

锅炉受热面积灰结渣机理及防治技术

刘畅

大唐南京发电厂，江苏南京

摘要：本文聚焦于锅炉受热面积灰结渣这一关键问题展开深入探讨。首先对锅炉受热面进行定义并阐述其功能，同时剖析灰渣形成的基本原理，为后续研究奠定基础。接着详细分析灰渣的化学成分与物理特性，以及影响其物理特性的因素。深入探究锅炉受热面积灰结渣机理，包括灰渣的形成过程和结渣的形成机理。在此基础上，全面介绍多种防治技术，涵盖物理、化学、生物、电气防治方法及其应用，还有综合防治方法及其应用，旨在为解决锅炉受热面积灰结渣问题提供全面且有效的思路与方案。

关键词：锅炉受热面；积灰结渣；形成机理；防治技术

Mechanism of Ash and Slag Formation in Boiler Heating Surface and Prevention Technology

Chang Liu

Datang Nanjing Power Plant, Nanjing, Jiangsu

Abstract: This paper conducts an in-depth exploration of the critical issue of ash and slag formation on boiler heating surfaces. It begins by defining the concept of boiler heating surfaces and explaining their functions, while analyzing the fundamental principles of ash slag formation to establish a foundation for subsequent research. The study then provides a detailed examination of the chemical composition and physical properties of ash slag, along with factors influencing these characteristics. The paper further investigates the mechanisms of ash and slag formation on boiler heating surfaces, including both the formation processes and slagging mechanisms. Building on this foundation, it comprehensively introduces various prevention and control technologies, covering physical, chemical, biological, and electrical prevention methods, as well as integrated prevention approaches and their applications. The aim is to provide a comprehensive and effective framework for addressing ash and slag formation issues in boiler heating surfaces.

Keywords: Boiler heating surface; Ash and slag accumulation; Formation mechanism; Prevention and control technology

1 锅炉受热面积灰结渣概述

1.1 锅炉受热面的定义与功能

锅炉受热面指的是锅炉中主要用来吸收热量并传递给工质的表面，这些表面通常由一系列排列有序的管道或板片组成。其核心功能在于高效地将燃料燃烧释放的热能传递给锅炉内的水或其他工质，使其加热、蒸发或过热，从而产生蒸汽或热水，为工业生产或民用供暖等提供所需的动力或热能。

1.2 灰渣形成的基本原理

在锅炉受热面积灰结渣机理及防治技术研究中，深入了解灰渣形成的基本原理至关重要。锅炉受热面作为锅炉的关键组成部分，承担着热交换的重要功能，然而，灰渣的形成却会严重影响其性能。从基本原理来看，灰渣的形成主要源于燃料在燃烧过程中的复杂物理和化学变化。

燃料在锅炉内燃烧时，其中的矿物质和有机成分会发生一系列反应。首先，燃料中的矿物质在高温环境下会发生分解和熔融，形成液态或半液态的物质。这些物质在随着烟气流动的过程中，会与烟气中的其他颗粒发生碰撞和黏附。同时，燃料中的有机成分在燃烧不完全时，会产生一些未燃尽的碳粒和挥发性物质，这些物质也会参与到灰渣的形成过程中[1]。另外，锅炉内的温度场和流场分布不均匀，会导致某些区域的烟气速度较慢，颗粒更容易在此处沉积和聚集，进而形成灰渣。而且，锅炉受热面的材质和表面状况也会对灰渣的形成产生影响，比如表面粗糙的受热面更容易让颗粒附着。

2 灰渣的化学成分与物理特性

2.1 灰渣的化学成分分析

灰渣的化学成分较为复杂，主要包含硅、铝、铁、钙、镁、钠、钾等元素的氧化物，如二氧化硅、氧化铝、氧化铁、氧化钙、氧化镁、氧化钠和氧化钾等。此外，还可能含有一定量的硫、磷等元素的化合物以及未燃尽的碳。不同种类的燃料燃烧后所产生的灰渣，其化学成分会有所差异。例如，煤燃烧产生的灰渣中二氧化硅和氧化铝的含量相对

较高；而生物质燃料燃烧后的灰渣中，钾、钠等碱金属氧化物的含量可能更为突出。这些化学成分的含量和比例不仅影响着灰渣的物理特性，还对其在后续处理和利用过程中的行为和性质产生重要作用。

2.2 灰渣的物理特性及其影响因素

在锅炉受热面积灰结渣机理及防治技术研究中，深入了解灰渣的物理特性及其影响因素至关重要。灰渣的物理特性涵盖多个方面，包括粒度分布、密度、孔隙率、硬度、热导率等，这些特性对锅炉受热面的积灰结渣过程有着显著影响。

粒度分布是灰渣物理特性的重要指标之一，不同粒度的灰渣在受热面上的沉积行为差异明显。细颗粒灰渣更容易随着气流在受热面表面形成均匀的沉积层，而粗颗粒灰渣则可能因惯性作用直接撞击受热面并在局部堆积。密度较大的灰渣在重力作用下更容易在受热面底部沉积，而密度较小的灰渣则可能悬浮在气流中并随气流运动。孔隙率高的灰渣具有较好的吸附性，能够吸附更多的细颗粒灰渣，从而加速积灰过程。硬度较高的灰渣对受热面的磨损作用更为显著，可能缩短受热面的使用寿命[2]。热导率则直接影响灰渣层的传热性能，热导率低的灰渣层会形成较大的热阻，降低锅炉的热效率。这些物理特性不仅受到灰渣化学成分的影响，还与燃料的种类、燃烧条件以及锅炉的运行参数等因素密切相关。

3 锅炉受热面积灰结渣机理分析

3.1 灰渣的形成过程

在锅炉受热面积灰结渣机理及防治技术研究中，深入了解灰渣的形成过程至关重要。锅炉受热面作为锅炉中实现热交换的关键部件，其主要功能是将燃料燃烧产生的热量传递给工质，以产生蒸汽或热水。然而，在这个过程中，灰渣的形成不可避免。

燃料在锅炉内燃烧时，其中的矿物质会发生一系列复杂的物理和化学变化。首先，燃料中的不可燃矿物质在高温下会发生分解、熔融等反应。当

温度达到一定程度时，部分矿物质会熔化成液态。这些液态矿物质随着气流的运动，会接触到温度相对较低的锅炉受热面。当液态矿物质与受热面接触后，由于温度降低，会发生凝固现象，从而附着在受热面上，这是灰渣形成的初始阶段。

同时，燃料燃烧产生的烟气中会含有大量的飞灰颗粒。这些飞灰颗粒在随烟气流动的过程中，一部分会因为惯性作用直接撞击到受热面上并停下来；另一部分则会在受热面附近因气流速度的变化而发生沉降，逐渐堆积在受热面上[3]。此外，在锅炉运行过程中，受热面表面的温度分布并不均匀，局部高温区域会使灰渣的熔融和粘附作用增强，进一步促进灰渣的形成和积累。而且，锅炉内的气氛环境，如氧化性气氛或还原性气氛，也会对灰渣的形成过程产生影响，不同的气氛会导致矿物质发生不同的化学反应，从而生成不同成分和特性的灰渣。

3.2 结渣的形成机理

结渣的形成机理主要涉及多个方面的因素相互作用。首先，燃料中的矿物质在高温下会发生分解、熔融等复杂反应，形成具有粘性的液态或半液态物质。这些物质在随烟气流动过程中，容易与受热面接触并粘附其上。其次，锅炉内的气流分布不均会导致局部区域出现涡流或回流现象，使得飞灰颗粒和液态矿物质更容易在这些区域停留和积聚，从而形成结渣。此外，受热面表面的粗糙度、氧化层状况等物理特性也会影响结渣的形成。粗糙的表面和疏松的氧化层更容易吸附飞灰颗粒和液态矿物质，促进结渣的发展[4]。最后，锅炉的运行参数，如燃烧温度、过量空气系数等，也会对结渣的形成产生显著影响。不合理的运行参数会导致燃烧不完全、局部高温等问题，进而加剧结渣的形成。

具体来说，当燃烧温度过高时，燃料中的矿物质更容易达到熔融状态，增加了液态或半液态物质的形成量，从而提高了结渣的风险。而过量空气系数过小，会导致燃烧不充分，产生大量未燃尽的碳粒和可燃气体，这些物质在高温下可能再次燃烧，造成局部高温区域，同样会加剧结渣。反之，过量

空气系数过大，虽然能使燃烧更充分，但过多的冷空气进入炉膛会降低炉膛温度，然而，若气流组织不合理，仍可能在某些区域形成涡流，使飞灰颗粒和液态矿物质积聚，最终导致结渣。因此，合理控制锅炉的运行参数，对于防止结渣具有重要意义。

4 锅炉受热面积灰结渣的防治技术

4.1 物理防治方法及其应用

在锅炉受热面积灰结渣机理及防治技术研究中，物理防治方法是极为重要的一环。锅炉受热面在长期运行过程中，灰渣的积累会严重影响其热交换效率，降低锅炉的运行性能，因此采取有效的物理防治方法至关重要。

常见的物理防治方法之一是吹灰技术。吹灰是利用高速气流或蒸汽等介质，对受热面进行吹扫，以清除积灰。根据受热面的布置和积灰情况，吹灰技术可分为蒸汽吹灰、压缩空气吹灰和声波吹灰等多种方式。蒸汽吹灰利用高温蒸汽的冲击力和热效应，能够有效清除受热面上的松散积灰和部分硬质灰渣；压缩空气吹灰则通过高压空气的喷射，对受热面进行强力吹扫，适用于清除较为顽固的积灰；声波吹灰则是利用声波发生器产生的低频高强度声波，使积灰产生共振并脱落，具有非接触、无磨损的优点。

除了吹灰技术外，机械清灰也是常用的物理防治方法之一。机械清灰主要通过机械装置对受热面进行振动、敲击或刷扫，以去除积灰。例如，振动清灰装置可以通过电机驱动振动器，使受热面产生高频振动，从而使积灰脱落；而刷扫装置则通过旋转的刷子对受热面进行刷扫，直接清除积灰。这些机械清灰方法具有操作简便、效果显著的优点，但也可能对受热面造成一定的机械损伤，因此需要合理控制清灰力度和频率。

4.2 化学防治方法及其应用

化学防治方法主要是通过添加化学药剂来改变灰渣的物理化学性质，从而达到防止积灰结渣或促进灰渣脱落的目的。常见的化学药剂包括阻垢剂、分散剂和清灰剂等。阻垢剂能够与灰渣中的某些成

分发生化学反应，生成难溶性的物质，从而阻止灰渣在受热面上的沉积；分散剂则可以将灰渣颗粒分散在介质中，防止其聚集和沉积；清灰剂则能够与灰渣发生化学反应，使其变得松散并易于脱落[5]。在实际应用中，需要根据锅炉的具体情况和灰渣的成分选择合适的化学药剂，并严格控制药剂的添加量和添加方式，以确保防治效果并避免对锅炉造成不良影响。

化学防治方法具有针对性强、效果显著的优点，但也存在一些局限性。例如，部分化学药剂可能对锅炉材质产生腐蚀作用，长期使用可能影响锅炉的使用寿命；同时，化学药剂的添加也可能增加运行成本，并需要专业的操作和管理。因此，在选择化学防治方法时，需要综合考虑其防治效果、成本以及对锅炉的影响等因素，以实现最佳的防治效果。此外，随着环保要求的不断提高，化学药剂的选择和使用也需要更加注重环保性，避免对环境造成污染。

4.3 生物防治方法及其应用

生物防治方法主要是利用生物活性物质或生物技术手段来抑制灰渣的形成、促进灰渣的脱落或改变灰渣的物理化学性质。常见的生物防治手段包括使用生物酶制剂、微生物菌剂以及植物提取物等。生物酶制剂能够分解灰渣中的有机成分，降低灰渣的粘附性，从而促进其脱落；微生物菌剂则可以通过代谢活动改变灰渣的微环境，抑制灰渣的形成或促进其分解；植物提取物中含有的某些活性成分也能够与灰渣发生相互作用，达到防治积灰结渣的目的。在实际应用中，需要根据锅炉的具体工况和灰渣特性选择合适的生物防治手段，并优化使用条件，以确保防治效果的最大化。

4.4 电气防治方法及其应用

电气防治方法主要是利用电场、磁场等电气作用对灰渣的形成、脱落及物理化学性质进行调控。常见的电气防治手段包括施加高压电场、脉冲电场以及利用电磁感应等。施加高压电场时，电场力能够改变灰渣颗粒的带电状态，使其在电场作用下发

生定向移动，从而减少在受热面的沉积；脉冲电场则通过瞬间的高能量冲击，破坏灰渣的结构，促进其脱落；利用电磁感应原理，可以在锅炉受热面附近产生交变磁场，使灰渣中的磁性物质受到磁力作用而脱离受热面[6]。在实际应用中，需要根据锅炉的规模、运行参数以及灰渣特性等因素，合理选择电气防治手段，并精确控制电气参数，以实现最佳的防治效果。

4.5 综合防治方法及其应用

综合防治方法是将物理、化学、生物及电气等多种防治手段有机结合，形成一套系统化的防治策略。在实际应用中，需根据锅炉的具体工况、灰渣特性及运行环境，综合评估各种防治方法的优缺点，制定针对性的防治方案。例如，对于易结渣的锅炉受热面，可先采用物理方法进行初步清理，再结合化学方法进行深度处理，同时利用生物或电气方法进行长期调控，以达到持续抑制灰渣形成和脱落的目的。此外，还需建立定期监测与评估机制，根据防治效果及时调整防治策略，确保锅炉受热面的长期稳定运行。

在实施综合防治方法时，还需注重防治手段之间的协同效应。不同防治方法之间可能存在相互促进或相互制约的关系，因此需要通过科学合理的组合，实现防治效果的最大化。例如，物理方法可以快速清除受热面上的积灰结渣，为化学方法提供良好的作用条件；化学方法则可以通过改变灰渣的化学性质，降低其粘附性，从而增强物理方法的清理效果。同时，生物和电气方法可以在长期运行中持续发挥作用，抑制灰渣的再次形成和沉积。通过综合运用这些方法，可以形成一套全面、有效的锅炉受热面积灰结渣防治体系。

5 结语

锅炉受热面的积灰结渣问题一直是影响锅炉运行效率和安全性的因素。通过深入剖析灰渣的形成机理，我们能够更好地理解这一问题的本质。同时，综合运用物理、化学、生物和电气等多种防治方法，可以构建起一套全面且高效的锅炉受热

面积灰结渣防治体系。在实际应用中，需根据锅炉的具体情况和运行环境，科学合理地选择和组合防治方法，以实现最佳的防治效果。未来，随着科技的不断进步和研究的深入，我们有望开发出更加先进、环保的锅炉受热面积灰结渣防治技术，为锅炉的安全、高效运行提供有力保障。

参考文献

[1] 刘鹏宇, 李德波, 刘彦丰, 等. 燃煤电厂锅炉机组受热面积灰结渣研究现状与展望[J]. 洁净煤技术, 2022, 28 (05): 87-96.

- [2] 徐忠浩, 郑体云, 孙庆刚. 电厂锅炉受热面失效形式及预防措施研究[J]. 电力设备管理, 2024(23): 86-88.
- [3] 朱子豪. 电厂锅炉受热面失效形式及预防措施探讨[J]. 山西冶金, 2023(05): 248-250.
- [4] 万春阳, 张德治. 锅炉受热面积灰与腐蚀机理分析及其防治策略研究[J]. 自动化应用, 2025, 66 (S1): 266-268+271.
- [5] 王鹏辉, 董鹏. 对流受热面高温积灰导致锅炉爆管案例分析及防范措施[J]. 锅炉技术, 2021(05): 60-64.
- [6] 周顺文, 崔海娣, 郑晓军. 燃用准东高碱煤锅炉防结渣研究[J]. 锅炉制造, 2020(05): 4-5+12.

Copyright © 2025 by author(s) and Global Science Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access