

公路施工的三阶段质量控制方法探讨

王凯

中国葛洲坝集团第三工程有限公司 陕西西安 710065

DOI:10.12238/ems.v7i6.13766

[摘要] 公路工程作为交通基础设施的核心载体,其质量控制直接影响道路使用寿命与安全性能。三阶段质量控制方法将施工过程划分为事前、事中、事后三个阶段,形成系统性管理闭环,已成为现代公路建设的核心管理手段。本文通过分析三阶段方法在实践中的应用价值,揭示其存在的关键问题:设计变更管理不规范、施工材料全流程管控缺失、动态质量监控体系不完善等。针对性地提出优化对策,包括构建分级设计变更评审机制、建立材料溯源与智能检测体系、引入AIoT融合的实时监控技术等。研究表明,三阶段方法通过精细化过程控制可实现质量风险前移,为公路工程全生命周期管理提供科学支撑。

[关键词] 公路施工;三阶段控制;质量控制;动态监控;全流程管理

1. 引言

公路施工质量控制是保障工程耐久性与安全性的核心环节。随着交通流量激增和工程复杂度提升,传统粗放式管理难以满足现代道路建设需求。三阶段质量控制方法通过将施工过程分解为事前预防、事中监管、事后评估的递进式管理模块,实现了质量控制从被动应对向主动干预的转变。该方法在优化资源配置、降低质量风险方面具有显著优势,但在实际应用中仍存在管理体系不健全、技术手段滞后等痛点。深入探讨其优化路径,对提升公路工程全周期质量管控效能具有重要现实意义。

2. 基于公路施工的三阶段质量控制方法探讨的意义

三阶段质量控制方法通过系统性划分管理边界,有效解决了传统质量控制中职责不清、环节脱节的问题。在事前控制阶段,通过施工图审查、材料预检、工艺验证等手段,将质量隐患消除在萌芽状态。某高速公路项目通过事前对地质雷达数据的深度分析,提前调整路基处理方案,避免后期沉降风险。这种前馈式管理使质量问题发现成本降低60%以上,显著提升工程经济性。

该方法通过构建全过程质量追踪链条,实现了施工数据的可追溯管理。事中阶段应用智能压实度检测仪、三维激光扫描等技术,实时采集施工参数并同步至BIM平台,形成动态质量数据库。事后阶段结合无人机航拍与结构健康监测系统,对隐蔽工程进行无损检测。这种闭环管理模式使质量缺陷修复周期缩短45%,为工程验收提供精准数据支撑。

3. 基于公路施工的三阶段质量控制方法探讨的问题

3.1 设计变更管理流程失范

现行设计变更审批存在多头管理、标准模糊的缺陷。部分项目因地质条件突变需调整支护方案时,变更申请需经设计、监理、业主等多方审批,流程耗时长达20个工作日,严重影响施工进度。更严重的是,缺乏变更影响评估机制导致部分调整方案未考虑材料性能匹配性,某隧道工程因盲目变更锚杆参数引发局部坍塌事故。此类管理漏洞使工程质量风险呈指数级增长。

3.2 材料质量追溯体系缺失

材料管控仍停留在进场抽检的初级阶段,未能建立从开采、加工到使用的全链条溯源机制。某省道改建工程中,供应商通过篡改水泥出厂批次规避检测,导致3公里路面早期开裂。现行规范对新型复合材料(如高模量沥青)的检测标准滞后,部分项目沿用传统指标评价,造成材料性能与设计要求错位。这种碎片化管理难以应对现代工程材料多元化发展趋势。

3.3 过程监控技术手段滞后

传统质量监控依赖人工巡检与抽样检测,存在覆盖面窄、时效性差等弊端。某跨海大桥工程中,因未及时发现预应力

张拉偏差,导致箱梁线形误差超标2.3cm。现有检测设备智能化程度不足,如压实度检测仍依赖人工核验收环刀试样,无法实现连续作业面数据采集。这种粗放式监控难以满足长大隧道、软基路段等复杂工况的质量控制需求。

4. 基于公路施工的三阶段质量控制方法探讨的对策

4.1 构建分级设计变更管理体系

在公路施工领域,设计变更管理的优化是保障工程质量与效益的关键环节。构建三级变更评审机制,打造从基层判断到高层决策的有序管理流程。具体而言,一线技术员作为施工的直接参与者,凭借丰富的现场经验,深入施工现场,结合实际地质勘探数据、实时施工进度、天气变化等因素,对变更的必要性进行初步核定。例如在某复杂地形的公路项目中,技术员通过现场勘查,及时发现原设计方案与实际地质条件不符,第一时间提出变更建议,避免了后续施工中可能出现的重大质量问题。

专家组则从专业技术维度出发,运用深厚的专业知识与丰富的实践经验,对变更方案的技术可行性展开全面评估。他们通过模拟分析、理论计算等方式,确保变更方案在技术层面能够顺利实施。以桥梁结构变更为例,专家组会对新方案的受力情况、抗震性能等进行详细验算,保障变更后的桥梁结构安全可靠。最后,由决策组统筹考量成本预算、工期安排等关键因素,精确核算变更的经济合理性,杜绝不必要的资源浪费,确保变更在经济层面具备可行性。

在杭绍甬智慧高速建设中,BIM协同平台的引入为设计变更管理带来了革命性的变化。借助这一先进平台,边坡防护方案变更审批流程实现了全流程线上协同处理。设计单位、监理单位、施工单位等各参与方能够实时在线沟通,共享设计图纸、施工数据等信息,极大地减少了信息传递的误差与延误。通过BIM协同平台,原本平均需要数周时间的审批周期被大幅压缩至72小时,显著提升了工作效率。同时,该平台还能自动生成详细且准确的工程量清单,以及精准的造价变动报告,为决策提供直观、可靠的数据支撑,助力决策者快速做出科学合理的判断。

开发变更影响预测模型是分级管理体系的核心技术支持。该模型深度集成地质勘探数据、材料性能参数与施工工艺变量,借助大数据分析、人工智能等前沿技术,对变更后的结构性能进行动态模拟。在某山区公路项目中,利用此模型对挡墙配筋率进行优化时,通过输入不同的配筋方案,结合地质条件与材料参数,多次模拟计算不同方案下挡墙的受力情况与稳定性。最终在保证安全系数达标的前提下,成功节省钢材用量15%,既保障了工程质量,又实现了可观的成本节约,展现出该模型在实际应用中的强大价值。

实施变更后评估制度,是完善设计变更管理的重要保障。组建由设计、施工、监理三方专业人员构成的质量追踪小组,

在变更实施后,运用高精度监测设备与专业检测手段,对工程进行长期、持续的监测与评估。以深中通道工程为例,在沉管段设计变更后,质量追踪小组通过布置在沉管接缝处的各类传感器,实时收集接缝变形数据,并运用专业软件建立性能退化曲线,深入分析变更对工程长期性能的影响。这些详实的数据与专业的分析结果,不仅为深中通道工程后续的优化调整提供了科学依据,更为后续类似工程的设计变更积累了宝贵的经验与修正参数。通过这种闭环管理模式,设计变更失误率下降38%,在保障工程质量的同时,显著提升了工程建设效率,成功实现了效率与质量的有机平衡。

4.2 建立材料全生命周期智能管控体系

在公路施工领域,材料质量直接关乎工程的耐久性与安全性,建立一套完整的材料全生命周期智能管控体系势在必行。该体系以区块链技术、智能检测设备和大数据分析为核心,贯穿材料从生产源头到工程应用的全过程,为公路建设质量筑牢根基。

推广区块链赋能的材料溯源系统,是实现材料全流程管控的关键一步。从矿场源头开始,为每一批次材料植入RFID芯片,这些芯片如同材料的“电子身份证”,记录着材料的产地、规格、批次等基础信息。在运输过程中,芯片与车载传感器相连,实时采集并上传运输轨迹、温湿度、震动等环境数据,一旦出现异常情况,如运输路线偏移、温度过高,系统将立即发出预警。在仓储环节,智能仓储系统通过扫描芯片,自动记录存储位置、出入库时间,确保材料存储条件符合标准。雄安新区建材监管平台便是这一技术应用的典范,当检测到某批次沥青存在质量问题时,监管平台凭借区块链技术不可篡改、可追溯的特性,迅速调取该批次沥青在生产厂家到施工现场的全流程数据,精准锁定问题沥青的流通过程,在12小时内完成了涉及该批次沥青的所有施工路段材料替换,有效避免了因材料问题可能导致的路面早期病害,极大提升了工程质量管控效率。

研发多光谱材料分析仪,实现了材料质量检测从“抽样检查”到“实时监测”的跨越。该设备基于光谱分析原理,利用不同物质对特定光谱的吸收和反射特性,能够快速、精准地分析沥青的组分含量、骨料的级配情况等关键指标。在沥青搅拌站,多光谱材料分析仪可实时监测沥青混合料的配比,一旦发现沥青含量、矿粉比例等参数偏离设定值,便立即反馈给搅拌控制系统,自动调整物料投放量,确保混合料配比始终处于最佳状态。在某重点路面工程中,该设备的应用使材料配合比偏差率严格控制在0.5%以内,相较于传统检测方式,不仅大幅提升了检测效率,还显著提高了材料质量的稳定性,有效减少了路面因材料问题产生的裂缝、车辙等病害,延长了路面的使用寿命。

构建新材料性能数据库,是应对现代工程材料多元化发展的重要举措。联合高校、科研机构开展加速老化试验,通过模拟高温、严寒、高湿度、强腐蚀等极端环境,加速新材料的性能变化过程,在短时间内获取其在长期使用过程中的性能演变数据。以港珠澳大桥为例,由于大桥长期处于高盐、高湿的海洋腐蚀环境,传统材料难以满足百年使用寿命的要求。项目团队联合科研机构,对混凝土、钢筋等材料开展大量加速老化试验,建立了氯离子渗透系数与混凝土耐久性的关联模型。基于该模型,精确指导环氧钢筋的选型,确保其具备优异的抗腐蚀性能;同时,优化防腐涂层的施工工艺,增强涂层的附着力和耐久性。这种前瞻性研究成果,使港珠澳大桥的结构设计寿命成功提升至120年,远超行业平均水平,为跨海、跨江等特殊环境下的公路工程建设提供了宝贵的经验和数据支撑。随着新材料不断涌现,新材料性能数据库持续更新完善,为公路施工材料的科学选型和合理应用提供坚实的数据保障,助力公路工程质量实现质的飞跃。

4.3 部署 AIoT 融合的智能监控网络

在公路施工质量控制领域,传统人工巡检与抽样检测方式已难以满足复杂工程需求,部署AIoT(人工智能物联网)融合的智能监控网络成为提升管控效能的关键路径。该网络通过多技术协同与数据深度挖掘,实现施工全过程的智能化、精准化管理。

开发施工质量数字孪生系统,是智能监控网络的核心载体。该系统集成北斗定位、5G传输与边缘计算技术,构建起虚实映射的数字化施工环境。以成都天府国际机场跑道建设为例,施工方在跑道铺设区域密集部署4000个智能传感器,这些传感器如同工程的“神经末梢”,实时采集碾压温度、机械运行速度与碾压遍数等关键数据。北斗定位技术确保传感器位置精准,5G网络实现数据毫秒级传输,边缘计算则在本地完成数据预处理,极大提升数据处理效率。系统基于这些数据,自动生成高精度压实度云图,以不同颜色直观呈现压实状态,对薄弱区域实时预警。某标段施工中,系统及时发现一处因碾压温度不足导致的压实度不达标区域,施工人员迅速调整设备参数,避免了后期返工,节省工期3天。此外,AR辅助验收技术进一步强化质量管控。质检人员佩戴智能眼镜,通过AR技术将施工实体与BIM模型进行实时叠加比对,某立交桥工程应用该技术后,高效发现预应力孔道偏差17处,较传统人工检测效率提升近80%。

推广无人化检测装备,为智能监控网络注入新动能。自动巡航的探地雷达车凭借先进的探测技术,可连续检测20公里路床密实度,突破了传统检测覆盖范围小、效率低的瓶颈。在郑万高铁重庆段建设中,探地雷达车按预设路线自动驾驶,对路基进行无死角扫描,通过电磁波反射原理获取路床内部结构信息,实现全线路基质量数据分钟级更新。检测数据实时上传至监控平台,系统自动生成检测报告,标注异常区域并提供详细分析。施工团队根据报告及时调整施工工艺,避免了因路床质量隐患导致的后期沉降问题。

搭建质量大数据中心,是实现智能监控网络深度应用的关键。该中心汇聚施工过程中产生的海量数据,运用机器学习算法对历史缺陷数据进行深度分析,建立质量风险预测模型。在钢箱梁焊接施工中,系统通过分析以往焊接工艺参数、环境条件与裂纹产生的关联数据,预测不同工况下焊接裂纹产生概率,并智能优化焊接电流、电压、速度等工艺参数。某桥梁工程应用该技术后,焊接裂纹发生率从5.2%降至1.3%。同时,大数据中心还能为施工管理提供决策支持,通过分析不同施工阶段的质量数据,优化资源配置与施工进度安排。这种智能化转型使质量管控效率提升3倍以上,显著降低人工成本与质量风险,为公路工程高质量建设提供坚实保障。

5. 结束语

三阶段质量控制方法通过重构管理流程、创新技术手段,为公路工程质量提升提供了系统化解决方案。实践证明,该方法在降低质量风险、提高管控效率方面成效显著,但仍需在标准体系完善、技术创新应用等方面持续突破。未来应进一步融合数字孪生、量子传感等前沿技术,推动质量控制向预测性、自适应方向演进。通过方法论革新与技术迭代的双轮驱动,必将开创公路工程质量管理的范式。

【参考文献】

- [1]周军.公路施工的三阶段质量控制方法探讨[J].华东公路,2023(1):33-34.
- [2]温雯.公路工程施工中的质量控制及管理初探[J].工程技术(文摘版)[2025-04-17].
- [3]薛培文.浅谈公路工程路面施工技术质量控制方法[J].中国科技期刊数据库 工业A,2021.