

锅炉积灰结焦机理及预防措施研究

龚 昊 刁 凡

华能国际电力江苏能源开发有限公司南京电厂 江苏 南京 211500

摘 要：锅炉积灰结焦是指燃料燃烧产生的微小灰粒在锅炉受热面上的积聚及灰沉积物的融化积聚。积灰主要由灰粒自然沉积形成，相对疏松；结焦则是灰的熔融和粘附导致，形成的硬块不易碎裂。积灰和结焦均会降低锅炉热效率，增加排烟损失，甚至引发事故。本文通过分析锅炉积灰结焦的机理，探讨针对性的预防措施，旨在保障锅炉安全高效运行，提高能源利用效率。

关键词：锅炉；积灰结焦机理；预防措施

引言：锅炉积灰结焦是锅炉运行中常见的问题，严重影响锅炉的热效率和安全运行。积灰主要由燃料燃烧产生的灰粒在锅炉受热面上的积聚形成，而结焦则是灰沉积物在受热面上融化后的积聚。研究锅炉积灰结焦的机理及预防措施，对于保障锅炉安全高效运行具有重要意义。

1 锅炉积灰结焦的基本概念

锅炉积灰结焦是锅炉运行过程中常见的现象，对锅炉的安全性和效率产生重要影响。积灰是指燃料燃烧过程中产生的微小灰粒，在锅炉受热面上逐渐沉积形成的一层疏松的灰层。这些灰粒主要来源于煤、油或其他燃料中的矿物质成分，在燃烧过程中被氧化或挥发后凝结而成。积灰的存在会增加受热面的热阻，降低热传递效率，导致锅炉排烟温度升高，热损失增加。而结焦则是积灰的一种严重形式，是指灰沉积物在高温下发生熔融，并粘附在受热面上形成的一层坚硬的焦块。结焦的形成不仅与灰粒的化学成分和物理特性有关，还受到锅炉燃烧状况、受热面温度分布以及烟气流速等多种因素的影响。结焦会严重恶化锅炉的传热性能，甚至可能导致受热面过热、变形或损坏，对锅炉的安全运行构成严重威胁。

2 锅炉积灰结焦的机理探讨

2.1 煤质特性对积灰结焦的影响

煤的成分和特性对锅炉积灰结焦有着直接的影响。灰分含量高的煤，燃烧后烟气中的飞灰浓度高，容易在受热面上形成沉积，进而形成结焦。灰分中的矿物质在高温下会形成硅酸盐等化合物，这些化合物熔点较高，容易在受热面上形成附着物，导致结焦。挥发分含量高的煤，燃烧时烟气中会形成大量的可燃气体和颗粒物，这些物质也容易在受热面上沉积，导致结焦^[1]。硫分含量高的煤在燃烧时会产生大量的二氧化硫气体，这些气体

与烟气中的水分反应生成硫酸蒸汽，硫酸蒸汽在受热面上凝结成酸液，会加剧受热面的腐蚀和结焦。煤粉的细度也会影响锅炉积灰结焦，煤粉过粗或过细都可能导致燃烧不完全，形成大量的未燃烬颗粒物或飞灰，在受热面上沉积形成结焦。

2.2 燃烧过程的影响

在燃烧过程中，若空气量不足，其燃烧时就不易达到完全燃烧，将导致灰熔点降低，形成结焦。火焰偏斜会使最高火焰层移到边侧，导致灰粒得不到足够的冷却，灼热的灰粒与水冷壁受热面接触时就会很快粘附上去，形成结焦。煤粉颗粒中的易熔或易气化成分会迅速挥发进入烟气中，当这些挥发成分的温度降低时，会凝结或粘附在烟气冲刷的受热面或炉墙上，形成熔融的碱化物膜，进一步构成结焦的初始条件。

2.3 锅炉运行条件的作用

锅炉的运行条件对积灰结焦也有重要影响。例如，炉膛内温度极高时，部分灰颗粒会呈现熔融或半熔融状态，若这些灰颗粒在到达受热面之前未能充分冷却凝固，就会因其较高的粘结性而容易粘附在受热面上，形成结焦。锅炉设备的漏风问题也不容忽视，漏风会降低燃烧室的温度水平，推迟燃烧进程，从而增加结焦的可能性。吹灰器的吹灰效果和运行人员对吹灰的调整也会影响锅炉受热面上的积灰和结焦情况。

2.4 积灰结焦的类型与特征

锅炉积灰结焦主要有以下几种类型与特征；第一、浮灰积灰：主要发生在对流段、空气预热器、省煤器、除尘器等烟道各部位，占炉内积灰的比例最大，约60%以上。主要是粒度小于30 μm 的飞灰粒子所产生的物理沉积，呈干松状，粘结力很小，易于清除，但热阻很大，对锅炉的热效率影响明显。第二、结渣：主要发生在炉膛的辐射管、凝渣管、过热器前部等高温对流受热

面上。这些部位温度很高,飞灰呈熔融状的粘性颗粒,在随烟气流动的过程中遇到温度低于烟气的受热面时迅速冷却,黏结在管壁上,并随着离开管壁的温度梯度的变化,形成有层次的不不断增厚的焦渣。第三、高温粘结灰:主要发生在烟温较高区域的炉膛和高温对流受热面上。燃料中含有的易熔碱性金属氧化物和硫酸盐在高温下会发生升华或形成易熔共晶体,在遇到较冷的受热面管壁时会冷凝下来,形成内灰层。随着灰层厚度的增加,外表温度也不断上升,直至达到熔化状态。第四、低温粘结灰:一般发生在空气预热器及其以后的冷段。是由于灰粉粒子中的大量碳粒子吸附了烟气中的硫酸根、亚硫酸根及水,形成粘性很强的含有硫酸的碳粒子,沉积或冷凝在受热器表面上,然后和烟气中的其它灰分粒子发生反应,形成以硫酸钙为基质的硬结水泥状焦渣^[2]。

3 锅炉积灰结焦的危害

3.1 对锅炉效率的影响

锅炉积灰结焦对锅炉效率的影响是深远的。积灰和结焦层覆盖在锅炉受热面上,形成了一层厚厚的隔热屏障,极大地阻碍了热量从高温烟气向锅炉工质的传递过程。这不仅导致锅炉的吸热量显著减少,排烟温度升高,热效率降低,还可能引发受热面局部过热,甚至造成受热面损坏。随着积灰和结焦的逐渐增厚,锅炉的传热性能将进一步恶化,热效率下降的趋势将更加明显。这将直接影响锅炉的出力,导致锅炉无法满足生产需求,严重时甚至可能导致锅炉停机。积灰和结焦还会增加锅炉的磨损和腐蚀,进一步降低锅炉的可靠性和使用寿命。

3.2 对锅炉安全运行的影响

锅炉积灰结焦对锅炉安全运行的影响同样不容忽视。积灰和结焦层改变了锅炉受热面的形状和尺寸,导致受热面热应力分布不均,可能引发受热面变形、开裂等故障。这些故障不仅会影响锅炉的正常运行,还可能对锅炉的安全构成严重威胁。积灰和结焦还会影响锅炉的燃烧稳定性和燃烧效率,导致火焰偏斜、燃烧不完全等问题。这不仅会增加锅炉的排放污染物,还可能引发火灾和爆炸等严重事故。积灰和结焦还可能堵塞烟道,影响锅炉的通风和排烟,进一步加剧锅炉的安全隐患。

3.3 经济性分析

从经济性角度来看,锅炉积灰结焦问题同样不容忽视。锅炉积灰结焦导致锅炉效率下降,燃料消耗量增加,运行成本上升。为了维持锅炉的正常运行,需要投入更多的人力、物力和财力进行燃料供应和锅炉维护。

同时为了清除积灰和结焦,需要定期进行吹灰、除焦等工作,这些工作需要消耗大量的水资源和电力资源,增加了锅炉的维护成本。积灰和结焦还可能缩短锅炉的使用寿命,导致锅炉提前报废或需要更换新的受热面等部件。这不仅会增加锅炉的更新成本,还会对锅炉的可靠性和稳定性产生负面影响。因此从经济性角度来看,预防和处理锅炉积灰结焦问题对于降低锅炉运行成本、提高锅炉可靠性和稳定性具有重要意义。

4 锅炉积灰结焦的预防措施

4.1 煤质管理与煤粉细度控制

锅炉积灰结焦问题在很大程度上与煤质密切相关。因此加强煤质管理,选择适宜的煤种,是预防锅炉积灰结焦的重要措施之一。首先,应充分了解煤的灰分、硫分、挥发分以及灰熔点等关键指标,根据锅炉的设计和运行要求,合理选择煤种。对于灰分高、灰熔点低的煤种,应谨慎使用或进行混配,以降低积灰结焦的风险^[3]。煤粉细度对锅炉的燃烧和积灰结焦也有显著影响,煤粉过粗,燃烧不完全,易产生大量未燃烬的碳粒,增加积灰结焦的可能性;煤粉过细,虽然燃烧效率高,但会增加磨煤机的能耗和磨损,同时过细的煤粉也更容易粘附在受热面上。应根据锅炉的实际情况,合理控制煤粉的细度。通过调整磨煤机的碾磨压力和风量,以及优化煤粉分离器的性能,可以实现煤粉细度的有效控制。还应加强煤的储存和运输管理,防止煤中混入杂质和水分,影响煤质。定期对煤质进行化验和分析,及时调整煤种和煤粉细度,以适应锅炉运行的变化。

4.2 燃烧调整与优化

燃烧调整与优化是预防锅炉积灰结焦的关键措施之一。通过调整燃烧器的配置和参数,可以改善燃烧状况,减少积灰结焦的发生,应根据煤种和锅炉负荷的变化,合理调整燃烧器的投运方式和负荷分配。对于易结焦的煤种,应适当增加燃烧器的数量,降低单个燃烧器的负荷,以减少局部过热和积灰结焦的风险。应优化燃烧器的配风方式,合理的配风可以确保煤粉与空气的充分混合和燃烧,提高燃烧效率,减少未燃烬碳粒的产生。通过调整燃烧器的一次风和二次风的配比、风速和风量,可以实现燃烧过程的优化。还应定期检查和清理燃烧器,防止因堵塞或磨损导致的燃烧不良和积灰结焦。除了燃烧器的调整外,还应关注锅炉的整体燃烧状况。通过调整锅炉的总风量、过量空气系数和炉膛负压等参数,可以进一步改善燃烧状况,减少积灰结焦的发生,应加强对锅炉燃烧过程的监测和分析,及时发现和处理燃烧异常问题。

4.3 锅炉设计与改造

锅炉的设计与改造也是预防积灰结焦的重要方面。在锅炉设计阶段,应充分考虑煤种特性和燃烧要求,合理确定锅炉的结构和参数。例如,对于易结焦的煤种,可以采用水冷壁管加粗、增加受热面面积等措施,以提高受热面的抗结焦能力。应合理布置燃烧器和烟道,确保烟气的均匀分布和充分冷却,减少积灰结焦的风险。在锅炉运行过程中,如果发现积灰结焦问题严重,可以考虑对锅炉进行改造。例如,增加吹灰器的数量和种类,提高吹灰效果;对受热面进行表面改性处理,如喷涂耐磨、耐高温的材料,以提高受热面的抗积灰结焦能力;对烟道进行改造,优化烟气的流动路径和速度分布,减少积灰结焦的发生。还应加强对锅炉的日常维护和保养工作,定期对锅炉进行检查和清理,及时发现和处理积灰结焦问题;对锅炉的受热面、燃烧器等关键部件进行定期检修和更换,确保其正常运行和可靠性。

4.4 监测与维护

对锅炉积灰结焦的监测与维护是预防问题发生的关键环节。首先,应建立完善的监测系统,对锅炉的燃烧状况、受热面温度、排烟温度等关键参数进行实时监测和分析。通过数据分析,可以及时发现燃烧异常和积灰结焦的迹象,为采取预防措施提供依据。应加强对锅炉的日常维护工作,定期对锅炉的受热面、燃烧器、吹灰器等关键部件进行检查和清理,确保其正常运行和清洁。对于积灰结焦严重的部位,应采用专业的清理工具和方法进行清理,避免对受热面造成损伤。另外,还应建立完善的维护计划和流程,定期对锅炉进行全面的维护和保养。包括检查锅炉的密封性、紧固件的松动情况、受热面的磨损和腐蚀情况等。对于发现的问题,应及时进行处理和修复,确保锅炉的安全可靠运行。在维护过程中,还应加强对维护人员的培训和管理。提高维护人员的专业技能和安全意识,确保他们能够正确、有效地进行维护和保养工作。应建立完善的维护记录和档案,对锅炉的维护历史和维护情况进行详细记录和分析,为后续的维护和改造提供依据。

4.5 先进技术的应用

随着科技的持续进步与创新,锅炉积灰结焦的预防和处理领域迎来诸多先进技术的广泛应用,这些技术不

仅极大地提升预防效果,还降低维护成本。声波吹灰技术、蒸汽吹灰技术和脉冲吹灰技术等高效的吹灰手段,已成为当前锅炉维护中的重要组成部分。这些吹灰技术凭借广泛的吹灰覆盖范围、强大的吹灰力度以及对受热面极小的损伤特性,在各类锅炉中得到了普遍应用^[4]。它们能够深入难以触及的区域,有效清除积灰,显著降低结焦风险,确保锅炉的高效稳定运行。除了吹灰技术,热喷涂技术也为锅炉受热面的保护提供新的解决方案。该技术通过在受热面上喷涂耐磨、耐高温的特殊材料,显著增强受热面的抗积灰结焦能力。热喷涂施工技术便捷,效果显著,不仅可用于新锅炉的预保护,还可用于旧锅炉的修复与升级,延长锅炉的使用寿命,降低更换成本。数值模拟技术的引入为锅炉积灰结焦问题提供了更为精准的预测与分析手段。通过模拟不同工况下的燃烧状况和积灰结焦情况,该技术能够准确揭示积灰结焦的形成机理,为优化锅炉设计和运行参数提供科学依据。数值模拟技术预测准确,操作简便,极大地提升锅炉抗积灰结焦能力的设计水平,为锅炉的积灰结焦预防工作提供强有力的技术支持。

结束语

本文深入探讨了锅炉积灰结焦的机理及预防措施,通过分析积灰结焦的形成原因和影响因素,提出了针对性的预防策略。研究结果显示,有效的煤质管理、燃烧调整、锅炉设计优化、实时监测与维护以及先进技术的应用,能够显著降低锅炉积灰结焦的风险。未来,随着技术的不断进步和创新,锅炉积灰结焦的预防和处理将更加高效和智能化,为锅炉的安全可靠运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 王志强, 燃煤锅炉结焦及预防措施研究[J]. 工业炉, 2022, 44(05): 22-26.
- [2] 王帅, 吴新, 路昆, 等. 燃煤锅炉受热面结焦及掉焦灭火机理分析[J]. 动力工程学报, 2020, 40(11): 865-871+905.
- [3] 张新才, 董海恩. 浅析电厂锅炉结焦原因及防治措施[J]. 电力学报, 2020, 026(001): 81-84.
- [4] 周永. 浅谈电厂锅炉结焦的原因及改善对策[J]. 科技创新, 2020(9): 34-35.