

燃煤机组汽轮机抽汽供热系统优化及经济性分析

刘天岳

包头东华热电有限公司 内蒙古 包头 014040

摘要：燃煤机组汽轮机抽汽供热是实现能源梯级利用、提升机组综合效益的重要方式，但其运行过程中存在抽汽参数不匹配、系统稳定性不足、能量损耗明显及供热与发电协调困难等问题。本文围绕系统构成与工作原理，系统梳理现存问题，从抽汽参数、系统流程、设备运行及供发电协调四个维度提出优化方向与方法，构建涵盖核心指标、成本构成及分析方法的经济性分析框架，通过科学优化与精准核算，提升系统能源利用效率与运行效益，为燃煤机组抽汽供热系统的高效、经济运行提供支撑。

关键词：燃煤机组；汽轮机；抽汽供热；系统优化；经济性分析

引言：随着能源结构转型推进与节能环保要求提升，燃煤机组需在保障供电稳定的同时，提升供热效能与经济性。汽轮机抽汽供热系统作为燃煤机组的重要组成部分，承担着能源转化与供需匹配的关键作用，其运行状态直接影响机组能源利用效率与综合效益。当前，多数燃煤机组抽汽供热系统仍存在诸多运行短板，制约系统高效运行与效益提升。基于此，开展燃煤机组汽轮机抽汽供热系统优化及经济性分析，梳理问题、提出优化方法、构建分析框架，具有重要的工程实践意义。

1 燃煤机组汽轮机抽汽供热系统构成与工作原理

1.1 系统核心组成部分

燃煤机组汽轮机抽汽供热系统核心组成围绕汽轮机抽汽接口、抽汽管路、换热设备及辅助调控装置展开。汽轮机抽汽接口对应高压缸、中压缸、低压缸不同做功段设置，是抽取蒸汽的核心节点^[1]。抽汽管路采用无缝钢管搭建，配套保温结构以减少热损失，同时设置抽汽主汽门、逆止门及旁路管路，保障蒸汽输送的安全性与可控性。换热设备以表面式加热器为主，部分系统配套混合式除氧器，表面式加热器通过金属管壁实现蒸汽与给水的间接换热，避免工质污染，除氧器则兼具加热与除氧功能，衔接低压抽汽系统与锅炉给水泵。辅助调控装置包含疏水扩容器、疏水泵及各类调节阀，用于控制疏水流量、维持设备水位，确保系统各部件协同运行。

1.2 抽汽供热工作流程

抽汽供热工作流程以蒸汽能量梯级利用为核心，遵循热力学能量守恒定律。汽轮机运行过程中，从不同做功段抽取相应参数的蒸汽，经抽汽管路输送至加热器。蒸汽进入加热器壳体后，通过管壁将热量传递给管内流动的给水或热网循环水，释放热量后冷凝形成疏水。疏水经疏水管道收集，通过逐级自流或疏水泵输送至下一

级加热器，最终汇入凝汽器实现工质回收。加热后的给水或热网循环水，一部分返回锅炉提升锅炉效率，另一部分输送至供热管网满足外部供热需求。抽汽过程中，抽汽主汽门根据负荷变化调节蒸汽流量，逆止门防止蒸汽倒灌，保障汽轮机运行安全，整个流程实现蒸汽能量的高效转化与回收。

1.3 系统运行特性

燃煤机组汽轮机抽汽供热系统运行特性与汽轮机负荷、抽汽参数及换热效率密切相关。系统运行状态随汽轮机负荷变化动态调整，负荷波动会直接影响抽汽压力与温度，进而改变供热能力。抽汽参数的稳定性决定换热效果，高压抽汽温度与压力较高，主要用于加热高温给水，低压抽汽则适配低温换热需求。系统运行过程中需维持加热器端差在合理范围，端差异常会导致换热效率下降或汽轮机做功损失。此外，系统运行受换热设备状态影响显著，换热管结垢、堵塞会增加热阻，疏水泵故障或调节阀失灵会导致水位异常，进而影响系统整体运行稳定性，需通过实时监控关键参数保障系统高效运行。

2 燃煤机组汽轮机抽汽供热系统现存问题

2.1 抽汽参数匹配问题

抽汽参数匹配问题集中表现为抽汽压力、温度与供热需求、设备运行工况的适配度不足。抽汽压力设定多以设计工况为基准进行标定，实际运行中机组负荷的动态波动，极易导致抽汽压力偏离预设最优区间^[2]。过高的抽汽压力会造成蒸汽做功潜力未能充分释放，徒增汽轮机内效率损耗；过低的抽汽压力则无法满足换热环节所需温度阈值，直接影响供热品质达标。抽汽温度若与换热设备额定参数脱节，会加剧换热管热应力作用，缩短设备服役寿命，同时降低换热环节的能量传递效率。抽汽参数调节存在显著滞后性，难以快速响应供热负荷的

动态变化,导致参数偏差持续存在,进一步加剧匹配失衡,弱化系统整体运行效能。

2.2 系统运行稳定性问题

系统运行稳定性受设备状态、参数波动及调控精度等多重因素影响。抽汽管路阀门长期处于高频动作状态,易发生磨损、卡涩等故障,导致蒸汽流量调节精度下降,引发管路压力异常波动,严重时会造成阀门泄漏,打破系统原有运行平衡。加热器水位调控难度较大,疏水排放不畅易引发水位异常,过高水位会导致蒸汽带水进入汽轮机,过低水位则会造成加热器干烧,两种情况均会对系统安全运行形成威胁。辅助设备故障频发,疏水泵启停异常、调节阀动作失灵等问题,会直接导致系统运行中断或工况紊乱,削弱系统运行的连续性与可靠性,影响机组稳定出力。

2.3 能量损耗相关问题

能量损耗主要集中在抽汽输送、换热过程及疏水回收三个关键环节。抽汽管路保温层长期运行易出现老化、破损,导致大量热量散失,既增加蒸汽热损失,又会降低蒸汽到达换热设备时的参数水平,影响换热效果。加热器换热管易因水质处理不彻底产生结垢、积灰现象,增大换热热阻,降低热量传递效率,使得蒸汽携带的热量无法充分利用,部分热量随疏水排放白白流失。疏水回收系统设计存在短板,疏水逐级自流过程中伴随明显压力损失,部分高温疏水直接排入凝汽器,造成高品质热能浪费,进一步增加系统能量损耗,降低机组整体能源利用效率。

2.4 供热与发电协调问题

供热与发电协调问题根源在于两者对汽轮机做功能力的竞争关系。供热需求提升时,需抽取更多蒸汽投入换热环节,导致汽轮机内用于做功的蒸汽量减少,发电功率随之下降,难以兼顾供热质量与发电负荷的双重要求。供热负荷呈现显著的季节性、时段性波动,冬季供热需求激增,而发电负荷需严格遵循电网调度标准,两者波动规律存在明显差异,调节方向易产生冲突。现有协调调控机制不够完善,无法根据实时负荷变化精准分配蒸汽量,导致系统在供热高峰时段发电效率大幅下滑,在发电高峰时段供热能力不足,形成相互制约的运行局面,制约机组整体运行效益提升。

3 燃煤机组汽轮机抽汽供热系统优化方向与方法

3.1 抽汽参数优化

抽汽参数优化以适配供热需求与机组运行工况为核心,通过精准调控抽汽压力与温度,提升参数匹配度^[3]。结合机组负荷动态变化规律,采用动态参数调节策略,

摒弃固定参数设定模式,根据供热负荷波动实时调整抽汽压力区间,避免压力过高造成的做功浪费和压力过低引发的供热不足。针对抽汽温度偏差问题,优化温度调控逻辑,联动换热设备运行状态,合理匹配抽汽温度与换热设备额定参数,减轻换热管热应力,延长设备服役周期。引入精准调控算法,缩短参数调节滞后时间,实现抽汽参数与供热负荷、机组工况的动态适配,提升参数匹配精度,减少能量损耗,强化系统运行效能。

3.2 系统流程优化

系统流程优化聚焦蒸汽输送、换热及疏水回收全流程,通过优化流程设计减少能量损失,提升系统运行效率。优化抽汽管路布局,缩短蒸汽输送路径,更换高性能保温材料,修复破损保温层,降低蒸汽输送过程中的热量散失。改进换热流程设计,合理规划加热器串联、并联方式,优化换热介质流动路径,提升换热均匀性,减少换热死角,提高热量传递效率。完善疏水回收流程,优化疏水逐级自流路径,增设高效疏水回收装置,避免高温疏水直接排入凝汽器,实现疏水热量的充分回收利用,降低能量浪费,同时减少工质损耗,提升系统能源利用水平。

3.3 设备运行优化

设备运行优化围绕核心设备与辅助设备展开,通过状态监控与运维优化,提升设备运行稳定性和可靠性。对抽汽管路阀门进行定期检修与维护,及时处理磨损、卡涩问题,更换高性能密封部件,提升阀门调节精度,减少泄漏风险,保障蒸汽流量稳定调控。优化加热器运行管理,定期清理换热管结垢、积灰,改善水质处理工艺,减少换热管腐蚀与结垢,降低换热热阻,维持加热器高效运行状态。加强辅助设备运维管控,优化疏水泵、调节阀运行参数,建立设备状态实时监控体系,及时发现并处理设备异常,避免故障扩大,保障系统连续稳定运行,减少非计划停机损失。

3.4 供热与发电协调优化

供热与发电协调优化核心是平衡两者竞争关系,通过完善调控机制实现双向适配。建立负荷动态监测体系,实时捕捉供热负荷与发电负荷波动规律,结合电网调度要求与供热需求,构建精准的蒸汽量分配模型,实现蒸汽资源的合理调配。优化协调调控逻辑,摒弃单一调控导向,兼顾供热质量与发电效率,在供热高峰时段合理分配蒸汽量,避免发电效率过度下滑;在发电高峰时段优化抽汽策略,保障基础供热需求^[4]。引入智能调控技术,提升协调调控响应速度,实现供热与发电负荷的动态平衡,破解相互制约难题,提升机组整体运行效

益,实现能源高效利用与多重效益共赢。

4 燃煤机组汽轮机抽汽供热系统经济性分析框架

4.1 经济性分析核心指标

经济性分析核心指标需围绕系统能源利用效率与综合效益构建,选取贴合抽汽供热系统运行特征、能够精准反映经济性能的指标体系。能源利用效率指标聚焦蒸汽能量转化与回收效果,涵盖供热煤耗、发电煤耗及综合厂用电率,其中供热煤耗衡量单位供热热量消耗的标准煤量,发电煤耗反映单位发电量的燃料消耗水平,综合厂用电率体现系统辅助设备能耗占比。效益类指标包括供热单价、发电单价及单位热量经济效益,供热单价结合供热成本与供热总量核算,发电单价依据发电成本与发电量确定,单位热量经济效益用于衡量蒸汽热量转化为经济收益的能力。指标选取需兼顾科学性与实用性,能够全面反映系统优化前后的经济性能变化,为经济性分析提供可靠依据。

4.2 成本构成分析

成本构成分析需梳理系统全生命周期内的各项成本支出,按成本性质分类拆解,明确各类成本的形成机制与影响因素。燃料成本是最主要的成本支出,源于燃煤消耗,受煤价波动、机组效率及抽汽量变化影响,抽汽量增加会导致燃料消耗上升,进而推高燃料成本。设备成本包括设备购置、安装及维护费用,设备购置与安装成本属于一次性投入,维护费用则为周期性支出,与设备运行时长、维护频率及设备状态密切相关。运行成本涵盖水资源消耗、电能消耗及人工成本,水资源消耗对应锅炉补水与换热介质补充,电能消耗来自辅助设备运行,人工成本则与运维人员配置相关。此外,成本构成还包括管路损耗、工质补充等间接成本,需全面纳入分析范围,确保成本核算的完整性与准确性。

4.3 经济性分析方法

经济性分析方法需结合系统运行特征,选取适配的分析模型,确保分析结果科学可靠。静态分析方法聚焦

短期经济效益,通过核算成本与收益的差值,计算投资回收期、投资收益率等指标,直观反映系统当前的经济可行性,操作简便且计算量较小,适用于初步经济性评估。动态分析方法考虑资金时间价值,引入折现率将未来收益与成本折算为现值,规避静态分析忽略资金时间价值的弊端,更贴合实际投资场景,适用于长期经济性评估^[5]。对比分析方法用于优化方案与原有方案的经济性能对比,通过核算两种方案的成本、收益及核心指标,明确优化方案的经济优势,为方案选型提供依据。各类分析方法需合理搭配使用,结合分析需求灵活选用,确保经济性分析全面、精准,为系统优化决策提供可靠支撑。

结束语

抽汽供热系统的优化是一项涉及参数调控、流程再造、设备运维与供发电协调的系统工程,经济性分析则为方案比选与决策落地提供了量化依据。通过动态匹配抽汽参数、缩短蒸汽输送路径、强化设备状态管控以及完善智能协调机制,系统能量利用效率与运行稳定性均可获得显著改善。经济性评价框架中煤耗指标、成本分解与动静态分析方法的综合运用,使优化效果得以精准衡量。多维度协同推进,燃煤机组抽汽供热系统有望实现能源利用与经济效益的同步提升。

参考文献

- [1]单洪基.典型燃煤电站供热抽汽系统优化改造及性能分析[J].自动化应用,2024,65(18):15-18.
- [2]冷艳宝.智能调度下汽轮机供热系统的节能优化分析[J].热处理技术与装备,2026,47(2):21-23,36.
- [3]廖平.汽轮机抽汽供热系统热负荷预测方法[J].电工技术,2025(24):166-168.
- [4]叶青.适于汽轮机多供热方式灵活运行的循环水泵优化改造方案[J].汽轮机技术,2021,63(2):123-126.
- [5]罗方,宋风强,侯明军,等.超临界再热型双抽背压式汽轮机运行策略[J].东方电气评论,2021,35(1):40-44.