

市政道路路基填筑施工质量控制技术与实践应用

丁浩 樊继荣

陕西煤业化工建设(集团)有限公司路桥分公司 陕西 西安 710021

摘要: 市政道路路基填筑施工质量控制是保障道路整体性能的关键。通过科学选料,如优先砂性土、改良高液限黏土;严格分层填筑,控制每层厚度、压实度及含水量;采用先进压实技术,如智能压实系统;结合排水设计,如盲沟+渗井立体排水;并应用BIM技术模拟施工流程,优化工艺。实践表明,这些措施可显著提升路基稳定性、承载力及耐久性,减少后期沉降隐患。

关键词: 市政道路;路基填筑;施工质量;控制技术;实践应用

引言:市政道路作为城市交通网络的关键脉络,其质量直接影响着城市的运行效率与居民的生活品质。路基填筑作为市政道路建设的基础环节,其施工质量关乎整个道路工程的稳定性、耐久性及安全性。然而,在市政道路路基填筑施工过程中,受材料特性、施工工艺、环境条件等诸多因素影响,质量控制面临诸多挑战。因此,深入探究有效的施工质量控制技术,并将其应用于实践,具有至关重要的现实意义。

1 市政道路路基填筑施工质量控制理论体系

1.1 质量影响因素分析

(1) 材料特性:作为路基填筑的核心载体,填料质量是质量控制的基础。CBR值(加州承载比)直接反映填料承载力,需满足设计规范要求,过低会导致路基后期沉降过大;液限、塑限决定填料水稳定性,液限过高、塑限过低的填料,遇水易软化、崩解,影响路基整体性;颗粒级配需合理搭配,粗细颗粒比例适宜,避免级配不良导致压实度难以达标,确保填料压实后密实均匀。(2) 施工工艺:施工过程的规范性是质量控制的关键。分层厚度需严格控制,过厚会导致碾压不密实,过薄则增加施工成本、降低效率,通常结合压实机械性能控制在20~30cm;压实机械组合应兼顾静压与振动碾压,搭配合理的机械型号和数量,确保碾压无死角;碾压速度需匀速行驶,过快易造成压实不充分,过慢则影响施工进度,一般控制在2~4km/h^[1]。(3) 环境条件:外部环境对路基填筑质量具有显著影响。地下水位过高会导致填料含水量超标,降低压实效果,需提前采取降水措施;降雨量过大易使填料软化、含水率波动,需做好防雨排水措施,避免雨水浸泡路基;气温变化会影响填料物理性质,高温易使填料失水干裂,低温易导致冻土,需根据气温调整施工工艺。

1.2 质量控制模型构建

(1) 基于PDCA循环的动态管理框架:遵循计划(Plan)、执行(Do)、检查(Check)、处理(Act)的循环流程,计划阶段明确质量目标和控制措施,执行阶段严格落实施工工艺,检查阶段排查质量隐患,处理阶段整改问题并总结经验,形成闭环管理,持续提升施工质量。(2) 压实度-含水量-干密度三维控制曲面:三者是路基压实质量的核心指标,构建三维控制曲面,明确不同含水量、干密度对应的合格压实度范围,施工中实时监测三项指标,确保填料处于最优压实状态,从本质上控制路基密实度和稳定性。(3) BIM技术在施工模拟中的应用:借助BIM技术构建路基填筑三维模型,提前模拟分层填筑、碾压顺序等施工流程,优化施工方案,规避施工冲突。如上海某市政道路项目,通过BIM技术模拟不同填筑顺序的施工效果,优化分层厚度和碾压路径,有效减少了路基沉降隐患,提升了施工效率和质量。

2 市政道路路基填筑施工关键质量控制技术

2.1 填料选择与改良技术

(1) 砂性土优先原则:市政道路路基填筑应优先选用砂性土作为填料,其颗粒均匀、透水性好、压实难度低,且弹性模量较黏性土提高40%,能有效提升路基的抗变形能力和承载稳定性,减少后期沉降隐患,尤其适用于地下水位较高、排水条件较差的路段。(2) 高液限黏土的石灰改良工艺:高液限黏土可塑性强、水稳定性差,直接填筑易导致路基开裂、软化,需采用石灰改良处理。实践表明,掺入6%的石灰掺量可使高液限黏土的塑性指数降低15~20,有效改善其物理力学性能,提高填料的强度和水稳定性,改良后需充分拌和、焖料,确保石灰与黏土均匀混合^[2]。(3) 建筑垃圾再生骨料的应用标准:为践行绿色施工理念,建筑垃圾经破碎、筛分后可作为路基填料回收利用,但其质量需严格把控,明确标准要求:骨料粒径 $\leq 150\text{mm}$,其中粒径大于100mm的颗粒需破碎后使

用；压碎值 $\leq 30\%$ ，确保骨料强度满足承载要求，同时需清除骨料中的杂质、淤泥，避免影响路基压实效果。

2.2 分层填筑工艺控制

(1) “三阶段、四区段、八流程”标准化作业法：严格执行标准化作业流程，三阶段即准备阶段、施工阶段、验收阶段；四区段即填料区段、平整区段、碾压区段、检测区段，各区段严禁交叉作业；八流程即施工准备、填料运输、摊铺平整、含水量调整、碾压夯实、检测验收、路基修整、边坡修整，通过规范化流程保障施工质量。(2) 虚拟仿真技术优化松铺厚度：松铺厚度直接影响压实效果，借助虚拟仿真技术可提前模拟不同松铺厚度的压实过程，优化确定最佳参数。典型案例：深圳某市政道路项目，通过数值模拟软件构建路基填筑模型，模拟不同松铺厚度下的压实度分布，最终确定最佳松铺厚度为28cm，有效提升了压实效率和质量，减少了返工成本。(3) 智能压实系统应用：引入智能压实设备实现施工过程的精准控制，如徐工XP303S压路机配备GPS定位和压实度实时显示系统，可实时监测碾压轨迹、碾压速度、压实遍数及压实度，避免漏压、过压现象，确保碾压作业均匀达标，同时将施工数据留存，实现质量可追溯^[3]。

2.3 压实质量检测技术

(1) 灌砂法与核子密度仪的对比验证：灌砂法作为压实度检测的常规方法，检测精度高但操作繁琐；核子密度仪检测速度快、效率高，可实现快速筛查。施工中采用两种方法对比验证，要求相关系数 $R^2 \geq 0.95$ ，确保两种检测方法的数据一致性，既保证检测精度，又提升检测效率。(2) 落锤式弯沉仪(FWD)的无损检测技术：采用落锤式弯沉仪进行无损检测，通过模拟行车荷载冲击，检测路基的弯沉值，间接反映路基的压实质量和承载能力，该技术无需破坏路基结构，检测速度快，可实现大面积连续检测，及时排查路基薄弱路段。(3) 基于物联网的远程监测平台：依托物联网技术构建压实质量远程监测平台，将压实设备的检测数据实时上传至监管平台，实现施工质量的动态监管。如杭州某市政道路项目，通过该平台实现压实度、碾压遍数、碾压速度等数据的实时上传、分析和预警，确保施工过程全程可控，提升质量监管效率^[4]。

2.4 排水系统协同设计

(1) 盲沟+渗井的立体排水网络：针对地下水位较高、软土地基路段，采用盲沟与渗井结合的立体排水方式，某软土地基项目中，设置0.8m深盲沟，间距5-8m，搭配渗井同步排水，有效降低地下水位，使路基沉降量减少65%，提升了路基的稳定性。(2) 透水性基层材料的应

用：在路基基层采用透水性混凝土材料，其孔隙率控制在15-25%，排水能力可达300L/m²·h，能快速排出路面渗透水和路基内部积水，避免积水浸泡路基导致填料软化，同时提升路基的抗冻性和耐久性。(3) 边坡生态防护技术：结合排水需求采用边坡生态防护技术，采用三维植被网+喷播植草的组合方式，既实现了边坡水土保持，使水土保持率提高80%，又能辅助排出边坡表面积水，防止边坡冲刷、坍塌，兼顾生态环保与排水防护功能。

3 市政道路路基填筑工程实践应用案例分析

3.1 某滨海新区软土地基处理项目

(1) 地质条件：项目场地主要分布淤泥质土层，土层厚度8-12m，土壤含水量极高，达45-55%，孔隙比大、承载力低、压缩性强，若直接填筑路基，易引发后期大幅沉降、路基失稳等隐患，无法满足市政道路承载要求。(2) 处理方案：结合场地地质特点，采用“真空预压+塑料排水板”联合处理方案。塑料排水板按梅花形布置，间距1.2m，深入淤泥质土层底部，加快土层排水固结；真空预压采用密封膜封闭场地，控制真空度在80kPa以上，加速软土孔隙水排出，相较于传统堆载预压方案，处理周期缩短40%，大幅提升施工效率。(3) 效果验证：处理完成后，对路基工后沉降进行长期监测，数据显示，工后沉降量均控制在15cm以内，符合市政道路路基沉降设计标准，路基承载力较处理前提升60%，有效解决了滨海软土地基填筑的核心难题，保障了道路后期运营稳定性。

3.2 山区道路高填方施工控制

(1) 技术难点：项目最大填高达32m，填方量较大，且山区地形复杂、坡面较陡，高填方路基自重产生的侧向推力较大，易导致边坡滑移、路基不均匀沉降，同时高填方分层压实难度高，难以确保整体压实度达标。(2) 解决方案：采用“强夯+土工格栅加固”的综合处理方案。强夯施工采用3000kN·m能级，分三遍夯击，提升填料密实度；每4m设置一层双向土工格栅，格栅抗拉强度 ≥ 120 kN/m，有效分散路基应力，约束填料变形，增强路基整体性和边坡稳定性，同时严格执行分层填筑、分层碾压工艺，控制松铺厚度25cm。(3) 监测数据：施工期间及完工后，对路基水平位移进行实时监测，监测数据显示，水平位移日均值仅0.3mm，累计位移2.1mm，远低于5mm的安全阈值，路基压实度均 $\geq 96\%$ ，满足设计要求，成功解决了山区高填方施工的稳定性难题。

3.3 城市雨洪道路改造工程

(1) 设计创新：采用“透水沥青路面+下沉式绿地”的协同设计模式，构建海绵型路基排水体系。透水沥青路面兼具通行和排水功能，下沉式绿地与路面衔接，形

成天然汇水、蓄水空间,设计年径流总量控制率达85%,有效缓解城市暴雨积水问题。(2)施工要点:路基施工重点控制基层排水性能和压实质量,级配碎石基层压实度 $\geq 96\%$,确保基层承载能力和透水性;透水混凝土基层孔隙率严格控制在20%,兼顾透水性和强度,施工中采用智能压实系统监测碾压质量,同时做好路基与下沉式绿地的衔接,避免积水倒灌路基。(3)效益评估:工程完工后,经暴雨天气验证,道路暴雨积水时间由改造前的2h缩短至15min,大幅提升了城市雨洪应对能力;同时路基工后沉降量控制在10cm以内,道路通行舒适度和耐久性显著提升,实现了施工质量与生态效益的双重达标。

4 市政道路路基填筑施工质量控制技术创新方向

4.1 智能化施工装备研发

(1)无人驾驶压路机群协同作业系统:整合GPS定位、路径规划与无线通信技术,构建多设备协同作业体系,可自动规划碾压路径、调整速度与遍数,实现无死角均匀碾压。后台终端实时监控作业数据,实现施工过程中可追溯、可调控,大幅减少人工干预,兼顾质量与效率。(2)基于机器视觉的填筑厚度实时监测装置:依托高清摄像头与图像识别算法,安装于摊铺设备前端,可快速测算松铺厚度、平整度,检测误差控制在 $\pm 1\text{cm}$ 内。数据超标时立即预警,提醒调整摊铺参数,实现厚度动态管控,规避压实质量隐患,提升监测效率。

4.2 新型材料应用探索

(1)泡沫轻质土在桥头跳车治理中的应用:该材料容重 $5\text{--}15\text{kN/m}^3$,压缩模量 $100\text{--}500\text{MPa}$,轻质高强且沉降量小,可大幅降低路基自重,从根源上减少桥头沉降差,治理桥头跳车。其流动性好,可直接浇筑成型,无需分层碾压,适配桥头复杂施工区域,兼顾实用与环保。(2)纳米改性沥青的抗车辙性能提升:在普通沥青中掺入纳米粒子,改性后动稳定度 $\geq 8000\text{次/mm}$,较普通沥青提升3-4倍,可有效抵御车辆荷载反复作用产生的车辙、开裂病害,

延长路基与路面使用寿命,适配重载路段需求^[5]。

4.3 全生命周期管理平台构建

(1)BIM+GIS的数字化交付系统:融合BIM三维建模与GIS地理信息技术,构建数字化模型,集成填料参数、施工工艺、检测数据等信息,实现施工可视化模拟与精准管控。完工后形成数字化交付成果,为后期维护、病害排查提供数据支撑。(2)基于大数据的预测性维护模型:整合施工、检测、运营监测数据,通过机器学习算法构建模型,可精准预判路基沉降、开裂等病害,提前制定维护方案,实现病害早发现、早处理,降低维护成本,保障道路长期稳定运营。

结束语

市政道路路基填筑施工质量控制意义重大,关乎道路的使用寿命与城市交通的顺畅。通过本文对质量影响因素、控制模型、关键技术及实践案例的探讨可知,科学选料、规范工艺、创新检测与协同排水等举措,能有效提升路基质量。未来,随着智能化装备、新型材料及全生命周期管理平台等创新方向的发展,市政道路路基填筑施工质量控制将迈向更高水平,为城市发展筑牢坚实根基。

参考文献

- [1]王磊,王超.路基施工中的质量控制及技术探讨[J].道路工程,2021,58(5):72-75.
- [2]韩振玉,姚明新,张敏.市政道路不良路基填料改良施工控制技术[J].汽车画刊,2024,(12):126-128.
- [3]李科强.关于市政道路施工建设中的质量控制的思考[J].大众标准化,2024,(23):35-37.
- [4]王思捷.市政道路工程施工管理及质量控制策略[J].居业,2025,(8):213-215.
- [5]董瑜.市政道路工程质量检测实践及提升策略[J].建筑机械化,2025,46(7):164-168.