的关键支撑, 更是火电厂提升生存发展能力的必然选择。实践中需多措并举推进改造, 通过技术优化提升机组调节能力与电能质量, 依托设备升级完成老旧设施更替及新型设备适配, 辅以管理完善构建规范标准体系、强化运维能力, 以此推动火电厂适配新能源接入场景, 助力电力系统清洁低碳转型与安全高效运行。

关键词

新能源; 火电厂; 电气系统适应性改造

1 引言

当前新能源大规模接入电力系统, 给电网稳定运行带来新挑战, 火电厂作为传统电源核心, 其电气系统适配性不足问题凸显。开展电气系统适应性改造, 是保障电力系统安全稳定的关键, 亦是助力能源结构转型、推动“双碳”目标落地的重要举措, 同时关乎火电厂自身转型发展。基于此, 本文围绕改造重要性与核心策略展开研究, 为火电厂适配新能源并网场景提供理论与实践参考。

2 新能源接入背景下火电厂电气系统适应性改造的重要性

2.1 保障电力系统安全稳定运行的核心需求

新能源发电(如风电、光伏)受自然条件影响显著, 输出功率具有强烈的波动性、间歇性和随机性, 大规模接入后会导致电网电压、频率波动加剧, 严重威胁电力系统的安全稳定。火电厂作为电力系统中的主力调节电源, 其电气系统的稳定运行直接关系到电网的供电可靠性。通过适应性改造, 火电厂电气系统可提升对新能源功率波动的响应速度和调节能力, 有效平抑新能源接入带来的电网扰动, 确保电力系统频率、电压维持在安全范围内, 保障电力持续稳定供应。

【作者简介】温凯强(1990-), 男, 中国山西忻州人, 本科, 从事新能源接入背景下火电厂电气系统适应性改造研究。

2.2 推动能源结构转型的关键支撑

“双碳”目标下，我国能源结构正从传统化石能源主导导向清洁能源为主导转型，新能源电力装机容量持续快速增长。但新能源发电的不稳定性决定了其大规模并网离不开传统电源的支撑。火电厂通过电气系统适应性改造，可增强与新能源电力的互补协同能力，提高新能源电力的消纳水平，缓解新能源“弃风弃光”问题。同时，改造后的火电厂可逐步向灵活性电源转型，更好地适配新能源占比不断提升的新型电力系统，为能源结构转型提供坚实保障。

2.3 提升火电厂自身生存与发展能力的必然选择

新能源电力的快速发展对传统火电厂的生存空间带来巨大冲击。一方面，新能源发电成本持续下降，市场竞争力不断增强；另一方面，电力市场改革不断深化，对火电厂的经济性和灵活性提出了更高要求。通过电气系统适应性改造，火电厂可提升机组的调峰、调频能力，增强自身的灵活性和经济性，更好地参与电力市场竞争。同时，改造还可优化火电厂的能源利用效率，降低能耗和污染物排放，实现绿色低碳发展，契合行业发展趋势，保障火电厂在能源转型背景下的可持续发展。

3 新能源接入背景下火电厂电气系统适应性改造策略

3.1 技术优化，提升调节能力与电能质量

针对新能源接入后火电厂电气系统在调节能力与响应速度上的核心短板，需以锅炉控制系统升级为核心，联动机组协同调节与电能质量治理两大维度推进技术优化，构建适配新型电力系统的技术支撑体系。在基于锅炉控制系统的机组灵活性调节能力提升方面，传统火电机组受限于锅炉燃烧稳定性、燃烧系统响应滞后等约束，最小技术出力普遍较高，难以匹配新能源大发时段的深度调峰需求，因此需通过锅炉控制系统针对性技术改造突破瓶颈^[1]。具体而言，可采用锅炉低负荷稳燃控制改造技术，通过优化燃烧器配风控制逻辑、增设等离子点火闭环控制模块等方式，提升锅炉控制系统在低负荷工况下的燃烧稳定性调控精度；联动汽轮机通流调节系统，通过锅炉-汽轮机协调控制逻辑优化，配合低压缸零出力改造控制策略，降低机组最小安全出力，将300MW级机组最小出力从35%额定容量降至20%以下，大幅拓宽调峰范围。同时，对锅炉控制系统及关联的机组调速、励磁系统进行智能化协同升级，摒弃传统PID独立控制模式，引入模型预测控制、模糊自适应控制等先进算法，结合电网实时频率、电压信号构建锅炉-机组-电网联动动态响应控制模型，使锅炉燃烧系统响应时间从数百毫秒缩短至100毫秒以内，联动励磁系统实现电压调节精度提升至±0.5%，实现对新能源功率波动的快速精准响应，保障电网频率与电压稳定。在电能质量治理层面，新能源发电系统中大量电力电子变流器的应用，会向电网注入大量谐波、

间谐波，同时其功率的快速波动会引发电压波动与闪变，间接影响锅炉控制系统的稳定运行，严重影响电气设备安全与电能质量。对此，需构建“动态无功补偿+谐波精准滤除+锅炉控制抗干扰协同”的治理体系，在火电厂厂用电母线及并网节点配置SVG（静止无功发生器）、STATCOM（静止同步补偿器）等高性能动态无功补偿设备，通过实时监测母线电压幅值与相位变化，动态输出容性或感性无功功率，可在10毫秒内响应电压波动，将电压闪变值控制在1.0以下，有效抑制新能源功率波动对锅炉控制系统的电压扰动。同时，针对新能源接入产生的特征谐波（如3次、5次、7次谐波），安装无源滤波器与有源电力滤波器组合装置，其中无源滤波器负责滤除主要特征谐波，有源电力滤波器则精准补偿残余谐波与间谐波，使电网侧总谐波畸变率控制在5%以内，避免谐波干扰锅炉控制系统信号传输，符合GB/T 14549-1993《电能质量公用电网谐波》标准要求^[2]。

3.2 设备升级，推进老旧设备更新与新型设备适配

设备是火电厂锅炉控制系统稳定运行的核心载体，新能源接入带来的负荷波动、电压冲击及控制需求升级，对锅炉控制相关电气设备的性能与可靠性提出了更高要求，因此需以锅炉控制相关设备升级为核心抓手，全面提升锅炉控制系统的硬件支撑能力，筑牢适配新能源的硬件基础。在锅炉控制老旧设备更新换代方面，需建立“全面排查-精准评估-科学替换-长效运维”的全流程改造机制。首先，结合火电厂锅炉控制系统运行年限、核心设备型号及新能源接入后的工况变化，对锅炉燃烧器执行机构、给粉给煤控制设备、炉膛压力传感器、锅炉水位监测装置及关联的发电机励磁调节单元、主变压器等核心电气设备开展全面隐患排查，重点检测设备绝缘性能、信号传输精度、执行响应速度及抗扰动能力，形成锅炉控制相关设备健康状况台账。其次，依据排查结果构建设备评估体系，综合考量设备剩余使用寿命、改造经济性及运行风险等级，对性能衰减严重、无法承受新能源接入冲击的锅炉控制老旧设备（如运行超20年的传统锅炉燃烧调节执行器、响应滞后的锅炉水位常规控制装置、适配性不足的励磁调节设备）制定差异化更新计划。更新过程中优先选用高效精准、抗波动能能力强的新型锅炉控制相关设备，例如更换具备宽负荷自适应调节能力的智能燃烧器执行机构，其配套的伺服控制系统可实现精准调节，适配新能源功率波动带来的燃烧负荷调整需求；选用智能型锅炉给水控制装置，可通过实时反馈炉膛热负荷变化动态调节给水量，配合节能环保型有载调压变压器稳定母线电压，应对新能源接入引发的电压波动，确保更新后的设备完全适配新能源接入后锅炉控制系统的复杂运行工况。在锅炉控制系统配套新型电力电子设备适配性改造方面，核心是解决传统锅炉控制系统与SVG、STATCOM等新型设备的协同运行问题。一方面，针对传统锅炉控制系统控制逻辑固化、保护配置滞后的问题，开展锅炉控制回路重构与保护策略优化，通过植入

数字化控制模块,建立新型电力电子设备与锅炉燃烧控制单元、给煤给粉系统、发电机组的协同控制逻辑,实现设备间的信息实时交互与动作精准配合,例如使 SVG 设备可根据锅炉燃烧负荷输出及电网电压变化自动调整无功输出,保障锅炉控制系统供电稳定,提升系统电压支撑能力^[1]。另一方面,构建锅炉控制系统全维度设备状态监测网络,在新型设备关键节点及锅炉控制老旧设备升级部位(如燃烧器执行机构、炉膛温度监测点、控制信号传输链路)加装智能传感器、在线监测终端,实时采集设备运行电压、电流、温度、绝缘状态及控制信号精度等核心数据,通过边缘计算模块实现数据的实时分析与异常预警,提前预判设备潜在故障,将锅炉控制相关设备故障响应时间从小时级缩短至分钟级,大幅提升锅炉控制系统运行可靠性。此外,推进锅炉控制系统的数字化、智能化集成升级是设备升级的重要延伸。依托工业互联网、大数据等技术,构建一体化锅炉智能控制系统,整合锅炉设备监测数据、新能源功率数据及电网调度指令,通过数字孪生技术构建锅炉控制系统虚拟仿真模型,实现对锅炉燃烧状态、负荷调节过程的可视化监控、故障模拟推演及优化调度决策^[4]。同时,引入智能巡检机器人对锅炉炉膛、燃烧器及控制设备区域开展巡检,搭配远程操控系统实现锅炉控制关键参数的远程调整,替代传统人工巡检与现场操作,提升巡检效率与控制精准度,推动火电厂锅炉控制系统从“传统运维”向“智能运维”转型,全面提升锅炉控制设备集群的运行效率与协同适配能力。

3.3 管理完善,建立标准体系与提升运维能力

管理完善是新能源接入背景下火电厂锅炉控制系统适应性改造落地见效的关键保障,需从锅炉控制专项标准体系构建、运维能力升级、数据管理强化三大维度协同发力,形成全流程、全要素的锅炉控制管理支撑体系。在锅炉控制专项标准体系建设方面,当前行业内缺乏适配新能源接入场景的锅炉控制系统改造统一规范,导致改造工作存在盲目性和碎片化问题,因此需结合新能源发电波动性、随机性特征及不同类型火电厂锅炉的实际运行需求,构建“锅炉控制技术标准-改造设计规范-验收评估标准”三位一体的完善体系。具体而言,技术标准需明确新能源接入强度、功率波动范围对应的锅炉控制系统改造技术参数,涵盖燃烧调节性能、锅炉-机组协同响应指标、设备抗扰动能力等核心指标;设计规范要规范锅炉控制系统改造方案的编制流程、仿真验证要

求,确保方案与电网调度需求、锅炉生产实际精准匹配;验收标准需制定量化的验收指标和流程,重点考核改造后锅炉控制系统的负荷调节响应速度、燃烧稳定性、协同适配能力等关键性能。同时,搭建锅炉控制行业技术交流平台,通过举办专题研讨会、开展标杆电厂锅炉改造项目观摩等形式,推广先进改造经验与技术成果,推动行业锅炉控制系统改造管理水平整体提升。在锅炉控制系统运维能力提升方面,改造后锅炉控制系统融合了新能源适配技术、新型电力电子技术及智能燃烧控制技术,对运维人员专业素养提出了更高要求。需制定分层分类的锅炉控制专项培训计划,针对一线运维人员重点开展锅炉智能燃烧器、新型配套电力电子设备(如 SVG、STATCOM)操作、锅炉智能控制系统运维等实操技能培训;针对技术管理人员强化新能源电力特性、锅炉-储能-电网协同运行机理等理论知识培训,同时引入“理论授课+实操演练+锅炉控制故障案例研讨”的多元化培训模式,提升培训效果^[5]。

4 结论

新能源大规模接入背景下,火电厂电气系统适应性改造是保障电力系统安全稳定、助力能源结构转型、支撑火电厂可持续发展的核心路径。改造工作需立足核心需求,以技术优化筑牢调节与电能质量根基,以设备升级打通新旧设施适配壁垒,以管理完善构建长效运维保障体系。唯有三者协同发力,方能推动火电厂实现与新能源电网的深度适配,既守住电力供应安全底线,又助力“双碳”目标落地,为能源电力行业绿色低碳转型提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 刘辉.基于PLC技术的火电厂输煤翻车机电控系统改造设计[J].科技资讯,2024,22(04):107-109.
- [2] 贾雄.PLC在火电厂输煤翻车机电控系统改造中的应用[J].能源与节能,2021,(10):205-206.
- [3] 熊凯,杜超.变频器在火电厂辅助节能改造中存在的问题和改进建议研究[J].中外企业家,2020,(08):150.
- [4] 李红伟.大中型火电厂DCS电气控制系统改造及应用[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2019,(02):195-196.
- [5] 王阳,尹雪梅.“双碳”背景下新能源系统在火力发电厂中的应用分析[A]2023年江西省电机工程学会年会论文集[C].江西省电机工程学会,江西省电机工程学会,2024: 5.