

声波检测技术在桥梁检测中的应用

周雅馨

吉林省宏盛工程检测有限公司, 吉林省长春市, 130012;

摘要: 随着桥梁服役年限的增长, 结构损伤隐蔽化与早期识别困难的问题日益突出, 传统检测方法在效率与安全性方面逐渐暴露出局限。声波检测技术凭借非接触、快速响应和对内部缺陷敏感等特点, 在桥梁检测领域展现出良好的应用前景。本文围绕声波检测技术的基本原理与工程适配性, 结合桥梁结构特点, 系统阐述其在裂缝识别、材料缺陷探测及整体状态评估中的应用方式, 并针对现场环境复杂、信号干扰及结果判读等问题提出相应解决途径, 为提升桥梁检测的可靠性与实用性提供参考。

关键词: 声波检测技术; 桥梁检测; 结构损伤; 无损检测; 工程应用

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.080

引言

桥梁作为重要的交通基础设施, 其运行安全直接关系到公共出行与经济发展。受荷载变化、环境侵蚀及材料老化等因素影响, 桥梁结构在服役过程中不可避免地产生各类损伤。如何在不中断交通和不破坏结构的前提下实现有效检测, 成为当前工程领域关注的重点。声波检测技术以其良好的适应性和检测深度, 逐渐被引入桥梁检测实践。本文从工程应用角度出发, 探讨声波检测技术在桥梁检测中的具体实施方式与问题应对, 为实际检测工作提供可行思路。

1 声波检测技术概述

1.1 声波检测技术的基本原理

声波检测技术的核心在于利用声波在材料内部传播过程中对缺陷和界面的敏感性, 通过监测传播速度、幅值变化与反射模式判断结构状况。声波在均匀介质中沿固定路径传播, 当遇到裂缝、空洞、夹层或材料性质变化区域时, 会产生反射、折射与能量衰减, 这些变化可被传感器接收并形成可识别的波形特征^[1]。声源可通过机械敲击、压电激励或定向声源产生, 检测设备根据传播特性选择不同频率以适配材料厚度与构件尺寸。实际应用中, 通过分析声波到达时间差、波形畸变程度与能量分布, 可推断材料的完整性及内部结构状态, 形成一种适用于桥梁复杂构件的非破坏性检测方式。

1.2 声波检测技术的主要类型

声波检测在工程应用中形成多种类型, 以适应桥梁中不同区域与材料的检测需求。透射法利用声波穿过构件的能力, 通过分析接收端的波形变化判断内部缺陷,

适合梁体与墩柱等整体性部位。表面波检测依托声波沿表层传播的特性, 用于识别表层裂缝、剥蚀及薄弱层。声发射技术通过捕捉材料在受力过程中释放的微弱声信号, 用于监测裂缝扩展与损伤活跃度。回弹声波方法适用于快速判断混凝土表层质量, 设备轻便, 适合大范围巡查。不同方式的组合应用可提高识别深度与适配性, 使声波检测能应对桥梁构件多样化、层次复杂及可达性受限等情况, 满足现场检测任务需求。

1.3 声波检测技术在土木工程中的特点

声波检测在土木工程领域的特点体现在非破坏性、适用性与操作灵活性等方面。该技术能够在不损伤结构的情况下识别深层缺陷, 适用于运营状态下的桥梁检测, 避免对交通造成影响。声波设备整体较为便携, 可在桥下、桥侧和高处空间受限区域布设, 使复杂位置也能获得有效信息。声波传播特性对材料致密度、均匀性和界面状态较为敏感, 因此能够反映混凝土、钢材以及复合材料的内部状况。在实际工程中, 可根据构件尺寸、材料特性与检测目标调节激励频率和测点布置, 使检测过程更具适应性。声波检测的重复性强, 适合长期监测体系, 为桥梁全寿命管理提供可持续信息源。

2 桥梁结构检测需求分析

2.1 桥梁常见结构损伤类型

桥梁在长期服役过程中会受到荷载、环境、温度变化以及材料老化等因素影响, 形成多种结构损伤。混凝土梁体常出现纵向裂缝、斜裂缝、剥落及内部空洞, 钢筋腐蚀会进一步导致保护层脱落与界面松弛。墩柱可能因水流冲刷形成蚀坑或因混凝土质量问题产生局部弱

区。桥面板在车辆荷载反复作用下易出现疲劳裂纹与铺装层脱空,界面松散会影响整体刚度^[2]。钢结构桥梁常见焊缝缺陷、板件减薄与局部屈曲,节点处的连接松动会影响应力传递。部分损伤具有隐蔽性,外观难以识别,深层裂缝、内部蜂窝及界面脱粘需要依赖更先进的检测方式进行判断,使桥梁检测对技术手段提出更高要求。

2.2 传统桥梁检测方法的局限性

传统桥梁检测主要依赖人工巡查、敲击检测与局部开挖,其识别能力受经验、可达性及环境限制较大。人工巡查多依靠视觉观察,仅能判断表层损伤,对深层缺陷无直接作用。敲击法在噪声环境或厚度较大的构件上难以获得清晰反应,对结果依赖主观判断。局部开挖能获取准确信息,但会破坏结构,且施工周期长,不适合频繁实施。在大型桥梁或交通繁忙道路上,高空作业和水域作业存在较大风险,限制人工方式的可操作性。传统方法难以实现快速覆盖与整体性评估,也不能满足预防性养护中对连续监测的需求,使其在现代桥梁维护体系中显现不足。

2.3 引入声波检测技术的必要性

随着桥梁结构趋于大型化、复杂化,传统检测方式难以满足对深层损伤早期识别的要求,声波检测技术的引入具有明显必要性。声波能够在材料内部传播,对不连续界面与密度变化敏感,在识别裂缝、空洞及剥离方面具有优势。声波设备便携灵活,能在桥面、桥下与空间受限区域操作,不需要大规模封闭交通。声波技术适用于混凝土、钢材及复合材料,满足现代桥梁多材料构件的检测需求。在预防性维护体系中,声波检测可提供连续记录,使结构状态变化更容易追踪。其覆盖范围大、检测速度快,适合周期性巡查,有助于减少人工风险,提高整体检测效率,使其成为桥梁检测的重要补充手段。

3 声波检测技术在桥梁检测中的具体应用

3.1 桥梁裂缝与缺陷识别应用

声波检测在裂缝识别中通过分析传播路径与波形变化判断裂缝位置与范围。混凝土中的裂缝会导致声波反射增强、衰减加剧或传播时间延长,根据这些特征可判断裂缝深度与发展程度。透射声波适用于识别贯穿性裂缝,表面波适于表层裂纹与剥蚀病害。内部空洞或脱空区域会造成声程紊乱,使波形出现明显畸变,可作为判断依据^[3]。钢结构焊缝中的气孔、夹渣等缺陷会形成

特征性反射信号,适合采用高频声波进行识别。桥面板铺装层与基层脱空也可通过声波能量变化识别,为维护提供直观依据。声波检测能够在不同深度范围实现缺陷识别,使裂缝与空洞类损伤更容易在早期阶段被发现。

3.2 桥梁材料性能评估应用

声波检测在材料性能评估中通过传播速度与波形变化反映混凝土或钢材的致密性、均匀性及老化程度。混凝土内部质量差异会导致声波速度变化,可用于识别离析、蜂窝及强度下降区域。不同频率声波可适配不同厚度构件,使内部状态更清晰呈现。钢结构材料的内部夹杂、焊接质量不足与疲劳损伤均会改变声波反射模式,通过持续监测可了解材料性能的变化趋势。对于桥梁加固材料与复合界面,声波技术可识别粘结质量,判断加固效果是否满足要求。材料性能评估对于桥梁运营安全意义重大,声波检测为构件性能变化提供重要依据,使维护措施更具针对性。

3.3 桥梁整体结构状态检测应用

声波检测在整体结构状态评估中通过对构件多点布设与波形综合分析反映结构内部协同状态。大型混凝土梁体可通过透射声波系统识别隔板、腹板及腔室状况,使内部不易到达区域得到有效检测。声发射技术适用于监测结构在荷载作用下的应力变化,能够捕捉裂缝扩展与微损伤活跃度,对大型桥梁的运行状态具有重要价值。钢结构桥梁的主桁、节点及吊杆等关键部位可通过声波监测焊缝变化和局部应力集中情况。桥面系统中,表面波检测能够评估铺装层与基层界面状况,使道路服务性能得到有效判断。这类整体性应用使声波检测能服务于桥梁全生命周期状态管理。

4 声波检测应用中的关键问题及解决途径

4.1 现场环境对检测效果的影响及应对措施

桥梁检测现场环境复杂,车辆荷载振动、风噪、水流噪声及温度变化均会对声波信号产生影响,需要采取相应措施保证检测质量。在车流密集的桥梁,可选择夜间或交通较低时段进行检测,减少振动干扰。对靠近水域的构件,应使用具备防水与抗湿能力的传感器,以降低水流噪声对信号的干扰。温度差异会改变材料声速,应记录温度并在分析中使用温度修正^[4]。对于空间受限位置,可采用小型化设备,通过调整测点设计缩短传播路径以增强信号稳定性。适当使用滤波装置可降低环境

噪声影响,使现场环境的干扰得到有效控制。

4.2 声波信号干扰问题的工程处理方法

声波信号干扰来自设备噪声、内部杂散波、构件形状复杂性及外部振动等因素。为减少干扰,应确保激励端与构件接触充分,使激励能量稳定进入材料。对于内部界面复杂引发的杂散波,可通过多次采集叠加方式提高有效信号占比,使波形更易识别。在钢筋密集区域,声波可能被多次反射,应结合布筋信息选择适当测点,使传播路径更明确。厚重构件可采用低频激励以增强穿透能力,避免高频能量衰减过快。外部振动可通过增加支撑固定、调整接收方式或布置隔振层降低影响,使信号更稳定可靠。

4.3 检测结果可靠性提升途径

提升声波检测的可靠性需要从测点规划、设备性能与现场记录三个方面入手。测点布置应覆盖关键受力区域,使不同部位的传播信息具备代表性,避免因布置不均引起判断偏差。设备需保持稳定激励特性,并根据材料特性选择适当频率范围,使波形对缺陷敏感度更高。检测过程中应保持激励方式一致,并及时校验设备状态,防止因机械变化造成信号误差。现场记录需包含构件位置、表面状况及环境条件,为后续分析提供必要背景。多次测量比对可降低偶然误差,必要时可与其他无损检测方式交叉参照,使结果在工程应用中更具可信性。

5 声波检测技术在桥梁检测中的发展展望

5.1 技术集成与检测系统优化方向

声波检测的发展趋势之一是实现与多种检测技术的深度集成,使桥梁状态评估具备更全面的信息基础。声波技术可与可视化检测、雷达探测及结构健康监测系统结合,通过多源信号的联动提高对结构损伤的识别准确度。设备未来将向智能化和模块化方向发展,使现场布设更高效,可通过自动化激励与同步采集减少人工误差^[5]。信号处理技术的进步使波形识别更精准,对复杂结构的适应性增强。大型桥梁可引入远程声波监测系统,使关键构件在运营期间持续获得声波信息,实现全天候状态掌握,为维护提供实时依据。

5.2 工程应用标准化趋势

随着声波检测在桥梁检测中的推广,建立完善的标准体系成为行业发展的重要方向。标准化能够使不同设

备、不同作业组及不同年份的检测结果具备可比性,为结构长期监测提供一致的技术基础。标准应包括设备性能要求、操作流程、测点布设、参数设定、记录格式及结果解释等内容,使检测过程更加规范。针对桥梁中不同材料及构件类型,可制定适配性参数范围,使现场检测更具统一性。通过完善行业标准,可以减少操作差异引起的偏差,使声波检测达到更稳定的工程质量水平,促进其在桥梁维护领域的普及与规范化。

5.3 推广应用中的实际问题与对策

声波检测在推广应用上受到人员技术水平、设备投入以及结构适配性等因素影响,需要针对性解决。为提升人员能力,应建立系统培训机制,使技术人员熟悉设备操作、激励布置与波形判读要点,提高检测一致性。设备投入可采用分级使用方式,将高性能系统用于关键构件检测,而将便携设备用于日常巡查,使资源配置更合理。对结构形式复杂或空间受限的桥梁,可通过现场试验调整测点设计,使声波路径更符合实际构件形态。为解决可达性不足问题,可引入无人机或机器人载具拓展作业范围,使声波检测在更多场景实现应用,为桥梁维护体系提供更稳定的检测手段。

6 结语

综上所述,声波检测技术为桥梁检测提供了一种安全、高效且具有发展潜力的技术手段。通过合理选择检测方式并结合桥梁结构特性,可有效提升对内部损伤的识别能力。针对工程应用中存在的环境干扰、操作复杂及结果判读等问题,采取相应的技术与管理措施,有助于发挥声波检测技术的优势。未来,随着相关设备和应用规范的不断完善,声波检测技术将在桥梁检测领域发挥更加重要的作用,为桥梁安全运营提供有力支撑。

参考文献

- [1]董凯. 声波检测技术在混凝土桥梁检测中的应用[J]. 运输经理世界, 2024, (32): 74-76.
- [2]谷秀娟. 无损检测技术在道路桥梁检测中的应用研究[J]. 运输经理世界, 2024, (18): 69-71.
- [3]程小玲. 无损检测技术在桥梁桩基检测中的应用[J]. 交通建设与管理, 2024, (01): 68-70.
- [4]范大伟. 声波检测技术在混凝土桥梁检测中的应用[J]. 工程建设与设计, 2023, (19): 198-200.
- [5]贾增帅, 吴琛, 张浩. 混凝土桥梁检测中声波检测技术的应用[J]. 运输经理世界, 2023, (15): 94-96.