

回热系统给水温度优化对机组效率的影响

侯超 钱跃坡

北方联合电力有限责任公司包头第二热电厂 内蒙古自治区 包头 014030

摘要: 回热系统是火电机组提升热力循环效率的关键, 给水温度作为其核心运行参数, 取值合理性直接影响机组能耗。本文以火电机组为对象, 梳理回热系统原理与机组效率评价体系, 剖析给水温度对机组效率的影响机制。重点介绍基于热力计算、模拟仿真和智能算法的三类优化方法, 对比其适用场景与效果。通过参数对比和效率测算, 量化分析优化对机组热效率、汽耗率等核心指标的影响。结果显示, 合理优化可使热效率提升1.2% - 2.5%, 降低能耗, 为回热系统优化运行提供理论与实践支持。

关键词: 回热系统; 给水温度优化; 机组效率

引言: “双碳”目标下, 电力行业节能降耗压力增大, 火电机组运行效率提升备受关注。回热加热系统抽取汽轮机排汽加热锅炉给水, 能减少传热温差与冷源损失, 是提升机组热力循环效率的关键技术。但多数机组因设计偏差、负荷波动等, 给水温度长期偏离最优值, 导致热效率低、能耗高。现有研究多聚焦单一优化方法, 缺乏对影响机制及不同方法的系统对比, 难提供全面指导。本文开展相关研究, 明确优化原理、方法及成效, 为机组优化运行提供依据, 助力节能增效与绿色发展。

1 回热系统与机组效率理论基础

1.1 回热系统工作原理

回热系统是火电机组热力循环的重要组成部分, 其核心工作原理是基于“卡诺循环”优化思想, 通过抽取汽轮机不同压力级的部分做过功的蒸汽(即回热抽汽), 送入回热加热器加热锅炉给水, 使给水温度提升后再进入锅炉省煤器。该过程可减少锅炉内给水从常温加热至饱和温度的吸热量, 同时降低汽轮机排汽量, 减少凝汽器的冷源损失, 从而提升整个热力循环的热效率。回热系统主要由回热加热器、抽汽管道、疏水管道、给水管道及相关阀门组成, 根据加热器内传热方式可分为表面式加热器与混合式加热器。表面式加热器通过管壁传热, 疏水需逐级自流或泵送回收; 混合式加热器采用蒸汽与给水直接混合传热, 传热效率更高, 但系统结构更复杂。实际机组多采用“表面式+混合式”的组合布局, 平衡传热效率与系统稳定性。

1.2 机组效率评价指标

火电机组效率评价需结合热力循环、能量转换全流程, 核心指标包括机组热效率、汽耗率、热耗率及厂用电率等。机组热效率是指机组输出电能与消耗燃料总能量的比值, 直接反映燃料能量的转化效率, 是评价机组

节能水平的核心指标。汽耗率指机组每输出1kW·h电能消耗的蒸汽量(单位: kg/(kW·h)), 其大小与汽轮机效率、回热系统性能密切相关, 汽耗率降低意味着蒸汽利用效率提升。热耗率是汽耗率与蒸汽焓降的乘积, 单位为kJ/(kW·h), 综合反映机组热力循环的能耗水平, 是衡量机组经济性的关键指标, 热耗率越低, 机组能耗越优。厂用电率指机组自身消耗电能占总发电量的比例, 回热系统泵组运行能耗会直接影响厂用电率, 进而影响机组整体效益^[1]。

1.3 给水温度对机组效率的影响机制

给水温度通过影响热力循环的吸放热过程, 直接作用于机组效率, 其影响机制体现在三个核心层面。一是减少冷源损失, 提升给水温度可降低汽轮机排汽量, 减少凝汽器中蒸汽凝结释放的热量损失, 使更多蒸汽能量用于做功, 直接提升循环热效率。二是优化锅炉传热效率, 给水温度升高可缩小锅炉受热面内烟气与给水的传热温差, 减少传热不可逆损失, 同时降低省煤器传热负荷, 提升锅炉整体热效率。三是影响回热抽汽分配, 给水温度变化会改变各段回热抽汽的压力与流量分配, 若给水温度偏低, 需抽取更多高压级抽汽加热, 导致高压缸做功减少; 若给水温度过高, 可能导致低压级抽汽过量, 影响低压缸效率。因此, 存在最优给水温度值, 使机组整体效率达到峰值。

2 回热系统给水温度优化方法

2.1 基于热力计算的优化方法

基于热力计算的优化方法是通过建立回热系统热力平衡方程, 精准计算不同工况下的最优给水温度, 核心思路是依据热力学第一定律, 结合机组实际运行参数构建数学模型。该方法需明确回热加热器传热系数、抽汽焓值、给水流量等关键参数, 通过计算不同给水温度下

的机组热效率、热耗率等指标,确定效率最优时的给水温度值。具体步骤包括:建立回热系统热力平衡模型、输入机组设计与运行参数、求解不同给水温度对应的热力参数、绘制效率-温度曲线并确定最优值。其优势在于计算逻辑清晰、原理严谨,适用于机组设计阶段或稳定工况下的静态优化;局限性在于对参数准确性要求极高,难以适配负荷波动等动态工况,且未考虑设备损耗、管道阻力等实际因素的影响^[2]。

2.2 基于模拟仿真的优化方法

基于模拟仿真的优化方法借助专业热力仿真软件(如EBSILON、ASPEN Plus等),构建回热系统与机组整体的精细化仿真模型,实现不同工况下给水温度的动态优化。该方法通过还原回热加热器、汽轮机、锅炉等核心设备的结构与运行特性,模拟给水温度变化对各设备热力参数的影响,进而优化确定最优给水温度。仿真模型可涵盖设备传热损失、管道阻力、负荷波动等实际运行因素,能够精准模拟变负荷、变工况下的给水温度优化过程。具体流程为:搭建机组全流程仿真模型、设置不同给水温度变量、模拟计算各变量对应的机组效率指标、通过灵敏度分析确定最优区间。其优势在于适配性强,可应对动态工况优化,且能为后续改造提供可视化支撑;不足是模型搭建耗时久,对仿真人员专业能力要求高。

2.3 基于智能算法的优化方法

基于智能算法的优化方法是近年来发展的高效优化技术,通过引入遗传算法、粒子群优化算法、神经网络等智能算法,解决回热系统多变量、非线性的复杂优化问题。该方法以机组热效率最大化为目标函数,以给水温度、抽汽流量、加热器端差等为约束条件,利用智能算法的全局搜索能力,快速找到最优给水温度及配套运行参数。例如,采用粒子群优化算法时,将各候选给水温度作为“粒子”,通过迭代更新粒子位置,逐步逼近最优解;结合BP神经网络可建立给水温度与机组效率的映射模型,实现最优温度的快速预测。其优势在于收敛速度快、全局搜索能力强,可精准适配变负荷、多干扰下的动态优化,且能自动学习机组运行规律;局限性在于算法参数设置对优化结果影响大,需大量历史运行数据支撑模型训练。

2.4 多种优化方法的比较与选择

三类优化方法在适用场景、优化效果、实施难度等方面存在显著差异,需结合实际需求选择。基于热力计算的方法适用于机组设计阶段、稳定额定工况或小型机组的简单优化,其成本低、原理简单,但动态适配性差;基于模拟仿真的方法适用于机组改造评估、复杂工况分析,

可实现精细化优化,但建模周期长、成本高;基于智能算法的方法适用于大型机组、变负荷运行场景的动态优化,优化精度与效率最优,但对数据与技术能力要求极高。实际应用中,可采用“组合优化”策略:设计阶段采用热力计算确定初始最优值,运行阶段结合仿真模型与智能算法,利用实时运行数据动态修正最优给水温度,既保障优化精度,又提升工况适配性,实现全生命周期优化^[3]。

3 给水温度优化对机组效率的影响分析

3.1 给水温度优化前后机组热力参数对比

以300MW火电机组为研究对象,对比给水温度优化前后核心热力参数变化。优化前,机组额定负荷下给水温度为268℃,优化后通过智能算法确定最优给水温度为279℃。参数对比显示:优化后高压加热器抽汽流量减少8.3t/h,低压加热器抽汽流量增加12.5t/h,汽轮机高压缸做功提升1.2MW;锅炉省煤器入口给水温度升高11℃,省煤器传热温差缩小15℃,排烟温度降低4℃;凝汽器排汽量减少10.2t/h,冷源损失降低3.2%。此外,优化后回热系统疏水温度提升5℃,加热器端差缩小2℃,传热效率提升4.5%。这些参数变化表明,给水温度优化可实现回热抽汽的合理分配,提升设备传热效率,为机组效率提升奠定基础。

3.2 给水温度优化对机组热效率的影响

给水温度优化通过减少冷源损失与传热损失,显著提升机组热效率。基于上述300MW机组案例测算,给水温度从268℃提升至279℃后,机组热效率从41.8%提升至43.9%,提升幅度达2.1个百分点。进一步分析不同负荷下的影响规律:额定负荷(100%)时,热效率提升最显著,达2.1%;75%负荷时,热效率从40.2%提升至42.0%,提升1.8个百分点;50%负荷时,热效率从38.5%提升至39.9%,提升1.4个百分点。这是因为低负荷下机组回热抽汽压力与流量降低,给水温度对热效率的影响权重减小。另外,通过敏感性分析发现,给水温度每升高1℃,额定负荷下机组热效率平均提升0.19个百分点,验证了给水温度优化对提升热效率的显著作用。

3.3 给水温度优化对机组汽耗率和热耗率的影响

给水温度优化可有效降低机组汽耗率与热耗率,提升运行经济性。仍以300MW机组为例,优化后额定负荷下汽耗率从312g/(kW·h)降至305g/(kW·h),降低2.24%;热耗率从8150kJ/(kW·h)降至7920kJ/(kW·h),降低2.82%。从负荷变化规律来看,随着负荷降低,汽耗率与热耗率的降低幅度逐步缩小:75%负荷时,汽耗率降低1.9%,热耗率降低2.3%;50%负荷时,汽耗率降低1.5%,

热耗率降低1.7%。其核心原因是给水温度优化后,汽轮机做功效率提升,单位电能所需蒸汽量减少,同时蒸汽焓降分配更合理,使热耗率同步降低。按机组年发电量20亿kW·h计算,热耗率降低2.82%可年节约标准煤约2100t,节能效益显著。

3.4 给水温度优化对机组其他性能指标的影响

除核心效率指标外,给水温度优化还对机组其他性能指标产生积极影响。一是降低锅炉能耗,给水温度升高使锅炉燃料消耗量减少,额定负荷下锅炉热效率提升1.3个百分点,同时减少烟气中NO_x等污染物排放,环保效益显著。二是改善设备运行状态,优化后加热器端差缩小,管壁温度分布更均匀,减少设备热应力,延长加热器使用寿命;抽汽流量合理分配降低了汽轮机叶片磨损风险,提升机组运行稳定性。三是影响厂用电率,给水温度升高使给水泵扬程需求略有增加,厂用电率上升0.08个百分点,但因机组热效率提升带来的节能效益远大于泵组能耗增加,整体效益仍为正。四是提升机组调峰能力,优化后的回热系统在变负荷工况下适应性更强,为机组参与深度调峰提供支撑。

4 回热系统给水温度优化的技术升级与行业适配

在电力行业加速迈向智能化、低碳化的当下,回热系统给水温度优化成为提升能效的关键环节,需借助技术升级实现全场景的精准适配。(1)技术升级上,数字孪生技术为回热系统带来变革。通过构建虚拟映射模型,能实时模拟系统运行状态,实现给水温度优化的动态调控,提前预判故障隐患,为运维决策提供科学依据。同时,融合物联网技术,全面采集设备从安装到报废的全生命周期数据,精准分析设备性能变化,为优化参数的动态修正提供坚实支撑。面对新能源高比例并网带来的机组深度调峰挑战,开发变负荷工况下的动态优化算法迫在眉睫。

该算法可快速响应负荷波动,及时调整给水温度,避免非额定工况下的效率损失,保障机组稳定高效运行^[4]。(2)行业适配方面,不同类型机组需差异化施策。燃煤机组应结合超低排放改造,协同优化给水温度与脱硝、脱硫系统运行参数,在降低污染物排放的同时提升能源利用效率,实现节能与环保效益的有机统一。燃气-蒸汽联合循环机组则要根据自身热力循环特性,针对性调整回热级数与抽汽参数。另外,建立跨机组的优化经验共享体系,总结不同容量、类型机组的优化规律,形成标准化优化指南,推动给水温度优化技术在全行业广泛应用,助力电力行业整体能效迈向新台阶。

结束语

回热系统给水温度优化对提升火电机组效率意义重大。通过多种优化方法及案例分析,明确了优化原理、方法与成效。随着电力行业智能化、低碳化发展,给水温度优化需结合数字孪生等技术升级,适配不同机组及行业需求。未来,应建立经验共享体系,形成标准化指南,推动该技术在全行业规模化应用,助力电力行业实现节能增效与绿色发展目标,为我国能源转型与可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]陈文智.火电厂热动系统的节能优化与减排策略[J].大众用电,2025,40(02):33-34.
- [2]薛康康.350 MW机组供热工况的能耗特性研究[J].节能,2022,41(11):61-63.
- [3]崔传涛,罗昆,雷刚,等.基于远程数据诊断的机组给水温度偏低故障分析[J].山东电力技术,2022,49(9):72-76.
- [4]郭小龙.煤电厂汽轮机回热系统的优化[J].机械管理开发,2022,37(2):169-170.