

火电厂集控运行技术与机组协调控制研究

郝俊国

华电内蒙古能源有限公司土默特发电分公司, 内蒙古包头市, 014010;

摘要:随着我国社会经济体系和科技水平的飞速发展, 居民生活对于电力的需求也越来越大。火电厂是我国电力系统的重要组成部分, 在我国的社会经济发展、居民生活等方面有着十分重要的作用。火电厂采用的自集控运行模式, 可以有效的减少能耗, 提高工作效率, 同时也极大的提升了电网系统的安全性和稳定性。这种集控运行模式在发电厂中已经得到了广泛的应用, 配合机组的协调控制, 实现了统一管理调控, 极大的提高了发电厂电力的生产效率。但在集控运行的实际操作中, 仍然存在着许多的问题。本篇文章对火电厂的集控运行模式以及机组的协调控制做出简要分析, 旨在复制火电厂发电工作。

关键词:火电厂; 集控运行; 机组; 协调控制

DOI: 10.69979/3041-0673.25.10.025

电机组是整个电力系统的重要组成部分, 其运行状态对于整个电力系统有着十分重大的影响力。随着科技和人民社会经济生活对电力的需求越来越大, 为了满足需求, 发电厂的机组的规模也是越来越大, 规模加大就意味着对于机组的负荷控制调节能力的需求也就越大, 就必须对现有的协调控制系统进行改造创新, 使得新的协调控制系统能够与庞大的发电机机组规模相匹配。

1 火电厂集控运行技术介绍

火电厂集控运行技术是以计算机控制系统为核心, 实现锅炉、汽轮机、发电机三大主机的集中监控与协同运行的技术体系。其核心目标在于提升发电效率、保障机组安全, 并通过智能化手段实现能源生产全流程优化。以下是具体技术解析:

1.1 系统架构与运行模式

DCS 集成控制, 采用分布式控制系统 (DCS), 将机、炉、电设备的监测与控制集成于同一操作平台, 实现数据实时采集与秒级响应。典型配置为每两台机组共享一个主控室, 通过分层管理 (值长→单元长→机组长) 实现统一调度。单元制机组设计, 大中型火电机组 (300-1000MW) 普遍采用单元制配置, 即“一机一炉”模式, 避免母管制系统的资源调配瓶颈, 减少单机故障对其他机组的影响。

1.2 核心技术要点

节能降耗技术, 燃烧优化: 通过调整空气过剩系数与燃料配比, 降低未燃尽损失, 减少助燃油消耗; **热损失控制:** 排查锅炉漏风点, 实时监测排烟温度, 优化受

热面清洁度以避免热效率下降; **减温水调控:** 精确调节蒸汽温度系统, 减少过量减温水使用导致的重复加热能耗。智能监控技术。结合物联网与云计算, 构建覆盖风机、光伏、储能设备的立体监控网络, 支持毫秒级数据分析与异常预警, 例如通过振动信号自动处理煤斗堵塞问题。

1.3 机组协调控制的关键作用

协调控制系统 (CCS) 通过动态平衡锅炉与汽轮机的能量输入/输出, 实现以下功能: **快速负荷响应:** 适应电网调峰需求, 提升机组灵活性; **参数稳定性优化:** 维持主蒸汽压力、温度等关键参数的波动范围, 避免因热应力导致的设备损伤; **事故隔离保护:** 通过自动连锁逻辑快速隔离故障设备, 保障系统整体安全。

2 火电厂集控运行技术优势分析

2.1 全流程自动化控制

集成化监测与调控, 集控运行系统 (DCS) 通过微处理器、传感器与软件集成, 实现锅炉、汽轮机、发电机等设备的统一管理, 形成实时数据采集与动态调控平台, 大幅缩短参数响应时间。例如, 负荷分配、汽压调节等指令可分解为具体执行参数 (如给煤量、减温水量), 并通过自动化逻辑快速传递至子系统。智能化运行支持, 依托动态数据库及可视化界面, 系统实时反馈设备状态, 并通过模型预测控制 (MPC) 优化深度调峰策略, 兼顾负荷响应速度与能效提升需求。

2.2 安全性与稳定性提升

多系统协同保障, 集控技术通过解耦锅炉与汽轮机

的强耦合参数（如主汽压力、发电功率），减少超温、超压等异常工况发生概率，并通过自适应调节维持设备长期稳定运行。故障预警与快速响应，实时监测系统可识别设备异常（如漏风、堵煤），触发报警并自动执行振打、参数修正等操作，避免停机事故。

2.3 能效优化与环保减排

精细化燃烧控制，通过调整风煤比、优化空气过剩系数及燃烧参数，减少排烟热损失与未燃碳损失，提升锅炉燃烧效率3%~5%。低碳化改造潜力，结合智能运营系统，支持清洁能源技术集成（如燃煤掺烧、低氮燃烧），适配新能源并网场景下的调峰需求，降低单位发电煤耗。

3 火电厂集控运行与机组协调控制的关系分析

3.1 集控运行技术为协调控制提供基础平台

系统集成与数据支撑，集控运行系统（DCS）通过微处理器、传感器和软件集成，将锅炉、汽轮机、发电机等设备统一管理，形成实时监测与调控平台¹³。该系统通过动态数据采集与分析，为协调控制提供多维度参数支持（如主汽压力、负荷分配、温度变化等）。自动化响应能力，集控运行技术通过自动化逻辑控制，快速传递指令至机组各子系统，为协调控制实现锅炉与汽轮机的同步动作奠定基础。例如，负荷调节指令通过DCS分解为给煤量、减温水流量等具体执行参数。

3.2 机组协调控制是集控运行的核心功能

动态耦合关系处理，协调控制系统（CCS）基于集控平台，将锅炉蓄热利用与汽轮机功率调节相结合，解决发电功率、主汽压力等参数的强耦合问题。例如，通过前馈-反馈复合控制策略，同步调整燃烧率与汽轮机阀门开度，减少功率偏差和汽压波动。多目标协同优化，在集控系统的框架下，协调控制需平衡效率、安全与环保目标。例如，通过模型预测控制（MPC）优化深度调峰策略，兼顾负荷响应速度与低氮燃烧需求。

3.3 两者的协同作用与优化方向

提升运行效率，集控运行通过集中监控降低人工干预，而协调控制通过动态解耦减少参数冲突，共同实现燃煤机组综合效率提升3%~5%。增强系统稳定性，两者的结合可减少设备故障率：集控系统实时监测机组状态，协调控制通过自适应调节避免超温、超压等异常工况。未来协同发展重点，智能化升级：引入AI算法强化集控系统的预测能力，支撑协调控制的动态优化决策；低碳化协同：通过灵活性改造提升机组调峰能力，适应新

能源并网场景下的协调控制需求。

4 火电厂机组协调控制技术

火电厂机组协调控制技术是维持单元机组安全高效运行的核心，其核心目标是通过动态平衡锅炉与汽轮机间的能量供需差异，实现负荷快速响应与参数稳定控制。以下从技术原理、核心功能、技术创新三方面进行综合阐述：

4.1 技术原理与核心功能

整体协调机制，协调控制系统（CCS）将锅炉、汽轮机及辅机作为整体控制对象，通过前馈控制与反馈调节相结合策略，实现负荷指令快速响应与主汽压力稳定。例如，锅炉通过燃料量调整热负荷，汽轮机通过调门控制蒸汽流量，两者协同完成电网AGC指令跟踪。核心控制逻辑，压力控制：主汽压力作为关键参数，优先由汽轮机调门快速调节，锅炉通过燃料/给水量匹配长期压力需求。温度控制：超临界机组通过中间点温度监测实现“水煤比”动态优化，防止汽温波动导致受热面超温。解耦控制：采用模型预测控制（MPC）与PID协同策略，解决给煤量、给水量与主汽阀门间的多变量耦合问题。

4.2 典型控制模式

机跟炉（TF）模式，汽机自动调压，锅炉手动调功控制；适用场景主汽压力稳定但负荷响应较慢锅炉异常或RB工况。炉跟机（BF）模式，锅炉自动调压，汽机手动调功控制；适用场景负荷响应快但压力波动风险高，汽机受限或调峰需求。协调模式（CCS）模式，锅炉与汽机主控全自动，前馈-反馈复合控制；适用场景兼顾压力稳定与负荷跟踪精度，正常工况下的AGC运行。

4.3 火电厂控制系统解耦方法

火电厂控制系统解耦方法通过消除多变量耦合影响，提升机组运行稳定性和响应效率。以下是主要技术路径及应用场景：（1）多变量协同解耦控制，PID-MPC混合控制架构，东方电气提出将PID控制器与模型预测控制（MPC）分层协同，PID负责主汽阀门快速调节（如负荷跟踪），MPC通过超前预测补偿给煤量和给水量，实现主汽压力与温度的精准解耦，系统响应速度提升超过30%。优势：兼顾动态响应与稳态精度，适用于协调控制系统（CCS）的多变量强耦合场景。解耦广义预测控制，基于广义预测控制算法建立协调系统数学模型，引入解耦因子抵消锅炉-汽机间的能量交互影响，对比常规PID控制，抗扰动能力和鲁棒性显著增强，尤其适

用于大迟延工况。(2)智能算法解耦优化, RBF 神经网络与 Smith 预估补偿, 针对燃烧系统非线性特征, 采用 RBF 神经网络动态调整 PID 参数, 并结合 Smith 预估器补偿滞后效应, 实现锅炉燃烧风量、燃料量的解耦控制, 仿真验证其超调量降低 40%以上。深度学习强化预测模型, 在传统 MPC 框架中嵌入深度强化学习算法, 自适应优化多变量耦合权重, 提升低负荷工况下的解耦控制精度。(3)前馈-反馈动态解耦, 送/引风协同解耦, 通过函数组件将送风量信号前馈至引风控制回路, 动态调整引风机挡板开度, 消除炉膛负压与风量耦合波动, 并在主燃料跳闸时快速闭锁阀门, 防止内爆风险。凝结水系统解耦, 采用变频调速技术协同控制除氧器水位与凝结水母管压力, 通过压力-流量解耦算法消除控制回路干扰, 实现全程自动协同, 抗扰动能力提升 50%。(4)热电解耦技术路径, 余热回收供热, 利用热泵技术回收循环水余热, 突破低压缸最小排汽流量限制, 在保证供热前提下降低电负荷至 30%额定容量, 提升调峰灵活性。背压机组改造, 通过背压式汽轮机替代抽汽机组, 实现热电出力独立调节, 解决“以热定电”运行模式下的电热强耦合问题。

5 火电厂集控运行与机组协调控制未来发展趋势

5.1 智能化与自动化深度融合

AI 算法的深度集成, 通过机器学习优化燃烧控制策略, 实现蒸汽参数自适应调整, 例如基于深度强化学习的控制器可动态修正模型预测偏差, 提升机组响应速度与稳定性。全流程自动化升级, 推广一键启停技术(如制粉系统全自动启停), 结合故障诊断算法实现辅机跳闸预测与自动隔离, 减少人工干预需求。物联网与边缘计算应用, 构建实时数据采集网络, 依托边缘计算设备实现毫秒级数据分析, 支撑设备状态监测与预警决策。

5.2 协调控制技术升级

多变量解耦与模型优化, 采用 PID-MPC 双回路解耦方法, 分离发电功率与主汽压力控制, 降低水煤比强耦合对超临界机组的影响。深度调峰能力强化, 开发低至 20%负荷的稳定运行方案, 通过烟气挡板调节策略优化, 维持主蒸汽温度波动在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内, 降低低负荷煤耗 3-5%。自适应控制策略迭代, 结合数字孪生技术构建全工况仿真模型, 预演电网频率突变等极端场景下的控制策略效果, 提升抗扰动能力。

5.3 多能互补与低碳化转型

新能源协同调度, 整合储能系统与风光发电设备, 构建多能互补发电单元, 实现秒级调频响应与碳排放强度降低 15%以上。高效发电技术推广, 二次再热机组等先进技术普及, 推动发电效率突破 50%, 同时优化 SCR 脱硝系统与碳排放监测体系。

5.4 数字孪生与预测性维护

全生命周期仿真, 基于数字孪生技术建立机组动态模型, 预测设备寿命衰减趋势并提前调整控制参数, 延长关键设备使用寿命 10%-15%。故障预测与健康管理, 利用振动信号、温度梯度等多维数据分析, 实现设备故障预警准确率提升至 95%以上, 降低非计划停机风险。

5.5 统一管控平台建设

全厂级协同控制, 整合主机 DCS 与辅控系统(如硫化灰处理), 通过统一操作界面实现跨系统联动控制, 降低维护成本 20%-30%。人机交互优化, 开发智能辅助监盘系统, 自动生成运行优化建议, 降低监盘人员操作强度, 提升异常工况处置效率。

通过上述技术整合, 现代火电厂集控运行已从传统人工操作转向高度自动化、智能化的管理模式, 成为保障电力系统稳定与经济性的核心支撑。未来火电厂将形成以智能化集控为核心、多能互补为支撑的新型运行体系, 通过 AI 驱动的协调控制技术与低碳化改造, 推动传统火电向“灵活调峰+绿色高效”模式转型。

参考文献

- [1] 葛潇. 660MW 超超临界机组协调控制系统优化[J]. 发电设备, 2022, 36(06): 421-426.
- [2] 程举. 火电厂集控运行及机组协调控制策略研究[J]. 应用能源技术, 2022(05): 1-3.
- [3] 刘生. 火电厂集控运行技术分析与优化研究[J]. 中国设备工程, 2022(02): 219-220.
- [4] 赵锐. 火电机组协调控制系统预测控制的仿真研究[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2021, 19(02): 58-63.
- [5] 李正. 火电厂机组集控运行技术管理[J]. 技术与市场, 2021, 28(01): 112-113.
- [6] 王江. 火电厂集控运行技术优化研究[J]. 中国科技信息, 2024(17): 94-96.