

电站锅炉受热面积灰结焦检测与清灰策略研究

闫秀峰

陕煤集团榆林化学有限责任公司 陕西 榆林 719000

【摘要】：电站锅炉受热面积灰结焦现象常导致热效率降低与设备损坏。本文在深入分析锅炉受热面灰结焦成因的基础上，系统提出了一系列针对性清灰策略，以有效应对灰尘沉积与结焦问题。研究表明，适当的清灰技术不仅能有效提升锅炉热效率，还能延长设备使用寿命，降低故障率。采用综合性清灰策略，对提高电站锅炉运行稳定性具有显著作用。相关实验和优化方案的实施，为电力行业的锅炉清灰技术提供了理论支持和实践指导。

【关键词】：锅炉；灰结焦；受热面；清灰策略；热效率

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.012

引言

电站锅炉在长期运行过程中，受热面灰尘的沉积与结焦现象常见，这不仅影响锅炉的热效率，还可能导致设备故障，增加维护成本。为了保证锅炉的稳定运行及其能效，清灰成为不可忽视的关键技术。如何高效、精准地清除锅炉受热面上的灰尘与结焦物，已成为电力行业亟待解决的关键技术难题。各类清灰技术层出不穷，但其效果与应用的适应性仍然存在较大差异。如何根据不同锅炉的运行特点，选择合适的清灰策略，是提升锅炉热效率与延长使用寿命的核心问题。

1 受热面灰结焦的成因与影响

1.1 灰结焦的形成机制

灰结焦的形成是由于锅炉运行中燃料燃烧过程中产生的烟气与煤灰，在高温环境下沉积在受热面上。尤其是在燃烧不完全时，未燃尽的煤灰颗粒会与烟气中的水蒸气、氧气等发生复杂物理化学反应，导致灰分在受热面上粘附并逐步累积。当烟气温度过高或受热面温度较低时，煤灰会逐渐粘附在管道表面，形成结焦物质。结焦的形成还与燃料的性质、锅炉运行温度及烟气流速等因素密切相关。受热面局部温度偏离设计工况（如过高或过低），均易诱发煤灰结焦。长时间积累的灰结焦不仅会降低锅炉的热效率，还会加速设备的磨损，严重时甚至可能造成锅炉受热面损坏。

1.2 灰结焦对锅炉性能的影响

锅炉受热面灰结焦的积累直接影响锅炉的热交换性能。结焦物质会在受热面上形成一层不良导热的薄膜，阻碍热量传导，导致热量无法充分传递至水管，从而降低锅炉的热效率^[1]。随着结焦层的增厚，锅炉的蒸汽产量会逐渐减少，同时燃烧效率也随之下落，造成热效率的持续降低。结焦层的存在还会改变锅炉内部的气流分布，使得烟气流动不畅，进一步影响锅炉的稳定运行和安全性。为了确保锅炉正常高效运行，及时清除受热面上的结焦物质是非常必要的。

1.3 灰结焦对设备维护的挑战

灰结焦对锅炉设备维护带来较大的挑战。受热面结焦物质

的存在使得设备的清洁和保养工作更加复杂且频繁。结焦物质积聚不仅增加了设备的能耗，还加剧了锅炉管道的腐蚀、氧化等问题。过多的结焦物质可能导致局部过热，甚至引发设备故障或损坏。在一些严重的情况下，结焦可能导致锅炉管道的堵塞或裂纹，增加了维修的难度与成本。为了避免这些问题的发生，锅炉设备需要定期进行检查和清灰，保持良好的运行状态。清灰作业的高难度与高复杂度显著增加了设备维护的工作负担，进而制约锅炉的整体运行效率与安全性。

2 现有清灰技术及其效果分析

2.1 机械清灰技术

机械清灰技术是一种广泛应用于锅炉受热面清洁的传统方法。该技术利用机械力对锅炉内壁积聚的灰尘和结焦进行物理打击和震动，以达到清除结焦物质的效果。常见的机械清灰方式包括使用刷扫装置、振动器或旋转清灰器等。这些设备通过振动或旋转的方式使灰尘松动，从而减少结焦层的黏附。机械清灰技术的优势在于操作简便、效果直观，适合于锅炉长期运行中的日常清理。在高温、高压及强腐蚀性烟气等严苛运行工况下，机械清灰的效果往往受限，特别是在结焦层坚固或厚重时，清理效果会大大降低。机械清灰还可能对锅炉设备造成一定的机械磨损，影响设备的使用寿命。

2.2 水射流清灰技术

水射流清灰技术通过高压水流喷射，利用水的冲击力清除锅炉受热面上的灰尘和结焦物质。这种方法在应用时，水流压力通常较高，能够穿透结焦层并将其冲击掉。水射流清灰技术的优势在于能有效清除锅炉管道内外壁的沉积物，特别是对一些粘附较为牢固的灰结焦物质具有较好的清除效果。与此同时，水射流不会对设备表面造成过大的物理损伤^[2]。该技术适用于大部分电站锅炉，但在使用过程中需要控制水流的压力和温度，以避免水流引起的锅炉管道腐蚀。水射流清灰技术的缺点在于对水质要求较高，尤其是硬水或含有杂质的水可能导致喷嘴堵塞，影响清灰效果。

2.3 化学清灰技术

化学清灰技术采用特定的化学药剂与锅炉受热面结焦物质反应,破坏其结构并将其溶解或转化为易于去除的物质。常用的化学清灰方法包括酸洗、碱洗和其他化学添加剂清洗。这些药剂通过与灰尘和结焦物质反应,能够有效降低其附着力,进而使其从受热面表面脱落。化学清灰的优点在于可以清除一些机械清灰无法有效去除的顽固结焦,尤其是在高温环境下的结焦层,能够深入到锅炉管道内部进行清理。化学清灰的使用需要特别小心,因为一些化学药剂可能会对锅炉金属材料产生腐蚀性影响。为了避免设备损坏,化学清灰通常需要进行严格的浓度和时间控制。同时,化学清灰需要较长的操作周期,不适合频繁使用,且处理后的废液处理也是一个必须解决的问题。

3 适应性清灰策略的优化

3.1 不同锅炉类型的清灰策略

不同类型的锅炉对清灰策略的需求存在显著差异。对于循环流化床锅炉,其特有的高温、高颗粒浓度及湍流烟气环境易形成致密坚硬的结焦层,常规的机械清灰和水射流清灰效果有限。在这类锅炉中,采用高压水射流结合化学清洗方法更为合适。对于煤粉锅炉,其灰结焦物质多呈粉状,机械清灰和气流清灰技术能有效去除附着在受热面的灰尘,而水射流清灰则可以进一步强化清洁效果。燃气锅炉因燃料清洁、灰分极低,通常不易形成传统意义上的灰结焦,但长期运行仍可能产生微量沉积物,适合采用低压空气清灰或定期使用化学清洗剂来维持锅炉的高效运行。锅炉的运行环境和工况(如燃料种类、锅炉负荷等)也对清灰策略的选择有重要影响。负荷较大的锅炉需要更频繁的清灰,以避免结焦影响热效率,通常采用自动化机械清灰设备和水射流清洗相结合的方法。

3.2 清灰技术的综合应用

综合应用多种清灰技术,能够在不同锅炉运行条件下实现最佳的清灰效果。对于一些难以清除的结焦物质,单一的清灰方法往往无法达到理想效果。可以通过结合机械清灰、化学清灰和水射流清灰来制定综合性的清灰策略。机械清灰可以先进行初步清理,去除大部分松散灰尘,而化学清灰则可用来处理那些难以通过物理方式去除的顽固结焦^[3]。水射流清灰技术则可作为辅助性措施,特别是在一些细小管道和角落区域进行深层清理。数据表明,综合应用多种清灰技术能够减少结焦物质对锅炉受热面的粘附,提高清灰效率。实际操作中,许多电站锅炉已开始采用自动化清灰系统,结合多种清灰技术,通过实时监控和反馈调整清灰策略,保证锅炉设备的长期稳定运行。

3.3 清灰周期与锅炉运行优化

清灰周期的合理安排对于锅炉的长期稳定性和热效率至关重要。在电站锅炉中,过频繁的清灰不仅会增加维护成本,

还可能对锅炉设备造成额外的磨损。研究表明,清灰周期应根据锅炉的具体运行情况来优化。对于负荷较大或燃料质量较差的锅炉,灰结焦的积累速度较快,需要较短的清灰周期,每月进行一次或两次清灰;而对于负荷波动较小的锅炉,可以适当延长清灰周期。适当的清灰周期能够有效减少灰结焦对锅炉性能的负面影响,提高锅炉的热效率和安全性。在锅炉运行中,定期检查锅炉的受热面和结焦状况,根据实际结焦情况适时调整清灰周期,避免过度清灰造成设备的频繁停机,保持锅炉的最佳运行状态。

4 清灰策略对锅炉热效率的提升作用

4.1 清灰对热效率的直接影响

锅炉受热面结焦层的积累直接影响热效率的提升,主要表现为阻碍热传导和烟气流动。受热面的灰结焦物质会降低热交换效率,使热量无法有效地传递至锅炉内部的水管系统,从而导致蒸汽生产效率下降。研究表明,受热面结焦层厚度每增加1mm,锅炉热效率通常下降2%~3%。通过定期清灰,结焦物质能够被及时清除,恢复锅炉的热传导性能和烟气流通性。在采用机械清灰或水射流清灰后,锅炉受热面能够保持较低的结焦程度,热效率可显著提升,减少了能源的浪费。清灰策略的有效实施能够直接改善锅炉的热效率,延长设备的运行周期,降低运营成本。

4.2 长期清灰效果的评估

长期清灰策略对于锅炉热效率的影响需要进行综合评估。研究表明,定期清灰能保持锅炉设备的高效运行,尤其在长期负荷较大的情况下,清灰效果更加显著。在对多个电站锅炉进行长期清灰数据跟踪分析后,发现经过一年的周期性清灰,锅炉热效率普遍提高了约5%至8%^[4]。这种效果主要体现在减少了锅炉受热面灰尘积聚,优化了热量传导过程。长期清灰不仅对锅炉热效率有直接的提升作用,还能有效避免灰结焦引发的其他故障,例如热损失和设备损坏。在评估长期清灰效果时,常用的指标包括锅炉出力、烟气温度、热效率等,定期检测这些数据可以明确清灰策略的有效性和可持续性。

4.3 节能减排效果分析

清灰策略不仅能提升锅炉热效率,还能够在节能减排方面发挥重要作用。锅炉的热效率提升直接带来燃料消耗的减少,从而降低了能源成本和排放量。根据数据监测,经过优化清灰策略的锅炉,其燃料消耗量通常比未清灰的锅炉减少10%至15%。与此同时,清灰还可以减少烟气中污染物的排放,尤其是在氮氧化物和二氧化硫的排放控制方面,锅炉运行更为清洁。根据研究,实施定期清灰后的锅炉二氧化碳排放量减少了约6%至8%。清灰策略的节能减排效果不仅符合现代环保要求,还能够降低电站的碳足迹,提升环保合规性,为电力行业的可持续发展提供支持。

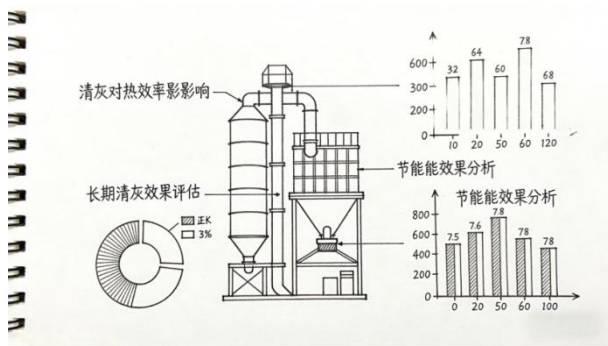


图1 工业清灰系统节能与热效率评估示意图

5 清灰技术的经济性与可持续性

5.1 清灰技术的成本效益分析

清灰技术的应用直接影响电站锅炉的维护成本及其运营经济性。机械清灰技术因其设备投资较低和运行简单，成为最常用的清灰方式。机械清灰的频繁操作可能会增加设备的磨损，从而提高维修成本。相比之下，水射流清灰技术需要较高的初期投资，但能够在短时间内清除更多的灰尘与结焦，减少维护频率，长期来看有助于降低锅炉运行成本。化学清灰则因药剂的购买和处理成本较高，但能够有效清除一些顽固结焦，减少停机时间，提高锅炉的热效率，具有较高的成本效益比。综合评估各项清灰技术的成本效益后，常见的优化方式是通过多种技术的结合，根据锅炉运行特点调整清灰频率和方法，达到经济与效益的最佳平衡。

5.2 清灰策略的环境影响评估

清灰技术的应用对环境的影响不可忽视。水射流清灰虽能

有效去除受热面结焦，但需要大量的水资源，且若使用硬水或未经过处理的水源，可能导致锅炉系统内的腐蚀和水污染问题。化学清灰技术通过化学药剂进行清洗，尽管能够高效清理结焦物质，但残余的化学废液需妥善处理，以避免对环境造成污染。频繁的机械清灰可能会增加固体废弃物的处理负担^[5]。为减少清灰过程中对环境的影响，越来越多的电站开始采用环保型清灰药剂，并对水质进行严格控制，确保清灰操作中的污染物排放可在可接受的范围内。评估清灰策略的环境影响时，考虑因素包括废水处理、化学药剂的使用量以及资源消耗等。

5.3 可持续清灰方案的探索

在锅炉清灰领域，可持续清灰方案的探索成为提升长期经济性与环境友好性的关键。现代清灰技术不仅要确保锅炉的高效运行，还要兼顾减少资源消耗和环境污染。一种可持续清灰方案是结合物理清灰与环保型化学清洗剂，在降低能耗的同时减少化学废物的产生。基于物联网与大数据分析的智能清灰系统，可通过实时监测锅炉运行参数，动态优化清灰频率与强度，最大限度地减少不必要的资源浪费。数据驱动清灰结合预测性维护，可降本增效，延长锅炉寿命，推动绿色可持续发展。

6 结语

清灰技术对锅炉的热效率提升和设备维护具有显著作用。各类清灰策略在不同锅炉类型和运行工况下的应用展现了其独特的优势与不足，尤其是在节能减排方面的潜力。未来，融合智能化、绿色化理念的清灰技术创新，将为电力行业低碳转型与高质量发展提供有力支撑。结合多种清灰技术的综合应用，以及精确的清灰周期安排，将大幅提升锅炉的运行效率与稳定性，推动能源行业朝着更高效、更环保的方向发展。

参考文献:

- [1] 程浩. 电站锅炉受热面积灰结渣特性及防治研究[J]. 质量与市场, 2025(12): 73-75.
- [2] 龚越. 面向垃圾焚烧余热锅炉受热面的超频震波清灰技术应用与研究[J]. 环境卫生工程, 2024, 32(6): 74-79.
- [3] 周舒冉, 平志傲, 杨衡, 余波, 刘峰. 双碳背景下电站锅炉减碳技术研究进展[J]. 能源工程, 2025, 45(6): 76-83.
- [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] 王守顺, 董卫超, 李勇勇, 康鹏, 王力, 马海东, 周柯, 金万黎. 基于声波振动技术的锅炉受热面积灰清除方法研究[J]. 电工技术, 2025(19): 185-187.