

热能与动力工程在锅炉中应用问题及建议

王 刚

山西格盟中美清洁能源研发中心有限公司 山西 太原 030000

摘 要：热能与动力工程在锅炉中的应用对提升能源利用效率和保障锅炉稳定运行意义重大。本文聚焦热能与动力工程在锅炉中的应用，阐述了其在燃烧系统优化、热传递过程强化、工质循环控制等核心环节的作用。分析了燃烧效率不足、热传递性能下降、工质循环稳定性差等主要问题。并从优化燃烧系统设计、强化热传递过程管理、完善工质循环控制策略三方面提出建议，旨在为提高锅炉运行效果提供参考。

关键词：热能与动力工程；锅炉；应用环节；问题及建议

引言

在能源需求持续增长与环保要求日益严格的当下，锅炉作为重要的能源转换设备，其运行效率备受关注。热能与动力工程作为提升锅炉性能的关键技术领域，在锅炉的燃烧、热传递及工质循环等环节发挥着核心作用。然而，当前锅炉在应用热能与动力工程时仍存在诸多问题，影响其运行效率与稳定性。因此，深入研究热能与动力工程在锅炉中的应用问题并提出相应建议具有重要的现实意义。

1 热能与动力工程在锅炉中的核心应用环节

1.1 燃烧系统优化

燃烧系统作为锅炉热能产生的起始点，其效率高直接决定了锅炉整体性能的优劣。燃料与空气的混合比例是燃烧过程中的核心要素，合理的空气过剩系数是确保燃料充分燃烧的关键条件。当空气量不足时，燃料无法完全反应，会产生大量一氧化碳等可燃气体，造成化学不完全燃烧损失，不仅降低了能源利用效率，还可能引发安全隐患^[1]。反之，若空气量过多，过量的冷空气会吸收燃烧产生的热量，导致排烟热损失增加，同时降低炉膛温度，不利于燃烧的稳定进行。燃烧室的结构设计同样不容忽视。其形状需要综合考虑火焰传播速度与燃料在炉膛内的停留时间。合适的形状能够使火焰均匀扩散，避免局部过热现象的发生，防止受热面管材因高温而受损；同时也能避免因燃烧不充分产生大量黑烟，减少环境污染。例如，一些大型锅炉采用特殊形状的燃烧室，通过优化内部流场，使燃料能够充分燃烧，提高了燃烧效率。燃烧器的布置方式对火焰分布均匀性有着显著影响。分层布置燃烧器可以根据不同层次燃料与空气的供应情况，灵活调整火焰强度和形状，有效降低热偏差。热偏差过大会导致受热面局部温度过高，加速管材老化，缩短设备使用寿命。此外，燃烧系统还需与烟气

排放控制协同工作，采用低氮燃烧技术等先进手段，在满足环保要求的前提下实现高效燃烧，减少氮氧化物等污染物的排放。

1.2 热传递过程强化

热传递效率是衡量锅炉能量利用水平的重要指标，主要通过辐射、对流和导热三种方式实现。受热面的布置需要根据工质参数和烟气特性进行优化。水冷壁采用膜式结构，能够增强辐射吸热能力，将炉膛内高温火焰的热量更有效地传递给工质，提高热量的利用效率。过热器与再热器采用错列布置，可提高对流传热系数，使烟气与管壁充分换热，进一步提升热传递效果。在工质侧，通过调整流速和流动状态可以强化对流换热。例如，促使工质形成湍流，破坏热边界层，加快热量传递速度。烟气侧则可通过增加受热面面积或采用扩展表面来提升传热效率。翅片管在管外增加翅片，增大了传热面积，让烟气与管壁的热量交换更加充分。此外，定期清理受热面积灰是维持传热性能稳定的关键。积灰会增加污垢热阻，阻碍热量传递，导致排烟温度升高，降低锅炉效率。通过机械清灰、蒸汽吹灰等方式及时清理积灰，能够保证锅炉的高效运行。

1.3 工质循环控制

工质循环系统要确保水或蒸汽在锅炉内按照设计路径流动，维持合理的压力与温度参数。自然循环锅炉依赖工质密度差进行循环，需要严格控制循环倍率在合理范围内，避免循环停滞或倒流现象的发生，防止受热面因得不到有效冷却而损坏。强制循环锅炉则依靠循环泵提供动力，要确保泵的流量与扬程匹配锅炉负荷需求，保证工质循环的稳定性^[2]。蒸汽系统需要严格控制蒸汽湿度与过热度，防止蒸汽带水损坏汽轮机叶片，影响汽轮机的正常运行。给水系统要维持连续稳定供水，避免缺水导致受热面超温，引发安全事故。同时，工质循环

系统要与汽水分离装置协同工作,确保蒸汽品质符合要求,保障后续设备的安全运行。热能与动力工程在锅炉中的核心应用环节相互关联、相互影响,共同构成了锅炉高效稳定运行的基础。通过不断优化这些环节,可以提高锅炉的能源利用效率,降低运行成本,实现节能减排的目标,为能源的可持续发展做出贡献。

2 热能与动力工程在锅炉应用中的主要问题

2.1 燃烧效率不足

燃烧效率不足表现为燃料未完全燃烧或燃烧过程不稳定,主要源于燃料与空气混合不充分、燃烧器性能退化或燃烧室设计缺陷。燃料粒度过大或含水量过高会降低燃烧速度,导致不完全燃烧损失增加;空气过剩系数控制不当(过大或过小)均会影响燃烧效率,前者增加排烟热损失,后者导致化学不完全燃烧损失。燃烧器喷嘴磨损或雾化效果变差会改变燃料分布,引发局部缺氧或富氧燃烧;燃烧室结构不合理(如容积过小或形状不规则)会缩短火焰停留时间,导致燃烧不充分。

2.2 热传递性能下降

热传递性能下降主要由受热面积灰、结垢或设计缺陷引起。烟气侧积灰会显著增加污垢热阻,导致排烟温度升高(通常每增加1mm灰层,排烟温度上升5-10℃),降低锅炉效率;水侧结垢会阻碍热量传递,使受热面壁温升高,增加爆管风险。受热面设计缺陷(如面积不足或布置不合理)会导致局部热负荷过高,引发受热面超温或热偏差;扩展表面(如翅片管)积灰后清洁难度大,进一步加剧传热恶化。此外,工质流速过低会降低对流传热系数,而流速过高则增加流动阻力,需在两者间寻求平衡。

2.3 工质循环稳定性差

工质循环稳定性差表现为循环流量波动、压力异常或蒸汽品质下降,主要源于循环系统设计缺陷或运行控制不当。自然循环锅炉循环倍率过低会导致循环停滞,局部受热面无法得到有效冷却;强制循环锅炉循环泵故障或流量调节不当会引发循环中断或流量不足。蒸汽系统压力波动过大会影响汽轮机运行安全,而蒸汽湿度超标会加速汽轮机叶片侵蚀;给水系统压力不足或水质不良会导致锅炉缺水或受热面结垢^[3]。此外,汽水分离装置性能退化会导致蒸汽带水,降低蒸汽品质。

3 提升热能与动力工程在锅炉中应用效果的建议

3.1 优化燃烧系统设计

燃烧系统作为锅炉热能产生的核心环节,其设计优化需从燃料适配、空气供给及燃烧器改进三个维度展开,以实现高效、稳定、低污染的燃烧过程。燃料适配

是燃烧系统设计的基础。不同燃料(如煤、油、气及生物质)的热值、挥发分、粒度及灰分含量差异显著,需根据燃料特性选择匹配的燃烧方式。例如,高挥发分燃料宜采用悬浮燃烧,低挥发分燃料需通过预处理(如破碎、制粉)提高燃烧速率;高水分燃料需进行预干燥处理(如流化床干燥),降低水分对燃烧效率的影响。此外,燃料与空气的混合比例需通过实验或数值模拟确定,避免因混合不均导致局部缺氧(化学不完全燃烧损失增加)或富氧(排烟热损失增加)。空气供给系统需实现分级配风与动态调节。传统燃烧方式采用单级配风,易导致燃烧初期缺氧或后期过量空气冲刷,分级配风技术通过多级送风(如一次风携带燃料、二次风补充氧气、三次风调整火焰形状)实现燃料与空气的逐步混合,延长燃烧反应时间,降低不完全燃烧损失。例如,煤粉锅炉采用浓淡分离燃烧器,将煤粉分为浓相(富燃料)和淡相(富氧气),分别进入炉膛不同区域燃烧,可显著提高燃烧效率并降低氮氧化物生成。同时,安装氧量计实时监测烟气含氧量,通过自动化控制系统动态调整空气过剩系数,确保燃烧过程始终处于最佳状态。燃烧器改进需聚焦雾化效果与火焰控制^[4]。燃油/气锅炉的燃烧器需优化喷嘴结构(如采用旋流或压力雾化喷嘴),提高燃料雾化粒径均匀性,增加燃料与空气的接触面积,缩短燃烧反应时间;煤粉锅炉的燃烧器需改进一次风粉混合装置,避免煤粉沉积或团聚,确保煤粉气流均匀分布。此外,采用低氮燃烧器(如空气分级燃烧器、燃料分级燃烧器)可抑制燃烧过程中氮氧化物的生成,通过控制燃烧温度与氧气浓度,实现清洁燃烧。例如,某电厂通过将传统直流燃烧器改造为水平浓淡燃烧器,使锅炉效率提升0.5%,氮氧化物排放降低30%。

3.2 强化热传递过程管理

热传递过程管理需从受热面维护、流速优化及清洁技术三方面入手,以提升锅炉能量利用效率并延长设备寿命。受热面维护是保障传热性能的基础。锅炉运行过程中,受热面(如水冷壁、过热器、省煤器)易因积灰、结垢或腐蚀导致传热效率下降。需定期对受热面进行吹灰(如蒸汽吹灰、声波吹灰)或化学清洗(如酸洗、碱洗),清除表面污垢,恢复传热性能。例如,某热电厂通过安装蒸汽吹灰器,将省煤器排烟温度从180℃降至160℃,锅炉效率提升1.2%。同时,需根据燃料特性选择合适的受热面材质(如抗腐蚀合金钢),避免因高温腐蚀或磨损导致受热面失效。流速优化需平衡传热强化与流动阻力。工质(水或蒸汽)在受热面内的流速直接影响对流传热系数与流动阻力:流速过高会增加泵

功消耗,流速过低会导致传热恶化。需通过数值模拟或实验确定最佳流速范围,例如,过热器管内蒸汽流速通常控制在8-15m/s,既可保证充分换热,又可避免流动振动。对自然循环锅炉,可通过调整循环倍率(循环水量与蒸汽产量之比)或采用自然循环与强制循环结合的方式,改善循环稳定性;对强制循环锅炉,需确保循环泵流量与扬程匹配锅炉负荷需求,避免因流量不足导致受热面超温。清洁技术需结合锅炉类型与运行条件选择。流化床锅炉通过床料循环实现自清洁,可减少受热面积灰;煤粉锅炉需安装机械振打装置或脉冲气流吹灰器,定期清理受热面;燃气锅炉因烟气中粉尘含量低,可采用在线清洗技术(如高压水冲洗)维护受热面清洁。此外,采用高效传热元件(如螺旋翅片管、H型翅片管)可增加受热面积,提升对流传热系数。例如,某化工厂将省煤器由光管改为螺旋翅片管,在相同换热面积下,排烟温度降低15℃,热效率提高2.1%。

3.3 完善工质循环控制策略

工质循环控制策略需从系统设计、运行调节及监测保护三方面构建,以保障锅炉运行的安全性与经济性。系统设计需根据负荷特性选择循环方式。自然循环锅炉依赖工质密度差实现循环,适用于中低压、固定负荷场景;强制循环锅炉通过循环泵提供动力,适用于高压、变负荷场景;复合循环锅炉结合自然循环与强制循环优点,可适应更宽的负荷范围。设计阶段需通过热力计算确定循环系统参数(如循环倍率、压力降),确保循环系统具备足够的调节能力^[5]。例如,某超临界锅炉采用内置式启动分离器,实现启动阶段与正常运行阶段的循环方式切换,缩短启动时间并降低热应力。运行调节需实现参数动态匹配。通过变频调节循环泵流量或采用滑压运行方式,使循环参数(如压力、温度、流量)与锅炉负荷需求实时匹配。例如,汽包锅炉在变负荷运行时,通过调整给水流量与燃料量,维持汽包水位与蒸汽压力稳定;直流锅炉需严格控制水煤比,避免因比例失调导致热偏差或水冷壁超温。同时,安装压力、流量及

温度传感器,实时监测工质状态,通过分布式控制系统(DCS)实现参数的精准调节与历史数据存储,为运行优化提供依据。监测保护需构建多级安全防线。设置安全保护装置(如低水位保护、超压保护、高温保护)防止工质循环异常引发事故:当汽包水位低于设定值时,自动切断燃料供应并启动紧急补水;当蒸汽压力超过安全阀整定压力时,安全阀开启泄压。定期对汽水分离装置(如旋风分离器、波形板)进行检修,确保蒸汽品质符合标准(如含盐量 $\leq 0.02\text{mg/kg}$),避免蒸汽带水损坏汽轮机叶片。此外,建立锅炉运行数据库,通过大数据分析预测设备故障趋势,实现从被动维修到主动维护的转变。

结语

热能与动力工程在锅炉中的应用是一个复杂且关键的领域。通过对其核心应用环节的深入剖析,明确了各环节的重要作用。同时,对应用中存在的燃烧效率、热传递性能、工质循环稳定性等问题有了清晰认识。而所提出的优化燃烧系统设计、强化热传递过程管理、完善工质循环控制策略等建议,为解决这些问题提供了方向。未来,需持续探索创新,不断提升热能与动力工程在锅炉中的应用水平,推动锅炉行业的高效发展。

参考文献

- [1]玛衣热·艾来提,康童童.电厂锅炉应用在热能动力工程中的实践分析[J].现代工业经济和信息化,2026,16(2):286-288.
- [2]严中伏.热能与动力工程在锅炉应用中的问题及策略[J].全面腐蚀控制,2025,39(11):163-165.
- [3]许样翰.热能与动力工程在锅炉应用过程中存在的问题及优化对策[J].新潮电子,2025(16):226-228+231.
- [4]韦宝贵.新形势下电厂锅炉在热能动力工程中的应用现状、问题及优化对策[J].中国科技期刊数据库 工业A,2025(11):005-008.
- [5]何睿哲.热能与动力工程在锅炉应用中的问题探析[J].能源新观察,2025(1):50-52.