

电厂锅炉受热面腐蚀原因分析与防治措施

唐育朋

国家能源集团郭家湾电厂，陕西 榆林 710100

摘 要： 本文深入探讨了电厂锅炉受热面腐蚀问题，分析了其现状、原因和危害，并提出了相应的防治措施。腐蚀问题严重影响锅炉安全 and 经济运行，导致效率降低、寿命缩短，甚至引发安全事故。文章建议采取水质优化、材料选择与改进、运行工况调整和防腐蚀涂层技术等综合措施，有效防治腐蚀，保障锅炉安全稳定运行。

关 键 词： 电厂锅炉；受热面腐蚀；腐蚀原因；防治措施；防腐蚀涂层

Cause Analysis And Prevention Measures Of Heating Surface Corrosion Of Power Plant Boiler

Tang Yupeng

Guojiawan Power Plant, National Energy Group, Shaanxi, Yulin 710100

Abstract： In this paper, the problem of heating surface corrosion of power plant boiler is deeply discussed, its status, causes and hazards are analyzed, and corresponding prevention measures are put forward. Corrosion problems seriously affect the safety and economic operation of boilers, resulting in reduced efficiency, shortened life, and even lead to safety accidents. It is suggested to take comprehensive measures such as water quality optimization, material selection and improvement, operation condition adjustment and anti-corrosion coating technology to effectively prevent corrosion and ensure safe and stable operation of boilers.

Keywords： power plant boiler; heating surface corrosion; corrosion causes; prevention and control measures; anti-corrosion coating

引言

电厂锅炉作为火力发电厂的核心设备，其安全、稳定运行对保障我国电力供应具有重要意义。受热面作为锅炉的关键组成部分，其性能直接影响锅炉的热效率和使用寿命。然而，在实际运行过程中，受热面腐蚀问题一直是困扰电厂安全生产的难题。受热面腐蚀会导致锅炉效率降低、设备寿命缩短，严重时甚至会引起锅炉事故，给企业带来巨大的经济损失和不良的社会影响。

一、电厂锅炉受热面腐蚀现状

（一）锅炉受热面腐蚀情况调查

锅炉是火力电站一种重要的能量转换设备，煤、生物质及生活垃圾等固体燃料燃烧时，除可燃组分燃烧放出热量之外，不可燃组分及未燃尽部分仍会以底灰或飞灰等固体颗粒的形式存在，并对锅炉受热面造成冲蚀磨损。因此，采取有效的防护措施以减缓锅炉受热面的冲蚀磨损破坏，延长锅炉服役寿命对于提高电厂经济效益及安全效益具有重要意义^[1]。

根据对锅炉运行故障分析发现，锅炉受热面故障占锅炉整体故障的70%以上，已经成为影响锅炉正常运行的关键要素^[2]。其中腐蚀问题是影响锅炉正常运行的一项重要因素。调查结果显示，腐蚀现象不仅存在于老旧锅炉中，甚至在新建锅炉也有发生，且腐蚀速度和程度有加剧的趋势。这些腐蚀问题直接影响了锅炉的热效率，增加了能耗和维护成本，同时也降低了锅炉的使用寿命。通过对腐蚀样本的分析，发现腐蚀原因复杂多样，包括

水质问题、材料选择、运行工况等。

（二）腐蚀对锅炉安全性和经济性的影响

腐蚀对锅炉的影响深远，不容忽视。它导致金属壁厚变薄，减弱了锅炉受热面的承重能力，提高了运行时发生爆炸和泄漏的可能性，直接对操作人员的安全构成威胁。此外，腐蚀降低了锅炉的热效率，使得燃料消耗量增加，导致发电成本上升，严重影响了电厂的盈利能力。腐蚀造成的设备损害和频繁维修不仅提高了维护费用，还可能导致锅炉意外停机，影响电力供应的稳定性。长期来看，腐蚀缩短了锅炉的使用期限，加速了设备更新，给电厂带来了额外的财务负担。总之，腐蚀问题对锅炉的可靠运行和电厂的经济状况带来了严重的挑战。

二、电厂锅炉受热面腐蚀原因分析

（一）腐蚀机理

电厂锅炉受热面腐蚀的机理复杂多样，主要包括电化学腐

蚀、化学腐蚀和物理腐蚀三种类型。电化学腐蚀是由于锅炉水质中的离子与金属表面发生电化学反应，形成微电池，导致金属溶解。化学腐蚀则是金属与烟气中的酸性气体（如 SO₂、H₂S）或水蒸气中的氧气直接反应，生成腐蚀产物。物理腐蚀则是由高温蒸汽或高速烟气流对金属表面的磨损作用。在实际运行中，这些腐蚀过程往往相互交织，共同作用，加速了受热面材料的损耗。此外，腐蚀速率受到多种因素的影响，如水质、温度、压力、金属成分和锅炉运行方式等。了解这些腐蚀机理，对于制定有效的防治措施至关重要。

（二）影响腐蚀的因素

锅炉受热面的腐蚀程度是由一系列相互作用的因素共同决定的。水中的溶解氧、氯离子、硫酸根离子以及硬水中的钙镁离子，若含量过高，会显著加速金属的腐蚀过程^[3]。同时，材料的耐腐蚀性能，如合金成分、热处理状态和表面处理，对腐蚀速率有着直接的影响。锅炉的运行条件，包括温度、压力、蒸汽流量和燃烧状况，同样在高温高压环境下会加快腐蚀速率。此外，环境因素如气候条件、大气污染状况也对腐蚀有着不容忽视的影响，尤其是在湿度大、盐分高的地区，以及存在硫化物和氮化物等污染物的大气中。因此，锅炉腐蚀的复杂性体现在水质、材料特性、运行工况和环境因素的交织作用中。

（三）腐蚀类型及特点

腐蚀类型及特点各异，以下为电厂锅炉受热面常见的几种腐蚀类型及其特性。

1. 氧腐蚀

氧腐蚀是锅炉受热面最常见的腐蚀形式之一，主要发生在水侧。当水中的溶解氧与金属表面接触时，会形成氧化膜。随着氧化膜的破坏，金属持续氧化，形成点蚀或均匀腐蚀。氧腐蚀的特点是腐蚀速率相对较慢，但长期作用下会显著削弱金属的强度。

2. 硫腐蚀

硫腐蚀通常由烟气中的硫化物引起，尤其是硫化氢和二氧化硫。这些气体在高温下与金属反应，形成硫化物，导致金属的锈蚀或层状剥落。硫腐蚀的特点是腐蚀速度快，尤其在高温区域更为严重，对锅炉的运行安全构成重大威胁^[4]。

3. 酸腐蚀

酸腐蚀主要是由烟气中的酸性气体（如 SO₃、NO_x）与水蒸气结合形成酸性液体，这些酸性液体沉积在受热面上，引起腐蚀。酸腐蚀的特点是腐蚀区域集中，常表现为点蚀或局部坑蚀，严重时可能导致管道穿孔。

4. 其他腐蚀

其他腐蚀类型包括碱腐蚀、垢下腐蚀、磨损腐蚀等。碱腐蚀通常发生在水处理不当导致水质碱度过高的情况下，形成的碱性环境会破坏金属表面的保护膜。垢下腐蚀则是由于水垢的形成，水垢下方的水膜缺氧，导致局部腐蚀加速。磨损腐蚀则是由于高速气流或水流对金属表面的冲刷，造成材料损耗^[5]。这些腐蚀类型的特点是它们往往在特定条件下发生，且一旦形成，腐蚀速度较快，对锅炉受热面的损害较大。

三、电厂锅炉受热面腐蚀防治措施

（一）水质优化

电厂锅炉受热面腐蚀问题一直是对锅炉安全 and 经济运行构成威胁的重要因素^[6]。为了确保锅炉能够长期稳定地运行，采取有效的防治措施至关重要，其中水质优化扮演了核心角色。通过应用先进的水处理技术，如离子交换、反渗透、EDI等，能够有效地去除水中的硬度离子和溶解氧，这些物质是导致锅炉受热面结垢和氧腐蚀的主要原因。去除这些腐蚀性成分，显著降低了锅炉受热面的腐蚀速率。

在水质优化过程中，维持炉水的 pH 值在 9.0-9.5 的优化范围内同样关键。这一 pH 值范围有助于减缓金属的腐蚀速度，通过精心添加氨水或磷酸盐等化学药剂，可以在锅炉内部形成一层保护膜，这层膜能够有效地保护金属表面免受腐蚀介质的侵袭。同时，使用除氧器等设备去除水中的氧化性物质，如溶解氧，是防止氧腐蚀发生的关键步骤。进一步地，向炉水中添加磷酸盐、亚硝酸盐等腐蚀抑制剂，为金属表面提供额外的保护。这些抑制剂能够在金属表面形成一层保护层，从而抑制腐蚀反应的进行^[7]。以磷酸盐处理为例，它在锅炉受热面金属表面形成的磁性氧化铁保护膜，不仅致密而且能有效隔离金属与腐蚀介质，显著降低了腐蚀速率。此外，磷酸盐还能与炉水中的硬度离子反应，生成易于清除的水垢，进一步减少因结垢引起的腐蚀风险。

由此可见，水质优化是电厂锅炉受热面腐蚀防治工作的重中之重。通过精确控制水处理过程中的各个参数，确保水质达到规定标准，不仅能够有效减缓锅炉受热面的腐蚀速率，还能够提高锅炉的整体运行效率，延长其使用寿命。

（二）材料选择与改进

电厂锅炉受热面腐蚀问题严重影响锅炉的安全运行和经济性。为了防治腐蚀，材料选择与改进成为关键环节。在材料选择方面，应优先考虑耐腐蚀性能良好的材料，并结合锅炉的实际运行工况进行优化。

以 T91 钢为例，这是一种广泛应用于电厂锅炉受热面的材料。T91 钢具有较高的抗蠕变强度和良好的耐腐蚀性能，其铬含量在 9% 左右，钼含量在 1% 左右，同时加入了适量的钒、铌等合金元素^[8]。这些合金元素的加入，使得 T91 钢在高温、高压的锅炉环境中具有较好的抗氧化和耐腐蚀性能。在实际应用中，T91 钢能有效减少锅炉受热面的腐蚀速率，延长锅炉的使用寿命。

另外，针对锅炉受热面的腐蚀问题，除了采用防腐蚀涂层技术，还可以通过对材料表面进行处理和改进来进一步提升防护效果。热喷涂技术是其中一种有效的处理方法，通过在受热面表面涂覆一层耐腐蚀的涂层，可以有效隔绝腐蚀介质与基体的接触，从而降低腐蚀速率^[9]。在选择涂层材料时，需充分考虑锅炉的具体运行工况，包括温度、压力、腐蚀介质等因素，通常会选用镍基合金、钴基合金等高性能材料，这些材料因其良好的耐高温、耐磨损和耐腐蚀特性，能够在极端环境下保持稳定性能，有效保护锅炉受热面，延长其使用寿命。涂层施工工艺同样至关重要，每一步操作都需精细到位。起初，必须彻底清洁并打磨锅炉受热

面,去除油污、锈迹和氧化皮,以提升涂层与基材的结合力。接着,根据所选涂层材料的特性,选择合适的涂覆技术,确保涂层均匀,无遗漏和气泡,并精确控制涂层厚度在100–300微米的理想范围内。涂覆作业完成后,按照规定的温度进行干燥和固化,避免在涂层未完全固化前就高温运行。最后一步,对涂层进行质量检测,包括附着力、厚度和硬度等指标,确保涂层质量满足既定标准,从而保障锅炉受热面的长期稳定运行。

(三) 运行工况调整

为有效防治电厂锅炉受热面腐蚀,运行工况的精确调整至关重要。通过实时监测烟气成分,将过剩空气系数调整至1.15–1.25的适宜范围,以降低氧浓度,防止氧化腐蚀,同时确保燃烧充分而不至于过量。在此过程中,合理调配一二次风比例,控制燃烧温度,降低火焰中心温度,减少热偏差,避免局部过热造成的腐蚀问题^[10]。同时,密切监测烟气流速,并将其保持在6–12 m/s的推荐范围内,以防止高速烟气流对受热面的冲刷腐蚀。此外,定期进行炉膛吹灰和清灰操作,减少受热面积灰,降低传热阻力,防止积灰引起的低温腐蚀。

通过精确调整运行工况,不仅提高了锅炉的运行效率,还

延长了设备的使用寿命,为电厂的安全、经济运行提供了有力保障。

结束语

电厂锅炉受热面腐蚀,是电力工业面临的一大挑战,它悄无声息地侵蚀着设备的寿命,威胁着生产的安全,更影响着经济效益。本文通过对腐蚀现状的深入剖析,揭示了其成因、类型及危害,并提出了针对性的防治策略,为解决这一难题提供了重要参考。水质优化是防治腐蚀的基础,材料选择与改进是关键,运行工况调整是保障,防腐蚀涂层技术是有效手段,而在线监测与维护则是必要环节。每一步都需精心设计,精细操作,才能确保锅炉运行的安全可靠。

科技之光,照亮未来,随着材料科学、水处理技术和监测手段的不断进步,电厂锅炉受热面腐蚀防治将迎来新的突破。相信在不久的将来,通过多方共同努力,我们定能战胜腐蚀,为电力工业的蓬勃发展保驾护航。

参考文献

- [1] 李海燕, 刘欢, 王阔义, 等. 锅炉受热面的冲蚀磨损与防护综述 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2023, 43(05): 957–970.
- [2] 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, 46(05): 248–250.DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1167/tf.2023.05.095.
- [3] 王学民, 张培峰, 王博, 等. 对冲燃烧锅炉受热面防腐防磨涂层的案例分析与研究 [J]. 电力学报, 2021, 36(03): 245–253+269.DOI: 10.13357/j.dlxb.2021.030.
- [4] 张旭. 电厂锅炉热面腐蚀原因及预防措施探讨 [J]. 中国战略新兴产业, 2018, (24): 208.DOI: 10.19474/j.cnki.10-1156/f.005141.
- [5] 周彬, 宗仰炜, 葛红花. 某电厂余热锅炉烟气侧低温段受热面的腐蚀积垢原因 [J]. 腐蚀与防护, 2021, 42(02): 60–64+69.
- [6] 郑春晖. 锅炉受热面灰污在线监测及吹灰优化 [D]. 大连交通大学, 2019.DOI: 10.26990/d.cnki.gsltc.2019.000529.
- [7] 罗培钟. 电厂锅炉受热面腐蚀原因及预防措施探讨 [J]. 现代工业经济和信息化, 2017, 7(14): 74–75.DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2017.14.29.
- [8] 卫健, 肖嘉鸣, 汪涛. 660 MW 锅炉受热面灰污监测及智能吹灰系统实践应用 [J]. 能源研究与管理, 2022, (01): 87–92.DOI: 10.16056/j.2096-7705.2022.01.014.
- [9] 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.DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.21052701.
- [10] 周兵. 锅炉结垢风险分析 [J]. 化学工程与装备, 2023, (05): 192–193.DOI: 10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2023.05.024.