

Study on Energy Efficiency Improvement through Coupled Operation of Waste Heat Utilization System and Circulating Water System in Thermal Power Plants by

Yu Zhipu

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

Abstract

Thermal power plants generate substantial waste heat during power generation. Efficient recovery and utilization of this waste heat are crucial for enhancing unit energy efficiency and reducing energy consumption per unit. As a critical component of thermal systems, the circulating water system not only performs cooling and heat transfer functions but also serves as an important platform for waste heat recovery. Under the pressure of energy conservation, emission reduction, and low-carbon transition, deep coupling between waste heat utilization and circulating water systems has become a key research focus. This paper reviews types of waste heat and current utilization status in thermal power plants, analyzes energy flow characteristics in circulating water systems, and explores coupling principles and optimization models. Through case studies, it summarizes technical pathways and achievements in integrated operation of waste heat recovery and circulating water systems. Research demonstrates that system coupling optimization can maximize waste heat utilization while effectively controlling circulating water energy consumption, which holds significant value for green transformation and high-quality development of thermal power plants.

Keywords

Thermal power plant; Waste heat utilization; Circulating water system; Coupled operation; Energy efficiency improvement; Energy conservation; System optimization

火电厂余热利用系统与循环水系统耦合运行的能效提升研究

于志璞

国能吉林江南热电有限公司, 中国·吉林 吉林 132011

摘要

火电厂在发电过程中会产生大量余热, 其高效回收与利用对提升机组能效、降低单位能耗具有重要意义。循环水系统作为热力系统的重要组成部分, 不仅承担冷却与传热功能, 也是余热回收的重要平台。在节能减排和低碳转型压力下, 余热利用与循环水系统的深度耦合成为关键课题。本文梳理了火电厂余热类型与利用现状, 分析循环水系统能量流动特征, 探讨两者的耦合原理与优化模式。结合典型案例, 总结了余热回收与循环水系统集成运行的技术路径及成效。研究表明, 系统耦合优化能够最大化利用余热资源、有效控制循环水能耗, 对火电厂绿色转型和高质量发展具有重要价值。

关键词

火电厂; 余热利用; 循环水系统; 耦合运行; 能效提升; 节能减排; 系统优化

1 引言

我国火电厂长期承担着电力系统基荷和调峰任务, 在能源消耗和碳排放方面占有重要比重。伴随“双碳”目标推进和节能环保政策日益收紧, 火电厂面临的能效提升与减排压力日趋严峻。传统亚临界及超临界机组在发电过程中, 会释放大量的中低品位余热资源, 包括烟气余热、汽轮机排汽余热、冷却水余热等, 若直接排放将造成能源浪费与环境负担。循环水系统作为机组冷却和余热回收的主要载体, 在实际运

行中往往存在能量梯级利用不足、能耗偏高等问题, 导致余热利用与系统整体能效提升的空间被压缩。

近年来, 火电厂余热利用系统与循环水系统的耦合运行逐渐受到业界重视。通过系统集成与优化设计, 推动余热回收技术与冷却水系统高效协同, 可有效实现能源的多级利用与能耗的动态平衡。然而, 耦合过程中的工艺复杂性、系统匹配性、运行控制精度等因素, 对工程设计与运行提出了更高要求。本文在系统分析火电厂余热类型及循环水系统功能的基础上, 梳理国内外余热耦合利用的主要技术路径, 结合典型应用案例, 深入探讨耦合优化的实践模式与成效。文章旨在为火电厂实现高效余热利用、降低循环水能耗提供理论依据与实践参考, 助力行业绿色低碳转型升级。

【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。

2 火电厂余热与循环水系统的基本原理与现状

2.1 火电厂余热类型及其能量分布

火电厂在发电及辅助生产过程中,会产生大量余热资源,主要包括锅炉排烟余热、汽轮机排汽余热、冷却水余热及设备表面散热等。其中,锅炉排烟余热因烟气温度高、流量大,具有较高的回收潜力;汽轮机排汽余热则蕴含于凝汽器排汽和冷却水中,是系统最大量的低品位热能。冷却水余热多表现为温度升高,若不加以利用,直接排放不仅造成热污染,还导致热能白白损失。设备表面散热虽然总量有限,但在整体热平衡中也不可忽视。不同类型余热资源的品位、温度和流量存在显著差异,合理分级回收利用,有助于实现能源梯级利用和系统能效最大化。

2.2 循环水系统的功能与运行特征

循环水系统是火电厂热力系统的重要组成部分,主要承担着凝汽器冷却、设备冷却、热交换等任务。系统通过取用天然水体(水库、河流等)作为冷源,借助循环水泵实现冷却水的连续流动与热量传递。循环水在通过凝汽器吸收蒸汽余热后,温度升高,再经冷却塔或喷淋池释放热量,完成热量的空间转移。实际运行中,循环水系统受负荷波动、环境温度变化、设备性能等多重因素影响,易出现能耗偏高、水温过高、系统效率波动等问题。如何提升循环水系统的冷却效率、降低能耗,并与余热回收系统实现有效耦合,成为提升电厂能效的关键环节。

2.3 余热利用与循环水系统协同的现实意义

将余热利用系统与循环水系统进行深度耦合,不仅能够提升系统整体热效率,还能有效降低厂区冷却水能耗,实现能源与环境效益的协同。通过对烟气、排汽等余热资源的分级回收与利用,减少冷却水系统负荷,提高回收热量的经济价值。同时,耦合系统有助于降低循环水温升,减轻冷却塔运行压力,减少水资源消耗。更为重要的是,协同优化能够实现厂区余热资源的最大化开发,为区域供热、城市集中供暖、工艺用热等提供多样化的能源服务,为火电厂转型发展拓展了新路径。

3 余热利用系统与循环水系统的耦合原理与技术模式

3.1 耦合原理及能量流动机制

余热利用系统与循环水系统的耦合,本质上是以循环水为载体,集成多种余热回收与转化单元,通过工艺优化和能源管理,实现系统能量流动的梯级利用和损失最小化。具体来说,烟气余热、排汽余热等高温热能,可通过热交换器、热泵等设备转移至循环水系统,提高冷却水温度,为后续的供暖或工艺用热提供热源。低温余热则可通过热泵技术或热能提升装置实现品位提升,实现热量的深度回收和循环利用。在整个能量流动过程中,通过工艺流程的合理设计、设备参数的精准匹配和智能化的运行控制,实现余热资源的

多级梯次回收与循环水系统能耗的动态平衡。

3.2 主要技术模式及集成方案

耦合优化可依据电厂规模、热源类型和用能需求选择不同的技术模式。常见模式包括:锅炉烟气余热与循环水系统串联耦合,通过烟气—水换热器将高温烟气热能传递给冷却水,提升水温用于区域供热或热泵系统;汽轮机排汽余热深度回收模式,利用凝汽器改造、增设热网加热器或换热站,将凝汽器排汽热量经循环水系统转移至外部供热负荷;余热与循环水多源复合回收模式,将锅炉、汽轮机和厂区其他热源的热量通过集成管网和热力站,统一调度与分配,实现厂区能源系统的一体化管理。此外,部分电厂还探索了与污水源、地源热泵等新能源技术的耦合,进一步提升余热回收的广度与深度。

3.3 耦合过程中的关键控制与优化点

实现余热利用系统与循环水系统高效耦合,关键在于工艺参数的动态匹配与运行控制的智能化。需要对余热源温度、冷却水流量、水温、热负荷变化等进行实时监测与调节,保障各环节热量平衡与设备高效运行。热交换装置的设计需兼顾换热效率与运行安全,防止结垢、腐蚀等问题影响系统稳定性。运行中应结合负荷预测和能效评价模型,动态调整各回收环节参数,实现热量分配与循环水流动的自适应调控。通过智能化控制平台和数据分析工具,可实现系统能耗的实时监控、故障预警与优化运行,为耦合系统的高效、稳定运行提供有力支撑。

4 典型案例分析与系统优化实践

4.1 锅炉烟气余热与循环水系统耦合供热实践

以某沿海大型火电厂为例,该厂采用锅炉烟气—循环水耦合回收系统,将锅炉烟气排放前设置高效换热器,将部分余热传递至循环水系统。经余热回收后,冷却水温度适度提升,可为城市集中供热和工业用户提供稳定热源。系统投运后,不仅显著降低了烟气排放温度,减少了热损失,同时提升了城市供热的能源利用效率。与传统供热模式相比,该耦合系统实现了能源的梯级利用与多用途转化,大幅降低了单位供热能耗,为火电厂余热资源开发和能源结构优化提供了成功范例。

4.2 汽轮机排汽余热深度回收与循环水集成改造

某内陆火电厂针对长期存在的汽轮机凝汽器排汽余热大量流失及循环水系统高温季节负荷压力过大的问题,实施了以凝汽器与循环水系统联合优化为核心的系统改造。在此次改造中,厂方通过在凝汽器出口侧增设高效热网加热器,将部分高温冷却水引入城市热网换热单元,实现排汽余热的深度分级回收。该系统引入智能调控装置,可根据城市供热负荷、机组运行参数和环境温度等动态调整热量分配路径,实现热网余热回收效率的最优化。通过对换热环节的智能联动与实时参数调整,既显著降低了凝汽器端温度,提高汽轮

机循环效率,又有效缓解了夏季高温期间冷却水系统的运行压力。改造后,机组单位发电煤耗明显下降,余热综合利用率大幅提升,年节约标煤量数千吨,二氧化碳等温室气体排放同步减少。该厂的余热深度回收与循环水系统集成运行模式,为同类火电厂探索高效、低碳、经济运行提供了成功范例,实现了经济效益与环保效益的良性统一。

4.3 多源余热协同回收与循环水系统一体化运行

部分新建大型电厂结合厂区多源余热特点,采用“余热集成管网+循环水协同回收”模式,将锅炉、汽轮机、变压器冷却等各类余热统一纳入能源管理系统,通过多级换热与热能分配,实现全厂余热资源的最大化利用。循环水系统与余热利用系统一体化运行,不仅提升了能源系统的综合热效率,还为区域供热、园区工业用热等多种需求提供了灵活能源支持。系统投运后,通过数据平台实现全流程能耗监测和运行优化,保障了耦合系统的安全、经济、稳定运行,为行业推广奠定了坚实基础。

5 能效提升成效与推广难点

5.1 耦合系统带来的能效提升

通过将余热利用系统与循环水系统进行深度耦合,火电厂在节能降耗方面取得了实质性进展。系统运行数据显示,余热回收的利用率大幅提升,许多示范项目的供热能效提高了10%以上,显著优化了能源流动路径。受益于余热回收的充分利用,机组单位发电煤耗持续下降,厂用电率同步降低,系统综合能效水平实现质的飞跃。同时,循环水系统由于冷却负荷的减轻,冷却塔运行所需的电能消耗下降,水资源的消耗强度也得到有效控制。部分项目年节约标煤量可达数千吨,二氧化碳、氮氧化物等主要污染物排放量也随之减少。整体能效的提升不仅显著提升了企业的经济效益,增强了市场竞争力,更为推动火电厂绿色低碳转型、促进区域能源优化配置和生态环境保护提供了有力支撑。这种耦合优化模式已成为火电行业能源管理与减排增效的重要方向,对推动能源行业实现可持续发展具有积极的现实意义和广阔的推广前景。

5.2 推广应用中存在的技术与管理难点

尽管余热耦合系统的优势突出,但在大范围推广过程中仍面临诸多挑战。一方面,不同电厂热源类型、负荷特性、现有系统布局等条件差异大,耦合系统的设计和改造需因地制宜,缺乏标准化方案。部分老旧机组受制于设备参数与场地条件,余热回收改造难度较大。另一方面,系统集成度高、运行过程复杂,对运行人员的专业素养和系统运维能力提出

更高要求。智能化管理平台的建设和数据分析能力的提升仍需持续投入。管理层面对节能项目的长期效益认知不充分,部分企业存在投入动力不足、技术采纳意愿不强等问题。

5.3 未来推广的对策与建议

针对当前存在的难点,建议在政策层面加大余热耦合利用的支持力度,推动相关标准体系建设与经验交流。技术层面,应鼓励电厂与科研院所、设备制造企业联合攻关,开发适应不同机组和热源条件的标准化、模块化耦合技术装备。运营管理方面,重视高素质运维团队建设,提升智能化运维和数据分析能力。积极探索合同能源管理、能效共享等创新商业模式,分担企业投资压力,激发节能改造积极性。通过多元协同推进,有望实现余热耦合利用系统的广泛落地,助力火电行业整体能效跃升。

6 结语

火电厂余热利用系统与循环水系统的深度耦合,为行业实现能效提升和绿色低碳发展提供了新路径。本文系统梳理了余热类型与循环水系统运行机制,剖析了耦合原理与主流技术模式,结合典型工程案例,论证了系统性集成优化的显著成效。实践表明,科学规划与精准实施余热耦合项目,能够大幅提升火电厂能源利用效率,降低单位能耗与碳排放,为区域能源系统优化配置和环境友好型社会建设提供坚实支撑。面向未来,随着数字化、智能化等新兴技术的持续融合,余热利用与循环水系统协同运行将实现更高水平的智能管理与能效提升。行业应加大创新投入,强化政策支持,完善标准规范,推动余热耦合利用系统在更广范围、更高层级落地实施。通过持续努力,火电厂必将在能源革命与绿色转型进程中发挥更加积极和持久的作用。

参考文献

- [1] 李聚涛,徐锦祥.火电厂烟气余热耦合提质利用热泵系统的设计与实现[J].大众科技,2025,27(02):29-31+41.
- [2] 孙亦鹏,刘建华,程亮,等.火电厂空气预热器旁路余热利用系统经济性分析[J].热能动力工程,2021,36(03):93-99.
- [3] 陈程,陈鑫,徐凤,等.火电厂乏汽-烟气余热耦合提质利用热泵系统研究[J].制冷技术,2020,40(05):41-46+52.
- [4] 马长亮.火电厂烟气余热利用系统取水方案优化[C]//中国动力工程学会环保技术与装备专业委员会.2017燃煤电厂“石膏雨”“有色烟羽”深度治理技术交流研讨会论文集.大唐三门峡发电有限责任公司;2017:101-103.
- [5] 周崇波,陈静,任怀民.火电厂循环水余热利用热泵系统运行优化的初探[J].能源与环境,2015,(06):24-25+29.