

能源与动力工程在锅炉领域的实践研究

吴光良

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 宜春 331500

摘要: 能源与动力工程在锅炉领域的实践研究聚焦于提升锅炉系统的能效、环保性与智能化水平。本文首先剖析锅炉的工作原理及能源消耗特点,揭示其能量转换过程与高能耗、污染排放的现状。继而从先进燃烧技术、热能回收利用、智能控制系统三方面,阐述能源与动力工程的具体应用案例与技术优势。研究表明,这些技术可显著降低锅炉能耗、减少污染物排放并提升运行稳定性。最后,结合行业发展趋势,展望高效节能、环保减排、智能化控制及模块化设计在未来锅炉领域的应用前景,为相关技术革新与产业升级提供理论参考。

关键词: 能源; 动力; 工程; 锅炉领域; 实践研究

引言: 锅炉作为工业生产与民生供暖的核心设备,其能源利用效率与环境影响一直是全球关注的焦点。随着“双碳”目标的推进与能源结构转型的加速,传统锅炉高能耗、高污染的运行模式亟待革新。能源与动力工程学科以能量转换与利用为核心,通过融合燃烧科学、热工理论与自动控制技术,为锅炉领域的绿色化、智能化升级提供了关键支撑。本文结合锅炉的工作原理与能耗特性,系统梳理先进燃烧技术、热能回收系统及智能控制系统的实践应用,分析其在节能降耗、减排增效中的实际效果,并前瞻性探讨行业未来发展方向,旨在为锅炉领域的技术创新与可持续发展提供思路,推动能源高效利用与生态环境保护的协同发展。

1 锅炉的工作原理与能源消耗特点

1.1 锅炉的工作原理

锅炉是一种将燃料的化学能或其他能源转化为热能,并用以加热水或其他工质的热力设备,其核心工作过程涵盖燃烧、传热和工质循环三个环节。在燃烧环节,固体燃料(如煤炭)、液体燃料(如重油)或气体燃料(如天然气)在炉膛内与空气充分混合,通过化学反应释放热量;传热环节中,高温火焰与烟气以辐射、对流和导热的方式,将热量传递至受热面(如水冷壁、过热器),使工质(通常是水)受热升温;工质循环环节,水在吸收热量后转变为蒸汽,或直接被加热成高温热水,蒸汽或热水通过管道输送至用户端,实现热能的传递与利用。以电站锅炉为例,产生的高温高压蒸汽推动汽轮机旋转,进而带动发电机发电,完成从化学能到电能的转化。工业锅炉和民用锅炉则主要通过蒸汽或热水为生产流程、供暖系统提供热能,整个过程涉及多学科交叉的复杂能量转换机制。

1.2 锅炉的能源消耗特点

锅炉的能源消耗具有总量大、效率分化显著和排放污染高等特点。据统计,我国工业锅炉年消耗煤炭量约占全国煤炭消费总量的15%-20%,但大量中小型锅炉的平均运行效率仅为60%-70%,远低于大型电站锅炉90%以上的效率水平。能源消耗效率低的主要原因包括:一是燃烧不充分,部分中小型锅炉因设计落后、自动化程度低,导致燃料无法与空气精准配比,造成化学不完全燃烧损失;二是散热与排烟损失,锅炉本体保温层性能不足、排烟温度过高,致使大量热能直接散失;三是系统匹配性差,辅机设备(如风机、水泵)与锅炉负荷不匹配,存在“大马拉小车”现象,造成电能浪费。此外,传统燃煤锅炉在消耗能源的同时,还会产生二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等污染物,加剧环境负担。这些能源消耗特点凸显了通过能源与动力工程技术改进锅炉能效与环保性能的迫切性^[1]。

2 能源与动力工程在锅炉中的实践应用

2.1 先进燃烧技术在锅炉中的应用

2.1.1 低氮燃烧技术原理与效果

低氮燃烧技术通过优化燃烧过程,抑制氮氧化物(NO_x)的生成,其核心在于控制燃烧温度与氧气浓度。该技术主要采用分级燃烧、空气分级和燃料分级等方式,将燃烧过程分为主燃区、还原区和燃尽区。在主燃区,通过减少空气供给量,形成缺氧燃烧环境,降低火焰温度峰值,抑制热力型 NO_x 生成;在还原区,未完全燃烧的燃料与 NO_x 发生还原反应,将其转化为氮气;在燃尽区,补充空气使燃料完全燃烧。实际应用中,低氮燃烧技术可使 NO_x 排放浓度降低50%-70%,满足环保法规要求。以某燃煤电站锅炉改造为例,加装低氮燃烧器后, NO_x 排放从 $400\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,显著减少了大气污染,同时降低了后续脱硝设备的运行负荷与

成本。

2.1.2 富氧燃烧技术优势与应用案例

富氧燃烧技术以高浓度氧气替代空气作为助燃气，有效提升燃烧效率与污染物控制能力。由于氧气浓度提升，燃烧速率加快，火焰温度升高，传热效率显著增强，可使锅炉热效率提高3%-5%。同时，富氧燃烧产生的烟气主要成分为二氧化碳和水蒸气，便于分离和捕集，助力实现碳减排目标。在工业领域，该技术已成功应用于玻璃熔炉、冶金加热炉等场景。例如，某钢铁企业将富氧燃烧技术应用于高炉热风炉，不仅使燃料消耗降低12%，还大幅减少了二氧化硫和粉尘排放。此外，富氧燃烧产生的高浓度二氧化碳气体经回收后，可用于食品加工、油田驱油等领域，实现资源的循环利用，体现了其在能源高效利用与环境保护方面的双重优势。

2.2 热能回收与利用技术

2.2.1 余热回收系统的设计与运行

余热回收系统旨在捕捉锅炉排烟、高温蒸汽等环节散失的热量，实现能源的二次利用。其设计需综合考虑余热资源特性、回收目标及系统兼容性。常见的余热回收设备包括省煤器、空气预热器和余热锅炉：省煤器安装于锅炉尾部烟道，利用排烟余热加热锅炉给水，降低排烟温度；空气预热器则通过热交换提升助燃空气温度，增强燃烧效率；余热锅炉可将高温烟气热量转化为蒸汽，驱动汽轮机发电或用于供热。在运行过程中，需精准控制余热回收系统的流量、温度和压力参数，避免因热交换效率不足或设备腐蚀影响系统稳定性。例如，某化工企业在燃煤锅炉上加装余热锅炉，将300℃-400℃的排烟余热转化为0.8MPa的饱和蒸汽，每年可回收热量约 1.2×10^8 MJ，折合标煤4000余吨，显著降低了企业能源成本。

2.2.2 冷凝水回收利用的意义与方法

冷凝水是蒸汽释放热量后形成的高温洁净水，回收利用冷凝水对节约水资源和热能具有双重意义。一方面，冷凝水温度通常在60℃-90℃，直接排放会造成大量热能损失；另一方面，其水质接近蒸馏水，回收后可减少锅炉补给水的软化处理成本。常见的冷凝水回收方法包括重力回收、压力回收和闭式回收系统。重力回收利用位差将冷凝水输送至回收水箱；压力回收通过蒸汽压力驱动冷凝水回流；闭式回收系统则在密闭环境下完成冷凝水收集与输送，减少二次闪蒸和热量散失。以某食品加工厂为例，采用闭式冷凝水回收系统后，每年可回收冷凝水约10万吨，节约软化水药剂成本15万元，同时减少因补给水加热消耗的蒸汽量，年节能效益达80万元

以上，充分体现了冷凝水回收利用在节能减排和经济效益上的显著优势。

2.3 智能控制系统在锅炉中的应用

2.3.1 基于自动化技术的锅炉控制系统架构

基于自动化技术的锅炉控制系统以分布式控制系统（DCS）或可编程逻辑控制器（PLC）为核心，构建起“感知-分析-执行”的闭环体系。系统架构主要由传感器层、控制层和执行层组成：传感器层部署温度、压力、流量、氧量等多种传感器，实时采集锅炉运行参数，如炉膛温度、蒸汽压力、燃料流量等数据；控制层通过DCS或PLC对采集数据进行逻辑分析与运算，依据预设的控制策略和安全阈值，生成控制指令；执行层则由电动调节阀、变频风机、给煤机等设备组成，接收指令后自动调节燃料供给、风量配比、水位控制等环节。此外，系统还集成人机交互界面（HMI）和远程监控模块，操作人员可通过可视化界面实时查看运行状态、调整参数，并实现远程故障诊断与维护。例如，某大型电站锅炉采用DCS控制系统，通过将上千个监测点数据与专家知识库联动，实现了燃烧优化、负荷调节等多任务协同控制，显著提升了系统自动化水平。

2.3.2 控制系统对锅炉运行稳定性与效率的提升作用

智能控制系统通过精准调节与实时监控，大幅增强了锅炉运行的稳定性与效率。在稳定性方面，系统可快速响应负荷波动，自动调整燃料量与风量配比，避免因人工调节滞后导致的燃烧不稳定或参数超限问题，降低了熄火、超压等安全风险。例如，当蒸汽用户端负荷突然增加时，控制系统可在数秒内增加燃料供给并提高引风机转速，维持蒸汽压力稳定。在效率提升上，智能控制通过优化燃烧过程，减少不完全燃烧损失与排烟热损失。基于人工智能算法的燃烧优化模块，可根据燃料特性和工况变化动态调整配风系数，使锅炉热效率提升2%-5%。同时，系统对辅机设备的变频控制可降低风机、水泵等的耗电量，进一步减少厂用电率^[2]。

3 能源与动力工程在锅炉领域的未来发展趋势

3.1 高效节能

未来锅炉高效节能技术将聚焦多能协同与深度热回收。一方面，通过“燃料-电能-热能”多能互补系统，实现能源梯级利用。例如，将太阳能光热、生物质能与传统化石燃料耦合，在白天光照充足时以太阳能驱动锅炉辅助系统，夜间或阴雨天切换至其他能源，减少单一能源消耗。另一方面，超临界与超超临界技术将向中小型锅炉延伸，通过提升工质压力和温度，使发电效率突破50%，较亚临界锅炉提升8%-10%。同时，相变储能

材料的应用将解决余热回收中的能量储存难题,如采用熔融盐储存高温烟气余热,在锅炉低负荷运行时释放热量,提升整体热效率。此外,纳米涂层技术用于锅炉受热面,可降低热阻并减少积灰,使传热效率提高15%-20%。据预测,通过综合应用这些技术,未来十年工业锅炉平均热效率有望从当前的65%-75%提升至85%以上,显著降低能源消耗。

3.2 环保减排

在锅炉领域,能源与动力工程促使环保减排迈向新高度。未来,燃烧技术将持续革新,通过精准匹配燃料特性与燃烧参数,改进燃烧器设计,优化空气量、过剩空气系数等,实现更高效、清洁的燃烧,大幅削减氮氧化物、硫氧化物等污染物排放。同时,先进的污染物脱除技术会广泛应用,如袋式除尘技术向更高过滤效率、更低能耗和超低排放发展;脱硫脱硝技术不断提升效率,并注重副产品资源化利用。余热回收也将成为关键环节,借助高效热交换设备,把原本散失的热量充分回收利用,提高能源利用率,减少能源浪费,全方位助力锅炉行业达成环保减排目标,走上绿色可持续发展之路。

3.3 智能化控制

智能化控制将向自主决策与数字孪生方向深度发展。基于深度学习的AI算法将取代传统PID控制,通过分析海量运行数据,实现燃烧优化、故障预测与自适应调节。例如,采用强化学习算法的控制系统可在负荷波动时自动调整燃料配比与风煤比,使燃烧效率提升3%-5%。数字孪生技术将构建虚拟锅炉模型,实时映射实体设备的运行状态,通过模拟不同工况下的参数变化,提前预判故障并优化控制策略。此外,边缘计算与5G通信的应用,将实现锅炉数据的毫秒级传输与处理,支撑远程协同控制与无人值守运行。未来,智能化控制系统将从单台锅炉扩展至区域能源网络,实现多热源、多用户的动态平衡与协同优化。

3.4 模块化设计

模块化设计将推动锅炉行业向标准化、定制化方向转型。通过将锅炉分解为燃烧模块、换热模块、智能控制模块等标准化单元,可实现快速组装与灵活配置。例如,采用模块化设计的撬装式燃气锅炉,安装周期较传统锅炉缩短70%,且可根据用户需求调整蒸发量与压力等级。在材料创新方面,新型复合材料与3D打印技术将应用于模块制造,如钛合金蜂窝结构换热器可在提升换热效率的同时减轻设备重量。此外,模块化设计支持设备的局部升级与维护,降低全生命周期成本。随着模块化标准体系的完善,未来锅炉产品将实现“即插即用”,通过组合不同功能模块,满足工业生产、区域供热、分布式能源等多样化场景需求,同时加速产品迭代与技术推广^[3]。

结束语

能源与动力工程技术在锅炉领域的实践应用,为行业节能增效、绿色转型提供了核心支撑。从先进燃烧技术的污染物减排,到热能回收系统的能源二次利用,再到智能控制与模块化设计的创新升级,均显著提升了锅炉运行效率与环保性能。面向未来,随着高效节能、环保减排等趋势的深化,能源与动力工程将持续推动锅炉技术突破,助力实现能源高效利用与生态保护的协同发展。后续研究可进一步探索多技术融合应用,优化系统集成方案,为能源行业高质量发展注入新动能。

参考文献

- [1]侯燕.发锅炉锅炉节能减排的应对措施分析[J].电子技术,2022,51(01):156-157.
- [2]刘天红.能源与动力工程在锅炉领域的实践研究[J].化工管理,2021(36):177-178.
- [3]庄岳荣.能源与动力工程中的节能技术分析[J].工程技术研究,2021,6(10):52-53.