

# 公路与房建工程试验检测中无损检测技术的共性与差异分析

张丽华

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

**摘要：**无损检测（Non-Destructive Testing, NDT）技术作为现代工程质量控制与结构健康监测的核心手段，在公路工程与房建工程中均发挥着不可替代的作用。本文系统梳理了无损检测技术在公路与房建两大工程领域的应用现状，深入剖析其在技术原理、适用对象、检测目标、标准体系及发展趋势等方面的共性与差异。研究发现，尽管两类工程在材料构成、结构形式和服役环境上存在显著不同，但超声波、雷达、红外热成像、回弹法等主流无损检测技术在物理基础和数据处理逻辑上具有高度共性；而在具体应用场景、检测参数设定、精度要求及评价标准方面则呈现出鲜明的行业特性。本文进一步探讨了跨领域技术融合与智能化发展的趋势，旨在为无损检测技术的标准化、专业化与协同化发展提供理论支撑与实践参考。

**关键词：**无损检测；公路工程；房建工程；共性分析；差异比较；结构健康监测

## 引言

随着我国基建规模扩大、服役年限延长，工程结构的安全等特性备受关注。传统破坏性检测成本高、效率低且会损伤结构，难以满足现代工程全生命周期管理需求。而无损检测技术因“不损伤结构、可重复检测、实时高效”，成为工程验收与健康评估的关键支撑。公路与房建工程虽同属土木工程，但在结构体系、材料组成等方面差异显著。公路工程以线性结构为主，注重动态荷载下的性能；房建工程是空间立体结构，更关注静力承载等能力。这使无损检测技术在两类工程中的应用侧重点、路径和标准不同。但现有研究多聚焦单一领域，缺乏对两大系统技术共性与差异的系统比较。厘清二者关联与特性，有助于技术跨领域迁移优化，为构建技术标准体系提供依据。故本文将对比分析无损检测技术在两类工程中的应用，揭示异同并提出协同发展路径。

## 1 无损检测技术概述

无损检测是在不损害被检测对象使用性能时，利用物理或化学方法对其内部缺陷等进行检测评估的技术，核心是保障结构安全、实现全过程质量控制。主流技术有：超声波检测，利用高频声波特性判断内部缺陷，用于混凝土评估等；地质雷达，基于电磁波反射原理，实现内部结构非接触成像探测；红外热成像，依据温度与热传导关系，识别异常温度场；回弹法，通过回弹值推定混凝土强度，操作简便；电磁感应法，利用涡流原理确定钢筋信息；声发射检测，监测弹性波信号，用于动态监测结构损伤。

## 2 公路工程中无损检测技术的应用

公路工程包括路基、路面等线性设施，无损检测重点评估结构完整性等。路面检测中，地质雷达测结构层厚度、识别病害；红外热成像敏感于温度异常区域，结合激光断面仪识别表面病害。桥梁结构上，回弹法等评估混凝土强度，超声波CT成像定位隐蔽缺陷；预应力结构检测压浆密实度；半电池电位法等评估钢筋锈蚀。隧道工程里，地质雷达检测衬砌质量，红外热成像探测渗漏水区域。公路工程检测强调连续、高效、大范围覆盖。

## 3 房建工程中无损检测技术的应用

房建工程结构复杂、功能多样，无损检测侧重主体结构安全等。混凝土结构检测用回弹法等综合评估体系；超声波技术识别内部缺陷，对历史建筑等作用不可替代；钢筋配置检测靠钢筋扫描仪<sup>[1]</sup>。砌体结构中，红外热成像等有探索应用。钢结构用多种检测确保焊缝质量。建筑外围护系统用红外热成像定位问题，提升维修效率。既有建筑鉴定加固，无损检测是获取现状数据核心手段，强调局部精准、多角度验证与适应复杂条件。

## 4 共性分析：技术底层逻辑的一致性

尽管应用场景不同，公路与房建工程在无损检测技术层面存在显著共性，主要体现在以下方面：

### 4.1 物理原理的通用性

公路工程（如桥梁、隧道、路面）与房建工程（如楼板、剪力墙、基础）均以混凝土、钢筋、沥青等常见建筑材料为核心构成。这些材料在物理性质上的相似性决定了无损检测所依赖的基本物理机制具有广泛适用性。例如，超声波在混凝土中的传播速度与材料密实度、裂

缝分布密切相关,这一规律在桥梁墩柱与高层建筑核心筒中同样成立;地质雷达(GPR)利用高频电磁波探测钢筋位置或内部空洞,其反射与衰减特性在道路基层与建筑楼板中并无本质区别;红外热成像技术则通过表面温度场反演内部缺陷,无论是检测路面脱空还是墙体空鼓,其热传导模型与边界条件处理方法高度一致。因此,尽管具体应用场景不同,但底层物理模型具有高度通用性,为技术跨领域迁移奠定了科学基础。

#### 4.2 检测目标的趋同性

无论工程类型如何,无损检测的根本目的始终围绕“结构安全”与“性能评估”展开。公路工程关注路面平整度、基层脱空、桥面铺装层剥离等问题,而房建工程则聚焦墙体空鼓、楼板裂缝、混凝土强度不足等隐患。表面上看对象各异,实质上均是对结构完整性、材料均匀性及界面粘结状态的综合判断。例如,“脱空”与“空鼓”虽名称不同,但本质上均为层间分离缺陷,其形成机理、危害特征及检测响应信号具有高度相似性;对混凝土抗压强度的推定,在桥梁承载力验算与建筑结构安全性鉴定中均为核心参数<sup>[2]</sup>。这种目标的一致性促使两类工程在检测指标体系、评价标准乃至验收规范上逐步趋同。

#### 4.3 数据处理方法的相似性

随着数字化与智能化技术的发展,无损检测已从经验判读迈向数据驱动的智能分析阶段。公路与房建工程在信号处理与信息提取方面采用高度相似的技术路径。例如,超声波或冲击回波信号常通过小波变换、希尔伯特-黄变换等时频分析手段提取特征;地质雷达数据普遍采用层析成像(CT)或全波形反演技术重构内部结构图像;在缺陷自动识别方面,支持向量机(SVM)、随机森林、卷积神经网络(CNN)等机器学习模型被广泛应用于两类工程的图像或波形分类任务。这种数据处理范式的统一,不仅提升了检测效率与准确性,也推动了算法模型的通用化开发,使得一套智能分析平台可同时服务于道路巡检与建筑体检。

#### 4.4 设备平台的共享性

当前主流无损检测设备在硬件设计上强调模块化与多功能集成,而非行业专属定制。一台高性能超声波探伤仪既可用于检测桥梁预应力管道压浆密实度,也可用于评估建筑剪力墙内部缺陷;地质雷达主机配合不同频率天线,既能扫描高速公路路基,也能探测地下室底板钢筋排布;红外热像仪在夏季可用于识别屋面渗漏区域,在冬季则可辅助判断外墙保温层脱落。设备的通用性不仅降低了采购与维护成本,也为技术人员跨领域作业提供了便利。此外,随着嵌入式系统与云平台的发展,同

一设备可通过软件升级或探头更换快速切换应用场景,进一步强化了技术平台的共享能力。

### 5 差异分析:应用场景驱动的技术分化

尽管底层逻辑共通,但工程特性的差异导致无损检测在两类工程中的应用呈现显著分化。

#### 5.1 检测对象与尺度差异

公路工程以线性、延展性结构为主,如高速公路、桥梁引道、隧道衬砌等,其检测对象往往长达数公里甚至上百公里,强调“快速、连续、大面积覆盖”。例如,车载式地质雷达(GPR)可在车辆正常行驶状态下对路面结构层厚度、基层脱空等进行连续扫描,单日检测里程可达数十公里,效率优先。而房建工程则以离散、立体、节点密集的建筑单体为核心,如高层建筑的核心筒、转换层、异形柱等,结构复杂且空间受限,检测需“精准、局部、多角度切入”<sup>[3]</sup>。例如,在对剪力墙进行钢筋定位时,常需采用手持式雷达在多个测点进行交叉扫描,并结合超声波验证,以确保钢筋排布与保护层厚度的准确性,精度优先。这种尺度与形态的根本差异,直接决定了检测策略与作业模式的分野。

#### 5.2 检测参数与精度要求不同

公路工程关注的是结构整体性能与服役状态,检测参数多为宏观指标,如路面弯沉值、基层回弹模量、桥面平整度、沥青层均匀性等。对单点数据的绝对精度容忍度较高,例如GPR测厚允许 $\pm 10\%$ 的误差,但要求数据在空间上具有良好的连续性与统计代表性,以支撑大范围路况评估与养护决策。相比之下,房建工程聚焦于关键受力构件的安全性,对局部参数的精度要求极为严苛。例如,《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T50784)规定,钢筋保护层厚度检测误差应控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内;混凝土强度推定必须依据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23)进行碳化深度修正与地区曲线校准。这种“毫米级”精度要求,促使房建检测更依赖高分辨率传感器与精细化操作流程。

#### 5.3 环境干扰因素差异

公路检测多在开放外场进行,面临动态交通流、强电磁干扰(如邻近高压输电线、通信基站)、昼夜温差大、雨雪风沙等复杂环境挑战。这要求检测设备具备高抗干扰能力、宽温域适应性及快速部署能力。例如,红外热像仪在桥梁检测中需克服阳光反射与风冷效应的影响,常需在黎明或夜间作业。而房建检测多在施工阶段或室内环境中开展,环境相对可控,干扰源较少,但需应对建筑几何形态复杂带来的信号问题,如曲面墙体导致雷达波散射、异形柱角部产生超声波绕射等,需通过

多角度扫描或信号补偿算法予以校正。

#### 5.4 标准规范体系分立

目前我国无损检测标准体系按行业划分,形成“公路”与“房建”两套并行规范。公路领域以《公路工程无损检测技术规程》(JTG/T3221)、《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/TJ21)为代表,强调检测流程的标准化与数据的可比性;房建领域则以《建筑结构检测技术标准》(GB/T50344)、《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T50784)为核心,侧重构件级安全评定与材料性能验证<sup>[4]</sup>。两类标准在方法选用(如是否允许单一回弹法推定强度)、数据处理(如是否需进行温度修正)、结果判定阈值(如裂缝宽度限值)等方面存在差异,客观上形成了技术应用的“行业壁垒”,限制了跨领域技术成果的直接迁移。

#### 5.5 技术发展侧重点不同

受工程特点驱动,两类工程在技术演进路径上也呈现不同取向。公路工程更强调“自动化、无人化、高效率”,如发展无人机搭载红外或激光雷达对桥梁进行空中巡检,或部署自动驾驶检测车实现全天候路面状况监测;而房建工程则追求“精细化、集成化、智能化”,如将无损检测数据与BIM模型深度融合,实现缺陷三维可视化与结构健康状态动态更新,或开发集超声、雷达、红外、回弹于一体的多功能手持检测终端,提升单点检测信息密度。这种差异化发展,既反映了工程需求的多样性,也预示着未来技术融合需在标准统一与平台互通上取得突破。

### 6 趋势与展望:走向融合与智能

面对基础设施全生命周期管理的新需求,公路与房建工程的无损检测技术正呈现融合发展趋势:

#### 6.1 技术标准的协同化

推动建立跨领域的无损检测通用技术框架,在物理原理、数据格式、误差控制等基础层面实现统一,同时保留行业特定的评价细则,形成“基础统一、应用分化”的标准体系。

#### 6.2 多源信息融合

将公路的连续监测数据与房建的精细点测数据融合,

构建城市基础设施“数字孪生”模型。例如,利用城市道路雷达数据反演地下管网状态,结合周边建筑沉降监测,实现区域风险协同预警。

#### 6.3 人工智能深度赋能

基于深度学习的大模型可跨领域学习缺陷特征。训练一个融合公路桥梁裂缝与建筑墙体裂缝的通用识别模型,提升算法泛化能力。同时,AI可自动校正不同场景下的参数偏差,实现“一机多用”。

#### 6.4 传感器微型化与物联网化

发展低成本、低功耗的嵌入式无损传感器(如光纤光栅、压电陶瓷),在新建公路桥梁与高层建筑中预埋,实现服役期结构健康的长期、实时、无感监测。

### 7 结语

无损检测技术在公路与房建工程中的应用,既体现了物理原理与检测目标的深层共性,又呈现出由工程特性驱动的显著差异。共性在于技术底层逻辑的普适性、检测目标的一致性 & 数据处理方法的趋同;差异则体现在检测尺度、精度要求、环境适应性、标准体系及发展路径等方面。未来,随着智能建造与智慧城市的发展,打破行业壁垒、推动技术融合已成为必然趋势。应着力构建统一的基础技术标准,发展跨领域的智能分析平台,促进无损检测从“行业专用工具”向“基础设施通用感知手段”演进。唯有如此,方能真正实现对国家基础设施安全的全域、全时、全要素智能守护。

### 参考文献

- [1]卢滨滨.公路工程质量试验检测中的无损检测技术应用分析[J].汽车周刊,2025,(07):50-52.
- [2]俞家敏.房建主体结构混凝土强度的无损检测试验[J].建材发展导向,2025,23(18):106-108.
- [3]陈建军,袁科钧.公路工程质量试验检测中的无损检测技术应用分析[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第五届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流论文集.杭州尚林建设有限公司;浙江顺畅高等级公路养护有限公司,;2025:413-414.
- [4]刘志豪.混凝土结构缺陷的无损检测方法的试验研究[J].陕西水利,2022,(05):16-18.