

承压设备超声波无损检测技术的发展与应用

陈 果

浙江省特种设备科学研究院 浙江 杭州 310000

摘 要：本文旨在深入探讨承压设备超声波无损检测技术的发展历程、技术原理、应用实例以及最新进展。通过分析超声波无损检测在承压设备检测中的具体应用场景和案例，本文揭示了该技术在提高检测效率与准确性、降低检测成本与安全风险等方面的显著优势。同时，本文还展望了超声波无损检测技术的未来发展趋势，为承压设备的安全运行提供了有力的技术支持。

关键词：承压设备；超声波无损检测；焊缝检测；裂纹检测；超声相控阵技术

引言

承压设备作为工业生产中的关键设备，其安全性与可靠性至关重要。超声波无损检测技术作为一种先进的检测技术，能够在不破坏设备结构的前提下，对承压设备进行有效的检测与评估。本文将从超声波无损检测技术的概述、发展历程、在承压设备中的应用、最新进展以及结语等方面，全面阐述该技术在承压设备检测领域的重要地位和作用。

1 超声波无损检测技术概述

超声波无损检测技术是工业检测领域中的一项重要技术，它利用超声波在物体内部传播的特性，对物体进行非破坏性的检测。超声波是一种高频振动波，当它在物体内部传播时，会遇到不同介质界面或内部缺陷，从而产生反射、折射和散射等现象；这些现象会改变超声波的传播路径和能量分布，通过对这些变化进行精确的接收、处理和分析，我们就可以判断物体内部是否存在缺陷，以及缺陷的位置、大小和性质。超声波无损检测技术的核心在于其非破坏性和高精度，它不会对被检测物体造成任何损伤，却能够深入物体内部，发现微小的缺陷；这种技术广泛应用于各种工业领域，特别是承压设备的检测中。承压设备如锅炉、压力容器等，由于其内部承受高压高温，一旦存在缺陷，就可能引发严重的安全事故。利用超声波无损检测技术对承压设备进行定期检测，是确保其安全运行的重要手段；超声波无损检测技术还具有检测速度快、操作简便、成本低廉等优点，使得它在工业检测领域中具有广泛的应用前景^[1]。

2 超声波无损检测技术的发展历程

超声波无损检测技术，作为现代工业质量检测的重要手段，其发展历程是科技进步与工业需求交互推动的生动写照。（1）追溯至起源与早期探索阶段，19世纪末至20世纪初，科学家们对超声波这一神秘而有趣的物

理现象产生了浓厚兴趣，他们深入探究超声波的传播特性、反射与透射规律，初步认识到超声波在物质内部传播时遇到异质界面会产生反射、散射等效应，这为利用超声波检测材料内部缺陷提供了理论依据。初期的尝试虽显粗糙，设备简单且检测结果易受干扰，但这些开创性的工作为后续的技术发展播下了希望的种子。（2）进入20世纪中叶，随着电子技术的飞速发展和工业生产的严格要求，超声波无损检测技术迎来了快速发展期。这一时期，更精密的电子仪器被应用于超声波检测，如更高效的超声波发生器、高灵敏度的接收器以及精确的数据处理系统，极大地提升了检测的精度与效率。同时，行业标准的建立与完善，如国际标准化组织(ISO)发布的一系列超声波检测标准，确保了技术的规范应用，促进了其在航空航天、核能、石油化工等多个关键领域的广泛应用。（3）近几十年来，随着信息技术的蓬勃兴起，特别是计算机技术、人工智能、大数据等高新技术的融合，超声波无损检测技术步入了智能化、高精度的新纪元。超声相控阵技术通过电子方式控制声束的方向和聚焦深度，实现了复杂结构件的三维成像检测；非接触超声换能技术则突破了传统接触式检测的局限，拓宽了检测范围；而数字化与图像化技术的运用，使得检测结果直观易懂，便于分析与存档。这些技术创新不仅极大地提高了检测效率与准确性，还赋予了超声波无损检测技术更强的适应性和智能化决策能力，为保障工业安全、提升生产效率提供了不可或缺的技术支撑^[2]。

3 超声波无损检测技术在承压设备中的应用

3.1 超声波无损检测在承压设备检测中的具体应用场景

在承压设备的检测中，超声波无损检测技术被广泛应用于多个具体场景，其中焊缝检测、裂纹检测以及材料内部缺陷检测是三个最为关键的应用方向。（1）焊缝

检测是承压设备检测中的一项重要内容。焊缝作为设备各部件之间的连接部分,其质量直接影响到整个设备的结构强度和密封性;超声波无损检测技术能够准确检测焊缝中的裂纹、夹渣、未熔合等缺陷;通过超声波在焊缝中的传播特性,检测人员可以获取焊缝内部的结构信息,进而判断焊缝的质量是否符合要求;这种检测方法不仅准确度高,而且能够对焊缝进行全面的检测,确保焊缝的每一个部分都达到质量要求。(2) 裂纹检测是超声波无损检测技术在承压设备检测中的另一大应用场景。裂纹是承压设备中最常见的缺陷之一,也是导致设备失效的主要原因之一;超声波对裂纹具有极高的敏感性,能够及时发现并定位设备中的裂纹;当超声波遇到裂纹时,会发生反射和散射,检测人员通过接收这些反射和散射的超声波信号,可以准确地确定裂纹的位置、大小和深度;这对于及时发现并修复裂纹,防止裂纹扩展导致设备失效具有重要意义。(3) 材料内部缺陷检测是超声波无损检测技术在承压设备检测中的又一重要应用。承压设备通常由多种材料组成,这些材料在制造或使用过程中可能会产生气孔、夹杂物等内部缺陷;这些缺陷虽然不易从设备表面观察到,但却会对设备的性能和安全性产生严重影响;超声波能够穿透材料内部,检测材料中的这些内部缺陷;通过超声波在材料中的传播速度和衰减特性,检测人员可以判断材料内部是否存在缺陷,并对缺陷的性质和分布进行初步分析,这为及时发现并处理材料内部缺陷提供了有力支持^[3]。

3.2 超声波无损检测在承压设备检测中的案例分析

超声波无损检测技术在承压设备检测中的实际应用案例不胜枚举,以下选取石化设备、航空航天设备和电力设备三个典型行业进行说明。(1) 在石化行业中,储罐、管道等承压设备是生产过程中的关键设备。这些设备长期承受高温、高压和腐蚀性介质的侵蚀,容易出现各种缺陷。超声波无损检测技术被广泛应用于这些设备的检测中;例如,在某石化企业的储罐检测中,检测人员利用超声波无损检测技术发现储罐底部存在一处微小的裂纹;通过及时修复,避免了裂纹扩展导致储罐泄漏的严重后果;这不仅保障了设备的安全运行,也为企业避免了巨大的经济损失。(2) 航空航天设备对安全性和可靠性要求极高。飞机发动机叶片、机体结构等关键部件的任何微小缺陷都可能导致严重的安全事故,超声波无损检测技术能够准确检测这些部件的缺陷;例如,在某飞机制造企业的发动机叶片检测中,检测人员利用超声波无损检测技术发现叶片表面存在一处微小的裂纹;通过及时更换叶片,避免了裂纹扩展导致发动机失效的

严重后果;这不仅保障了飞机的安全飞行,也为乘客的生命安全提供了有力保障。(3) 在电力行业中,发电机、变压器等设备的绝缘层、金属部件等是否存在缺陷直接关系到电网的稳定运行和人员的生命安全。超声波无损检测技术被用于这些设备的检测中,例如,在某电力企业的变压器检测中,检测人员利用超声波无损检测技术发现变压器内部的绝缘层存在一处局部放电现象;通过及时修复,避免了绝缘层破损导致变压器短路的严重后果;这不仅保障了电网的稳定运行,也为电力企业的安全生产提供了有力支持。

3.3 超声波无损检测技术的优势在承压设备检测中的体现

超声波无损检测技术在承压设备检测中的优势主要体现在提高检测效率与准确性以及降低检测成本与安全风险两个方面。(1) 超声波无损检测技术能够快速、准确地定位设备中的缺陷。相比传统的检测方法,如射线检测、磁粉检测等,超声波无损检测技术具有更高的检测速度和更准确的定位能力;这得益于超声波在物体中的传播特性和检测设备的精确性。通过超声波无损检测技术,检测人员可以在短时间内对承压设备进行全面的检测,并准确地确定缺陷的位置、大小和性质;这为设备的维修和更换提供了有力的依据,也提高了检测工作的效率。(2) 超声波无损检测技术降低了检测成本和安全风险。传统的检测方法往往需要破坏设备结构或进行复杂的操作,不仅成本高昂,而且存在一定的安全风险;而超声波无损检测技术则无需破坏设备结构,只需将超声波探头放置在设备表面或内部进行扫描即可;这种检测方法不仅成本较低,而且避免了因检测而导致的设备损坏或人员伤亡的风险;超声波无损检测技术还可以进行在线检测,即在设备运行过程中进行检测,这进一步降低了检测对生产的影响和成本^[4]。

4 超声波无损检测技术的最新进展

4.1 超声相控阵技术(PAUT)

超声相控阵技术原理在于,通过精确控制多个超声波换能器的发射和接收时序,实现超声波束的灵活偏转和聚焦。这一特性使得超声相控阵技术能够实现对复杂结构设备的全面、高效检测。在承压设备检测中,超声相控阵技术的优势尤为明显。(1) 它能够适应各种复杂形状和结构的设备,如弯曲管道、异形容器等,这些设备在传统单探头超声波检测中往往难以全面覆盖。通过相控阵技术,检测人员可以灵活地调整超声波束的方向和聚焦点,确保设备各个部位的缺陷都能被准确检测。(2) 超声相控阵技术提高了检测的精度和分辨率。传统

单探头超声波检测中,由于超声波束的扩散和衰减,往往难以对微小缺陷进行准确识别;而相控阵技术通过聚焦超声波束,可以显著提高检测信号的强度和清晰度,从而实现对微小缺陷的精确检测。(3)超声相控阵技术还具有检测速度快、操作简便等优点。通过预先设定的检测程序和参数,检测人员可以迅速完成对设备的全面检测,并实时获取检测结果;这不仅提高了检测效率,也降低了检测人员的劳动强度。

4.2 非接触超声换能技术

非接触超声换能技术是超声波无损检测领域的另一大创新。(1)激光超声方法是其中最具代表性的一种。它利用激光束照射被检物体表面,通过光热效应或光机械效应激发超声波;这种方法无需任何耦合剂,即可实现非接触式检测;激光超声方法特别适用于高温环境下的检测,如熔融金属、高温炉膛等,其独特的非接触特性避免了传统方法中的耦合剂受热蒸发或变质的问题。

(2)除了激光超声方法外,空气耦合方法也是近年来发展迅速的一种非接触超声换能技术。它通过空气作为耦合介质传输超声波,避免了传统方法中需要液体或固体耦合剂的限制;空气耦合方法具有检测速度快、操作简便、适用范围广等优点,特别适用于大型构件和复杂设备的检测。(3)静电耦合方法及电磁声方法也是非接触超声换能技术中的新兴方法。它们通过不同的物理机制激发和接收超声波,为特殊环境下的超声波检测提供了更多选择;这些方法在特定应用场景下具有独特的优势,如静电耦合方法适用于对电荷敏感材料的检测,电磁声方法则适用于对磁场敏感材料的检测^[5]。

4.3 数字化与图像化技术

随着数字化技术的发展,超声波测试仪器也实现了从模拟到数字的跨越。数字化超声测试仪器具有高精度、高速度的数据采集和处理能力,为超声波无损检测提供了更加可靠和准确的检测手段。(1)数字化超声测试仪器的核心在于其高精度的数据采集系统。通过先进的模数转换技术和高速数据处理算法,仪器能够实时采集并处理超声波信号,确保检测结果的准确性和可靠

性;数字化仪器还具有丰富的功能设置和参数调整选项,使得检测人员可以根据实际需求进行灵活配置和优化检测方案。(2)除了数字化技术外,超声成像技术也是近年来超声波无损检测领域的一大亮点。超声成像技术能够将检测结果以图像形式直观展示,便于缺陷的识别和定位;传统的超声波检测通常只能提供一维的波形信号,难以直观反映缺陷的形状和分布;而超声成像技术则通过处理和分析超声波信号,将其转换为二维或三维的图像信息,使得检测人员可以直观地看到设备内部的缺陷情况。(3)超声成像技术的应用极大地提高了检测的准确性和效率。通过图像化的展示方式,检测人员可以迅速识别并定位缺陷,为后续的维修和更换提供有力的依据;超声成像技术还可以实现对缺陷的定量分析和评估,为设备的寿命预测和安全管理提供重要支持。

结语

承压设备超声波无损检测技术作为现代工业检测领域的重要技术之一,其发展历程、技术原理、应用实例以及最新进展都充分展示了其在保障承压设备安全运行方面的重要作用。随着科技的不断进步和工业生产需求的不断增加,超声波无损检测技术将继续朝着智能化、高效化、精准化方向发展,为承压设备的安全运行提供更加有力的技术支撑。

参考文献

- [1]季晓满.声波透射法在桥梁桩基检测工作中的应用[J].科技创新与应用,2020(36):168-169.
- [2]刘建镇,龙士国,唐海翔,等.粘结混凝土结构超声波时域和频域特性研究[J].声学技术,2021,40(5):614-623.
- [3]王咏梅.无损检测技术在道路施工中的应用[J].交通世界(下旬刊),2020(10):26-27.
- [4]王力.超声无损检测技术在金属材料焊接中的应用分析[J].南方农机,2020,50(15):135.
- [5]任志宏.超声无损检测技术现状与发展趋势[J].技术与市场,2020,23(9):255-256.