

电力机组宽负荷自动控制优化研究

孙显赫

(内蒙古国华准格尔发电有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要 为了适应新能源发电大规模并网带来的电网调节压力,提升电力机组在宽负荷区间的运行稳定性、经济性和智能化水平,本文开展30%~100%负荷段全自动控制优化研究。以某电厂一、三号机组为研究对象,结合机组设备参数与运行现状,分析宽负荷控制存在的问题,制定针对性的优化方案并对优化效果进行量化分析。结果表明,优化后的控制系统可实现机组30%~100%负荷段的全自动稳定运行,大幅提升负荷响应速度,提高机组运行经济性,为同类机组宽负荷自动控制优化提供实践参考。

关键词 电力机组;宽负荷控制;自动控制;磨煤机;给水泵

中图分类号:TM621;TM761

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.25.006

0 引言

当前,大部分的燃煤机组在额定负荷附近的自动控制性能较为稳定,但在30%~70%的低负荷至中负荷区间,由于工况复杂、参数波动较大,自动控制效果不佳,常需依赖人工操作调整,不仅增加了运行人员的劳动强度,还降低了机组运行的经济性。基于此,开展机组宽负荷自动控制优化研究,通过梳理控制逻辑、优化控制策略、完善调试方案,实现30%~100%负荷段的全自动控制,对于提升机组运行水平、适应电网调节需求具有迫切意义。

1 机组概况与运行现状分析

1.1 机组设备参数

本次研究对象为某电厂一、三号机组,两台机组设备配置一致,具体参数如下:锅炉为北京巴布科克威尔科克斯有限公司生产的亚临界、一次中间再热、自然循环单炉膛汽包锅炉,燃烧方式为前后墙对冲,可满足各种负荷下的燃烧需求;汽轮机为北京重型电机厂生产的N33017.75/540/540型单轴、三缸、双排汽中间再热凝汽轮机,额定功率330 MW,拥有宽负荷调节能力;发电机为北京重型电机厂生产的TA25546型水氢冷却发电机,发电效率高、运行稳定。

机组控制系统(DCS)采用西门子控制系统,有着健全的控制功能以及数据采集能力,可以对机组不同系统展开持续性监测与控制工作。机组辅机配置包括两台送风机(工频运行)、两台引风机(工频运行)、两台一次风机(变频运行)、三台电动给水泵(两台变频、一台工

频,互为备用)、五台中速磨煤机(四用一备),采用对冲燃烧方式,为机组宽负荷运行带来了设备基础^[1]。

1.2 机组运行现状及存在问题

一是磨煤机控制自动化程度低。磨煤机的启停通常依赖人工操作,缺少健全的自动暖磨控制以及启停顺控逻辑,磨组启停期间冷、热风门调节不及时,使磨煤机出口风粉混合物温度、风速波动较大,既制约着制粉系统运行效率,还会造成炉膛燃烧不稳定甚至带来安全隐患。而且,磨煤机启停中产生的瞬时燃料量扰动,得不到有效抑制,影响机组负荷响应速度以及协调参数控制品质^[2]。

二是给水泵运行控制不合理。给水泵的运行方式和控制手段没有与机组负荷实时匹配,宽负荷区间内给水泵出力调整缺少自适应能力,低负荷时多台给水泵同时运行,造成能源浪费且再循环阀芯冲刷严重;高负荷时给水泵投运不及时,影响机组给水稳定性。

2 电力机组宽负荷自动控制优化必要性

2.1 满足电网运行与新能源发展需求

在新能源发电的蓬勃发展下,风电、光伏等可再生能源的间歇性给电网运行带来了一定调节压力,电网对燃煤发电机组的负荷调节能力提出了更严格的要求。机组实现30%~100%负荷段全自动控制,可以第一时间响应电网负荷指令变化并调整机组出力,以弥补新能源发电的不足,减轻电网调节压力,保障电网频率和电压稳定^[3]。此外,宽负荷全自动控制可使机组在低负荷段稳定运行,防止由于负荷过低造成机组

作者简介:孙显赫(1999-),男,本科,助理工程师,研究方向:火电厂热工自动化。

解列, 增强电网供电可靠性, 为新能源发电大规模并网提供支持。

2.2 增加机组运行经济性

宽负荷全自动控制优化, 能够按照机组运行状态和负荷需求来调整燃烧、蒸汽和给水等系统参数, 使机组在各负荷段都可以运行在最优工况, 减少煤耗和厂用电率。例如: 磨煤机自动控制优化能够对煤粉细度、出口温度进行精细化控制, 减少燃料浪费; 给水泵自适应控制可围绕负荷变化调整运行台数和出力, 增加给水泵运行效率的同时减小再循环阀芯冲刷, 节省设备损耗。

2.3 保障机组安全生产

在电力机组运行期间, 安全是重中之重。人工操作在复杂的负荷调节中易发生失误, 特别是在宽负荷区间工况多变、参数波动大的前提下, 人工调整无法精准响应负荷变化, 易使主汽压力、汽包水位等参数超标并带来安全事故。全自动控制系统可以全面基于预设的程序和算法操作, 防止人为因素造成的操作失误, 保障机组实现安全运行^[4]。

3 电力机组宽负荷自动控制优化方案设计

3.1 磨煤机自动控制优化

1. 暖磨控制与启停顺控逻辑优化。优化 A、B 磨煤机自动暖磨控制策略, 按照磨煤机入口、出口温度的变化情况调整冷、热风门开度, 实现暖磨过程的自动化控制, 防止暖磨不足或过度暖磨造成设备损坏以及能源浪费。梳理并优化磨组自动启停过程中的冷、热风门超驰控制逻辑, 明确启停各阶段的控制参数以及时间节点, 实现磨煤机自动启停, 减少人工干预。

2. 运行参数精细化控制。在磨组正常运行期间, 按照磨组实际出力变化采用自适应预测控制、模糊控制和随动控制相结合的方式, 实现制粉系统出口温度、出口风速以及煤粉细度的控制。持续性采集磨煤机运行参数并建立控制模型, 调整冷风门、热风门开度和给煤量, 使制粉系统运行参数稳定在最优区间, 减少燃料量扰动对机组负荷的影响。其中, 自适应模糊控制技术的应用能够使调节速度提升 20%, 控制精度提高 36%, 最大限度抑制参数波动。

3.2 给水泵自动控制优化

1. 运行方式智能选择。基于机组负荷运行状况建立给水泵运行方式智能选择模型, 实现宽负荷区间给水泵出力自适应选择调整。在预控模式下, 当负荷较低 (低于 50% 额定负荷) 时自动无扰退出一台给水泵备用运行, 仅保留两台给水泵运行, 提高给水泵运行

效率, 减少能源消耗; 当负荷升高 (高于 50% 额定负荷) 时自动无扰并入备用给水泵运行, 保证给水流量满足机组需求^[5]。

2. 并 / 退泵控制策略优化。采用并 / 退泵速率自适应闭环控制、给水流量指令平衡、给水泵再循环阀动态自适应比例控制等技术, 减少并 / 退泵过程中给水流量和汽包水位的扰动。并 / 退泵过程中监测给水流量、汽包水位等参数, 灵活调整并 / 退泵速率和再循环阀开度, 确保参数平稳过渡, 防止发生水位明显波动或水泵过载等情况。

3.3 风烟系统控制优化

1. 一次风压设定曲线优化。为提高变负荷过程主汽压力的响应速度, 将一次风压设定曲线由当前负荷指令改为燃料主控的输出指令生成, 使一次风压与燃料量实时匹配。同时, 在变负荷时, 增加一次风压设定的修正系数, 根据负荷变化速率和主汽压力偏差, 动态修正一次风压设定值, 强化磨煤机的风粉比变化, 提高一次风刚度, 加快主汽压力响应速度, 减少参数波动。

2. 送风—氧量控制闭锁逻辑设计。设计送风—氧量控制增加闭锁逻辑, 在机组快速升负荷过程中, 当快速加风时闭锁氧量调节回路, 防止因氧量快速变化造成炉膛负压大幅波动; 优化送风调节回路的 PID 参数, 按照负荷变化速率调整调节增益, 确保送风流量与燃料量之间实现精准匹配, 确保炉膛燃烧稳定, 减少炉膛负压波动幅度 (控制在 ± 50 Pa 以内)。

4 优化方案实施与调试

4.1 实施前期准备

1. 组织架构搭建。建立现场组织机构, 配备数量足够、专业齐全的管理及技术人员, 任命具有丰富机组控制经验的项目经理负责项目管理工作, 项目经理常驻项目现场, 未经招标人同意不得离开, 确保项目良好实施。此外, 明确岗位职责, 采取相关项目管理制度以及安全操作规程, 保障实施过程安全进行。

2. 技术交底与人员培训。调试工作开始前对电厂技术人员和运行人员进行技术交底, 阐述磨煤机自动启动、给水泵并泵的工作模式以及投 / 切操作方法等, 保证人员熟悉优化方案和控制逻辑。进行针对性培训工作, 增强运行人员对优化后控制系统的操作能力及其故障处理水平, 为后续阶段的调试和运行工作夯实基础。

4.2 项目实施工期安排

合同签订后 20 天内, 项目团队进驻现场, 开始完成三号机组 30% ~ 100% 负荷段全自动控制系统逻辑修

改、静态调试等工作,预计耗时120天;一号机组在机组检修期间完成逻辑修改、静态调试等工作,预计耗时100天;两台机组热态调试及验收工作预计耗时80天;剩余30天作为预留时间,用于处理实施过程中出现的突发问题,确保项目在330天内完成。具体工作进度及时间安排将根据现场设备情况及甲方计划进行适当调整,届时由招标方提前通知投标方。

4.3 控制系统调试

1. 静态调试。静态调试阶段主要完成控制逻辑的检查、配置和优化,包括检查磨煤机、给水泵和风机系统等控制逻辑的正确性,保证逻辑满足优化方案要求;配置控制策略的参数(PID参数、折线点参数、闭锁条件等),进行模拟仿真测试,验证控制逻辑的可行性;调整各控制回路的联动关系,确保系统协调运行;对DCS系统的信号采集和输出进行校准,确保信号传输准确、可靠^[6]。

2. 热态调试。热态调试阶段主要在机组正常运行状态下,对优化后的控制系统进行实际运行测试和参数优化,具体包括:对每个控制回路进行定值扰动试验、外扰试验、变负荷试验,测试控制回路的响应速度和调节品质;综合考虑控制系统在稳定工况、吹灰或启停制粉系统等大幅扰动工况下的运行性能,不断优化控制系统的参数,以获得满意的性能品质;验证磨煤机自动启停、给水泵自动并退等功能的可靠性和稳定性,确保在不同负荷段能够正常运行;测试密封水差压、汽包水位、主汽压力等关键参数的控制精度,确保参数波动在规定范围之内。

5 优化效果分析与效益评估

5.1 优化效果量化分析

优化前,机组30%~100%负荷段升降负荷速率为1.5%额定负荷/分钟,优化后提升至2.5%额定负荷/分钟,负荷响应速度提升66.7%,可以在第一时间响应电网负荷指令变化,满足电网深度调峰需求。磨煤机启停及给水泵投退时间最大限度缩短,优化前磨煤机启停时间约为15分钟/台,优化后缩短至5分钟/台,给水泵并退时间由10分钟缩短至3分钟,有效增强了机组负荷响应能力。

5.2 经济效益评估

1. 节能效益。优化后,机组平均煤耗降低2 g/kWh,两台机组额定功率330 MW,年运行时间按6 000 h计算,每年可节约标准煤792吨($330\text{ MW}\times 2\text{ 台}\times 6\text{ 000 h}\times 2\text{ g/kWh}\div 1\text{ 000 000}=792\text{ 吨}$),按标准煤单价1 200元/吨计算,每年可节约燃料成本95.04万元。

2. 设备维护成本节约。优化后,给水泵再循环阀芯冲刷减少30%,磨煤机设备磨损减轻,每年可减少设备维护费用约15万元;运行人员操作量减少,人工成本每年可节约约10万元,合计每年可节约维护和人工成本25万元。

5.3 安全与社会效益

一方面,围绕安全效益来看,优化后的全自动控制系统不再被人为操作所影响,机组运行风险明显减少,机组和人员愈发安全;控制系统拥有故障预警以及联锁保护作用,可以在第一时间觉察到设备异常情况,防止事故严重发展,从根本上确保机组安全运行。据统计,优化后机组非计划停机次数降低80%,安全事故出现率为0。

另一方面,围绕社会效益来看,增强机组宽负荷自动控制水平可以快速适应新能源发电并网需求,为社会带来极为可靠的电力供应。此外,机组煤耗减少也会使二氧化硫、氮氧化物等污染物排放量越来越少,每年能够减少二氧化硫排放量约200吨、氮氧化物排放量约150吨,环保、社会效益明显。

6 结束语

随着电力系统智能化、低碳化转型的深入,需积极深化宽负荷控制技术研究,融合现代化智能算法以及全系统协同控制理念,建立健全的控制策略,促使机组运行水平向更高质量、更高效益、更安全可靠的方向发展,为我国电力能源安全和“双碳”目标实现注入持续动力。

参考文献:

- [1] 宋嘉雯,王琦,王亚伦,等.计及负荷等效惯量的新型电力系统机组组合安全优化方法[J].电力建设,2025,46(09):111-119.
- [2] 秦空,张德龙,董彬.基于双馈风电机组的电力运维系统负荷预测模型设计研究[J].自动化与仪器仪表,2024(10):65-68,74.
- [3] 林岫菁,蔡丽敏,林汉填,等.考虑短期负荷的新能源电力系统AGC机组动态优化调度[J].电气开关,2024,62(05):95-97.
- [4] 周心慧.含压缩空气储能机组的交互式多模型电力负荷建模研究[D].济南:山东大学,2024.
- [5] 张康,王超.集中式电力现货市场下厂级煤电机组负荷优化分配研究[J].能源科技,2024,22(02):8-11.
- [6] 徐荣田.全负荷脱硝技术在电力机组的设计应用进展[J].电站系统工程,2023,39(06):64-68.