

道路桥梁工程施工质量管理与控制措施探讨

周杰楠

杭州市交通工程集团有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 道路桥梁工程作为国家基础设施建设的核心领域,其质量直接关系到交通运行安全、区域经济发展及社会民生福祉。近年来,我国桥梁建设规模持续扩大,但部分工程因设计缺陷、材料劣质、施工不规范等问题引发坍塌、断裂等事故,暴露出质量管理体系的薄弱环节。本文从设计、材料、施工、技术、监管等维度系统剖析道路桥梁工程质量管理痛点,结合典型案例提出全生命周期质量控制策略,旨在为行业提供可落地的解决方案,推动工程质量向精细化、标准化、智能化方向升级。

关键词: 道路桥梁工程;质量管理;全生命周期控制;BIM技术;质量追溯体系

1 引言:质量管控是工程建设的生命线

根据交通运输部数据,截至2025年6月,我国公路桥梁总数突破110万座,其中特大桥梁达8000余座,桥梁建设规模与复杂度均居世界前列。然而,工程质量事故频发成为行业痛点:2012年8月24日,哈尔滨阳明滩大桥引桥坍塌,导致3死5伤,事故直接原因是车辆超载与匝道独立柱体结构设计缺陷;2007年8月13日,湖南凤凰县堤溪沅江大桥在施工阶段垮塌,造成64人死亡,根源在于擅自变更设计、减少石料用量、缩短养生时间;2011年7月14日,福建武夷山公馆大桥北端发生垮塌,1辆旅游大巴坠入河中,事故直接诱因是吊杆锚具中夹片碎裂导致钢绞线锚固失效。这些事故不仅造成生命财产损失,更引发社会对工程质量管理深度质疑。

道路桥梁工程具有技术复杂、周期长、参与方多等特点,其质量管理需贯穿设计、施工、运维全生命周期。传统管理模式侧重于施工阶段的质量检查,忽视设计风险预控与材料供应链管理,导致质量隐患在运营阶段集中爆发。本文基于近五年行业实践与事故案例,从技术、管理、制度三个层面构建系统性解决方案,为提升工程质量提供理论支撑与实践指导。

2 道路桥梁工程质量管理核心痛点

2.1 设计阶段:标准滞后与风险预判不足

设计阶段是工程质量的源头,但当前设计体系存在三大缺陷:其一,荷载标准更新滞后。以湖南凤凰县堤溪沅江大桥垮塌事故为例,设计单位采用1975年《公路桥涵设计通用规范》,未考虑现代重载交通增长需求,实际运营中车辆荷载远超设计值,导致主拱圈承载力不足。其二,地质勘察深度不足。2018年广东佛山某高架桥施工中,因钻孔取样间距过大(达50米),未识别地下溶洞群,桩基施工时突发塌孔,造成3名工人被困。其

三,动态评估机制缺失。2004年重庆綦江彩虹桥坍塌事故中,设计未考虑人行桥与车行桥荷载叠加效应,且未对运营期结构性能进行定期评估,最终因吊杆锈蚀断裂导致整体垮塌。

此外,专家评审流于形式现象普遍。2009年湖南株洲红旗路高架桥拆除工程中,评审专家未对爆破方案进行详细验算,仅依据经验判断结构安全性,导致爆破后剩余桥体失稳倒塌,造成9死16伤。

2.2 材料管理:供应链失控与检测漏洞

材料质量是工程实体质量的基础,但供应链失控问题突出。在采购环节,低价中标现象导致优质供应商退出竞争^[1]。2016年江苏盐城某市政桥梁项目钢筋采购中,中标价低于市场价18%,供应商使用地条钢(废旧钢铁熔炼)替代合格螺纹钢,其屈服强度仅达设计值的65%,导致梁体开裂。在验收环节,检测手段落后加剧质量风险。2019年山东济南某项目砂石料检测中,仍采用人工筛分法,误差率达15%,而实际应使用激光粒度分析仪(误差 $\leq 3\%$),导致混凝土28天强度不足设计值的80%。

存储管理不善进一步恶化材料性能。2017年浙江杭州某项目水泥露天堆放受潮结块后,仍被用于浇筑桥墩,拆模后发现大面积蜂窝麻面,回弹法检测强度仅达设计值的78%;钢筋未垫高存放引发底部锈蚀,有效截面损失率超12%,降低结构承载能力。

2.3 施工工艺:技术滞后与操作失范

施工工艺控制缺陷是质量问题的直接诱因。混凝土浇筑环节,振捣不密实导致蜂窝麻面,养护温度控制不当引发收缩裂缝。2015年广东东莞某跨海大桥箱梁施工中,因未采用智能温控系统,大体积混凝土内外温差达45℃,产生贯穿性裂缝,被迫进行碳纤维布加固,增加成本3000万元。预应力张拉环节,传统油压表读数误差

达 $\pm 5\%$ ，而智能张拉系统可将误差控制在 $\pm 1\%$ 以内。2018年湖北武汉某项目因张拉力不足，导致梁体上拱度减小25%，影响行车舒适性。

焊接工艺质量参差不齐。钢结构桥梁中，焊缝无损检测覆盖率不足50%，部分项目仅对关键节点进行抽检。2020年广东中山西环高速高架桥坍塌事故中，钢箱梁环向焊缝未进行超声波探伤，熔深不足导致焊缝撕裂，支架体系失稳，造成4死3伤。

2.4 监管体系：权责模糊与执行乏力

监管链条断裂是质量失控的制度性原因。建设单位为追求进度，常压缩合理工期，迫使施工单位简化工艺流程。2013年辽宁抚顺月牙岛西桥施工中，监理单位发现混凝土浇筑间隔时间超标（应 ≤ 1.5 小时，实际达3小时），但因建设单位施压未下达停工令，导致施工缝处理不当引发渗漏，运营3年后桥墩钢筋锈蚀严重^[2]。权责界定不清导致“三不管”地带，如桥面铺装层厚度控制，设计单位认为属施工范畴，施工单位则以设计图纸未标注为由推诿，最终厚度偏差达25%（设计要求10厘米，实际仅7.5厘米）。

监管手段落后制约效能提升。人工抽检频率低且随机性强，难以覆盖全工序。2014年四川成都某项目监理单位仅对8%的钢筋焊接接头进行检测，漏检的缺陷接头在运营阶段断裂，引发桥面塌陷，造成2死5伤。质量追溯体系缺失导致责任认定困难，事故调查常陷入“踢皮球”困境。

3 全生命周期质量管控体系构建

3.1 设计阶段：强化风险预控与标准升级

构建动态设计标准体系是源头治理的关键。需将气候变化、交通增长等外部因素纳入荷载计算模型，如《公路桥梁抗撞设计规范》（JTG/T 3360-02-2020）明确要求根据桥梁等级确定船舶撞击力设计值，较旧规范提高30%-50%。推广BIM协同设计平台，实现地质、水文、交通流量等数据的实时集成。港珠澳大桥设计阶段，通过三维地质建模提前识别沉管隧道基床回淤风险，优化抛石工艺后沉降量控制在5厘米以内，较传统方法减少70%。

完善专家评审机制需引入第三方独立评审。组建由结构、地质、材料等多学科专家构成的评审委员会，对关键节点进行二次论证。2021年深中通道设计中，第三方机构通过有限元分析发现原方案桥塔抗风稳定性不足，提出增设横向支撑的改进措施，避免运营期风振破坏。建立设计缺陷黑名单制度，对因设计失误导致质量事故的单位实施市场禁入，倒逼设计质量提升。

3.2 材料管理：构建全链条追溯体系

实施供应商分级管理是保障材料质量的前提。建立包含质量、履约、服务等维度的信用评价体系，对水泥、钢材等关键材料供应商实行A/B/C三级管理。A级供应商可享受优先中标权，C级供应商则限制参与投标。杭州湾跨海大桥建设中，通过供应商评价系统淘汰了15家不合格企业，材料一次验收合格率提升至98%。

推广智能化检测技术可提升检测效率与准确性。部署移动式实验室，配备混凝土氯离子含量快速检测仪、钢筋扫描仪等设备，实现材料性能实时诊断^[3]。2022年雄安新区某项目采用X射线荧光光谱仪检测砂石料硫含量，10分钟内完成检测，较传统化学分析法效率提高20倍。利用区块链技术存储检测数据，确保数据不可篡改。深中通道项目建立材料电子身份证系统，将砂石料来源、检测报告等信息上链，实现质量责任精准追溯。

3.3 施工工艺：推行标准化与智能化

编制工艺标准化手册可规范操作流程。针对混凝土浇筑、预应力张拉等关键工序，制定图文并茂的操作指南，明确温度控制、振捣时间等参数。2019年港珠澳大桥项目通过“工匠工作室”培训，使工人掌握大体积混凝土温控技术，将内外温差控制在25℃以内，避免裂缝产生。

部署智能施工装备是提升工艺精度的核心。引入3D打印技术制造异形桥墩模板，减少拼接误差至1毫米以内。采用智能张拉系统，通过压力传感器与位移传感器双控，确保张拉力误差 $\leq 1\%$ 。深中通道项目应用无人机倾斜摄影技术，每周生成桥体三维模型，对比设计图纸识别偏差，将线形误差控制在L/5000以内。

3.4 监管体系：创新协同治理模式

构建“政府-企业-社会”三方共治机制可形成监管合力。政府层面推行“双随机、一公开”监管，对重点项目实施飞行检查，2024年交通运输部飞行检查发现问题数量较常规检查提高40%。企业层面建立质量保证金制度，将5%工程款与质量验收结果挂钩，2023年江苏南京某市政道路项目通过该制度促使施工单位返工处理不合格路基，节约后期维修成本200万元。社会层面鼓励公众参与监督，设立“工程质量曝光台”，对有效线索给予奖励，形成全民共治氛围。

开发质量监管大数据平台可实现动态监控。集成BIM模型、物联网传感器、施工日志等数据，构建工程数字孪生体^[4]。雄安新区“智慧工地”系统集成2000余个传感器，实时监测混凝土温度场、钢结构应力等参数，自动触发预警1200余次，避免质量事故发生。通过机器学习

习算法分析历史数据,可预测裂缝、沉降等缺陷发展趋势,提前采取干预措施。

4 质量事故应急处理与持续改进

4.1 应急处理机制:分级响应与快速修复

建立分级响应机制是提升事故处置效率的重要举措。针对坍塌、断裂等重大事故,应启动一级响应。在这一级别响应下,需在24小时内迅速组建由设计、施工、检测等多领域专家构成的支援团队。这些专家凭借丰富的经验和专业知识,采用碳纤维布加固、体外预应力补强等先进应急技术,对受损结构进行紧急修复。例如,2018年广东佛山某高架桥遭遇超载货车撞击,运维单位第一时间启动一级响应,利用无人机快速勘查现场情况,精准定位受损部位,在48小时内完成防撞墩修复,及时恢复了航道通行,有效避免了事故的进一步恶化。对于裂缝、渗漏等一般缺陷,则实施二级响应。这一过程遵循“诊断-修复-验收”的闭环管理流程,确保每一个环节都严谨细致。2020年浙江杭州某项目在处理混凝土蜂窝麻面问题时,采用高压注浆技术,将注浆压力精准控制在1.5MPa,使浆液能够充分填充孔隙。经过严格的质量验收,修复后的强度达到母材的95%,有效保障了工程质量。

4.2 持续改进机制:PDCA循环优化

实施PDCA循环是推动质量管理体系迭代升级的有效方法。在计划阶段,每季度发布质量改进计划,明确关键指标目标值,为质量提升指明方向。比如,将焊缝合格率从95%提升至99%,通过设定具体目标,激励相关人员积极采取措施提高质量水平。执行阶段,开展“质量月”活动,通过技能竞赛等方式提升工人操作水平。2021年港珠澳大桥项目在钢筋焊接比赛中引入激光跟踪仪,实时反馈焊缝成型质量,让工人能够及时调整操作手法,使一次合格率大幅提高25%,显著提升了焊接质量。检查阶段,委托第三方机构进行年度质量审计,出具改进建议书。第三方机构以客观、专业的视角,重点

分析重复性问题的根源,为质量改进提供有力依据。处理阶段,对预应力管道压浆不密实等顽疾启动根因分析(RCA),从人员、设备、工艺、环境四方面追溯问题,找出根本原因后修订作业指导书并组织专项培训。港珠澳大桥管理局还建立质量缺陷数据库,累计收录1200余条问题案例,为后续项目提供风险规避指南,有效预防类似质量问题的再次出现,实现工程质量的持续提升。

结语

道路桥梁工程质量管控需突破传统“事后补救”模式,向“事前预防-事中控制-事后改进”的全链条管理转型,然而当前行业在智能化监管、绿色材料应用等方面仍存在短板,如BIM+GIS技术融合度不足、再生骨料混凝土性能稳定性差等。未来,随着5G、数字孪生、人工智能等技术的深度应用,工程质量管控将呈现智能化、绿色化、国际化三大趋势,智能化即通过AI视觉识别自动检测钢筋间距、混凝土表面平整度等指标以减少人工误差;绿色化即推广光伏路面、自修复混凝土等低碳技术以降低全生命周期碳排放;国际化即对接欧盟EN标准、美国AASHTO规范以提升中国桥梁工程的全球竞争力。工程质量是行业发展的基石,唯有以“零缺陷”为目标,构建“技术-管理-文化”三位一体的质量生态,方能筑就经得起历史检验的百年工程。

参考文献

- [1]郭伟.道路桥梁工程施工质量管理与控制措施分析[J].交通建设与管理,2024,(05):71-73.
- [2]李林德.道路桥梁工程施工质量管理与控制措施研究[J].运输经理世界,2024,(20):98-100.
- [3]丁显明.道路桥梁工程施工质量管理与控制探析[J].汽车周刊,2024,(06):169-171.
- [4]岳洪兴.道路桥梁工程施工质量管理与控制探讨[J].全面腐蚀控制,2022,36(04):64-66.