

市政道路施工中沥青路面平整度控制技术研究

郭士清, 董忠杰, 杨龙飞

(山东诚通市政工程有限公司, 山东 菏泽 274000)

摘要 市政道路沥青路面平整度直接决定了通行安全性、舒适性及路面耐久性。施工工序衔接不畅、参数管控粗放、智能化应用不足等问题导致平整度达标率偏低。本文聚焦施工全流程核心影响环节, 重点分析摊铺—压实关键工序的控制技术, 明确路基—基层基础质量、摊铺压实参数协同、接缝处理工艺等核心影响因素, 提出“智能参数调控+工艺优化+数字化管控”三维控制技术体系, 构建摊铺速度自动补偿、压实参数动态适配、全过程数字化监控等关键技术方案, 以为市政道路沥青路面平整度控制提供有益参考。

关键词 市政道路; 沥青路面; 平整度; 摊铺压实

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.07.038

0 引言

市政道路是城市交通体系的关键组成部分, 其施工品质对交通通行效率和市民出行体验起着决定性作用。沥青路面因为具备行驶平稳、噪声较小以及施工简便等特点, 已经成为市政道路工程的首选材料。路面平整度是衡量沥青路面品质的核心要素, 会显著影响车辆行驶的平稳程度和路面的使用年限。鉴于市政工程常面临施工空间有限、交通干扰频繁以及工序交叉复杂等特殊情况, 当前平整度控制存在工序衔接不畅、参数变化剧烈和智能化管理不足等问题, 容易导致路面出现波浪状、接缝处台阶差和局部沉降等缺陷, 亟需采取针对性改进措施。目前针对市政施工特点的“多要素协同与智能化管理”模式还未成型, 立足于摊铺与压实这两大核心环节, 融合数字化手段提出专属解决方案具有创新意义。

1 沥青路面平整度相关理论概述

路面平整度指的是路面表面和理想平面之间存在的偏差情况, 这是评价工程品质以及服务效能的重要参数。其主要评估方法有两种, 首先是国际平整度指数也就是 IRI^[1], 该数值是基于车辆行驶时的垂直振动来表征路面整体平整状况, 单位为米/千米, 数值越低就代表路面越平整; 其次是 3 米直尺最大间隙, 此方法用于检测路面局部的平整度, 单位是毫米, 能直观反映路面的凸起或凹陷情况。考虑到市政工程的具

体特点, 实际检测采用“车载激光连续检测与 3 米直尺定点核查相结合”作业方式, 目的是确保检测过程既快速又准确。

从平整度作用的基本原理来进行分析, 首要因素是施工误差出现逐步累积情况, 在道路建设这个环节当中, 各工序的参数变化会产生叠加效应, 像路基压实形成的误差、基层平整度欠佳等前期缺陷, 会在后续摊铺与压实阶段被进一步放大, 进而对路面整体平整性产生不利影响。其次是材料与工艺的协同作用原理^[2], 混合料的级配组成、沥青含量等特性指标, 需要和摊铺速率、压实温度等操作参数实现高度协调, 若配合不当易造成路面压实度不均、材料离析等问题, 最终导致路面平整度出现下降状况。最后是市政工程所具有的独有特性, 城区施工场地普遍存在受限情况, 交通繁忙且多工种交叉作业较为频繁, 这些条件制约了施工设备的作业范围, 导致摊铺压实作业难以连续开展, 这要求采用的控制技术须具备良好环境适应性与精确控制能力。

2 市政道路沥青路面平整度核心影响因素聚焦分析

2.1 前期准备阶段关键影响因素

路基和基层作为道路的承重结构部分, 它们的施工质量直接关联着路面的平整持久性, 要是路基压实度不均匀且低于 95% 的标准要求, 在行车作用之下就容易引发不均匀沉降现象, 基层横坡误差要是超过 $\pm 0.3\%$,

作者简介: 郭士清 (1995-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 市政道路施工。

会造成排水不顺畅进而加速局部区域的侵蚀下沉情况。当基层平整度误差大于 3 毫米的时候, 沥青面层将很难进行有效修正最终影响整体路面平整度。工程实测数据表明, 路基压实度每下降 1%, 路面后续沉降量会增大 0.8 ~ 1.2 毫米, 基层平整度每增加 1 毫米误差, 沥青面层的整平难度会相应提高 30%。当混合料级配偏离设计规范要求时, 拌合过程当中容易产生材料分离的现象, 粗集料富集区域经过碾压之后会形成凸起, 细集料集中区则会出现凹陷。沥青用量如果超过 5.5% 会导致高温条件下材料出现流动变形, 而低于 4.5% 则会削弱黏结力造成路面松散, 改性剂选择不恰当。

2.2 核心施工阶段关键影响因素

摊铺作业对保障路面平整度起着关键作用, 其工艺参数的稳定性直接决定表面最终品质, 摊铺机运行速度要超出 ± 0.5 千米/小时的稳定范围, 会让铺层厚度产生 3 毫米至 5 毫米误差进而形成明显波纹。当熨平板工作温度低于 100 摄氏度时, 会因混合料与平板黏附造成表面拉毛, 若温度高于 150 摄氏度, 混合料会因过热而流动变形。振捣频率若低于 500 次/分钟, 会导致材料压实度不达标, 超过 800 次/分钟又会引起骨料分离最终造成密实度分布不均。接缝处理工艺粗糙现象较为严重, 横向接缝若采用直接平铺且未预先切割, 会形成高达 3 毫米至 5 毫米的高差, 纵向接缝采用冷接方式时, 若压实不充分, 极易出现宽度普遍在 8 厘米至 15 厘米之间的疏松凹陷区域。碾压工艺的质量是决定路面密实度和平整度的根本所在, 若压实设备组合不当, 单独使用钢轮压路机会造成表层光滑但内部压实不足, 仅采用胶轮压路机则易留下深度为 2 毫米至 3 毫米的轮痕。

2.3 辅助影响因素

当运输里程超过 5 千米或者耗时超过 2 小时的时候, 混合料降温速率将会超过 5 摄氏度/小时且工作性能明显下降, 要是没有采用篷布覆盖来进行保温, 表层热量散失速度会加快一倍进而导致材料板结。当卸料高度超过 1.2 米的情况下, 混合料在下落过程中会出现粗细骨料分离现象且离析程度增加 40%, 摊铺后局部平整度偏差扩大 1 ~ 2 毫米^[3]。若养护时间不足 48 小时就开放交通, 此时材料强度还未达到设计要求(通常要求不低于设计强度的 80%), 在车辆碾压下容易出现车辙凹陷且凹陷深度可达 2 ~ 4 毫米, 超载车辆(轴重超过 10 吨)通行或者频繁急刹变道, 会加剧局部应力集中并使平整度劣化速度加快 2 ~ 3。

2.4 影响因素耦合作用分析

多个影响因素不是单独发挥作用, 而是相互交织产生协同效应。例如: 当路基压实度没有达到标准, 同时摊铺速率存在波动且压实温度较低时, 路面不平整的概率会上升 60%, 如果混合料发生离析现象并且伴随碾压速度过快, 那么平整度超标的概率将提高 50%。基于耦合矩阵的分析表明, 路基与基层质量和摊铺参数的协同效应对平整度影响最为显著, 其权重占比达到 45%, 其次是混合料特性与压实参数的耦合作用占比 30%。

3 市政道路沥青路面平整度关键控制技术优化

3.1 摊铺施工精细化控制技术

本系统将 GPS 定位和速度传感技术融合在一起, 通过借助 PID 控制算法来实时校准摊铺机运行速度, 以此确保其速度波动幅度不会超过 ± 0.3 千米/小时, 进而让摊铺厚度误差能够维持在 ± 2 毫米以内。速度传感器会持续不断地监测行驶数据并与既定目标值进行比对, 一旦监测数据超出容差范围, 控制器就会立即触发指令去调节液压系统, 从而控制行走马达的转速。熨平板部分采用了分区域电加热的方案, 设置有边缘、中部以及另一中部温控区, 各区域温度能够独立设定并精确维持在 120 摄氏度至 150 摄氏度之间, 而且预热阶段时长不少于 30 分钟, 这样就能杜绝局部温度不均的问题^[4]。系统会根据所用混合料的具体类型自动优化振捣参数, 如在处理 AC-13 型混合料的时候, 会将频率设定为 650 次/分钟至 700 次/分钟, 把振幅控制在 0.7 毫米至 1.0 毫米, 而对于 AC-20 型混合料, 则采用 600 次/分钟至 650 次/分钟的频率以及 0.5 毫米至 0.8 毫米的振幅, 以此保障摊铺密实度的均匀性, 使其变异系数低于 3%。

横向接缝处理工艺涵盖斜向切割、热熔连接以及分层碾压这些方式, 首先要借助路面切割设备把接缝加工成 45 度斜口, 清理完碎屑后均匀喷洒 SBS 改性黏结油, 摊铺机熨平板需要覆盖接缝 50 厘米的范围, 启用高密实度作业模式也就是将振捣频率提升 10%, 碾压环节先用 12 吨双钢轮压路机沿斜向碾压 3 遍且时速控制在 2 千米至 2.5 千米, 再横向碾压 2 遍, 最后进行纵向整修, 使接缝平整度误差不超过 2 毫米。纵向接缝采用热接缝同步施工法, 要求相邻摊铺间隔不超过 30 分钟以确保料温不低于 130 摄氏度, 搭接宽度根据实际摊铺宽度在 10 厘米至 15 厘米间动态调整, 碾压遵循“由内向外”原则, 钢轮碾压时需重叠三分之一轮宽防止产生冷接台阶现象。

3.2 压实施工协同控制技术

根据混合料种类和铺层厚度来设计差异化方案,对于AC-13细粒式混合料且铺层厚度在4厘米到6厘米的情况,采用“12到15吨双钢轮初压加上20吨到25吨胶轮复压再加上12吨双钢轮终压”的工艺,其中双钢轮承担初步整平与最终收面工作,胶轮通过揉搓作用增强密实度,对于AC-20中粒式混合料且铺层厚度在6厘米到8厘米的情况,采用“12吨双钢轮初压加上22吨胶轮复压1加上15吨双钢轮复压2加上12吨双钢轮终压”的组合,重点提升中层压实质量,压实流程严格遵循“由轻到重、由慢到快、先边后中”的准则,边部需先用小型设备预压防止混合料推移,中部采用大型设备强化压实效果^[5]。

配备集成压实度传感器的智能压路机结合GPS定位与数据传输功能,能通过振动响应分析采集压实数据且检测误差在±1%以内,还以5 Hz频率进行采样,该系统实现压实度的动态反馈调节,当测量值低于96%的设计标准时会自动增加1~2遍碾压次数并降低碾压速度0.5千米/小时,若压实度超过98%则自动减少1遍碾压以防止过度碾压导致材料离析,GPS定位模块以±0.5米精度记录碾压路径经后台软件处理后生成压实轨迹图可有效覆盖作业区域从而实现压实质量的可视化监控。

3.3 全过程质量管控体系

开发一套能数字化监测摊铺与压实参数的系统,将行驶速度、熨平板温度等关键指标汇集起来,依托5G网络达成毫秒级数据传输(响应时间低于100毫秒),系统配备动态阈值报警相关功能,要是摊铺速度超出设定区间±0.3千米/小时、熨平板温度偏差超过±5摄氏度或者压实温度偏离最佳范围±10摄氏度,就会自动触发声光警示并同步推送优化方案,系统具备历史参数查询与趋势分析功能,可以生成工程质量评估报告,给施工过程管理提供数据方面的依据。构建核心参数的全程追踪记录的机制,对摊铺速度、温度控制、压实次数以及检测数据等进行完整留存,数据保存期限不少于5年,创新采用“段落编码+二维码”的双标识方式,按照50米施工单元生成专属二维码,集成段落编号、施工时段、作业人员、设备型号以及关键参数等信息,通过扫码就能调取该段落的完整施工记录,当路面出现平整度缺陷的时候,可借助该追溯系统快速定位问题环节和参数异常情况,为质量整改提供精准的参照^[6]。

对保温运输罐的构造进行优化,它的内胆采用双相不锈钢还搭配聚氨酯保温材料,保温层的厚度达到

了50毫米,能确保温度每小时下降幅度不超过5摄氏度,罐体装配有温度监测装置,可持续记录混合料的温度状况并把信息传送到监控系统,一旦温度低于预设标准也就是初压温度减20摄氏度就会触发警报机制。对卸料口的设计加以改进,应用可调节式卸料板,将卸料高度维持在0.8米至1.2米的区间,控制卸料速率在每分钟0.5立方米至0.8立方米,以此防止混合料因自由坠落而产生分离现象,对卸下的混合料实施二次搅拌,能够切实消除运输期间出现的物料分层问题,经实际检测表明可减少超过60%的离析率。

4 结束语

市政道路沥青路面平整度受到多种因素共同作用影响,所以要重点优化摊铺与压实参数之间的协调性,并且加强接缝处理方面的工艺。同时,要保障路基与基层的基础质量以及混合料设计的合理性,再辅以运输和后期管理上的有效控制,以此来系统性应对各项因素间的复杂影响。本文构建的“智能参数调控+工艺优化+数字化管控”三维控制技术体系具有明确的针对性,其核心的摊铺速度自动调节、接缝斜接切割与热黏结工艺、压实参数动态匹配及智能压实监测等技术,能够有效解决施工过程当中的关键难题。未来可从三个方向进一步完善:一是融合BIM与物联网技术,建立覆盖全流程的参数闭环控制体系,形成施工设备自动协同、参数实时优化的智能化作业模式,提高控制精度与管理效率;二是针对再生沥青混合料、纳米改性沥青等新型材料,开展施工参数适应性研究,优化控制技术方案,以满足绿色施工的发展要求;三是深入研究高温、低温、雨季及狭小场地等特殊环境下的平整度控制技术,完善不同工况下的参数调整标准,增强技术的适应性,扩大其应用范围。

参考文献:

- [1] 李海滨.市政道路沥青路面平整度影响因素及控制措施[J].施工技术,2021,50(S1):1567-1569.
- [2] 黄晓明,朱湘.沥青路面施工技术[M].北京:人民交通出版社,2021.
- [3] 王建国.沥青混合料离析控制技术在市政道路施工中的应用[J].公路交通科技,2021,38(05):34-40.
- [4] 张磊.智能化压实技术在沥青路面施工中的应用研究[J].市政技术,2022,40(03):156-159.
- [5] 张永梦.市政道路沥青混凝土路面施工技术及其质量控制探究[J].大众科学,2025,46(18):161-163.
- [6] 陈军.路基沉降对沥青路面平整度的影响及控制措施[J].路基工程,2021(04):189-193.