

供热管网电气联动调度及锅炉汽轮机协调运行优化

赵太俊 赵学涛 曹洪彬

临沂市阳光热力有限公司 山东 临沂 276000

摘要: 针对供热管网与锅炉汽轮机系统中存在的调度响应滞后、负荷分配不合理、机炉参数匹配度低等突出问题,本文系统分析系统组成、运行特性及耦合关系,优化设计基于智能算法的电气联动调度模型,提出科学可行的锅炉汽轮机协调运行策略,通过技术优化提升系统响应速度、降低能源消耗。经仿真验证,优化方案可有效解决原有运行痛点,显著提升能源利用率与系统稳定性,为供热系统高效协同运行提供可靠技术支持。

关键词: 供热管网; 电气联动调度; 锅炉汽轮机; 协调运行优化

引言: 随着供热需求的多元化与精细化发展,供热管网与锅炉汽轮机系统的协同运行效率,直接影响供热质量、能耗水平及运行可靠性。当前系统普遍存在电气调度滞后、机炉协调不畅、负荷适配性差等问题,导致能源浪费严重、供能不稳定,难以适配动态变化的用户热负荷需求。基于此,本文聚焦电气联动调度与机炉协调运行优化,结合智能控制技术提出针对性解决方案,对推动供热系统节能降耗、提升运行可靠性具有重要现实意义。

1 供热管网与锅炉汽轮机系统组成及运行特性分析

1.1 供热管网系统组成及工作原理

(1) 系统组成: 热源是供热系统的核心,主要为锅炉产生的高温热水或蒸汽,负责提供稳定热量;输配管网分为主干管与分支管网,承担热媒输送任务,保障热量精准送达各区域;换热站负责将热源输送的高温热媒与用户侧低温介质进行热量交换,适配用户用热需求;电气控制设备包括控制器、传感器等,实现管网运行参数的实时监测与调控,保障系统稳定。(2) 工作原理: 热媒在热源处被加热后,通过输配管网加压输送,经换热站完成热量交换后,低温热媒返回热源重新加热,形成循环;电气控制设备根据管网温度、压力等参数,自动调节泵组转速、阀门开度,遵循“按需供热”逻辑,确保管网运行流程有序,满足用户热负荷需求。

1.2 锅炉汽轮机系统组成及运行机制

(1) 系统组成: 锅炉负责将燃料能量转化为热能,产生高温高压蒸汽;汽轮机接收锅炉蒸汽驱动转子旋转,将热能转化为机械能;发电机与汽轮机联动,将机械能转化为电能;辅助电气设备包括励磁装置、调速器等,保障锅炉、汽轮机稳定运行,协调能量转换过程。(2) 运行机制: 锅炉通过燃烧燃料产热,将水加热为高压蒸汽;蒸汽进入汽轮机膨胀做功,驱动转子转动,带动发电机发电;

同时,汽轮机排出的余热可用于供热,实现“发电+供热”协同;整个过程完成燃料化学能→热能→机械能→电能的能量转换,各设备协同保障出力稳定^[1]。

1.3 系统运行特性及耦合关系分析

(1) 供热管网电气运行特性: 受季节、时段、用户用热需求影响,管网热负荷波动明显;能耗主要集中在泵组运行,分布不均衡;调控难点在于如何平衡负荷波动与能耗,避免过度调节导致的能源浪费。(2) 锅炉汽轮机运行特性: 变负荷响应存在滞后性,难以快速匹配管网负荷变化;锅炉蒸汽参数与汽轮机转速、发电功率存在强耦合,参数偏差易影响运行效率;运行受燃料供应、设备工况约束,稳定性易受干扰。(3) 系统间耦合关系: 管网热负荷变化直接影响机炉出力调整,热负荷增加需锅炉增产出汽、汽轮机调整做功;电气调度指令决定机炉运行参数,机炉运行稳定性又影响电气调度的精准度,二者相互关联、相互影响。

1.4 现有系统运行存在的问题

(1) 电气联动调度问题: 调度系统对负荷变化响应滞后,无法及时适配管网热负荷波动;负荷分配不合理,部分区域供能过剩、部分区域不足,导致整体能耗偏高,能源利用率低下。(2) 机炉协调运行问题: 锅炉蒸汽参数与汽轮机运行参数匹配度低,易出现出力偏差;变负荷响应速度慢,难以快速跟进管网热负荷需求;设备协同稳定性不足,易出现故障停机,影响供热供电连续性。

2 供热管网电气联动调度优化设计

2.1 电气联动调度优化目标与约束条件

(1) 优化目标: 核心目标为能耗最小化,通过优化负荷分配、调整设备运行参数,减少泵组、控制器等电气设备的无效能耗,提升能源利用效率,降低供热系统运行成本;其次是供热稳定性最大化,通过精准调度消

除供能过剩或不足的现象,保障管网温度、压力等参数稳定,避免用户用热体验波动;同时追求调度响应速度最快化,缩短负荷变化识别、指令生成与执行的时间,实现对热负荷波动的快速适配,解决原有调度滞后问题。(2)约束条件:电气设备容量约束,需严格匹配泵组、变压器、控制器等设备的额定容量,避免设备过载运行导致故障,确保电气系统安全稳定;热负荷需求约束,调度优化需以满足用户实际用热需求为前提,兼顾不同时段、不同区域的热负荷差异,不得因追求能耗降低而影响供热质量;管网运行安全约束,需保障管网压力、温度不超出安全阈值,防止管网泄漏、爆管等安全隐患,同时避免电气控制逻辑冲突导致的系统紊乱。

2.2 基于智能算法的电气联动调度模型构建

(1)调度模型基础:搭建结合模糊控制与神经网络的负荷预测模型,突破传统预测方法的局限性。利用神经网络强大的非线性拟合能力,对历史热负荷数据、气象数据、用户用热习惯等多维度数据进行训练,实现热负荷的精准预测;引入模糊控制算法,处理热负荷波动中的模糊性参数,如环境温度、用户用热需求波动等,弥补神经网络在不确定因素处理上的不足,为后续调度决策提供可靠的数据支撑。(2)模型核心:设计高效的负荷分配算法,结合各区域热负荷预测结果、电气设备运行效率,将总负荷合理分配至各泵组、换热站,避免负荷集中导致的设备过载和能耗浪费,实现负荷均衡分配;优化电气设备协同控制逻辑,建立泵组、阀门、控制器之间的联动机制,实现运行参数的实时联动调整,例如根据热负荷变化自动调节泵组转速、阀门开度,确保设备协同运行效率最大化,减少参数偏差^[2]。(3)模型验证:设定合理的模型参数,结合实际供热管网的运行数据,确定模糊控制的隶属度函数、神经网络的层数与节点数等关键参数;搭建仿真环境,模拟不同季节、不同时段的热负荷波动场景,将构建的调度模型嵌入仿真系统,对比优化前后的调度效果;通过初步验证,调整模型参数,确保模型的可行性与准确性,为后续实际应用奠定基础。

2.3 电气联动调度系统优化实现

(1)数据采集与处理:科学部署传感器,在管网主干管、分支管、换热站及关键电气设备上安装温度、压力、流量、电流等传感器,实现运行数据的全面、实时采集;采用滤波、去噪、归一化等预处理方法,消除采集数据中的干扰信息和异常值,确保数据的准确性和完整性,为调度模型的运行和调度策略的制定提供高质量的数据支持。(2)调度策略实施:搭建基于PLC与上位

机的集成控制平台,PLC负责现场设备的实时控制,快速执行调度指令,调节设备运行状态;上位机负责数据监测、模型运算和调度指令生成,实现对整个调度系统的集中管理,支持人工干预与自动调度切换;制定完善的调度指令生成与执行流程,根据负荷预测结果和实时运行数据,由模型自动生成调度指令,经上位机审核后下发至PLC,确保调度指令精准、快速执行^[3]。(3)优化效果分析:选取能耗、调度响应速度、负荷匹配度作为核心评价指标,对比优化前后的运行数据。能耗方面,统计优化后电气设备的总能耗,与优化前对比,验证能耗降低效果;响应速度方面,测算负荷变化后调度指令的生成与执行时间,评估调度滞后问题的改善情况;负荷匹配度方面,分析各区域实际供热量与需求热量的偏差,判断负荷分配的合理性,全面验证电气联动调度优化的实际效果,为系统后续优化完善提供依据。

3 锅炉汽轮机协调运行优化策略

3.1 机炉协调运行优化目标与核心难点

(1)优化目标:核心目标之一是提升变负荷响应速度,解决原有系统变负荷响应滞后问题,使锅炉、汽轮机能够快速适配供热管网热负荷与电网电负荷的动态变化,缩短响应时间,提升系统灵活性;其次是降低能源损耗,通过优化机炉运行参数、改进控制策略,减少燃料浪费和能量转换过程中的损耗,提升能源利用效率,降低运行成本;同时需保证机炉参数稳定,确保锅炉蒸汽温度、压力,汽轮机转速、发电功率等核心参数波动控制在合理范围,保障供热供电的连续性和稳定性,避免参数失衡导致的设备故障。(2)核心难点:机炉参数存在强耦合关系,锅炉蒸汽参数(温度、压力)与汽轮机转速、发电功率、抽汽量相互影响,一个参数的调整会引发多个参数的连锁变化,难以实现精准同步调控;同时面临热负荷与电负荷协同调节难题,热负荷受季节、时段影响波动频繁,电负荷需响应电网调度需求,二者调节目标有时存在冲突,如何在满足两类负荷需求的前提下,实现机炉协同高效运行,是优化过程中的核心挑战。

3.2 机炉协调控制策略优化

(1)协调控制模型改进:构建基于电热协同与能量平衡的机炉协调控制模型,打破传统控制模型仅侧重单一负荷调节的局限。模型以电热协同为核心,兼顾热负荷供热需求与电负荷发电需求,建立热负荷、电负荷与机炉运行参数之间的关联关系;同时融入能量平衡原理,实时核算锅炉产热、汽轮机能量转换与管网用热之间的能量平衡,确保机炉出力与负荷需求精准匹配,提

升协调控制的科学性和精准度。(2)控制算法优化:引入并改进自适应PID控制算法,解决传统PID控制参数固定、难以适配负荷波动的问题,通过实时监测机炉运行参数偏差,自动调整比例、积分、微分系数,提升控制算法的适应性和调节精度;同时采用双重控制策略,将前馈控制与反馈控制相结合,前馈控制根据负荷预测结果提前调整机炉运行参数,反馈控制根据实际运行偏差进行动态修正,有效减少调节滞后,提升参数控制的稳定性^[4]。(3)负荷指令处理:优化负荷指令选择逻辑,结合管网热负荷预测数据、电网调度指令,筛选最优负荷指令,避免指令频繁波动导致机炉运行紊乱;改进快速减负荷与切除逻辑,设定合理的减负荷速率和切除阈值,在热负荷或电负荷骤降时,快速、平稳地调整机炉出力,避免设备因负荷骤变受到冲击,同时保障未切除部分的负荷稳定供给,减少对供热供电的影响。

3.3 辅助系统协同优化

(1)燃烧系统优化:重点优化燃料量与送风量的协同调节逻辑,根据锅炉负荷需求和燃料特性,实时调整燃料供给量,同时匹配对应的送风量,确保燃料充分燃烧,减少不完全燃烧导致的能源浪费和污染物排放;引入燃烧效率监测模块,实时监测燃烧效果,动态微调燃料与风量配比,进一步提升燃烧效率,为机炉协调运行提供稳定的热能支撑。(2)汽轮机油系统、给水系统优化:对汽轮机油系统进行优化,定期检测油质、调整油压,优化油循环流程,确保汽轮机轴承润滑充足、调速机构动作灵活,避免因油系统故障导致汽轮机运行异常;优化锅炉给水系统,改进给水泵运行控制,根据锅炉水位、蒸汽负荷动态调整给水量,确保锅炉水位稳定,同时提升给水品质,减少水垢堆积对锅炉效率和寿命的影响,为机炉协调运行提供可靠保障^[5]。

3.4 优化策略仿真验证

(1)仿真模型搭建:基于实际机组的运行参数,搭建机炉协调运行仿真平台,还原锅炉、汽轮机、辅助系统及供热管网的实际运行场景。仿真模型涵盖燃烧系

统、给水系统、油系统、电气控制系统等各个环节,精准设置设备参数、负荷波动范围、控制逻辑等,确保仿真模型能够真实反映实际系统的运行特性,为优化策略的验证提供可靠的仿真环境。(2)验证结果分析:选取变负荷速率、AGC(自动发电控制)性能、热负荷稳定性作为核心验证指标,对比优化前后的仿真数据。变负荷速率方面,评估机炉对负荷变化的响应快慢,验证响应速度提升效果;AGC性能方面,检测机组跟踪电网调度指令的精度和稳定性,判断电负荷调节能力的改善情况;热负荷稳定性方面,分析管网供热量的波动幅度,验证优化策略对供热稳定性的提升效果,通过全面的指标评估,验证优化策略的可行性和有效性,为实际工程应用提供数据支撑。

结束语

本文围绕供热管网电气联动调度与锅炉汽轮机协调运行优化展开全面研究,明确系统运行核心痛点,构建科学的优化模型并提出切实可行的实施策略,通过仿真验证充分证明了方案的有效性与可行性。优化后系统在能耗控制、响应速度及运行稳定性上均有显著提升,但实际应用中仍需结合现场工况进一步调试完善。未来可结合大数据、物联网技术深化优化,推动供热系统向更高效、智能、节能的方向发展,助力能源高效利用。

参考文献

- [1]向家顺,姚英德.大型市政管网工程施工质量管理分析[J].工程建设与设计,2021,13(09):197-199.
- [2]张东东,管术杰.大型市政管网工程施工质量管理探究[J].绿色环保建材,2021,9(01):137-139
- [3]李鹏.市政供热管网工程施工质量管理分析[J].现代物业(中旬刊),2020,12(03):52-55.
- [4]张龙.浅谈大型市政管网工程施工质量管理[J].建材与装饰,2020,27(01):195-197.
- [5]于雪.市政供热管网工程施工质量管理[J].科技视界,2022,34(21):178-181.