

Research on Thermal System Efficiency Diagnosis and Energy Conservation Optimization Strategies for Subcritical Units in Thermal Power Plants

Yu Zhipu

Guoneng Jilin Jiangnan Thermal Power Co., Ltd., Jilin, Jilin, 132011, China

Abstract

In the context of global energy transition and the “Dual Carbon” strategic goals, improving thermal efficiency and reducing energy consumption have become key priorities for thermal power plants. Subcritical units, due to their long operational history and outdated technologies, commonly suffer from low thermal system efficiency and significant energy losses. This study examines the composition and operational characteristics of subcritical unit thermal systems, analyzes major factors affecting energy efficiency, and explores multi-dimensional diagnostic methods using operational data. Based on these findings, the paper proposes energy-saving strategies including process optimization, equipment upgrades, and improved operational management. Research demonstrates that enhanced energy efficiency diagnosis and targeted measures can significantly boost overall unit efficiency, reduce coal consumption, and accelerate green and low-carbon transitions. Through case studies, practical optimization experiences and shortcomings are summarized, providing valuable references for energy conservation and carbon reduction efforts in thermal power plants.

Keywords

thermal power plants; subcritical units; thermal systems; energy efficiency diagnosis; energy conservation optimization; system retrofitting; operational management

火电厂亚临界机组热力系统能效诊断与节能优化策略研究

于志璞

国能吉林江南热电有限公司, 中国 · 吉林 吉林 132011

摘 要

在全球能源转型与“双碳”战略目标背景下, 火电厂能效提升与节能降耗成为行业重点。亚临界机组因投运年代久、技术落后, 普遍存在热力系统效率低、能量损失大的问题。本文梳理了亚临界机组热力系统构成与运行特征, 分析影响能效的主要因素, 并结合运行数据探讨多维度能效诊断方法。在此基础上, 提出系统流程优化、设备升级改造、运行管理提升等节能策略。研究表明, 通过完善能效诊断并实施针对性措施, 可显著提升机组综合效率, 降低煤耗, 推动绿色低碳转型。结合案例, 总结优化实践经验与不足, 为火电厂节能降碳工作提供参考与指导。

关键词

火电厂; 亚临界机组; 热力系统; 能效诊断; 节能优化; 系统改造; 运行管理

1 引言

近年来, 随着国家能源结构转型步伐加快以及环保政策的日益严格, 火电厂在实现安全、经济、高效运行的基础上, 面临更高的能效提升与节能减排压力。亚临界机组作为我国火电行业的重要组成部分, 因其机组容量适中、运行分布广泛, 在电力系统调峰和区域供能保障中具有不可替代的作用。然而, 受限于设计年代、装备水平及管理理念等多方面因素, 亚临界机组热力系统普遍存在能量利用效率不高、运行能耗大、节能潜力尚未充分挖掘等问题, 制约了火电行

业的高质量发展。

本文在梳理亚临界机组热力系统基本结构与运行特点的基础上, 结合典型机组能效运行现状, 运用定量与定性相结合的诊断方法, 深入剖析了系统能效低下的内外部成因。针对诊断中发现的薄弱环节, 提出了涵盖系统优化、设备改造、智能管控等多层面的节能措施, 探讨其在实际生产中的应用效果与推广价值。文章旨在为行业同仁提供可复制、可推广的节能降耗路径参考, 促进火电厂亚临界机组能效水平整体提升。

2 亚临界机组热力系统结构与运行特征

2.1 亚临界机组热力系统的组成与功能分工

亚临界机组作为火电厂常见的主力发电设备, 其热力

【作者简介】于志璞(1980-), 男, 中国吉林通化人, 本科, 工程师, 从事热能与动力工程研究。

系统一般包括锅炉、汽轮机、凝汽器、加热器、抽气系统、给水系统、疏水系统等多个环节。锅炉作为核心热源，通过燃煤等化石燃料将化学能转化为热能，为汽轮机提供高温高压蒸汽。汽轮机则将蒸汽能转化为机械能，带动发电机组发电。凝汽器则完成蒸汽的冷凝回收，提高热循环利用率。各加热器与给水系统协同配合，有效提升循环热效率，降低不可逆损失。整个系统结构相对复杂，各环节间能量交换与转化关系密切，任一环节能效下降均会影响整体能耗表现。

2.2 亚临界机组的运行工况及能效特性

亚临界机组多投运于上世纪末至本世纪初，设计参数一般为主蒸汽压力在 17MPa 以下，主蒸汽温度 540℃ 左右。该类机组运行灵活性较强，适合中小负荷调节，但受限于热力循环参数、设备老化及自动化水平，运行能耗普遍高于超（超）临界机组。热效率受锅炉燃烧、汽轮机抽汽、给水回热等多因素影响，部分机组实际供电煤耗长期处于高位。运行过程中，若调节方式不合理、设备维护不到位，将进一步加剧能量损失，导致供电能耗与排放指标持续恶化。

2.3 影响亚临界机组能效的典型因素

影响亚临界机组热力系统能效的因素较为多元，既包括设计层面的结构与参数限制，也涉及运行维护、管理体制等外部条件。具体而言，锅炉受热面结垢、燃烧调整不及时、空气预热器泄漏等均会导致燃烧效率下降。汽轮机通流部分磨损、密封失效，抽汽压力异常，会直接影响循环热效率。给水加热器热端差大、疏水系统运行不畅、凝汽器真空度波动等问题也较为常见。管理层面，缺乏系统化能效监测与诊断机制，运行参数调整滞后，均会加重能效损失。

3 亚临界机组热力系统能效诊断技术及应用

3.1 能效诊断的理论基础与关键指标

热力系统能效诊断的核心在于系统性、量化地识别能量损失环节，明确节能改进方向。理论上，亚临界机组能效诊断主要基于能量平衡分析、熵增理论、系统效率分析等方法。关键诊断指标包括：锅炉热效率、汽轮机内效率、发电煤耗、厂用电率、给水加热器热端差、凝汽器真空、抽汽参数等。通过采集与分析关键节点运行参数，可全面反映热力系统能量流动与损失特征，为后续节能优化提供科学依据。

3.2 能效诊断流程与数据采集方法

亚临界机组热力系统能效诊断一般分为前期准备、参数采集、数据分析、问题识别与优化建议等步骤。前期需根据机组结构特点，制定详细的诊断参数表，涵盖燃烧系统、汽轮机通流、给水回热、疏水系统等关键环节。运行数据可通过 DCS 系统、在线监测设备及人工巡检相结合的方式获得，要求数据的实时性与准确性。采集到的数据需统一校核、过滤，剔除异常波动与误差。采用能量平衡法、特征曲线法、系统对比分析法等多元诊断手段，对能效偏差进行定量剖

析，挖掘系统潜在的节能空间。

3.3 典型案例分析与诊断实践

以某大型亚临界机组为例，系统采集锅炉、汽轮机、凝汽器等运行数据，结合能效对标体系，发现锅炉排烟温度偏高、空气预热器漏风严重，导致锅炉热效率低下。汽轮机部分通流环节存在漏汽现象，内效率下降，抽汽参数波动较大。给水加热器多台并联运行不合理，造成热端差大、疏水系统异常。通过系统诊断，逐一锁定影响能效的薄弱环节，结合运行工况调整、设备检修与参数优化，能耗指标明显改善。该案例说明，完善的能效诊断体系不仅能发现问题，更为后续节能改造提供科学支撑。

4 亚临界机组节能优化策略与实施路径

4.1 系统流程优化与工艺调整

亚临界机组热力系统由于其流程环节众多、各系统间能量耦合复杂，流程优化成为提升整体能效的基础性手段。在流程优化中，首先应针对锅炉燃烧过程进行精细化调控，结合燃料特性和实时负荷，采用分层燃烧、风煤比智能调节等方式，确保燃烧完全性，降低不完全燃烧损失。通过引入先进的燃烧诊断系统，对火焰形态、炉膛温度分布、排烟含氧量进行动态监控，实现燃烧状态的持续优化。此外，汽轮机系统需根据不同负荷阶段动态调整抽汽点与抽汽量，优化给水回热系统，减少抽汽能量损失，并通过调整加热器串并联方式，使回热系统工作点始终处于高效区间。给水加热器布置优化方面，应注重缩小各级加热器间的热端差，避免局部过冷或过热现象，提升回热系统整体热经济性。凝汽器则要通过精准调节循环水量、改善冷却水分布、消除局部真空波动等措施，保证蒸汽冷凝过程稳定高效。流程优化还需与负荷调节、季节变化联动，依托 DCS（分散控制系统）平台，建立流程参数智能优化模型，实时校正运行参数，使机组在不同负荷下始终保持最优热力循环状态。通过流程与工艺的持续优化，能够显著提升亚临界机组的热效率，降低单位发电能耗，为节能降耗奠定坚实基础。

4.2 设备升级与节能改造

设备性能是制约亚临界机组能效水平提升的关键因素之一。由于部分机组长期运行，存在设备老化、效率下降、能耗偏高等问题，因此必须结合机组实际工况，有针对性地推进设备升级与节能改造。锅炉方面，采用高效低氮燃烧器不仅有助于提升燃烧效率，还能显著降低氮氧化物排放；烟气余热回收装置可利用排烟中的热能加热给水或助燃空气，回收潜在能量，减少热损失。汽轮机通流部分的密封系统和叶片材质升级，能有效减小泄漏和摩擦损失，提升内部效率。对于回热系统中的加热器，推广新型螺旋翅片管等高效换热元件，能够缩小热端差，提升换热效率；同时，应加大疏水系统的自动化改造，实现加热器疏水量的精准调控，避免结垢与效率损失。凝汽器则应应用联控真空泵和高效在线清洗

系统,维持高真空度,抑制换热管污垢增长,保障蒸汽冷凝效率。厂用电系统的节能同样不可忽视,高效电机、变频调速装置及智能照明、通风系统的推广应用,能够在不影响生产安全的前提下,最大限度降低厂用电率。设备升级与改造需分阶段有序推进,优先实施能效提升幅度大、技术成熟度高的项目,逐步覆盖全系统。对于资金压力较大的单位,可结合合同能源管理等创新融资模式,降低改造门槛,保障节能项目的顺利落地和可持续运行。

4.3 运行管理与智能化提升

现代火电厂节能降耗不仅依赖于设备与流程优化,更需要科学高效的运行管理体系和智能化手段的融合应用。亚临界机组应以标准化、精细化的管理为核心,建立健全能效监测、分析、考核与激励四位一体的管理体系。运行参数应通过能效管理平台实现 24 小时实时采集与动态分析,利用能量平衡、熵增分析等方法,持续追踪各环节能量流动和损失变化。对于异常能耗事件,系统可通过 AI 算法实现故障自动预警和智能诊断,辅助运行人员迅速定位并处置问题。推行能效对标和目标绩效评价,按月度、季度分解能效指标,定期开展运行优化评比,调动一线操作人员主动性与责任感。此外,应高度重视运行人员技能提升,通过定期组织节能新技术培训、实操演练及经验交流,提升全员的节能意识和应急处理能力。运行管理还应紧密结合信息化、数字化发展趋势,逐步建设智慧电厂,推动能效管理平台与 DCS、MIS、CMMS 等多系统融合,实现数据流通、资源共享和管理一体化。通过管理创新与智能化手段的深度融合,能够持续巩固和提升机组热力系统的运行能效,为火电厂迈向高效、绿色、低碳转型提供坚实支撑。

5 节能优化措施应用成效与典型案例分析

5.1 节能优化措施的应用成效

在实际生产过程中,通过系统性实施流程优化、设备改造与管理提升等措施,亚临界机组热力系统能效水平得以显著提升。以某 300MW 亚临界机组为例,经过锅炉燃烧优化、汽轮机密封改造、加热器结构调整及智能管理平台建设,机组供电煤耗由原来的 320g/kWh 降至 302g/kWh,锅炉热效率提高 3 个百分点,厂用电率下降 0.6%。系统能耗结构进一步优化,单台机组年节约标准煤约 8000 吨,减排二氧化碳 2 万吨。节能措施的实施不仅带来显著经济效益,更对环境友好、绿色发展起到积极推动作用。

5.2 典型案例的经验总结

在推广节能优化过程中,需注重项目的科学规划与分步实施。以某电厂为例,项目组优先对锅炉空气预热器实施余热回收改造,解决了漏风与能量流失难题,随后针对汽轮机抽汽系统进行在线参数优化,实现负荷动态调整。运行管

理团队积极引入智能诊断系统,实现能效数据的全流程跟踪与自动报警,有效防范了能效下降的风险。实践证明,系统性节能优化需管理、技术、人员三者协同发力,才能实现预期目标。项目团队还将典型经验形成制度化、流程化文件,推动节能措施的标准化与可复制化。

5.3 应用推广中存在的问题与对策建议

尽管节能优化取得了显著成效,但在推广过程中仍面临部分问题。一是部分机组受限于设计参数,节能潜力有限;二是设备改造资金投入较大,部分企业存在观望情绪;三是管理理念滞后,运行团队对智能化手段应用不足。为此,建议国家出台针对亚临界机组的专项节能改造支持政策,降低企业投入风险;加强行业交流与培训,提升运维人员的智能化管理能力;推动设备制造商加大新技术研发,拓展节能产品适配性。多措并举,有助于行业整体能效水平的提升与绿色转型的加速。

6 结语

火电厂亚临界机组作为我国能源结构中的重要一环,提升其热力系统能效、推进节能降耗,是实现行业高质量发展和“双碳”目标的重要举措。本文系统梳理了亚临界机组热力系统的结构特征及能效现状,探讨了能效诊断的理论与实践方法,并从流程优化、设备改造、运行管理等多个层面提出了切实可行的节能优化策略。案例分析显示,系统性实施节能措施可显著提升机组运行能效,降低能耗与排放,实现经济与环境效益的双赢。

展望未来,随着智能制造、大数据分析等新兴技术在火电行业的深入应用,亚临界机组的能效提升将更加依赖于数字化、智能化手段的融合创新。企业应强化节能改造的顶层设计,注重科技创新与管理协同,逐步建立起系统化、标准化的能效提升长效机制。各级政府与行业协会亦应加大政策支持与行业引导,为企业节能降耗营造良好外部环境。通过多方协作和持续努力,火电厂亚临界机组有望在未来的能源转型大潮中实现高效、清洁与可持续发展目标,为我国能源行业绿色低碳转型贡献更大力量。

参考文献

- [1] 朱开轩.内燃机与燃煤发电机组热力系统耦合特性研究[D].北京建筑大学,2023.
- [2] 方路林.火电厂锅炉燃烧优化调控技术在降低煤耗中的应用研究[J].锅炉制造,2025,(05):33-35.
- [3] 韩彦廷.基于自动化技术的火电厂集控运行节能降耗系统设计探析[J].模具制造,2025,25(08):210-212+215.
- [4] 何鹏锐.火电厂热控系统电源可靠性优化研究[J].中国设备工程,2025,(15):131-133.
- [5] 钟雷,高一搏.火电厂高压加热器出口温度变化率监测及应用[J].电工技术,2025,(07):258-259+263.