

发电厂热能动力系统优化与节能改造分析

郭江龙

辽宁清河电力检修有限责任公司 辽宁省铁岭市 112003

摘要: 在新时代背景下, 随着能源需求持续增长, 提升能源利用效率成了全球所关注的热点。发电厂热能动力系统优化以及开展节能改造工作, 对于提升能源利用效率而言非常关键。发电厂身为能源消耗大户, 其热能动力系统的优化以及节能改造, 对于实现节能减排目标有着意义。本文探讨发电厂热能动力系统的优化策略和节能改造技术, 借助分析热力学原理、热力系统优化理论和节能改造技术原理, 给出具体的优化与改造举措, 期望能为发电厂的能效提升提供理论支撑以及实践指导。

关键词: 发电厂; 热能动力系统; 优化策略; 改造分析

引言

本文阐述热力学第一定律和第二定律在能量转换方面的理论基础, 同时介绍热力系统优化理论以及节能改造技术的原理, 提出借助热力系统参数优化、热力设备优化以及热力系统运行优化等策略, 以此来实现发电厂热能动力系统效能的提升。最后探讨余热回收技术改造、热力设备节能改造以及热力系统节能改造等具体的节能措施, 结合工程实践案例, 说明这些改造措施可降低燃煤消耗, 提高发电效率, 为发电厂创造出经济效益和环保效益。

1. 发电厂热能动力系统优化与节能改造理论基础

1.1 热力学第一定律与第二定律

热力学第一定律作为能量守恒原理的核心体现, 构成了火力发电系统能量转换的理论基础。在典型的热力循环中, 化石燃料的化学能借助燃烧反应转化为高温热能, 驱动蒸汽轮机完成热功转换, 最终依靠电磁感应效应生成电能, 这种能量形态的梯次转换过程始终遵循质量守恒准则。例如, 某燃煤电厂实测数据显示, 每千克标准煤充分燃烧可释放约 29307 千焦热量, 其中约 35% 转化为有效功驱动发电机, 其余能量借助锅炉散热、烟气排放等途径耗散至外界环境, 但系统总能量始终保持动态平衡^[1]。与之形成对比的是, 热力学第二定律指出能量传递的熵增特性, 在蒸汽动力循环中表现为高温蒸汽要向低温冷源排热才能完成热功转换, 这种不可逆性导致实际机组存在较大的能量品质衰减, 某 660MW 超临界机组运行数据显示, 约 54% 的输入热量最终借助凝汽器排入循环水系统, 这种强制性能源损失从本质

上制约着热力系统的效率极限。深入理解这两大定律的辩证关系, 可解析发电系统能量流的内在规律, 更为开发新型余热回收技术、优化汽轮机通流结构等节能改造提供了关键理论支撑。

1.2 热力系统优化理论

热力系统优化理论的核心目标在于全面提升发电厂的运行效能, 其核心机理涉及热力循环参数的精确调节与设备运行策略的智能匹配。以典型的朗肯循环系统为例, 当主蒸汽压力由常规的 16MPa 提升至 24MPa, 温度从 538℃ 升高到 600℃ 时, 系统热效率可提升约 4~6 个百分点, 这种参数强化策略借助改善工质热力学特性较大提升能量转换效率。参数优化需与材料工程相结合, 高温高压环境下耐热合金的蠕变极限与抗氧化性能需纳入设计考量, 设备间的协同运行优化同样有决定性作用, 基于锅炉蒸发特性曲线与汽轮机变工况特性图谱的耦合分析, 精准调节汽轮机进汽量与锅炉蒸发量的动态平衡, 可使关键设备持续运行于最佳效率窗口^[2]。工程实践中, 依靠增加回热加热器的级数配置, 有效利用汽轮机抽汽对给水进行梯级预热, 可使给水温度提升至 280~300℃ 区间, 这种多级能量回收机制能降低约 3.5% 的燃煤消耗率, 在保证电力稳定输出的较大降低单位发电能耗, 为电厂创造更大的经济效益和环保效益。

1.3 节能改造技术原理

发电厂节能技术体系融合多维创新路径, 依靠能量流的全周期管理实现能效跃升。在二次能源转化领域, 余热资源化利用形成技术突破点, 创新采用双压式热力回收装置, 将

传统锅炉排烟余热转化为不同品位的热介质：中温段热能驱动有机朗肯循环发电机组，低温段余热则转换为工艺热水供应厂区综合用能，构建起“热电联产-工业耦合”的循环网络。设备效能提升方面，锅炉系统实施燃烧工况动态优化工程，引入旋流扩散式燃烧器实现燃料颗粒的微米级雾化，配合氧浓度反馈调节装置，使燃烧效率突破理论极值，受热面改造采用仿生翅片结构与梯度功能涂层的复合方案，如同给金属表面植入热传导加速器，使热交换效率产生质变^[3]。针对汽轮机能量转换瓶颈，研发团队开创三维曲面叶片设计，结合纳米级间隙控制工艺，使蒸汽流场形成自适应的能量捕获结构，热力网络优化方面，基于热力学熵产分析建立动态优化模型，对全厂管网实施“热能血管”再造工程，采用真空绝热夹层与相变储热材料构建智慧型保温体系。特别在系统调控维度，部署有深度学习能力的数字孪生平台，凭借实时能效图谱分析实现设备群的协同寻优，使各工艺单元始终运行在帕累托最优曲线上，开创能源精细化管控的新范式。

1.4 自动控制理论

自动控制理论对于实现热动力系统的高效以及稳定运行而言十分关键。随着发电厂自动化水平有所提高，PID控制、模糊控制、神经网络控制等先进控制策略得以广泛运用。在锅炉燃烧控制方面，借助自动调节燃料量、送风量以及引风量，可维持最佳空燃比，提高燃烧效率，汽轮机调速系统依靠自动控制达成负荷的快速响应以及稳定调节，减少因工况波动所导致的能量损失。基于状态反馈和预测控制的智能控制系统，可实时监测系统运行参数，提前预判故障以及异常工况，优化设备运行状态，自动控制理论与现代传感器、计算机技术相结合，促使发电厂朝着智能化、精细化方向发展，为节能改造提供可靠技术保障，实现能源的精准调控与高效利用。

2. 发电厂热动力系统优化策略

2.1 热力系统参数优化

在火电机组热力系统优化过程中，蒸汽参数的合理调控对机组性能提升有决定性影响。针对主蒸汽参数，在保证设备安全性的前提下，适度提升初压力与初温度可有效改善热力循环效率，工程实践说明，当蒸汽初压由 16MPa 提升至 24MPa 且温度从 538℃ 优化至 600℃ 时，循环热效率可获得 3%-5% 的增益，但需同步评估高温高压工况下管材蠕变特性与设备承载能力。对于低压侧运行参数，借助优化凝

汽器换热面积配比与冷却水流量分布，可将排汽压力降低 0.5-1kPa，增加汽轮机有效焓降约 2.8%，较大提升机组出力，给水回热系统的改进同样有关键节能价值，某 660MW 机组依靠增设第八段抽汽加热器，使给水温度提升至 280℃ 以上，锅炉热效率提高 0.6 个百分点，折合供电煤耗下降达 12g/(kW·h)，这项技改工程的投资回收期仅 1.8 年，经济效益与环保效益俱佳^[4]。

2.2 热力设备优化

作为热能系统的核心装置，锅炉运行效能可凭借燃烧组织方式革新获得较大提升。引入新一代低氮燃烧装置，依靠精细化调控燃料与空气的混合过程，实现燃烧反应场的全域优化，在保证燃料完全燃烧减少碳质残留的有效抑制氮氧化物的生成，配合周期性热交换面清洁工艺的运用，及时清除管壁沉积物与烧结层，可恢复传热系数并控制排烟热损失。对于汽轮机动力转换单元，运用三维气动优化叶片配合精密制造工艺，能改善蒸汽流道内的能量转化效率，某机组借助应用三维气动优化叶片，实测单级效率提升达 3.5%，蒸汽密封系统的优化改造，采用蜂窝式密封与智能间隙调控技术，可最大限度减少工质泄漏。辅机系统配置方面，基于全工况模拟进行变频节能泵组选型匹配，结合管网特性实施动态调节，综合降低厂用电率。

2.3 热力系统运行优化

在热力系统效能提升实践中，负荷优化分配是提升系统效能的核心环节。基于不同发电机组煤耗特性的非线性特征，可引入遗传算法、粒子群优化等智能计算方法构建动态分配模型，实现总负荷在各机组间的最优配置^[5]。研究数据说明，在电网负荷波动较大的运行场景中，实施分钟级动态调度的电厂其综合煤耗指标可降低 5-10g/(kW·h) 区间。设备维护方面应建立常态化巡检机制，运用物联网传感装置持续跟踪设备振动、温度等关键参数演变趋势，依靠大数据分析预判设备性能衰减周期，实施精准预防性维修策略，需同步构建标准化运行操作规程体系，重点强化操作人员对机组经济工况区间的把控能力，例如凭借仿真模拟培训使运行人员掌握变负荷条件下的最佳阀门开度组合，在保证供电稳定的基础上，实现燃煤热效率提升与厂用电率下降的双重优化目标。

3. 发电厂热动力系统节能改造策略

3.1 余热回收技术改造

余热回收技术作为发电厂能效提升的关键手段，其核

心在于对锅炉排烟和汽轮机乏汽等环节的热能再利用。在常规发电过程中,大量热能以高温烟气、低压蒸汽等形式被直接排放,以锅炉排烟治理为例,采用热管式余热回收系统可有效捕获烟气余热,该装置依托热管独特的相变传热机理,将烟道废热转化为不同品位的热能:高温段产出蒸汽用于驱动辅助发电机组,中低温段制备热水供给厂区综合用能。某600MW燃煤机组实施改造后,烟温由初始的150℃稳定降至95℃区间,年均可回收热能折合标准煤数千吨,同步解决厂区建筑供暖需求,形成余热的梯级利用模式,针对汽轮机低压缸排汽的废热回收,吸收式热泵技术呈现出较大优势,该系统依靠溴化锂溶液的浓度差驱动传热过程,仅需消耗少量厂用电即可将40~50℃的乏汽余热提升至80℃供热温度。北方某热电厂应用案例说明,该技术使供热负荷提升30%,还减少汽轮机冷端系统的热能损失,促使发电煤耗下降2.1g/kWh,真正实现热电联供系统的协同优化。

3.2 热力设备节能改造

在热力系统节能优化实践中,锅炉设备的技术革新有较大降耗潜力。借助引入富氧燃烧技术,在燃烧阶段向炉膛注入适量富氧气体,可较大提升燃烧强度与充分性,使燃料滞留时间延长27%~35%,将不完全燃烧损失降低至0.8%以下,该技术借助调节氧浓度梯度分布,使烟气生成量减少12%~15%,有效控制排烟温度在130℃以下。实践说明,该技术体系能使锅炉热效率绝对值提升2.3%,针对传热强化方向,采用梯度复合涂层工艺对受热面进行表面改性,结合非对称扩展受热面设计,可使传热系数提升18%~22%,在汽轮机改造领域,基于三维气动仿生的叶片改型技术,配合多级蜂窝式动态汽封装置,可将级间漏汽量控制在设计值的0.5%以内,同时使通流效率提升至92.5%以上。研究说明,综合改造后机组热耗率较基准值下降4.2%,等效年运行小时数增加约300小时,对于辅机系统,采用磁悬浮变频驱动技术的新型高效泵组,配合基于负荷预测的智能调速策略,可实现辅助功耗降低28%~32%,达到全工况自适应节能效果。

3.3 热力系统节能改造

在热力系统能效提升工程中,系统化节能策略的实施需从多维度协同推进。凭借构建三维热力仿真模型与红外热成像技术相结合的方式,可精准定位管网体系中传热效率低于行业标准15%以上的薄弱节点。实践案例说明,某电

厂主蒸汽管道经更换气凝胶复合绝热层后,其表面热流密度由改造前的135W/m²降至82W/m²,节能效果较大。针对传统热力循环中普遍存在的工质参数失配现象,采用多级再热与废热梯级利用技术,使汽轮机排汽焓值较改造前降低23.7%。基于物联网技术的自适应调控平台,凭借嵌入动态寻优算法,成功将机组变工况下的主蒸汽流量波动幅度降低12%,这种智能调节机制与传统DCS系统相比,在负荷突变工况下可多回收8.6%的余热资源。配合数字化能效监测平台的应用,运维团队可实时获取各子系统能效KPI指标,结合设备劣化趋势预测模型,形成从预防性维护到精准调控的全链条节能管理模式,经实证研究该模式可使电厂年均标准煤耗下降2.3~2.8g/kWh。

4. 结语

综上所述,发电厂热能动力系统的优化以及节能改造是实现节能减排目标的有效办法。借助热力系统参数优化、热力设备优化、热力系统运行优化等策略,再结合余热回收技术改造、热力设备节能改造、热力系统节能改造等具体举措,可提升发电厂的能源利用效率,降低燃煤消耗,减少污染物排放。随着技术持续进步与创新,发电厂热能动力系统的优化与节能改造会取得更十分突出的成效。

参考文献:

- [1] 武鑫. 火力发电厂热能动力系统优化与节能改造研究[J]. 自动化应用, 2024, 65 (07): 233-235. DOI:10.19769/j.zdhy.2024.07.071.
- [2] 李坤. 发电厂热能动力系统优化与节能改造[J]. 化学工程与装备, 2022, (11): 246-247. DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2022.11.010.
- [3] 王竟懿. 火电厂热能动力系统优化与节能改造研究[J]. 河南科技, 2020, 39 (26): 142-144.
- [4] 何兴富. 发电厂热能动力系统优化与节能改造研究[J]. 科技创新与应用, 2020, (12): 113-114. DOI:10.19981/j.cnki.1581/g3.2020.12.045.
- [5] 后睿. 对内燃机热能动力优化与节能改造的探讨[J]. 机械管理开发, 2020, 35 (01): 226-227. DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2020.01.099.

作者简介: 郭江龙, 1988年9月, 男, 汉族, 辽宁铁岭人, 本科学历, 工程师, 工作领域: 电力工程技术-热能与动力工程, 发电厂设备检修