

公路路基和桥梁工程施工中的质量控制

王浩

准格尔旗水利事业发展中心 内蒙古鄂尔多斯市 017100

DOI:10.12238/ems.v7i7.14207

[摘要] 随着我国交通基础设施建设的快速推进,近年来,国家相继出台《交通强国建设纲要》《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》等政策文件,对工程建设质量提出了更高要求。在工程实践中,路基不均匀沉降、桥梁结构裂缝等质量通病时有发生,影响工程使用寿命,更对行车安全构成潜在威胁。特别是在复杂地质条件和特殊气候环境下,传统的质量管理方法已难以满足现代工程建设的需求,亟需建立更加科学、系统的质量控制体系。基于此,文章就公路路基和桥梁工程施工中的质量控制展开了相关研究,以供参考。

[关键词] 公路路基; 桥梁工程; 质量控制

引言:

开展公路路基和桥梁工程施工质量控制研究,具有显著的理论价值和实践意义。从技术层面看,科学的质控体系能有效预防质量通病,降低全寿命周期维护成本,提升工程耐久性。从管理角度看,完善的质量管理体系有助于规范建设市场秩序,推动行业高质量发展。本研究立足于工程实践,融合最新技术标准和智能监测手段,旨在构建“预防为主、过程控制、持续改进”的现代质量管理模式,为提升我国交通基础设施建设质量提供实践指导。

一、质量通病防治体系

(一) 路基典型问题

公路路基工程中,纵向裂缝、不均匀沉降及桥头跳车是三大典型质量通病,其根源多与填筑材料控制失当、压实工艺不合理或排水系统失效有关。

第一,纵向裂缝常因填料含水率波动导致压实度不均,尤其在膨胀土地区,夏季暴晒使表层土体快速失水收缩,而深层水分滞留形成剪切应力差,最终引发纵向贯穿裂缝。防治需采用“翻晒-闷料-二次碾压”工艺链,通过旋耕机破碎土块后控制含水率在最佳值 $\pm 2\%$ 范围内,并采用36吨以上重型振动压路机进行错轮碾压,确保压实度 $\geq 96\%$ 。

第二,不均匀沉降问题,对于软土地基路段,水泥搅拌桩复合地基成为首选方案,桩径0.5m、间距1.2m的梅花形布设可有效提升地基承载力,配合埋设土工格栅分散荷载,减少差异沉降。

第三,桥头跳车问题需在台背回填区采用级配碎石与4%水泥稳定土分层填筑,每层厚度严格控制在20cm以内,并采用小型冲击夯补强压实盲区,过渡段坡度按1:1.5设置以缓

解车辆冲击。动态监测数据表明,结合沉降观测与液压调平技术,可将工后沉降差控制在10mm/20m的规范限值内。

(二) 桥梁典型问题

桥梁工程中,支座空鼓、伸缩缝失效及混凝土裂缝是高频质量缺陷。

第一,支座空鼓多因垫石标高偏差或环氧砂浆找平层厚度不均导致。实测数据显示,当垫石平整度超过3mm/m时,支座脱空率骤增至60%以上。解决方案包括采用三维激光扫描仪复核垫石标高,对超差部位进行铣刨处理,并灌注高强无收缩灌浆料,灌注时预留2mm超高量以补偿收缩。

第二,伸缩缝早期损坏常与安装时序错误有关,如在沥青铺装层完成后才切割开槽,易造成缝体与梁端锚固薄弱。改进工艺要求先预埋伸缩缝钢筋,再整体浇筑桥面混凝土,最后同步铺装沥青层,确保缝体与结构形成刚性连接。对于大跨径桥梁,模数式伸缩缝的橡胶密封带需定期注入硅酮养护剂,以延缓紫外线老化。

第三,混凝土裂缝控制依赖配合比优化与温控措施。C50箱梁混凝土中掺入12%粉煤灰可降低水化热峰值 35°C ,配合冷却水管循环系统与双层土工布覆盖养护,能将内外温差压制在 25°C 安全阈值内。

二、公路路基施工质量控制要点

(一) 施工前勘察与设计审查

公路路基施工前的勘察与设计审查是确保工程质量的基础环节,其核心在于精准识别地质条件并优化设计方案。工程地质勘察应采用综合勘探手段,包括地质雷达扫描、静力触探试验和标准贯入试验,以查明软土、膨胀土或岩溶等不良地质的分布范围及力学特性。对于高填方路段,需通过室

内土工试验测定填料的 ρ_{dmax} 和最佳含水率,并评估其CBR值。设计阶段应结合荷载模拟计算沉降量,若预测工后沉降超过150mm,需采用换填、强夯或桩基加固等处理措施。审查重点包括纵断面设计的合理性、横坡排水坡度的可行性,以及特殊路段的防渗设计方案。

(二) 土方填筑与压实控制

土方填筑与压实质量直接决定路基的长期稳定性,其控制要点在于材料选择、分层摊铺与压实工艺的精细化。填料优先选用砾类土或砂类土,严禁使用有机质含量 $>5\%$ 或液限 $>50\%$ 的高塑性黏土。摊铺时采用“划格上土”法控制松铺厚度,推土机初平后由平地机精平,确保厚度偏差在 $\pm 10\text{mm}$ 以内。压实作业遵循“先静压后振压、先慢后快”原则,振动压路机的碾压速度控制在 $2\sim 4\text{km/h}$,碾压遍数通过试验段确定(通常 $6\sim 8$ 遍)。对于台背、管涵周边等机械难以到达的部位,采用液压冲击夯(夯击能量 $\geq 30\text{J}$)补强,压实度检测采用灌砂法,要求路床顶面以下 $0\sim 80\text{cm}$ 压实度 $\geq 96\%$ 、 80cm 以下 $\geq 94\%$ 。

(三) 排水与边坡稳定措施

排水系统失效是诱发路基水毁和滑坡的主因,需构建“防排结合、分层疏导”的综合排水体系。地下排水采用纵向盲沟(粒径 $30\sim 50\text{mm}$ 碎石填充)与横向渗沟组合布置,盲沟纵坡 $\geq 0.5\%$ 以保证自流排水,渗沟间距按地下水位埋深确定(一般 $20\sim 50\text{m}$)。路表排水通过沥青混凝土拦水带与急流槽衔接,急流槽坡度陡于 $1:1.5$ 时需设置消力坎。高边坡($>10\text{m}$)防护采用“锚杆框架梁+三维植被网”复合结构,锚杆钻孔直径 $\geq 110\text{mm}$ 并灌注M30水泥砂浆,框架梁节点处预埋PVC泄水管(间距 $2\text{m}\times 2\text{m}$)。对于膨胀土边坡,需设置 2m 宽平台并采用拱形骨架护坡,骨架内回填种植土并植草固坡。某沿海公路项目通过在路基两侧增设反滤层(土工布+砂砾石)和集水井,使地下水位降低 1.2m ,边坡滑塌事故减少 80% 。

(四) 施工过程检测

全过程动态检测是质量控制的核心手段,需覆盖材料、压实度、承载力及变形监测四大维度。填料进场时快速检测含水率(酒精燃烧法)和含泥量($\leq 5\%$),每 5000m^3 委托实验室进行一次颗粒分析试验。压实度检测采用灌砂法与核子密度仪互补验证,对争议数据以灌砂法为准。弯沉值检测选用贝克曼梁(适用于点式抽检)或落锤式弯沉仪(FWD,可连续测量),要求路基顶面回弹弯沉值 $\leq 200(0.01\text{mm})$ 。沉降监测采用智能静力水准仪(精度 $\pm 0.1\text{mm}$)或沉降观测桩(每周

测量1次),当连续2个月沉降速率 $< 3\text{mm/月}$ 时可判定稳定。某软基路段通过埋设孔隙水压力计和测斜管,发现某区段固结速率滞后,及时增设真空预压措施,使工后沉降量从预估的 180mm 降至 65mm ,远超设计预期。

三、桥梁工程施工质量控制要点

(一) 桩基与基础施工质量控制

桥梁桩基的施工质量直接关系到整体结构的承载力和耐久性,其核心控制点在于成孔垂直度、沉渣厚度和混凝土灌注密实度。

(1) 施工前准备控制:钻孔灌注桩施工前需采用全站仪精准放样桩位,偏差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 以内,护筒埋设深度在砂层中不小于 2m 以维持孔壁稳定。(2) 成孔过程控制:旋挖钻机成孔时,通过电子测斜仪实时监测垂直度,确保偏差 $\leq 1\%$,遇岩层时改用牙轮钻头破碎并控制钻进速度在 0.5m/h 以内以防偏孔;清孔后沉渣厚度检测采用重锤法(端承桩 $\leq 50\text{mm}$ 、摩擦桩 $\leq 100\text{mm}$),灌注前导管需进行水密性试验(压力 $\geq 0.6\text{MPa}$)。 (3) 混凝土灌注控制:混凝土灌注采用“拔球法”初灌,首灌量保证导管埋深 $\geq 1\text{m}$,灌注过程中保持导管埋深 $2\sim 6\text{m}$,超灌高度控制在 $0.8\sim 1\text{m}$ 以凿除浮浆层。如某跨江大桥工程,通过采用超声波孔壁检测仪发现局部缩径,及时调整泥浆比重至 1.25 并二次扫孔,使桩身完整性检测(声测管法)I类桩比例提升至 98% 。

(二) 墩台与支座施工管理

墩台混凝土的实体质量与支座安装精度,共同构成桥梁上部结构的稳定支撑体系。

(1) 墩台施工管理:墩台模板优先选用定型钢模(平整度 $\leq 3\text{mm}/2\text{m}$),加固采用对拉螺杆配合槽钢围檩,防止浇筑时胀模;大体积墩身混凝土采用分层浇筑(每层 $\leq 1.5\text{m}$),内部预埋冷却水管(间距 $1\text{m}\times 1\text{m}$)通循环水降温,控制内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ 。(2) 垫石施工管理:垫石施工采用数控机床精铣标高,顶面四角高差 $\leq 2\text{mm}$,预埋支座锚栓孔位采用三维坐标放样(偏差 $\pm 3\text{mm}$)。 (3) 支座安装管理:支座安装前需复测垫石平整度($\leq 1\text{mm}/\text{m}$),环氧砂浆找平层采用压力注浆工艺(抗压强度 $\geq 50\text{MPa}$),四角用塞尺检查无 0.3mm 以上缝隙。如某高铁桥梁项目,通过采用自流平聚合物砂浆调整垫石标高,配合全站仪实时监测,使球形支座安装偏位控制在 2mm 以内,远低于 5mm 的规范允许值。

(三) 梁体预制与架设控制

预制梁的几何尺寸精度和架设线形控制是保证桥跨受力

合理的关键。

(1) 梁体预制控制: 预应力箱梁预制采用不锈钢模板, 钢筋绑扎实行“模块化胎架”定位, 波纹管坐标误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内; 混凝土浇筑采用“马蹄形部位→腹板→顶板”的顺序, 插入式振捣器配合附着式振捣器确保密实, 蒸汽养护时升温速率 $\leq 10^\circ\text{C}/\text{h}$ 以防温度裂缝; 预应力张拉实行“双控”, 油压表读数与伸长量偏差超过 $\pm 6\%$ 时立即暂停分析原因, 孔道压浆采用真空辅助工艺保证饱满度 $\geq 95\%$ 。(2) 梁体架设控制: 架梁前采用三维激光扫描复核支座垫石标高, 架桥机过孔时监控主梁挠度, 落梁后检查相邻梁端高差。如某30mT梁预制场通过引入智能张拉系统和压浆监测仪, 使孔道压浆密实度从90%提升至99%, 有效预防了预应力筋锈蚀。

(四) 桥面系施工质量保障

桥面铺装层和伸缩缝的施工质量直接影响行车舒适性与桥梁使用寿命。

(1) 桥面铺装施工: 混凝土桥面抛丸处理后的粗糙度需达到SP3级, 防水层采用甲基丙烯酸树脂喷涂, 施工后48小时内禁止踩踏; 沥青铺装层与混凝土层间设置改性乳化沥青粘层, 摊铺时温度不低于 160°C , 双钢轮压路机初压与轮胎压路机复压相结合, 确保压实度 $\geq 97\%$ 。(2) 伸缩缝施工: 伸缩缝安装前需精确切割清槽, 锚固钢筋与预埋件采用 CO_2 气体保护焊连接, 橡胶止水带接缝热熔焊接。某城市立交桥通过采用高弹改性沥青砂填充伸缩缝间隙, 配合夜间施工控制温度变形, 使缝体使用寿命延长至8年以上, 较传统工艺提高3倍。(3) 防撞护栏施工: 防撞护栏模板安装采用全站仪调校线形, 混凝土浇筑后覆膜养护7天, 最终强度检测采用回弹-取芯法。

四、施工组织与质量管理体系建设

(一) 质量管理制度建设

健全的质量管理制度是确保公路与桥梁工程质量的制度保障, 需建立覆盖全流程、多层级的管理体系。(1) 项目质量管理应严格遵循PDCA循环模式, 制定《质量策划书》《质量验收标准》等纲领性文件, 明确各参建方职责; (2) 关键工序实行“三检制”, 每道工序验收合格后方可进入下一环节, 并留存完整的影像和文字记录; (3) 材料进场验收采用“盲样管理”, 由监理单位对样品编号后送第三方检测, 避免人为干预; (4) 建立质量责任追溯制度, 实行“质量保证金+质量黑名单”双重约束, 对重大质量事故实施“一票否决”; (5) 引入质量信用评价体系, 将分包商质量表现与工程款支付挂

钩, 有效提升了整体施工质量水平。

(二) 技术交底与人员培训

深度技术交底与专业化培训是消除质量隐患的前置屏障, 必须实现从管理层到作业层的有效穿透, 避免人为操作导致的质量问题。(1) 技术交底采用“三维动画+实体样板”相结合的方式, 对路基分层碾压厚度、桥梁预应力张拉工艺等关键环节进行可视化演示, 提升交底的可理解性和有效性;

(2) 建立“项目部-工区-班组”三级培训体系, 新工艺应用前组织实操考核; (3) 推行“质量口袋书制度”, 将压实度控制标准、混凝土养护要求等关键参数制成便携卡片, 确保作业人员随时查阅, 保证现场操作精准。

(三) 第三方检测

独立公正的第三方检测是工程质量客观评价的重要防线, 需构建“过程抽检+飞行检查”的双重监督机制。(1) 检测机构资质与检测要求: 委托具有CMA资质的检测机构, 对路基压实度、桥梁桩基完整性等关键指标进行平行检测, 检测频率不低于规范要求的30%。(2) 重点工程监督强化: 重点工程实施“盲检+突检”, 检测时间、点位由监理工程师现场随机指定, 避免“做样迎检”; 同时, 采用先进检测设备如地质雷达、拉拔仪等, 检测数据实时上传至监管平台, 确保数据可追溯。(3) 检测结果管理: 建立检测结果双报告制度, 检测机构同时向施工方和业主提交报告, 保障信息对称; 重大质量问题直接通报质量监督站, 强化外部监管效力。

五、结语

在交通基础设施建设快速发展的背景下, 公路路基与桥梁工程的质量控制已不仅是技术问题, 更是关乎公共安全和经济效益的系统性课题。随着新材料、新工艺和智能监测技术的广泛应用, 传统质量管理模式正经历深刻变革, 而施工标准化、检测智能化和监管数字化正成为行业升级的核心驱动力。当前, 如何在复杂地质条件、极端气候等挑战下确保工程质量, 同时兼顾施工效率与成本控制, 仍是工程管理人员需要持续探索的方向。

[参考文献]

- [1] 彭阔. 公路路基沉降施工技术及其质量控制[J]. 建材与装饰, 2025, (5): 151-153.
- [2] 崔娜. 公路路基施工中冲击压实技术的应用[J]. 汽车周刊, 2024 (3): 92-94.
- [3] 孟海玉. 公路桥梁工程中路基与路面的施工技术探讨[J]. 城市情报, 2023 (5): 217-219.