

Improvement and Practice of Coordinated Control Strategy for Centralized Control Operation of Supercritical Thermal Power Plants

Qixian Mu

Guizhou Jinyuan Chayuan Power Generation Co., Ltd., Bijie, Guizhou, 551802, China

Abstract

Supercritical coal-fired power plants are core power sources in the power system, and the stability and economy of centralized control operation coordination directly determine grid security and energy utilization efficiency. This paper conducts research on improving coordination control strategies for supercritical units, focusing on their strong dynamic characteristics, high parameter coupling degree, and strict grid peak-shaving requirements. Based on the shortcomings of existing control strategies, an improved scheme combining multivariable predictive control with intelligent algorithms is proposed, with improvements made to the regulation logic for key parameters such as main steam pressure, load, and feedwater flow. Experimental results show that the improved scheme can increase the unit load response speed by 15%, keep the main steam pressure fluctuation within ± 0.3 MPa, reduce the power supply coal consumption by 3 g/(kW·h), thereby enhancing the adaptability of supercritical coal-fired power plants and providing a possible approach for their efficient operation.

Keywords

Supercritical Power Plant; Centralized Control Operation Coordination; Control Strategy; Improved Practice

超临界火电厂集控运行协调控制策略改进与实践

穆启弦

贵州金元茶园发电有限责任公司, 中国·贵州 毕节 551802

摘要

超临界火电厂属于电力系统的核心电源点, 集控运行协调控制是否稳定、经济决定电网安全和能源利用效果。本文就超临界机组动态特性强、参数耦合度高、电网调峰要求苛刻等展开协调控制策略的改善研究。根据已有的控制策略的不足之处, 提出一种结合多变量预测控制与智能算法的改进方案, 对主汽压、负荷、给水流量等重要参数的调节逻辑进行改进。经过试验表明, 改进后的方案可以使机组负荷响应速度快15%, 主汽压波动范围在 ± 0.3 MPa之内, 供电煤耗减少3g/(kW·h), 提高了超临界火电厂的适应性, 为超临界火电厂高效运行提供了一种可能。

关键词

超临界火电厂; 集控运行协调; 控制策略; 改进实践

1 引言

伴随着电力系统朝着“双碳”目标前进, 新能源装机占比越来越高, 电网对于火电机组的调峰能力, 响应速度以及运行稳定性有了更高的要求。超临界火电厂由于具有参数高、效率高、环保性好等特点, 已经成为我国火电主力机型, 但是集控运行协调控制系统面临着严峻的挑战。该系统为机组运行的中枢神经, 要实时地协调锅炉、汽轮机和辅助系统等, 使负荷、主汽压等主要参数维持在一个稳定的状态上。目前传统协调控制策略在变工况下存在调节滞后、参数振荡

等现象, 不能满足电网动态的需求。因此, 进行协调控制策略的改进与实践研究, 对于提高超临界机组的运行水平, 保证电网的安全经济运行有着十分重要的现实意义, 也是火电厂节能降耗的重要途径。

2 超临界火电厂集控运行协调控制策略改进的重要意义

2.1 保障机组安全稳定运行的核心支撑

超临界机组运行参数处于高温高压状态, 主蒸汽温度可以达到566℃以上, 压力超过22MPa, 各个系统之间参数耦合紧密, 任何一个环节调节不准确都会导致设备超温、超压, 甚至造成机组非计划停机。协调控制策略通过对锅炉燃烧、汽轮机做功、汽水循环等环节参数的准确匹配, 可以避

【作者简介】穆启弦(1996-), 男, 侗族, 中国贵州黎平人, 本科, 助理工程师, 从事火电厂集控运行研究。

免由于负荷变化、燃料品质变化等原因造成的运行风险。改进后的策略能更快地对扰动作出反应,减小参数波动程度,例如当机组负荷发生 $\pm 10\%$ 额定负荷的突变时,可以将主汽压恢复时间缩短到30秒以内,从而提高机组运行的安全性和稳定性,减少设备损耗及维护费用^[1]。

2.2 提升机组经济运行水平的关键路径

火电厂运行经济性核心体现在供电煤耗上,而协调控制策略会影响燃料燃烧效率、汽水循环效率和机组负荷率。传统方法因为调节滞后造成锅炉和汽轮机出力不匹配,有过量送风、过量给水等现象,从而造成能源的浪费。改进后的协调控制策略通过对燃烧控制逻辑的优化、准确调节给水流量和蒸汽温度,可以实现燃料、水、风等资源的最佳配比^[2]。从实践数据可以看出,在策略改进之后机组锅炉在额定负荷下的锅炉效率提高0.8%,在70%~100%变负荷区间内供电煤耗平均降低3~5g/(kW·h),按百万千瓦机组年发电量60亿kW·h计算,年可节约标准煤1800~3000吨,经济效益良好^[3]。

2.3 适配电网调峰调频需求的必然要求

随着风电、光伏等新能源的大规模接入,电网对火电机组调峰调频能力的需求也越来越大。超临界机组是电网的重要调峰电源,具有很快的负荷响应速度和良好的调频性能。传统协调控制策略的负荷响应速率一般为2%~3%额定负荷/分钟,不能满足电网“两个细则”对调峰调频的考核要求。经过改进的策略加入前馈控制以及智能预测算法之后,负荷响应速度可以达到5%~6%额定负荷/分钟,调频响应时间缩短到10秒以内,一次调频合格率达到95%以上,提高了机组适应电网动态需求的能力,增加了电厂的辅助服务收益。

2.4 推动火电厂绿色低碳转型的重要保障

“双碳”目标之下,火电厂要在保证供电的情况下减少碳排放强度。超临界机组的碳排放主要是由燃料燃烧产生的,协调控制策略通过优化燃烧过程、提高机组效率,可以直接减少单位发电量的碳排放量。改进策略用精确控制过量空气系数的方式使锅炉燃烧更充分,既减少未完全燃烧损失又降低氮氧化物生成量;在变负荷过程中对参数进行调节,防止机组长时间处于低效区间。数据显示策略改进后机组单位发电量碳排放强度下降2%到3%,氮氧化物排放量下降5%到8%,既有利于火电厂满足环保排放标准,也有利于火电行业的绿色低碳转型^[4]。

3 超临界火电厂集控运行协调控制现状分析

3.1 协调控制系统变工况适应性不足

超临界机组在不同的负荷区间(低负荷30%~50%,中负荷50%~80%,高负荷80%~100%)内动态特性存在差异,低负荷时锅炉蓄热能力差、汽温易波动,高负荷时参数耦合度高。目前大多数电厂采用的PID控制策略是固定的参数

设计,不能适应全负荷区间动态特性变化。负荷快速升降或者燃料热值突然改变的时候,就容易出现主汽压过度调节、蒸汽温度大幅度波动的情况,比如说某台百万千瓦级的机组,在把负荷由50%提升到100%的过程中,其主蒸汽压力的最大超调量达到了1.2MPa,这超过了允许的偏差范围,这时需要人工去干预并进行调整,从而影响了整个运行过程的稳定状态^[5]。

3.2 控制参数整定缺乏动态优化机制

传统协调控制参数整定大多采用经验整定法或离线整定法,机组投运后基本不变,没有建立根据运行工况实时调整的优化机制。但是超临界机组在运行过程中由于燃料品质变化、设备老化、环境温度变化等因素的影响,最优控制参数会不断漂移。固定参数使系统在复杂工况下调节品质变差,燃料热值降低时,锅炉燃烧效率下降,如果送风、引风参数没有及时调整,就会造成排烟温度升高,锅炉效率下降1%~2%;设备老化后,汽轮机调节阀特性改变,容易造成负荷调节滞后^[6]。

3.3 新能源并网对协调控制冲击显著

新能源的大量接入使电网频率波动范围增大,波动频率变高,火电机组要具有更快的调频响应能力。但是目前大多数超临界机组的协调控制并不考虑新能源并网的冲击,调频逻辑仍然按照传统的电网特性来设计,存在响应慢、调频深等现象。电网频率发生 $\pm 0.2\text{Hz}$ 的变动时,传统策略下机组的调频响应时间大约为20秒,不能符合电网对于调频响应时间 ≤ 10 秒的需求;另外,由于新能源出力波动造成机组负荷频繁变动,使得传统策略容易产生调节过冲的情况,从而增大机组的运行损耗^[7]。

3.4 控制系统与设备协同性有待提升

超临界火电厂集控运行包含锅炉、汽轮机、发电机、脱硫脱硝等多个子系统,各个子系统中设备众多,部分设备存在非线性、大滞后等特性。目前协调控制系统与各个子系统设备的协同控制逻辑还不完善,存在着各自为政的现象。锅炉燃烧系统与汽轮机调节系统的指令不同步,在负荷提升的时候锅炉给煤量增加滞后于汽轮机进汽量调整,造成主汽压降低;脱硫脱硝系统与主机协调不够,在机组变负荷时容易产生烟气参数波动,导致环保指标超标,需要额外投入还原剂,增加运行成本^[8]。

4 超临界火电厂集控运行协调控制改进策略

4.1 引入多变量预测控制优化核心调节逻辑

对于超临界机组的多参数耦合、变工况适应性差的问题,用MPC取代PID。通过建立机组动态数学模型,把锅炉热平衡、汽轮机做功特性、汽水循环规律等主要机理整合在一起,实时预测主汽压、负荷、主汽温等主要参数的变化趋势,利用滚动优化算法输出锅炉给煤量、给水量、送风量以及汽轮机调门开度等多变量协调控制指令。模型构建时用

现场阶跃试验和历史运行数据驱动相结合的方法,用最小二乘法迭代修正模型参数,使全负荷区间的模型误差控制在5%以内;对于低负荷工况锅炉蓄热不足的特点,增加蒸汽容积蓄热补偿项和燃烧惯性修正系数,提高参数的稳定性。某百万千瓦电厂运行表明,MPC控制使负荷响应速度由原来的3%额定负荷每分钟提高到现在的6%,主汽压变化幅度控制在 $\pm 0.3\text{MPa}$ 以内,变负荷时汽温最大变化不超过 5°C ,满足各种复杂工况的需要。

4.2 构建智能参数自整定系统实现动态优化

为了解决控制参数固定化造成复杂工况调节品质下降的问题,建立结合粒子群优化(PSO)算法和模糊逻辑的智能参数自整定系统,嵌入到现有的DCS控制系统中,实现无缝对接。系统用分布式I/O模块对燃料热值、环境温度、锅炉排烟温度、汽轮机调节阀开度等20多种关键工况参数进行实时采集,用模糊逻辑将工况分为稳定负荷、快速变负荷、燃料波动等8种类型,再用PSO算法对MPC控制权重矩阵和PID辅助参数进行在线寻优。设置了双重优化触发机制,当工况变化量大于设定阈值,比如燃料热值变化 $\pm 5\%$ 的时候自动触发,也可以通过运行人员手动激活。建立最优参数案例库,用K近邻算法匹配相似工况参数,缩短整定时间到10秒内。应用后,在燃料热值波动 $\pm 10\%$ 、环境温度变化 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 等各种复杂工况下,调节品质达标率由原来的75%提高到现在的98%,完全不需要人工干预,大大减轻了运行人员的操作强度。

4.3 优化新能源并网协调控制应对电网冲击

就新能源并网造成的电网频率波动以及负荷频繁变化这一问题而言,从调频逻辑改良以及负荷智能分配这两块升级协调控制策略。调频逻辑中加入电网频率偏差前馈信号及速率限制模块,把调频响应的触发时间由原来的5秒缩减到2秒;采取“分段调频+阻尼修正”办法,频率偏差小于等于 0.1Hz 时用大幅度微调防止过冲,大于 0.1Hz 时加大调节力度,而且用阻尼系数来抑制参数振荡。在负荷分配方面,以机组历史运行数据为基础,建立负荷-能耗-环保多维特性模型,借助边缘计算节点及时获取电网新能源出力预测曲线(预测精度 $\geq 90\%$),提前4小时制订日负荷曲线优化方案,把机组运行区间控制在60%~90%额定负荷的高效区间。新能源出力突降大于等于10%额定负荷时,先用锅炉蓄热经由汽轮机调门快速增负荷(响应时间小于等于5秒),之后按1%/秒的速度调节锅炉给煤量跟上。某电网区域5台机组应用之后,一次调频合格率从82%提高到96%,辅助服务收入提高15%,变负荷过程中供电煤耗额外降低 $1.2\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

4.4 强化多系统协同控制提升整体运行效能

为了克服各个子系统之间协同性差的问题,建立了

主机、辅机、环保全系统协同控制架构,用工业以太网和PROFINET总线进行各系统之间数据的实时交互(传输延迟 $\leq 10\text{ms}$)。主机上建立锅炉-汽轮机指令同步触发机制,增加燃料-汽压动态补偿模型,实时计算出给煤量与调门开度的匹配系数,消除调节时间差;针对高负荷时汽水系统耦合加强的特点,加入汽包水位-主汽压交叉修正项,避免参数联动波动。辅机协同方面把给水泵、引风机、送风机等辅机的能耗特性曲线加入到协调控制模型里,用遗传算法来优化辅机组合运行的方式,例如低负荷时自动切换单台给水泵运行。环保协同,把脱硫脱硝系统入口烟气温度、流量、污染物浓度等参数当作MPC预测范围内的参数,提前15秒调节还原剂喷射量和吸收塔浆液循环量,并设置环保指标预警阈值,超标之前执行主机负荷微调。应用之后,机组变负荷时脱硫脱硝系统出口氮氧化物浓度波动幅度减小60%,没有再出现环保指标超标的状况,辅机电耗占比由原来的8%下降到现在的6%。

5 结语

综上所述,本文针对超临界火电厂集控运行协调控制存在的变工况适应性差、参数整定死板、新能源并网冲击应对不足、协同性差等问题,从核心调节逻辑、参数优化、电网适配、系统协同四个方面提出改进措施,采用多变量预测控制、智能参数自整定等技术,形成一套完整的协调控制改进方案。将来可把数字孪生技术同虚拟机组运行平台结合起来,执行协调控制策略的离线仿真和在线迭代优化,进而提升控制精度,加强智能化水平。

参考文献

- [1] 王柏珑. 火电厂用煤清洁高效利用技术探析[J]. 电力设备管理, 2024, (22): 255-257.
- [2] 李鸣. 火电厂节能降耗技术分析及应用[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(19): 167-170.
- [3] 王鹏. 超超临界火电机组热控自动化保护装置的检修维护措施[J]. 智能城市, 2023, 9(12): 67-69.
- [4] 黄清, 栾九峰. 超超临界火力发电厂锅炉补给水处理系统反渗透技术研究[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(11): 87-89.
- [5] 周维国, 祝朝阳, 陈栓俊, 等. 超临界CO₂布雷顿循环燃煤发电研究进展[J]. 现代化工, 2023, 43(S2): 80-85.
- [6] 司志鹏. 1100MW超超临界机组锅炉燃烧及优化调整[J]. 化学工程与装备, 2023, (07): 201-203.
- [7] 苗建杰, 李德波, 李慧君, 等. 燃煤电厂超超临界压力下垂直并联管组流量分配特性[J]. 洁净煤技术, 2023, 29(S2): 220-230.
- [8] 仲巍, 解云, 李长宁, 等. 火电厂高参数管道健康监测系统设计及初步应用[J]. 今日制造与升级, 2022, (11): 81-83.