

公路路基路面压实质量检测技术优化及工程应用研究

李磊

安徽省七星工程测试有限公司

【摘 要】公路路基路面压实质量直接决定公路工程的承载能力、稳定性和使用寿命，是公路工程质量控制的核心环节。当前传统压实质量检测技术存在效率低下、检测精度不足、对路面破坏性强、数据滞后等问题，难以满足现代公路工程规模化、精细化施工的需求。本文结合公路工程施工实际，系统分析现有路基路面压实质量检测技术的应用现状及不足，从检测方法、设备性能、数据处理、流程管控四个维度提出针对性优化策略，结合具体工程案例验证优化技术的可行性和应用效果，为公路路基路面压实质量检测工作提供理论支撑和实践参考，推动公路工程质量管控水平提升。

【关键词】公路工程；路基路面；压实质量；检测技术；优化策略；工程应用

引言

随着我国交通运输事业快速发展，公路建设规模不断扩大，对工程质量的要求日益提高。路基路面作为公路工程的核心结构，其压实质量直接影响公路承载能力、抗变形能力和耐久性。压实作业的核心是通过外力减少路基路面材料孔隙率，使颗粒紧密排列，提升结构密实度和强度，避免后期出现沉降、开裂、车辙等病害，保障行车安全和使用寿命。相关统计显示，约 30% 的道路质量类交通事故与路基压实度不足有关，道路全寿命周期内，因压实度不足导致的维修重建成本可增加 20%—50%。因此，压实质量检测作为质量控制的关键手段，其科学性、准确性和高效性至关重要。当前我国公路路基路面压实检测仍以灌砂法、环刀法等传统方法为主，这类方法虽发挥过作用，但随着公路向高等级、复杂地质方向发展，局限性日益凸显：抽样检测效率低、易漏检，部分方法具有破坏性，数据采集处理依赖人工、反馈滞后，难以适配规模化、精细化施工需求。基于此，开展检测技术优化研究，结合现代信息技术实现精准、高效、无损检测，对保障工程质量、降低成本、提高效率具有重要理论和实践价值。

一、公路路基路面压实质量检测技术现状及存在问题

（一）常用检测技术及应用现状

公路路基路面压实检测技术分为传统与新型两大类，传统技术应用广泛，新型技术正逐步推广。

传统检测技术中，灌砂法适用于各类土路基，精度较高，但操作繁琐、耗时久（单个点位 30—60 分钟）且具有破坏性；环刀法适用于细粒土，操作简便，但取样易扰动土体，受人为影响大，适用性有限；核子密度仪法无损、高效，适用于各结构层检测，但设备成本高、有辐射隐患，精度受含水量、颗粒组成影响较大；贝克曼梁法用于路面弯沉检测，操作简便，但效率低、精度受环境和荷载影响。新型检测技术中，地质雷达法利用电磁波实现无损、连续、大面积检测，适用于快速筛查，但受地质条件和检测深度影响，对操作人员专业要求高；超声波检测法无损便捷，但精度受材料性质、温度影响有待提升；连续压实控制法通过压路机搭载传感器和北斗定位模块，实时采集参数并生成压实热力图，可避免欠压、过压，提升均匀性，但设备投入高，中小规模工程应用较少。总体而言，当前检测仍以传统技术为主，新型技术因成本、技术门槛限制应用有限，实际检测中存在方法单一、精度不足、效率低下等问题。

（二）现有检测技术存在的主要问题

1. 检测效率低下，难以适配大规模施工

传统检测多为抽样检测，操作繁琐、效率极低，无法满足高等级公路快速施工需求，常导致检测滞后于施工，无法及时发现质量隐患。同时，抽样检测覆

盖面不足，易漏检薄弱区域，难以反映整体压实均匀性，后期易出现沉降、开裂等病害。

2. 检测精度不足，受多种因素影响

现有检测精度受人为操作、环境条件、材料性质等多重影响：灌砂法受标准砂标定、试坑开挖等因素影响，人为误差大；环刀法取样易扰动土体，结果偏离实际；核子密度仪法精度受含水量等因素波动较大。此外，不同检测方法缺乏统一校准标准，数据可比性差，难以准确评价压实质量。

3. 部分检测方法具有破坏性，影响施工进度和质量

灌砂法、环刀法等破坏性检测会破坏路基路面结构，检测后需回填压实，增加工作量、延误工期，且回填不密实可能留下新的质量隐患；对路面面层检测还会影响平整度和美观度，增加后期修复成本。

二、公路路基路面压实质量检测技术优化策略

针对现有问题，结合现代公路施工特点，从检测方法、设备性能、数据处理、流程管控四个维度，提出优化策略，实现压实检测精准化、高效化、无损化和智能化。

（一）优化检测方法，实现多元化、无损化检测

1. 推广新型无损检测技术，替代传统破坏性检测

结合工程实际，推广连续压实控制法、地质雷达法等新型无损技术，逐步替代传统破坏性方法。路基检测采用连续压实控制法，通过压路机搭载加速度、压力传感器和北斗定位模块，实时采集参数并生成压实热力图，及时发现欠压、过压区域，指导参数调整；路面面层检测采用地质雷达法，快速扫描并分析密实度、孔隙率，效率较传统方法提升5—10倍。同时，形成“新型检测+传统检测”体系，如核子密度仪快速筛查、灌砂法精准验证，兼顾效率与精度。

2. 优化抽样检测方案，提高检测覆盖面

采用“随机抽样+重点抽样”结合模式，扩大覆盖面、提升代表性：按规范随机抽样，对路基边坡、桥台背等重点区域增加抽样频率。利用新型技术连续检测优势，弥补抽样不足，实现全区域无死角检测；建立检测点位数据库，统一编号定位，避免重复或漏检，提升检测规范性。

（二）提升检测设备性能，实现设备智能化、标准化

1. 升级检测设备，提升检测精度和稳定性

淘汰老化设备，引进先进智能化检测设备：升级核子密度仪，减少环境影响；采用高精度贝克曼梁，降低检测变形误差。同时，定期校准维护设备，建立校准档案，确保设备处于良好工作状态，避免设备误差影响检测结果。

2. 融合现代信息技术，实现设备智能化

将物联网、大数据、人工智能与检测设备融合，实现智能化升级：安装物联网模块，实现数据实时采集、传输和存储，避免人工记录丢失；利用人工智能自动分析数据、判断质量、生成报告，减少人工干预。开发智能化检测管理平台，整合检测数据、施工进度等信息，方便人员实时查看、及时调整施工参数。

（三）优化数据处理流程，实现数据自动化、精准化分析

1. 建立自动化数据采集与传输系统

摒弃传统人工采集传输模式，在检测设备上搭载智能数据采集模块，自动采集密度、含水量、压实度等关键参数，经物联网实时传输至智能化管理平台，有效避免人工录入误差。同时建立数据自动备份机制，确保数据完整、可追溯，为后续质量分析提供可靠的数据基础。

2. 采用智能化数据处理技术，提高分析精度

充分利用大数据与人工智能技术，建立压实质量智能评价模型，实现数据自动分析、合格性智能判断，并自动生成整改建议。通过数据挖掘深层次识别质量影响因素，为施工工艺优化提供科学支撑。此外，建立数据校准机制，消除不同检测方法与设备间的系统偏差，提升数据的可比性与准确性。

3. 实现数据实时反馈，指导现场施工

优化数据处理流程，大幅缩短分析响应时间，实现检测数据实时反馈指导施工。以连续压实控制技术为例，平台对采集数据进行实时分析并发出预警信号，施工人员据此及时调整压路机行驶速度、碾压遍数等参数，实现“检测—反馈—调整”同步推进，做到边施工、边纠偏。

（四）完善检测流程管控，实现全过程、精细化管理

1. 建立事前、事中、事后全过程检测管控体系

打破传统“事后检测”的被动模式，构建全过程管控体系。事前对路基路面材料进行全面检测，确保各项指标符合规范要求，为工艺参数优化提供数据依据；事中采用连续压实控制等技术实时监测施工过程，发现偏差及时调整参数，做到边施工边纠偏；

事后通过钻芯取样、弯沉检测等手段全面评价质量,对不合格区域精准定位并整改,形成“检测—评价—整改—复检”闭环管理。

2. 加强检测人员管理,提高专业水平

检测人员素质直接影响数据可靠性,应从三方面加强管理:一是建立常态化培训体系,定期开展检测技术、新规范解读及设备操作培训;二是完善考核上岗机制,理论与实操考核合格后方可上岗;三是强化职业道德教育,严格落实“谁检测、谁签字、谁负责”制度,坚决杜绝弄虚作假,确保检测数据真实可靠。

3. 建立检测质量追溯体系,强化责任落实

对每次检测的点位、时间、人员、设备及数据等信息进行完整记录并归档,实现全程可追溯,便于快速定位问题、明确责任人。同时建立奖惩激励机制,对工作认真、数据准确的人员给予表彰奖励,对失职造假者严肃追责,切实提升检测人员的积极性与责任心。

三、工程应用案例分析

(一) 工程概况

某高速公路项目全长 45km,设计时速 120km/h,路基宽度 27m,路面为沥青混凝土面层、水泥稳定碎石基层,路基填料为粉质黏土和砂类土,部分路段为软土路基,施工难度大。项目面临传统灌砂法效率低、软土路基压实均匀性差、数据反馈滞后等问题,采用“连续压实控制法+地质雷达法+核子密度仪法”多元化检测体系,结合智能化平台实现全程管控。

(二) 优化检测技术的应用

1. 路基压实质量检测优化应用

路基检测以连续压实控制法为主、核子密度仪法为辅:压路机搭载传感器和北斗定位模块,实时采集参数并传输至平台,生成压实热力图,及时调整压实参数;核子密度仪抽样验证,重点区域增加抽样频率,数据自动采集分析并实时反馈。

2. 路面压实质量检测优化应用

基层检测采用地质雷达法连续筛查+核子密度仪精准验证,效率较传统方法提升 8 倍以上;面层采用地质雷达法+超声波检测法,分别检测密实度、孔隙率和厚度、压实均匀性,实现无损精准检测。检测数据自动处理分析,不合格区域及时整改复检。

(三) 应用效果分析

项目采用优化技术后效果显著:1. 检测效率提升 5—10 倍,路基检测每公里耗时从 8 小时缩短至 2 小时,路面从 6 小时缩短至 1 小时,适配大规模施工;

2. 检测误差控制在 $\pm 2\%$ 以内,较传统方法 ($\pm 5\%$) 大幅降低,避免漏检,压实均匀性提升;3. 路基压实度合格率从 88% 提升至 98.5%,路面从 90% 提升至 99%,软土路基无后期沉降开裂;4. 减少破坏性检测和后期整改,累计降低成本约 120 万元;5. 智能化平台实现精细化管理,质量管控水平显著提升。该案例验证了优化技术的可行性和应用价值。

四、结语

本文通过分析现有检测技术现状及问题,提出多维度优化策略,结合工程案例验证,得出以下结论:

1. 当前公路压实检测以传统技术为主,存在效率低、精度不足、破坏性强等问题,难以适配现代施工需求;2. 通过推广新型技术、优化抽样方案、升级设备、融合信息技术、完善管控体系,可实现检测精准化、高效化、全程化;3. 工程案例表明,优化技术能显著提升检测效率和质量,降低成本,具有广泛应用价值。未来压实检测技术将向智能化、精准化、无损化、一体化发展;4. 研发无人机遥感、激光雷达等新型检测技术,实现全区域无死角检测;5. 深化信息技术与检测技术融合,升级智能化平台,实现数据一体化管控;6. 建立全国统一检测标准和数据库,推动质量管控标准化;7. 降低设备成本和技术门槛,推广至中小规模工程,提升公路工程整体质量。总之,压实检测技术优化是提升公路质量的关键,需结合工程实践持续创新,推动技术升级应用,为交通运输事业健康发展提供保障。

参考文献:

- [1] 刘长胜. 路基路面压实在公路施工中的应用分析 [J]. 山西建筑, 2018, 44(20): 139-140.
- [2] 杨志涛. 落锤式弯沉仪快速检测高速公路路基质量研究 [J]. 交通世界, 2021(31): 95-97.
- [3] 周伟. 解析公路施工路面路基压实技术 [J]. 江苏科技信息, 2017(05): 57-58.
- [4] 李沛峰. 公路路基路面压实技术与质量控制解析 [J]. 居业, 2022(03): 27-28+32.
- [5] 叶莹玉. 公路工程路基路面压实施工技术应用探讨 [J]. 居舍, 2021(20): 63-64.
- [6] 张军. 公路工程中路基路面压实施工的技术要点 [J]. 四川建材, 2021, 47(03): 149-150.
- [7] 钟哲涛, 徐亮. 公路路基路面压实施工技术应用 [J]. 运输经理世界, 2020(04): 92-94.