

公路施工质量控制关键技术研究与应用

鲁党斌

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710068

摘要：随着公路建设规模扩大，质量把控至关重要。本文围绕公路施工质量控制展开研究，先阐述质量管理体系标准与质量控制基本原理等理论基础，再系统分析材料、路基、路面、桥梁施工及质量检测监测等关键技术，涵盖原材料检测、路基压实、沥青路面施工、桥梁基础施工、无损检测等核心内容。同时，指出技术推广难、应用效果不稳定、与现有管理体系融合不足等应用问题，并提出加强技术培训、完善标准规范、优化管理体系等对策，为提升公路施工质量提供技术支撑与实践参考。

关键词：公路施工；质量控制；关键技术；研究；应用

引言 公路作为交通基础设施核心，其施工质量直接影响通行安全、使用寿命与经济效益。随着我国交通建设规模扩大，复杂地质条件、多样施工环境对公路施工质量提出更高要求，传统质量控制手段已难以满足实际需求。因此，深入研究公路施工质量控制关键技术，明确理论基础，剖析各环节核心技术要点，解决技术应用中的现实问题，对保障公路工程质量、推动交通建设行业高质量发展具有重要现实意义，也是当前公路建设领域亟待探索的关键课题。

1 公路施工质量控制相关理论基础

1.1 质量管理体系标准

公路施工质量控制的核心在于建立科学的质量管理体系标准。国际标准化组织（ISO）提出的ISO 9001质量管理体系是公路工程领域广泛应用的框架，其核心要求包括明确质量方针、设定可度量的质量目标、制定标准化作业流程，并通过持续改进机制提升质量管理水平。例如，成雅快速通道项目通过ISO 9001体系，将质量责任分解至设计、施工、监理等各环节，要求材料进场前需通过第三方检测机构认证，路基压实度需达到96%以上，沥青路面平整度偏差控制在1.2mm以内，形成覆盖全生命周期的标准化控制网络^[1]。

1.2 质量控制基本原理

公路施工质量控制遵循“预防为主、过程控制、全员参与”的三大原理。预防为主原理强调通过PDCA循环（计划-执行-检查-改进）实现事前控制，如某桥梁工程在桩基施工前，采用地质雷达探测地下溶洞分布，提前调整施工方案，避免后期质量事故。过程控制原理要求对每道工序实施动态监测，如路基填筑采用“三阶段、四区段、八流程”工艺，通过实时监测含水量、压实度等参数，确保每层填筑厚度误差不超过±5cm。全员参与

原理则通过建立质量责任矩阵，将技术交底、工序验收等环节责任落实到具体岗位，形成从项目经理到一线工人的质量管控闭环。

2 公路施工质量控制关键技术分析

2.1 材料质量控制技术

2.1.1 原材料检测技术

原材料检测是确保公路施工质量的基础环节，需依据设计规范与标准对材料性能进行全面验证。检测内容涵盖物理、化学及力学性能，如水泥的强度与安定性、钢材的抗拉强度与伸长率、集料的颗粒级配与压碎值等。检测方法包括实验室试验与现场快速检测，实验室需配备专业仪器设备，确保数据精度；现场检测则注重时效性，如采用核子密度仪快速测定压实度。检测过程需严格遵循抽样规则，确保样本代表性，同时建立检测数据追溯体系，对不合格材料立即标识隔离，防止误用，为后续施工提供可靠的材料保障。

2.1.2 材料存储与管理技术

材料存储与管理直接影响材料性能与施工效率，需根据材料特性制定针对性方案。存储环境需满足防潮、防晒、防腐蚀等要求，如水泥需存放在干燥通风的库房，堆放高度不超过10袋；沥青需设置专用储罐并控制温度，避免老化。管理环节需建立材料台账，记录进场时间、规格、数量及检验状态，实现动态追踪。同时，采用分区存放与标识管理，防止不同批次或规格材料混用。定期盘点库存，结合施工进度优化采购计划，减少材料积压与浪费，确保施工连续性与成本控制。

2.2 路基施工质量控制技术

2.2.1 路基压实技术

路基压实是确保路基强度与稳定性的核心环节，需根据土质类型、含水量及压实设备特性选择工艺参数。

压实前需通过击实试验确定最佳含水量与最大干密度,确保填料处于最优压实状态。压实过程中遵循“先轻后重、先慢后快、由边向中”的原则,分层填筑厚度需严格控制(一般不超过30cm),避免超厚压实导致密实度不足。振动压路机与静力压路机需配合使用,通过调整振动频率与行驶速度实现均匀压实。压实度检测采用灌砂法或核子密度仪,每层压实后需达到设计要求的90%~96%,形成连续、稳定的承载层^[2]。

2.2.2 软土地基处理技术

软土地基处理需针对其高压缩性、低强度特性采取加固措施。常用方法包括排水固结法(如塑料排水板+堆载预压)、复合地基法(如水泥搅拌桩、碎石桩)及化学加固法(如注浆加固)。排水固结法通过设置竖向排水体加速地基固结,需控制预压荷载与加载速率;复合地基法通过桩土协同作用提高承载力,需严格把控桩长、桩径及桩间距;化学加固法需根据土质调整浆液配比,确保加固范围与强度。处理后需通过静载试验验证地基承载力,确保沉降量满足设计要求,避免后期不均匀沉降引发路面破坏。

2.3 路面施工质量控制技术

2.3.1 沥青路面施工技术

沥青路面施工需严格控制材料配比与施工温度。沥青混合料需按设计级配精确拌和,油石比偏差不超过 $\pm 0.3\%$,拌和温度控制在160~180℃,避免高温老化或低温离析。摊铺时采用非接触式平衡梁控制平整度,松铺系数根据试验段确定,通常为1.15~1.25。碾压分初压、复压、终压三阶段,初压温度不低于150℃,终压温度不低于90℃,压路机行驶速度梯度递增,确保压实度 $\geq 96\%$,同时避免轮迹与粘轮现象。

2.3.2 水泥混凝土路面施工技术

水泥混凝土路面施工需强化原材料与配合比控制。水泥强度等级不低于42.5级,砂石含泥量 $\leq 1\%$,水灰比严格按设计值(通常0.4~0.5)调整。摊铺前基层需湿润无积水,采用滑模摊铺机连续作业,振捣棒插入深度距底板5~10cm,避免过振或漏振。拉毛处理时机控制在混凝土初凝前,纹理深度2~3mm。切缝时间根据气温调整(通常12~24小时),缝深为板厚1/3,灌缝材料需与混凝土粘结牢固,防止渗水导致基层破坏。

2.4 桥梁施工质量控制技术

2.4.1 桥梁基础施工技术

桥梁基础施工需严格把控地质适配性与结构稳定性。钻孔灌注桩施工时,护筒埋设需垂直且高出地面30cm,泥浆比重控制在1.1~1.3以防止塌孔;成孔后需采

用超声波检测孔径与垂直度,偏差不超过1%。钢筋笼下放时需定位准确,主筋间距偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$,箍筋间距偏差 $\leq \pm 20\text{mm}$ 。混凝土浇筑采用导管法,首盘混凝土埋深 $\geq 1\text{m}$,浇筑过程中连续提管并控制速度($\leq 2\text{m/h}$),避免断桩或夹泥。基础承台施工需分层浇筑,每层厚度 $\leq 50\text{cm}$,大体积混凝土需埋设冷却管控制内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$,防止开裂。

2.4.2 桥梁上部结构施工技术

桥梁上部结构施工需确保结构整体性与耐久性。预制梁安装时,支座预埋件位置偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$,架设后需检测梁体轴线偏位 $\leq 10\text{mm}$ 、顶面高程偏差 $\leq \pm 10\text{mm}$ 。现浇箱梁施工时,支架需进行预压试验(荷载为设计值的1.1倍),消除非弹性变形;模板接缝处需粘贴双面胶带防止漏浆,预应力张拉前混凝土强度需达到设计值的90%。预应力筋张拉采用双控指标(应力与伸长量),实际伸长值与理论值偏差 $\leq \pm 6\%$,压浆需在48小时内完成,水灰比 ≤ 0.45 ,确保孔道密实度 $\geq 95\%$ 。

2.5 质量检测与监测技术

2.5.1 无损检测技术

无损检测技术通过非破坏性手段评估结构内部质量,广泛应用于公路桥梁、路面及隧道工程。常用方法包括:超声波检测用于混凝土内部缺陷(如裂缝、空洞)定位,通过声时差分析判定损伤深度;雷达探测技术利用高频电磁波反射特性,识别路面基层厚度及脱空区域,精度可达 $\pm 5\text{mm}$;红外热成像技术通过表面温度场分布,检测沥青路面离析或水泥混凝土结构疏松,检测效率较传统取芯法提升3倍以上。此外,X射线衍射与工业CT技术可实现微观缺陷可视化,但受设备成本限制,多用于重点工程关键部位复核。

2.5.2 实时监测技术

实时监测技术通过传感器网络与物联网平台,实现施工过程动态数据采集与预警。在路基填筑中,埋设土压力盒与沉降板,实时监测压实度与沉降速率,数据传输至云端生成三维沉降云图;桥梁施工中,采用光纤光栅传感器监测预应力张拉力,误差控制在 $\pm 2\%$ 以内,同步记录环境温湿度对结构的影响;路面摊铺时,激光平整度仪以5m/s速度扫描,实时反馈平整度偏差,自动调整摊铺机参数。监测系统集成AI算法,可预测结构变形趋势,当数据超限时自动触发短信报警,为质量控制提供即时决策支持^[3]。

3 公路施工质量控制关键技术应用的问题与对策

3.1 应用过程中存在的问题

3.1.1 技术推广难度

公路施工质量控制新技术推广面临多重阻碍。基层施工人员技术接受能力有限,对无损检测、智能监测等技术的原理与操作流程缺乏系统培训,传统经验主导的作业模式难以快速转变;部分先进设备(如三维激光扫描仪、分布式光纤传感器)采购成本高昂,中小施工企业因资金压力难以承担,导致技术应用局限于大型重点项目;此外,行业技术标准更新滞后,部分新技术缺乏统一规范,企业观望情绪浓厚,进一步制约了技术普及速度。

3.1.2 技术应用效果不稳定

技术应用效果受环境条件与操作规范性影响显著。例如,无损检测中超声波波速易受混凝土含水率、骨料粒径干扰,同一结构不同测试点数据离散性可达20%以上;实时监测系统在高温、暴雨等极端天气下,传感器灵敏度下降,数据传输延迟率增加,导致预警信息滞后;部分智能压实设备因参数设置不当,反而引发路面平整度波动,技术优势未能充分转化为质量提升。

3.1.3 与现有施工管理体系的融合问题

新技术与现有管理流程存在结构性冲突。传统质量管控以“人工抽检+纸质记录”为主,而实时监测要求“全过程数据追踪”,但现有管理体系中质量责任划分仍基于人工签字确认,与数字化监测数据难以自动关联;部分企业虽引入BIM技术,但模型更新滞后于施工进度,碰撞检测结果与现场实际偏差较大;此外,跨部门数据共享机制缺失,技术部门与施工、监理单位信息孤岛现象严重,影响质量决策效率。

3.2 解决对策

3.2.1 加强技术培训与推广

建立分层分类的技术培训体系,针对管理人员、技术人员与一线工人设计差异化课程。管理人员侧重技术管理逻辑与成本效益分析,技术人员强化设备操作与数据分析能力,一线工人开展实操演练与安全规范培训。联合行业协会与设备厂商开展巡回讲座,通过“理论+案例+实操”模式降低学习门槛。同时,利用VR/AR技术模拟施工场景,提升培训沉浸感与效果。设立技术推广专项补贴,鼓励企业应用新技术,对中小施工企业提供设备租赁优惠,通过示范工程展示技术价值,逐步消除行业观望情绪。

3.2.2 完善技术标准与规范

加快制定新技术应用标准,明确无损检测、实时监测等技术的操作流程、数据采集要求与结果判定阈值。例如,针对红外热成像检测,规定环境温度湿度、拍摄角度等参数标准,减少环境干扰;对分布式光纤传感器,统一应变与温度的标定方法。建立动态更新机制,定期修订标准以适配技术迭代。同时,推动行业标准与国家规范的衔接,避免地方性标准冲突。通过标准化建设,为企业提供明确的技术应用指南,降低因规范缺失导致的应用风险。

3.2.3 优化施工管理体系

构建“数据驱动”的质量管理体系,将实时监测数据与施工日志、质检报告关联,通过BIM平台实现质量信息可视化追溯。例如,在桥梁施工中,将传感器采集的应力数据自动同步至BIM模型,生成应力云图并预警超限区域。调整质量责任划分机制,明确数据采集、分析、决策各环节责任主体,将数字化监控记录作为质量验收的法定依据。此外,建立跨部门协同机制,通过企业微信、钉钉等工具实现技术、施工、监理单位实时沟通,打破信息孤岛,提升质量管控效率^[4]。

结束语

公路施工质量控制关键技术研究与应用,是推动行业高质量发展的核心驱动力。通过无损检测、实时监测等技术的创新突破,施工缺陷识别精度与效率显著提升,质量风险防控由“事后补救”转向“事前预控”;而技术标准完善与管理体系优化,则破解了新技术推广难、应用效果不稳定等瓶颈,实现了技术与管理的深度融合。未来,随着5G、人工智能等技术的渗透,质量控制将向智能化、全周期化演进。

参考文献

- [1]宋涛.公路工程施工管理与质量控制探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(36):31-33.
- [2]费锦松.公路桥梁施工过程中的质量控制与管理[J].黑龙江交通科技,2022,45(11):150-152.
- [3]杨海辉.公路项目施工及安全管理要点[J].交通世界,2022,(25):168-170.
- [4]贾威.公路工程的施工技术质量控制方法研究[J].住宅与房地产,2022,(20):64-68.