

Analysis of the Application of Non-destructive Testing Technology in Road and Bridge Engineering

Jun Zhu

Nanjing Institute of Communications Technology, Nanjing, Jiangsu, 211188, China

Abstract

Non-destructive testing technology for road and bridge engineering is a key means to ensure structural safety and extend service life. This paper starts from the core principles and advantages of non-destructive testing technology, combined with the actual demand of large-scale construction and maintenance of roads and Bridges in China, and systematically analyzes the application scenarios and operational key points of technologies such as ultrasonic testing, electromagnetic induction method, impact-echo method and acoustic emission testing. The reasonable application of these technologies can effectively solve the limitations of traditional detection methods and significantly improve the detection efficiency and data reliability. This paper further explores the environmental adaptability, data processing methods and cross-validation strategies of different technologies, providing important references for the scientific detection and intelligent maintenance of road and bridge engineering.

Keywords

Road and Bridge Engineering Non-destructive testing technology Structural safety Ultrasonic testing Electromagnetic induction method

道路桥梁工程中无损检测技术的应用分析

朱俊

南京交通职业技术学院, 中国 · 江苏 南京 211188

摘 要

道路桥梁工程的无损检测技术是保障结构安全、延长使用寿命的关键手段。本文从无损检测技术的核心原理与优势出发, 结合我国道路桥梁大规模建设与养护并行的实际需求, 系统分析了超声波检测、电磁感应法、冲击回波法及声发射检测等技术的应用场景与操作要点。这些技术的合理应用可有效解决传统检测方法的局限性, 显著提升检测效率与数据可靠性。本文进一步探讨了不同技术的环境适应性、数据处理方法及交叉验证策略, 为道路桥梁工程的科学检测与智慧养护提供重要参考。

关键词

道路桥梁工程; 无损检测技术; 结构安全性; 超声波检测; 电磁感应法

1 引言

随着我国基础设施建设的快速推进和交通网络的持续完善, 道路桥梁工程作为交通系统的重要组成部分, 其安全性与耐久性备受关注。近年来, 既有桥梁的老化问题与新建桥梁的质量管控需求日益凸显, 传统的破坏性检测方法因效率低、干扰大等局限性已难以适应现代工程检测的高标准要求。在此背景下, 无损检测技术凭借其非破坏性、高效率和高精度等优势, 逐渐成为道路桥梁工程检测与维护的核心手段^[1]。本文结合当前道路桥梁工程的发展现状与实际需求, 系统梳理超声波检测、电磁感应法、冲击回波法及声发射检测等主流无损检测技术的原理、应用要点及技术价值, 以期

为提升工程检测效率、保障结构安全运行提供理论支撑与实践指导。

2 无损检测技术概述

无损检测(又称作非破坏性试验)是指借助相关设备通过声学、光学、电学及辐射学等物理原理, 在不损害测试物件本身的状态、功能及结构完整性的前提下, 以获取到被测对象存在的内部缺陷、力学性能、结构状态等为目的的一种检测技术。它相对于传统破损式检测技术的优势有: 检测速度快、易于操作和使用方便, 使用范围广泛, 比如既可用于承重主体的检查鉴定, 又能对在役结构进行长期监测或者协助制定养护策略。现阶段, 道路桥梁工程中常用无损检测主要有超声波检测、电磁感应法、冲击回波法以及声发射检测等多种技术, 它们因检测机制和适宜对象的不同而各具特点, 具体应用时均有各自的限定条件以及技术要点。因而针

【作者简介】朱俊(1978-), 男, 中国江苏泰兴人, 本科, 高校实验师, 从事道路桥梁工程施工检测研究。

对道路桥梁工程须结合具体检测对象采取相对应的无损检测技术,在达到最佳的检测效果的同时保障其整体安全和稳定。

3 道路桥梁工程中无损检测技术应用的现实意义

结合实践来看,我国道路桥梁工程现阶段处于大规模建设和全面养护并行时期,同时加之一方面大量的道路桥梁进入了使用后期安全隐患不断增大,并且伴随着我国的城市化进程加快和机动车数量的急剧增长,这也给道路桥梁安全运行带来了巨大的压力^[2]。正是在这一背景下,道路桥梁工程检测显得尤为关键。传统依靠目测或者破损取芯方式经实践表明无法满足新时期下对于道路桥梁日益复杂的结构高频率、高精度的检测要求。而利用无损检测技术进行道路桥梁检测时一方面无需破坏结构且干扰小,另一方面则能够从表面观察向内部评估延伸获取到真实准确的检测数据。简单而言,道路桥梁工程应用无损检测技术时能在不影响其使用情况下确认是否存在诸如混凝土缺陷、钢筋锈蚀、结构老化或者是空洞等安全隐患,随后在未出现损坏情况之前根据检测数据进行处理,既避免结构进一步破坏的风险,又确保道路桥梁安全运行。另外,随着交通强国理念进入了新的发展阶段,道路桥梁安全标准也随之进一步提升,在这种局面下无损检测逐渐在竣工验收、投入使用以及养护等环节中得到了广泛地应用。最后,由于我国幅员辽阔,不同的区域存在着地质、气候、车流量等较大差异,这意味着道路桥梁工程所遭受的环境腐蚀或荷载冲击也有所区别,在此种情况下无损检测就提供了一个区域性较强的、定量能力较强的技术途径。

4 道路桥梁工程中无损检测技术的应用要点

4.1 桥面混凝土缺陷超声检测技术应用

在道路桥梁工程桥面混凝土缺陷检测当中超声波检测技术正凭借着非破损、高效与精准等诸多优点得以广泛应用。比如在桥面板出现裂缝、孔洞或者脱空等问题时使用超声波检测技术来检测和评估都具有十分明显的优势。超声检测技术具体操作要点为:检测的时候要要对桥面混凝土表层做好清理工作,把浮动浆、油污、杂物清除掉,保证探头能够跟构件的表面结合在一起,同时还可以用一些性能稳定而且是中性的耦合剂进行涂抹,这样就能够在一定程度上减少超声波在介质界面上出现的反射损失问题。随后进行布点工作时,检测人员须严格按照操作规范。如为增强桥面混凝土缺陷识别的空间分辨率,可采取 $0.20\text{ m}\times 0.20\text{ m}$ 等距矩阵式布点方式做桥面板全面覆盖。同时当发现桥面某一个区域已经有表面裂缝的情况下,须按照裂缝的方向分别在其垂直与平行方向加密布设检测点,且各点的间距设置在 0.1 m 之内,随后借助二维的声速传播剖面模型进行反演计算出裂缝深度以及分析裂缝扩展趋势。此外,超声检测时发射与接收

探头使用脉冲回波的方式实现桥面目标区域的多角度扫描,以得到纵波在混凝土介质内传播时间、回波幅度、能量衰减等原始波形数据,同时该过程中出于增强准确性目的检测人员需要利用多道波形识别技术对信号作分离和去噪处理,以将混凝土自身质量、钢筋阻挡等因素引起的非结构化干扰信号剔除出去。另外,针对桥面中钢筋密集区域检测上,可采用低频、大孔径探头或者是避开车道主筋位置来提升声波穿透性,从而规避检测时钢筋处声波反射导致数据失真情况。对于多层结构桥面,应该根据不同面层和基层的厚度,选择合适频率的超声波和相应的采样间隔,保证声波能穿透至下一层而不会产生多次反射。数据后处理环节上,可以从波速变化率、衰减系数以及振幅响应等方面入手,通过建立模型的方式将这些参数用于判断桥梁结构的完好程度,随后再和历史实测数据相比较开展验证,最大限度保证桥面混凝土缺陷检测结果的真实准确性。

4.2 钢筋锈蚀检测中的电磁感应法应用

针对道路桥梁工程中钢筋锈蚀状况检测上,电磁感应法不仅因其无须剔凿保护层就可以借助涡流原理对钢筋电导率的变化作响应分析,同时也可高效获取准确结论。具体操作要点为:先使用高精度钢筋定位仪确定道路桥梁工程中钢筋的空间分布、埋设深度,随后进行感应检测的路径的选取以及确定扫描的方向。结合现行规范可知,道路桥梁混凝土保护层大多数为 $20\text{—}50\text{ mm}$,因此选用频率为 $1\text{—}10\text{ kHz}$ 之间的电磁感应探头可以保证对不同深度钢筋均可实现较强穿透感应能力及钢筋表面腐蚀精准识别。在探头上移动时要保证直线行进,在同一钢筋上平行扫描,且行进速度保持恒定(不高于 5 cm/s),以免因行进速度过快而导致信号失真、噪声干扰等。每根钢筋检测完成须分别编号存档,检测数据分开处理,依据感应信号中的相对电导率和相位角的变化来判别钢筋表面氧化膜的变化程度及腐蚀率的快慢^[3]。此外,在北方季节性冻融地区、南方高湿地区检测中要考虑湿度对电磁感应信号的影响,为此可使用含湿修正因子做后期数据回归计算或者选择干燥天气开展电磁感应法检测作业。除受环境因素影响会产误差漂移外,在检测前和检测后都应对其进行零点校准以及设置温度补偿参数,以规避设备温度梯度敏感造成误差出现。另外,电磁感应法检测时须在混凝土表面较为平整且没有比较明显的裂缝处进行作业,以减小因局部结构缺陷导致感应路径发生偏移现象,从而保证检测结果具有重复性与横向对比性。

4.3 桥梁承台内部缺陷的冲击回波法应用

对于道路桥梁工程的大体积结构承台的无损检测,冲击回波法地应用能够精准探查深部缺陷位置,以检测其中混凝土结构的质量。具体操作要点为:冲击回波应用中出于增强承台内部缺陷检测的精度和信噪比须选择频响带宽高、灵敏度大的压电传感器,同时再辅以如直径不得小于 12 mm 钢球或者弹簧锤地中心频率合适的锤击源,从而保证激振能

量能够穿透承台内部较深的混凝土区域。冲击点与接收点之间的距离保持在 20~30cm 左右范围之内,冲击信号的短波反射信息的采集较好,这样可以减少波形的衰减或者是干扰对于承台内部缺陷的识别精度的影响。承台表面要进行粗化处理,可采取 60 目以上的打磨片在承台表面纵横交错打磨清除浮浆与松散颗粒,随后以无水酒精将表面清洁,提高声波耦合效果。冲击回波探测路径宜以矩阵网格的方式覆盖承台上表面区域,格点间距宜设定为 20cm,根据检测部位的不同,可先将布点布置于受力集中处、施工冷缝等易出现缺陷的位置,并且再通过密度较高的布点收集三维反射波场数据用于后期承台内部缺陷空间分布图像的重建。选取冲击源时需要考虑到大体积混凝土本身耗能较大的特点,为此可以用重锤多点连续激振叠加的方法进行检测,每个点采样不低于 30-35 组波形之后取平均值来消除偶然性噪声的干扰,突显出缺陷的信号特征^[4]。数据处理阶段需要通过频域反演以及短时傅里叶变换,将反射波的时间信息转换成空间深度,结合频谱特征分析缺陷反射峰的主频变化,然后对比标准混凝土波速模型判定反射界面的属性和位置。

4.4 预应力锚固系统缺陷的声发射检测应用

在道路桥梁工程结构无损检测中,预应力锚固系统的缺陷识别是另外一项重要内容。声发射检测技术通过检测材料发生微裂纹初期、扩展时的状态变化来实现对应力过程下的锚具、锚垫板、锚垫板周围的混凝土部位损伤状态进行监测。具体操作要点为:实施检测之前需要根据道路桥梁工程预应力锚固体系的结构布置和受力特点进行布点,在每个锚垫板周围布置 46 个宽频带传感器,每个传感器尽量布置到可能发生裂缝发展的路径附近,相邻两个传感器之间的距离须满足同一波前可以传到要求,以提高三维定位的空间精度的要求。声发射装置调试要在静载下对其背景噪声基准值进行测试,在现场噪声水平的基础上,选取合适阈值进行触发设置,将阈值设置在 40 ~ 60dB 范围内。同时加载采用恒速张拉(张拉速度建议取值为 2 ~ 5MPa/min),保证受力过程平稳连续。声发射系统实时采集事件频数、振幅、能量、累计事件数量等参数,尤其须注意信号突增或者出现频谱异常部分,同时与荷载-时间曲线做对应分析以找出结构异常

点。声发射检测完后开展声源定位分析,用基于最小均方误差算法的三角定位法找到声源空间坐标位置,然后借助于结构布置图确定预应力锚固端区域出现异常能量集中的部位,为判定存在损伤点做好铺垫^[5]。对于存在连续高强度或高能量声发射特征的区域,可结合混凝土表层开槽检查,并应用超声回弹、冲击回波等其他无损检测技术交叉验证排除假象声源的干扰,保证结果判定的正确性及可重复性。最后,使用具有时标同步功能的数据采集系统,将信号记录与加载状态一一对应,以形成完整的损伤演化过程数据链,为后续预应力锚固系统缺陷评定及维修决策制定提供可靠支撑。

5 结语

随着交通强国战略的深入推进,道路桥梁工程的安全性及耐久性已成为社会关注的焦点。本文通过系统梳理无损检测技术在桥面混凝土缺陷、钢筋锈蚀、承台内部缺陷及预应力锚固系统损伤检测中的具体应用,验证了其在提升检测效率、保障结构安全方面的显著优势。研究表明,不同无损检测技术需结合工程实际需求与环境条件进行针对性选择与优化,同时需注重多技术协同验证以规避单一方法的局限性。未来,随着人工智能与物联网技术的融合,无损检测将进一步向智能化、实时化方向发展,为道路桥梁的全寿命周期管理提供更精准的技术支撑。然而,复杂环境下的检测精度提升、多源数据融合分析等仍待深入研究,以期推动无损检测技术在工程实践中的更广泛应用。

参考文献

- [1] 刘永伟.道路桥梁工程中无损检测技术应用研究[J].运输经理世界,2024(5).
- [2] 刘聪.无损检测技术应用于道桥工程中的方法探索[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2023(1):1904-1905.
- [3] 何德梅.桥梁工程中无损检测技术的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023.
- [4] 黎宗尚.基于无损检测的道路桥梁工程测量技术分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):4.
- [5] 谢书建,蒋纤纤.无损检测技术在桥梁道路工程中的应用[J].建材发展导向,2025(6).