

火电厂集控运行技术及优化研究

高子荐

国能宝清煤电化有限公司 黑龙江 双鸭山 155600

摘要: 本文聚焦火电厂集控运行技术及优化研究,阐述了集控运行理论体系与技术架构,包括其核心特性、围绕“安全-经济-环保”的核心理论及关键支撑技术。并且分析技术现状与痛点,指出不同容量机组技术差异,以及数据壁垒、控制精度不足等问题及成因。因此,提出优化策略,涵盖系统协同、参数调节、智能决策和环保控制优化。通过多种技术手段,打破数据孤岛、提升控制精度、强化智能决策、平衡经济与环保,助力火电厂集控运行技术迈向新高度。

关键词: 火电厂;集控运行技术;优化策略

引言

集控运行是火电厂机组安全高效运转的核心技术,直接决定电厂安全、经济与环保运行水平。当前行业面临数据孤岛、控制精度不足等问题,亟需针对性优化升级。本文探讨火电厂集控运行技术体系,分析现存痛点并提出优化路径,为火电厂提质增效提供参考。

1 火电厂集控运行理论体系与技术架构

1.1 火电厂集控运行核心特性

火电厂集控运行通过中央控制室实现机组全系统集中管控,具备一体化、协同性、实时性三大核心特性。一体化体现在将锅炉、汽轮机、发电机三大主机系统,与给水、送风、除尘、脱硫脱硝等辅网系统整合为统一管控对象,打破传统分散控制模式,实现“一机一控”或“多机一控”的集中操作;协同性强调各子系统运行参数的动态匹配,例如锅炉燃料量、给水量需与汽轮机进汽量协同调节,辅网系统负荷需与主机负荷联动,避免局部优化导致整体效率下降;实时性要求通过传感器与通信网络,将现场设备运行数据(温度、压力、流量等)实时传输至集控系统,操作人员可在毫秒级时间内获取信息并下达控制指令,确保机组快速响应电网负荷变化与故障处理需求。此外,集控运行还具备高可靠性特性,通过冗余设计(如双电源、双控制器)与联锁保护机制,保障机组在设备故障或外部扰动下稳定运行,减少非计划停机时间。

1.2 集控运行核心理论

火电厂集控运行核心理论围绕“安全-经济-环保”三维目标,包含负荷协调控制、过程控制与系统优化理论。负荷协调控制理论是核心,依据电网负荷需求,构建锅炉-汽轮机协调模型,动态调整燃料供给等参数,精准跟踪机组负荷,稳定主蒸汽压力等关键参数,防止设

备损伤。过程控制理论以经典与现代控制理论为基础,针对机组非线性、大滞后特性,设计自适应算法。如燃烧控制中,用PID算法调节配风,或用MPC算法预测燃烧状态并提前调整参数^[1]。系统优化理论从整体优化运行策略,建立能耗与污染物排放模型,在安全约束下找最优参数组合,如满足环保标准时优化主蒸汽参数,降低供电煤耗,平衡经济与环保目标。

1.3 关键支撑技术

火电厂集控运行依赖四大关键支撑技术,确保管控功能高效实现。集散控制系统(DCS)是核心硬件与软件载体,通过分散控制单元(DCU)采集现场数据,经通信网络传输至集中监控层(操作员站、工程师站),实现数据采集与监控(SCADA)、模拟量控制(MCS)、顺序控制(SCS)等功能,DCS的可靠性与实时性直接决定集控运行质量;工业通信技术保障数据传输稳定,目前主流采用工业以太网(如Profinet、Modbus-TCP),传输速率达100Mbps以上,延迟控制在100ms以内,同时通过冗余通信链路,避免单点故障导致数据中断;传感器与执行机构技术是数据采集与控制执行的基础,高精度传感器(如压力传感器精度 $\pm 0.1\%FS$ 、温度传感器精度 $\pm 0.5^\circ C$)确保数据采集准确性,智能执行机构(如电动阀门、变频风机)可接收集控系统指令并反馈执行状态,实现控制闭环;人机交互技术优化操作人员工作效率,通过高分辨率显示器、操作键盘与鼠标,结合图形化界面(如流程图、趋势图),直观展示机组运行状态,部分先进集控系统还引入触摸屏与语音控制功能,降低操作复杂度,减少误操作风险。

2 火电厂集控运行技术现状与痛点分析

2.1 当前集控运行技术应用现状

当前我国火电厂集控运行技术已实现规模化应用,

不同容量机组技术水平呈现差异化特征。600MW及以上大型火电机组普遍采用第三代或第四代DCS系统，自动化率达95%以上，具备负荷协调控制、燃烧优化、设备状态监测等功能，部分机组引入人工智能技术（如神经网络负荷预测、专家系统故障诊断），提升运行智能化水平；300MW-600MW机组多采用第二代DCS系统，自动化率约85%-90%，核心控制功能（如MCS、SCS）完善，但智能优化功能较少，依赖人工经验调整运行参数；300MW以下中小型机组仍存在部分手动操作环节，DCS系统老化问题突出，数据采集频率与控制精度较低，难以满足电网调峰与环保要求。从行业整体来看，集控运行技术应用呈现“头部领先、中部追赶、尾部滞后”的格局，大型发电集团通过技术改造，逐步实现集控系统升级与数据整合，而部分地方电厂因资金与技术限制，仍沿用传统运行模式，技术更新缓慢。此外，新能源并网推动火电厂向调峰电厂转型，部分机组已具备深度调峰能力（最低负荷降至30%额定负荷），但集控系统对调峰过程的动态控制能力仍需提升。

2.2 集控运行核心痛点

火电厂集控运行面临四大核心痛点，制约机组运行质量提升。数据壁垒问题突出，不同系统（DCS、SIS、MIS、环保监测系统）数据格式不统一，通信协议不兼容，导致数据无法共享，例如DCS采集的运行数据难以直接导入SIS系统进行能耗分析，环保监测数据无法实时反馈至DCS用于燃烧优化，形成“数据孤岛”，影响整体优化决策；控制精度不足体现在关键参数调节存在滞后与偏差，例如电网负荷骤变时，传统PID控制难以快速响应，导致主蒸汽压力波动超 $\pm 0.5\text{MPa}$ ，或在煤质波动时，燃烧参数调整滞后，造成氮氧化物排放浓度超标；智能决策滞后表现为故障预警与参数寻优依赖人工经验，设备故障多在发生后才能发现，缺乏提前预警机制，例如泵、风机等旋转设备的轴承磨损，需通过振动超标报警才能察觉，此时已造成设备损伤，参数寻优多采用静态曲线，无法根据实时工况动态调整，导致运行效率偏低；环保与经济失衡问题显著，部分机组为满足超低排放标准，过度提高脱硫脱硝系统投入，导致厂用电率上升（如脱硫系统耗电率增加1%-2%），或为降低煤耗，放松燃烧控制，导致污染物排放接近限值，难以实现二者协同优化^[2]。

2.3 痛点产生原因

集控运行痛点产生源于技术、管理与外部环境三方面因素。技术层面，系统兼容性不足是数据壁垒的主要原因，早期DCS系统多为封闭架构，不同厂家系统（如西门子T3000、艾默生Ovation）通信协议不开放，数据交

互需额外开发接口，成本高且稳定性差；控制算法局限性导致精度不足，传统PID控制适用于线性、小滞后系统，而火电机组运行过程存在强非线性（如锅炉燃烧过程）与大滞后（如蒸汽温度控制滞后达5-10分钟），算法难以适应工况变化；智能技术应用深度不够，虽部分机组引入AI算法，但多为独立模块，未与DCS深度融合，无法实现实时控制决策。管理层面，人员技能与技术发展不匹配，老操作员熟悉传统操作，但对智能系统（如AI故障预警）操作不熟练，新员工技术基础薄弱，缺乏故障处理经验，导致智能功能难以充分发挥；运维体系不完善，集控系统定期维护多采用“一刀切”模式，未根据设备运行状态制定差异化维护计划，易出现过度维护或维护不足，影响系统可靠性。外部环境层面，电网调峰需求加剧运行难度，新能源出力波动导致电网负荷变化频率从传统1次/小时提升至3-4次/小时，集控系统需频繁调整参数，增加控制难度；环保标准升级快，从超低排放到碳约束，机组需不断增加环保设备投入，而原有集控系统未预留环保控制接口，导致环保与经济协同控制困难。

3 火电厂集控运行技术优化策略

3.1 系统协同优化：打通数据壁垒

系统协同优化的核心是构建一体化数据平台，打破数据孤岛，实现多系统协同运行。首先，统一数据标准与通信协议，基于OPCUA或IEC61850标准，对现有DCS、SIS、环保监测系统进行改造，使不同系统数据格式统一，例如将DCS的实时运行数据、SIS的能耗分析数据、环保系统的污染物排放数据，整合至同一数据中台，实现数据实时共享；其次，搭建工业互联网平台，采用边缘计算技术，在数据采集端对原始数据进行预处理（如滤波、降噪），再传输至云端平台，降低数据传输压力，同时通过云计算技术实现数据存储与深度分析，例如利用平台分析不同负荷下的能耗与排放关联关系，为优化决策提供数据支撑；最后，建立子系统协同控制模型，在数据互通基础上，开发主机-辅网协同控制算法，例如当电网负荷降低时，自动下调引风机、给水泵等辅机负荷，避免辅机“大马拉小车”，同时调整脱硫脱硝系统运行参数，在保证排放达标的前提下降低辅机电耗。

3.2 参数调节优化：提升控制精度

参数调节优化通过改进控制算法与引入自适应控制技术，提升关键参数调节精度与响应速度。针对机组非线性、大滞后特性，将传统PID控制升级为模型预测控制（MPC），通过建立机组动态数学模型，预测未来一段时间内关键参数（如主蒸汽温度、压力）变化趋势，提前

调整控制变量,例如在主蒸汽温度控制中,MPC算法可根据锅炉负荷变化与燃料特性,预测温度波动并提前调整减温水量,使温度偏差控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内,优于PID控制的 $\pm 5^{\circ}\text{C}$;针对煤质、电网负荷等扰动因素,引入自适应控制算法,实时识别工况变化并调整控制参数,例如在燃烧控制中,通过在线煤质分析传感器获取煤发热量变化,自适应算法自动调整配风比例与燃烧器摆角,确保燃烧效率稳定;此外,采用数字孪生技术构建机组虚拟模型,将实时运行数据输入模型,模拟不同控制参数下的机组响应,通过虚拟寻优确定最优控制参数,再下发至实际控制系统,实现“虚拟仿真-实际控制”的闭环优化^[3]。

3.3 智能决策优化:强化预警与寻优

智能决策优化依托人工智能技术,构建故障预警与参数寻优体系,提升集控运行决策的智能化与前瞻性。在故障预警方面,基于设备运行数据(如振动、温度、电流)与历史故障数据,训练机器学习模型(如随机森林、LSTM神经网络),建立设备健康度评估指标,实时监测设备状态,例如对汽轮机轴承,通过采集振动频谱数据,模型可提前24-48小时预测轴承磨损故障,预警准确率达90%以上,同时生成故障处理建议(如润滑脂更换、轴承检修),指导运维人员快速处置;在参数寻优方面,结合机组能耗模型与环保约束条件,采用遗传算法或粒子群优化算法,寻找全工况下的最优运行参数组合,例如在不同负荷下,优化主蒸汽压力、温度、氧量等参数,生成“负荷-参数”优化曲线,操作人员可根据曲线调整运行参数,或由系统自动执行优化指令,实现经济运行;此外,开发智能专家系统,整合资深操作员经验与行业标准,将故障处理流程、参数调整规则转化为专家知识库,当机组出现异常时,系统自动匹配知识库中的解决方案,辅助操作人员快速决策,减少人为判断失误。

3.4 环保控制优化:平衡经济与环保

环保控制优化通过多污染物协同控制与低碳运行策略,实现经济与环保目标的平衡。在多污染物协同控制方面,建立脱硫、脱硝、除尘系统运行耦合模型,分析

各系统运行参数的相互影响,例如脱硝系统喷氨量增加虽能降低氮氧化物排放,但可能导致脱硫系统石膏品质下降,通过模型优化喷氨量与脱硫浆液pH值,实现氮氧化物排放达标($\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$)且石膏含水率控制在10%以下;引入低氮燃烧技术与环保设备协同控制,例如在锅炉燃烧中,通过调整燃烧器分级配风,降低氮氧化物生成量,减少脱硝系统喷氨量,降低运行成本,同时优化脱硫系统浆液循环泵运行台数,根据入口二氧化硫浓度动态调整,避免“全负荷运行”造成的能耗浪费;在低碳运行方面,将碳捕集系统纳入集控管控范围,开发“主机-碳捕集”协同控制算法,当碳捕集系统能耗增加时,优化主机运行参数(如提高主蒸汽参数),降低主机煤耗,抵消碳捕集能耗影响,同时基于碳排放核算模型,实时计算机组碳排放强度,动态调整运行策略,例如在电网低谷期,适当降低机组负荷,减少碳排放,实现碳成本最小化^[4]。

结束语

火电厂集控运行技术对于保障机组稳定、高效运行意义重大。当前,该技术在应用中虽取得一定成果,但也面临诸多痛点。通过系统协同、参数调节、智能决策和环保控制等方面的优化策略,能有效解决现存问题,实现数据互通、提升控制精度、强化智能决策能力以及平衡经济与环保目标。未来,随着技术的不断发展,火电厂集控运行技术将更加智能化、高效化,为火电厂的安全生产、节能减排和可持续发展提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]王涛.关于火电厂集控运行节能降耗技术的研究[J].数字化用户,2024(35):137-138.
- [2]田立智.火力发电厂集控运行节能降耗技术措施分析[J].科学与信息化,2023(21):13-15.
- [3]吴昊.火电厂集控运行节能降耗措施[J].化学工程与装备,2022,(10):205-206+155.
- [4]文发红.火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究[J].光源与照明,2022,(06):139-141.