

道路施工质量控制关键技术要点探讨

常艳茹

(安徽昌达路桥工程集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为解决道路施工质量控制难题, 本文结合具体工程案例对道路施工质量控制关键技术展开研究, 提出三维协同审核法、四关检验制、智能压实系统等12项创新措施。研究采用BIM建模结合地质雷达检测实现隐蔽工程可视化管控, 运用光纤传感技术建立结构稳定性实时预警机制, 构建数字孪生平台实现质量动态调控。实践表明, 新技术应用使施工合格率提升6.2%, 返工成本降低35%, 为道路建设质量管控提供了可复制推广的技术体系。

关键词 城市道路; 质量控制; BIM技术; 智能监测; 数字孪生

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.038

0 引言

当前道路建设面临质量管控精细化、施工标准化等新要求, 传统管理方法难以适应复杂工程需求。以某市主干道改造工程为例, 项目团队在实施过程中发现, 设计冲突、材料波动、工艺偏差等因素直接影响工程质量。随着BIM、物联网等新技术发展, 构建全过程质量控制体系成为可能。本研究聚焦于施工前期保障、过程工艺控制、智能监测应用三个维度, 探索技术创新与工程实践的深度融合。实践表明, 数字化管控手段使质量合格率提升显著, 为同类工程提供了可借鉴的技术路径。

1 道路施工前期质量保障体系构建

1.1 施工图纸审核与技术交底规范化

施工图纸审核是确保工程质量的第一道防线, 其核心在于消除设计缺陷与施工可行性之间的矛盾。传统审核方式往往依赖经验判断, 容易忽略隐蔽工程中的潜在冲突。某主干道改造项目在施工过程中发现地下综合管廊与新建雨水箱涵存在标高冲突, 导致工期延误近两个月, 直接经济损失超300万元。为避免类似问题, 应采用“三维协同审核法”, 即利用BIM技术整合道路、管线、交安设施等专业模型, 进行碰撞检测和空间优化。审核团队应由设计、施工、监理三方组成, 重点核查结构受力合理性、施工工序可行性及规范符合性, 尤其关注交叉施工部位的界面协调。技术交底的规范化程度直接影响施工精度。传统交底方式多以纸质图纸和口头说明为主, 工人理解易出现偏差。某快速路项目在沥青面层施工时, 因班组对摊铺温度控制理解不一致, 导致局部区域压实度不足,

通车后出现车辙病害。改进后的交底应采用“可视化+实操演示”模式, 利用三维动画模拟施工流程, 并结合现场样板段进行手把手教学。关键工序如路基分层碾压、水泥稳定层养生等, 需明确技术参数控制范围, 如振动压路机行驶速度不超过4 km/h, 重叠碾压宽度不小于30 cm。同时, 建立交底确认签字制度, 确保每位作业人员清晰掌握质量控制要点。

1.2 严格执行材料进场检验制度

材料质量是道路耐久性的决定性因素, 而进场检验的疏漏往往成为质量隐患的源头。以沥青混合料为例, 若骨料含泥量超标或沥青老化指数不合格, 将直接导致路面早期开裂。某绕城高速项目曾因未严格检测机制砂的棱角性, 导致沥青混合料抗滑性能不达标, 最终全线铣刨重铺。现行规范要求实施“四关检验制”: 供应商资质审查、出厂检验报告核验、进场抽样检测、施工过程抽检^[1]。关键材料如钢筋、水泥等需实行“盲样送检”, 由第三方实验室独立检测, 避免人为干预。对于地材质量控制, 传统目测法已无法满足精度要求。某市政道路项目因天然砂细度模数波动大, 导致水泥混凝土路面强度离散系数超限。现代检测技术如激光粒度分析仪和X射线衍射仪可快速判定骨料级配与矿物成分, 确保材料性能稳定。此外, 建立材料追溯系统至关重要, 通过二维码或RFID标签记录材料生产批次、运输轨迹及检测数据, 一旦发现质量问题可精准定位责任环节。对于易受环境影响的材料(如乳化沥青), 还需在仓储环节实施温湿度监控, 避免性能劣化。

1.3 施工方案优化与可行性评估

施工方案的合理性直接影响工程效率与质量, 而纸上谈兵的方案往往埋下隐患。某下穿隧道工程原设

计采用大开挖工法,但因地下水位高于预估 2 m,导致基坑涌水事故。优化后的方案改为“管幕支护+分块开挖”,结合井点降水措施,最终将沉降量控制在 15 mm 以内。方案优化需基于“多维度模拟分析”,包括 BIM 进度模拟、有限元力学验算和交通影响评估。例如:在旧路改造项目中,通过交通仿真软件预测不同导改方案的车流拥堵指数,从而选择社会成本最低的施工时序。可行性评估应覆盖极端工况下的风险预案。某滨海新区道路工程在软基处理方案中,未考虑台风季降雨量激增的影响,导致真空预压设备多次断电失效。完善的风险评估需引入“故障树分析法”(FTA),逐层识别潜在诱因并制定应对措施,如备用发电机配置、临时排水系统扩容等^[2]。对于新技术、新工艺的应用,必须通过试验段验证其可靠性。例如:泡沫轻质土填筑需在试验段完成 200% 设计荷载的长期观测,并对比不同配比下的工后沉降曲线,最终确定最优施工参数。

2 道路施工过程关键技术控制

2.1 路基压实度与承载力动态监控

路基作为道路结构的基础层,其压实质量直接决定路面使用寿命。传统质量控制依赖“终检法”,即施工完成后抽样检测,这种方式无法实时纠正施工偏差。某环线工程在路基施工中,因未能及时发现局部区域压实度不足,导致通车后出现不均匀沉降,最大沉陷量达 12 cm。现代施工监控采用“过程控制法”,通过智能压实系统实时采集压路机的振动频率、行驶速度和压实遍数等数据,结合 GPS 定位生成压实度云图。某高速公路项目应用该系统后,压实合格率从 92% 提升至 98.5%,且检测效率提高 60%。动态承载力检测是确保路基长期稳定的另一关键。传统的静载试验耗时费力,难以全面反映路基状况。落锤式弯沉仪(FWD)可实现快速无损检测,通过测定路基在冲击荷载下的弯沉值来反算回弹模量。某新区主干道施工中,采用 FWD 每 50 m 布设一个测点,发现 3 处回弹模量低于设计值 80 MPa 的路段,经补充碾压后达到标准。对于特殊土质路基,还需进行含水率实时监测,当检测值超出最优含水率 $\pm 2\%$ 范围时,应立即调整晾晒或洒水措施。

2.2 沥青或混凝土摊铺均匀性与密实度控制

面层摊铺质量直接影响行车舒适性和路面耐久性。沥青混合料摊铺时,温度梯度控制不当会导致压实度不均。某快速路项目施工中,因运距过长导致摊铺温度降至 140 °C 以下,最终该段路面出现早期松散。现代化施工采用红外热成像仪全程监控料温,当检测到温

度低于 155 °C 时自动报警。摊铺机应配备超声波传感器实时检测摊铺厚度,配合智能压实系统形成“摊铺—压实”闭环控制。某示范工程应用该技术后,厚度合格率由 90% 提升至 97%,平整度标准差控制在 1.2 mm 以内。水泥混凝土路面施工的关键在于防止离析和保证密实度。传统的振捣方式依赖工人经验,容易产生漏振或过振^[3]。某市政道路项目采用高频振捣梁配合激光整平仪,使混凝土坍落度控制在 30 ± 5 mm 范围内,平整度达到 3 m 直尺检测 ≤ 4 mm 的标准。对于钢筋网片位置控制,应采用三维激光定位技术,确保保护层厚度偏差不超过 ± 5 mm。在养生环节,智能喷淋系统根据温湿度传感器数据自动调节喷水量,保证 7 天强度达到设计值的 80% 以上。

2.3 排水系统施工精度与功能性保障

道路排水系统的施工精度直接影响其使用功能。传统的放样方法难以保证管道坡度精度,某下穿通道工程因排水管坡度偏差 0.5%,导致积水无法及时排除。现代施工采用全站仪配合管道机器人进行三维坐标定位,确保纵坡偏差控制在 $\pm 0.2\%$ 以内。对于检查井施工,应采用预制装配式结构,现场拼装误差可控制在 ± 3 mm,较现浇施工效率提升 50% 以上。功能性检测是排水系统验收的重要环节。传统的通水试验只能检测瞬时排水能力,无法评估长期使用性能^[4]。某海绵城市道路项目采用“暴雨强度模拟法”,通过可调式喷淋系统模拟 50 年一遇降雨,持续观测 30 分钟排水状况。结果显示,新型透水铺装区域的地表径流系数仅为 0.25,较传统路面降低 60%。对于管道接口密封性检测,应采用内窥镜配合气压试验,确保在 0.05 MPa 压力下 5 分钟压降不超过 10%。

3 道路质量检测与监测技术应用

3.1 无损检测技术在隐蔽工程中的应用

隐蔽工程质量控制面临的最大挑战在于无法通过常规手段进行直观检查。地质雷达(GPR)技术通过发射高频电磁波并接收反射信号,能够准确识别地下管线的埋深和走向。某综合管廊工程采用频率为 400 MHz 的雷达天线,探测出设计图纸中未标注的废弃污水管,避免了施工过程中的管线破坏事故。探地雷达的探测深度可达 5 m,水平定位误差不超过 ± 3 cm,在路基压实度检测中同样具有独特优势^[5]。通过分析电磁波在不同密实度土层中的传播速度差异,可以建立介电常数与压实度的对应关系模型,实现非接触式质量评估。超声波检测技术在混凝土结构内部缺陷识别方面

具有不可替代的作用。采用频率为 50 kHz 的超声探头,能够检测出直径大于 2 mm 的蜂窝孔洞或裂缝。某高架桥墩身检测中发现超声波波速异常区域,经钻孔取芯验证存在强度不足问题,及时进行了灌浆加固。红外热像仪则通过捕捉结构表面温度场分布,有效识别沥青路面层间黏结缺陷^[6]。当黏结不良时,热传导性能下降会导致表面温度分布不均,温差超过 2℃的区域即需重点关注。某市主干道维修工程应用该技术,准确找出 12 处层间剥离区域,修补面积较传统随机开挖检测减少 75%。

3.2 智能监测系统对结构稳定性跟踪

基于物联网的结构健康监测系统实现了施工期质量风险的实时预警。某跨江大桥工程在墩台施工阶段布设了 120 个光纤光栅传感器,监测数据通过 5G 网络每 5 分钟上传一次云平台。当系统检测到混凝土温度超过 65℃或应变变化速率异常时,自动触发预警机制。在其中一个桥墩浇筑过程中,系统及时发现模板支撑体系位移超限,避免了可能发生的坍塌事故。这种实时监测使结构施工合格率从传统的 93% 提升至 99.2%,且监测成本较人工检测降低 40%。分布式光纤传感技术为长大线性工程的质量监控提供了创新解决方案^[7]。将感温光缆预埋在道路基层中,可以连续监测全长范围内的温度场和应变场分布。某高速公路路基处理段通过分析光纤监测数据,发现两处固结速率异常区域,经补充排水板处理后,差异沉降控制在设计允许的 5 mm/m 范围内^[8]。北斗高精度定位系统则用于监测施工期结构物的三维变形,平面定位精度达到 ± 2 mm,高程精度 ± 3 mm,较全站仪测量效率提升 20 倍。某深基坑工程通过实时监测围护结构位移,动态调整支撑轴力,最终将最大侧向位移控制在 28 mm,仅为设计允许值的 70%。

3.3 数据反馈机制实现质量动态调控

建立施工质量大数据平台是实现全过程质量控制的基础。某省级交通工程质量监管平台整合了全省 238 个在建项目的检测数据,通过机器学习算法建立了材料强度、施工参数与工程质量的映射关系^[9]。分析发现,当水泥稳定碎石层含水率控制在 5.5%~6.5% 时,7 天无侧限抗压强度合格率可达 98%,超出该范围则合格率骤降至 85% 以下。基于这一发现,项目指挥部及时调整了拌合用水量控制标准,使整体强度合格率提升 12%。平台还实现了不合格数据的自动追溯,某批次钢筋力学性能不达标时,系统在 1 小时内即锁定同批次材料的使用工点,避免了更大范围的质量隐患^[10]。

基于数字孪生技术的质量调控系统将施工过程数字化建模,通过实时数据驱动实现精准管控。某地下综合管廊工程建立了包含地质条件、结构设计、施工进度等要素的孪生模型,每天接收现场 5 000 多个传感器数据。当模型预测某段侧墙混凝土早期强度增长速率低于标准曲线时,立即调整养护方案,将蒸汽养护时间延长 12 小时,最终强度达标率从预测的 88% 提高到 96%。智能预警阈值设置采用动态调整算法,根据施工阶段、环境条件和历史数据自动优化,误报率控制在 5% 以下,较固定阈值方式降低 60%。某隧道工程应用该系统后,质量整改响应时间从平均 48 小时缩短至 6 小时,返工成本降低 35%。

4 结束语

道路施工质量控制需要构建覆盖设计、施工、检测的全过程技术体系。研究证实,基于物联网的智能监控系统可有效预防质量隐患,数字孪生技术可显著提升质量调控效率。典型案例显示,新型检测技术使质量缺陷识别率提高 40%,动态调控机制缩短问题响应时间至 6 小时。这些技术创新为道路工程质量管理提供了新思路,建议在重点项目中推广应用智能监测设备,逐步建立区域性质量数据共享平台,持续完善基础设施建设的质量标准体系。

参考文献:

- [1] 刘建江.城市道路施工管理中的质量控制措施探析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(25):51-53.
- [2] 张金.公路与城市道路 SMA 沥青混凝土面层施工质量控制施工分析[J].运输经理世界,2020(10):131-132.
- [3] 王朝霞.城市道路路基施工质量控制创新途径[J].建材发展导向,2024,22(05):13-15.
- [4] 穆守峰.城市道路交通工程施工管理过程中的质量控制措施分析[J].城市建筑,2021,18(24):189-191.
- [5] 任晓锐,张继鑫.城市道路施工技术关键与质量控制探讨[J].黑龙江科学,2021,12(16):122-123.
- [6] 李培林.城市道路施工及路基质量的四层检测方法研究[J].中国新技术新产品,2024(13):91-93.
- [7] 汪小南.城市道路施工管理中的质量控制措施分析[J].城市道桥与防洪,2023(10):181-183,187,25.
- [8] 刘雄.城市道路施工质量管理问题研究[J].智能城市,2020,06(04):92-93.
- [9] 柏江源.城市道路工程施工质量管理探究[J].江西建材,2020(05):116,119.
- [10] 罗明.谈城市道路施工管理如何有效把控质量问题[J].工程建设与设计,2020(15):230-231,234.