

无损检测技术在公路工程检测中的应用分析

张立云

新疆金正建设科技有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 本文围绕无损检测技术在公路工程检测中的应用展开。分析了公路工程检测需求,介绍无损检测技术定义、特点与常见类型。阐述其在路面、桥梁、隧道结构检测中的具体应用,如路面厚度、压实度检测等。还提出从技术和管理层面提升应用效果的策略,包括优化设备、融合技术、完善标准及加强人员培训等,以保障公路工程质量与安全。

关键词: 无损检测技术;公路工程检测;技术应用;提升策略

引言:公路工程作为交通网络关键部分,其结构复杂,对质量要求高。路基、路面、桥梁、隧道等各部分需满足不同性能标准,以确保工程全寿命周期安全可靠。传统检测方法存在局限性,可能对结构造成破坏。无损检测技术凭借非破坏性、快速高效、可重复检测等优势,成为公路工程检测的重要手段,在保障工程质量方面发挥着关键作用。

1 公路工程检测需求与无损检测技术定义及特点

1.1 公路工程检测需求分析

公路工程是交通运输网络的重要组成部分,结构体系复杂,涵盖路基、路面、桥梁、隧道等多个关键部分,各结构对质量要求严格。路基需具备足够的强度与稳定性,以承受路面荷载,防止沉降或塌陷;路面应保证平整度、抗滑性及耐久性,有效应对车辆碾压和环境侵蚀;桥梁与隧道则对材料强度和结构整体性有较高要求,任何细微缺陷都可能影响安全性能。必须通过系统检测确保工程质量满足设计标准,并在全寿命周期内保持良好状态。检测内容涵盖多个维度,核心目标是保障结构安全与使用功能。路基检测重点关注压实度、地基承载力以及地下是否存在空洞或软弱层,避免因强度不足引发变形或塌陷。路面检测包括厚度、平整度、结构完整性及材料性能,厚度不足将缩短使用寿命,平整度差会影响行车舒适与安全,材料性能不达标则难以抵抗长期荷载与环境影响。桥梁与隧道检测侧重于混凝土强度、钢筋分布、裂缝及内部缺陷,这些参数直接影响结构承载能力和耐久性。通过科学合理的检测手段,能够及时发现潜在问题,为后续维护与修复提供依据,确保公路工程的安全性和可靠性。

1.2 常见无损检测技术类型

1.2.1 超声检测技术

超声检测技术利用超声波在材料中的传播规律检测

内部缺陷。当超声波遇到混凝土内部裂缝、空洞或疏松区域时,会发生反射、折射与衰减,通过分析接收信号的波形、声时与声速等参数,可判断缺陷位置、大小及性质。该技术适用于桥梁、隧道混凝土结构检测,能有效探测钢筋锈蚀、内部空洞及裂缝深度,操作灵活且对微小缺陷敏感度高。

1.2.2 雷达检测技术

雷达检测技术基于高频电磁波反射原理,向被检测物体发射电磁波并接收反射信号,根据信号返回时间与强度差异,解析结构内部构造与缺陷^[1]。在公路工程中,雷达检测常用于路面厚度测量、地下管线定位及路基空洞探测。通过分析电磁波在不同介质界面的反射特征,可清晰呈现路面各结构层分布,精准测量厚度,同时快速定位地下隐蔽缺陷,为工程设计与病害治理提供直观数据。

1.2.3 红外检测技术

红外检测技术依据物体表面热辐射差异,通过红外热像仪捕捉温度场分布,分析结构表面及浅层缺陷。当路面存在脱空、裂缝或桥梁混凝土内部缺陷时,热量传导异常会导致表面温度分布不均,红外热像仪将温度差异转化为可视化图像,直观显示病害位置与范围。该技术特别适用于大面积路面病害普查,可快速识别裂缝、剥落、脱空等隐患,检测效率高且不受光照条件限制。

1.2.4 探地雷达技术

探地雷达技术作为雷达检测的延伸,专门针对地下结构探测。其发射的高频电磁波穿透地面,在不同介质界面产生反射,接收天线采集信号后经处理生成二维或三维图像,清晰呈现地下结构层次与异常区域。在路基检测中,探地雷达可探测回填料密实度、地下水位变化及空洞分布;在隧道检测中,能评估衬砌厚度、背后空洞及围岩状况,为工程质量评估与安全隐患排查提供可靠依据。

1.3 无损检测技术定义与特点

无损检测技术是基于物理原理,在不破坏被检测对象结构完整性与使用性能的前提下,对公路工程内部缺陷、材料性能及结构参数进行探测与评估的技术手段。该技术通过分析电磁、声波、热辐射等物理信号在材料中的传播特性,获取内部质量信息,避免传统破坏性检测对结构造成损伤,尤其适用于已建成公路工程的定期检测与隐患排查。无损检测技术具备显著特性。非破坏性是其核心优势,检测过程无需凿除混凝土、切割路面等破坏行为,既能保留结构原始状态,又避免因检测造成二次损伤与修复成本。快速高效体现在检测速度与覆盖范围,可在短时间内完成大面积路基、路面扫描,相比传统逐点取样检测,大幅提升工作效率,减少对交通的影响。可重复检测特性便于工程长期监测,通过定期检测对比数据,能直观掌握结构性能变化趋势,及时发现潜在病害发展情况,为科学养护决策提供动态依据。此外,无损检测还可实现多参数同步检测,一次操作获取多项指标,进一步提升检测效能。

2 无损检测技术在公路工程检测中的具体应用

2.1 路面结构检测

路面厚度检测依托雷达波与超声波的传播特性实现。雷达检测技术发射高频电磁波穿透路面结构层,不同材料层因介电常数差异,致使电磁波在层间界面产生反射,通过分析反射波双程走时与波速,可精准计算各结构层厚度。超声波检测则利用声波在不同介质中传播速度不同的原理,将超声换能器置于路面表面,声波传入路面结构后遇层间界面反射,根据发射与接收声波的时间差及波速,确定路面厚度。路面压实度检测采用无核密度仪技术。无核密度仪通过发射特定频率的电磁波,与路面材料中的原子相互作用,依据电磁波在材料中的衰减程度和相位变化,计算材料的密度,进而判断路面压实度^[2]。该方法无需使用放射性物质,操作安全便捷,可在施工过程中快速对路面压实度进行检测,确保每一层路面压实符合设计要求。路面病害探测借助多种无损检测技术协同完成。探地雷达对裂缝、脱空检测效果显著,雷达波在遇到裂缝或脱空区域时,因介质不连续,反射波能量和波形会发生明显变化,通过分析反射波特征,能准确识别裂缝深度、走向以及脱空范围。红外热像仪检测利用病害区域与正常区域的热传导差异,当路面存在脱空或裂缝时,热量传导异常,导致表面温度分布不均,红外热像仪捕捉温度场变化,以热图像直观呈现病害位置与规模。

2.2 桥梁结构检测

桥梁混凝土强度检测运用超声回弹综合法。超声仪

发射的超声波在混凝土中传播,其波速与混凝土密实程度和弹性模量相关;回弹仪通过弹击混凝土表面,获取回弹值反映混凝土表面硬度。将超声声速与回弹值建立数学关系模型,综合分析这两项参数,可较为准确地推定桥梁混凝土强度,相比单一检测方法,该技术能消除混凝土表面影响因素,检测结果更可靠。桥梁内部缺陷检测主要依靠超声检测技术。在桥梁结构表面布置多个超声测点,发射和接收探头成对放置,超声波在混凝土中传播时,若遇到空洞、蜂窝等缺陷,部分声波发生绕射、散射,导致接收信号的声时延长、波幅降低、频率改变。通过分析这些声学参数变化,采用适当的数据处理方法,可绘制出缺陷分布图像,确定缺陷位置、大小和严重程度。桥梁桩基完整性检测采用低应变反射波法。检测时在桩顶激振产生弹性应力波,应力波沿桩身向下传播,当遇到桩身波阻抗变化界面,如断裂、离析、扩颈、缩颈等缺陷,或桩底时,产生反射波。安装在桩顶的传感器接收反射波信号,通过分析反射波的时域波形、频谱特征,判断桩基完整性类别,确定缺陷位置和程度,为桥梁桩基质量评估提供依据。

2.3 隧道工程检测

隧道衬砌厚度检测常用地质雷达法。地质雷达发射的高频电磁波在隧道衬砌中传播,遇到衬砌与围岩界面时发生反射,根据反射波双程走时和已知的衬砌材料中电磁波传播速度,计算衬砌厚度。该方法可沿隧道纵向、环向进行连续检测,快速获取衬砌厚度数据,形成直观的检测图像,方便检测人员全面了解衬砌厚度分布情况。隧道衬砌背后空洞及不密实区域检测也依赖地质雷达技术。当衬砌背后存在空洞或不密实时,电磁波传播介质发生改变,反射波能量增强、相位翻转,在雷达图像上呈现明显的双曲线特征或杂乱反射波形。结合现场检测情况,对异常区域进行重点分析,能精准定位空洞和不密实区域位置、范围,为隧道病害整治提供数据支持。隧道围岩稳定性检测运用红外探测与声波探测技术。红外探测通过监测隧道周边围岩表面温度场变化,判断围岩内部含水状态和应力分布情况^[3]。当围岩内部存在地下水或应力集中时,热量传导和释放异常,导致表面温度出现异常变化。声波探测则在隧道掌子面布置多个声波发射和接收孔,通过分析声波在围岩中的传播速度、衰减等参数,判断围岩完整性和松动范围,综合评估围岩稳定性,为隧道施工安全和支护设计提供参考。

3 提升无损检测技术在公路工程检测中应用效果的策略

3.1 技术层面

提升无损检测技术在公路工程中的应用效果,首先应从技术层面入手。检测设备的性能直接影响检测结果的准确性与可靠性。硬件方面,应提高传感器的灵敏度与分辨率,增强其对微弱信号的捕捉能力,使设备能够精准识别结构中的微小缺陷和参数变化。同时优化信号采集系统,降低噪声干扰,确保所采集数据真实反映结构实际状态。软件方面,应开发智能化数据处理算法,实现检测数据的自动分析与特征识别。例如,利用机器学习技术对大量检测数据进行训练,使其具备快速识别不同类型缺陷特征的能力,自动生成检测报告,减少人为误差,提升检测效率与精度。由于单一检测技术存在局限性,多技术融合成为发展的必然趋势。可将探地雷达的高分辨率成像优势与红外热成像的快速筛查能力结合,先通过红外热像仪对路面进行大面积扫描,锁定疑似病害区域,再利用探地雷达深入探测病害深度与范围,实现优势互补。在桥梁混凝土检测中,超声波与冲击回波技术协同应用,分别用于发现浅层与深层缺陷,从而实现对结构的全方位、多层次检测。通过多技术联合使用,弥补单一方法在精度与深度上的不足,全面提升检测的全面性与有效性。

3.2 管理层面

完善无损检测技术标准与规范是保障检测质量的基础。制定统一的检测流程标准,明确从设备校准、现场检测到数据处理各环节的操作要求,确保不同检测单位遵循相同规范,提高检测结果的可比性与一致性。细化不同检测对象与检测场景下的技术指标要求,如针对路基、路面、桥梁等不同结构,制定相应的无损检测评判标准,明确缺陷判定依据与质量合格标准。建立动态更新机制,根据技术发展与工程实践反馈,及时修订和补充标准内容,使标准规范始终契合行业发展需求。操作人员的专业素养直接决定无损检测技术应用效果。加强培训需构建系统化培训体系,新入职人员接受基础理论与操作技能培训,掌握无损检测技术原理、设备操作方法与安全规范。针对在职人员开展进阶培训,结合新技术、新设备应用,定期组织技术研讨与案例分析,拓宽其专业视野,提升复杂问题处理能力^[4]。建立严格的考核认证制度,操作人员需通过理论与实操考核,取得资质证书方可上岗作业。定期对持证人员进行复评,确保其

专业能力持续达标,同时鼓励操作人员参与行业交流活动,学习先进经验,不断提升自身专业水平,为无损检测技术在公路工程中的高质量应用提供人力保障。

3.3 协同创新层面

推动检测机构、施工单位与科研院所的深度合作,是提升无损检测技术应用效果的关键。检测机构具备丰富的实践数据与现场检测经验,施工单位熟悉工程建设流程与实际需求,科研院所则拥有前沿技术研发能力。三方建立常态化沟通机制,共同组建技术攻关小组,针对公路工程检测中的复杂问题开展联合研究。例如,针对特殊地质条件下的路基隐患检测难题,整合各方资源,通过模拟实验、现场测试等方式,开发适用性更强的检测方案。产学研结合可加速无损检测技术成果转化。高校与科研院所聚焦无损检测新技术研发,如新型传感器、智能检测算法等,施工单位与检测机构提供实践场地与应用反馈,形成“研发-实践-改进”的良性循环。建立产学研联合实验室,共同申报科研项目,将实验室中的创新成果快速应用于公路工程检测实际场景,缩短技术从理论到实践的周期,推动无损检测技术在公路工程领域的创新发展。

结束语

无损检测技术在公路工程检测中具有显著优势,能精准检测公路结构质量,保障工程安全。通过在路面、桥梁、隧道等结构检测中的广泛应用,为工程维护与修复提供依据。然而,要进一步提升其应用效果,需从技术和管理层面着手,优化设备、融合技术、完善标准、加强人员培训。随着技术不断发展,无损检测技术将在公路工程检测中发挥更大作用,推动公路建设高质量发展。

参考文献

- [1]郭晋波.关于无损检测技术在公路工程中的应用[J].黑龙江交通科技,2023,46(2):179-181.
- [2]韩堃.无损检测技术在公路工程检测中的应用分析[J].时代汽车,2024,(05):195-197.
- [3]桂慧清.无损检测技术在公路工程中的应用及趋势[J].交通世界,2021,(36):82-83.
- [4]蔡文军.无损检测技术在公路桥梁中的应用[J].交通世界(运输车辆),2022(9):70-71.