

# 公路工程中的无损检测技术及其应用

杨帅帅

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830013

**摘要:** 无损检测技术以其非破坏性、高效性和准确性,在公路工程中发挥着重要作用。该技术利用物理或化学方法,结合现代化技术和设备,对公路工程中的路基、路面及桥梁等结构进行内部或表面缺陷检测。本文探讨了无损检测技术在公路工程中的具体应用,包括地质雷达、红外线成像、超声波检测等技术,并分析了其优势与局限性,展望了未来的发展趋势。

**关键词:** 公路工程;无损检测技术;应用

引言:公路工程作为国家基础设施建设的关键环节,其质量与安全直接关系到交通运输的顺畅与民众生命财产安全财产的安全。随着科技的进步,无损检测技术以其非破坏性、高效性和准确性,在公路工程领域展现出巨大潜力。本文旨在深入探讨无损检测技术在公路工程中的应用,包括其在路基、路面及桥梁检测中的实践,以期为公路工程质量监控与安全评估提供有力支撑,推动公路工程建设水平的全面提升。

## 1 无损检测技术概述

### 1.1 无损检测技术的定义

(1) 基本原理与特点:无损检测技术是在不破坏或不影响被检测对象使用性能的前提下,对其内部或表面的结构、状态及缺陷进行检查和测试的方法。其基本原理是利用材料内部结构异常或缺陷存在引起的热、声、光、电、磁等反应的变化,通过物理或化学方法,结合现代化的技术和设备器材,进行检测。这种方法具有非破坏性、高效性和准确性等特点,能够实现对材料或构件的全面、快速、准确的检测。(2) 常用的无损检测方法分类:目前应用最广泛的无损检测方法主要包括射线检测法(如X射线、 $\gamma$ 射线)、超声检测法、液体渗透法、磁粉检验法和涡流检测法等。这些方法各有优劣,适用于不同材料和不同缺陷的检测。

### 1.2 无损检测技术的发展历程

(1) 传统无损检测方法:在20世纪初期,最早的无损检测方法是目视检查和机械敲击法,这些方法依赖于检测人员的经验和听觉来判断材料的内部状况。随着科学技术的进步,X射线和超声波技术开始应用于无损检测,它们分别利用射线穿透材料和高频声波在材料中的传播特性来发现缺陷。(2) 现代无损检测技术:到了20世纪80年代,计算机技术的发展推动了无损检测的数字化和自动化。激光技术、电子技术和计算机技术等被广

泛应用于无损检测领域,如数字射线成像、计算机断层扫描(CT)和激光检测等技术,使无损检测变得更加高效和准确。此外,太赫兹无损检测等新型技术也崭露头角,展现出广阔的应用前景。

### 1.3 无损检测技术在公路工程中的适用性

(1) 公路工程检测的特殊要求:公路工程检测需要满足高效、准确、安全等要求,同时要求对公路结构不产生破坏。无损检测技术因其非破坏性、高效性和准确性等特点,成为公路工程检测的理想选择。(2) 无损检测技术如何满足这些要求:无损检测技术能够快速、准确地判定出公路病害的具体位置,满足不同类型的检测需求,同时不会对公路结构产生破坏。例如,射线检测仪、探地雷达和回声波检测技术等,在公路工程检测中得到了广泛应用,它们能够有效地发现公路内部的缺陷和问题,为公路的维护和改进提供可靠的数据支持。

## 2 公路工程无损检测技术的具体应用

### 2.1 路基无损检测

(1) 地质雷达检测技术的应用。地质雷达(GPR)作为一种高效、非破坏性的地球物理探测技术,广泛应用于公路路基的质量评估与病害检测。它通过向地下发射高频电磁波,并接收来自不同介质界面的反射信号,利用信号的时间延迟、振幅和频率特性,揭示地下结构的分布和物理性质。GPR能够有效识别路基内部的空洞、软弱层、含水区域及不均匀性等潜在问题,为工程设计与维护提供科学依据。(2) 探地雷达的工作原理与检测方法。探地雷达的工作原理基于电磁波在不同介质中传播速度的差异及界面反射原理。发射天线向地下发送高频电磁波脉冲,当遇到不同电性参数的介质界面时,部分电磁波会被反射回来,由接收天线捕捉并记录。通过分析反射波的时间序列、振幅和波形特征,可以推断地下目标体的深度、形状和性质。检测方法通常

包括连续剖面扫描和网格状布点测量,确保数据的全面性和准确性<sup>[1]</sup>。(3)路基内部空洞、不均匀性和裂缝的检测实例。在某高速公路扩建项目中,地质雷达技术成功揭示了路基内部隐藏的空洞和不均匀性。通过GPR图像分析,发现一处直径约2米的空洞位于路床下方,及时采取注浆加固措施,避免了路基沉降风险。此外,在旧路改造工程中,GPR还用于检测旧路基与新加铺层之间的结合状况,确保路面结构的整体稳定性和耐久性。

## 2.2 路面无损检测

(1)红外线成像技术与激光扫描技术的应用。红外线成像技术利用物体表面辐射的红外热能差异,生成直观的温度分布图,用于检测路面的裂缝、热斑、冷缝等问题。而激光扫描技术则通过发射激光束并测量其反射时间或相位差,精确获取路面的三维形貌信息,用于评估路面的平整度、车辙深度及磨损情况。(2)图像检测技术的原理与优势。图像检测技术的核心在于将物理世界的二维或三维信息转换为数字图像,并通过图像处理算法提取有用信息。红外线成像依赖于物体表面温度与红外辐射强度的线性关系,能够实时监测路面温度分布,揭示潜在的病害区域。激光扫描技术则利用激光测距原理,结合高精度定位系统,实现路面几何特征的精确测量。这两种技术共同的优势在于非接触式测量、高效率、高精度以及对大面积区域的快速扫描能力,极大地提升了路面检测的效率和准确性<sup>[2]</sup>。(3)路面裂缝、磨损等缺陷的检测实例。在某城市快速路的路面维护项目中,红外线成像技术首先被用来识别路面的热斑和冷缝,这些区域往往预示着潜在的裂缝或水分渗透问题。通过对比不同时间段的红外图像,工程师们能够追踪裂缝的发展趋势,并优先处理那些裂缝扩展迅速的区域。随后,激光扫描技术被用来精确测量这些裂缝的宽度、长度以及路面的平整度,为后续的维修方案提供了详尽的数据支持。此外,对于长期承受重载交通的路段,激光扫描还用于评估车辙深度和路面的整体磨损情况,为路面翻新和加固设计提供了科学依据。

## 2.3 桥梁无损检测

(1)超声波检测技术与光纤传感检测技术的应用。超声波检测技术因其对材料内部缺陷的高灵敏度,成为桥梁结构健康监测的首选方法之一。通过发射高频超声波并接收其反射回波,可以精确测定桥梁构件内部的裂缝、空洞、腐蚀等缺陷的位置、大小和形态。光纤传感技术则利用光纤作为传感元件,通过测量光信号在光纤中的传输特性变化(如相位、强度、频率等),实现对桥梁结构应变、温度、振动等参数的实时监测<sup>[3]</sup>。(2)

超声波与光纤传感的工作原理与检测方法。超声波检测的工作原理基于声波的反射和透射原理,当超声波遇到材料内部的不连续界面(如裂缝、空洞)时,会发生反射,反射波的强度、相位和频率等特征参数能够提供缺陷的详细信息。检测方法包括脉冲回波法、穿透法和衍射时差法等,适用于不同类型的桥梁构件和材料。光纤传感技术则依赖于光波导效应和光敏效应,当桥梁结构发生应变或温度变化时,会引起光纤中光信号的变化,通过测量这些变化可以间接推导出结构的物理状态。光纤传感系统通常包括光源、光纤传感器、信号调理单元和数据采集与分析系统。(3)桥梁内部裂缝、钢筋锈蚀等缺陷的检测实例。在一座大型斜拉桥的定期检测中,超声波检测技术被用来检查主梁和索塔的内部裂缝。通过发射和接收超声波,工程师们成功定位了多处细微裂缝,这些裂缝在视觉上难以察觉,但对桥梁的整体安全性构成潜在威胁。随后,光纤传感技术被用于监测桥梁的应变和温度变化,特别是针对那些已发现裂缝的区域。长期监测数据显示,某些裂缝区域伴随着温度变化和车辆荷载的作用,应变值显著增加,提示了钢筋锈蚀的可能性。结合超声波检测和光纤传感数据,工程师们制定了针对性的维修计划,包括裂缝注浆、钢筋除锈和加固处理,有效延长了桥梁的使用寿命。

## 3 无损检测技术的优势与局限性分析

### 3.1 无损检测技术的优势

(1)不破坏被检测物体。无损检测技术的最大优势在于其非破坏性。传统的检测方法,如破坏性试验,往往需要在材料或构件上取样,这不仅破坏了被检测物体的完整性,还可能影响其使用性能。而无损检测技术则能够在不破坏被检测物体的情况下,对其内部或表面的缺陷进行检测,从而避免了因检测而导致的额外损失。

(2)检测精度高、速度快。随着科技的发展,无损检测设备的精度和分辨率不断提高,能够实现微小缺陷的精确识别。同时,无损检测技术还具有检测速度快的特点,能够在短时间内对大面积或大量样本进行检测,大大提高了检测效率。这对于公路工程这种对时间敏感的大型建设项目来说,尤为重要。(3)成本相对较低。虽然无损检测设备的初期投资可能较高,但从长期来看,其成本效益显著。由于无需取样破坏,无损检测技术减少了因检测而导致的材料浪费和修复成本。此外,高效的检测速度也缩短了工期,降低了人力成本。因此,与传统检测方法相比,无损检测技术在成本上具有相对优势<sup>[4]</sup>。

### 3.2 无损检测技术的局限性

(1)设备成本高昂。无损检测技术的实现依赖于先

进的检测设备和仪器,这些设备的购置和维护成本往往较高。对于一些小型工程或预算有限的项目来说,这可能构成一定的经济负担。因此,在选择无损检测技术时,需要综合考虑项目需求和预算限制。(2) 技术操作要求高。无损检测技术的操作需要具备一定的专业知识和经验。操作人员需要熟悉检测设备的操作原理、检测参数的设置以及数据分析方法。这要求工程团队具备较高的技术水平和专业素养。如果操作不当或分析不准确,可能会影响检测结果的可靠性。(3) 受环境因素影响大。无损检测技术的实施效果受环境因素的影响较大。例如,地质雷达和超声波检测技术的效果可能受到地下水位、土壤湿度和介质电性参数等因素的影响。红外线成像技术则可能受到天气条件、光照强度和被测物体表面发射率等因素的影响。因此,在实际应用中,需要充分考虑环境因素对检测结果的影响,并采取相应的措施进行校正和补偿。

#### 4 无损检测技术在公路工程中的发展趋势

##### 4.1 技术创新与升级

(1) 新兴无损检测技术的研发与应用。近年来,新兴的无损检测技术不断涌现,如太赫兹检测、数字全息成像等,这些技术以其高分辨率和非接触式测量的优势,在公路工程领域展现出巨大潜力。这些新兴技术的研发和应用,将极大地拓展无损检测技术的应用范围,提高检测精度和效率。(2) 提高检测精度与效率的技术手段。为了提高无损检测的精度和效率,科研人员正在不断探索新的技术手段。例如,通过引入人工智能和大数据技术,对检测数据进行智能分析和处理,可以更快地识别出潜在的缺陷和问题。同时,结合自动化和智能化技术,可以实现检测设备的远程监控和智能调控,进一步提高检测效率。

##### 4.2 设备降价与技术下放

(1) 无损检测设备的成本降低趋势。随着生产技术的不断成熟和市场竞争的加剧,无损检测设备的成本有望进一步降低。这将使得更多的小型工程或预算有限的项目能够承担起无损检测技术的应用成本,从而推动无损检测技术在公路工程中的广泛应用。(2) 技术向基

层与广泛应用单位的推广。随着无损检测技术的不断成熟和成本的降低,该技术将逐渐向基层单位和广泛应用领域推广。这不仅可以提升公路工程整体的质量水平,还可以帮助基层单位提高检测能力和效率,降低维护成本。此外,通过培训和技术支持,提升基层技术人员的专业素养,将确保无损检测技术在各应用单位的正确实施和有效应用。

##### 4.3 规范化与标准化建设

(1) 公路工程检测标准的完善。未来,随着公路工程领域对质量检测要求的不断提升,相关的检测标准将进一步完善。这将为无损检测技术在公路工程中的应用提供更加明确的指导和规范,确保检测结果的准确性和可靠性。(2) 无损检测技术的规范化应用。为了确保无损检测技术的有效实施,未来将加强对该技术规范化应用的监管和推广。通过制定详细的操作规程和质量标准,确保无损检测技术在公路工程中的规范应用。同时,通过行业内的交流与合作,推动无损检测技术的普及和发展,提升整个公路工程领域的质量检测水平。

##### 结束语

综上所述,无损检测技术在公路工程中的应用,不仅提高了检测效率与精度,还为公路工程的安全评估与维护提供了科学依据。随着技术的不断进步与创新,无损检测手段将更加多样化、智能化,其在公路工程领域的适用范围也将进一步拓展。未来,我们期待无损检测技术在公路工程中发挥更加重要的作用,为构建安全、可靠、高效的公路交通网络贡献力量,推动公路事业的可持续发展。

##### 参考文献

- [1]周绿野.无损检测技术在公路桥梁工程中的应用分析[J].交通科技与管理,2021,(06):52-53.
- [2]延凯凯.无损检测技术在公路桥梁工程中的应用[J].价值工程,2021,(10):102-103.
- [3]梁伟卓.无损检测技术在建筑工程检测中的应用分析[J].广东建材,2021,(06):45-46.
- [4]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,(12):179-180.