

无损检测技术在特种设备检测中的应用分析

蒋习兵

中国铁路哈尔滨局集团有限公司质量技术监督所 黑龙江 哈尔滨 157000

摘要: 本文围绕无损检测技术在特种设备检测中的应用展开分析。首先介绍无损检测技术概念与常见类型,阐述其在工业领域的重要性。接着探讨在特种设备检测中面临的设备精度与稳定性、复杂结构件与盲区位置、高温高压等恶劣环境下的挑战。随后列举其在压力容器、电梯、起重机械、锅炉、管道等特种设备中的应用场景。最后提出单一技术优化、多技术联合应用及智能化发展方向,并说明无损检测技术在特种设备检测中的优势。

关键词: 无损检测技术; 特种设备; 应用分析

1 无损检测技术

无损检测技术(Non-destructive Testing, 简称NDT)是指在不损害或不影响被检测对象使用性能的前提下,利用材料内部结构异常或缺陷存在引起的热、声、光、电、磁等反应的变化,以物理或化学方法为手段,借助现代化的技术和设备器材,对试件内部及表面的结构、性质、状态及缺陷的类型、性质、数量、形状、位置、尺寸、分布及其变化进行检查和测试的方法。无损检测技术种类繁多,常见的包括超声检测(UT)、射线检测(RT)、磁粉检测(MT)、渗透检测(PT)和涡流检测(ET)等。超声检测利用超声波在材料中传播时遇到缺陷产生的反射、折射和散射等现象来检测缺陷;射线检测则是通过射线穿透被检物体,根据底片上感光程度的不同来判断内部缺陷;磁粉检测适用于铁磁性材料,通过磁化材料并在表面撒上磁粉,利用缺陷处漏磁场吸附磁粉形成磁痕来显示缺陷;渗透检测利用毛细管作用原理,将渗透液渗入表面开口缺陷中,再通过显像剂显示缺陷;涡流检测基于电磁感应原理,通过检测涡流的变化来发现材料表面和近表面的缺陷^[1]。无损检测技术在工业领域具有极其重要的地位,广泛应用于航空航天、石油化工、电力、机械制造等众多行业。在特种设备检测中,无损检测技术更是发挥着不可替代的作用,能够及时发现设备存在的潜在安全隐患,保障特种设备的安全运行,避免因设备故障引发的人员伤亡和财产损失事故。

2 无损检测技术在特种设备检测中挑战

2.1 检测设备的精度与稳定性要求

特种设备往往对安全性和可靠性要求极高,因此无损检测设备的精度和稳定性至关重要。高精度的检测设备能够更准确地检测出设备内部的微小缺陷,为设备的评估和维修提供可靠依据。然而要实现高精度检测并非易事。一方面,检测设备本身的技术水平限制了精度的

提升。例如,超声检测设备的探头性能、发射和接收电路的精度等都会影响检测结果的准确性。另一方面,检测设备的稳定性也面临挑战。在实际检测过程中,环境因素(如温度、湿度、电磁干扰等)以及设备自身的老化、磨损等都可能导致检测结果出现偏差。例如,温度的变化可能会影响超声波在材料中的传播速度,从而影响缺陷定位的准确性。

2.2 复杂结构件与盲区位置的检测难题

特种设备通常具有复杂的结构,如压力容器的封头、接管等部位,以及一些内部存在加强筋、支撑结构等的部件。这些复杂结构件的存在给无损检测带来了很大的困难。一方面,复杂结构件会使超声波、射线等检测信号发生散射、反射和衰减,导致检测信号难以准确解读,容易产生误判和漏检。例如,在检测带有多个接管的压力容器时,接管与筒体的连接处容易产生应力集中和缺陷,但由于接管的存在,超声波信号在该区域会发生复杂的反射和折射,使得缺陷的检测变得困难。另一方面,特种设备中存在一些检测盲区,如设备的内部角落、狭窄缝隙等位置,这些位置由于检测设备难以到达或检测信号无法有效覆盖,导致无法进行有效的检测。例如,在管道的弯头处,由于管道弯曲,检测探头难以完全贴合管壁,从而无法对该部位进行全面的检测。

2.3 高温、高压等恶劣环境下的检测限制

特种设备在运行过程中往往处于高温、高压、强腐蚀等恶劣环境下,这对无损检测技术提出了更高的要求。在高温环境下,检测设备的性能会受到影响,如电子元件可能会因温度过高而失效,超声波探头的性能也会发生变化,导致检测结果不准确。同时高温还会使材料内部的组织结构发生变化,影响缺陷的检测和判断。例如,在高温锅炉的检测中,锅炉内部的温度可能高达数百摄氏度,普通的检测设备无法在这样的环境下正常

工作,需要采用特殊的耐高温检测设备和技術。在高压环境下,检测人员和设备的安全面临威胁,同时高压也会对检测信号产生干扰^[2]。例如,在高压管道的检测中,管道内的压力可能会使检测探头与管壁之间的接触不稳定,影响检测效果。另外,强腐蚀环境会加速检测设备的损坏,缩短设备的使用寿命,增加检测成本。

3 无损检测技术在特种设备中的应用场景

3.1 压力容器检测

压力容器是特种设备中的重要组成部分,广泛应用于石油化工、能源等行业。无损检测技术在压力容器检测中发挥着关键作用。在制造过程中,需要对压力容器的原材料、焊接接头等进行检测,以确保其质量符合标准要求。例如,采用射线检测技术对焊接接头进行检测,可以清晰地发现焊缝内部的气孔、夹渣、未焊透等缺陷;超声检测技术则可用于检测板材和焊缝中的裂纹、分层等缺陷。在压力容器的使用过程中,定期的无损检测能够及时发现设备在使用过程中产生的腐蚀、疲劳裂纹等缺陷,为设备的维修和更换提供依据。例如,采用磁粉检测技术对压力容器的表面进行检测,可以发现表面裂纹等缺陷;渗透检测技术则适用于检测表面开口缺陷。

3.2 电梯检测

电梯作为人们日常生活中常用的特种设备,其安全性至关重要。无损检测技术在电梯检测中主要用于检测电梯的关键部件,如钢丝绳、导轨、轿厢架等。钢丝绳是电梯承载的重要部件,其质量直接影响电梯的运行安全。采用涡流检测技术可以对钢丝绳的表面和近表面缺陷进行检测,如断丝、磨损等;磁粉检测技术也可用于检测钢丝绳的内部裂纹。导轨的直线度和垂直度对电梯的运行平稳性有重要影响,采用激光检测技术可以对导轨的几何尺寸进行精确测量,及时发现导轨的变形和磨损。轿厢架是电梯轿厢的支撑结构,采用超声检测技术可以检测轿厢架的焊接接头和结构件内部的缺陷,确保其强度和稳定性。

3.3 起重机械检测

起重机械在建筑、物流等行业应用广泛,其工作过程中承受着较大的载荷,容易产生疲劳损伤和缺陷。无损检测技术在起重机械检测中主要用于检测起重机的金属结构、吊钩、钢丝绳等部件。对于起重机的金属结构,如主梁、端梁等,采用超声检测技术可以检测其内部的裂纹、夹渣等缺陷;磁粉检测技术可用于检测表面裂纹。吊钩是起重机的重要取物装置,采用渗透检测技术可以检测吊钩表面的裂纹等缺陷,确保其承载能力。

钢丝绳的检测方法与电梯钢丝绳类似,采用涡流检测和磁粉检测技术可以及时发现钢丝绳的缺陷,保障起重机械的安全运行。

3.4 锅炉检测

锅炉是工业生产和供暖等领域的重要设备,其运行环境恶劣,容易产生腐蚀、磨损和裂纹等缺陷。无损检测技术在锅炉检测中主要用于检测锅炉的受热面管子、锅筒、集箱等部件。对于受热面管子,采用超声导波检测技术可以对管子的整体进行快速检测,发现管子内部的腐蚀、磨损和裂纹等缺陷;射线检测技术则可用于对管子的对接焊缝进行详细检测。锅筒和集箱是锅炉的重要承压部件,采用超声检测技术可以检测其内部的缺陷,如裂纹、夹层等;磁粉检测技术可用于检测表面裂纹。采用红外热成像技术可以对锅炉的受热面进行温度检测,及时发现受热面的局部过热等问题,为锅炉的安全运行提供保障。

3.5 管道检测

管道在石油、天然气、化工等行业应用广泛,其输送的介质往往具有易燃、易爆、有毒等特点,因此管道的安全运行至关重要。无损检测技术在管道检测中主要用于检测管道的内外壁腐蚀、裂纹、焊缝缺陷等。对于埋地管道,采用漏磁检测技术可以在不开挖的情况下对管道进行检测,发现管道内壁的腐蚀和裂纹等缺陷;超声检测技术则可用于检测管道的壁厚和内部缺陷。对于架空管道,采用射线检测技术可以对管道的对接焊缝进行检测,确保焊缝质量。此外,采用智能爬管机器人搭载多种检测传感器,可以对管道进行全面的检测,提高检测效率和准确性。

4 无损检测技术的优化与融合应用

4.1 单一技术的优化

为了提高无损检测技术的检测效果,需要对单一技术进行不断优化。以超声检测技术为例,通过研发高性能的超声探头,提高探头的频率、带宽和灵敏度,可以增强对微小缺陷的检测能力。同时,优化超声检测的信号处理算法,采用先进的数字信号处理技术,如小波变换、神经网络等,可以有效地提取检测信号中的有用信息,提高缺陷的识别准确率^[3]。对于射线检测技术,采用数字化射线检测技术(DR)和计算机断层扫描技术(CT)可以提高检测图像的质量和分辨率,更清晰地显示缺陷的形状和位置。通过优化射线检测的曝光参数和成像工艺,可以降低辐射剂量,提高检测效率。

4.2 多技术联合应用

单一的无损检测技术往往存在一定的局限性,无法

满足特种设备检测的所有要求。因此多技术联合应用成为了一种发展趋势。例如,将超声检测技术和射线检测技术相结合,超声检测技术可以快速定位缺陷的大致位置,而射线检测技术则可以提供更详细的缺陷图像,两者相互补充,提高缺陷检测的准确性和可靠性。在压力容器的检测中,先采用超声检测技术对焊缝进行初步检测,发现可疑缺陷后,再采用射线检测技术进行进一步确认。又如,将磁粉检测技术和渗透检测技术相结合,可以同时检测铁磁性材料和非铁磁性材料的表面缺陷,提高检测的全面性。

4.3 智能化无损检测技术

随着人工智能、大数据、物联网等技术的快速发展,智能化无损检测技术成为了未来的发展方向。智能化无损检测技术通过将传感器、数据采集系统、智能算法等相结合,实现对特种设备的自动检测、缺陷识别和评估。例如,采用机器学习算法对大量的检测数据进行训练,建立缺陷识别模型,可以实现对缺陷的自动分类和识别。利用物联网技术,将检测设备与互联网连接,实现检测数据的实时传输和远程监控,方便检测人员及时掌握设备的检测情况。智能化无损检测技术还可以实现对检测设备的自动化控制和优化,提高检测效率和准确性。

5 无损检测技术在特种设备检测中的优势

5.1 不破坏设备

无损检测技术的最大优势之一是在不破坏被检测设备的前提下进行检测。与传统的破坏性检测方法相比,无损检测技术不会对设备的结构、性能和使用寿命造成影响,能够保证设备的完整性和可用性。这对于一些价格昂贵、制造工艺复杂的特种设备尤为重要,如航空航天领域的发动机、核电站的压力容器等。通过无损检测技术,可以在设备正常运行的情况下进行定期检测,及时发现设备存在的问题,避免因破坏性检测导致的设备报废和停机损失。

5.2 检测全面高效准确

无损检测技术可以对特种设备的各个部位进行全面检测,包括设备的内部和表面、结构件和焊缝等。与人工检测相比,无损检测技术具有更高的检测效率和准确性。例如,采用超声导波检测技术可以对长距离的管道进行快速检测,大大缩短了检测时间;射线检测技术可

以清晰地显示设备内部的缺陷,提高了缺陷的识别准确率。无损检测技术还可以实现对缺陷的定量分析,为设备的评估和维修提供准确的依据。

5.3 可实时在线检测

随着传感器技术和通信技术的发展,无损检测技术可以实现实时在线检测。通过在特种设备上安装传感器,实时采集设备的运行数据和检测信号,并利用数据传输技术将数据传输到监控中心,检测人员可以实时掌握设备的运行状态和缺陷情况^[4]。一旦发现设备存在异常,可以及时采取措施进行处理,避免事故的发生。实时在线检测技术还可以实现对设备的长期监测和健康评估,为设备的预防性维护提供支持。

5.4 可追溯性强

无损检测技术可以对检测过程和检测结果进行详细记录,形成完整的检测报告。这些检测报告可以作为设备质量档案的重要组成部分,具有很强的可追溯性。在设备的使用过程中,如果出现质量问题或安全事故,可以通过查阅检测报告,了解设备的检测历史和缺陷情况,为事故原因的分析和责任的认定提供依据。同时可追溯性也有助于企业加强对设备质量的管理和控制,提高设备的安全性和可靠性。

结束语

无损检测技术在特种设备检测中意义重大,虽面临诸多挑战,但通过不断优化单一技术、推动多技术联合应用以及发展智能化检测,其优势愈发凸显。不破坏设备、检测全面高效准确、可实时在线检测且可追溯性强等特点,为特种设备的安全运行提供了有力保障。未来,随着技术的持续进步,无损检测技术将在特种设备检测领域发挥更关键作用,助力各行业安全生产与发展。

参考文献

- [1]朱克辉.无损检测技术在特种设备检测中的应用[J].模具制造,2023,23(10):289-291+294.
- [2]彭武强,李昌盛,木贵军,冉龙华,关文政.无损检测技术在承压类特种设备检验检测中的应用[J].科技创新与应用,2023,13(06):174-178.
- [3]李木林.特种设备无损检测技术的应用分析[J].中国设备工程,2022(18):147~149.
- [4]霍强.特种设备检测中无损检测技术的应用研究[J].中国设备工程,2021(17):158~159.