

火力发电厂锅炉受热面预测与检修策略研究

肖伟航 杜如星 曾勇富 丁治国 王建利 崔鹏
呼和浩特热电厂 内蒙古呼和浩特 010000

摘要: 本文以火力发电厂锅炉受热面为核心, 针对损伤类型及原因展开深入剖析, 涵盖磨损、腐蚀、过热等方面。详细阐述了多种预测方法, 包括基于运行数据、无损检测技术、数值模拟与人工智能技术等。同时提出相应检修策略, 如定期与预防性检修结合、优化工艺与材料选择等。通过呼和浩特热电厂2×350MW机组案例, 展示了检修实践的全过程及效果评估, 为火力发电厂锅炉受热面的维护提供了全面的参考和指导。

关键词: 火力发电厂; 锅炉受热面预测; 检修; 策略

前言

在现代火力发电中, 锅炉作为核心设备, 其受热面的状况直接影响发电效率与安全性。呼和浩特热电厂2×350MW机组采用哈尔滨锅炉(集团)股份有限公司生产的HG-1140/25.4-YM1型锅炉, 该锅炉为一次中间再热、单炉膛、前后墙对冲旋流燃烧方式、尾部双烟道、烟气挡板调节再热汽温、平衡通风、紧身布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构Ⅱ型超临界本生直流锅炉。此机组作为供热机组, 承担着为呼和浩特市及金川开发区大部分用户供热的重任, 供热管线分城市热网东线、西线、金川线, 巴彦线和富泰, 实际供热面积达2974万平方米。鉴于锅炉受热面长期处于高温、高压、腐蚀环境, 易出现损伤, 因此对其预测与检修策略的研究至关重要, 可有效保障锅炉安全稳定运行, 提高发电及供热效率。

一、锅炉受热面损伤类型及原因分析

(一) 磨损

磨损是锅炉受热面常见的损伤形式之一, 主要包括飞灰磨损和吹灰磨损。飞灰磨损是由于烟气中的飞灰颗粒随气流运动对受热面管壁产生的冲刷作用。例如, 在某电厂的实际运行中, 由于燃煤质量不稳定, 飞灰颗粒较大且硬度较高, 导致炉膛出口附近的水冷壁管磨损严重, 在短短几个月内就出现了管壁减薄的情况, 严重影响了锅炉的安全运行。吹灰磨损则是在进行吹灰操作时, 吹灰介质(如蒸汽、压缩空气等)对受热面造成的磨损。不合理的吹灰参数设置或频繁的吹灰操作都可能导致吹灰磨损加剧。

(二) 腐蚀

腐蚀也是锅炉受热面面临的重要问题, 常见的有高

温腐蚀和低温腐蚀。高温腐蚀主要发生在炉膛内的高温区域, 如燃烧器附近的水冷壁管。由于燃料燃烧过程中产生的硫化物、钒化物等有害物质在高温下与管壁金属发生反应, 形成腐蚀产物。例如, 某电厂因燃烧高硫煤, 且燃烧组织不良, 导致炉内局部温度过高, 高温腐蚀现象较为严重, 受热面管壁出现明显的腐蚀坑点。低温腐蚀则通常发生在锅炉尾部受热面, 如省煤器和空气预热器。当烟气中的硫酸蒸气在低温受热面上凝结时, 会与管壁金属发生电化学腐蚀。特别是在冬季运行时, 由于排烟温度较低, 低温腐蚀问题更为突出^[1]。

(三) 过热

过热是指受热面管壁温度超过其设计允许值, 导致金属材料的性能下降, 甚至发生变形、破裂等损坏。引起过热的原因主要有火焰中心偏斜、水冷壁结渣、给水系统故障等。例如, 某电厂由于燃烧器调节不当, 火焰中心偏离正常位置, 使得部分水冷壁管长期处于过热状态, 最终导致管壁鼓包、破裂, 引发了泄漏事故。

二、火力发电厂锅炉受热面预测方法

(一) 基于运行数据的预测方法

运行数据是反映锅炉运行状态的重要依据, 通过对运行参数(如炉膛压力、温度、烟气流速等)的实时监测和分析, 可以及时发现受热面可能存在的损伤风险。例如, 通过建立炉膛压力与受热面磨损速度的关系模型, 当炉膛压力出现异常波动时, 能够预测磨损情况的变化趋势。同时, 对历史运行数据进行统计分析, 总结出不同工况下受热面损伤的规律, 为预测提供参考。某电厂通过对过去几年的运行数据研究发现, 在负荷频繁波动的情况下, 受热面的磨损速率明显加快, 于是制定了相应的负荷调整策略, 有效降低了磨损风险。

（二）无损检测技术

无损检测技术是预测锅炉受热面损伤的重要手段之一。目前常用的无损检测方法包括超声检测、射线检测、红外热成像检测等。超声检测可以准确地检测出受热面内部的裂纹、夹杂等缺陷；射线检测则适用于检测焊缝质量和受热面的厚度变化；红外热成像检测能够快速发现受热面表面的温度异常区域，从而判断是否存在局部过热或保温不良等问题。例如，某电厂在每年的检修期间，都会采用多种无损检测技术对锅炉受热面进行全面检测，通过检测结果及时发现并处理了一些潜在的安全隐患，确保了锅炉的安全运行。

（三）数值模拟与人工智能技术

随着计算机技术的发展，数值模拟和人工智能技术在锅炉受热面损伤预测中得到了越来越广泛的应用。通过建立锅炉燃烧过程和传热过程的数学模型，利用数值模拟方法可以预测受热面的温度分布、应力状态等参数，进而评估受热面的损伤风险。人工智能技术则可以通过对大量历史数据和实时监测数据的学习，建立损伤预测模型，实现对受热面损伤的智能预测和诊断。例如，某研究机构开发了一种基于神经网络的锅炉受热面损伤预测系统，该系统能够根据输入的运行参数和检测数据，准确地预测受热面的损伤程度和剩余寿命，为电厂的检修决策提供了科学依据。

（四）基于材料性能退化的预测方法

锅炉受热面在长时间的高温、高压和腐蚀环境下运行，材料的物理和化学性能会逐渐退化。通过对受热面材料的硬度、韧性、抗氧化性等性能指标进行定期检测和分析，可以评估材料的老化程度和剩余寿命。例如，采用硬度测试方法检测受热面管壁的硬度变化，当硬度降低到一定程度时，表明材料可能发生了软化和变形，存在损伤风险。某电厂通过定期对过热器和再热器管壁的硬度进行检测，根据硬度变化趋势及时更换了部分性能下降的管壁，避免了因材料性能退化导致的泄漏事故^[2]。

（五）基于热应力分析的预测方法

在锅炉运行过程中，受热面由于温度变化会产生热应力。过大的热应力会导致受热面产生裂纹和变形。通过对锅炉受热面的热应力进行实时监测和分析，结合材料的力学性能参数，可以预测受热面的应力状态和损伤风险。例如，利用有限元分析软件建立受热面的热-结构耦合模型，模拟不同工况下的热应力分布情况。某研究机构通过对多个火力发电厂锅炉的热应力分析发现，在启停炉过程中，受热面的热应力变化较大，容易引发

损伤。因此，针对启停炉过程制定了特殊的运行和保护措施，减少了热应力对受热面的损伤。

（六）基于振动特性分析的预测方法

锅炉受热面的振动特性与其结构和运行状态密切相关。当受热面出现磨损、腐蚀、松动等问题时，其振动特性会发生变化。通过对受热面的振动信号进行采集和分析，利用模态分析、频谱分析等方法，可以识别受热面的异常振动模式，从而预测受热面的损伤情况。例如，在某电厂的实际应用中，通过在炉膛内安装振动传感器，实时监测受热面的振动情况。当发现振动频率和幅值出现异常变化时，及时进行检查和维护，发现并处理了多起潜在的受热面损伤问题。

三、火力发电厂锅炉受热面检修策略

（一）定期检修与预防性检修相结合

定期检修是保证锅炉正常运行的基本措施之一，通过按照一定的周期对锅炉进行全面检修，可以及时发现和处理受热面的损伤问题。然而，仅仅依靠定期检修往往难以满足锅炉运行的安全性和经济性要求。因此，应结合预防性检修策略，根据受热面的损伤预测结果，提前安排检修工作，避免事故的发生。例如，对于磨损严重的受热面部件，可以在预测到其接近失效时提前进行更换，而不是等到出现明显的故障迹象后再进行检修，这样可以减少停机时间，提高锅炉的可用率。

（二）优化检修工艺与材料选择

在检修过程中，选择合适的检修工艺和材料对于提高检修质量和延长受热面的使用寿命至关重要。例如，对于磨损部位，可以采用耐磨堆焊技术进行修复，选择具有高硬度、高耐磨性的焊接材料，能够有效地提高受热面的抗磨损能力。对于腐蚀部位，则应根据腐蚀类型选择合适的防腐材料和防护涂层，如采用耐高温、耐腐蚀的陶瓷涂层或镍基合金涂层等。同时，优化检修工艺，确保涂层的附着力和均匀性，提高检修效果。某电厂在对高温腐蚀严重的水冷壁管进行检修时，采用了一种新型的镍基合金涂层工艺，经过实际应用验证，该涂层具有良好的抗腐蚀性能和高温性能，有效地延长了水冷壁管的使用寿命。

（三）加强运行管理与维护

除了检修工作外，加强锅炉的日常运行管理和维护也是减少受热面损伤的重要环节。运行人员应严格按照操作规程进行操作，控制好锅炉的运行参数，避免出现超温、超压、超负荷等异常工况。同时，加强对锅炉的巡检工作，及时发现和处理设备的异常情况。例如，定

期对受热面进行外观检查,查看是否有磨损、腐蚀、变形等情况;对炉膛内的燃烧状况进行观察,及时调整燃烧器的风门开度和给煤量,保证燃烧的稳定性 and 充分性。此外,还应建立健全设备维护档案,记录每次检修和维护的情况,为后续的检修工作提供参考依据。

(四) 状态检修与智能诊断相结合

状态检修是基于设备的实际运行状态,通过实时监测、故障诊断等手段,确定设备的检修时间和内容。在火力发电厂锅炉受热面检修中,引入智能诊断技术可以更加精准地评估受热面的健康状况。例如,利用传感器采集受热面的温度、压力、振动等参数,结合大数据分析 and 人工智能算法,对受热面的运行状态进行实时监测 and 智能诊断。当系统检测到受热面存在异常时,能够及时准确地判断故障类型 and 位置,并提供针对性的检修建议。这样可以避免不必要的检修工作,提高检修效率和设备的可靠性。

(五) 失效模式与影响分析(FMEA)

失效模式与影响分析是一种系统性的风险管理方法,通过对锅炉受热面可能出现的失效模式进行分析,评估其对设备运行 and 安全的影响程度,从而确定检修的优先级 and 重点。例如,针对受热面可能出现的磨损、腐蚀、过热等失效模式,分别分析其原因、后果以及发生的概率,根据风险评估结果制定相应的检修策略。对于高风险的失效模式,应加强监测 and 预防措施,优先安排资源进行检修;对于低风险的失效模式,可以采取定期检查和维护的方式。通过失效模式与影响分析,可以更加科学地分配检修资源,提高检修工作的针对性和有效性,降低设备故障率,保障锅炉的安全、稳定运行。

四、案例分析——呼和浩特热电厂2×350MW机组锅炉检修实践

(一) 检修前的状况评估

在最近一次检修前,通过对呼和浩特热电厂2×350MW机组锅炉的运行数据进行分析发现,炉膛出口处的飞灰含碳量有所升高,同时炉内部分区域的水冷壁管壁温也出现了一定程度的波动。结合无损检测结果,初步判断受热面存在磨损 and 局部过热的风险。为了进一步确定损伤情况,采用红外热成像检测技术对炉膛进行了全面扫描,结果显示在燃烧器附近的水冷壁上存在几处温度异常区域,表明可能存在局部过热现象。

(二) 检修方案制定与实施

针对上述情况,制定了详细的检修方案。首先,对炉膛内的燃烧系统进行检查 and 调整,优化燃烧器的风门开度和给煤量分配,使火焰中心位置恢复正常,避免局部过热现象的发生。其次,对磨损严重的水冷壁管进行了更换 and 耐磨堆焊处理。在堆焊过程中,严格控制焊接工艺参数,确保堆焊层的质量和厚度符合要求。同时,对其他受热面部件也进行了全面的检查 and 维护,如对省煤器和空气预热器的低温腐蚀部位进行了清洗 and 防腐处理。

(三) 检修后的效果评估

经过检修后,重新投入运行的锅炉各项运行参数均恢复正常。炉膛出口处的飞灰含碳量明显降低,水冷壁管壁温也保持在稳定的范围内。通过对后续一段时间的运行数据进行监测分析发现,受热面的损伤情况得到了有效控制,没有再出现类似的磨损 and 过热问题。这表明本次检修方案的实施取得了良好的效果,提高了锅炉的运行可靠性和安全性^[1]。

结语

综上所述,火力发电厂锅炉受热面的损伤类型多样,原因复杂。通过综合运用多种预测方法,如运行数据监测分析、无损检测技术、数值模拟与人工智能技术等,能够较为准确地评估受热面的健康状况,提前发现潜在问题。在检修策略方面,定期与预防性检修相结合、优化工艺与材料选择、加强运行管理与维护等措施相互配合,可有效提高检修质量,延长受热面使用寿命。呼和浩特热电厂2×350MW机组的案例实践充分证明了这些预测与检修策略的有效性,为同类型火力发电厂锅炉受热面的维护提供了宝贵经验和借鉴,有助于推动火力发电行业的稳定发展。

参考文献

- [1] 岳平阳.火力发电厂锅炉受热面预测与检修策略研究[J].中国高科技,2024,(21):97-99.
- [2] 岳平阳.火力发电厂锅炉受热面积灰监测技术研究[J].电力设备管理,2024,(17):51-53.
- [3] 蔡宏伟.锅炉受热面可靠性评估与检修策略的研究[D].华北电力大学(北京),2006.