

超声检测技术在桥梁混凝土构件养护中的应用研究

万财知¹ 乔素云²

1. 湖北三峡职业技术学院, 湖北 宜昌 443000
2. 宜昌富强工程有限责任公司, 湖北 宜昌 443000

[摘要] 随着城市化进程的加速, 桥梁建设的数量与规模不断扩大, 随之而来的是桥梁老化、腐蚀、裂缝等问题日益严重, 严重威胁着桥梁结构的安全性。特别是对于一些老旧桥梁, 传统的检测手段常常难以全面揭示其潜在的内部损伤或缺陷, 导致许多难以察觉的问题被错过。为了保障桥梁的长期安全运行, 采用高效、无损的检测技术显得尤为重要。近年来, 超声波检测技术因其能够穿透混凝土等材料并提供实时反馈的优势受到了广泛关注, 通过分析超声波的传播特性, 桥梁混凝土的密实度得以有效评估, 裂缝及其深度被精准检测, 内部缺陷与空洞也能够被准确定位, 从而显著提高了桥梁检测的精度与效率。超声检测技术在桥梁养护中的应用, 不仅提升了桥梁的安全管理水平, 而且为养护决策提供了科学依据, 从而确保了桥梁的安全性与使用寿命。

[关键词] 超声检测技术; 桥梁; 混凝土; 养护

DOI: 10.33142/ucp.v1i5.14413

中图分类号: TU528.0

文献标识码: A

Application Research on Ultrasonic Testing Technology in the Maintenance of Bridge Concrete Components

WAN Caizhi¹, QIAO Suyun²

1. Hubei Three Gorges Polytechnic, Yichang, Hubei, 443000, China
2. Yichang Fuqiang Engineering Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization, the number and scale of bridge construction continue to expand, leading to increasingly serious problems such as bridge aging, corrosion, and cracks, which seriously threaten the safety of bridge structures. Especially for some old bridges, traditional inspection methods often fail to fully reveal their potential internal damage or defects, resulting in many difficult to detect issues being missed. In order to ensure the long-term safe operation of bridges, it is particularly important to adopt efficient and non-destructive testing techniques. In recent years, ultrasonic testing technology has received widespread attention due to its ability to penetrate materials such as concrete and provide real-time feedback. By analyzing the propagation characteristics of ultrasonic waves, the compactness of bridge concrete can be effectively evaluated, cracks and their depths can be accurately detected, and internal defects and voids can also be accurately located, thereby significantly improving the accuracy and efficiency of bridge testing. The application of ultrasonic testing technology in bridge maintenance not only improves the safety management level of bridges, but also provides scientific basis for maintenance decisions, thereby ensuring the safety and service life of bridges.

Keywords: ultrasonic testing technology; bridge; concrete; maintenance

引言

桥梁作为现代交通基础设施的关键组成部分, 承载着大量的交通流量, 是社会经济活动的重要纽带。随着使用年限的增加及外部环境因素的影响, 桥梁结构逐渐出现老化、损伤和疲劳, 从而影响其安全性和耐久性。为了确保桥梁的长期使用性能, 定期的养护与健康监测显得尤为重要。传统的检测方法如视觉检查与破坏性检测, 尽管能够发现部分表面缺陷, 但却难以全面、精确地评估结构内部的损伤情况, 且可能对结构本身造成影响。超声检测技术, 作为一种先进的无损检测方法, 逐渐被应用于桥梁养护领域, 通过实时且精准地监测桥梁的结构健康状况, 超声检测技术不仅避免了对结构的损伤, 还具备高效、无损的特

点, 因此成为桥梁维护中的重要工具。

1 超声检测技术的原理与特点

超声检测技术基于声波在介质中传播时的物理特性, 借助分析声波在混凝土中传播速度、能量衰减以及反射回波的变化, 评估材料的内部结构完整性及其物理状态。当超声波进入混凝土时, 传播路径会受到材料密度、弹性模量及内部缺陷等因素的影响。若存在裂缝、空洞或其他不均匀性, 声波将在这些界面上发生反射、散射或折射, 导致接收信号的时延、幅值及频率发生显著变化。无损性、实时性和高灵敏度是该技术的显著特点, 能够在不破坏被检测构件的前提下, 迅速且准确地定位裂缝或缺陷的深度及位置, 混凝土的密实度与均匀性也可通过数据分析得到有效评估。

正因如此, 超声检测在桥梁养护中得到了广泛应用, 便携性与易操作性亦是其重要原因之一。但由于混凝土的非均质特性, 检测结果的准确性往往需要结合经验判断, 并辅以其他检测手段进行综合分析, 方能确保结果的可靠性。

2 桥梁混凝土构件养护中存在的问题

2.1 常见结构损伤类型

在桥梁混凝土构件的长期使用过程中, 常见的结构损伤形式包括裂缝、剥落、碳化以及钢筋锈蚀等。裂缝是最为常见且易于发现的损伤类型, 通常由荷载作用、温度变化、混凝土收缩以及冻融循环等多种因素引发。裂缝不仅影响构件的承载力, 还为水分、氯离子等有害物质提供了侵入的通道, 从而加剧了钢筋锈蚀与内部损伤。剥落则通常发生在混凝土表面, 常见原因包括冻融破坏、碱-骨料反应或钢筋锈胀导致表层保护层丧失, 进而暴露内部结构于外部环境。碳化是指混凝土在长期暴露于二氧化碳环境下, 碱度逐渐降低的现象, 此过程削弱了钢筋的保护功能, 从而加速了钢筋锈蚀的进程。水分渗透及氯离子的侵蚀引起的钢筋锈蚀, 不仅直接降低了构件的耐久性, 还可能导致混凝土出现裂缝或剥落, 形成恶性循环。不同类型的损伤之间常常相互作用, 若未能及时发现并进行修复, 桥梁的安全性与使用寿命将受到严重影响。

2.2 裂缝形成机制与发展

混凝土裂缝的形成机制及其发展过程是一个复杂且动态的变化过程, 受到材料特性、环境因素以及外部荷载的综合影响。在混凝土硬化初期, 裂缝的产生通常源于塑性收缩或温差作用, 当水分在硬化过程中迅速蒸发或温度梯度较大时, 表面与内部的变形不一致, 拉应力便会集中从而导致裂缝的形成。随着时间的推移, 干缩和徐变效应加剧了内部应力, 可能导致裂缝的进一步扩展, 外部荷载作用下, 裂缝通常表现为弯曲裂缝、剪切裂缝或扭曲裂缝, 这些裂缝的形成与荷载的性质及结构的应力分布密切相关。环境条件对裂缝扩展的影响也不容忽视, 冻融循环通过水分膨胀作用, 可能使原有裂缝进一步扩大; 而碳化及氯离子侵蚀则通过降低钢筋的耐腐蚀能力, 加速裂缝扩展的进程, 不均匀的沉降或地基变形也可能引发新裂缝, 或使已有裂缝的宽度与长度加大。裂缝的产生通常是多种因素共同作用的结果, 裂缝的扩展过程具有显著的不可逆性, 若未能及时采取控制措施可能引发更为严重的结构损伤。

2.3 内部缺陷对结构性能的影响

内部缺陷对桥梁混凝土构件的结构性能造成显著的负面影响, 通常表现为强度降低、耐久性减弱以及承载能力不足等方面。尽管混凝土中的裂缝、空洞或气泡等缺陷在初期可能不容易察觉, 随着时间的推移它们却会成为应力集中点, 导致局部材料的破坏。当结构受到外部荷载作用时, 这些缺陷区域通常无法有效传递应力进而加剧应力集中, 促使局部损伤甚至裂缝的扩展, 这些缺陷还为水分、氯离子等有害物质提供了渗透路径, 进一步加速钢筋的锈

蚀破坏混凝土的完整性与强度。在冻融、碳化或酸雨等恶劣环境条件下, 缺陷的负面影响愈发显著, 混凝土表面的保护作用显著降低, 钢筋腐蚀过程也随之加速导致结构耐久性大幅下降, 对于承载结构而言, 随着内部缺陷的积累, 对活荷载的适应能力会显著减弱, 极端情况下甚至可能导致结构失稳或彻底破坏。因此, 及时识别并修复这些缺陷, 对于确保桥梁结构的长期安全性至关重要。

3 超声检测技术在桥梁养护中的应用

3.1 裂缝深度和分布的检测

超声检测技术在桥梁养护中, 对于裂缝深度与分布的评估具有重要的应用价值, 通过分析超声波在混凝土中的传播特性, 裂缝的深度、宽度及其分布情况可以得到有效检测。在无裂缝的混凝土中, 超声波传播速度较快; 当波遇到裂缝时传播特性会发生变化, 反射波的强度与传播时间也随之改变, 通过对这些变化的精确测量, 裂缝的存在与深度能够被判断出来。在实际应用中, 通常采用脉冲反射法或透射法来进行超声波测量, 对于较浅的裂缝脉冲反射法能够通过分析反射波形有效地判定裂缝的位置与深度; 而对于较深的裂缝, 透射法则通过超声波穿透裂缝并到达接收端, 从而提供更加精确的裂缝深度信息。超声波信号频率的调节, 还能够帮助识别不同类型裂缝的扩展趋势, 进一步揭示裂缝的分布规律, 为工程师提供有关桥梁结构安全性与维护需求的参考依据。作为一种无损检测方法, 高效、精确的特点使得在不破坏结构的前提下, 裂缝的发展过程能够得到实时监测, 为桥梁养护与维修决策提供科学依据。

3.2 混凝土密实度的评估

混凝土的密实度直接决定了其强度、耐久性及抗渗透性能, 因此, 混凝土密实度的评估在桥梁养护中至关重要。通过超声检测技术, 混凝土的密实程度可以得到有效反映。超声波在混凝土中的传播速度变化能够揭示其密实性, 在密实的混凝土中超声波传播速度较快, 这是由于其弹性模量较高; 若存在空洞或不均匀区域, 声波传播将受到阻碍从而导致传播速度减缓。在实际操作中, 超声波通过传感器发射并进入混凝土, 穿透混凝土内部后被接收。结合传播时间与信号衰减情况, 通过对这些数据的分析, 混凝土的密实度可以被准确判断。高频超声波的使用能够更敏感地捕捉微小变化, 帮助识别混凝土表面及内部空洞、裂缝等缺陷。当混凝土密实度较低时, 超声波的传播时间较长且信号衰减明显; 反之, 信号强度较高传播时间较短, 通过对这些信号的详细分析, 混凝土的密实性能够被有效评估并及时发现可能威胁桥梁安全的隐患, 从而为后续的养护与修复工作提供数据支持。

3.3 内部缺陷与空洞的定位

超声检测技术在桥梁养护中对内部缺陷及空洞的定位具有显著优势。混凝土中的缺陷, 如空洞、蜂窝、剥落等通常隐藏在结构内部, 难以通过肉眼察觉。超声波穿透混凝土时, 遇到不同的缺陷区域会产生反射或散射现象,

导致信号发生变化,通过对这些信号变化的分析,缺陷和空洞的具体位置及其大小能够被准确确定。在检测过程中,超声波从传感器发射,信号经过缺陷区域时,部分波能被反射回传感器,剩余部分继续穿透并传播。由于缺陷或空洞区域的密度较低或结构不均匀,超声波在这些区域的传播速度会减缓,信号强度也会减弱,通过分析反射波和透射波的时延及强度变化,缺陷的分布及尺寸能够被精确绘制。利用不同频率的超声波,空洞的性质还能够更精确地区分,进而评估其对混凝土整体强度和稳定性的影响。这种无损检测方法不仅能够快速地定位内部缺陷,还为桥梁的修复与加固提供了详细的技术数据,优势在于能够在不破坏结构的前提下,实时监测并评估混凝土的健康状况,从而确保桥梁在长期使用中的安全性。

3.4 结构整体性能的监测

超声检测技术在桥梁结构性能监测中的应用为工程师提供了高效、精确的无损检测方法,通过定期对桥梁各构件进行超声波扫描,结构的健康状况可以实时掌握,承载能力及使用寿命也能够得到有效评估。混凝土中超声波的传播特性使其能够有效反映结构的均匀性与完整性,通过信号变化的分析,裂缝、空洞、蜂窝或其他可能影响结构性能的缺陷得以识别,从而评估这些缺陷对整体结构性能的潜在威胁。在实际操作中,超声检测技术与传统技术(如应变仪、位移计)的结合使用,使得桥梁在不同荷载作用下的表现能够全面评估^[1]。例如,由荷载引起的微裂纹或应力集中,超声波能够及时发现,提前预警潜在问题,从而防止其进一步恶化,混凝土的密实性及抗压强度等重要参数也可以通过超声技术进行评估,为桥梁的安全性提供有力支撑。通过定期监测,结构健康状况的变化趋势得以追踪,潜在风险能够及时识别,从而避免重大故障的发生,这种技术不仅在检测精度和效率上具备显著优势,还能显著减少对桥梁正常使用的干扰。

4 超声检测技术在桥梁养护中的优势与挑战

4.1 无损性与实时监测的优势

超声检测技术在桥梁养护中的一大优势在于其无损性,即在检测过程中不会对桥梁结构造成任何物理损伤。与传统检测方法如钻孔取样或切割样本相比,这些方法会破坏原有结构,从而影响桥梁的后续使用,而通过超声波检测,声波被发射并反射回接收器,无需直接接触结构内部即可获取详细的健康数据,这种无损性不仅能够保持桥梁的原始状态,还避免了维修过程中可能出现的二次损伤。同时,超声检测技术能够提供实时监测,极大提高了桥梁安全管理的效率^[2]。传统方法通常需要较长的时间来收集和分析数据,且检测周期较长。而超声波技术则能够在现场快速完成数据采集,并即时提供检测结果。实时反馈的优势,使工程师能够迅速评估桥梁健康状况及时发现潜在问题,并采取必要的应急措施。尤其适用于交通繁忙或环境复杂的桥梁,这一特点确保了在桥梁运行期间始终受到

有效监控,从而降低了事故发生的风险。

4.2 数据分析与结果解读的难点

尽管超声检测技术在桥梁养护中具备显著优势,但数据分析与结果解读仍面临若干挑战。多种因素会影响超声波信号的传播,如混凝土的密度、湿度、温度变化以及裂缝的类型与分布等,这些因素使得信号的解读变得更加复杂。在实际检测中,超声波的传播路径往往并非直线,尤其是在不均匀材料或多层结构存在的情况下,信号的传播与反射容易受到干扰,从而影响数据的准确性。因此,正确解读超声波信号在复杂环境中的应用,已成为技术面临的一大难题。此外,超声波反射信号本身也存在一定的模糊性,特别是在检测微小裂缝或细小缺陷时,信号的变化极为微弱,容易受到背景噪声的干扰^[3]。对此,检测人员的专业素养和丰富经验显得尤为重要,只有具备这些能力才能有效区分有用信号与噪声成分,超声检测结果的分析通常依赖于数学模型与算法,这对设备的处理能力以及数据分析技术提出了较高的要求。为了确保结果的可靠性,通常需要结合其他检测手段,如裂缝宽度测量或结构健康监测系统进行综合分析。

5 结语

超声检测技术,作为一种高效且无损的手段,在桥梁养护中展现出了显著的优势,通过实时监测与精准评估等特性,它已经成为桥梁结构健康管理中不可或缺的重要工具。裂缝深度、混凝土的密实度、内部缺陷以及整体结构性能,均可通过超声波有效检测,为桥梁的早期病害诊断及精准养护提供了坚实的技术支撑。尽管其优势明显,超声检测技术的推广应用仍面临诸多挑战,包括设备成本高、技术人员培训不足以及行业对新技术认知度偏低等问题。为推动其广泛应用,行业亟需加强技术研发与创新,完善标准化建设并进一步提升从业人员的专业技能,确保技术能够得到有效应用。随着相关技术的不断发展与完善,超声检测技术将在桥梁养护及结构健康监测中扮演愈加关键的角色,从而为保障桥梁安全、延长使用寿命提供更加可靠的支持。

基金项目: 该项成果由湖北三峡职业技术学院 2023 年度科研项目资助《露天梁场现代养护技术研究与应用》(项目编号 2023ZK03)。

[参考文献]

- [1] 孟思鑫. 基于超声导波技术的钢筋混凝土结构锈蚀监测研究[D]. 重庆: 重庆科技学院, 2023.
 - [2] 陈贵武. 混凝土细观尺度随机建模及超声检测关键技术研究[D]. 江苏: 中国矿业大学, 2021.
 - [3] 郭松松, 和海芳, 李萍. 三维超声技术在桥梁检测中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 14(11): 168-169.
- 作者简介: 万财知(1987.1—), 男, 苏州科技学院, 结构工程, 湖北三峡职业技术学院, 讲师。