

发电厂热力系统运行优化管理研究

冀宇 王琪 关志成

北方联合电力有限责任公司达拉特发电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 本文围绕发电厂热力系统运行优化管理展开研究,先阐述系统组成、能效评价指标及典型能效损失环节等基础理论,再分析当前系统运行“技术升级与老旧短板并存”的现状及设备、操作、管理层面的核心问题。基于此,从核心参数调控、流程结构改造、智能化技术应用三方面提出优化技术策略,构建含精细化流程、关键机制、全生命周期管理的优化体系。研究旨在为提升热力系统能效、降低能耗、保障稳定运行提供理论支撑与实践路径,助力电厂实现节能增效与高质量发展。

关键词: 发电厂热力系统;运行优化;能效分析

引言: 随着能源转型推进与环保政策收紧,发电厂面临节能降耗与高效运行的双重挑战,热力系统作为电能生产核心,其运行质量直接决定电厂经济性与环保性。当前部分电厂仍存在设备老化、参数调控不精准、管理机制不完善等问题,导致能效偏低、损耗突出。因此,开展热力系统运行优化管理研究极具现实意义。本文通过梳理基础理论、剖析运行现状,探索适配的技术策略与管理体系,为解决行业痛点、提升系统运行水平提供可行方案,助力能源行业绿色低碳转型。

1 发电厂热力系统基础理论

1.1 热力系统组成与运行原理

发电厂热力系统是保障电能生产的核心载体,由锅炉、汽轮机、凝汽器、加热器、给水泵等核心设备及连接管路、阀门、测控装置构成,形成闭环能量转换体系。其运行核心原理是基于热力学第一定律,实现能量的逐级转换与传递:燃料在锅炉内燃烧释放热能,将给水加热为高温高压蒸汽,蒸汽进入汽轮机膨胀做功,驱动发电机转化为电能;做功后的乏汽经凝汽器冷却为凝结水,再通过低压加热器、除氧器、高压加热器逐级加热,由给水泵送回锅炉,完成循环^[1]。系统运行需保证各设备协同匹配,维持蒸汽参数、水位、压力等指标稳定,同时通过辅助系统调控,减少能量损耗,确保循环高效可持续。

1.2 能效评价指标体系

发电厂热力系统能效评价指标体系是衡量运行水平、定位优化方向的核心依据,涵盖综合性指标、设备级指标及过程性指标三大类。综合性指标以厂用电率、发电煤耗为核心,前者反映电力生产中自耗电能占比,后者体现单位发电量的燃料消耗,直接决定电厂经济性;设备级指标针对核心设备设计,如锅炉效率(衡量燃料热能利用

率)、汽轮机相对内效率(反映蒸汽做功能力转化率)、凝汽器真空度(影响乏汽余热回收效果);过程性指标包括给水温度、蒸汽压力偏差、加热器端差等,用于监控能量传递过程中的损耗情况。该体系需遵循科学性、实用性、可量化原则,通过多指标联动分析,全面反映系统能量转换效率,为能效诊断、优化决策提供数据支撑,同时适配不同机组类型(火电、核电、热电联产)的运行特点,确保评价结果精准可靠。

1.3 典型能效损失环节

发电厂热力系统能效损失主要集中在能量转换、传递及排放环节,且各环节损失相互关联、叠加影响。锅炉系统是主要损失源头之一,包括排烟热损失(高温烟气带走热能,占锅炉总损失60%以上)、不完全燃烧损失(燃料未充分燃烧导致能量浪费)、散热损失及灰渣物理热损失;汽轮机系统损失体现在乏汽余热损失(凝汽器冷却过程中乏汽热能直接排放至环境)、节流损失(阀门调节导致蒸汽压力损耗)、内漏损失(密封不严造成蒸汽泄漏);热力循环过程中,加热器端差过大、除氧器效率不足会导致给水加热不充分,增加锅炉能耗;此外,辅助设备能耗过高(如给水泵、风机耗电超标)、管道保温不佳造成的散热损失,以及废水、废气排放携带的热能损失,也会降低系统整体能效。这些损失环节并非孤立存在,需通过系统性诊断,精准定位核心损失点,为后续优化提供靶向方向。

2 发电厂热力系统运行现状及问题分析

2.1 热力系统运行现状概述

当前我国发电厂热力系统运行呈现“技术升级与老旧短板并存”的格局。随着能源转型与环保政策收紧,新建机组普遍采用超临界、超超临界技术,配备高效除尘、脱硫、脱硝设备,热力系统自动化水平显著提升,

发电煤耗、厂用电率等核心指标持续优化，部分先进机组发电煤耗已降至300g/kWh以下。但存量老旧机组占比仍较高，这类机组多为亚临界参数，设备老化、技术落后，运行效率偏低，且环保改造后系统兼容性不足，易出现参数波动问题。从运行模式看，火电企业面临“调峰压力增大”的挑战，热力系统需频繁在高负荷、低负荷之间切换，导致设备协同性下降，能效波动明显^[2]。同时，不同电厂管理水平差异较大，部分电厂缺乏完善的能效监控体系，对运行数据的分析利用不足，难以实现系统最优运行状态。

2.2 运行与管理核心问题剖析

发电厂热力系统运行与管理存在的核心问题的可归纳为设备、操作、管理三个层面。设备层面，老旧机组核心设备（锅炉、汽轮机、加热器）老化磨损严重，密封性能下降、换热效率降低，易出现故障停机，且设备改造与系统整体适配性差，单纯更换设备难以显著提升能效；部分新设备因安装调试不到位，运行参数偏离设计值，未能发挥最优性能。操作层面，运行人员专业能力参差不齐，对变负荷工况下的参数调控缺乏精准经验，易出现手动操作偏差，导致系统运行不稳定、能效损失增加；自动化控制系统的功能未充分利用，部分环节仍依赖人工干预，响应滞后。管理层面，缺乏全流程精细化管理机制，设备维护多采用“事后维修”模式，预防性维护不足；能效考核指标单一，未形成覆盖全员、全流程的考核体系，员工节能积极性不足。

3 发电厂热力系统运行优化技术策略

3.1 核心运行参数优化

核心运行参数优化是提升热力系统能效的基础手段，需基于机组设计特性与运行工况，实现关键参数的精准调控。蒸汽参数优化方面，在设备允许范围内，提高锅炉出口主蒸汽压力、温度，降低汽轮机排汽压力，可显著提升蒸汽做功效率，通常主蒸汽温度每升高10℃，发电煤耗可降低1.5~2g/kWh；给水参数优化聚焦于控制给水温度与水质，通过调整加热器运行方式，缩小加热器端差（控制在2~5℃范围内），提升给水加热效率，同时严格控制给水硬度、含氧量，减少设备结垢与腐蚀，保障换热效果。针对变负荷工况，优化燃烧参数（如过量空气系数、煤粉细度、燃烧器角度），确保锅炉燃烧稳定高效，避免不完全燃烧损失；优化凝汽器真空度，通过清洁换热管、调整循环水流量，维持真空度在设计最优区间，最大限度回收乏汽余热，实现参数协同优化^[3]。

3.2 热力系统流程与结构优化

热力系统流程与结构优化旨在通过重构能量传递路径、改造设备布局，减少能量损耗。流程优化方面，采用“回热系统优化”技术，调整加热器串联/并联方式，增设低压加热器或优化除氧器运行流程，提高给水回热效率；针对循环水系统，采用变频调速技术调整循环水泵转速，适配机组负荷变化，降低辅助设备能耗；优化疏水回收流程，将汽轮机抽汽疏水、锅炉排污疏水回收至除氧器或加热器，减少热能与水资源浪费。结构优化方面，对老旧机组进行设备升级改造，如更换高效燃烧器、升级汽轮机通流部分、采用高效凝汽器，提升设备核心性能；针对热电联产机组，优化热电解耦流程，通过蓄热装置调节热能输出，实现电能与热能的协同高效供应；合理布局管道系统，减少管道长度与弯头数量，加强管道保温，降低散热损失与阻力损失。

3.3 智能化优化技术应用

智能化技术为热力系统优化提供了精准高效的支撑，通过数据采集、分析与智能调控，实现系统全工况最优运行。基于物联网技术构建全要素数据采集体系，实时监测锅炉、汽轮机、加热器等设备的运行参数、能耗数据及环境指标，形成海量数据资源库；利用大数据与人工智能算法，建立能效预测模型、故障诊断模型，精准识别能效损失点与设备潜在故障，提前预警并给出调控建议。引入智能控制系统，如分散控制系统（DCS）升级、数字孪生技术应用，构建热力系统虚拟仿真模型，模拟不同运行工况下的系统状态，优化调控策略；采用自动燃烧控制系统（ACC）、汽温自动控制系统（ATC），实现核心参数的闭环自动调控，减少人工干预偏差。通过工业互联网平台实现数据共享与远程监控，统筹多机组运行调度，提升整体运行优化水平。

4 发电厂热力系统运行优化管理体系构建

4.1 精细化管理流程设计

精细化管理流程设计需贯穿热力系统运行全流程，实现“事前规划、事中管控、事后复盘”的闭环管理。事前规划阶段，结合机组特性与能效目标，制定年度、月度运行优化计划，明确各环节参数控制标准、设备维护周期及节能指标，分解至各岗位；事中管控阶段，建立实时监控与考核机制，通过智能化监控平台跟踪运行参数、能耗数据，对偏离标准的情况及时预警，督促岗位人员快速调整；强化现场操作规范，制定标准化作业流程（SOP），规范参数调控、设备巡检、故障处理等操作，避免人为失误。事后复盘阶段，每日、每周对运行数据进行汇总分析，对比能效指标与优化目标的差距，排查管理漏洞与技术短板；定期开展优化效果评估，总

结成功经验与不足，动态调整管理流程与优化策略，持续提升管理精细化水平。

4.2 关键管理机制建设

关键管理机制建设是保障优化措施落地见效的核心支撑。首先，构建分层级能效考核机制，将发电煤耗、厂用电率、设备效率等核心指标按部门、班组、个人进行分解，设定差异化考核权重，考核结果与绩效薪酬直接挂钩，同时设立节能专项奖励基金，对提出创新优化方案或实现重大节能突破的团队给予物质激励。其次，推建设备全周期维护机制，突破传统事后维修模式，基于设备运行大数据（如振动频谱、温度趋势）与故障预测模型，制定预防性维护计划，明确设备巡检周期（如关键辅机每日巡检）、清洁标准（如锅炉受热面吹灰频率）及大修技术规范，通过主动维护延长设备寿命20%以上。另外，完善技术创新与推广机制，搭建员工创新平台，鼓励参与节能技术研发（如余热回收装置改进），与科研院所共建联合实验室引入先进技术（如AI燃烧优化算法），对经验证成熟的优化方案（如低温省煤器改造）在全厂规模化推广；最后，建立跨部门沟通协调机制，通过定期联席会议与数字化协作平台（如企业微信工作流），打破信息壁垒，形成优化措施落地合力，同时制定应急处预案，确保突发故障时系统快速恢复运行。

4.3 全生命周期优化管理

全生命周期优化管理以热力系统全流程为对象，实现各阶段协同增效。规划设计阶段，需结合电厂定位（如调峰电厂、基荷电厂）、负荷特性（如日负荷波动率）及环保要求（如超低排放标准），选用高效设备（如超临界汽轮机、低氮燃烧器）与优化工艺（如梯级利用余热），通过仿真模拟优化系统布局（如管道走向减少阻力）与参数设计（如主蒸汽参数匹配机组特性），从源头降低能耗5%-10%。建设阶段，严格把控设备采购质量，规范安装调试流程（如汽轮机轴系对中精度控制），同步完成智能化监控系统部署（如DCS系统覆盖全厂数据采集点），确

保系统投运即具备数据驱动优化能力^[4]。运行阶段，持续开展参数优化（如通过热力试验调整给水温度）、流程优化与智能化升级（如引入AI算法实现燃烧自动调整），动态适配负荷变化与政策要求（如碳交易市场下的排放约束）。维护阶段，加强设备状态监测（如振动、温度在线监测），实施预防性维护（如根据劣化趋势提前更换轴承），及时处理老化问题（如锅炉水冷壁防磨防爆检查），保障系统长期稳定运行。退役处置阶段，科学开展设备拆解（如分类回收金属材料）、再利用（如报废阀门修复后用于备用系统），评估全生命周期能效（如单位发电量能耗曲线）与环境影响（如碳排放总量），总结经验反哺新建项目，形成“设计-建设-运行-维护-退役”的全周期优化闭环。

结束语

本文构建的热力系统运行优化技术策略与管理体系统，为电厂解决能效偏低、运行不规范等问题提供了完整方案。技术与管理的协同发力，既能精准破解设备、操作、流程层面的痛点，又能从全生命周期维度筑牢节能高效运行根基。后续可结合新型能源技术发展，深化智能化优化手段的应用，进一步提升方案适配性。推动热力系统优化落地，对电厂降低能耗、提升效益，助力能源行业绿色转型具有重要意义，可为行业高质量发展提供参考与借鉴。

参考文献

- [1]谢敏威.发电厂热力系统运行优化管理研究[J].电力系统装备, 2025(2): 127-128,172.
- [2]李永军,李建荣.发电厂供热系统管损分析及优化策略[J].应用能源技术, 2022, (09):31-37.
- [3]吴啸川.火电厂热力系统优化与节能改造分析[J].低碳世界, 2022, 12(03): 20-22.
- [4]贾彦伏.火力发电厂的热力系统节能措施优化[J].电子技术, 2021, 50(08): 254-255.