

发电锅炉高温承压部件无损检测与安全评估

孙宏军

国能双辽发电有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i5.9889

[摘要] 在电力工业的庞大系统中,发电锅炉是将化石燃料或核能转化为电能的关键设备,发电锅炉高温承压部件的安全运行直接关系到供电的稳定性和可靠性。本文总结了当前发电锅炉高温承压部件的无损检测技术和安全评估方法,重点分析了超声波检测、磁粉检测和射线检测等无损检测技术在发电锅炉中的应用,探讨了安全评估流程。通过本文的研究,旨在为发电锅炉的安全运行提供技术支持和理论参考。

[关键词] 发电锅炉; 高温承压部件; 无损检测; 安全评估

中图分类号: TK223 文献标识码: A

Nondestructive testing and safety assessment of high-temperature pressure parts of power generation boiler

Hongjun Sun

State Energy Shuangliao Power Generation Co., LTD

[Abstract] In the huge system of electric power industry, power generation boiler is the key equipment to convert fossil fuel or nuclear energy into electric energy. The safe operation of high temperature pressure parts of power generation boiler is directly related to the stability and reliability of power supply. This paper summarizes the current nondestructive testing technology and safety assessment method of high temperature pressure parts of power generation boiler, analyzes the application of nondestructive testing technology of ultrasonic detection, magnetic powder detection and radiation detection in power generation boiler, discusses the life assessment and safety assessment method based on detection data, aiming to provide technical support and theoretical reference for the safe operation of power generation boiler.

[Key words] power generation boiler; high temperature pressure parts; nondestructive testing; safety assessment

引言

发电锅炉长期处于高温高压的恶劣运行环境中,其过热器、再热器、集箱等承压部件容易产生裂纹、腐蚀和磨损,严重威胁锅炉的安全运行。因此,对发电锅炉高温承压部件进行定期无损检测和安全评估显得尤为重要,无损检测技术能够在不破坏被检测对象的结构和化学性质的情况下,发现并准确描述受压元件的缺陷,为锅炉的安全运行提供了有力的保障。

1 无损检测技术的应用

1.1 超声波检测

超声波检测广泛应用于发电锅炉的高温承压部件,优点在于能深入材料内部,发现隐藏的裂纹、夹渣等缺陷,检测过程中,超声波探头通过耦合剂与被检测零件表面紧密接触,向材料内部发射高频声波。当声波遇到材料中的缺陷时,会被反射和散射,这些反射波会被接收探头捕获并转换成电信号,通过对这些信号的分析处理,可以绘制出材料内部的声速分布图或缺陷图

像,从而实现对缺陷的准确定位和定量评价。对于发电锅炉的高温承压部件,超声波检测不仅可以检测表面裂纹,而且通过选择合适的检测频率和探头角度,可以深入检测部件内部的焊缝质量和材料组织。

1.2 射线检测

射线检测,特别是X射线和 γ 射线检测,在发电锅炉高温承压部件无损检测中发挥着重要作用,这些射线具有很强的穿透能力,可以穿透较厚的金属部件,揭示其内部的密度变化。在检测过程中,辐射源发出的光束穿透被检测零件,然后被放置在零件另一侧的胶片或数字探测器接收,由于不同密度的材料对辐射的吸收能力不同,在胶片或探测器上会形成不同对比度的图像。对于高温承压部件,X射线检查可以清楚地显示材料中的未熔合、未焊透、气孔、夹渣、缩孔等缺陷,这些缺陷在X射线图像上表现为明显的暗区或亮区,便于检测人员识别和判断。

1.3 磁粉检测

磁粉检测作为一种表面和近表面缺陷检测技术,在发电锅炉高温承压部件的检测中也发挥着不可替代的作用,利用铁磁材料被磁化后会在表面和近表面缺陷上形成漏磁场的原理,通过喷洒磁粉来显示这些缺陷。在检测过程中,首先对被检测零件进行磁化处理,改变表面及表面附近的磁场分布,然后将细小的磁粉颗粒撒在构件表面,磁粉会在漏磁场的作用下吸附到缺陷上,形成可见的磁痕。对于发电锅炉的高温承压部件,磁粉探伤可以快速、直观地发现表面及表面附近的裂纹、褶皱、夹层等缺陷,这些缺陷在磁粉的作用下变得清晰可见,便于检测人员定位和评价。

1.4 渗透检测

渗透检测作为无损检测技术中的一种重要方法,主要用于检测材料表面的微开口缺陷,如裂纹、气孔、孔隙等,缺陷往往是由于加工过程中的应力集中、材料疲劳或腐蚀造成的,对设备的整体强度和密封性能构成潜在威胁,尤其是在高温高压环境下工作的发电锅炉高温承压部件,其危害性不容忽视。渗透检测是基于液体渗透到固体表面微小开口的原理,在测试过程中,应首先彻底清洁待测部件的表面,以去除可能影响渗透物渗透的杂质,如油污和腐蚀。随后,应用高渗透性渗透剂(通常是荧光染料或有色染料溶液),该渗透剂可以快速渗透到表面开口缺陷中,渗透剂完全渗透后,去除多余的渗透剂,在零件表面涂一层显色剂(一般为白色粉末或薄膜),显影液具有吸湿或吸附特性,能将渗入缺陷的渗透剂吸出缺陷,形成可见的荧光或有色痕迹,从而揭示缺陷的位置和形状。在发电锅炉中,高温承压部件,如过热器、再热器管、集箱等,长期经受高温高压和复杂工况的考验,其表面容易产生裂纹等缺陷,如果不及时发现和处理这些缺陷,可能会导致泄漏和爆管等严重事故,定期对这些部件进行渗透测试尤为重要。

2 安全评估流程

2.1 前期准备和信息收集

在安全评估过程的前期准备阶段,首要任务是全面系统地收集发电锅炉高温承压部件的相关信息,这包括但不限于设计图纸、制造材料、服务历史、维护记录、以前的无损检测结果以及相关的行业标准、技术规范和法律法规。为了更好地了解部件的特性和运行环境,还需要采集部件的工作温度、压力、流量等运行参数,以及部件在发电锅炉中的位置和作用等信息。通过详细梳理这些信息,可以初步了解部件的基本情况、运行环境、历史性能以及可能存在的安全隐患,为后续的安全评估打下坚实的数据基础。为了保证无损检测的准确性和有效性,这一阶段需要准备必要的无损检测设备和工具,并对这些设备进行校准和测试,确保其处于良好的工作状态,同时要准备好相关的检测标准和规范,以便在检测过程中有明确的依据。

2.2 合理运用无损检测技术

无损检测是安全评估的核心环节,其目的是在不损伤构件的情况下,发现构件内部或表面的缺陷和损伤,从而评估构件的安全状况。在这个阶段,需要根据前期收集的信息和构件的特性

选择合适的无损检测方法,比如对于金属零件,可以选择超声波检测或者射线检测;对于磁性零件,可以选择磁粉检测,为了提高检测的准确性和可靠性,可以将多种检测方法结合起来进行检测。实施无损检测时,要严格按照相关标准和规范进行操作,确保检测过程的规范性和结果的准确性。测试人员需要具备专业技能和经验,熟练操作测试设备,准确解读和判断测试结果。^[1]

2.3 数据分析和安全评估

无损检测完成后,需要对采集到的数据进行深入分析和处理,包括测试结果的解释、异常信号的识别以及潜在缺陷的定量和定性分析。数据分析的目的是更准确地了解部件的安全状态,评估其安全。在数据分析过程中,需要运用专业知识和经验对测试结果进行深度分析和判断。比如需要对异常信号进行滤波增强,提高信号的清晰度和可识别性,需要三维重建和尺寸测量来精确评估潜在缺陷的尺寸和形状,还要结合部件的运行历史和材料特性,预测和判断缺陷的发展趋势和可能产生的后果。

2.4 编写安全评估报告和后续措施

在安全评估过程的最后阶段,需要准备一份详细的评估报告,报告应包括部件的基本信息、无损检测结果、数据分析和安全评估的结论以及建议的后续措施,评估报告应准确、清晰、易读,以便相关人员充分了解部件的安全状况并采取相应措施。在编制评估报告时,要注意报告的规范性和完整性。报告应按照相关标准和格式进行编制,包括必要的信息,如图表、照片和附录,要对报告中的结论和建议进行充分论证和说明,确保报告的准确性和可信度。为了增强报告的可读性和可理解性,还可以使用图表、照片等直观的表达方式来呈现评价结果和建议。评价报告编制完成后,需要与相关部门和人员进行沟通。这包括将评估结果和建议传达给锅炉运行部门、维修部门和安全监督部门,以确保相关人员对部件的安全状况有清晰的了解并采取相应的措施,沟通方式可以包括会议、电子邮件、电话等形式,以确保信息的准确沟通和理解。

3 存在问题分析

3.1 技术局限性

3.1.1 检测深度与分辨率的矛盾

在发电锅炉高温承压部件的检测中,检测深度和分辨率往往是一对难以调和的矛盾,为了深入检测零件中的微小缺陷,如裂纹和腐蚀坑,需要采用高分辨率的检测技术,如超声波检测和X射线检测,但这些技术往往受到检测深度的限制,难以全面有效地检测大型厚壁零件。一些可用于深度检测的检测技术,如红外热成像和声发射检测,可能缺乏分辨率,难以准确识别微小缺陷,这种矛盾使得在检验过程中需要权衡利弊,选择合适的检验技术,这就可能导致某些区域或类型缺陷的遗漏。

3.1.2 环境适应性不足

发电锅炉的运行环境极其恶劣,高温、高压、强腐蚀等因素对检测设备的性能提出了极高的要求,但目前很多检测设备在环境适应能力上还存在不足,难以在极端条件下稳定工作,比如

高温环境下的传感器可能因过热而失效,强腐蚀介质可能腐蚀检测设备的材料结构,导致检测精度下降,甚至损坏设备。此外,锅炉内部复杂的结构和有限的空间也给检测工作带来诸多不便,导致一些先进的检测技术难以得到有效应用^[2]。

3.2 数据处理与分析的复杂性

3.2.1 海量数据处理

在发电锅炉高温承压部件的安全评估中,需要处理的数据量往往很大,这些数据不仅包括运行参数和监测数据等实时动态信息,还包括设备历史和维护日志等静态信息。面对如此庞大的数据量,如何高效地存储、管理和分析它成为一个亟待解决的问题,传统的数据处理方法往往难以应对如此大的数据量,需要云计算、大数据等先进技术来提高数据处理能力和效率,这些技术的应用也带来了新的挑战,如数据安全和隐私保护,需要妥善解决。

3.2.2 缺陷识别与评估的主观性

在数据处理和分析过程中,缺陷的识别和评价往往受到人为因素的影响,具有一定的主观性,由于经验和技能水平的差异,不同的测试人员对同一组数据可能会有不同的解释和判断。此外,缺陷的识别和评价还受到检测技术的限制和缺陷本身特性的影响,比如一些微小的缺陷可能会因为分辨率不够而被遗漏或误判,由于缺乏有效的评估标准,一些复杂的缺陷可能难以准确量化其风险。这种主观性不仅影响评估结果的准确性和可靠性,还可能误导后续的维护决策^[3]。因此,如何减少人为因素的影响,提高缺陷识别和评价的客观性和准确性,是当前需要解决的重要问题之一。

4 技术发展趋势

4.1 多元化检测技术融合

随着科学技术的飞速发展,各种检测技术在准确性、效率和适用范围上都有了突破,未来,多元化检测技术的融合将成为主流趋势,这意味着,在发电锅炉高温承压部件的检测过程中,将不再局限于单一技术的使用,而是根据具体需求和部件特性,综合运用多种检测技术,达到更加全面、准确的检测效果。例如,超声波探伤和射线探伤相结合,不仅可以深入检测构件内部缺陷,还可以提供高分辨率的图像信息,红外热成像和声发射检测的集成,可以在不破坏部件结构的情况下,实时监测运行状态和潜在故障,多元化检测技术的整合将大大提高检测效率和准确

性,为安全评估提供更可靠的数据支持。

4.2 智能化检测系统的开发

在发电锅炉高温承压部件检测领域,智能检测系统的发展将成为未来的重要趋势,可以利用先进的传感器技术、数据处理技术和人工智能技术,实现检测过程的自动化、智能化和远程化。具体来说,智能检测系统可以自动采集设备运行数据,并实时分析处理,根据预设的算法和模型,自动判断部件的健康状态和潜在安全问题,该系统还可以实现远程监控和预警功能,一旦发现异常情况,会立即向相关人员发出警报,以便及时采取措施进行处理。此外,智能检测系统还具有学习能力,可以不断优化算法和模型,提高检测精度和效率,该智能检测系统的开发将大大提高发电锅炉运行的安全性和可靠性。

4.3 新型检测技术的研发

随着科学技术的不断进步,新的检测技术的研发将不断涌现,这些新技术将为当前检测技术的局限性和缺点提出创新的解决方案,比如,为了解决高温高压环境下的检测问题,可以研制耐高温高压的传感器和检测设备,根据微缺陷的检测要求,可以开发分辨率更高、灵敏度更高的检测技术,针对复杂结构的检测挑战,可以研究三维成像和重建技术,实现构件内部结构的可视化。

5 结语

发电锅炉高温承压部件的无损检测和安全评估是保证其安全运行的关键,综合应用超声波检测、磁粉检测、X射线检测等无损检测技术,可以实现承压部件的全面检测。未来,随着科学技术的不断发展,无损检测技术和安全评估方法将不断完善,为发电锅炉的安全运行提供更加有力的保障。

[参考文献]

- [1]刘文东.锅炉修理改造无损检测方法和比例的探讨[J].中国新技术新产品,2020,(10):60-61.
- [2]刘寅,高倩,王明庭,等.电站锅炉无损检测方法及应用[J].节能,2015,34(06):38-41+3.
- [3]翟涛.承压类特种设备无损检测技术综合论述[J].企业技术开发,2014,33(01):47-48+88.

作者简介:

孙宏军(1970--),男,汉族,吉林省梨树县人,大学本科,工程师,研究方向:无损检测和金属监督。