

特种设备检测中无损检测技术的应用研究

田卫龙

陕西西宇无损检测有限公司 陕西 咸阳 712100

摘要: 本文聚焦特种设备检测中无损检测技术的应用研究, 阐述其基于物理特性的检测原理, 分析无损性、全面性等特点及超声、射线等多种检测技术分类。重点探讨各类无损检测技术在特种设备不同部件检测中的具体应用, 展望智能化、标准化及综合检测的发展趋势, 为提升特种设备检测水平、保障设备安全运行提供理论与实践参考。

关键词: 特种设备; 无损检测技术; 应用研究

1 特种设备检测中无损检测技术概述

1.1 无损检测技术的原理

无损检测技术, 顾名思义, 是在不破坏被检测对象结构和使用性能的前提下, 利用材料内部结构异常或缺陷存在引起的热、声、光、电、磁等反应变化, 探测和评定其内部及表面缺陷的技术。其核心原理基于物理学中物质的特性与相互作用关系。例如, 超声波检测利用超声波在不同介质中传播速度和反射特性的差异, 当超声波遇到缺陷时, 会发生反射、折射和散射, 通过接收这些异常信号来判断缺陷的位置、大小和形状; 射线检测则是依据射线(如X射线、 γ 射线)在穿透物体过程中, 因缺陷处与基体材料对射线吸收程度不同, 导致射线强度发生变化, 通过感光胶片或探测器将这种变化转化为影像, 这些原理的应用, 使得无损检测能够深入材料内部, 精准捕捉缺陷信息, 为特种设备的安全运行提供重要保障。

1.2 无损检测技术的特点

无损检测技术具有诸多显著特点, 使其在特种设备检测领域占据重要地位。首先是无损性, 这是其最突出的优势, 它避免因破坏性检测对设备造成的损伤, 确保设备在检测后仍能正常使用, 极大地降低检测成本和设备更换成本。其次是全面性, 无损检测可以对特种设备的整体或局部进行检测, 无论是设备的表面缺陷, 还是内部隐藏的裂纹、孔洞等问题, 都能有效检测出来^[1]。再者是实时性, 部分无损检测方法(如超声检测、涡流检测等)能够快速获取检测结果, 发现设备存在的问题, 迅速采取维修措施, 减少设备停机时间。无损检测技术还具有可重复性, 能够在不同时间、不同条件下对同一设备进行多次检测, 有效监测缺陷的发展变化情况, 为设备的维护和寿命评估提供数据支持。

1.3 无损检测技术的分类

1.3.1 超声检测技术

超声检测技术是利用超声波在介质中传播时的反射、折射、衍射等特性来检测缺陷的方法。它具有检测灵敏度高、穿透力强、对人体无伤害等优点, 可检测出金属、非金属等多种材料内部的缺陷。超声检测常用的方法有脉冲反射法、穿透法等。脉冲反射法通过向被检测物体发射超声波脉冲, 接收缺陷反射回来的脉冲信号, 根据信号的时间、幅度等参数判断缺陷的位置和大小; 穿透法是利用超声波穿透被检测物体, 根据穿透波的能量变化来判断缺陷的存在与否。该技术广泛应用于特种设备的焊缝检测、锻件检测等领域, 但对形状复杂或表面不平整的工件检测效果可能受到影响。

1.3.2 射线检测技术

射线检测技术主要包括X射线检测和 γ 射线检测。X射线是通过X射线管产生的, γ 射线则由放射性同位素(如钴-60、铯-137)产生。射线能够穿透物体, 当遇到缺陷时, 射线的衰减程度与正常区域不同, 从而在胶片或探测器上形成不同的影像。通过对影像的分析, 可以准确判断缺陷的形状、大小和位置。射线检测对体积型缺陷(如气孔、夹渣等)的检测效果极佳, 常用于特种设备的管道焊缝、压力容器壳体等部件的检测。

1.3.3 磁粉探伤技术

磁粉探伤技术专注于铁磁性材质表层及近表层缺陷的检测。其运作机制基于: 铁磁材料磁化后, 若表面附近存在缺陷, 会引发漏磁场, 该磁场吸引覆盖于材料表层的磁粉, 凝聚成可视的磁迹, 直观展现缺陷的位置与形态。此技术以其便捷的操作、高度的敏感性及快速的检测速度著称, 能有效识别微米级裂纹。在特种设备检验中, 常用于阀门、法兰盘、轴类等组件的表层缺陷检测。但需注意的是, 磁粉探伤限于铁磁性材料, 对非铁磁材料不适用, 且探测深度有限, 仅适用于表面及近表层缺陷的检测, 对深层内部缺陷则无能为力。

1.3.4 渗透检测技术

渗透检测技术是利用液体的毛细管作用,将含有色染料或荧光物质的渗透液涂覆在被检测物体表面,使渗透液渗入表面开口缺陷中,然后去除表面多余的渗透液,再施加显像剂,将缺陷中的渗透液吸附到表面,从而显示出缺陷的形状和位置。渗透检测对表面开口缺陷的检测灵敏度极高,不受材料磁性、导电性等限制,可用于金属、陶瓷、塑料等多种材料的表面缺陷检测。在特种设备检测中,常用于检测铸件、焊接件等表面的微小裂纹、气孔等缺陷。但该技术只能检测表面开口缺陷,对内部封闭缺陷无法检测,且检测过程较为繁琐,检测时间较长。

1.3.5 涡流检测技术

涡流检测技术是基于电磁感应原理,当载有交变电流的检测线圈靠近导电材料时,会在材料表面产生感应涡流。若材料表面或近表面存在缺陷,会引起涡流的大小、相位和分布发生变化,通过检测这些变化来判断缺陷的存在和特征。涡流检测具有检测速度快、对表面缺陷敏感、可实现非接触检测等优点,常用于特种设备的管材、板材等的表面和近表面缺陷检测,如检测管道的腐蚀、裂纹等。但涡流检测的检测深度较浅,一般仅能检测几毫米深的缺陷,且对形状复杂的工件检测难度较大。

2 无损检测技术在特种设备检测中的应用

2.1 射线检测在特种设备中的应用

在特种设备领域,射线检测技术凭借其对体积型缺陷的高敏感度,成为压力容器、压力管道焊缝检测的重要手段。对于压力容器而言,射线检测能够精准探测焊缝内部存在的气孔、夹渣、未焊透等缺陷。以核电站的反应堆压力容器为例,其承受着高温、高压与强辐射环境,任何微小的内部缺陷都可能引发严重事故。通过射线检测,利用X射线或 γ 射线穿透焊缝,不同密度的物质对射线的吸收程度存在差异,使得缺陷部位在胶片或探测器上呈现出灰度不一的影像,技术人员得以清晰判断缺陷的形状、大小与位置,从而确保压力容器在严苛工况下的安全性^[2]。在压力管道安装过程中,射线检测对管道对接焊缝的质量把控至关重要。尤其是在石油化工行业的大型管道工程中,管道需要输送易燃易爆、具有腐蚀性的介质,射线检测能够及时发现焊缝中的潜在问题,保障管道系统的密封性与承压能力,防止介质泄漏造成重大安全事故。射线检测还常用于检测锅炉受热面管、集箱等部件,对内部缺陷进行细致排查,为锅炉的稳定运行筑牢安全防线。

2.2 超声波检测在特种设备中的应用

超声波检测在特种设备检测领域的应用极为广泛,

其独特的检测特性使其成为不可或缺的技术手段。在压力容器制造与检验环节,超声波检测不仅能检测钢板内部是否存在裂纹、夹层等缺陷,还能对焊缝的内部质量进行深度评估。对于厚壁压力容器,常规的射线检测难以检测到较深位置的缺陷,而超声波检测凭借其强大的穿透力优势,能够有效弥补这一不足。超声波在介质中传播时,遇到缺陷会发生反射、折射与散射,通过接收这些反射回波信号,技术人员可精准判断缺陷的位置、大小与性质。在压力管道检测方面,超声波检测的功能更加多样。除了检测焊缝缺陷,它还能对管道壁厚进行精确测量。以长输天然气管道为例,长期运行过程中,管道会受到土壤腐蚀、介质冲刷等影响,壁厚逐渐减薄。利用超声波测厚仪,可定期对管道进行壁厚监测,通过分析数据变化,及时发现壁厚异常区域,提前采取修复措施,有效预防管道泄漏与爆裂事故的发生。超声波检测在锻件、铸件等特种设备零部件检测中同样表现出色,能够快速且准确地检测出内部的裂纹、疏松等缺陷,保障零部件的质量与性能。

2.3 磁粉检测与渗透检测在特种设备中的应用

磁粉检测和渗透检测在特种设备表面缺陷检测领域发挥着不可替代的作用,二者相辅相成,共同保障特种设备的安全运行。磁粉检测主要针对铁磁性材料,在检测特种设备的铁磁性零部件时效果显著。以起重机吊钩为例,作为起重设备的关键受力部件,长期承受交变载荷,极易产生疲劳裂纹。通过磁粉检测,先对吊钩进行磁化处理,若表面或近表面存在缺陷,会在缺陷处产生漏磁场,此时施加磁粉,磁粉便会被漏磁场吸附,形成清晰可见的磁痕,技术人员可据此判断缺陷的位置与形状,及时更换存在隐患的吊钩,避免因部件失效引发安全事故。钢丝绳、电梯导轨等部件的检测同样依赖磁粉检测技术,确保其表面无损伤。渗透检测则不受材料磁性限制,适用于各种材料表面开口缺陷的检测^[3]。在核电站设备检测中,渗透检测常用于检测核反应堆压力容器接管焊缝表面的微小裂纹。检测时,先将含有色染料或荧光物质的渗透液涂覆在焊缝表面,利用液体的毛细管作用,使渗透液渗入表面开口缺陷中,随后去除表面多余渗透液,再施加显像剂,将缺陷中的渗透液吸附到表面,从而清晰显示出缺陷的位置与形态,为核电站的安全稳定运行提供有力保障。

2.4 涡流检测与漏磁检测在特种设备中的应用

涡流检测与漏磁检测在特种设备表面和近表面缺陷检测及材料性能评估方面展现出独特的技术优势。涡流检测基于电磁感应原理,在检测特种设备的管材、板材

时应用广泛。以换热器管检测为例,换热器在化工、电力等行业中大量使用,换热管长期与腐蚀性介质接触,表面易出现腐蚀坑、裂纹等缺陷。涡流检测设备通过载有交变电流的检测线圈靠近换热管表面,产生感应涡流,当表面存在缺陷时,涡流的大小、相位和分布会发生变化,检测仪器捕捉这些变化信号,能够快速且精准地检测出缺陷,并评估换热管的剩余使用寿命,为设备维护与更换提供科学依据。漏磁检测主要针对铁磁性材料,在长输管道检测中发挥着关键作用。管道在铺设与运行过程中,受地质环境、介质腐蚀等因素影响,表面和近表面易出现腐蚀、裂纹等缺陷。利用漏磁检测设备对管道进行在线检测,当管道被磁化后,若存在缺陷,缺陷处会产生漏磁场,通过传感器检测漏磁场的变化,可快速定位缺陷位置,判断缺陷的大小与形状,为管道的维护和修复制定合理方案。

2.5 其他无损检测技术在特种设备中的应用

还有一些新兴或特定领域应用的无损检测技术也在特种设备检测中逐渐得到应用。在特种设备运行过程中,声发射检测可以实时监测设备内部缺陷的动态变化,如压力容器在压力试验或运行过程中裂纹的扩展情况,及时发现潜在的安全隐患。红外热像检测技术则是通过检测物体表面的温度分布来判断内部缺陷,常用于检测特种设备的保温层缺陷、管道泄漏等问题。激光全息检测技术、微波检测技术等也在特种设备检测的某些特定领域展现出应用潜力。

3 无损检测技术在特种设备检测中的发展趋势

3.1 智能化与自动化趋势

随着人工智能、大数据、机器人等技术的快速发展,无损检测技术正朝着智能化与自动化方向发展。智能化无损检测系统能够自动识别和分析检测图像或信号,判断缺陷的类型、大小和位置,减少人为因素对检测结果的影响,提高检测的准确性和可靠性。自动化无损检测设备则可以实现检测过程的自动化操作,如自动扫描、自动检测、自动记录等,提高检测效率,降低劳动强度。在一些大型特种设备制造企业,已开始采用自动化超声检测设备对压力容器焊缝进行批量检测,大大提高生产效率和检测质量。

3.2 标准化与国际化趋势

为了确保无损检测结果的准确性和可比性,无损检测技术的标准化和国际化进程不断推进。各国纷纷制定和完善无损检测标准,统一检测方法、检测设备、检测人员资质等方面的要求^[4]。同时国际标准化组织(ISO)等国际组织也在积极推动无损检测国际标准的制定和推广。标准化和国际化的发展,使得无损检测技术在全球范围内得到更广泛的应用和认可,促进国际贸易和技术交流。

3.3 综合检测技术应用趋势

单一的无损检测技术往往存在一定的局限性,难以全面检测出特种设备的所有缺陷。综合运用多种无损检测技术成为未来的发展趋势。通过将不同检测技术的优势相结合,实现对特种设备的全方位、多层次检测,提高检测的准确性和可靠性。例如,在压力容器检测中,先采用射线检测或超声检测检测焊缝内部的体积型缺陷,再用磁粉检测或渗透检测检测焊缝表面的开口缺陷;在管道检测中,结合涡流检测、漏磁检测和声发射检测等技术,对管道的表面缺陷、壁厚变化和缺陷动态发展情况进行全面检测。综合检测技术的应用,更准确地评估特种设备的安全状况,为设备的维护和管理提供更科学的依据。

结束语

综上所述,无损检测技术凭借独特优势,在特种设备检测中发挥着关键作用,有效保障设备安全。部分新兴技术尚未广泛普及。未来,随着智能化、标准化进程推进,综合检测技术的深入应用,无损检测技术将在特种设备检测领域取得更大突破,为工业安全持续保驾护航。

参考文献

- [1]靳屹立.特种设备检测中无损检测技术的应用研究[J].检验检疫学刊,2020,30(03):147-149.
- [2]余伟胜.特种设备检验检测的安全管理[J].中国设备工程,2021(1):176-177.
- [3]聂杨.特种设备检验检测中的无损检测技术应用[J].品牌与标准化,2024,(03):136-138.
- [4]赵佳萱,徐治中,刘陆.无损检测技术在特种设备检测中的应用分析[J].模具制造,2024,24(04):225-227.