

深度调峰工况下火电厂热控系统的稳定性优化研究

冶斌

华电库车发电有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i1.19008

[摘要] 针对深度调峰工况下火电厂热控系统易出现的稳定性不足问题,本文阐述了开展系统稳定性优化研究的必要性,其对保障机组安全经济运行、推动火电行业灵活参与新能源消纳具有重要意义。研究从控制策略优化、测量系统改进、执行机构升级维护三个维度提出优化方案,通过增强系统工况适应性、提高信号可靠性、提升执行响应性能,实现深度调峰工况下热控系统的稳定运行,为火电机组灵活调峰提供技术支撑。

[关键词] 深度调峰工况; 火电厂热控系统; 稳定性优化

中图分类号: TM621 文献标识码: A

Stability Optimization Study of Thermal Control System in Thermal Power Plant under Deep Peak Shaving Conditions

Bin Ye

Huadian Kuche Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] This paper addresses the instability issues that commonly arise in thermal control systems of thermal power plants under deep peak-shaving conditions. It elucidates the necessity of conducting research on system stability optimization, which is crucial for ensuring the safe and economical operation of units and promoting the flexible participation of the thermal power industry in renewable energy consumption. The study proposes optimization schemes from three dimensions: control strategy optimization, measurement system improvement, and actuator upgrade and maintenance. By enhancing system adaptability to operating conditions, improving signal reliability, and enhancing execution response performance, stable operation of the thermal control system under deep peak-shaving conditions is achieved, providing technical support for flexible peak-shaving of thermal power units.

[Key words] Deep peak shaving operation; thermal control system of thermal power plant; stability optimization

引言

在新能源大规模并网背景下,火电机组深度调峰已成常态,但其热控系统面临变工况适应性差、信号波动大等稳定性难题。热控系统作为机组运行的核心中枢,其稳定性直接关乎机组安全与调峰效能。本文立足深度调峰工况特性,围绕控制策略、测量系统及执行机构展开研究,为热控系统稳定性优化提供可行路径。

1 深度调峰工况下火电厂热控系统稳定性研究的重要性

在新能源大规模并网的能源转型背景下,火电厂承担深度调峰任务已成为保障电网安全稳定运行的核心需求,而热控系统作为火电机组运行控制的“神经中枢”,其稳定性直接决定深度调峰工况的可行性与安全性,相关研究具有至关重要的现实意义与战略价值^[1]。

从电网运行层面看,深度调峰要求火电机组在极低负荷区间频繁启停、快速变负荷,热控系统需精准响应负荷指令并维持主汽压力、温度等核心参数稳定。若热控系统稳定性不足,易引发参数大幅波动、机组震荡甚至非计划停机,直接破坏电网功率平衡,加剧新能源消纳压力。开展稳定性研究可优化控制策略,提升机组调峰灵活性与响应速度,为电网接纳更多新能源提供支撑。从电厂安全经济运行角度,深度调峰工况下机组热力系统特性剧变,易出现燃烧不稳定、传热失衡等问题,热控系统的稳定运行是规避设备超温、超压、振动等安全隐患的关键。同时,稳定的热控系统能有效降低机组能耗与污染物排放,减少变负荷过程中的热损失与机械损耗,提升机组经济效益。此外,随着调峰机组数量增多,热控系统稳定性研究成果可形成通用技术标准,推动火电机组深度调峰技术的规模化应用,助力能源结构转型目标落地。

2 深度调峰工况下火电厂热控系统稳定性优化策略

2.1 优化控制策略,提升工况适应性

针对深度调峰工况下控制对象特性的非线性、时变性以及多变量强耦合等复杂特点,优化控制策略是提升热控系统稳定性与调节品质的核心路径,也是实现机组宽负荷范围内精准控制的关键突破口。一方面,大力推广应用变参数PID控制策略,通过构建负荷分段自适应调节机制,根据机组实时负荷的动态变化,精准整定PID控制器的比例系数、积分时间和微分时间等核心参数,确保控制器能够动态匹配不同工况下控制对象的特性变迁。具体而言,可通过离线仿真与现场试验相结合的方式,建立覆盖低负荷(30%额定负荷以下)、中低负荷(30%~60%额定负荷)、中高负荷(60%~100%额定负荷)的全负荷区间PID参数数据库,构建负荷与PID参数的非线性映射模型;当机组负荷发生阶跃变化或缓慢波动时,系统通过负荷信号实时触发参数匹配逻辑,自动调用数据库中对应的最优PID参数,实现参数的无扰自适应调整,有效规避固定参数PID在工况突变时出现的超调、振荡或调节滞后等问题。另一方面,积极引入先进控制算法与复合控制架构,弥补传统PID控制在复杂工况下的局限性,常用技术包括模型预测控制(MPC)、模糊控制、神经网络控制以及基于数据驱动的智能控制等。其中,模型预测控制(MPC)凭借其滚动优化与反馈校正的核心优势,能够基于热控系统的机理模型或数据驱动模型,预测未来一段时间内主蒸汽压力、汽包水位、炉膛温度等关键参数的动态变化趋势,提前给出多变量协同优化的调节指令,可有效解决深度调峰工况下普遍存在的大滞后、强耦合问题,尤其适用于锅炉燃烧系统与汽水系统的协调控制;模糊控制与神经网络控制则依托其强大的非线性逼近能力和自学习能力,无需建立精确的控制对象模型,能够自适应捕捉工况变化过程中的非线性特性,通过模糊规则推理或神经网络权值调整实现控制参数的动态优化,显著提升系统的鲁棒性与抗干扰能力^[2]。此外,针对低负荷工况下特有的燃烧不稳定、汽包水位虚假液位等典型问题,需设计专用的针对性控制模块并嵌入主控制逻辑。例如,燃烧稳定性判断与自适应调节模块可通过实时采集炉膛压力波动幅度、火焰检测信号强度等参数,精准识别燃烧稳定性状态,当检测到燃烧微弱或濒临熄火时,自动触发稳燃调节策略,包括调整给粉量分配、优化二次风配比、开启等离子点火助燃等;虚假液位识别与补偿模块则通过分析汽包水位的变化速率、蒸汽流量与给水流量的平衡关系,精准区分虚假液位与真实液位变化,通过引入前馈补偿信号修正给水调节指令,避免因虚假液位导致的给水调节误动作,进一步提升热控系统在极端工况下的控制可靠性。

2.2 改进测量系统,提高信号可靠性

测量信号作为热控系统感知机组运行状态的“神经末梢”,其准确性与可靠性直接决定调节指令的科学性,是保障深度调峰工况下热控系统稳定运行的基础。针对深度调峰工况下机组运行参数波动范围广、测量环境恶劣、干扰因素增多导致的测量信号失真问题,需构建“选型-安装-处理”全流程优化体系,

从源头提升测量信号质量。首先,实施精准化测量设备选型,聚焦宽负荷适配性与抗干扰能力核心需求,摒弃传统适配额定工况的测量设备。对于汽包水位测量,选用具备宽量程补偿功能的高精度差压式水位计,搭配冷凝罐恒温装置,有效规避低负荷下水位波动与汽泡扰动带来的测量偏差;针对主蒸汽压力、给水压力等参数测量,采用宽量程智能压力变送器,其内置的温度补偿模块可抵消低负荷工况下介质温度变化对测量精度的影响;在烟气参数测量环节,选用抗粉尘、抗腐蚀的抽取式烟气分析仪,配备高效除尘预处理单元,解决低负荷时烟气流量小、成分复杂导致的测量误差增大问题,确保脱硝效率、氮氧化物排放等关键环保参数测量精准。其次,开展精细化安装调试优化,从安装布局与环境适配两方面降低干扰影响。在取压点布置上,严格遵循热控安装规范,汽包水位取压点需避开汽泡密集区与水流死角,采用对称布置方式提升测量代表性;烟气取压点应选择烟道截面流速均匀区域,避免靠近烟道弯头、挡板等易产生涡流的位置^[3]。同时,强化测量管路的配套优化,对所有测量管路进行保温包裹,防止低温环境下结露影响测量;针对振动剧烈区域的管路,加装防振支架与缓冲装置,减少机组振动对压力、流量信号的高频干扰;在安装后开展全负荷区间调试,通过模拟不同调峰负荷下的运行状态,校准测量设备零点与量程,确保设备在低、中、高各负荷段均能稳定输出精准信号。最后,应用智能化信号处理技术,构建多层次信号净化体系。采用数字滤波技术,通过设置自适应滤波阈值,精准过滤测量信号中的高频振动干扰与电磁干扰,保留真实的参数变化趋势;引入多源数据融合技术,对同一参数的多个测量点信号进行加权融合分析,结合各测量点的精度等级与运行环境权重,修正单一测量点的系统误差与随机误差,提升信号可信度;搭建测量信号异常诊断模型,基于大数据分析挖掘正常工况下的信号特征规律,当检测到信号出现突变、漂移、波动异常等情况时,快速识别虚假信号与设备故障信号,自动触发信号剔除或冗余切换机制,确保热控系统获取持续、可靠的输入信号,为精准调节提供坚实数据支撑。

2.3 强化执行机构维护与升级,提升响应性能

执行机构作为热控系统调节指令的“最终执行者”,其响应速度、执行精度与运行可靠性直接决定热控系统的闭环调节效果,是深度调峰工况下保障机组参数稳定的核心关键环节。在深度调峰工况下,机组负荷需在30%额定负荷以下的低范围区间内频繁升降、持续波动,这使得调节阀门、挡板、给粉机、给水泵等核心执行机构的动作频次较额定工况激增3~5倍,大幅加剧了部件的机械磨损与疲劳老化进程,极易引发阀杆卡涩、密封面磨损失效、流量特性畸变、驱动装置故障等问题,进而导致调节指令执行滞后、调节精度下降,甚至引发热控系统振荡失稳。因此,必须构建“精细化维护+针对性升级”的多元协同提升策略,全面强化执行机构对深度调峰复杂工况的适配能力。一方面,建立全生命周期闭环定期维护机制,实现故障的早发现、早诊断、早处置。结合不同类型执行机构的结构特性与运行工况,制定分级分类维护清单,明确差异化的维护周期、技术标准与验收规范:

对于核心调节阀门(如主汽阀、给水调节阀),重点开展阀杆精准润滑(选用高温耐磨润滑脂)、密封件完整性检查及行程精度校准,每季度进行一次全行程无扰动作测试与流量特性校验,及时更换磨损的阀座、填料与定位器部件,有效避免低负荷小流量工况下因密封不严导致的内漏问题及阀杆卡涩引发的调节“死区”;对于给粉机、给煤机等旋转类执行机构,每周开展内部积粉清理与壳体密封检查,每月进行一次传动部件(齿轮、轴承)磨损量检测及振动、转速特性测试,通过频谱分析预判设备运行状态,防止低负荷给粉量小时出现的堵粉、断粉及转速波动现象;针对电动执行器、液压执行器等驱动装置,建立油液品质与电机状态专项维护台账,定期检查液压油清洁度、粘度及压力稳定性,及时更换滤芯与老化油液,同时对电机绝缘性能、绕组温度进行检测,确保驱动装置能够持续提供充足的驱动力与稳定的运行状态。在此基础上,引入状态检修理念,通过在执行机构关键部位加装高精度振动传感器、位移传感器与温度传感器,实时采集动作响应时间、行程偏差、振动幅值、部件温度等核心运行数据,结合历史维护记录与故障案例,构建基于大数据的寿命预判模型,精准识别潜在故障隐患,科学制定维护计划,有效规避过度维护造成的资源浪费与维护缺失引发的突发故障^[4]。另一方面,针对运行年限较长、性能衰减严重的执行机构实施靶向技术升级,全面提升核心性能指标。将传统模拟量电动执行器升级为智能型电动执行器,借助内置的微处理器与数字化控制模块,实现控制参数自整定、运行状态自诊断、故障报警及远程监控功能,其响应时间可从传统的0.5秒以上缩短至0.1秒以内,控制精度从 $\pm 0.5\%$ 提升至 $\pm 0.1\%$,能够精准匹配深度调峰工况下负荷快速波动的调节需求,大幅增强低负荷区间的调节灵活性;对低负荷调节性能不佳的阀门实施流量特性优化改造,根据低负荷小流量调节需求,采用变径阀内件或非线性流量

特性(如等百分比、抛物线)阀芯,通过流体力学仿真优化阀芯结构,改善低负荷区间的流量调节线性度,彻底消除调节“死区”;对给粉机、给水泵等流量调节类设备采用变频调速技术,通过PLC控制器输出的模拟量信号精准调节电机转速,实现负载的连续平滑调节,替代传统的节流调节方式,不仅使调节精度提升20%以上,还能降低设备能耗15%-25%,尤其适配深度调峰工况下宽范围、高精度的负荷调节需求,同时减少节流部件的磨损,延长设备使用寿命。

3 结语

深度调峰工况下火电厂热控系统稳定性优化,是保障机组安全经济运行、助力新能源消纳的关键举措。通过优化控制策略以适配变工况需求、改进测量系统以保障信号精准、升级执行机构以提升响应效率的多维路径,可有效破解系统运行瓶颈。未来仍需结合智能算法与现场工况持续深化研究,为火电机组灵活调峰提供更坚实的技术支撑。

[参考文献]

- [1]田旭朝.火电厂热控自动化系统运行稳定性探析[J].电力设备管理,2024,(24):84-86.
- [2]王腾,张丽,迟青青.基于模糊PID的火电厂热控系统优化控制方法[J].电气技术与经济,2024,(12):253-255.
- [3]刘天阳.基于混沌量子粒子群算法的火电厂热控系统控制方法[J].信息记录材料,2024,25(12):215-217.
- [4]许倩.火电厂热控自动化系统运行的稳定性解析[J].科技视界,2024,14(33):69-71.

作者简介:

冶斌(1993—),男,回族,新疆维吾尔自治区库车市人,大学本科,热工检修专责,助理工程师,研究方向:发电厂热控。