



金属材料超声无损检测技术应用研究

朱宁宁*

山东省特种设备检验研究院有限公司，山东 济南 250013

摘要：金属材料超声无损检测技术是一种广泛应用于工业领域的非破坏性检测方法。基于此，本文以金属材料超声无损检测技术的应用研究为主题，通过对相关文献的综述和实验结果的分析，介绍金属材料超声无损检测技术的基本原理，探究金属材料超声无损检测技术在不同领域的应用，对金属材料超声无损检测技术的发展趋势进行展望。通过本文的研究，可以为相关领域的科研人员和工程师提供参考，促进该技术的进一步发展。

关键词：金属材料；超声无损检测；方法研究

Research on the Application of Ultrasonic Nondestructive Testing Technology of Metal Materials

Zhu Ningning*

Shandong Special Equipment Inspection and Research Institute Group Co., LTD., Shandong, Jinan 250013

Abstract : Ultrasonic non-destructive testing technology for metal materials is a widely used non-destructive testing method in the industrial field. Based on this, this article focuses on the application research of ultrasonic non-destructive testing technology for metal materials. Through a review of relevant literature and analysis of experimental results, the basic principles of ultrasonic non-destructive testing technology for metal materials are introduced, and the application of ultrasonic non-destructive testing technology for metal materials in different fields is explored. The development trend of ultrasonic non-destructive testing technology for metal materials is discussed. Through this study, it can provide reference for researchers and engineers in related fields, and promote the further development of this technology.

Key words : metal materials; ultrasonic non-destructive testing; method study

一、前言

随着工业化进程不断发展，金属材料在各领域中的应用日益广泛，但由于金属材料在制造过程中可能会出现缺陷，这些潜在问题会给材料性能产生负面影响^[1]。因此，为了确保金属材料的使用寿命，必须采取有效的检测方法评估材料缺陷^[2]。而超声无损检测技术作为一种常用的金属材料检测手段，利用超声波在材料中的传播特性，通过监测超声波的传播状态和反射信号，非侵入检测金属材料中的缺陷、裂纹、松散等问题。对比传统破坏性检测方法，超声无损检测技术具有快速、准确、无损、经济等优点，受到各行业人员的高度重视。基于此，本文旨在研究金属材料超声无损检测技术的应用，探讨其在金属材料检测中的可行性，将介绍超声波的基本原理和传播特性，有利于理解超声无损检测技术的工作机制^[3]。随后，将探讨超声波在金属材料中检测缺陷时的应用案例，重点关注其在航空、汽车制造、建筑等领域中的实际应用。通过分析这些实际案例，深入了解超声无损检测技术在金属材料中的有效性。同时，科学评估金属材料生产过程中的常见问题，发现潜在的安全风险，提高金属材料的可靠性。希望本文

能对相关领域的研究人员有所启发，并推动金属材料超声无损检测技术的进一步发展。

二、超声无损检测技术的基本原理

(一) 基本原理

超声无损检测技术是利用超声波在材料中传播的特性，检测材料内部的异常情况。该技术被广泛应用于金属、塑料、陶瓷等各种材料的检测，具有高灵敏度、高精确度、快速、可靠等优点^[4]。超声无损检测技术基本原理是利用超声波在材料中的传播和反射，获取材料内部的信息。当超声波通过材料时，会发生折射、散射、反射等现象；超声波遇到材料中的缺陷时，会产生反射。通过检测这些反射信号的强度和时间延迟，确定材料缺陷的相关信息。在超声无损检测中，常用超声波有纵波和横波两种。纵波是指超声波沿着材料传播方向的振动；而横波是超声波垂直于材料传播方向的振动，不同的波模式可以用来检测不同类型的缺陷。例如：纵波适用于检测材料内的腐蚀、气孔等缺陷，而横波被应用在检测材料裂纹、夹杂物等缺陷。

* 作者简介：朱宁宁（1985年11月），男，汉族，山东省泰安市，本科，材质劣化。



(二) 传播特性

首先，超声波的传播速度快。超声波在固体材料中的传播速度比空气中的声音传播速度高几倍，甚至更多倍，这意味着超声波能迅速传播到被测物体的内部，并在短时间内返回反射信号。因此，超声无损检测技术具有快速、高效的特点，适用于工业生产线上的实时检测；其次，超声波传播路径可控。超声波在材料中的传播路径可通过控制探头位置和角度进行调整，使得超声无损检测技术能灵活应用于不同形状和尺寸的材料。同时，通过调整探头位置和角度，有效改变超声波与被测物体的相互作用方式，进一步提高检测的准确性；最后，超声波传播受材料特性影响。超声波在不同材料中的传播速度、衰减、散射等特性不同，导致超声无损检测技术通过分析超声波在被测物体内部的传播特征，判断材料质量和性能。例如：当超声波遇到缺陷时，会发生反射、折射、散射，从而产生特定的信号响应。通过分析这些信号响应，确定缺陷的位置、大小、类型，评估材料的完整性。

三、超声无损检测算法

(一) 建立理论模型

声学参数是描述声波在材料中传播特性的物理量，在建立理论模型时，工作人员要选择合适的声学参数，准确描述金属材料中声波的传播行为。常见声学参数主要包括声速、密度、衰减系数等。根据金属材料的不同特性，选择适当的声学参数，并进行合理的假设和近似。同时，在建立理论模型时，要基于选定的声学参数建立数学方程，如弹性力学理论、声学理论等，描述声波在金属材料中的传播和反射行为。通过解析方法，计算出上述这些方程，并得到声波在金属材料中的传播特性。计算公式如下：

$$s(t) = \beta e^{-a(t-\lambda)^2} \cos[2\pi f_c(t-\pi) + \phi] \quad (1)$$

公式中： β 表示信号波幅； a 表示信号带宽； λ 表示信号到达次数； f_c 表示信号频率； ϕ 表示信号波长。其中带宽是由超声信号在空间和时间方面的传播特征决定；信号波幅和信号波长通过材料自身特定属性进行控制；信号到达次数和原始信号触发位置有直接关联，超声波在金属材料中受到时间和空间双重因素影响；信号频率大小和传播路径由超声无噪信号决定。

在建立理论模型后，工作人员要通过实验或数值模拟等方法，验证超声模型行，确保其可行性。而超声无损检测技术作为一种常用的金属材料检测手段，利用超声波在材料中的传播特性，通过监测超声波的传播状态和反射信号，非侵入检测金属材料中的缺陷、裂纹、松散等问题。对比传统破坏性检测方法，超声无损检测技术具有快速、准确、无损、经济等优点，受到各行业人员的高度重视。工作人员要将声波信号应用于金属样品中，并使用超声探测器接收回波信号，再对比实际测量结果与理论模型预测结果，评估模型的适用性。如果模型的预测结果与实际测量结果相符合，那么工作人员可认为模型是可行。

(二) 超声信号仿真

(1) 声场建模。声场建模是超声信号仿真的基础，是通过数

学模型描述声场中的声波传播和反射特性。在金属材料超声无损检测中，常用声场模型包括平面声波、球面声波、柱面声波等^[5]。通过选择合适的声场模型，准确地描述超声波在金属材料中的传播过程。根据超声无损检测模型，工作人员使用 MATLAB 软件作为处理工具，通过软件内的工具包和编写相应程序来降低目标信号中的噪音。工作人员将不同频宽的杂音加入需要收集的信号中，并使用小波变换方法、测试模型抑制因子（TMIF）、增加信号频宽阈值等方式，线性处理带有噪音的信号，使其传播路径的波幅趋于稳定。具体而言，当工作人员将 10dB 频宽的白噪音加入超声波信号时，工作人员使用小波变换方法、TMIF、增加信号频宽阈值等方式降低所收集信号的噪音。这样处理后的噪声信号将与信噪比、信噪方差等因素结合，从而进行稳定性评价。

(2) 材料参数确定。材料参数是指金属材料的声速、密度、衰减系数等物理参数，这些参数确定对于超声信号的仿真结果具有重要影响。工作人员通常采用实验测量、数值模拟等方法。通过实验测量获取到金属材料的基本参数，如声速、密度等数据；而采用数值模拟能得到精确的材料参数，通过有限元方法等进行计算。

(3) 建立缺陷模型。缺陷模型是指在金属材料中添加的缺陷，常见缺陷模型包括球形缺陷、裂纹和夹杂等，用于模拟实际检测中的缺陷情况。通过合理选择缺陷模型，真实模拟出不同类型和大小的缺陷，从而评估超声无损检测算法的性能。

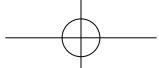
四、超声无损检测技术在金属材料检测中的应用

(一) 超声无损检测系统

超声无损检测系统由超声波信号发生器、超声探头、示波器、数据采集、计算机后台处理、被测工件等环节组成。当超声波信号发生器将超声波引入金属材料时，超声波会在材料内部发生多次反射、散射、衍射等现象^[6]。这些现象会受到材料内部缺陷影响，从而产生特征性的回波信号。超声波信号发生器将这些回波信号转化为电信号，传输给信号处理器进行分析，并将在显示器上通过图像形式展示出来，供操作人员进行判断（如图 1 所示）。目前，超声无损检测技术在金属材料检测中具有以下优势。首先，实现材料的全面检测。无论是材料的外表还是内部，只要存在缺陷，超声波都能检测出来；其次，超声无损检测技术对材料的性能没有影响，能在生产过程中进行连续在线检测，提高检测效率；最后，该技术能定量评估材料的缺陷大小和位置，为后期处理、修复提供参考。同时，超声无损检测技术在金属材料检测中有着广泛的应用。例如：在航空航天行业中，超声无损检测技术用于飞机零部件的缺陷检测，确保其安全可靠；在汽车制造业中，适应于发动机零部件和车身结构的质量控制；在建筑行业中，应用在钢结构、桥梁、管道等的缺陷检测，确保其结构稳定性。此外，超声无损检测技术可在金属加工和焊接过程中进行实时监测，提高生产工艺的控制和调整。



>图 1 超声无损检测系统框架图



(二) 特种设备

在特种设备中，超声无损检测技术主要应用于以下几个方面。首先，用于检测特种设备中的裂纹和缺陷。裂纹和缺陷是特种设备中最常见的问题，它们可能会导致设备的强度下降甚至发生事故。通过超声无损检测技术，及时发现设备中的裂纹和缺陷，并采取相应的修复措施，从而保证设备的安全运行；其次，检测特种设备中的材料的厚度和腐蚀情况。特种设备经常处于恶劣的工作环境中，如高温、高压等，容易受到腐蚀的影响。通过超声无损检测技术，非破坏地测量设备中金属材料的厚度和评估腐蚀的程度，从而及时采取防护措施；最后，检测特种设备中焊接接头的质量。焊接接头是特种设备中常见的连接方式，其质量对于设备的安全性和可靠性有着重要的影响。通过超声无损检测技术，可以检测焊接接头中存在的缺陷，如裂纹、气孔、夹渣、未焊透等，通过对缺陷进行定性和定量分析，及时排除设备隐患，保证设备安全可靠运行。

(三) 超声信号降噪计算

超声信号降噪计算是超声无损检测技术该技术中的关键步骤，可有效提高检测结果的准确性^[7]。超声无损检测技术利用超声波在材料中传播特性检测材料内部的缺陷，如裂纹、气孔和夹杂物等。当超声波遇到这些缺陷时，会产生反射、散射、透射等不同信号，但由于材料本身的噪声干扰，以及信号衰减和失真，使得检测信号中存在各种噪声^[8]。为了准确判别材料中的缺陷，需要对检测信号进行降噪处理。超声信号降噪计算可通过各种数学模型，将噪声从原始信号中去除，提取出有用的信息。常用的降噪方法包括小波变换、自适应滤波、统计学方法等^[9]。小波变换是一种经典的降噪方法，其基本思想是将信号分解成不同频率的子波，并根据子波特性进行滤波处理；自适应滤波是根据信号的统计特性，自主调整滤波参数的方法，能有效适应不同信号的特点；统计学方法则通过对信号进行统计分析，利用信号的统计特性消除噪声^[10]。

为了检验超声信号对金属材料无损检测的效果，工作人员要利用示波器保存未处理的超声信号，检测金属材料表面出现1英寸

和3英寸的缺陷深度。在实际操作过程中，要将宽度为20db的高斯白噪声应用到需要采集的噪声中，并进行相关的降噪处理，结合MAT-LAB对比金属材料缺陷前后数据。但由于金属材料的超声无损检测系统是以材料缺陷产生的波长和波形进行分析，结合分析数据判断被检测的金属材料现象，如果实际信号不能得到准确的降噪比，工作人员要降噪处理原始信号，按照波形幅度和波长计算出具体数据，判断其是否达到预期的降噪效果。经过工作人员试验发现，通过降噪处理的超声信号比未经过降噪处理稳定性更强，在计算机上呈现出明显效果。

五、总结

金属材料超声无损检测技术是一种非破坏性检测方法，广泛应用于工业领域。本研究旨在探讨金属材料超声无损检测技术的应用，并总结出以下结论。

(1) 通过利用超声波的传播特性，可以检测出金属材料中的缺陷，如裂纹、气孔和夹杂物等。这种技术可以快速、准确地判断金属材料的质量，避免了传统破坏性检测方法对样品的破坏。

(2) 在航空航天、汽车制造、船舶建造等行业中，金属材料的质量安全至关重要。采用超声无损检测技术能及时发现金属材料中的缺陷，保证产品的质量，提高生产效率。此外，该技术还可用于金属材料的质量评估和剩余寿命预测，为设备维护管理提供科学依据。

(3) 由于超声波在金属材料中的传播受到材料密度、声速等因素影响，对于复杂结构的材料，其检测效果可能会受到限制。此外，在检测过程中需要专业的操作人员进行解读，对技术人员的要求较高。

综上所述，金属材料超声无损检测技术是一种高效、准确的质量检测方法，具有广泛的应用前景。通过该技术能及时发现金属材料中的缺陷，保证产品质量，提高生产效率。然而，工作人员也要认识到该技术存在的局限性，要进一步进行完善。希望本研究的结论能为相关领域的科研人员提供价值参考。

参考文献：

- [1] 张龙. 金属材料焊接中超声无损检测技术的有效应用 [J]. 中国金属通报, 2023(7):246-248.
- [2] 胡秋月. 超声无损检测技术在金属材料焊接中的应用探讨 [J]. 中国金属通报, 2022(9):231-233.
- [3] 鞠焕强. 金属材料焊接中超声无损检测技术的有效应用探究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2022(1):163-165.
- [4] 张德强. 新时期金属材料焊接中超声无损检测技术的应用探究 [J]. 中国金属通报, 2022(15):153-155.
- [5] 屈海东. 超声无损检测技术在金属材料焊接中的应用分析 [J]. 世界有色金属, 2022(9):214-216.
- [6] 符勇. 超声无损检测技术在金属材料焊接中的应用探讨 [J]. 工程管理与技术探讨, 2023, 5(12).
- [7] 朱国胜. 超声波频谱分析下的复合材料层合板与金属板连接处质量无损检测技术 [J]. 今日自动化, 2022(12):119-121.
- [8] 王晓晨, 毛星, 张佳敏, 等. 基于激光超声的金属材料晶粒尺寸在线无损检测技术 [J]. 航空制造技术, 2022, 65(20):54-62.
- [9] 杨翠茹, 彭向阳, 余欣. 结合小波变换与数学形态学的电缆局放信号识别与降噪方法 [J]. 沈阳工业大学学报, 2023, 45(6):619-624.
- [10] 王彤洲, 崔春生, 刘双峰, 等. 基于经验小波变换和奇异值分解的冲击波降噪方法 [J]. 探测与控制学报, 2023, 45(2):67-72.