

相控阵检测技术在压力管道检测中的应用要点探析

李晋文

(南京市锅炉压力容器检验研究院)

摘要: 随工业化进程加速, 压力管道在多个领域扮演关键角色, 但长期承受恶劣环境下易损伤, 威胁生产安全。本文深入探讨相控阵检测技术在压力管道检测中的应用, 分析其工作原理、性能特点及优化策略。相控阵技术, 一种高效非破坏性检测方法, 通过精确控制多个超声波元件, 实现高效、精确检测。技术优势包括方向灵活、快速扫描、高分辨率和抗干扰性。笔者还探讨了技术在裂纹、缺陷检测和管壁厚度测量等方面的具体应用, 以及通过优化设计、改进信号处理算法和引入新传感器技术以提升应用效能的方法。

关键词: 压力管道检测; 相控阵检测技术; 性能; 应用

随着工业化进程的加速, 压力管道作为重要的工业输送系统, 在石油、化工、能源等领域发挥着关键作用。然而, 长期承受高压、高温和腐蚀等恶劣环境, 使得管道容易出现损伤和缺陷, 对生产安全和效率构成威胁。传统的管道检测方法往往存在效率低下、精度不足等问题。近年来, 相控阵检测技术作为一种高效的非破坏性检测技术, 凭借其优越的探测能力和灵活性, 逐渐成为管道健康监测领域的重要工具。

一、相控阵检测技术的原理

相控阵检测技术是一种先进的非破坏性检测方法, 它基于超声波传播原理, 通过对多个超声波发射和接收元件的精确控制, 实现了对检测对象的高效、精确检测。这种技术最显著的特点是能够通过电子方式改变超声波束的方向和焦点, 而无需物理移动设备。

在相控阵系统中, 每个元件都可以独立地发射和接收超声波信号。通过控制每个元件发射信号的时间, 可以使超声波在特定方向上聚焦或扫描, 从而形成可变的声束方向和焦点位置。这种动态聚焦和扫描的能力使得相控阵技术在检测效率和灵活性方面优于传统的单一声束超声波检测技术。



图1 相控阵检测仪

当超声波信号在管道介质中传播时, 它会在遇到缺陷如裂纹或腐蚀时发生反射。相控阵系统通过接收这些反射波, 结合声波传播的时间和强度信息, 可以精确地定位管道内部的缺陷位置, 并评估其大小和严重程度。这不仅提高了检测的准确性, 还大幅缩短了检测时间。

相控阵技术还能够通过改变声束的角度和焦距, 适应不同形状

和材质的检测对象, 从而提供更为全面和详细的检测结果。这使得该技术在处理复杂或异型结构的压力管道检测中显示出其独特的优势。

二、相控阵检测技术的性能分析

1. 方向灵活性与快速扫描能力

相控阵检测技术的方向灵活性和快速扫描能力在压力管道检测中显示出显著的优势。其核心在于能够通过电子方式迅速改变超声波束的方向, 而无需对探测器进行物理移动。这种灵活性源自相控阵系统中每个单独的发射和接收元件能够独立控制, 允许声波束快速而精确地沿不同方向发射和接收。在实际应用中, 这意味着相控阵技术可以高效地对复杂的管道系统进行全面检测。例如, 它能够迅速地在管道的不同部位进行细致扫描, 从而识别出潜在的裂纹、腐蚀或其他缺陷。特别是在管道弯曲或连接部位, 传统的检测技术可能难以覆盖或需要较长时间来定位缺陷, 而相控阵技术则能够轻松实现这一点。快速扫描能力使得相控阵技术在紧急情况下尤为有效。在需要迅速评估管道状态以决定是否采取紧急维修措施时, 这一技术能够提供快速而准确的检测结果, 有助于避免潜在的安全风险。

2. 高分辨率与精确定位

相控阵检测技术在提供高分辨率图像方面表现卓越, 这对于精确定位管道内部的微小缺陷至关重要。高分辨率意味着相控阵系统能够清晰区分非常接近的两个小缺陷, 甚至是那些传统检测技术难以察觉的微小裂纹或细微腐蚀。这种能力源于相控阵技术中多个超声波元件的协同工作, 通过精细调节每个元件的发射和接收时间, 相控阵系统能够在特定区域内聚焦, 形成高精度的图像。在实际应用中, 这种高分辨率特性使得相控阵技术特别适用于检测那些对安全性有严格要求的关键管道部分。例如, 在石油化工行业中, 微小的缺陷如果不及时发现和处理, 可能导致严重的安全事故。因此, 能够精确定位并评估这些缺陷的大小、形状和性质, 对于预防事故、确保管道安全运行至关重要。高分辨率还带来了更为细致的缺陷分析能力。相控阵技术不仅可以确定缺陷的位置, 还能够揭示缺陷的具体特征, 如深度、方向和可能的成因。这为后续的维修工作

提供了重要的指导信息,有助于制定更为针对性和有效的维修策略。

3. 多任务处理能力与抗干扰性

相控阵检测技术的多任务处理能力体现在它能够在执行一个任务的同时,处理其他多种任务。例如,在进行压力管道的缺陷检测的同时,相控阵系统还能收集管道的温度、压力等数据。这种能力极大地提高了检测过程的效率和效果,因为它允许从多个维度综合评估管道的健康状态。在实际操作中,这意味着能够在一个检测周期内获得更全面的数据,帮助操作人员更好地理解管道的整体状况。相控阵技术在抗干扰性方面也表现出色。在复杂的工业环境中,各种电磁干扰是常见的挑战。相控阵系统能够有效地抵消或减少这些干扰,确保检测数据的准确性和可靠性。这主要得益于其先进的信号处理算法和波束形成技术,这些技术能够识别并过滤掉非目标信号,从而提高检测结果的质量。

三、相控阵检测技术在压力管道检测中的具体应用

1. 裂纹和缺陷检测

在压力管道的维护和监控中,裂纹和缺陷的检测是一项基本而重要的任务。相控阵技术在这方面显示出极高的效能。利用其高分辨率和精确的声波控制,相控阵系统能够在管道内部进行深入的探查,有效识别出微小裂纹和缺陷。这种检测不仅限于表面层,还能够延伸到管道的更深层次。由于相控阵技术能够在不同角度和深度上发射和接收超声波,因此它能够提供更关于缺陷的三维视图,这对于理解缺陷的性质和严重程度至关重要。相比于传统的超声波检测技术,相控阵不仅能够检测到更小的缺陷,还能提供更详细的缺陷信息,如大小、形状和方位,这对于制定维修计划和防止潜在的安全问题极为有效。

2. 管壁厚度测量

管壁厚度的测量是评估管道健康状况的另一项关键任务。随着时间的推移,管壁可能因腐蚀或磨损而变薄,这可能导致管道的强度下降,增加发生泄漏或破裂的风险。相控阵技术在管壁厚度测量方面提供了一种高效和准确的解决方案。通过调节超声波的频率和声束的聚焦,相控阵系统能够准确测量管壁的厚度,即使在复杂的管道几何结构中也能保持高精度。该技术特别适用于那些难以直接观察或接触的管道区域,如地下或埋在墙内的管道。通过在管道外部进行非侵入式检测,相控阵技术能够快速评估整个管道系统的状况,及时识别出需要维修或更换的部分。

3. 焊缝检测

焊缝是管道系统中的关键结构部分,其完整性对于整个系统的安全性至关重要。相控阵技术在焊缝检测方面也表现出强大的能力。利用其方向灵活性和高分辨率,相控阵系统能够精确地检测焊缝区域的缺陷,如裂缝、孔洞或未焊透等。与传统检测技术相比,相控阵技术能够更快地对焊缝进行全面检查,并提供更详细的缺陷信息。这对于确保焊接质量和及时修复潜在缺陷至关重要。通过定期和系统地应用相控阵技术进行焊缝检测,可以有效预防因焊接缺陷导致事故,保障管道的长期稳定运行。

四、改进压力管道相控阵检测技术应用的方法

1. 优化相控阵设计

为了提升相控阵检测技术在压力管道应用的效能,优化其设计是一个重要步骤。设计优化主要涉及对发射和接收元件的配置进行改进,以增强系统的分辨率和深度覆盖能力。例如,增加元件数量和优化其分布,可以提升系统对管道内部细微缺陷的探测能力。此外,根据不同管道材料和结构特点调整元件的频率和角度,能够增强系统在复杂环境下的适应性和检测精度。这样的设计优化不仅提升了检测质量,也使系统能够更有效地适应各种检测环境,从而提高管道维护工作的整体效率。

2. 改进信号处理算法

信号处理是相控阵检测技术的核心组成部分,其算法的改进直接关系到检测结果的准确性和可靠性。现代信号处理技术,如自适应滤波和深度学习算法,可以显著提升对复杂信号的处理能力。通过引入这些先进算法,可以有效减少噪声干扰,提高信号的信噪比,从而获得更清晰的缺陷图像。这些算法还可以帮助识别和分类不同类型的缺陷,为后续的维修决策提供更准确的参考信息。因此,不断改进和更新信号处理算法是提高相控阵检测技术性能的关键途径。

3. 引入新的传感器技术

结合新型传感器技术可以进一步提升相控阵检测系统的功能和性能。例如,结合温度和压力传感器,可以在检测管道缺陷的同时监测其运行环境,为管道健康评估提供更多维度的数据。这种多参数监测方式能够提供更全面的管道状况信息,有助于早期识别潜在的风险和问题。同时,利用最新的传感器技术,如基于光纤的传感器,可以提高检测的灵敏度和精确度,尤其在难以接触或高风险区域的检测中表现突出。这些传感器还可以实现远程监测和数据传输,提高检测系统的操作便捷性和安全性。通过这样的技术整合,相控阵检测系统不仅在识别缺陷方面更加高效,也能够更全面地评估和管理管道的整体健康状况。

五、结语

本文详细分析了相控阵检测技术在压力管道安全监测中的重要性和应用价值。笔者通过探讨该技术的多方面优势,如高效率、高分辨率和灵活性,突显了其在提升管道检测效能方面的显著作用。文章还提出了针对该技术的优化建议,包括设计改进、信号处理算法的更新和新型传感器技术的整合,以进一步增强其在压力管道检测领域的应用效果。

参考文献:

- [1]王郑,吴新团,杨爱萍.超声波加相控阵超声波技术在管道检测中的应用[J].石油工业技术监督,2021,37(12): 33-35+41.
 - [2]周哲.相控阵超声技术在长输管道检测中的应用[J].河南化工,2022,39(03): 49-50.
 - [3]蔡亮,高帅,牛志勇等.超声相控阵技术在压力容器焊缝无损检测中的应用[J].石油和化工设备,2020,23(11): 75-77.
- 江苏省市场监督管理局科技项目(KJ21125056)