

锅炉受热面腐蚀机理及防护措施的有效性分析

刘彦军

陕西华电榆横煤电有限责任公司榆横发电厂 陕西 榆林 719000

摘要: 通过深入探讨了锅炉受热面腐蚀的机理,分析了包括高温氧化、酸碱腐蚀、灰渣侵蚀等在内的多种腐蚀形式及其成因。在此基础上,对现有的防护措施,如锅炉运行参数的智能优化与调控、腐蚀监测与预警系统的建立以及维护与检修制度的完善等进行了有效性分析。研究表明,这些防护措施能够显著降低受热面的腐蚀速率,延长锅炉的使用寿命,提高运行稳定性和安全性。合理选择和组合防护措施对于锅炉受热面的腐蚀防护具有重要意义。

关键词: 锅炉受热面; 腐蚀机理; 防护措施; 有效性分析

1 锅炉受热面腐蚀机理分析

1.1 腐蚀类型与机理

锅炉受热面作为锅炉的传热元件,其腐蚀是一个比较常见的设备问题。锅炉受热面的腐蚀是一个化学或电化学过程,根据腐蚀发生的位置和机理,可分为管内腐蚀和管外腐蚀两大类。管内腐蚀主要包括以下几种类型:(1)汽水腐蚀。由于金属铁被水蒸汽氧化而发生的一种化学腐蚀。它是过热器管的主要腐蚀形式,当蒸发管中发生汽水分层或循环停滞时也会发生。(2)碱腐蚀。通过强碱的化学作用,使管内壁面的 Fe_3O_4 保护膜遭到破坏,进而使金属基体遭到进一步氧化的一种化学腐蚀。(3)酸腐蚀。当浓缩炉水含有较多的 MgCl_2 和 CaCl_2 时,这两种化合物会与水作用生成盐,使炉水中 H^+ 浓度增加,导致酸腐蚀。(4)气体腐蚀。锅炉给水中如果含有较多的 O_2 和 CO_2 气体,会使锅炉受热面发生电化学腐蚀。电化学腐蚀是由于在金属表面形成若干微电池的结果。(5)氢脆。由于氢原子进入金属后,在晶粒边界处积聚形成氢分子。由于氢分子不能扩散,积累后产生很大的内压,使金属晶格变大而降低了金属的韧性,引起脆性。汽水腐蚀、碱腐蚀、酸腐蚀以及酸洗后都会产生 H_2 ,从而进一步引起氢脆。

管外腐蚀主要包括几种类型;第一,灰致腐蚀。在高温条件下,炉灰中形成的一些低熔点化合物凝结在锅炉受热面表面而形成熔融层,破坏了其原有的氧化层保护膜,从而加速了锅炉受热面材料的氧化过程。第二,还原性气氛腐蚀。当燃烧不完全、烟灰中碳含量增高时,会形成还原性气氛。在还原性气氛中会形成高温硫酸化合物,这些在高温下气化后的硫酸化合物遇到水冷壁锅炉受热面后在其表面液化,将锅炉受热面表面的氧化层保护膜溶解,从而使其不断遭到氧化腐蚀^[1]。第三,硫酸露点腐蚀。重油中通常含有2%~3%的硫,在燃烧时

会生成 SO_2 气体,混合在烟气中。其中少部分 SO_2 受灰分和金属氧化物等的催化作用而生成 SO_3 ,它再与烟气中所含的水分结合生成硫酸,硫酸在处于露点以下的金属表面凝结并腐蚀金属。第四,应力腐蚀。金属在特定腐蚀介质和一定水平拉应力的同时作用下发生的脆性开裂。

1.2 腐蚀机理的具体分析

汽水腐蚀是由于金属铁在高温下与水蒸汽发生氧化反应,生成铁的氧化物,导致金属材料的逐渐减薄。碱腐蚀则是由于锅炉水中的强碱与金属表面的 Fe_3O_4 保护膜发生反应,破坏保护膜,进而使金属基体暴露在腐蚀介质中,受到进一步的氧化腐蚀。酸腐蚀是由于炉水中含有的 MgCl_2 和 CaCl_2 等盐类与水反应生成酸,导致炉水中 H^+ 浓度增加,从而加速金属的腐蚀过程。气体腐蚀是由于金属表面存在电位差,形成微电池,导致电化学腐蚀。当锅炉给水中含有较多的 O_2 和 CO_2 气体时,会加速这种电化学腐蚀过程。氢脆则是由于腐蚀过程中产生的氢原子进入金属内部,在晶粒边界处积聚形成氢分子,导致金属晶格变大,韧性降低,从而引发脆性断裂。灰致腐蚀是由于炉灰中的低熔点化合物在高温下凝结在金属表面,形成熔融层,破坏原有的氧化层保护膜,导致金属材料的加速氧化。还原性气氛腐蚀和硫酸露点腐蚀则是由于燃烧过程中产生的还原性气体和硫酸化合物对金属表面的腐蚀作用。还原性气氛中形成的高温硫酸化合物会液化在金属表面,溶解氧化层保护膜,导致金属不断遭到氧化腐蚀。而硫酸露点腐蚀则是由于硫酸在金属表面凝结,与金属发生化学反应,导致金属材料的腐蚀。应力腐蚀则是由于金属在腐蚀介质和拉应力的共同作用下发生的脆性开裂,这种腐蚀形式通常发生在锅炉受热面的应力集中部位。

1.3 腐蚀影响因素

锅炉受热面腐蚀的影响因素众多,主要包括几个方

面。(1) 燃料类型: 不同燃料燃烧产生的烟气成分和灰分组成不同, 对锅炉受热面的腐蚀作用也不同。(2) 燃烧方式: 燃烧方式的不同会影响烟气中的气体成分和温度分布, 从而影响锅炉受热面的腐蚀情况。(3) 锅炉水质: 锅炉水质的好坏直接影响受热面的腐蚀情况。水质中含有较多的 O_2 、 CO_2 、 $MgCl_2$ 和 $CaCl_2$ 等杂质会加速金属的腐蚀过程。(4) 金属材质: 不同材质的金属对腐蚀的抵抗力不同。一些合金钢具有更高的抗腐蚀能力, 可以减缓腐蚀速度。(5) 运行工况: 锅炉的运行工况如温度、压力、流量等也会影响受热面的腐蚀情况。(6) 防护措施: 采取有效的防护措施如涂刷高温防腐涂料、调整燃烧方式、控制水质等可以减缓锅炉受热面的腐蚀速度。

2 锅炉受热面防护措施概述

2.1 主动防护措施

主动防护措施是指通过调整锅炉的运行参数、改善燃烧条件、优化水质管理等方式, 从源头上减少腐蚀因素的产生, 从而降低锅炉受热面的腐蚀风险。通过合理设定锅炉的燃烧温度、压力和流量等参数, 避免局部过热和过冷现象的发生, 减少因温度差异引起的腐蚀。定期监测锅炉的运行状态, 及时发现并处理异常情况, 确保锅炉在最佳状态下运行。优化燃烧器的设计和布置, 确保燃料充分燃烧, 减少不完全燃烧产生的还原性气氛和有害气体。通过调整燃料配比和空气量, 使燃烧过程更加稳定, 减少烟气中的腐蚀性成分。加强锅炉水质的管理, 定期检测水质中的杂质含量, 确保水质符合标准要求。通过添加阻垢剂、除氧剂等化学药剂, 减少水中的有害物质对锅炉受热面的腐蚀。定期清理锅炉内的水垢和沉积物, 保持锅炉内部的清洁^[2]。在锅炉受热面表面涂刷具有防腐性能的涂料, 形成一层保护膜, 隔离腐蚀介质与金属基体的接触, 从而减缓腐蚀速度。防腐涂料的选择应根据锅炉的运行环境和腐蚀类型进行综合考虑。通过调整锅炉的燃烧过程和烟气处理设备, 减少烟气中的腐蚀性成分, 如 SO_3 、 HCl 等。

2.2 被动防护措施

被动防护措施是指在锅炉受热面已经发生腐蚀的情况下, 采取补救措施来减缓腐蚀速度或修复已损坏的受热面。定期对锅炉受热面进行检查, 及时发现并处理腐蚀问题。对于已经发生腐蚀的部位, 可以采取打磨、补焊等方法进行修复, 恢复其原有的性能和结构。当锅炉受热面的腐蚀程度严重时, 需要更换受损的部件, 以确保锅炉的安全运行。在更换部件时, 应选择与原部件相同或性能更优的材料, 确保更换后的部件具有足够的耐腐蚀性能。在锅炉系统中安装防腐装置, 如烟气脱硫

脱硝装置、除尘器等, 减少烟气中的腐蚀性成分和颗粒物, 降低对锅炉受热面的腐蚀风险。对于腐蚀严重的锅炉受热面部位, 可以考虑采用耐腐蚀性能更好的材料进行替换, 如不锈钢、合金钢等。这些材料具有较高的抗腐蚀能力, 可以延长锅炉的使用寿命。提高锅炉操作人员的防腐意识和技能水平, 使他们能够正确识别和处理腐蚀问题。通过培训和教育, 增强操作人员的责任感和安全意识, 确保锅炉的安全运行。

3 锅炉受热面防护措施有效性分析与对比

3.1 涂层防护有效性分析

涂层防护通过在锅炉受热面表面涂覆一层具有防腐、耐高温、耐磨等特性的涂层, 形成一道保护层, 有效隔离腐蚀介质与金属基体的直接接触, 从而降低腐蚀速率。这种防护措施具有施工简便、成本相对较低、适用性广等优点。具体而言, 涂层防护可以有效抵御酸碱腐蚀、高温氧化、灰渣侵蚀等多种腐蚀形式。例如, 针对硫酸露点腐蚀, 可以选择具有优异耐酸性能的涂层材料; 对于高温氧化腐蚀, 则应选用耐高温性能突出的涂层。涂层还能在一定程度上提高受热面的耐磨性和抗冲刷性能, 延长其使用寿命。涂层防护也存在一定的局限性, 一方面, 涂层材料的耐久性和稳定性直接影响其防护效果, 若涂层出现剥落、开裂等缺陷, 将失去保护作用; 另一方面, 不同涂层材料对特定腐蚀环境的适应性有所不同, 需根据锅炉受热面的实际腐蚀情况进行选择。

3.2 材料升级有效性分析

材料升级是指采用耐腐蚀性更强的合金钢或复合材料替代原有的普通钢材, 以提高锅炉受热面的抗腐蚀能力。这种防护措施从根本上提高了材料的耐腐蚀性, 具有长期稳定的防护效果。材料升级后, 锅炉受热面的使用寿命显著延长, 减少了因腐蚀导致的停机维修和更换部件的频率, 降低了维护成本。高性能材料的应用还能提高锅炉的整体性能和安全性, 如提高热效率、增强结构强度等。材料升级的成本相对较高, 且需要考虑到材料的加工、焊接等工艺性能。不同材料的耐腐蚀性能和对特定腐蚀环境的适应性也有所差异, 因此在选择时需进行充分的评估和测试。

3.3 运行参数优化有效性分析

运行参数优化是通过调整锅炉的燃烧温度、压力、流量等参数, 以及改善燃烧条件、优化水质管理等方式, 从源头上减少腐蚀因素的产生, 从而降低锅炉受热面的腐蚀风险。这种防护措施具有成本低、实施方便等优点。通过运行参数优化, 可以显著改善锅炉受热面的运行环境, 减少高温氧化、酸碱腐蚀等腐蚀形式的发生^[3]。

运行参数优化还能提高锅炉的热效率和运行稳定性,降低能耗和排放。运行参数优化需要精确的监测和控制手段,以及丰富的运行经验和技术支持。同时,对于某些特定的腐蚀形式,如灰渣侵蚀等,单纯的运行参数优化可能无法达到理想的防护效果。

3.4 防护措施综合对比与优化选择

综合对比上述三种防护措施,可以看出它们各有优缺点,适用于不同的腐蚀环境和经济条件。在实际应用中,应根据锅炉受热面的具体腐蚀情况、运行条件和经济性要求,综合考虑各种因素,选择合适的防护措施。对于腐蚀程度较轻、经济性要求较高的锅炉受热面,可以优先考虑运行参数优化和涂层防护;对于腐蚀严重、对材料性能要求较高的部位,则应考虑材料升级。还可以结合多种防护措施,形成综合防护体系,以提高防护效果和经济性。在优化选择防护措施时,还需注意以下几点:一是要确保防护措施与锅炉的整体设计和运行要求相匹配;二是要考虑防护措施的施工难度和成本;三是要对防护措施的效果进行定期评估和调整,确保其长期有效。

4 锅炉受热面腐蚀防护对策

4.1 锅炉运行参数的智能优化与调控

锅炉运行参数的智能优化与调控是预防锅炉受热面腐蚀的重要手段。通过引入先进的智能控制系统,实时监测锅炉的燃烧温度、压力、流量等关键参数,并根据这些参数的变化自动调节燃烧器的工作状态、燃料配比以及空气流量,从而确保锅炉在最优工况下运行。这种智能优化与调控不仅能有效减少因参数不当导致的受热面腐蚀,还能提高锅炉的热效率和运行稳定性。结合大数据分析技术,对锅炉运行历史数据进行挖掘和分析,可以进一步发现潜在的腐蚀风险,为制定更精准的防护措施提供依据。

4.2 锅炉受热面腐蚀监测与预警系统的建立

为了及时发现并处理锅炉受热面的腐蚀问题,需要建立一套完善的腐蚀监测与预警系统。该系统应包括传感器网络、数据采集与处理模块、腐蚀评估算法以及预警机制等组成部分。通过传感器网络实时监测锅炉受热

面的温度、压力、腐蚀介质浓度等参数,并将数据传输至数据采集与处理模块进行分析。利用腐蚀评估算法对监测数据进行处理,可以准确判断受热面的腐蚀程度和趋势^[4]。一旦检测到腐蚀超标或存在严重腐蚀风险,预警机制将立即启动,发出警报并提示采取相应的防护措施,从而有效避免腐蚀事故的发生。

4.3 锅炉维护与检修制度的完善与落实

锅炉维护与检修制度的完善与落实是确保锅炉受热面长期安全运行的重要保障。应制定详细的维护与检修计划,明确各项维护与检修任务的时间节点、责任人和具体操作步骤。加强对维护与检修人员的培训和教育,提高他们的专业素养和技能水平,确保维护与检修工作的质量和效率。还应建立严格的监督与考核机制,对维护与检修工作的执行情况进行定期检查和评估,对于发现的问题及时整改,并追究相关责任人的责任。通过完善与落实锅炉维护与检修制度,可以及时发现并处理受热面的潜在腐蚀问题,确保锅炉的安全稳定运行。

结束语

综上所述,锅炉受热面的腐蚀问题是一个复杂而重要的课题。通过对腐蚀机理的深入分析和防护措施的有效性评估,可以为锅炉的安全稳定运行提供有力的技术支持。未来,随着材料科学、智能监测技术以及维护检修技术的不断发展,将能够开发出更加高效、环保的防护措施,为锅炉行业的可持续发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]肖海平.陈裕辉.葛金林.王晓宁.席建林.刘利宁.电站锅炉省煤器受热面的积灰监测[J].化工进展.2019(03):112-113.
- [2]谭大治.张晓阳.避免锅炉尾部受热面低温腐蚀的方法与锅炉结构的研究[J].应用能源技术,2021(3):3-4.
- [3]韦震高.陈伟崇.方新良.等.一台生物质蔗渣锅炉尾部受热面低温腐蚀的分析及改造方案[J].轻工科技,2020(1):2-5.
- [4]马道洋.李睿.张兰.等.电站锅炉受热面高温氯腐蚀特性及防控[J].洁净煤技术,2024,30(06):7-15.