

# 特种设备检测中无损检测技术的应用

刘广璞

胜利油田恒伟工程管理有限公司 山东 东营 257000

**摘要:** (Nondestructive Testing, NDT) 是一种在特种设备检测中广泛应用的技术手段。本文将详细介绍无损检测技术在特种设备检测中的应用, 包括其基本原理、常见方法以及各类特种设备中的具体应用。

**关键词:** 特种设备检测; 无损检测技术; 应用

## 1 无损检测技术的定义和意义

无损检测技术是一种非破坏性的测试方法, 它能够对材料或构件进行表面或内部缺陷的检测、评价和分析, 而不会对被测物体造成任何损伤。这种技术被广泛应用于各个领域, 特别在特种设备检测中具有重要的意义。无损检测技术的意义主要体现在以下几个方面: 通过无损检测技术, 可以及时发现设备中的潜在缺陷或疲劳损伤, 对设备的安全性能进行评估。例如, 在核电站中, 无损检测技术可以帮助检测到燃料元件的裂纹或腐蚀情况, 从而保证核设施的安全运行。及时发现并修复设备的缺陷可以防止进一步的损坏扩展, 从而延长设备的使用寿命。通过无损检测技术, 可以快速准确地检测到设备的缺陷, 并采取相应的维护和修复措施, 提高设备的可靠性和耐久性。无损检测技术可以帮助提前发现设备的隐患, 避免因设备缺陷导致的生产事故。例如, 在航空航天领域, 通过对飞机结构进行无损检测, 可以及时发现并修复可能导致飞行事故的潜在缺陷, 确保飞行安全<sup>[1]</sup>。无损检测技术可以减少因设备故障而引起的经济损失。通过定期进行无损检测, 可以及时发现设备的疲劳损伤、腐蚀或裂纹等问题, 避免设备的突发故障, 减少停产和维修的成本。

## 2 无损检测技术方法

### 2.1 超声波检测技术

超声波检测是一种利用超声波在材料中传播的特点来检测缺陷的方法。超声波在不同材料中的传播速度和衰减程度与材料的物理性质和结构状态相关。通过分析超声波的传播特征和反射信号, 可以判断出缺陷的位置、形态和大小。超声波检测广泛应用于金属材料的缺陷检测和壁厚测量。超声波检测的原理是将超声波引入被测材料中, 通过材料中缺陷的反射和散射使得超声波信号发生变化, 进而可以确定缺陷的存在和性质。超声波可以传播到材料的内部并返回, 这样就可以获取材料内部的信息。超声波检测设备通常包括发射器、接收器

和分析系统。发射器产生高频的超声波脉冲信号, 并将其传递到被测物体表面。当超声波遇到材料内部的界面或缺陷时, 会发生反射和散射, 并被接收器捕获和转换为电信号<sup>[2]</sup>。分析系统对接收到的信号进行处理, 通过测量信号的特征参数来判断缺陷的存在和性质。

### 2.2 射线检测技术

射线检测是利用射线(如X射线或 $\gamma$ 射线)穿透被检测物体并记录其透射或散射情况, 以获得关于内部结构和缺陷的信息的一种检测方法。射线在不同材料中的传播受到材料密度和吸收能力的影响。通过分析射线的透射强度和散射情况, 可以检测出材料内部的缺陷和异物。射线检测常用的射线源包括X射线管和放射性同位素。当射线穿过被测材料时, 材料的密度和组成会对射线的穿透能力产生影响, 从而导致射线的衰减、散射或吸收。透射或散射的射线会被检测器接收, 并转化为电信号进行进一步处理和分析。通过分析射线的强度、方向和能谱等特征, 可以确定材料中的缺陷位置和形态。射线检测广泛应用于工业领域, 特别是在金属结构的缺陷检测和核工业中的安全监测方面<sup>[3]</sup>。

### 2.3 涡流检测技术

涡流检测是利用交变磁场感应涡流电流的原理来检测导电材料表面或近表面的缺陷的一种方法。当导电材料中有缺陷存在时, 涡流电流受到干扰, 进而改变了磁场分布。通过检测这种磁场的变化可以确定缺陷的位置和形态。涡流检测广泛应用于金属制品、焊接接头等的质量控制和缺陷检测。涡流检测的原理是通过在被检测导电材料表面施加交变磁场, 当施加的交变磁场穿过导电材料时, 会感应出涡流电流。涡流电流的大小和分布受到材料的电导率和磁导率影响, 而存在缺陷或异物的区域会对涡流电流产生干扰, 从而改变了磁场的分布。通过检测这种磁场的变化, 可以确定缺陷在材料表面或近表面的位置和形态。涡流检测通常使用交流电源和线圈来产生交变磁场。线圈放置在被测材料的表面, 并通

过传感器接收由涡流引起的磁场变化。接收到的信号经过放大和处理后,可以得到与缺陷相关的信息。根据涡流引起的磁场变化的特征,可以判断出缺陷的类型、尺寸和位置。涡流检测广泛应用于金属制品、焊接接头等的质量控制和缺陷检测<sup>[4]</sup>。

#### 2.4 磁粉检测技术

磁粉检测是利用磁性粉末在材料表面或近表面缺陷处形成磁场漏磁现象来检测缺陷的一种方法。在施加磁场后,磁性粉末会在缺陷处形成磁束漏磁线。通过观察和分析磁粉沉降的情况可以确定缺陷的位置、形态和大小。磁粉检测常用于铁磁材料的缺陷检测和焊接接头的质量控制。磁粉检测通常需要先在被测材料表面施加磁场,可以使用电磁铁或永磁体来产生强磁场。然后在被测材料上撒布磁性粉末,磁性粉末会在缺陷处形成特定的磁场留痕。通过观察磁粉在材料表面的沉降情况,可以确定缺陷的位置和形态。磁粉检测方法简单、操作方便,并且对表面缺陷敏感。它常用于金属制品的表面缺陷检测,如裂纹、夹杂等。

#### 2.5 红外热像检测技术

红外热像检测是利用物体的红外辐射特征来检测物体内部变化的一种方法<sup>[5]</sup>。不同材料或构件因为其热导率、密度、厚度等的差异,会在使用过程中产生不均匀的温度分布。通过红外热像仪可以将这种温度分布以图像形式显示出来,通过对图像的分析可以判断出异常区域和潜在故障。红外热像检测利用了物体发出的红外辐射与其表面温度成正比的特性。红外热像仪能够感知并记录物体发出的红外辐射,并将其转换为可见的热像图。通过观察热像图中的温度分布和变化,可以识别出物体内部的热异常区域,如热点、热漏、热障等。红外热像检测可以应用于许多领域,如电力设备、建筑结构、机械设备等。在电力设备中,红外热像检测可以用于检测电缆接头、变压器和电力线路的过载或故障情况。在建筑结构中,红外热像检测可以用于检测墙体渗漏、隔热层质量和窗户密封等问题。在机械设备中,红外热像检测可以用于检测机器零部件的摩擦、磨损和过热等故障。

### 3 无损检测技术在特种设备中的应用

#### 3.1 锅炉设备的无损检测

锅炉设备是一种特种设备,其安全性对于工业生产来说至关重要。无损检测技术在锅炉设备中的应用主要包括对压力容器、管道和焊接接头等部位的缺陷检测。首先,超声波检测可以对锅炉管道进行壁厚测量和腐蚀检测。通过将超声波传入管道内部,可以探测管道壁厚

的变化情况,并及时发现可能存在的腐蚀情况,从而采取相应的维修或更换措施,确保锅炉设备的正常运行。其次,射线检测在锅炉设备中主要用于焊接接头的质量控制和缺陷检测。通过射线检测,可以发现焊接接头的裂纹、气孔和夹杂等缺陷,确保焊接接头的质量符合标准要求,提高设备的可靠性<sup>[1]</sup>。此外,涡流检测用于对金属结构的裂纹检测。涡流检测利用涡流感应原理,通过在金属表面引入交变磁场,当存在裂纹时,磁场的变化将被检测到,从而识别出金属结构中的裂纹情况。

#### 3.2 压力容器的无损检测

压力容器作为承受高压或高温的特种设备,其安全性直接关系到生产过程的稳定性和工作人员的安全。无损检测技术在压力容器中的应用非常重要,可以有效地发现和评估容器的缺陷,确保其正常运行和使用。首先,无损检测技术可用于对压力容器表面和内部的缺陷进行检测。通过超声波、射线、涡流等方法,可以非侵入性地探测容器壁面的裂纹、腐蚀、疲劳等缺陷,及时发现并采取相应的维修措施,以防止潜在的事故风险。其次,无损检测技术可以进行壁厚测量,即通过超声波或射线等方法测量容器壁的厚度,判断容器壁的磨损情况和剩余寿命,从而进行维修或更换,确保容器的结构完整性和耐压能力。此外,无损检测技术还可以用于焊缝质量评估。焊接是压力容器制造过程中最重要的步骤之一,焊缝的质量直接影响容器的强度和密封性。通过超声波、射线等方法进行焊缝检测,可以及时发现焊缝中的缺陷,如气孔、夹杂物等,并对其进行评估和修复。根据不同的容器材料和结构,选择适合的无损检测方法非常关键<sup>[2]</sup>。超声波检测适用于薄壁容器的检测,其高频声波可以穿透材料进行内部缺陷探测;而射线检测适用于厚壁容器,其高能射线可以有效地穿过较厚的材料进行缺陷检测。

#### 3.3 起重机械设备的无损检测

起重机械设备在工业生产和建筑施工中扮演着重要角色,其安全性对于保障人员和财产安全至关重要。无损检测技术在起重机械设备中的应用主要包括对主梁、臂杆、轴承等关键部位的缺陷检测。其中,超声波检测是通过向物体内部发送超声波脉冲,并接收回波来分析物体内部结构的缺陷情况。在起重机械设备中,超声波检测可以用于裂纹和疲劳损伤的检测。通过将传感器放置在关键部位,如主梁和臂杆上,可以探测到潜在的裂纹或疲劳损伤,从而及时采取修复措施,确保设备的正常运行和使用安全。涡流检测利用涡流的变化来检测材料中的缺陷。在起重机械设备中,涡流检测通常用于关

键连接处的螺栓紧固力检测。通过将传感器放置在螺栓周围,可以测量涡电流的变化情况,从而判断螺栓是否紧固正常。这样可以避免螺栓松动导致起重机械设备发生意外事故。

### 3.4 压力管道的无损检测

压力管道的无损检测技术在特种设备中具有重要的应用。压力管道是工业生产过程中承载介质传输的关键组件,因此其安全性对于保障工业生产和公共安全至关重要<sup>[3]</sup>。无损检测技术通过对压力管道进行非破坏性检测,能够及时准确地发现管道中的缺陷,并评估其严重程度。其中,超声波检测是通过利用超声波的传播特性,可以对管道壁厚进行测量和腐蚀检测。该技术可以精确地检测到管道壁的腐蚀、磨损等缺陷,并通过评估其尺寸和深度来判断其对管道安全性的影响。另外,涡流检测技术通过感应涡流变化来检测管道中的焊缝质量和缺陷情况。通过对涡流的分析,可以确定焊缝是否存在裂纹、气孔等问题,从而及时采取措施进行修复或更换。此外,射线检测是通过使用X射线或 $\gamma$ 射线对管道接头进行检测,可以评估焊缝的质量和可靠性。这种技术能够检测到焊接过程中可能存在的缺陷,如焊缝不良、气孔等,并根据检测结果来确定是否需要重新进行焊接或其他修复措施。

### 3.5 轴承设备的无损检测

无损检测技术在特种设备中的应用主要涵盖了对轴承设备的无损检测。轴承作为机械设备中的重要部件,其状态对设备的正常运行和寿命具有关键性影响。因此,通过应用无损检测技术,可以有效地对轴承内部的裂纹、磨损、松动等缺陷进行检测和评估,从而帮助及早发现潜在问题,并采取适当的维修和保养措施<sup>[4]</sup>。通过监测和诊断轴承的振动状态,可以判断轴承是否存在故障。正常工作的轴承会产生稳定的振动模式,而当轴承出现裂纹或磨损时,振动模式将发生变化,从而提示可能存在问题。通过对振动信号进行分析和解释,可以确定轴承的故障类型和程度,有助于及时采取修复措施,避免更严重的损坏。另外,热像仪也是一种常用的无损检测工具。通过检测轴承的温度分布情况,可以判断轴承是否存在异常情况。正常工作的轴承会有均匀的温度

分布,而当存在问题时,轴承可能会出现局部区域温度升高的情况。通过使用热像仪,可以快速准确地检测和定位轴承的温度异常区域,帮助进行及时维修。

### 3.6 电气设备的无损检测

电气设备的无损检测是一种非破坏性的评估技术,广泛应用于工业和生活中。这项技术对于确保电力供应的安全性以及预防火灾等事故具有重要意义。在电气设备中,无损检测技术主要应用于检测和评估电缆、变压器、开关设备等的绝缘状态和接触问题。红外热像仪可以通过捕捉设备表面的红外辐射来显示设备内部温度分布情况。通过这种方式,可以及时发现设备内部可能存在的潜在故障隐患,如过载、短路等问题。早期发现并解决这些问题可以有效地避免设备因故障而引发的不安全因素。超声波检测技术可以通过发送超声波信号,并根据信号的反射情况来确定电缆绝缘的完好性。通过这种方式,可以检测出可能存在的绝缘破损、腐蚀或其他类型的损伤<sup>[5]</sup>。及早发现这些问题可以帮助采取适当的维修措施,避免进一步的损坏和潜在的事故风险。

### 结语

总之,无损检测技术在特种设备领域具有广泛的应用前景。随着技术的不断进步和创新,无损检测方法将更加准确、快速和可靠,为特种设备的安全运行提供有力的支持。同时,无损检测技术的发展也将推动特种设备行业的创新和发展,促进工业生产的持续健康发展。

### 参考文献

- [1]杨智勇,邓敏,刘建国等.特种设备无损检测技术在石油化工行业中的应用[J].化工自动化及仪表,2019,46(11):101-104.
- [2]刘健,张光荣,李程等.特种设备无损检测技术在安全评估中的应用[J].科学技术与工程,2021,21(13):2762-2766.
- [3]王明,王立勇,张华等.特种设备无损检测技术的发展现状与趋势[J].仪器仪表学报,2020,41(5):545-553.
- [4]张明,赵鹏飞,王春田.特种设备检测中无损检测技术应用研究[J].机械制造与自动化,2021(02):168-169.
- [5]刘洪云,吴磊.特种设备无损检测技术在工业领域的应用研究[J].江苏科技信息,2020,42(10):186-187.