

锅炉受热面结垢的危害及防治措施探讨

李 伟

遵义铝业股份有限公司 贵州 遵义 563100

【摘要】：锅炉在运行过程中，受热面结垢问题严重影响了锅炉的热效率和安全性。结垢导致传热性能下降，增加能源消耗，并可引起锅炉过热、损坏甚至故障。结垢还会导致锅炉运行不稳定，增加了维护成本。本文探讨了锅炉受热面结垢的危害及防治措施，分析了结垢形成的原因，介绍了清洗和防垢技术，并提出了针对性的防治策略。通过采取合适的防垢措施，可以有效提高锅炉的运行效率，延长设备使用寿命，降低运行成本。本文的研究为锅炉管理和维护提供了理论依据和实践指导。

【关键词】：锅炉受热面；结垢；危害；防治措施；清洗技术

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.051

引言

锅炉在工业生产和电力生成等领域中扮演着至关重要的角色。随着运行时间的延长，锅炉受热面往往会出现结垢现象，这对锅炉的正常运行造成了严重影响。结垢不仅减少了热交换效率，还导致了锅炉效率的降低和能源浪费，甚至可能引发设备故障，增加维护成本。因此，研究锅炉受热面结垢的危害及防治措施显得尤为重要。通过对结垢原因、危害及防治技术的深入探讨，可以为实际操作提供有价值的参考，确保锅炉设备的稳定性和高效性。

1 锅炉受热面结垢的形成原因

1.1 水质硬度与结垢的关系

锅炉水质的硬度是结垢形成的重要因素，特别是水中溶解的钙、镁离子与碳酸根离子结合形成不溶性的水垢。当锅炉的给水中含有过高的钙、镁等硬度离子时，这些离子在加热过程中沉积在受热面上形成水垢。随着运行时间的延长，水垢逐渐积累，严重影响热交换效果。高硬度水质不仅增加了锅炉运行的能耗，还可导致受热面损伤，进一步加剧结垢问题。因此，水质硬度的控制是预防结垢的关键措施之一。

1.2 锅炉操作条件对结垢的影响

锅炉的运行温度、压力和水循环速度等操作条件直接影响结垢的形成。在高温高压条件下，水中溶解的钙、镁等硬度离子易于析出并沉积在锅炉的受热面上形成水垢。锅炉负荷的波动和操作方式不当也可导致水流不均匀，水垢在局部区域积聚更为严重。当操作参数未得到合理优化时，不仅会促进结垢的形成，还会增加锅炉运行的不稳定性。

1.3 外部环境因素对结垢的促进作用

锅炉周围的外部环境因素如温湿度、空气质量等，亦会对结垢形成产生影响。湿度较高的环境可加剧水蒸汽的凝结和沉积，增加锅炉受热面的结垢风险。锅炉进汽中的杂质、灰尘以及气体中的二氧化碳和硫化物等气体，会与水中的化学物质反应形成新的结垢源，促使水垢的生成。季节变化和水质变化等外部环境会影响锅炉结垢的严重程度。

2 锅炉受热面结垢的危害分析

2.1 热效率降低

锅炉受热面结垢会显著降低热交换效率，进而影响锅炉的整体热效率。水垢的积累在锅炉受热面形成了一个热阻层，使得锅炉的热量无法有效传递给蒸汽或水。受热面的水垢层厚度不断增加，导致热量传递的速度降低，锅炉必须消耗更多的能量才能达到预定的输出温度。结垢还会造成锅炉热负荷不均和局部过热，进一步加剧能源浪费。这种热效率的下降不仅增加了能源消耗，还可导致锅炉负荷不足，不能满足生产的热需求，从而影响生产过程的稳定性和可靠性。

2.2 设备损坏与故障风险

结垢问题加剧时，会对锅炉的设备造成直接损害。受热面上的水垢层会导致锅炉内的热量无法均匀分布，局部过热现象增多。这种局部过热可导致锅炉金属部件的膨胀和裂纹甚至爆裂，缩短设备的使用寿命。受热面的水垢沉积还会加剧锅炉管道内的压力变化，产生热应力和机械应力，进一步损坏设备结构。长期的结垢还会影响锅炉的水循环系统，导致水流不畅，增加泵等设备的负担，进而加剧系统的磨损和故障发生频率。因此锅炉安全性大大降低，可带来严重的安全隐患。

2.3 运行成本增加

锅炉结垢直接导致了运行成本的上升。由于热效率下降，锅炉需要消耗更多的燃料才能维持正常运转，这不仅增加了燃料的采购成本，还带来更高的能源费用。水垢的形成还增加了锅炉的维护与清洗成本，定期进行化学清洗或机械清理所需的费用相当高。设备损坏和故障频发会导致维修和更换零部件的支出增加。长期来看锅炉结垢会显著提高整个生产过程中的运营成本。这些额外的费用不仅影响企业的利润，还可影响生产过程的稳定性与经济效益。

3 锅炉结垢的防治技术

3.1 化学清洗法

化学清洗法是解决锅炉结垢问题的常用技术之一，主要通

通过使用化学试剂来溶解或去除受热面上的水垢。在实施过程中，常用的化学清洗剂包括酸性、碱性及复合型清洗剂等。酸性清洗剂如盐酸、氢氟酸等能有效去除水垢中的钙、镁盐等矿物质，而复合型清洗剂通常含有除垢、清洗和缓蚀作用，适合处理复杂的结垢类型。化学清洗不仅适用于锅炉受热面表面的积垢，且能够渗透到难以清理的地方，例如管道、锅炉内部等，避免了物理清洗中因设备复杂而无法彻底清除水垢的缺陷。实施化学清洗时通常需要对锅炉进行完全停运，关闭进水系统，先将清洗液通过锅炉系统循环一段时间，然后排出清洗溶液并进行冲洗。这一过程不仅需要专业技术人员操作，还需要严格控制清洗液的浓度和循环时间，确保清洗的效果和设备的安全性。化学清洗法的优势在于其较高的清洗效率，尤其是在处理顽固性水垢时表现突出。这种方法对锅炉材质有一定的腐蚀作用，若清洗过程不当可对锅炉内部设备造成损害。为此，清洗后通常需要进行缓蚀处理，避免对锅炉金属表面造成长期的腐蚀问题。根据锅炉结垢的严重程度和类型，选择合适的清洗药剂与操作方法至关重要。

3.2 物理清洗法

物理清洗法通过机械手段去除锅炉受热面和管道内的水垢，相较于化学清洗，物理清洗对锅炉的腐蚀风险较小，但其适用范围通常有限。物理清洗法一般包括高压水射流清洗、刷洗、超声波清洗等技术。高压水射流清洗通过使用高压水流将水垢从锅炉受热面冲刷下来，这种方法适用于不易形成硬垢的轻度结垢情况。超声波清洗则是利用超声波的振动频率将水垢从表面剥离，适用于细小颗粒的结垢。物理清洗法的主要优点在于可减少化学药剂的使用，避免药剂对锅炉设备的腐蚀性影响。物理清洗对锅炉内部设备的损害较小，适合用于定期清洗和维保。物理清洗的效果较为有限，尤其是在面对已经硬化的水垢时，难以达到彻底清除的效果。在一些结垢特别严重或复杂的情况下，物理清洗可能无法达到预期效果，因此通常需要与化学清洗方法配合使用，以确保锅炉内部的结垢问题得到彻底解决。

3.3 水处理技术与防垢措施

水处理技术是锅炉防垢的重要前提，良好的水质控制可有效降低结垢发生的概率。通过对锅炉给水进行预处理，能够减少水中硬度离子、溶解气体和其他杂质，从源头上抑制结垢的生成。常见的水处理技术包括软化水处理、去离子水处理、反渗透水处理等。软化水处理通过将水中的钙、镁离子置换为钠离子，从而降低水的硬度，减缓结垢的形成。去离子水处理则通过离子交换树脂将水中的溶解性盐类去除，进一步提高水质。反渗透技术通过高压将水分子强制通过半透膜，去除水中的绝大部分杂质，尤其适用于高要求的锅炉系统。

除水质控制外，防垢剂的应用也是防止锅炉结垢的重要手

段。防垢剂通过改变水中离子的物理化学性质，阻止其与锅炉受热面反应形成水垢。这类化学药剂通常包含分散剂、聚合物等成分，能够在水中形成稳定的分散体系，防止钙、镁等硬度离子沉积。锅炉系统的温度控制和水流管理也是防垢的关键。过高的水温和水流的速度不均匀都会加剧结垢的发生，因此合理调整锅炉操作参数，有助于提高水流速度的均匀性，减少结垢的发生。水处理技术与防垢剂的应用需根据锅炉的运行环境、水质特点以及设备要求来选择合适的防治方案。有效的水质管理和防垢措施不仅能够减少结垢的发生，还能降低锅炉的维护成本，延长设备的使用寿命。

4 提高锅炉运行效率的防垢管理策略

4.1 定期检查与清洗

定期检查和清洗是确保锅炉长期高效运行的基本手段。锅炉的受热面和内部管道容易因结垢而影响热交换效率，因此对锅炉进行周期性的检查和清洗显得尤为重要。检查内容应包括受热面的结垢情况、设备运行的温度、压力等参数，以及水处理系统的状态。对于结垢较轻的情况，可通过物理清洗法，如高压水射流清洗来去除水垢，而结垢严重时则需要使用化学清洗法，以彻底清除锅炉内积存的矿物质。定期清洗不仅能有效恢复锅炉的热效率，还能防止因结垢导致的设备损坏。清洗周期的确定应根据锅炉的运行情况和水质条件来调整，确保清洗工作与锅炉的实际负荷需求相匹配。定期检查和清洗不仅能提高锅炉的热效率，还能降低能耗，减少设备故障率，延长锅炉的使用寿命。

4.2 优化锅炉运行参数

锅炉运行的参数对结垢的形成和锅炉的运行效率有着直接的影响。通过优化锅炉的运行参数，可以有效减少结垢的发生，并提高锅炉的热效率。锅炉的操作温度应控制在合理范围内，过高的温度容易促使水中的硬度离子析出并沉积在受热面，增加结垢的风险。合理的温度控制不仅能够降低结垢发生的概率，还能提高锅炉的燃烧效率，减少能源消耗。锅炉的水循环系统应保持稳定和均匀，确保水流分布均匀，避免局部过热或水流不畅造成的结垢现象。水流的不均匀会导致锅炉内部的水垢积聚，进一步影响热交换效率，降低锅炉的热性能。因此，调整水流的均匀性，优化循环系统和锅炉负荷，可有效抑制结垢的形成。锅炉操作人员应对锅炉负荷进行动态调整，避免负荷过大或过小带来的结垢问题，从而提高锅炉的运行效率。

4.3 强化水质控制

水质控制是防止锅炉结垢的关键环节，良好的水质能够有效减少硬度离子的沉积，降低水垢的形成。加强水质管理首先需要锅炉进水进行严格处理，采用软化水处理、去离子水处理或反渗透水处理等技术，降低水中的钙、镁等硬度离子的浓

度。软化水处理系统能够通过离子交换法去除水中的硬度离子，避免这些离子在高温下与水中的其他成分反应，形成难以清除的水垢。去离子水处理和反渗透水处理则进一步去除了水中的溶解盐和其他杂质，达到更高的水质要求。水处理设备的维护也至关重要，定期检查和维修水处理系统，确保其正常运行，能够有效保证锅炉系统用水的质量。锅炉操作人员应定期检测水质指标，如水的硬度、pH值、溶解氧等，及时调整水处理方案，避免水质不合格引发结垢问题。通过全方位的水质管理，可以从源头上预防结垢的发生，确保锅炉的高效稳定运行。

5 锅炉受热面结垢防治的经济效益分析

5.1 降低能耗与运营成本

有效的结垢防治措施能够显著降低锅炉的能耗，从而减少企业的运营成本。结垢现象会导致锅炉热交换效率下降，锅炉必须增加燃料消耗以维持原有的热输出。在水垢积聚严重的情况下，锅炉运行会变得更加低效，能量浪费显著增加。通过定期清洗锅炉受热面，去除水垢，可有效恢复其热交换效率，进而降低燃料消耗，减少能源浪费。清洗后的锅炉能够更高效地转换能源，提高热效率，降低单位热能的生产成本。采用水处理技术和防垢措施，优化锅炉的水质条件，能进一步减少结垢的形成，从源头上降低能源浪费，直接影响锅炉的能效，长期来看，防垢措施的投入将有效节省大量能源费用，带来可观的经济效益。

5.2 延长设备使用寿命

水垢的积累不仅影响锅炉的热效率，还会加速设备的老化和损坏。受热面结垢会导致锅炉金属表面温度不均，局部过热

从而增加锅炉设备的热应力和机械应力，最终导致裂纹或腐蚀现象。通过定期的防垢清洗，能够有效避免这种不均匀的温度分布，减少设备的磨损，降低热应力带来的损害。良好的水质管理和防垢措施能够延缓锅炉金属部件的腐蚀，减少由于结垢引起的设备故障，延长锅炉的使用寿命。设备寿命的延长意味着企业可以减少更换锅炉或进行大规模维修的频次，从而降低设备投资和维护成本。长期来看锅炉的运行可靠性提高，有助于企业生产的持续性和稳定性，进而提升其整体运营效益。

5.3 提升企业经济效益

锅炉受热面结垢防治不仅限于减少能耗和延长设备寿命，还直接影响企业的整体经济效益。通过采取科学的防垢措施，锅炉能够始终保持高效稳定的运行状态，从而确保生产过程的稳定性和持续性。高效的锅炉运行减少了能源浪费，提升了产出质量和数量，进而提高了企业的生产效率。与此同时，设备的低故障率和长寿命周期减少了维修和停机的频次，降低了维修和设备更换的成本。企业在长期运营中节省的能源费用、减少的设备投资和减少的故障停机时间，都会转化为企业的利润增长。有效防垢管理策略有助于企业提升市场竞争力，在同类企业中脱颖而出，进一步增强企业的经济效益和市场竞争力。

6 结语

锅炉受热面结垢对锅炉的热效率、安全性及经济性带来了显著影响，必须采取有效的防治措施来应对这一问题。通过化学清洗、物理清洗及水质控制等技术手段，能够有效减少结垢对锅炉性能的负面影响，降低能源消耗，延长设备使用寿命，提高企业整体经济效益。随着科学技术的发展，锅炉结垢防治的技术措施将更加完善，为锅炉的长期稳定运行提供有力保障。

参考文献:

- [1] 莫金龙.电厂锅炉受热面失效形式及预防措施[C]//广西生产力学会.新质生产力与科技发展学术研讨会论文集.四川广安发电有限责任公司,2025:289-291.
- [2] 刘仁杰.关于对锅炉“受热面结垢”的不同理解[J].工业加热,2024,53(03):76-78.
- [3] 徐泽洋.火电厂锅炉受热面失效原因及防治措施[J].科技风,2022,(13):91-93.
- [4] 李孟威.基于神经网络的燃煤电站锅炉受热面积灰预测研究[D].中北大学,2022.
- [5] 姜志强.火电厂锅炉受热面失效原因及防治措施探讨[J].科技创新与应用,2020,(18):145-146.