

# 煤化工电站锅炉结焦成因及防控措施研究

马 硕

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司 宁夏 银川 750411

**摘 要:** 在煤化工电站锅炉运行过程中, 结焦问题严重影响锅炉热效率、安全运行及稳定性。本文深入剖析锅炉结焦的分类与表现形式, 从燃料、燃烧过程、锅炉结构与受热面布置、运行管理等多维度探究结焦成因。提出燃料优化与预处理、燃烧调整与优化、锅炉结构与受热面改进、运行管理强化以及结焦监测与清除技术应用等一系列防控措施, 为解决煤化工电站锅炉结焦问题提供全面参考, 助力提升锅炉运行的经济性与安全性。

**关键词:** 煤化工电站锅炉; 结焦成因; 防控措施; 热效率; 安全运行

**引言:** 煤化工产业中, 电站锅炉是核心设备, 其稳定高效运行对保障能源供应与生产流程至关重要。然而, 锅炉结焦现象频繁发生, 成为制约锅炉性能提升的关键因素。结焦不仅降低锅炉热效率, 增加能源消耗, 还对锅炉本体结构安全构成威胁, 影响运行稳定性, 导致发电成本上升与设备折旧加速。因此, 深入研究锅炉结焦的成因, 制定切实可行的防控措施, 对提高煤化工电站锅炉运行质量、降低运营成本、保障产业可持续发展具有重大意义。

## 1 锅炉结焦的分类与表现形式

### 1.1 结焦分类

锅炉结焦依据不同维度存在多种分类方式。从结焦位置角度划分, 主要有炉膛结焦、过热器结焦、再热器结焦以及省煤器结焦等。炉膛是燃料燃烧的主要场所, 此处结焦多因燃烧过程中灰分熔融后粘附在炉膛水冷壁上形成<sup>[1]</sup>。过热器与再热器位于炉膛出口后的烟道中, 高温烟气携带的灰粒在此处易因流速变化、温度条件等因素沉积结焦。省煤器结焦则通常是由于烟气中灰粒在省煤器管束表面沉积, 长时间积累后形成硬质焦块。按结焦形态分类, 可分为疏松结焦与致密结焦。疏松结焦结构较为松散, 内部存在较多孔隙, 质地相对较软, 这种结焦多在灰分熔点相对较高、燃烧工况波动较大的情况下形成。致密结焦则结构紧密, 几乎没有孔隙, 质地坚硬, 往往是在灰分熔点较低、燃烧过程稳定且局部温度过高的条件下产生, 致密结焦对锅炉设备的危害更为严重, 清除难度也更大。

### 1.2 表现形式

锅炉结焦在外观特征上有明显表现。疏松结焦外观多呈不规则块状, 颜色较浅, 表面粗糙, 用手触碰易掉落碎屑。致密结焦则形状较为规则, 多为片状或块状, 颜色较深, 表面光滑且有金属光泽, 质地坚硬, 不易破碎。

对锅炉受热面的影响表现显著。结焦会附着在受热面管壁上, 增加热阻, 降低受热面的传热效率。炉膛结焦会使水冷壁吸热量减少, 导致炉膛出口烟温升高, 进而影响后续受热面的正常工作。过热器与再热器结焦会使其管壁温度升高, 加速金属材料的蠕变和老化, 缩短设备使用寿命, 甚至可能引发爆管等严重事故。省煤器结焦会降低省煤器的传热效果, 使排烟温度升高, 锅炉热效率下降。锅炉结焦还会在运行参数上产生异常反馈。结焦导致受热面传热不良, 会使蒸汽温度、压力等参数出现波动。炉膛结焦严重时, 炉膛负压会发生变化, 可能出现正压燃烧情况, 影响锅炉的安全运行。同时, 结焦还会使锅炉的燃料消耗量增加, 排烟损失增大, 降低锅炉的经济性。

## 2 锅炉结焦成因分析

### 2.1 燃料因素

煤质特性对锅炉结焦具有显著影响。灰分含量与成分是关键因素, 灰分中钙、镁、铁等碱性氧化物及钠、钾等碱金属元素含量高时, 易形成低熔点共熔体, 降低灰渣熔点, 促使灰渣在受热面提前熔融粘附, 形成结焦。挥发分含量同样重要, 挥发分高则煤粉易着火燃烧, 火焰温度高且集中, 若控制不当易导致局部高温, 加剧结焦倾向。煤的粒度与均匀性也不容忽视, 粒度过大导致燃烧不完全, 未燃尽碳粒与灰渣混合增加结焦风险; 粒度过小则易被气流携带沉积<sup>[2]</sup>。燃料混合比例与方式对结焦亦有影响, 不同煤种混合比例不当或混合不均, 会破坏燃烧稳定性, 形成局部高温区。

### 2.2 燃烧过程因素

燃烧器设计与布置对燃烧效果及结焦具有决定性作用。燃烧器类型选择不当, 会导致燃烧效率低下, 火焰形状不佳, 易形成局部高温。燃烧器喷口角度与间距设置不合理, 会使火焰偏斜或贴壁燃烧, 造成受热面局部

过热结焦。燃烧调整参数中,一次风与二次风配比至关重要,配比不当会导致燃烧不完全或局部缺氧,产生大量未燃尽碳粒与灰渣混合物。风速与风温控制不当,会影响火焰长度与温度分布,风速过低导致火焰拖长,风温过高则易使灰渣提前熔融。过量空气系数过大或过小,均会破坏燃烧稳定性,过量空气系数小导致缺氧燃烧,产生还原性气氛,降低灰渣熔点;过量空气系数大则降低炉膛温度,但会增加排烟热损失。燃烧稳定性差及火焰中心位置偏移,会导致炉膛温度分布不均,局部区域温度过高而结焦。局部缺氧燃烧则使灰渣在还原性气氛中熔点降低,易粘附受热面。

### 2.3 锅炉结构与受热面布置因素

炉膛几何尺寸对结焦具有重要影响。炉膛高度与宽度设置不当,会导致炉膛容积热负荷过高或过低,过高则局部区域温度过高易结焦,过低则燃烧效率低下。受热面布置方式同样关键,水冷壁与过热器间距过小,易形成气流死区,灰渣沉积并结焦;受热面节距与排列密度过大或过小,均会影响烟气流动与传热效果。烟气流动特性对结焦亦有显著影响,烟气走廊形成会导致局部烟速过高,冲刷受热面并带走灰渣,但也可在速度降低区域形成灰渣沉积。烟气在炉膛内停留时间过长,灰渣有更多机会粘附受热面;停留时间过短,则灰渣未完全燃烧易形成未燃尽碳粒与灰渣混合物。

### 2.4 运行管理因素

运行人员操作水平对锅炉结焦具有直接影响。负荷调整不当会导致炉膛温度、气流速度等参数变化剧烈,破坏炉内热平衡,增加结焦风险。燃烧调整不及时则无法根据煤质变化与负荷调整优化燃烧参数,导致燃烧不稳定或局部高温。设备维护与检修同样重要,燃烧器磨损与变形会破坏火焰形状与燃烧稳定性;受热面积灰与结垢会降低传热效率,导致局部过热结焦<sup>[3]</sup>。监测与控制系统对结焦防控至关重要,监测仪表准确性与可靠性影响运行人员对锅炉状态的判断;控制系统调节性能则决定能否及时响应煤质变化与负荷调整,保持锅炉稳定运行。

## 3 锅炉结焦的危害

### 3.1 对锅炉热效率的负面影响

锅炉结焦会显著降低热能转换效率,这一过程主要通过受热面传热受阻与排烟热损失增加两种机制实现。当灰渣沉积在水冷壁、过热器等关键受热面表面时,会形成一层导热性能极差的隔热层,直接阻碍高温烟气与金属管壁间的热量传递。这种传热障碍使得燃料燃烧释放的热量无法被有效吸收,迫使锅炉为维持额定负荷而消耗更多燃料。与此同时,结焦区域附近烟气流阻

增大,局部流速降低导致烟气在炉膛内停留时间延长,后部受热面吸热量随之减少,最终引发排烟温度异常升高。未被利用的热能随烟气直接排入大气,形成显著的能量浪费,进一步削弱锅炉整体热效率。

### 3.2 对锅炉安全运行的潜在威胁

结焦现象对锅炉本体结构安全构成多重连锁威胁。水冷壁表面沉积的焦块会破坏金属管壁与高温烟气间的正常换热过程,导致管壁温度分布严重失衡,局部区域持续处于超温状态。长期超温运行会加速金属材料蠕变进程,降低管壁机械强度,为爆管事故埋下隐患。当焦块积累至一定重量时,可能因重力作用或气流冲击突然脱落,高速坠落的焦块携带强大动能,可直接砸坏水冷壁管、过热器管排等关键部件,造成设备严重损坏与被迫停炉检修。此外,结焦引发的炉膛内热负荷分布异常会改变水循环回路工质流动特性,使部分管屏吸热量锐减,导致工质流动阻力失衡,破坏自然循环或强制循环的稳定性,严重时可能引发水循环停滞,进一步加剧管壁超温风险。

### 3.3 对锅炉运行稳定性的干扰

结焦导致的燃烧工况恶化是影响锅炉稳定运行的核心诱因。焦块附着在燃烧器喷口附近会改变煤粉射流方向,破坏炉膛内精心设计的空气动力场平衡,造成火焰偏斜、局部缺氧或富氧燃烧等异常状态。这种不均匀的燃烧过程不仅降低燃料利用率,增加未燃尽碳损失,还会导致炉膛出口温度场分布紊乱,影响后续对流受热面安全运行。结焦还会引发炉膛负压频繁波动,当焦块脱落时,炉内气体体积突然变化导致负压瞬间升至危险值,可能造成燃烧器回火或炉墙密封失效等严重后果。为应对结焦问题,运行人员需频繁调整燃烧参数或进行人工除焦作业,这些干预措施会缩短锅炉连续运行周期,增加设备启停次数,导致发电成本上升与设备折旧加速,形成恶性循环。

## 4 锅炉结焦防控措施

### 4.1 燃料优化与预处理

防控锅炉结焦,需从燃料环节入手实施优化与预处理。合理选择煤种是基础,应依据锅炉的设计参数、运行特性以及当地煤炭资源状况,挑选灰熔点高、硫分低、挥发分适宜的煤种。灰熔点高的煤种在燃烧过程中不易熔融粘结,能从源头上降低结焦的可能性;低硫分可减少燃烧过程中腐蚀性物质的生成,保护受热面;适宜的挥发分能保证燃烧的稳定性与充分性。燃料掺配与均质化处理也至关重要,将不同品质的煤种按科学比例混合,利用均质化设备使燃料成分均匀分布,避免因煤质波动

导致局部燃烧异常而结焦<sup>[4]</sup>。燃料破碎与筛分优化同样不可忽视,通过精确控制破碎设备的参数,使燃料粒度符合锅炉燃烧要求,既不过大导致燃烧不完全,产生未燃尽碳粒增加结焦风险,也不过小引发飞灰含碳量升高和受热面磨损加剧等问题。

#### 4.2 燃烧调整与优化

燃烧调整与优化是防控结焦的核心环节。对燃烧器进行改造与优化设计,选用适合锅炉特性的燃烧器类型,如低氮燃烧器等,并合理调整燃烧器喷口角度与间距,使火焰在炉膛内分布均匀,避免局部高温区的形成,减少结焦的物质基础。优化一次风与二次风配比,一次风负责输送燃料并提供初期燃烧所需氧气,二次风在适当时候介入补充氧气,促进燃料充分燃烧。合理配比能使燃烧过程稳定有序,防止因缺氧燃烧产生还原性气氛降低灰渣熔点而结焦。调整风速与风温,合适的风速能保证气流携带燃料稳定燃烧,避免火焰偏斜或贴壁;适宜的风温有助于燃料快速着火和稳定燃烧,防止因风温不当导致燃烧不稳定而产生结焦。稳定燃烧工况,精确控制燃料量与风量,保持火焰中心位置稳定,避免火焰偏斜或频繁变动,减少对受热面的冲刷和局部过热,降低结焦几率。

#### 4.3 锅炉结构与受热面改进

锅炉结构与受热面改进对防控结焦有显著作用。优化炉膛几何尺寸,根据燃料特性和燃烧方式,合理确定炉膛高度、宽度和容积热负荷。合适的炉膛尺寸能使炉膛内温度分布均匀,避免局部温度过高导致灰渣熔融结焦。调整受热面布置方式,合理设置水冷壁与过热器等受热面的间距,优化受热面的节距和排列密度,改善传热效果,减少灰渣在受热面的沉积。改善烟气流动特性,通过调整炉膛结构和受热面布局,消除烟气走廊,使烟气在炉膛内流动顺畅,避免局部流速过低导致灰渣沉积结焦,保证烟气与受热面的充分换热。

#### 4.4 运行管理强化

强化运行管理是防控结焦的重要保障。提高运行人员操作技能与责任心,通过定期培训和考核,让运行人员熟悉锅炉运行特性和结焦防控知识,能够根据煤质变化和负荷调整及时优化燃烧参数,准确判断和处理异常情况。建立完善的设备维护与检修制度,定期对燃烧器、受热面等关键设备进行检查、维护和更换,及时清理积灰结垢,保持设备良好运行状态,防止因设备故障引发

结焦。加强监测与控制系统的维护与升级,确保监测仪表准确可靠,控制系统调节性能优良,能实时反映锅炉运行状态,为运行调整提供科学依据,及时发现并处理结焦隐患。

#### 4.5 结焦监测与清除技术

安装结焦监测装置能够实时监测锅炉受热面的结焦情况。通过采用先进的传感器技术与数据分析方法,及时发现结焦的早期迹象,为运行人员提供准确的预警信息,以便及时采取措施进行处理。采用机械清焦、化学清焦等方法能够有效清除已形成的结焦。机械清焦通过专门的清焦设备,如清焦机器人、高压水枪等,对受热面上的结焦进行物理清除。化学清焦则是利用化学药剂与结焦发生化学反应,使结焦软化、脱落,达到清除结焦的目的。制定合理的清焦周期与方案能够保证清焦工作的有效性与经济性<sup>[5]</sup>。根据锅炉的运行工况、燃料特性与结焦情况,确定合适的清焦周期,避免因清焦过于频繁增加运行成本或清焦不及时导致结焦加重。同时,制定详细的清焦方案,明确清焦的方法、步骤与安全措施,确保清焦工作安全顺利进行。

#### 结束语

煤化工电站锅炉结焦问题复杂多样,成因涉及燃料、燃烧、锅炉结构及运行管理等多方面。通过燃料优化与预处理、燃烧调整与优化、锅炉结构与受热面改进、运行管理强化以及结焦监测与清除技术应用等综合防控措施,可有效降低锅炉结焦风险,提升锅炉热效率,保障锅炉安全稳定运行。在实际运行中,需根据锅炉具体情况,灵活运用这些措施,持续优化运行管理,确保锅炉长期处于良好运行状态,为煤化工产业的稳定发展提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]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.
- [2]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.
- [3]刘灿.某厂超临界循环流化床锅炉结焦分析[J].上海节能,2023(11):1734-1738.
- [4]张博宇.电厂锅炉结焦原因分析及预防措施[J].现代制造技术与装备,2023,59(12):219-221.
- [5]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.