

沥青路面压实质量监控的创新方法与效果评估

田 宏

交科(天津)智能交通发展有限公司 天津 300000

摘 要: 针对沥青路面传统压实质量监控时效性差、精准度低、管控覆盖面窄、数据追溯性弱等问题,本文依托物联网、大数据及无损检测技术,构建智能动态压实监控、连续无损检测及全过程闭环管控的创新方法。通过高速公路试验段开展新旧工艺对比试验,从施工质量、效率、成本及病害控制多维度完成效果评估。结果表明,创新方法可显著提升路面压实均匀性与合格率,降低施工损耗及后期病害率,同时指出技术现存短板并提出优化策略。

关键词: 沥青路面压实; 质量监控; 创新方法; 效果评估

引言: 沥青路面压实质量直接决定道路平整度、耐久性及行车安全性,是道路施工核心管控环节。传统人工巡查、事后抽样检测的管控模式高度依赖人工经验,存在管控滞后、质量盲区多、数据碎片化等缺陷,难以适配现代化高标准道路施工需求。为破解传统管控痛点,本文探究智能化、数字化的压实质量监控创新技术,搭建全流程质量评估体系,结合工程实例验证技术应用价值,为沥青路面压实施工提质增效提供技术参考。

1 沥青路面压实质量传统管控技术及问题分析

1.1 沥青路面压实质量核心影响因素

(1) 材料因素: 混合料级配影响骨架嵌挤与孔隙率,偏细或偏粗均降低密实度; 沥青黏度随温变显著,高黏度增大集料摩阻,压实困难; 温度过低削弱润滑作用,过高则导致老化或推移; 集料棱角性、针片状含量及表面纹理影响压实功传递效率。(2) 施工工艺因素: 碾压速度过快缩短有效压实时间,过慢易过压或推移; 遍数不足密实度不达标,过多则集料破碎或沥青膜剥离; 碾压温度须控制在合理区间,低温难以消除初始空隙; 碾压组合方式(初压、复压、终压的机型与顺序)决定能量传递与分布均匀性。(3) 环境与设备因素: 环境低温加速混合料降温,缩短有效窗口; 湿度与风速影响表层降温速率及润滑效果; 压路机激振力、频率、振幅与摊铺厚度不匹配,影响深层压实; 设备传感器校准偏差致实际输出与控制参数不一致,引发质量失控。

1.2 传统压实质量监控常用方法

(1) 人工现场巡查监控: 由现场管理人员及技术人员通过对碾压作业面的目测观察,结合手持式温度计抽检混合料温度,凭经验判断碾压工艺执行是否

规范,对压路机的行驶速度、重叠轮迹、碾压段落衔接等进行实时监督,及时叫停违规操作行为。(2) 事后抽样检测方法: 主要包括钻芯法(通过现场取芯测量密度及空隙率,精度较高但具破坏性)、核子密度仪法(利用放射源快速测定现场密度,检测效率较高但存在辐射安全隐患)、无核密度仪法(基于电磁感应原理实现无损检测,可快速获取测点密度数据)等常规手段,用于压实完成后对密实度的量化评定^[1]。(3) 静态数据记录监控: 通过人工填写施工记录表格的方式,对碾压设备的型号、碾压速度及遍数、各碾压阶段的起止温度、施工起止时间等工艺参数进行纸质或电子台账记录,同时汇总各类检测数据,形成压实质量的过程管理档案。

1.3 传统监控方法存在的核心问题

(1) 监控时效性差: 现有方法多为压实完成后的抽样检测,属于“死后验尸”型管控模式,无法在碾压过程中实时发现欠压、过压、漏压等问题,质量问题暴露时已施工段落较长,整改须采取返工、补压等措施,造成工期延误及资源浪费。(2) 监控精准度不足: 现场巡查依赖人员经验与主观判断,缺乏量化数据支撑; 传统密度检测方法受操作手法、仪器标定状态、测点选取代表性等因素影响,检测结果存在一定误差,难以精准反映全路段的压实质量分布与均匀性状况。(3) 管控覆盖面有限: 受检测效率与成本的制约,传统方法仅能采用抽样检测方式,检测点位数量有限,无法覆盖全部施工段落,局部区域存在的压实薄弱带难以有效排查,存在质量盲区与隐蔽风险。(4) 数据追溯性薄弱: 传统数据采用人工记录方式,记录内容碎片化且易缺失,纸质台账不易长期保存与检索,各工序环节数据之间缺乏有

效关联,无法实现施工全过程的压实质量数据溯源,质量管控闭环不完善。

2 沥青路面压实质量监控创新方法研究

2.1 智能动态压实监控技术

(1) 技术原理:基于物联网感知体系,在压路机关键部位布设高灵敏度温度传感器、振动传感器及速度编码器,结合北斗高精度定位模块,对碾压作业过程中的速度值、温度衰减曲线、碾压轨迹遍数、振动频率及压实度动态响应指标进行秒级实时采集。传感器信号经模数转换后,通过车载边缘计算终端完成数据预处理与时间空间同步标记,实现碾压作业参数的数字化表征与动态追踪。(2) 系统架构:整体架构划分为三个层次。前端数据采集层由各类传感器、定位终端及车载工控机组成,负责原始数据的获取与本地缓存;中端数据传输层依托 5G 或无线局域网技术,将前端汇聚的数据以毫秒级延时上传至云端服务器,确保传输链路的稳定与高效;后端数据分析与预警层部署智能算法引擎,对数据进行清洗、融合与深度挖掘,通过可视化仪表盘实时呈现碾压热力图、遍数覆盖图及参数偏差趋势,一旦指标越限即刻触发分级预警并推送至管理终端,形成全链条闭环监控体系^[2]。(3) 技术优势:该技术将质量管控节点前移至压实作业进行中,实现全过程、全断面的实时监控。通过连续追踪轮迹覆盖状态与参数符合性,能够精准识别漏压区域与过压风险,及时干预纠偏,从源头消除质量隐患;同时监控数据的图形化呈现使管理层可远程掌握现场动态,有效提升施工标准化水平与管理效率。

2.2 无损连续压实检测创新方法

(1) 激光平整度与密实度联动检测技术:采用车载式激光扫描装置,在检测车匀速行进过程中对路面横向剖面实施高频连续扫描,获取高密度三维点云数据。通过解析激光回波强度与路面介质密实程度之间的相关性,结合平整度断面分析算法,可同步反演路面平整度指标与表层压实密实度分布,实现非接触式、连续化、高效率的综合检测,避免传统点式检测的采样盲区^[3]。(2) 超声波无损压实检测技术:利用超声波在沥青混合料中传播速度与材料密度之间的定量关系,将超声换能器阵列贴近路面发射脉冲声波,接收并分析回波信号的传播时间、波幅衰减系数及频谱特征,据此精准判定混合料的压实密实度。该技术无辐射危害、无破损损伤,可对同一测点重复验证,且对表层以下一定深度范围内的压实状况同样具备识别能力,弥补了传统钻

芯法的结构性破坏缺陷。(3) 大数据拟合修正检测模型:针对无损检测结果易受混合料类型、级配波动、温湿度环境等因素干扰的局限,系统采集施工现场的材料参数、环境条件及少量钻芯标定数据,构建多源数据融合的修正模型。通过机器学习算法对海量检测样本进行训练与验证,动态优化模型拟合系数,有效抑制无损检测的系统偏差,使检测精度逐步逼近钻芯法水平,为连续质量评定提供可靠的数据基础。

2.3 全过程闭环质量监控模式

(1) 施工前预控:在摊铺作业启动前,将混合料配合比、原材料性能指标、气象预报及工期要求等基础参数输入智能预控系统,借助大数据模拟技术对不同碾压组合方案进行仿真比选,输出涵盖初压温度、碾压速度、振频振幅及段落划分的最优工艺参数组合,形成针对具体工况的个性化施工指导方案。(2) 施工中实时管控:在压实作业进行阶段,依托智能动态监控系统对速度、温度、遍数等关键参数实施动态跟踪与实时比对。一旦识别出参数漂移或轮迹覆盖异常,系统立即向操作手与现场工程师发送纠偏指令,支持远程参数调整与操作干预,确保各施工段落始终运行于受控状态,有效遏制不规范作业行为。(3) 施工后精准复盘:碾压施工完成后,系统自动汇集从预控阶段到施工阶段的全流程数据链,形成包含时空轨迹、参数记录及检测结果的数字档案。基于该档案完成压实质量的逐段评定、异常事件追溯归因及工艺执行效果综合评估,最终输出复盘报告,实现“预控—监控—评价—追溯”的全链条闭环管理,为后续工程提供可复用的知识经验^[4]。

3 沥青路面压实质量创新监控方法应用效果评估

3.1 效果评估体系构建

(1) 评估指标选取:围绕压实质量管控全链条,系统确定六大核心评估指标。压实密实度合格率反映路面整体压实达标水平;路面均匀性表征碾压后密实度分布的离散程度;施工效率涵盖摊铺碾压进度与检测环节耗时;检测精准度衡量监控数据与真实密实度的吻合程度;成本控制包含检测投入、返工损失及设备运维费用;病害发生率追踪通车后期车辙、裂缝等早期损坏状况。(2) 评估标准制定:依据《公路沥青路面施工技术规范》及项目设计文件要求,针对各评估指标划定分级标准。合格标准以规范最低要求为基准线,优秀标准则在基准线上提高一定幅度,量化设定优秀、良好、合格、不合格四个等级,使评估结果具备明确的可比性与导向性。(3) 评估方法选择:采用对比分析法对传统方法与创新方法进行同条件比

对;运用层次分析法构建指标权重矩阵,确定各指标对综合效果的贡献度;辅以综合评分法将各指标量化赋分并加权汇总,实现定量数据与定性判断的有机结合,形成全方位、多角度的评估结论。

3.2 工程实例应用对比分析

(1) 工程概况:选取某高速公路沥青路面上面层施工试验段开展应用验证。该路段长度约2公里,铺筑厚度4cm,采用SBS改性沥青AC-13C型混合料,配备双钢轮振动压路机3台、轮胎压路机1台。施工期间环境温度28~34℃,风力2~3级,具备良好的对比试验条件。(2) 传统方法应用效果:在试验段前500m采用传统人工巡查与钻芯抽样检测模式。统计结果显示,压实密实度合格率为92.5%,路面均匀性变异系数为4.2%;检测环节耗时约6小时/公里,后期追踪显示早期病害发生率为3.8%。因抽样检测存在漏检,局部薄弱带在通车后显现横向裂缝,返工修复增加成本约2.6万元。(3) 创新方法应用效果:在试验段后500m同步启用智能动态监控与无损连续检测技术。系统实时追踪碾压轨迹与参数符合性,及时预警并纠正欠压区域3处。最终压实密实度合格率为98.2%,均匀性变异系数降至2.1%;检测耗时缩减至1.5小时/公里,全过程实现数据自动记录归档,未出现早期病害报告。(4) 新旧方法对比总结:与常规工艺段相比,创新方法在压实均匀性、检测时效性及数据完整性方面均显著提升,密实度合格率提高5.7个百分点,检测效率提高约70%,病害发生率降低3个百分点以上,质量管控由经验依赖向数据驱动转变,综合效益突出^[5]。

3.3 创新方法应用优势与现存不足

(1) 应用优势:创新方法实现了压实质量的实时监控与连续检测,监控覆盖面由点状抽样扩展至全断面覆盖,有效杜绝漏压、欠压隐患;检测数据自动采集、传输与存储,构建完整质量追溯链条;预警机制将质量问题发现节点大幅前移,避免返工浪费,综合质量水平和施工效能均有显著提升。(2) 现存不足:智能监控设备初始投入较高,单套系统采购及安装费用约为传统检测设备数倍;复杂工况下传感器信号易受高温振动干扰,数据稳定性有待提升;系统操作界面专业性强,现场人

员需经系统培训方能熟练运用,技术门槛在一定程度上限制了推广应用速度。

3.4 优化改进策略

(1) 设备与技术优化:简化智能监控设备人机交互界面,开发一键式启动与自动校准功能;优化振动信号滤波算法,增强高温、高湿等复杂施工环境的抗干扰能力;推动设备小型化与集成化,降低现场部署难度。(2) 施工管控优化:制定与创新监控方法相配套的施工操作规程与质量控制标准,明确各环节技术要点;建立分层次培训体系,定期组织操作人员技能考核与实操演练;完善现场管控联动机制,确保预警响应及时有效。(3) 成本优化:优化设备配置方案,根据工程规模合理选配监控终端数量,避免资源冗余;推行区域化规模化应用模式,通过设备周转使用降低单项目摊销成本;鼓励设备租赁与技术服务外包,降低一次性投入压力,提高技术推广的经济可行性。

结束语

本文系统梳理沥青路面压实传统管控问题,创新构建智能化动态监控、无损连续检测及闭环管控体系,经工程实践证实,新型监控方法可有效提升压实质量与施工效率,减少工程返工及早期路面病害,实现压实质量从事后整改向事前预控、事中监管的转变。针对设备成本高、复杂工况稳定性不足等问题,后续可持续优化设备技术、管控体系与成本模式,推动智能压实监控技术规模化普及应用。

参考文献

- [1] 赵瑞东. 智能压实系统在高速公路沥青路面施工中的应用及质量评价 [J]. 中国公路学报, 2024, 37(03): 112-120.
- [2] 许家璐, 薛斌, 阙云. 沥青路面智能压实监测参数优化与质量评价方法 [J]. 公路交通科技, 2025, 42(04): 45-53.
- [3] 朱慧芳. 基于 SmartRock 智能传感的沥青路面压实细观监控技术研究 [J]. 中外公路, 2024, 44(02): 167-172.
- [4] 杨贤, 李亮. 基于振动能量指标的沥青路面压实质量实时监控方法 [J]. 土木工程学报, 2023, 56(08): 98-105.
- [5] 刘浏. 激光扫描技术结合智能碾压的沥青路面压实质量监控应用 [J]. 广东交通职业技术学院学报, 2025, 24(01): 32-37.