

# 无损检测技术在特种设备检验中的应用

秦 冉 邓一平

德阳市重装检测有限责任公司 四川 德阳 618000

**摘要:** 无损检测技术在特种设备检验中发挥着至关重要的作用。主要探讨了射线、涡流、超声探伤、磁粉探伤和渗透探伤等几种常用的无损检测技术在特种设备检验中的应用。这些技术通过不同的原理和方法, 能够实现对特种设备内部和表面缺陷的有效检测, 为设备的安全运行和质量控制提供了有力的技术保障。同时, 也展望了无损检测技术在特种设备检验中的未来发展趋势, 包括技术融合与创新、智能化与自动化、实时在线监测以及环保与可持续发展等方面。

**关键词:** 无损检测技术; 特种设备; 检验应用

## 1 关于无损检测技术的基本特点

无损检测技术是一种非破坏性的检测方式, 它能够在不损害被测产品性能的前提下, 有效地检测出产品中的缺陷或不合格品。第一、非破坏性: 无损检测技术的最大特点就是在检测过程中不会对被测产品产生任何形式的损害。这种非破坏性的特性使得无损检测技术在各种领域, 特别是在工业制造、航空航天、石油化工等要求产品质量极高的领域得到了广泛应用。第二、全面性和全程性: 无损检测技术可以对产品的原材料、中间工艺环节以及最终产品进行全程检测, 这是破坏性检测所无法比拟的。无损检测也可以对服役中的设备进行检测, 如桥梁、房屋建筑、各类输送管道等, 都可以进行无损检测<sup>[1]</sup>。第三、互容性: 无损检测技术的另一个重要特点是其互容性。同一产品可以使用多种无损检测方法进行检测, 如超声检测、磁粉检测、渗透检测等, 这些方法可以相互补充, 提高检测的准确性和可靠性。第四、动态性: 无损检测技术可以对使用中的设备进行检验, 考察产品在使用期间的累计影响, 从而查明结构的失效机理。这种动态性的特性使得无损检测技术在设备维护和故障预防方面发挥了重要作用。第五、严格性: 无损检测需要专用的检测仪器及各种设备, 由专门负责检验的人员, 按照严格的规程和标准进行操作。这种严格性保证了无损检测结果的准确性和可靠性。第六、检验结果的分歧性: 虽然无损检测技术具有很高的准确性和可靠性, 但不同的检测人员对于同一产品的检测结果可能会有一定的分歧。这主要是因为无损检测技术对检测人员的技能和经验要求较高, 不同的检测人员可能会有不同的判断标准和操作习惯。

## 2 特种设备检验的重要性

特种设备检验在工业生产和社会生活中扮演着至关

重要的角色。特种设备, 如锅炉、压力容器、电梯、起重机械等, 由于其特殊的使用环境和功能特性, 一旦发生故障或事故, 往往会造成严重的人员伤亡和财产损失。因此, 对特种设备进行定期检验和维护, 确保其安全、可靠、经济地运行, 是保障人民生命财产安全、促进经济社会持续健康发展的必然要求。(1) 特种设备检验是确保设备安全运行的关键手段, 通过对特种设备进行全面的检测和评估, 可以及时发现和消除潜在的安全隐患, 防止设备在运行过程中发生意外事故。同时, 特种设备检验还可以对设备的性能和使用状态进行监测, 为设备的维护和管理提供科学依据, 确保设备始终处于最佳运行状态。(2) 特种设备检验是保障生产安全和社会稳定的重要措施。特种设备在工业生产中发挥着举足轻重的作用, 一旦出现故障或事故, 不仅会影响企业的正常生产运营, 还可能对社会稳定造成不利影响。因此, 对特种设备进行定期检验, 可以及时发现和解决问题, 避免生产事故的发生, 保障企业的正常生产和社会的稳定。(3) 特种设备检验也是推动企业技术进步和管理水平提升的重要途径。通过特种设备检验, 企业可以了解设备的性能状况和存在的问题, 从而有针对性地进行技术改造和升级, 提高设备的运行效率和可靠性。同时, 特种设备检验还可以推动企业完善管理体系和制度建设, 提高企业的管理水平和综合竞争力。

## 3 特种设备无损检测现状

随着科技的快速发展, 无损检测技术也在持续进步。传统的无损检测方法, 如X射线检测、超声检测、磁粉检测等, 已经在特种设备检测中得到了广泛应用。同时, 新兴的无损检测技术, 如红外热像检测、激光全息检测、声发射检测等, 也在不断发展和完善, 为特种设备无损检测提供了更多的选择。为了提高无损检测的准

确性和可靠性,各国纷纷制定了相关的标准和规范。这些标准和规范不仅明确了无损检测的方法和程序,还规定了检测人员的资质要求和检测设备的技术指标。在特种设备的无损检测中,严格遵守这些标准和规范,可以确保检测结果的准确性和公正性<sup>[2]</sup>。随着人工智能和机器学习等技术的发展,无损检测的自动化和智能化水平也在不断提高。例如,通过使用智能传感器和数据分析技术,可以实现对特种设备的实时监控和预警,及时发现潜在的安全隐患。自动化和智能化的无损检测设备也可以提高检测效率,降低检测成本。特种设备无损检测需要专业的检测人员和技术支持。目前,无损检测行业已经形成了专业化的技术团队和服务机构,为特种设备的无损检测提供了全方位的服务。同时,无损检测的方法和技术也在不断创新和拓展,如复合无损检测技术等,以适应不同特种设备和不同应用场景的需求。

#### 4 无损检测技术在特种设备检验中的应用

##### 4.1 射线无损检测技术

射线无损检测主要利用X射线或 $\gamma$ 射线等穿透性强的放射线对物体进行内部缺陷的探测。在特种设备检验中,射线无损检测技术被广泛应用于焊缝、铸件、管道等各种部件的内部质量检测。对于特种设备而言,焊缝质量是保证整体结构安全性的关键环节。射线无损检测技术能够通过射线穿透焊缝,并在胶片或数字成像设备上形成焊缝内部的影像,从而准确地检测出焊缝中的气孔、夹渣、裂纹等缺陷。这种技术不仅具有高精度的缺陷识别能力,还能够对缺陷的大小、形状和位置进行精确测量,为后续的修复和处理提供重要依据。射线无损检测技术还能够对特种设备的材料质量和结构完整性进行评估。通过对比不同角度和位置的射线影像,可以分析材料的均匀性、内部结构和潜在缺陷,从而评估设备的整体性能和安全可靠。射线无损检测技术在特种设备检验中的应用还具有操作简便、成像清晰、结果可靠等优点。然而,需要注意的是,射线无损检测过程中产生的放射线对人体和环境具有一定的危害性,因此需要在严格的安全措施下进行,确保检测过程的安全可控<sup>[3]</sup>。

##### 4.2 涡旋流检测技术分析

涡旋流检测是一种基于电磁感应原理的无损检测方法,它利用涡旋电流在被测材料表面或内部产生的磁场变化来检测材料的缺陷和性能变化。在特种设备检验中,涡旋流检测技术常用于检测金属材料的表面和近表面缺陷,如裂纹、腐蚀、疲劳损伤等。涡旋流检测具有非接触性、快速高效和灵敏度高等优点,能够在不损伤被测材料的前提下,对其表面和内部的质量进行全面的

检测。当涡旋流通过被测材料时,如果材料中存在缺陷或性能变化,会导致涡旋流的分布和强度发生变化,从而产生涡旋流信号的变化。通过分析这些信号的变化,可以准确地判断缺陷的存在与否、缺陷的大小和形状等信息。这对于特种设备的安全运行和质量控制至关重要。涡旋流检测技术还可以用于特种设备的涂层和覆盖层的质量检测。通过测量涡旋流在被测涂层上的反射和透射信号,可以评估涂层的均匀性、厚度和潜在的缺陷,从而确保涂层的质量和完整性。需要注意的是,涡旋流检测技术的应用受到被测材料的导电性、表面粗糙度和磁场干扰等因素的影响。在实际应用中,需要根据具体情况选择合适的涡旋流检测方法和设备,并严格按照操作规程进行操作,以确保检测结果的准确性和可靠性。

##### 4.3 超声探伤技术

超声探伤技术在特种设备检验中扮演着关键角色。这种无损检测技术利用超声波在被测材料中传播时与缺陷相互作用产生的反射、散射或透射信号,来检测材料的内部和表面缺陷。对于特种设备,如压力容器、管道和储罐等,超声探伤技术可以精确地检测出焊缝、母材以及热影响区中的裂纹、未熔合、夹渣等缺陷。由于超声波具有高频、短波长和强穿透能力等特点,它能够在不损伤材料的前提下,实现对材料内部结构的深入探测。在特种设备检验中,超声探伤技术通常与其他的无损检测技术相结合,如射线检测、磁粉检测等,以提供更加全面和准确的缺陷信息。超声探伤技术的优点在于其高灵敏度、高分辨率和广泛的应用范围,几乎可以适用于所有金属材料和非金属材料的无损检测。然而,超声探伤技术也存在一定的局限性,如对于某些形状复杂或表面粗糙的材料,超声波的传播可能受到阻碍或干扰,导致检测结果的不准确。因此,在应用超声探伤技术时,需要根据被测材料的特性和检测要求,选择合适的超声探头、频率和检测方法,并结合实际操作经验进行判断和解读。总的来说,超声探伤技术在特种设备检验中发挥着重要作用,能够有效地检测出材料内部的缺陷,为设备的安全运行和质量控制提供有力保障。随着技术的不断进步和应用经验的积累,超声探伤技术将在特种设备检验中发挥更加重要的作用。

##### 4.4 磁粉探伤技术

磁粉探伤技术在特种设备检验中是一种广泛应用的无损检测技术。它基于磁学原理,通过在被测材料表面施加磁场,并利用磁粉或磁悬液来显示材料表面或近表面的缺陷。在特种设备检验中,磁粉探伤技术常用于检测铁磁性材料的表面和近表面裂纹、夹杂、焊接缺陷

等。当磁场作用于铁磁性材料时，材料中的缺陷会引起磁场的局部变化，这种变化会导致磁粉或磁悬液在缺陷处聚集，形成可见的磁痕，从而指示缺陷的存在和位置。磁粉探伤技术具有操作简便、检测速度快、成本低廉等优点，因此在特种设备检验中得到了广泛应用。它可以对大型结构件、焊缝、管道等进行快速而有效的检测，帮助及时发现和处理潜在的安全隐患。然而，需要注意的是，磁粉探伤技术仅适用于铁磁性材料，对于非铁磁性材料则无法应用。磁粉探伤技术对于表面粗糙度、涂层和油漆等也有一定的限制，可能会影响检测结果的准确性。

#### 4.5 渗透探伤技术

渗透探伤技术是一种在特种设备检验中常用的无损检测方法。该技术主要依赖于毛细作用原理，通过在被测材料表面施加含有染料的渗透液，使其渗入材料表面的开口缺陷中，随后通过去除多余渗透液并施加显像剂，使缺陷内的渗透液被吸附到材料表面上，从而显示出缺陷的形状和位置。在特种设备检验中，渗透探伤技术特别适用于检测金属材料的表面开口缺陷，如裂纹、缝隙和腐蚀等。由于该技术不需要复杂的设备和高昂的成本，因此在现场检验和维修工作中得到了广泛应用。渗透探伤技术的优点在于其操作简便、适用范围广、检测结果直观等。它可以对复杂形状和不规则表面的设备进行有效检测，并且不受材料种类和尺寸的限制。然而，该技术对于非开口缺陷和表面粗糙度较高的材料可能存在一定的局限性。在应用渗透探伤技术时，需要注意选择合适的渗透液和显像剂，并根据被测材料的特性和检测要求进行适当的操作和处理。为确保检测结果的准确性和可靠性，还需要进行必要的操作培训和质量控制。

#### 5 无损检测技术在特种设备检验中未来趋势

无损检测技术在特种设备检验中的未来趋势将呈现出几个方向的发展：（1）技术融合与创新：随着技术的不断进步，无损检测技术将实现多种方法的融合与创新。例如，结合超声、射线、涡旋流和磁粉等多种无损检测方法，可以更加全面、准确地评估特种设备的性能和安全状况。这种多技术融合的趋势将提高无损检测的

效率和准确性，为特种设备的维护和管理提供更加可靠的依据。（2）智能化与自动化：随着人工智能、机器学习和图像识别等技术的发展，无损检测技术将实现更高级别的智能化和自动化。通过智能算法对无损检测数据进行处理和分析，可以自动识别缺陷、评估损伤程度并给出预警。这将大大提高无损检测的效率，减少人工操作的错误和主观性，提升检测结果的可靠性<sup>[4]</sup>。（3）实时在线监测：随着物联网技术的发展，无损检测技术将逐渐实现实时在线监测。通过在特种设备关键部位安装传感器和监测设备，可以实时监测设备的运行状态和性能变化，及时发现潜在的安全隐患并采取相应的处理措施。这将为特种设备的安全运行提供更加有效的保障。

（4）环保与可持续发展：随着全球环保意识的提高，无损检测技术将更加注重环保和可持续发展。在无损检测过程中，需要减少放射性物质的使用和废弃物的产生，降低对环境的污染。

#### 结束语

通过运用射线、涡旋流、超声探伤、磁粉探伤和渗透探伤等多种无损检测技术，可以全面、准确地评估特种设备的性能和安全状况，及时发现并处理潜在的安全隐患。同时，也应看到无损检测技术在未来仍具有巨大的发展潜力和广阔的应用前景。随着科技的不断进步和创新，相信无损检测技术将在特种设备检验中发挥出更加卓越的性能和作用，为保障特种设备的安全运行和促进工业发展做出更大的贡献。

#### 参考文献

- [1]冯建章.无损检测技术在特种设备检验中的应用[J].造纸装备及材料,2021,50(11):8-10.
- [2]杨建文.无损检测技术在特种设备制造中的应用与发展[J].中国金属通报,2021(06):151-152.
- [3]张倩倩,张亦冰,丁日佳.基于监管视角的区域特种设备宏观安全风险预警[J].安全与环境学报,2020,20(02):397-405.
- [4]陈建勋,林晓明,彭晓军.工况模拟法在机电类特种设备速度异常保护功能检测中的应用[J].机电工程技术,2022,48(11):161-163+183.