

# 基于超声波的混凝土结构内部缺陷检测技术

全润东

陕西省建筑设备安装质量检测中心有限公司 陕西 西安 721000

**摘要：**混凝土作为现代建筑中广泛使用的材料，其内部缺陷的检测对于保证工程质量具有重要意义。超声波无损检测技术因其高精度、非破坏性等特点，在混凝土结构内部缺陷检测领域得到了广泛应用。本文综述了超声波检测技术的原理、方法及其在混凝土结构内部缺陷检测中的应用，探讨了其优势与局限性，并提出了未来发展方向。

**关键词：**超声波；技术原理；应用

## 引言

随着建筑技术的不断进步，混凝土结构在各类工程中得到了广泛应用。然而，由于施工过程中的多种因素，混凝土内部可能存在空洞、裂缝等缺陷，这些缺陷会严重影响结构的承载力和耐久性。因此，对混凝土内部缺陷进行准确、高效的检测具有重要意义。超声波无损检测技术因其独特的优势，在这一领域得到了广泛应用。

## 1 超声波检测技术原理

### 1.1 超声波传播特性

超声波检测技术是一种基于声波传播原理的无损检测技术，其核心在于利用超声波在介质（如混凝土）中传播时与缺陷相互作用所产生的物理现象来推断介质内部的情况。超声波是一种频率高于人耳可听范围（通常指频率大于20kHz）的声波，它具有方向性好、穿透力强、易于被物质吸收和散射等特点。当超声波在混凝土中传播时，其传播特性受到混凝土材质、结构以及内部缺陷的显著影响。具体来说，超声波的传播速度主要取决于混凝土的密度和弹性模量，这两者共同决定了声波在介质中的传播快慢。在密实、均匀的混凝土中，超声波的传播速度相对较快，且衰减较小；而在存在空洞、裂缝或夹杂物等缺陷的混凝土中，超声波的传播速度会减慢，衰减也会增加。这是因为缺陷的存在破坏了混凝土的连续性，导致声波在传播过程中遇到更多的阻碍和散射。当超声波遇到混凝土内部的缺陷时，会发生一系列复杂的物理现象。首先，超声波会在缺陷界面上发生反射，部分声波能量被反射回原传播方向，形成反射波。反射波的强度、方向和形态与缺陷的形状、大小和位置密切相关。其次，超声波还会在缺陷处发生散射，即声波能量向各个方向扩散，导致接收到的信号变得复杂且难以直接解读<sup>[1]</sup>。此外，缺陷的存在还会改变超声波的传播路径，使其发生绕射或折射，进一步影响声波的传播特性和声学参数。通过分析超声波在混凝土中传播时的速度、声时（即声波传播所需的时间）、振幅

（即声波的振动强度）和频率等参数的变化，可以推断出混凝土内部的缺陷情况。例如，当超声波传播速度减慢或声时增加时，可能意味着混凝土内部存在空洞或裂缝等缺陷；而当振幅减小或频率发生变化时，则可能反映了混凝土内部的材质不均匀或存在其他类型的缺陷。因此，超声波检测技术通过精确测量和分析这些声学参数的变化，为混凝土结构的内部质量检测提供了有效的手段。

### 1.2 缺陷判定方法

在超声波检测技术中，缺陷的准确判定是确保检测结果可靠性的关键步骤。为了实现这一目标，研究者们开发了多种缺陷判定方法，其中统计学判定方法、PSD判据法（基于声时差斜率和差值的乘积）以及多因素判据法（NFP法）是较为常用且有效的几种方法。这些方法通过深入分析超声波在混凝土中传播时的声时、振幅、频率等关键参数的变化，为混凝土内部缺陷的准确判断提供了有力支持。（1）统计学判定方法。统计学判定方法是一种基于大量实验数据建立的经验性判定方法。它通过对大量无缺陷混凝土和含不同缺陷混凝土的超声波检测数据进行统计分析，建立起正常混凝土与含缺陷混凝土在声学参数上的差异范围。在实际检测过程中，将测得的声学参数与这些差异范围进行对比，从而判断混凝土内部是否存在缺陷。这种方法简单直观，但依赖于大量的实验数据和统计分析，且对于新型或特殊类型的缺陷可能不够敏感。（2）PSD判据法。PSD判据法是一种基于声时差斜率和差值相乘结果的判定方法。它通过分析超声波在不同传播路径上的声时差及其斜率，结合声时差的差值，来综合评估混凝土内部的缺陷情况。具体来说，当超声波在混凝土中传播时，由于缺陷的存在，不同路径上的声时差会发生变化，且这种变化与缺陷的性质和位置有关。PSD判据法通过计算声时差的斜率和差值，并将其相乘，得到一个能够反映缺陷情况的数值指标。该方法的优点是对小缺陷和早期损伤具有较高的灵

敏度,但计算过程相对复杂,且需要精确测量声时差。

(3)多因素判据法(NFP法)。多因素判据法(NFP法)是一种综合考虑多个声学参数及其变化趋势的判定方法。它不仅仅依赖于单一的声学参数,而是将声时、振幅、频率等多个参数以及它们的变化趋势综合考虑,通过构建多因素判据模型来评估混凝土的内部质量。NFP法能够更全面地反映混凝土内部的缺陷情况,提高检测的准确性。同时,该方法还具有一定的自适应性和鲁棒性,能够适应不同类型和程度的缺陷检测需求<sup>[2]</sup>。然而,NFP法的实施需要较高的技术水平和丰富的经验积累,以确保判据模型的准确性和可靠性。

## 2 超声波检测技术在混凝土结构内部缺陷检测中的应用

### 2.1 实验模型制作与检测

为了模拟实际混凝土结构中的各种缺陷情况,实验模型的制作显得尤为重要。在实验过程中,研究人员会根据研究目的和实际需求,精心设计并制作含有不同缺陷类型的混凝土试件。这些缺陷可能包括空洞、裂缝、夹杂物、分层等,它们的大小、形状和位置都会根据实验需求进行精确控制。制作完成的混凝土试件随后会被置于超声波检测仪下进行实际检测。检测过程中,超声波检测仪会发射出高频声波,这些声波在混凝土中传播时会与缺陷相互作用,产生反射、散射等现象。通过接收并分析这些反射或透射的声波信号,研究人员可以获得关于混凝土内部缺陷的宝贵信息。具体来说,检测数据会包括声波的传播时间(声时)、振幅、频率等多个参数。通过分析这些参数的变化,研究人员可以判断缺陷的类型(如空洞、裂缝等)、位置(如深度、水平位置等)以及大致的尺寸(如裂缝的宽度、空洞的体积等)。此外,结合先进的信号处理技术,还可以进一步提取出更多关于缺陷的详细信息,如缺陷的形态、分布等。实验模型制作与检测不仅为超声波检测技术的有效性提供了直接的验证,还为后续的实际应用提供了宝贵的经验和数据支持<sup>[3]</sup>。通过不断优化检测方法和分析技术,可以进一步提高超声波检测技术在混凝土结构内部缺陷检测中的准确性和可靠性。

### 2.2 检测方法

超声波检测技术因其高效、非破坏性的特点,在混凝土结构内部缺陷检测中得到了广泛应用。根据检测需求和现场条件的不同,超声波检测方法也呈现出多样性。以下是对几种常见超声波检测方法的详细介绍,包括它们的优缺点及适用场景,以期为读者提供更全面的了解。(1)单面平测法。单面平测法,顾名思义,只

需在混凝土结构的一侧进行操作即可。这种方法因其操作简便、灵活性高而备受青睐。它特别适用于那些只有一面可接触或另一面由于种种原因难以接近的混凝土结构,如墙面、地面或某些大型构件的单一侧面。然而,单面平测法也存在一定的局限性。由于声波在混凝土中的传播特性,对于较深层的缺陷,其判断深度和具体位置的准确性可能会受到一定影响。此外,为了获得准确的检测结果,对探头的选择和角度的调整也提出了较高要求。(2)双面透射法。与单面平测法不同,双面透射法需要在混凝土结构的两侧同时进行操作。这种方法虽然操作相对复杂,但能够更准确地判断缺陷的位置、大小和类型。由于声波可以穿透整个混凝土结构,因此双面透射法在深度判断上具有显著优势。同时,通过测量声波在混凝土中的传播时间和衰减情况,可以进一步提高检测的准确性。然而,双面透射法也受限于其操作复杂性和对设备的高要求,特别是在某些难以接近的部位,其应用可能会受到限制。(3)钻孔检测法。钻孔检测法是一种直接且准确的超声波检测方法。通过在混凝土上钻孔并插入探头,可以检测到较深层的缺陷,甚至包括那些被其他方法所遗漏的微小缺陷。这种方法因其深度检测能力强、准确性高而备受推崇。然而,钻孔检测法也具有一定的破坏性,钻孔过程可能会对混凝土造成一定的损伤,甚至可能影响结构的整体性和安全性。因此,在使用钻孔检测法时,需要权衡检测需求与结构安全之间的利弊,确保在不影响结构安全的前提下进行有效的检测。

## 3 超声波检测技术的优势与局限性

### 3.1 优势

超声波检测技术以其独特的优势在多个领域得到了广泛应用。首先,它具有非破坏性的特点,这意味着在检测过程中不会对被检测物体造成任何损害,这对于需要保持结构完整性的混凝土结构等工程材料来说尤为重要。通过超声波检测技术,我们可以在不破坏混凝土结构的情况下,对其内部缺陷进行准确检测,从而避免了因检测而导致的结构破坏和修复成本。其次,超声波检测技术具有高精度。它能够准确测量和定位混凝土结构中的缺陷,如空洞、裂缝等,为工程质量的保证提供了有力支持。这种高精度使得超声波检测技术在工程质量检测、结构健康监测等领域具有不可替代的地位。此外,超声波检测技术还具有快速、全面的优点。它能够在短时间内对大面积的区域进行扫描和检测,大大提高了检测效率。同时,由于超声波能够穿透混凝土结构,因此可以对结构内部进行全面检测,确保检测结果的准

确性和可靠性<sup>[4]</sup>。

### 3.2 局限性

超声波检测技术, 尽管被广泛认可并应用于多个领域, 仍存在一定的局限性。在检测微小缺陷时, 其精度可能会受限。由于超声波的物理特性, 如波长和频率, 当面对尺寸较小的缺陷时, 其反射信号可能变得非常微弱, 导致难以准确识别。这意味着在检测细微裂缝或微小空洞时, 超声波检测技术可能无法提供足够的信息。另一方面, 复杂的混凝土结构也可能对超声波检测技术的效果产生不利影响。混凝土内部的钢筋、管道和其他结构元素会干扰超声波的传播路径, 使其变得复杂且难以预测。这种干扰可能导致超声波信号在传播过程中发生衰减或反射, 从而影响检测结果的准确性。此外, 混凝土内部的非均匀性和材料特性变化也可能对超声波的传播产生影响, 使得检测更加困难。此外, 环境因素也可能对超声波检测技术的效果产生一定影响。例如, 温度和湿度的变化可能会改变混凝土的材料特性, 从而影响超声波的传播速度和衰减特性。这种变化可能导致检测结果出现偏差, 需要在实际应用中采取相应的措施进行校正。

### 4 未来发展方向

随着科技的持续进步和工程需求的不断变化, 超声波检测技术在混凝土结构内部缺陷检测中的应用前景将更加广阔。首先, 深入研究超声波在复杂混凝土结构中的传播特性将是关键。混凝土结构的复杂性对超声波的传播路径和信号强度产生了显著影响。因此, 未来需要更深入地研究超声波在不同类型、不同龄期、不同材料特性的混凝土中的传播特性, 以及钢筋、管道等结构元素对超声波传播的影响。这将有助于优化检测方法, 提高检测精度和效率, 为工程实践提供更加可靠的依据。其次, 优化超声波检测技术的方法和设备也是未来的重要发展方向。目前, 虽然超声波检测技术已经取得了一定的成果, 但在实际应用中仍存在一些技术瓶颈。例如, 如何准确识别和定位混凝土内部的微小缺陷, 如何

降低环境因素对检测结果的影响等。因此, 未来需要开发更加先进的超声波检测设备和方法, 以提高检测的准确性和可靠性。此外, 结合其他先进的检测技术形成综合检测体系也是未来的一个重要趋势。虽然超声波检测技术在混凝土结构内部缺陷检测中具有诸多优势, 但在某些特定情况下, 其他检测技术可能更加适用。例如, 雷达法可以检测更深层次的缺陷, 而冲击回波法则可以检测表面附近的缺陷。因此, 未来可以将超声波检测技术与其他检测技术相结合, 形成综合检测体系, 以更好地满足工程实际需求<sup>[5]</sup>。最后, 智能化和自动化技术的发展也将为超声波检测技术的未来提供新的机遇。通过引入人工智能、机器学习等先进技术, 可以实现对超声波检测数据的自动分析和处理, 提高检测效率和准确性。同时, 自动化技术的发展也可以推动超声波检测设备的智能化和便携化, 使得检测过程更加简便和高效。

### 结束语

超声波无损检测技术在混凝土结构内部缺陷检测中发挥着重要作用。通过对其原理、方法及应用案例的综述, 可以看出该技术具有显著的优势和广泛的应用前景。然而, 也需要注意其局限性, 并在实际应用中不断优化和改进。未来, 随着技术的不断发展, 超声波检测技术在混凝土结构内部缺陷检测中的应用将更加成熟和广泛。

### 参考文献

- [1]韩林, 孙超, 王寓.超声波技术在检测混凝土缺陷中的应用[J].城市道桥与防洪, 2017.
- [2]姚新红.超声回弹综合法检测高强混凝土强度技术研究[J].2016.
- [3]张许平, 李军, 李戟.超声波混凝土检测技术的应用及展望[J].工程技术: 文摘版, 2016.
- [4]姚新红.超声回弹综合法检测高强混凝土强度技术研究[J].2020.
- [5]韩林, 孙超, 王寓.超声波技术在检测混凝土缺陷中的应用[J].城市道桥与防洪, 2020.