

基于金属监督的火电厂老旧锅炉压力容器安全评估与无损检测方案优化

郭文

润电能源科学技术有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 火电厂老旧锅炉压力容器安全评估至关重要。本文先阐述金属监督基础理论,包括金属材料特性、老化机制及监督核心内容。接着分析老旧锅炉压力容器金属监督要点,涵盖运行参数监测等方面。随后剖析现有无损检测方案,指出应用情况、问题与不足。最后提出无损检测方案优化策略,涉及检测技术选择、工艺参数优化、流程优化及多技术融合。通过这些措施提升老旧锅炉压力容器金属监督水平,保障安全稳定运行。

关键词: 火电厂; 老旧锅炉压力容器; 金属监督; 无损检测; 方案优化

引言: 火电厂老旧锅炉压力容器在长期运行中,金属材料受高温高压及介质作用,会出现老化、缺陷等问题,严重影响设备安全。金属监督是保障安全稳定运行的关键手段,无损检测是金属监督的重要技术支撑。现有无损检测方案在老旧设备检测中存在局限性,难以满足实际需求。因此,研究基于金属监督的无损检测方案优化,对提升老旧锅炉压力容器安全评估水平具有重要现实意义。

1 金属监督基础理论

1.1 金属材料特性与老化机制

在火电厂锅炉压力容器的制造中,碳钢与合金钢是极为常见的金属材料。碳钢具备良好的强度与韧性,价格相对低廉,在一般工况下能满足设备的基本需求^[1]。合金钢则通过添加特定合金元素,显著提升了材料的综合性能,如高温强度、耐腐蚀性等,适用于更为苛刻的运行环境。从物理性质看,这些金属材料具有特定的熔点、导热性与导电性,化学性质上在常温下相对稳定,但在高温高压及特定介质作用下,化学性质会发生改变。锅炉压力容器长期处于高温高压的恶劣运行环境中,金属材料不可避免地会出现老化现象。蠕变是金属在高温和持续应力作用下,缓慢产生塑性变形的现象。随着运行时间的延长,金属的蠕变变形会逐渐累积,最终可能导致设备部件的过度变形甚至破裂。疲劳则是金属在交变应力作用下,内部产生微裂纹并逐步扩展的过程。频繁的启停操作以及负荷的波动,都会使金属承受交变应力,加速疲劳裂纹的产生与发展。腐蚀也是金属老化的重要因素之一,锅炉压力容器运行过程中接触到的水、蒸汽以及各种化学介质,会与金属发生化学反应或电化学反应,导致金属表面或内部被侵蚀,降低材料的强度与韧性。

1.2 金属监督的核心内容

金属监督旨在保障锅炉压力容器安全稳定运行,核心内容涵盖多个方面。对金属材料性能的持续监测是基础工作,通过定期检测金属的强度、硬度、韧性等力学性能指标,及时掌握材料性能的变化情况,判断是否满足设备运行要求。例如,每3-6个月对金属的强度进行一次检测。金属组织结构变化的跟踪分析同样关键,借助金相检验、扫描电镜等先进技术,观察金属内部的晶粒结构、相组成以及缺陷分布等,分析组织结构变化对材料性能的影响。对金属缺陷产生与发展的评估也不容忽视,准确判断缺陷的类型、尺寸、位置以及发展趋势,为设备的维修决策提供科学依据,确保设备在安全的前提下继续运行或及时进行检修处理。一般当缺陷尺寸超过2-5mm时,需要重点关注并评估其对设备安全的影响。

2 火电厂老旧锅炉压力容器金属监督要点

2.1 运行参数监测

火电厂老旧锅炉压力容器运行中,温度与压力等关键参数对金属状态有着深远影响。温度方面,金属在高温环境下,原子活动能力增强,晶界强度降低,蠕变现象加剧。长期处于高温状态,金属内部组织会逐渐发生变化,导致强度和韧性下降^[2]。压力的作用也不容小觑,持续的高压力会使金属承受较大的应力,当应力超过材料的屈服强度时,就会产生塑性变形,甚至引发破裂。为准确掌握这些参数对金属的影响,需采用科学有效的监测方法。对于温度监测,可在设备关键部位安装高精度的温度传感器,实时获取温度数据,并通过数据采集系统传输至监控中心,以便工作人员随时查看和分析。压力监测则可借助压力变送器,将压力信号转换为电信号进行传输和记录。同时,要确保监测设备的准确性和可

靠性, 定期进行校准和维护。参数异常波动往往与金属损伤存在紧密关联。温度的突然升高可能使金属局部产生过大的热应力, 导致裂纹萌生或扩展。压力的异常波动会对金属造成交变应力, 加速疲劳损伤的发生。当发现参数异常时, 应及时分析原因, 判断是否与金属损伤有关, 并采取相应的措施, 如调整运行参数、加强金属监督检测等, 防止损伤进一步发展。

2.2 金属外观检查

金属外观检查是发现设备表面缺陷的重要手段。表面裂纹是较为常见的缺陷之一, 识别时要注意裂纹的走向、宽度和深度。一般裂纹呈直线或曲线状, 颜色可能较周围金属略深, 用手触摸可能有粗糙感。变形缺陷包括局部鼓包、整体弯曲等, 可通过目视观察或借助直尺、塞尺等工具进行测量判断。腐蚀缺陷表现为金属表面出现锈蚀、坑洼等现象, 根据腐蚀的程度和形态可分为均匀腐蚀和局部腐蚀。不同部位的外观检查重点有所差异。焊缝部位是容易出现缺陷的区域, 要重点检查是否存在裂纹、气孔、夹渣等焊接缺陷, 以及焊缝的咬边情况。管板部位需关注管孔周围的裂纹和腐蚀情况, 以及管板与筒体的连接处是否有变形。筒体部位要检查表面的平整度, 是否存在局部减薄、鼓包等缺陷, 同时注意筒体接管处的应力集中情况。

2.3 金属内部组织分析

进行金属内部组织分析时, 取样位置的选择至关重要。应选取具有代表性的部位, 如应力集中区域、温度较高区域、可能存在缺陷的区域等。对于焊缝, 可在焊缝中心、熔合线、热影响区等不同位置取样, 以全面了解焊缝的组织性能。对于筒体, 可在母材、焊缝附近以及可能发生组织变化的区域取样。常用的金属内部组织分析方法有多种。金相检验是观察金属内部组织结构的重要方法, 通过制备金相试样, 在金相显微镜下观察晶粒大小、形态、相组成以及缺陷分布等情况, 从而判断金属的组织状态和性能变化。硬度测试则可反映金属的软硬程度, 不同组织状态的金属硬度不同, 通过测量硬度可以间接了解金属的组织变化情况。此外, 还有扫描电镜分析、能谱分析等方法, 可进一步深入分析金属的微观结构和化学成分, 为金属监督提供更全面的信息。

3 现有无损检测方案分析

3.1 常用无损检测技术概述

射线检测基于射线穿透物质强度衰减原理, 穿过金属部件时, 不同厚度或缺陷处吸收程度有别, 底片形成不同黑度影像判断缺陷^[3]。该技术适用于体积型缺陷检测, 如气孔、夹渣, 对薄金属部件效果好。但有辐射危

害, 检测要严格防护, 设备成本高、周期长, 厚壁部件检测灵敏度降低。超声检测利用超声波遇缺陷反射、折射特性, 分析反射波幅度、位置确定缺陷。对面积型缺陷如裂纹灵敏度高, 能检厚部件且无辐射。但对部件表面光洁度要求高, 结果受人员操作影响大, 复杂部件检测难。磁粉检测依据磁粉在缺陷漏磁场吸附成痕原理, 适用于铁磁性材料表面及近表面缺陷检测, 如裂纹、发纹。操作简单、速度快、成本低, 但只能检铁磁性材料, 检测深度有限, 对内部缺陷能力不足。渗透检测是渗透液渗入金属表面开口缺陷, 显像剂吸附显示缺陷。适用于非多孔性金属表面开口缺陷, 不受磁性限制。但只能检表面开口缺陷, 检后要彻底清洗, 过程受温湿度影响大。涡流检测利用电磁感应, 通过涡流变化发现金属表面及近表面缺陷。适用于导电材料表面缺陷检测, 速度快、可自动化。但对深层缺陷检测弱, 结果受材料电导率等影响大, 复杂部件检测效果欠佳。

3.2 现有方案在老旧锅炉压力容器检测中的应用情况

在实际检测中, 常将多种检测技术组合使用。例如, 先采用超声检测对老旧锅炉压力容器进行全面普查, 快速定位可能存在缺陷的区域, 一般可在1-3天内完成大面积普查。再利用磁粉检测或渗透检测对超声检测发现的疑似表面缺陷进行精确确认, 确认时间可根据缺陷数量在0.5-1天内完成。现有方案在检测精度方面, 对于一些常见缺陷能实现较好检测, 但对于微小缺陷或复杂结构中的缺陷, 检测精度有待提高。当缺陷尺寸小于0.5-1mm时, 现有方案可能难以准确检测。检测效率上, 部分检测技术操作繁琐, 检测周期长, 影响整体检测进度。如射线检测, 完成一次检测可能需要2-5天。覆盖范围方面, 由于不同检测技术适用范围不同, 难以实现对老旧锅炉压力容器所有部位和缺陷类型的全面覆盖。

3.3 现有方案存在的问题与不足

对于复杂结构的老旧锅炉压力容器, 现有检测方案存在明显局限性。复杂结构导致检测信号传播路径复杂, 干扰因素增多, 使得缺陷定位和定性困难。在微小缺陷检测方面, 灵敏度不足是突出问题, 一些早期微小缺陷难以被及时发现, 为设备安全运行埋下隐患。检测结果受多种因素影响程度较大, 如检测人员技能水平、设备状态、环境条件等, 不同情况下检测结果可能存在较大差异, 影响检测的准确性和可靠性。

4 无损检测方案优化策略

4.1 基于金属监督需求的检测技术选择

火电厂老旧锅炉压力容器金属老化机制多样, 缺陷类型也各不相同, 需精准匹配检测技术。对于因蠕变产

生的内部微小空洞缺陷,超声检测技术凭借对面积型缺陷的高灵敏度,能较好地捕捉此类缺陷信号。当空洞缺陷尺寸大于0.1-0.3mm时,超声检测可有效发现。而针对表面因腐蚀形成的裂纹,磁粉检测或渗透检测可发挥优势,快速定位表面开口缺陷。当表面裂纹宽度大于0.05-0.1mm时,磁粉或渗透检测能准确检测。在技术选择时,要综合考量多方面因素。检测成本是重要考量点,一些高端检测设备购置及使用成本较高,需在满足检测需求前提下,选择性价比高的技术。如涡流检测设备购置成本相对较低,适合对成本要求较高的检测场景。检测效率也不容忽视,对于大面积检测任务,应挑选检测速度快的技术,以缩短检测周期。超声检测每小时可检测面积可达10-20平方米,适合大面积检测。安全性同样关键,射线检测存在辐射风险,在满足检测要求时,可优先选择无辐射危害的技术,保障检测人员安全。

4.2 检测工艺参数优化

射线检测中,曝光参数直接影响底片质量。合理调整曝光时间、管电压等参数,能使底片黑度适中、对比度良好,清晰呈现缺陷影像。胶片选择也至关重要,不同类型胶片对射线敏感度不同,根据检测部件厚度和缺陷类型,挑选合适胶片可提高检测精度^[4]。超声检测时,探头频率决定检测分辨率和穿透能力。对于薄壁部件,选用高频探头可提高分辨率,准确检测微小缺陷;厚壁部件则需低频探头保证穿透力。耦合剂选择影响超声波传播效果,应选择粘度适中、声阻抗匹配好的耦合剂,减少声能损失。磁粉检测中,磁粉类型影响磁痕显示效果,干粉适用于干燥表面,湿粉对细微缺陷显示更清晰。磁化电流大小决定磁场强度,需根据部件材质和尺寸调整,确保能产生足够漏磁场吸附磁粉。渗透检测里,渗透剂渗透能力要强,显像剂显像效果要好,二者合理搭配才能清晰显示缺陷。涡流检测中,探头设计影响检测灵敏度和覆盖范围,激励频率选择需兼顾检测深度和分辨率。

4.3 检测流程优化

合理安排检测顺序可提高整体效率。先采用快速普查技术,如超声检测,对大面积区域进行初步筛查,确定疑似缺陷部位,一般可在1-2天内完成大面积普查。再

针对疑似部位运用高精度检测技术,如射线检测,进行详细确认,确认时间可根据缺陷数量在0.5-1天内完成。检测过程中设置质量控制点,如在磁粉检测前对部件表面进行清洁处理,确保无油污、铁锈等干扰因素,清洁后表面粗糙度需小于Ra6.3 μ m;超声检测时定期校准探头,每2-4小时校准一次,保证检测数据准确。检测数据记录与管理要规范,详细记录检测部位、检测方法、检测结果等信息,建立电子数据库,方便查询和分析,为后续设备维护和金属监督提供数据支持。

4.4 多技术融合检测方案

不同无损检测技术各有优势,将它们优势互补组合可提升检测效果。例如,将超声检测与射线检测结合,超声检测快速定位缺陷大致位置,射线检测精确判断缺陷性质和尺寸。多技术融合检测实施时,要明确各技术检测顺序和衔接方法。先确定主导检测技术,其他技术围绕其展开辅助检测。同时,加强检测人员沟通协调,确保各环节紧密配合,充分发挥多技术融合的优势,提高老旧锅炉压力容器金属监督水平。

结束语

通过对基于金属监督的火电厂老旧锅炉压力容器安全评估与无损检测方案优化研究,明确了金属监督要点及现有无损检测方案的问题。提出的优化策略,从检测技术精准选择、工艺参数合理调整、检测流程科学安排到多技术融合应用,为提升老旧锅炉压力容器金属监督水平提供了有效途径。落实这些策略,可更精准发现设备缺陷,保障设备安全运行,对火电厂稳定生产具有积极推动作用。

参考文献

- [1]王海洋.压力容器,压力管道裂纹检验中的无损检测技术研究[J].科技资讯,2024(8):105-107.
- [2]申潇.金属压力容器压力管道裂纹无损检测技术研究[J].工业A,2022(8):239-241.
- [3]沈锦军,罗展慧.无损检测技术在压力容器和压力管道检验中的应用[J].设备监理,2024(3):58-61.
- [4]翟陈婷.火电厂燃煤锅炉低氮燃烧技术优化控制策略[J].电力设备管理,2024(10):261-264.