

火力发电厂低碳电力生产高效率的自动控制方法研讨

万奎

连云港虹洋热电有限公司, 江苏 连云港 222000

DOI:10.61369/EPTSM.2025060012

摘 要 : 火力发电厂是我国电力供应的主要力量, 其碳排放问题日渐突出, 发展低碳高效的自动控制技术是达成双碳目标的关键途径。本文剖析了火力发电厂碳排放状况以及自动控制技术在节能减排方面的重要作用, 探讨了燃烧过程智能优化控制, 碳捕集与利用自动化控制, 能效监测与即时调控等关键技术, 给出多参数协同优化控制。依靠大数据的预知性维护与控制, 智能电网协调下的负荷优化调度等策略, 通过形成全方位的自动控制体系, 实现火力发电厂生产过程的精确控制并改善运行, 从而减小碳排放强度, 提升能源利用效率, 给电力行业绿色转型提供技术支撑。

关 键 词 : 火力发电; 低碳生产; 自动控制; 节能减排; 智能优化

Discussion on High-Efficiency Automatic Control Methods for Low-Carbon Electricity Production in Thermal Power Plants

Wan Kui

Lianyungang Hongyang Thermal Power Co., Ltd. Lianyungang, Jiangsu 222000

Abstract : Thermal power plants constitute the mainstay of China's electricity supply, with their carbon emission issues becoming increasingly prominent. Developing low-carbon and efficient automatic control technologies is a crucial approach to achieving the dual carbon goals. This paper analyzes the carbon emission status of thermal power plants and the significant role of automatic control technologies in energy conservation and emission reduction. It explores key technologies such as intelligent optimization control of the combustion process, automated control of carbon capture and utilization, and energy efficiency monitoring and real-time regulation, proposing multi-parameter collaborative optimization control. By relying on strategies such as predictive maintenance and control based on big data, as well as load optimization dispatching coordinated by smart grids, an all-encompassing automatic control system is formed. This system enables precise control and improved operation of the production processes in thermal power plants, thereby reducing carbon emission intensity, enhancing energy utilization efficiency, and providing technical support for the green transformation of the power industry.

Keywords : thermal power generation; low-carbon production; automatic control; energy conservation and emission reduction; intelligent optimization

在全球应对气候变化及我国“双碳”战略背景下, 火力发电厂面临着严峻的减排压力, 火力发电行业作为主要碳排放源之一, 迫切需要依靠技术创新达成低碳转型。自动控制技术是改善发电效率, 削减碳排放的关键途径, 它在改良燃烧流程, 提升能源利用效率, 缩减污染物排放等方面有着不可或缺的作用, 现代控制理论同人工智能, 大数据等新兴科技的融合, 给火力发电厂实现智能化, 细致化经营赋予了新的可能。

一、火力发电厂低碳生产自动控制的现状与意义

(一) 火力发电厂碳排放的现状与挑战

目前, 我国火力发电厂年碳排放量占全国碳排放总量的40%以上, 是碳减排的重点领域。传统火电机组运行效率较低, 平均

供电煤耗依然高于发达国家水平, 单位发电量的二氧化碳排放强度较高, 机组负荷频繁波动导致燃烧不充分, 热效率降低, 碳排放增加, 煤质参差不齐, 燃烧控制粗放等问题也使排放压力增大。随着可再生能源并网规模扩大, 火电机组需要频繁调峰, 运行工况复杂多变, 给低碳生产带来新挑战, 碳达峰碳中和时间表

倒逼火力发电厂必须加快技术升级,通过精准的自动控制手段实现生产全过程优化,从源头上减少碳排放,这已成为行业转型发展亟待解决的问题^[1]。

(二) 自动控制在节能减排中的应用与作用研究

自动控制技术对发电过程实施精确调节和改良之后,火力发电厂的运作效率和环保水准均得到明显提升,先进的燃烧控制系统可按照煤质改变和负荷需求,及时调节风煤比例,给粉量等参数,从而保证燃烧足够充分,削减不完全燃烧产生的损失。智能化的汽轮机控制系统改良蒸汽参数,改进热力循环效率,减小能耗,分布式的控制系统达成全厂设备协调运转,缩减能量损失,预测控制,模糊控制等高级算法被采用以后,控制精度得以大幅度提高,机组运作变得更为稳定高效,自动控制技术可实现污染物排放的在线检测和即时控制,保证达标排放,创建起较为完善的自动控制体系之后。火力发电厂既能在保障电力供应的前提下,又能最大程度地削减碳排放强度,从而实现经济效益与环境效益两者的共赢^[2]。

(三) 低碳高效生产对能源转型的重要意义

火力发电厂实现低碳高效生产对于推动能源结构改良和绿色转型有着非常重要的战略价值,在可再生能源还不能完全取代化石能源的过渡时期,改进火电效率就是缩减碳排放的现实途径。通过自动控制技术改善以后,每发一度电可节约10克标准煤,全国火电行业每年就能削减上亿吨二氧化碳排放量,低碳生产的推行会拉长火电机组的服役期限,削减资产搁浅的风险,保证能源供应安全。高效运作削减了发电成本,提升了火电在电力市场中的竞争力,有益于发挥火电的调峰调频作用,助力新能源的消纳,低碳技术创新还可以带动相关产业发展,形成新的经济增长点,火力发电的低碳转型给其他高耗能行业起到了带头作用,对于推动整个社会的节能减排,达成碳中和目标有着引导意义^[3]。

二、火力发电厂低碳生产的自动控制关键技术

(一) 燃烧过程的智能优化控制体系

燃烧过程是火力发电厂能量转化的关键部分,它的控制好坏直接关联到机组效率和排放情况,智能优化控制系统借助先进的传感器技术,随时监测炉膛温度场分布,氧量,一氧化碳含量这些重要参数,形成燃烧过程的动态模型。依靠神经网络和深度学习算法,它可以辨认煤质变动,预估燃烧特性,自动调节配风方案和燃烧器运作模式,多目标优化算法兼顾效率最大值和排放最小值,随时寻找到最优运行点。智能控制系统还具备故障诊断功能,可以及时察觉燃烧异常,防止出现结焦,爆管等情况,通过对煤粉细度,二次风配比,燃尽风等方面的控制,达成分级燃烧与低氮燃烧,而且采用分布式结构,各个控制回路相互协作,从而保障燃烧过程的稳定与经济性,从实际运用来看,智能燃烧优化控制之后,锅炉效率提升了2-3个百分点,氮氧化物排放削减了30%以上,为低碳生产形成稳固根基^[4]。

(二) 碳捕集与利用的自动化控制技术

碳捕集与利用技术是火力发电厂实现深度减排的关键路径,

其自动化控制水平决定着系统运行的可靠性和经济性,控制系统要协调吸收塔、解吸塔、压缩机等单元的运行。保证碳捕集过程连续稳定,先进过程控制技术借助吸收剂循环、能量平衡、物料平衡的数学模型来优化操作参数,减少再生能耗,自适应控制策略可以应对烟气流量和二氧化碳浓度的波动,维持捕集率在设定范围内,智能控制系统会随时检测吸收剂性能退化情况。自动调节补充和更换策略,延长使用寿命,二氧化碳压缩和输送环节,控制系统保证压力,温度,纯度等符合下游利用或者封存的需求,碳捕集装置和主机组协同运作,按照电网负荷来调整捕集强度,实现减排目标 and 经济效益的均衡,通过控制改良,碳捕集系统的能耗能削减15-20%,运行成本大幅度下降,提升了技术的可行性和推广价值^[5]。

(三) 能效监测与实时调控系统

能效监测与实时调控系统是火力发电厂精细化管理的关键工具,对全厂能量流实施实时追踪并加以优化配置,从而发掘节能潜力,该系统布置了覆盖锅炉、汽轮机、辅机等设备的传感器网络,搜集温度、压力、流量、振动等运行数据,创建数字孪生模型。依靠大数据分析技术,系统可以找到能效偏差,找出能量损耗环节,衡量节能空间,实时优化算法按照机组负荷,环境状况,设备状态等要素,随时改变运行参数,让机组一直处在最佳工况,性能计算模块在线判断锅炉效率、汽轮机热耗率、厂用电率这些指标。将这些数值与标杆值比较,从而指引运行方面的改动,故障预警利用趋势分析法和模式辨别技术,在问题发生前就能预判设备性能下滑,以此防止效率下降,该系统还有个能源审计的功能,它会自动做出能效报告,给经营决定提供依照,通过建立起完整的能效体系管理循环流程之后,发电厂就能持续改善其运行水平,进而使供电煤耗下降到5-8克标准煤每度,每年节约标煤好几万吨,并且减排的效果明显。

三、提升火力发电厂低碳生产效率的控制策略

(一) 多参数协同优化控制策略

多参数协同优化控制策略属于系统级控制方案,通过创建各子系统之间的耦合联系模型,实现整体最优运行效果。这个策略冲破了传统分散控制的局限性,把锅炉侧的燃烧参数,汽轮机侧的热力参数以及环保设施的运行参数统统纳入统一建模和协调控制范畴,控制系统采用分层递阶架构,上层承担全局优化决策任务,按照机组负荷需求,煤质特性,环境约束这些边界条件,用多目标优化算法求出最优工作点;下层执行控制任务。凭借预测控制,自适应控制等先进算法实现迅速准确的调节,协同控制重点在于动态过程的改良,创建起动态反应模型,预估系统行为,预先调节控制策略,削减过渡过程的能量耗费与排放波动,这种策略还采用了鲁棒控制理论,提升系统应对不确定性因素的能力,保证在煤质波动,设备性能改变等干扰之下仍旧可以实现优化运作。

例如,在实际应用中,火电厂部署协同优化控制系统,先构建一个包含主蒸汽压力、温度、给水流量、燃料量、送风量等参

数的多变量模型，系统实时采集这些参数数据。采用遗传算法或者粒子群算法执行在线寻优，每隔5秒更新一次最优设定值，当机组负荷指令发生变化时，控制系统会提前10到15秒就开始调节燃料和风量，让锅炉蓄热与汽轮机的需求相匹配。同时协调脱硝、脱硫系统的喷氨量以及浆液流量，以保证污染物排放不超标，建立不同的工况控制策略库，使控制系统可以根据各种不同的启停、变负荷、稳态等工况快速进行控制模式切换，完成全工况的运行，同时在控制系统中设置专家规则库，一旦检测出异常工况就会立即触发应急预案，以避免控制参数越限和设备损坏，保障机组安全稳定运行。

（二）大数据驱动预测性维护与控制策略

基于大数据的预测性维护与控制策略利用数据挖掘和机器学习技术，对设备故障进行早期预警和性能改善，其核心是创建设备健康评价模型。通过分析振动，温度，压力，电流等各方面监测数据的变动趋向和相关性，找出设备劣化的迹象，系统借助时间序列分析，支持向量机，深度神经网络等算法来构建故障预估模型，算出设备的健康指数和余量。控制策略按照设备状态评定的结果，及时调节运转参数，以维持生产任务的完成为前提，削减设备所承受的负荷强度，减缓其劣化速度，知识库系统汇集起历史故障实例和专家意见，给故障判断和保持决定提供支撑，而且，此策略还采取数字孪生技术，创建设备的虚拟仿真模型，凭借仿真分析来检验保持方案是否有效，改良保持策略。

例如，火电厂执行该策略的时候，先在关键设备，像给水泵，风机，磨煤机等装置上安装振动传感器，温度传感器等监测装置。创建起设备监测网络，数据搜集体系按照每秒一次的频率搜集运转数据，把这些数据经过数据清洗，提取特征之后，再输入到预测模型当中，要是检测到轴承振动频谱存在异常峰值，就会自动把设备转速调低10-15%，而且加大润滑油供应量，进而生成检修工单，对于像汽轮机这样的核心设备来说。系统会创建起性能退化曲线，一旦效率下滑超越了某个阈值，就会自动改良汽封间隙调节方案，或者提议执行通流部分清洗，维护人员依据系统给出的故障概率以及影响程度，来制订检修计划，把原本定时的检修变成依照状态开展维护，系统借助边缘计算技术，在设备端执行即时的数据处理并做初步诊断，缩减数据传输延迟，加快对故障的反应速度，保障重要设备正常运行。

（三）智能电网下负荷优化调度的协调策略

智能电网协调下的负荷优化调度策略借助与电网调度系统的

信息交流，实现火电机组运行同电网需求的动态匹配，它创建起包含新能源出力不确定性，电力市场价格波动。碳排放约束等要素的优化调度模型，系统利用预测算法对将来24-72小时的负荷需求，新能源出力执行滚动预测，制订机组启停计划和负荷分配方案，调度优化不但考量经济性指标。而且加入了碳排放强度，调峰能力，响应速度等诸多评价指标，通过与储能系统、需求侧响应资源协同调度，平抑新能源波动，提升系统运行稳定性和经济性，虚拟电厂技术把分散的火电机组聚合起来统一管理，实现资源优化调配，此策略还应用区块链技术，创建起去中心化的调度交易市场，从而增强调度决策的透明度和可追溯性。

例如，在实际运行过程中，火电厂调度系统首先接入省级电网调度中心的数据接口，获取未来24小时的负荷预测曲线和新能源出力预测数据，根据各个机组的煤耗特性曲线、爬坡速率、最小技术出力等参数。采用混合整数规划算法来制定优化调度方案，当预测到光伏发电会在中午达到峰值时，提前2小时开始降低火电机组出力，部分机组降到40%额定负荷进行深度调峰，利用配置好的储能系统，在新能源出力突降时快速补充功率缺口，避免火电机组频繁调节，调度系统还同大用户签署可中断负荷协议，在电网紧张时刻通过需求反应削减负荷压力，促使火电机组维持在高效率区间运行。系统运用多时间尺度协调手段，在日前、日内、实时等诸多不同时间段展开滚动优化，按照实际运行偏差及时修正调度计划，保证调度方案可行且经济。

四、结语

火力发电厂低碳生产高效率自动控制技术研发与应用，是电力行业绿色转型的关键举措，创建智能化、系统化的自动控制体系，融合先进控制理论。人工智能，大数据等技术，火力发电厂可以实现生产过程的精确调控并持续改善，燃烧优化，碳捕集控制，能效监测等关键技术的冲破。多参数协同，预测性维修，智能调度等策略的执行，给低碳高效生产提供有力支持，往后要持续深化技术创新，促使控制系统智能化提升，加大与新能源的协同补充，探究零碳火电的实现途径，为我国能源安全和“双碳”目的的达成作出更大贡献。

参考文献

- [1] 胡建辉. 火力发电厂低碳运行的经济性研究与分析 [J]. 知识经济, 2016, (14): 104-104.
- [2] 王俊峰. 电厂热工智能自动化控制过程的先进方法研究 [J]. 今日自动化, 2020, (03): 92-94.
- [3] 张国兴, 高秀林, 杨阳, 等. 电力系统低碳转型的减排效应: 基于结构优化的视角 [J]. 管理评论, 2025, 37(05): 3-16.
- [4] 赵殿瑞, 裴振英, 刘伟乾. 火力发电厂低碳电力生产高效率的自动控制方法研究 [J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2019, 15(03): 255-259.
- [5] 颜紫藤. 火力发电厂低碳运行的经济性研究与分析 [J]. 海峡科技与产业, 2020, 33(03): 51-53.