

锅炉结焦成因及防治措施研究

李梦茹

华能国际电力股份有限公司营口电厂 辽宁 营口 115007

摘要：锅炉结焦严重影响设备安全与能源利用效率。本文深入探讨了锅炉结焦问题。首先介绍了锅炉结焦的概念，随后详细分析了其成因，包括燃料特性、锅炉设计及运行参数、操作管理方面的因素。针对这些成因，提出了相应的防治措施，涵盖燃料管理、锅炉设计优化、运行调整、吹灰系统改进以及人员培训与管理等方面，旨在为解决锅炉结焦问题提供全面参考。

关键词：锅炉；结焦成因；防治措施；研究

引言：在工业生产中，锅炉是重要的能量转换设备，其安全稳定运行至关重要。然而，锅炉结焦现象较为常见且危害显著，不仅会影响锅炉的热效率，还可能导致设备故障，增加维护成本，甚至威胁生产安全。目前，对锅炉结焦的研究和防治需求迫切。本文将对锅炉结焦的成因进行详细分析，并提出针对性的防治措施，以提高锅炉的运行性能，为工业生产提供保障，对相关领域的实践和研究具有重要的参考意义。

1 锅炉结焦概述

锅炉结焦，是指在锅炉运行过程中，燃料燃烧产生的灰渣在高温作用下，熔融或软化后黏附在炉膛内壁、受热面、燃烧器等部位，形成坚硬的焦块的现象从外观上看，结焦初期表现为受热面上附着一层薄薄的灰膜，随着运行时间的增加，灰膜不断增厚，逐渐形成块状焦渣。这些焦块质地坚硬，会对锅炉的正常运行造成严重影响。在危害方面，结焦会破坏锅炉内的正常流场，使炉内烟气流动受阻，导致局部热负荷分布不均，降低锅炉的传热效率，增加燃料消耗。结焦严重时，会导致受热面管壁超温，加速受热面的损坏，缩短设备使用寿命，甚至引发爆管等安全事故。同时，结焦还会影响锅炉的出力，降低生产效率，增加清焦的人力、物力成本，给企业带来较大的经济损失^[1]。

2 锅炉结焦的成因分析

2.1 燃料特性因素

2.1.1 灰分含量与成分

燃料灰分含量与成分是导致锅炉结焦的重要因素。灰分含量过高时，燃料燃烧后产生的灰渣量增多，大量灰渣在炉膛内悬浮、沉降，增加了结焦的物质基础。灰分中的化学成分直接影响灰熔点，当灰分中碱性氧化物（如氧化钠、氧化钾）含量较高时，会与酸性氧化物（如二氧化硅、三氧化二铝）发生反应，形成低熔点共

熔物，降低灰的熔融温度，使灰渣在较低温度下就处于软化或熔融状态，极易黏附在受热面上形成结焦。此外，灰分中氧化铁含量过高，也会显著降低灰熔点，加剧结焦倾向。

2.1.2 挥发分含量

挥发分含量对锅炉结焦有显著影响。若挥发分含量过高，燃料着火迅速，燃烧过程中火焰温度高且集中，容易在局部区域形成高温环境，促使灰渣快速达到熔融状态，增加结焦风险。同时，高挥发分燃料燃烧时火焰较长，易冲刷水冷壁，使管壁温度升高，导致灰渣黏附结焦。反之，挥发分含量过低，燃料着火困难，燃烧不稳定，易出现不完全燃烧现象，未燃尽的碳粒和灰渣在炉膛内长时间停留，也可能因反复受热而发生黏结，进而引发结焦。

2.1.3 燃料粒度

燃料粒度的均匀性和大小直接关系到锅炉结焦状况。粒度过大，燃料在炉膛内难以充分燃烧，未燃尽的大颗粒燃料会在炉膛内沉降、堆积，在高温作用下形成焦块。而且，大颗粒燃料燃烧时周围易形成还原性气氛，降低灰熔点，加剧结焦。相反，粒度过小，会导致燃料燃烧速度过快，局部产生高温，促使灰渣熔融结焦。

2.2 锅炉设计及运行参数因素

2.2.1 炉膛结构与尺寸

炉膛结构与尺寸若设计不合理，极易引发结焦问题。当炉膛高度不足时，燃料在炉内的停留时间大幅缩短，无法充分燃烧，大量未燃尽的颗粒随烟气流动，极易附着在受热面上，成为结焦的初始诱因。炉膛横截面积设计失当，会导致烟气流速出现异常。烟气流速过快，会对受热面产生强烈冲刷，致使管壁温度急剧升高，加速灰渣的黏附过程；烟气流速过慢，则会使灰渣在炉膛内大量沉降堆积。

2.2.2 燃烧器设计与布置

燃烧器设计与布置的缺陷是造成锅炉结焦的重要原因。燃烧器喷口角度与风速设计存在问题时,火焰极易冲刷水冷壁,在局部区域形成高温环境,使得灰渣迅速达到熔融状态,快速黏附在水冷壁表面形成结焦。燃烧器布置的数量与位置不合理,会导致炉内火焰分布严重不均,形成多个局部高温区,为结焦创造了有利条件。

2.2.3 运行参数

运行参数控制不当是引发锅炉结焦的关键因素。炉膛温度过高,会使灰渣完全达到熔融态,极易直接黏附在受热面上形成结焦。锅炉若长期处于超负荷运行状态,局部热负荷过高,会形成难以处理的高温结焦区域;而在低负荷运行时,炉温波动剧烈,燃烧不稳定,大量未燃颗粒产生,进一步增加了结焦的可能性。

2.3 操作管理因素

2.3.1 燃烧调整不当

在锅炉运行过程中,燃烧调整不当是导致结焦的重要操作管理问题。部分操作人员未能根据燃料特性和负荷变化及时调整一、二次风配比,导致燃料燃烧不充分,产生大量未燃尽颗粒,这些颗粒附着在受热面上,为结焦提供物质基础。此外,对燃烧器的喷口角度和风速控制不到位,使得火焰形状和位置不合理,火焰直接冲刷水冷壁,造成局部高温,加速灰渣熔融和黏附,引发结焦现象。

2.3.2 吹灰操作不及时或不规范

吹灰操作不及时或不规范严重影响锅炉防结焦效果。部分操作人员未根据锅炉运行工况和受热面结焦情况,合理确定吹灰时间和频率,导致积灰无法及时清除,逐渐堆积形成结焦。吹灰过程中,若未按照规定流程操作,如吹灰压力不足、吹灰器喷射角度偏差,难以有效清除顽固积灰,使得灰渣持续在受热面黏附、固化。

2.3.3 运行人员培训不足

运行人员培训不足为锅炉结焦埋下隐患。由于缺乏系统的理论培训,部分运行人员对锅炉结焦机理、燃料特性与结焦关系等知识理解不深,无法准确判断影响结焦的关键因素。实践操作培训缺失,导致操作人员在燃烧调整、参数控制、吹灰操作等方面技能不熟练,面对复杂工况时难以采取正确的操作方式。同时,未开展针对性的案例培训,运行人员缺乏对实际结焦问题的分析和处理经验,在遇到突发状况时,不能及时有效地应对,使得小问题演变成严重的结焦故障,威胁锅炉安全稳定运行^[2]。

3 锅炉结焦的防治措施

3.1 燃料管理措施

3.1.1 合理选择燃料

合理选择燃料是防治锅炉结焦的首要环节。燃料灰熔点是关键指标,优先选用灰熔点高于1350℃的燃料,如无烟煤、贫煤,可有效降低灰渣熔融黏附风险。同时需控制硫分含量,将其限制在1.5%以下,避免因硫分过高生成碱性硫酸盐,降低灰熔点。挥发分也需适配锅炉设计,过高易引发火焰刷墙,过低则导致燃烧不稳定。此外,不同类型锅炉对燃料的要求各异,循环流化床锅炉适配低热值燃料,煤粉炉则需关注燃料粒度均匀性,通过精准匹配燃料特性与锅炉类型,从源头减少结焦可能。

3.1.2 严格控制燃料质量

严格把控燃料质量是防治结焦的重要保障。构建全流程质量管控体系,在采购阶段,对每批次燃料的灰分、水分、发热量、灰熔点等指标进行严格检测,结合抽样与实验室分析,确保燃料达标。储存环节中,将煤炭存放于干燥通风处,定期翻堆防止氧化自燃,避免燃料变质影响燃烧性能。同时建立燃料质量追溯制度,详细记录燃料从采购、运输到储存的全流程信息,一旦出现问题可快速定位并整改,确保进入锅炉的燃料质量稳定可靠,为锅炉安全运行提供坚实基础。

3.2 锅炉设计优化措施

3.2.1 优化炉膛结构与尺寸

优化炉膛结构与尺寸是减少结焦的关键设计手段。通过合理增加炉膛高度,可延长燃料在炉内的停留时间,促进充分燃烧,避免未燃尽颗粒黏附受热面。调整炉膛横截面积时,需精准匹配锅炉负荷与燃料特性,控制烟气流速在合理区间,防止因流速过快冲刷受热面或过慢导致灰渣沉积。同时,优化水冷壁布置,适当增加其吸热面积,可有效降低炉膛温度峰值,减少灰渣熔融概率。此外,采用合理的炉膛形状设计,如优化折焰角结构,能改善炉内气流分布,避免局部高温区域形成,从结构根源抑制结焦现象。

3.2.2 改进燃烧器设计与布置

改进燃烧器设计与布置对防治结焦至关重要。在设计上,采用新型低氮燃烧器,通过分级配风、精准喷射技术,实现燃料与空气的充分混合,降低燃烧区域温度峰值,减少氮氧化物生成的同时抑制结焦。在布置方面,依据炉膛结构和燃料特性,科学确定燃烧器数量与角度。对称布置燃烧器可确保火焰均匀充满炉膛,避免火焰刷墙;合理调整燃烧器上下倾角,能够灵活控制火焰中心位置,防止火焰上移或下沉引发局部结焦。

3.3 运行调整措施

3.3.1 合理调整燃烧

合理调整燃烧是防治锅炉结焦的核心运行策略。通过精准调配一、二次风比例,可保障燃料充分燃烧,避免因缺氧产生还原性气氛导致灰熔点降低。实时监测并调节燃烧器喷口风速与角度,能够控制火焰形状与位置,防止其冲刷水冷壁引发局部高温结焦。同时,根据锅炉负荷变化,动态调整燃烧器投运数量与出力,确保炉内温度场均匀分布。此外,定期检查燃烧器喷口的磨损情况,及时清理堵塞,维持各喷口配风均匀,优化燃烧工况,从运行过程中有效减少结焦风险。

3.3.2 控制运行参数

严格控制运行参数是预防锅炉结焦的关键保障。运行时需将炉膛温度维持在合理区间,过高易导致灰渣熔融,过低则影响燃烧效率,一般应根据燃料特性设定在 850 - 1100℃。合理调节锅炉负荷,避免长时间超负荷运行造成局部高温,或低负荷运行导致炉温波动。同时,精确控制汽包水位、蒸汽压力等参数,稳定汽水循环,防止因传热异常引发受热面结焦。此外,密切关注烟气含氧量,将其控制在 4% - 6%,确保燃料充分燃烧,减少因不完全燃烧产生的结焦隐患,保障锅炉安全高效运行^[3]。

3.4 吹灰系统改进措施

3.4.1 优化吹灰方式与频率

优化吹灰方式与频率是提升吹灰效果、预防结焦的关键。传统固定吹灰模式难以适应复杂工况,需根据锅炉负荷、燃料特性动态调整。高负荷或燃用易结焦燃料时,增加吹灰频次,对燃烧器区域、折焰角等易结焦部位进行重点吹扫;低负荷时,减少吹灰次数,避免过度吹扫导致受热面磨损。引入智能吹灰系统,利用温度、压力传感器实时监测受热面结焦状况,通过大数据分析自动匹配最佳吹灰方案,实现精准作业。同时,结合脉冲式、声波式等多元吹灰技术,针对不同结焦特性灵活组合应用,在降低能耗的同时,有效清除积灰,抑制结焦发展。

3.4.2 定期维护吹灰设备

定期维护吹灰设备是保障吹灰系统稳定运行的基础。长期处于高温、高尘环境下,吹灰设备易出现管道堵塞、喷嘴磨损、阀门卡涩等问题,导致吹灰压力不足、喷射方向偏移。需建立标准化维护流程,定期清理管道积灰杂质,润滑传动部件,校准压力传感器与阀门开度,及时更换磨损严重的喷嘴。采用振动监测、红外热成像等技术,实时掌握设备运行状态,提前预判潜在故障。制定详细的维护台账,记录设备检修、部件更换等信息,实现全生命周期管理。通过系统化维护,确保

吹灰设备始终保持高效性能,为锅炉安全运行提供可靠保障。

3.5 人员培训与管理措施

3.5.1 加强运行人员培训

加强运行人员培训是防治锅炉结焦的人力保障。培训需涵盖理论与实践两部分,理论课程着重讲解锅炉结焦机理、燃料特性对结焦的影响、燃烧调整原理等知识,让运行人员深入理解结焦成因;实践培训则通过模拟操作与现场指导,使其熟练掌握燃烧器调节、运行参数控制、吹灰系统操作等技能。定期开展案例分析研讨会,剖析因操作不当引发的结焦事故,总结经验教训,提升人员对异常工况的判断和处理能力。此外,鼓励运行人员参与行业新技术、新方法的学习交流活动,更新知识储备,增强应对复杂运行状况的能力,从操作源头减少结焦风险。

3.5.2 建立健全管理制度

建立健全管理制度是防治锅炉结焦的制度支撑。首先制定明确的岗位责任制,划分运行、维护、管理人员在防结焦工作中的具体职责,避免责任推诿。构建科学的考核体系,将锅炉结焦率、设备维护质量、参数控制精度等指标纳入考核,对表现优异者给予奖励,对违规操作导致结焦问题的人员予以处罚,激发员工积极性。完善设备巡检制度,规定巡检周期与标准,要求运行人员及时发现并上报设备隐患。制定锅炉结焦应急预案,定期组织演练,确保在突发状况下,工作人员能迅速响应、有效处置,以制度化手段保障锅炉安全稳定运行,降低结焦危害^[4]。

结束语

锅炉结焦问题涉及燃料特性、设备设计、运行管理等多方面因素,对其成因的深入剖析是制定有效防治策略的基础。通过对上述内容的梳理可知,从优化燃料选择与管理、改进锅炉设计、调整运行参数、完善吹灰系统,到强化人员培训与制度建设,多维度协同治理才能提升防治效果。

参考文献

- [1]王兆方.电厂锅炉结焦原因与预防性措施分析[J].山西化工,2023,43(10):96-98.
- [2]易鼎强.火电厂锅炉结焦的原因与预防措施研究[J].现代制造技术与装备,2023,59(10):128-130.
- [3]陈洪.电厂锅炉结焦原因与预防性措施探讨[J].中国设备工程,2021(24):187-188.
- [4]张波,王建峰,卢佳等.煤粉锅炉煤质结焦性能分析与预防结焦建议[J].电力科技与环保,2021,37(01):38-41.