

电厂锅炉运行调整防止锅炉结焦优化分析

杨永胜

陕西煤业化工集团神木电化发展有限公司 陕西 榆林 719300

摘要: 本文围绕电厂锅炉结焦问题, 阐述结焦的定义、形成机理及危害, 分析煤质、运行参数、设备结构等核心影响因素, 指出当前运行调整中配风不合理、煤质适配性差等问题及成因。结合电厂实际运行工况, 从燃烧配风、煤质适配、参数控制、监测预警四个维度, 提出针对性优化措施, 实现对锅炉结焦的精准防控, 提升锅炉运行安全性与经济性, 为电厂锅炉高效稳定运行提供理论与实践支撑。

关键词: 电厂锅炉; 运行调整; 防止锅炉结焦; 优化措施

引言: 锅炉作为电厂动力核心设备, 其稳定运行直接关系到电厂生产安全与经济效益。锅炉结焦是运行中常见的顽疾, 由灰分熔融烧结等复杂物理化学过程引发, 会导致受热面超温爆管、热效率下降等问题, 严重时引发机组非计划停运。当前电厂锅炉运行调整仍存在诸多不足, 难以有效遏制结焦隐患。因此, 深入分析结焦影响因素, 优化运行调整策略, 对预防锅炉结焦、保障机组安全经济运行具有重要现实意义。

1 电厂锅炉结焦相关基础理论

1.1 锅炉结焦的定义与分类

(1) 结焦定义: 高温下燃料燃烧后产生的灰分, 在炉内高温环境中熔融形成液态或半液态渣, 当这些熔融渣接触到温度较低的受热面时, 迅速冷却并粘附在表面, 经过一段时间烧结固化, 最终形成坚硬附着物的现象。其与低温沾污存在本质区别, 低温沾污是低温环境下灰分中易潮解成分凝结粘附, 无熔融烧结过程。(2) 结焦分类: 按发生部位可分为炉膛水冷壁结焦、炉膛出口烟窗结焦、屏式过热器结焦、对流过热器及省煤器结焦等, 其中炉膛水冷壁结焦最为常见; 按结焦程度可分为轻微结焦(附着物较薄、易清除)、中度结焦(附着物厚度中等, 影响传热)、严重结焦(附着物坚硬厚实, 堵塞通道)。

1.2 锅炉结焦的形成机理

(1) 结焦四阶段: 灰分熔融阶段, 灰分在高温下达到软化熔融温度, 形成液态或半液态; 黏附阶段, 熔融灰渣接触受热面, 因温度差迅速冷却, 产生黏附力并附着在表面; 沉积阶段, 后续熔融灰渣持续附着, 逐渐堆积增厚; 烧结阶段, 沉积的灰渣在高温和压力作用下, 发生化学反应并致密化, 形成坚硬的焦块, 各阶段均伴随复杂的物理化学变化。(2) 关键影响机制: 高温熔融机制, 炉内局部温度超过灰分软化温度, 是结焦的前提; 还原性气氛诱导机制, 炉内缺氧形成还原性气氛, 会降低灰

分软化温度, 加速熔融; 灰颗粒黏附沉积机制, 熔融灰颗粒的表面张力、受热面粗糙度等, 影响黏附强度和沉积速度^[1]。

1.3 锅炉结焦的危害

(1) 安全危害: 结焦会恶化受热面传热, 导致局部温度过高, 引发受热面超温爆管; 焦块堵塞烟气通道, 破坏炉内动力场, 影响燃烧稳定性; 大块结焦脱落易砸坏水冷壁等设备, 严重时引发机组非计划停运, 威胁电厂安全生产。(2) 经济危害: 传热效率下降会降低锅炉热效率, 增加煤耗和排烟热损失; 结焦需投入人力物力清理, 提高设备维护成本, 单次严重结焦事故的直接经济损失可达数十万元。

1.4 结焦与沾污的区别及内在联系

(1) 核心区别: 形成机理上, 结焦是灰分熔融烧结, 沾污是低温凝结粘附; 温度条件上, 结焦需高温环境, 沾污发生在低温区域; 沉积物特性上, 结焦产物坚硬致密, 沾污产物松散易清除; 发生部位上, 结焦多在炉膛及高温受热面, 沾污多在低温受热面。(2) 内在联系: 二者均源于燃料灰分, 属于灰分危害的不同表现形式, 在一定条件下可相互转化, 如轻微沾污长期积累可能因局部过热引发结焦, 二者叠加会加剧受热面损伤, 且诱因均与燃料特性、燃烧工况等高度相关。

2 电厂锅炉结焦的影响因素及现有运行调整存在的问题

2.1 锅炉结焦的主要影响因素

(1) 煤质因素: 煤质是结焦的核心诱因, 灰熔点越低越易结焦, 通常灰熔点低于1300°C时结焦风险显著升高; 挥发分过高易导致火焰中心上移, 过低则燃烧不充分, 均会加剧结焦; 灰分中SiO₂/Al₂O₃比值过高或碱金属(K、Na)含量超标, 会降低灰渣软化温度, 促进熔融粘附; 发热量偏低时, 需增加投煤量, 导致炉内负荷偏高、

温度上升,间接增加结焦概率。(2)运行参数因素:一二次风配比失衡会导致燃烧不完全,形成还原性气氛,加速结焦;风速过低使灰颗粒停留时间过长,过高则易造成火焰偏斜,风温不足会影响燃烧稳定性,均会诱发结焦;过量空气系数过小形成还原性气氛,过大则降低炉内温度,需合理控制在1.1-1.2;火焰中心上移会导致炉膛出口温度升高,负荷骤升骤降会破坏炉内温度场,加剧结焦^[2]。(3)设备结构因素:燃烧器结构不合理会导致煤粉混合不均、燃烧不完全,形成局部高温区;受热面布置过密易导致烟气流道不畅,局部积灰结焦;卫燃带覆盖率过高会提高炉膛局部温度,超过灰分软化温度,引发水冷壁结焦,覆盖率过低则无法满足燃烧温度需求,同样可能诱发结焦。

2.2 现有锅炉运行调整现状

(1)燃烧配风调整现状:目前多数电厂采用手动与自动结合的一二次风控制方式,部分机组应用分层配风技术优化燃烧工况,但控制精度不足;吹灰系统多采用定期吹灰模式,少数机组实现按需吹灰,但吹灰时机和强度缺乏科学把控,存在吹灰不彻底或过度吹灰的问题。(2)煤质适配调整现状:入炉煤预处理多以破碎、筛分为主,缺乏深度净化处理;配煤掺烧技术已广泛应用,但多依赖经验配比,缺乏精准的科学计算;添加剂(助燃、防焦剂)应用较为普遍,但存在选型不当、用量不规范的情况,防焦效果参差不齐。(3)运行参数控制现状:负荷调节多采用定压或滑压调节方式,部分机组负荷波动频繁;炉膛温度及烟气参数主要通过热电偶监测,控制水平处于基础阶段,难以实现实时精准调控,无法及时响应结焦隐患。

2.3 现有运行调整存在的问题

(1)配风调整不合理:一二次风配比常出现失衡现象,风速风温波动幅度较大,导致火焰偏斜,形成局部高温区,加速受热面结焦,且缺乏动态调整机制,无法适配工况变化。(2)煤质适配性差:对入炉煤质成分变化监测响应不及时,配煤掺烧缺乏科学模型指导,多依赖经验操作,添加剂使用未结合煤质特性精准调控,用量和使用时机不规范,无法有效抑制结焦。(3)参数控制精细化不足:负荷频繁大幅波动,破坏炉内温度场和动力场稳定性;氧量控制偏差较大,难以维持合理的燃烧气氛;缺乏结焦预警与运行调整的联动机制,无法提前规避结焦风险。(4)监测与维护不到位:结焦监测主要依赖人工巡检和单点温度监测,手段单一,难以全面掌握炉内结焦情况;吹灰策略不合理,未根据结焦程度动态调整,受热面清理和维护不及时,导致结焦持续累积^[3]。

2.4 问题成因分析

(1)技术层面:缺乏煤质、运行参数、设备状态多参数协同优化模型,数值模拟技术应用不充分,无法精准预测结焦趋势;结焦机理研究多停留在理论层面,与电厂实际运行工况结合不紧密,技术转化不足。(2)管理层面:运行人员专业操作水平参差不齐,对结焦诱因和调整技巧掌握不熟练;煤质检测与运行调整的联动机制不完善,检测数据无法及时指导运行调整;受热面维护、吹灰管理等制度不健全,责任落实不到位,导致问题长期积累。

3 电厂锅炉运行调整防止结焦的优化措施

3.1 燃烧配风系统运行优化

(1)一二次风参数优化:结合不同煤种的特性,明确各煤种对应的一次风率控制阈值,通常烟煤一次风率控制在20%-25%,无烟煤控制在15%-20%,避免一次风率过高导致煤粉着火延迟、过低造成燃烧不完全。同时确定合理的一次风速与风温,一次风速控制在20-30m/s,风温根据煤种挥发分调整,挥发分低的煤种需提高风温至300-350℃,建立风煤比联动曲线,实现煤粉量与风量的实时匹配,确保燃烧稳定,减少局部高温区域形成。(2)分层配风与气氛优化:采用“上大下小”的分层配风方式,合理分配各层燃烧器的风量,上层加大风量抑制火焰上移,下层适当减风控制燃烧强度,避免炉膛局部温度过高。强化周界风与夹心风的保护作用,增大周界风风速,形成空气保护膜,防止火焰贴壁,同时将炉膛出口过量空气系数严格控制在1.1-1.2之间,避免还原性气氛形成,从根源上抑制结焦。(3)火焰中心调整:根据锅炉负荷与煤种变化,优化燃烧器倾角与旋流强度,将燃烧器倾角调整至30°-45°,通过改变旋流叶片角度调节旋流强度,托举火焰中心远离水冷壁等受热面,有效避免火焰贴壁、偏斜现象,减少受热面直接受高温冲刷,降低结焦概率^[4]。

3.2 煤质适配与预处理优化

(1)配煤优化:严格控制低灰熔点煤(灰熔点 < 1300℃)的掺烧比例,其掺烧量不超过总煤量的30%,通过掺混高灰熔点煤(灰熔点 ≥ 1450℃)、无烟煤等优质煤种,提升混合煤的整体灰熔点,确保混合煤灰熔点不低于1350℃。结合锅炉设计参数与运行工况,通过多次试验确定最优配煤方案,在兼顾燃烧效率、降低煤耗的同时,最大限度提升煤种抗结焦能力,避免单一低灰熔点煤种燃烧引发的结焦隐患。(2)添加剂优化:规范高岭土、石灰石等防焦添加剂的使用流程,根据入炉煤质灰分成分、碱金属含量确定合理使用比例,其中高岭土

添加量控制在煤量的0.5%~1.0%，石灰石添加量根据碱金属含量动态调整，确保添加剂粒径控制在80~120目，通过精准粉碎、均匀混合工艺，使添加剂与煤粉充分融合，有效吸附灰分中的碱金属离子，改善灰熔特性，提高灰渣软化温度，抑制熔融灰渣在受热面的粘附与烧结。(3)煤质监测与响应：建立煤质实时在线监测系统，在入炉煤皮带、煤粉仓入口等关键位置安装检测设备，实时监测煤质的灰分、挥发分、发热量、灰熔点等核心指标，当煤质指标出现±5%以上波动时，系统自动发出预警信号。运行人员根据监测数据，及时调整风煤比、配风方式、负荷等运行参数，实现煤质变化与运行工况的精准适配，避免煤质波动引发的结焦问题。

3.3 运行参数精细化控制优化

(1) 负荷与温度控制：采用梯度升降负荷策略，严格控制负荷波动幅度，升降负荷速率控制在1%~2%额定负荷/分钟，避免负荷频繁大幅波动导致炉内温度场剧烈变化。通过优化燃烧调整，精准控制炉膛局部温度不超过灰分软化温度，将炉膛出口烟温控制在设计值±50℃范围内，同时优化炉膛换热结构，提升受热面换热效率，避免烟温过高导致炉膛出口、屏式过热器等部位结焦。(2) 氧量与烟气参数控制：采用精准氧量控制技术，借助在线监测设备实时调控氧量，将炉膛出口氧量波动控制在±0.3%范围内，同时实时监测烟气中CO、SO₂、NO_x等成分含量，当CO含量超过800ppm时，及时调整过量空气系数，抑制还原性气氛形成。优化烟气循环方式，合理分配烟气流量，改善炉内温度场与气氛分布，减少局部高温、缺氧区域，从工况上防范结焦。(3) 吹灰策略优化：根据不同受热面的结焦特性，制定差异化吹灰方案，炉膛水冷壁采用高频次、短时间吹灰模式，屏式过热器、对流过热器采用低频次、长时间吹灰模式，结合结焦监测数据合理确定吹灰频率与吹灰时长，避免过度吹灰损伤受热面或吹灰不彻底导致结焦累积，同时定期检查吹灰器运行状态，确保吹灰效果^[5]。

3.4 监测与预警系统优化

(1) 监测手段优化：集成红外热像仪、声波检测、光纤测温、炉膛摄像等多种先进监测技术，在炉膛四周、受热面关键部位安装监测设备，实现炉内结焦状况的实时可视化监测，精准捕捉受热面温度异常、结焦厚度变化、火焰形态偏移等情况，替代传统人工巡检与单点监测模式，提升结焦监测的全面性、准确性与及时性，为运行调整提供可靠数据支撑。(2) 预警模型构建：基于大数据与AI算法，整合煤质监测数据、运行参数数据、结焦监测数据等多源信息，建立结焦风险预警模型。通过分析历史结焦数据、运行工况数据，精准识别结焦诱发因素，预测结焦风险等级，当达到预警阈值时，系统自动发出声光预警信号，并联动调整配风方式、负荷、吹灰策略等运行参数，实现结焦风险的提前预警与主动防控，有效减少结焦事故发生，保障锅炉安全稳定运行。

结束语

综上所述，电厂锅炉结焦受煤质、运行工况等多因素协同影响，现有运行调整模式的精细化不足、监测预警滞后等问题，是结焦隐患频发的关键。本文提出的燃烧配风优化、煤质精准适配等措施，可有效弥补现有不足，实现结焦风险的提前防控与精准治理。后续需结合电厂实际机组特性，持续完善优化方案，强化技术落地与管理提升，切实降低结焦危害，推动锅炉运行向更安全、高效、经济的方向发展。

参考文献

- [1]王云鹏.锅炉结焦原因分析及对策[J].中国设备工程,2020,21(15):165-166.
- [2]周永.浅谈电厂锅炉结焦的原因及改善对策[J].科学技术创新,2020,7(9):34-35.
- [3]李跃.燃煤锅炉结焦及预防措施研究[J].清洗世界,2023,39(12):10-12.
- [4]王志强.燃煤锅炉结焦及预防措施研究[J].工业炉,2022,44(5):22-26.
- [5]刘灿.某厂超临界循环流化床锅炉结焦分析[J].上海节能,2023,15(11):173-178.