

# 基于超声波技术的桥梁混凝土裂缝深度检测方法研究

刘楠

广州市衡正工程质量检测有限公司 广东 广州 511442

**【摘要】**：随着桥梁老化问题的日益严峻，确保桥梁结构的安全性变得至关重要。传统的裂缝检测方法在精度和效率方面存在一定的局限性。本研究提出了一种基于超声波技术的桥梁混凝土裂缝深度检测方法，利用超声波信号在混凝土中传播的特性，结合裂缝对信号传播的影响，精确测量裂缝深度。实验结果表明，超声波技术能够有效提高裂缝深度检测的精度，并为桥梁安全评估提供更加可靠的数据支持。该方法具有较强的实用性和推广价值。

**【关键词】**：超声波技术；桥梁检测；混凝土裂缝；深度测量

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.013

## 引言

桥梁作为重要的交通基础设施，其结构健康的监测对于保障交通安全至关重要。随着时间的推移，桥梁混凝土表面会出现裂缝，影响其整体强度和稳定性。精准评估裂缝的深度成为桥梁维修中的重要课题。超声波技术因其非破坏性、实时性及高精度等特点，成为检测混凝土裂缝的一种有效手段。本研究通过引入超声波技术，探讨其在桥梁混凝土裂缝深度检测中的应用，旨在为桥梁安全管理提供一种新的技术方案。

## 1 桥梁混凝土裂缝深度检测的挑战与需求分析

随着桥梁老化现象的逐渐显现，桥梁结构的健康监测显得尤为重要。混凝土作为桥梁的主要构成材料，其裂缝的出现直接影响桥梁的结构强度和使用寿命。裂缝的深度、数量和分布情况对于评估桥梁的承载能力、确定维修和加固的优先级具有重要意义。传统的裂缝检测方法如目视检查和显微镜法等，往往只能检测到表面裂缝，且对于裂缝的深度、内部扩展情况等细节无法提供精准的数据支持。这使得现有的检测技术在面对深层裂缝时显得力不从心，无法满足桥梁长期安全使用的要求。

在这种背景下，针对混凝土裂缝深度的高效检测需求，新的技术方案应运而生。超声波技术作为一种非破坏性检测手段，凭借其高精度、实时性和适用性，逐渐成为桥梁裂缝深度检测的有效工具。超声波信号在混凝土中的传播受裂缝深度、宽度及混凝土质量的影响，能够通过分析回波信号的时间延迟和强度变化，准确地获取裂缝的深度信息。与传统方法相比，超声波技术能够对深层裂缝进行检测，且检测过程不对桥梁结构造成任何损害。这种技术的引入为桥梁结构的安全评估提供了更为精确的测量手段，提升了检测的效率与可靠性。

尽管超声波技术在裂缝深度检测中展现了巨大潜力，实际应用中仍然面临着一些挑战。混凝土的钢筋密度、湿度和温度等因素可能对超声波信号的传播造成一定影响，导致检测结果的偏差。如何克服这些外部因素的干扰，提高超声波检测的精度，仍然是一个需要深入探讨的问题。进一步优化检测设备和

算法，以适应不同类型桥梁和环境条件下的实际应用，成为解决这些问题的关键。通过精细化的技术调整与实验验证，可以逐步提升超声波技术在桥梁裂缝深度检测中的应用效果，从而确保桥梁结构的安全性。

## 2 超声波技术在裂缝深度检测中的原理与应用

超声波技术基于声波在介质中的传播特性，通过发射与接收超声波信号，分析其传播过程中的反射、折射和散射现象，来获取结构内部的缺陷信息如图1单面评测裂缝测点布置示意图。在桥梁混凝土裂缝深度检测中，超声波信号的传播特性尤为关键。当超声波在混凝土中传播时，裂缝会对声波的传播路径产生干扰，导致回波信号的时间延迟或信号强度变化。通过测量这种信号的变化，可以推算出裂缝的深度和其他重要参数，如图2裂缝深度计算原理示意图。超声波波速的变化与裂缝的性质密切相关，裂缝的深度越大，超声波信号传播的时间越长，回波信号的变化就越明显，但超声波法检测裂缝深度具有局限性，对于裂缝深度超过50mm，不建议采用超声波法检测裂缝深度。超声波波速的变化也与混凝土结构内的钢筋密度密切相关，钢筋的密度越大，超声波信号的干扰性越大，试验数据表明在无钢筋的混凝土传播信号越明显。图3预制带裂缝的混凝土构件模型及图4首波反转相位法。超声波检测能够提供一种准确的深度测量方式，这使得其在桥梁混凝土裂缝检测中具有不可替代的优势。

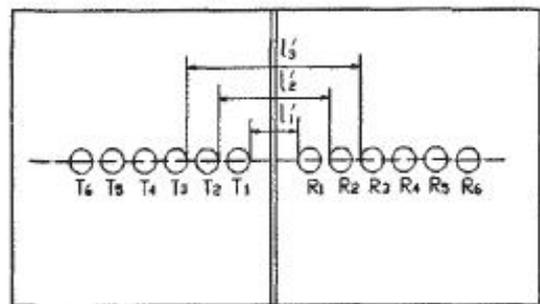


图1 单面评测裂缝测点布置示意

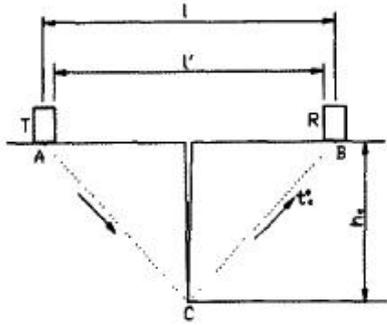


图2 裂缝深度计算原理示意图



图3 预制带裂缝的混凝土构件模型 (图左)

图4 首波反转相位法 (图右)

在实际应用中，超声波技术采用的主要方法包括脉冲反射法、透射法和表面波法等。在脉冲反射法中，通过在混凝土表面发射超声波脉冲，接收从裂缝或其他缺陷处反射回来的信号，并通过分析回波的时间差来确定裂缝的深度。透射法则是通过在混凝土的另一侧接收穿透过去的超声波信号，根据信号强度和传播时间来推算裂缝的特征。表面波法则主要是利用表面波传播的特性，分析波速和传播的变化来判断裂缝的存在与深度。目前好多仪器厂家都出台了裂缝综合测试仪，如图5智博联ZBL-F800裂缝综合测试仪及操作。这些方法各有优势，能够根据不同的桥梁结构和裂缝类型进行灵活选择。与传统的检测方法相比，超声波技术能够提供更为精确的深度测量，并且不破坏桥梁结构，是一种理想的无损检测手段。



图5 智博联ZBL-F800裂缝综合测试仪及操作

尽管超声波技术在裂缝深度检测中具备显著优势，但在实际应用过程中，仍然面临一些挑战。混凝土的多孔性、不均匀性、钢筋的密度可能导致超声波信号的衰减和反射，使得信号的质量受到影响。此外，混凝土的湿度、温度以及裂缝的角度和形态等因素也会对检测结果产生一定干扰。针对这些问题，科研人员已经开展了大量的研究工作，开发了诸如频率调制技术、信号处理算法优化和多通道传感器等先进技术，以提高检

测的准确性和可靠性。为了克服环境因素的干扰，还需要设计适应各种外界环境条件的检测设备，确保超声波技术在各种复杂情况下的稳定性和实用性。通过不断的技术创新和优化，超声波技术将在桥梁裂缝深度检测中发挥越来越重要的作用，成为桥梁健康监测领域不可或缺的工具。

### 3 实验设计与超声波检测系统的构建

在进行桥梁混凝土裂缝深度检测的实验设计时，首要考虑的是如何建立一个能够模拟实际环境的检测平台，确保实验结果的有效性和准确性。实验设计需要涵盖多种混凝土结构条件，并通过控制变量来分析超声波信号的传播特性。选定适当的混凝土样本至关重要，这些样本应包括不同类型和不同程度的裂缝，能够反映出实际桥梁中裂缝的分布和深度。实验中通常选择具有代表性的混凝土标本，并在不同的裂缝深度、宽度和分布下进行测试。实验过程中，需要使用超声波传感器发送脉冲信号，并记录从裂缝处反射回来的回波信号。通过测量回波信号的时间差，结合已知的声速模型，可以计算出裂缝的深度。

为了实现这一目标，超声波检测系统的构建尤为关键。系统通常由超声波发射器、接收器、信号处理模块以及数据分析软件组成。超声波发射器负责将高频声波脉冲发射到混凝土中，接收器则接收从混凝土内部反射回来的信号。信号处理模块在接收到回波信号后，对其进行放大和滤波，去除噪声，提取出有用的信号。数据分析软件会根据回波的时间差、信号强度和传播速度等参数，通过一定的算法推算出裂缝的深度和其它特征。为确保系统的精确性，传感器的布置和信号采集的方式非常重要。在实验中，通常采用多个超声波传感器布置在混凝土样本的不同位置，这样可以通过多个数据点进行数据融合，进一步提高检测精度。

在具体的实验过程中，还需要考虑到外部环境因素对检测结果的影响。温度、湿度以及混凝土的密实度等都会影响超声波信号的传播速度，从而影响检测结果的准确性。实验设计中通常会设置多种环境条件的对比实验，测试在不同湿度和温度下，超声波信号的传播特性。为了减少这些因素的干扰，可以采用温度和湿度控制装置，确保实验环境的稳定性。实验中还会对不同类型的裂缝进行多次测试，分别研究不同裂缝形态对超声波信号的影响，以便更好地理解裂缝的深度和扩展特征对信号传播的影响。通过多次实验验证和数据对比，能够为超声波裂缝深度检测技术提供更加可靠和精确的测量方法。实验设计与系统构建的优化，将为超声波技术在实际桥梁裂缝检测中的应用奠定坚实的基础。

### 4 超声波技术在桥梁裂缝深度测量中的精度与效果评估

在桥梁裂缝深度测量中，超声波技术的精度和效果直接关

系到桥梁安全评估的准确性。通过对裂缝深度的精确测量,超声波技术能够有效反映混凝土结构的健康状况。在实际应用中,超声波信号的传播特性受到多个因素的影响,包括混凝土的密度、湿度、温度以及裂缝的形态等。这些因素会对超声波的传播速度产生一定的影响,从而影响检测的结果。精度评估需要在不同环境条件下进行,以验证超声波技术的适用性和稳定性。实验结果表明,在标准环境条件下,超声波技术能够提供高精度的裂缝深度测量,其误差范围通常控制在几毫米以内,远远高于传统的目视检测和回弹法。

为评估超声波技术的效果,必须对其在不同类型裂缝中的表现进行深入分析。裂缝的宽度、形状和分布会显著影响超声波信号的反射特性。通常,超声波信号在通过较窄、深的裂缝时,传播路径的变化较大,回波信号的时间延迟较为明显,这有助于准确测量深度。对于较宽且浅的裂缝,信号的反射可能较为弱小,导致回波信号的不明显,从而增加了测量误差的可能性。通过改进超声波探头的频率和信号处理算法,能够克服这些挑战,提高对不同裂缝类型的识别能力。研究表明,在面对复杂裂缝时,通过调整频率和信号滤波技术,可以提高超声波检测的信噪比,进而提高测量结果的准确性。

综合考虑各种实验数据和实际应用,超声波技术在桥梁裂缝深度测量中的效果已得到了广泛认可。特别是在那些传统方法难以处理的深裂缝和复杂结构中,超声波技术展现出显著的优势。通过与其他检测技术的对比,超声波技术在裂缝深度检测中显示出较高的灵敏度和可靠性。尽管在一些极端环境条件下,如高湿度和低温环境中,超声波信号的衰减仍会对测量精度产生一定影响,但通过技术改进和多次数据采集,超声波检测系统的鲁棒性和精度不断提高。超声波技术为桥梁裂缝深度的高效检测提供了重要的解决方案,其精度和效果在实际应用中已得到了验证,并且随着技术的不断发展,未来有望在更广泛的桥梁安全检测中得到应用。

## 5 基于超声波技术的检测方法优化与实际应用探讨

超声波技术在桥梁裂缝深度检测中的应用,虽然已经取得了显著的成果,但仍然面临一些挑战,尤其是在复杂结构和极端环境下的检测精度问题。针对现有超声波检测方法进行优化已成为提高其检测效果的关键。在实际应用中,裂缝深度的测量受多种因素影响,包括混凝土的孔隙率、湿度、温度、裂缝的形状和分布等。为了克服这些干扰,优化检测方法的重点之一是改进超声波探头的设计和信号处理技术。通过调整超声波

### 参考文献:

- [1] 混凝土结构现场检测技术标准,GB/T50784-2013
- [2] 房屋裂缝检测与处理技术规程,CECS 293:2011.
- [3] 桥梁混凝土结构无损检测技术规程,T/CECS G:J50-01-2019
- [4] 谭国栋,混凝土裂缝深度超声波检测试验研究.

频率、优化传感器阵列配置以及改进信号处理算法,可以大幅提高超声波技术的信噪比,从而更精确地测量裂缝深度。使用多频超声波信号和时域分析法,能够提高对深裂缝的识别能力,尤其在混凝土质量较差的情况下,优化后的检测方法仍能保持较高的准确性。

在优化技术方面,超声波信号的处理算法至关重要。传统的单通道信号处理方法在面对复杂裂缝时常受到干扰,难以准确反映裂缝的真实深度。通过引入时频分析技术和多通道数据融合方法,能够有效提升裂缝深度的测量精度。时频分析能够将信号分解为不同频率成分,分析不同频段的回波信号变化,进而提取出更精确的裂缝特征信息。多通道数据融合则通过多个传感器收集的数据进行综合分析,减少单一通道可能带来的局部干扰,使得裂缝深度测量更加稳定可靠。结合人工智能和机器学习算法的优化,也为超声波技术的进一步提升提供了新的思路。通过对大量实验数据的训练和分析,机器学习算法能够自动识别不同裂缝类型和深度,从而实现更智能化的裂缝检测。

实际应用中的超声波检测方法不仅仅局限于实验室环境,更多的是需要在各种复杂桥梁结构和不同环境条件下进行验证。为了提高超声波技术在现场的应用效果,需要进一步优化设备的便携性和操作的简便性。在桥梁检测现场,可能会遇到多种复杂情况,桥梁表面不平整、裂缝方向不规则等,这都需要超声波检测系统具备较强的适应性。开发具有高抗干扰能力和多功能集成的检测设备,是实现高效现场检测的关键。针对不同类型的桥梁结构,定制化的检测方案能够最大限度地提升检测效果。随着技术的不断优化,超声波技术已经从实验室逐步走向了实际应用,尤其是在高速公路、铁路桥梁等重要基础设施的健康监测中,超声波技术的应用前景广阔。通过不断完善检测方法和设备,超声波技术将在桥梁裂缝检测领域发挥越来越重要的作用,助力桥梁安全监测和维护管理。

## 6 结语

超声波技术在桥梁混凝土裂缝深度检测中的应用已经取得了显著进展,但仍面临许多挑战。优化检测方法和改进技术手段,将进一步提升其检测精度和应用广度。随着设备与算法的不断发展,超声波技术的可靠性和实用性将持续增强,成为桥梁结构健康监测的重要工具。未来,超声波技术的应用将不仅限于实验室测试,还将在复杂环境中实现更广泛的应用。