

市政道路桥梁施工中的质量控制技术研究

文 / 王 东 日照安宏市政工程有限公司

韩明红 日照安宏市政工程有限公司

陈晓丽 日照安宏市政工程有限公司

摘要：市政道路桥梁工程是城市基础设施建设的重要组成部分，其施工质量直接影响交通安全与结构耐久性。本文围绕地基与结构施工、混凝土与钢筋施工以及信息化与智能化管理三个方面展开研究。通过分析地基处理、桩基施工及沉降监测等环节，探讨了关键控制措施；结合混凝土与钢筋施工过程中的配合比、养护及预应力管理，提出提升结构性能的有效途径；引入BIM、物联网与大数据技术，实现施工全过程的智能化质量管控。研究结果表明，系统化质量管理与信息化技术的结合能显著提高市政道路桥梁施工质量与管理水平。

关键词：市政道路；质量控制；智能化管理；施工质量

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.059

引言

作为连接城市交通网络的重要载体，市政道路桥梁工程质量不仅影响通行效率，更关系到城市运行的安全性与长期可持续发展。近年来，随着城市化进程的加快，市政工程规模不断扩大、结构形式日益复杂，施工过程中面临的质量控制难题也愈加突出。地基稳定、混凝土耐久性、钢筋施工精度及信息化监测能力等因素，成为影响工程质量的关键环节。开展对市政道路桥梁施工中质量控制技术的系统研究，旨在为工程建设提供科学的技术指导，提升施工精细化管理水平，促进工程质量标准化与信息化发展。

一、地基与结构施工质量控制

(一) 地基处理与基础稳定性控制

地基处理是保障市政道路桥梁结构稳定的关键环节。针对软弱地基或填土层较厚地区，常采用强夯、预压排水、深层搅拌桩及换填结合方式加固。强夯施工时夯能控制在 $3000 \sim 6000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，夯击间距 $2.0 \sim 2.5 \text{ m}$ ，地基承载力应达到 $150 \sim 250 \text{ kPa}$ 。预压排水采用真空预压结合排水板，负压 $80 \sim 90 \text{ kPa}$ ，排水板间距约 1.0 m ，固结期 $2 \sim 3$ 个月，图1为单幅路与爽幅路道路排水示意图。不同地质条件下的方案应通过试桩或试夯调整，使地基压实度 $\geq 95\%$ ，沉降速率 $\leq 0.5 \text{ mm/d}$ 。

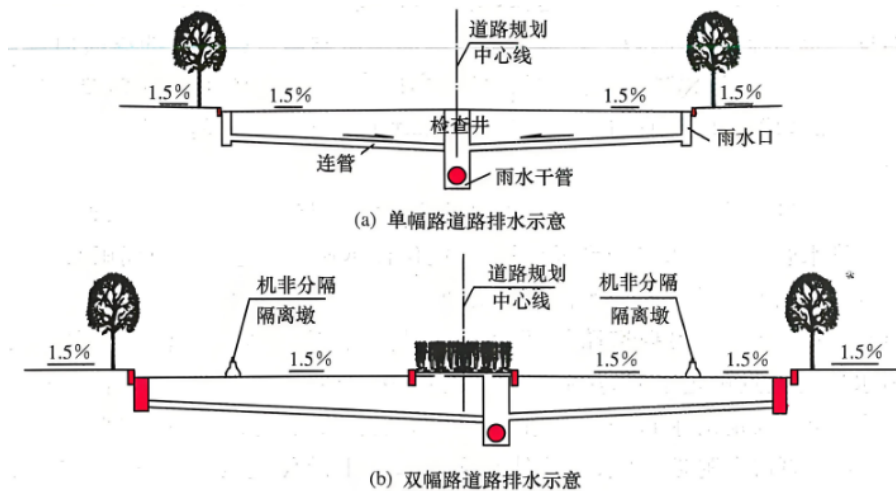


图1 单幅路与爽幅路道路排水示意图

地基加固完成后需进行稳定性复核与沉降观测。监测点沿道路中线与桥梁墩台布设，间距 $15 \sim 20 \text{ m}$ ，采用精密水准仪或自动化设备观测。监测数据通过无线系统实时回传，自动计算固结度与变形速率。当沉降量稳定、孔隙水压力降至初始值的 10% 以下时，方可进行上部施工。通过动态监测与分析，可有效防止不均匀沉降及剪

切破坏，保证地基承载力与结构稳定性满足设计要求。

(二) 桩基成孔、灌注及检测

桩基是道路桥梁结构的主要承重单元，其成孔与灌注质量决定工程安全。钻孔施工中应控制孔径偏差 $\leq \pm 20 \text{ mm}$ ，垂直度偏差 $\leq 1/100$ ，孔底沉渣厚度 $\leq 50 \text{ mm}$ 。施工中采用比重 $1.15 \sim 1.25$ 、黏度 $18 \sim 22 \text{ s}$ 、含

砂率 $\leq 4\%$ 的泥浆保持孔壁稳定。成孔后清孔,检测合格方可下放钢筋笼。钢筋笼定位偏差 $\leq \pm 10$ mm,保护层厚度符合规范。

混凝土灌注采用导管法,导管埋深 $2.0 \sim 3.0$ m,坍落度 $180 \sim 220$ mm,连续灌注时间 ≤ 10 小时,确保混凝土密实无离析。成桩后24小时内应进行初检,采用声波透射或低应变反射法检测桩身完整性。检测精度 $\leq \pm 0.5\%$,不合格桩需补桩或加固。混凝土强度等级 $\geq C30$,桩端承载力 \geq 设计值1.2倍。

(三) 结构变形与沉降监测

结构变形与沉降监测贯穿施工与运营全过程,是控制工程安全的关键环节。监测系统包括沉降计、测斜仪、应变计和全站仪,测点间距 $10 \sim 20$ m,在桥台、墩柱等关键节点加密布设。监测精度要求垂直位移 ± 0.3 mm,水平位移 ± 0.5 mm/s,温度补偿范围 $-20^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 。数据采集频率 $10 \sim 100$ Hz,通过自动终端上传至监控中心,实现实时分析与预警^[1]。当累计沉降量达到警戒值80%,系统自动报警,现场立即进行结构复核与处理。

为确保监测数据可靠与连续,采用LoRa无线通信远程传输,距离可达 $10 \sim 20$ km,保证复杂环境下的稳定性。监测曲线通过软件自动拟合,判断沉降趋向与变形速率。当地基或结构沉降速率 ≤ 0.3 mm/d,且连续七天波动 $\leq 5\%$,可认定结构变形趋于稳定。该监测体系能早期识别结构异常,避免地基局部失稳与上部结构开裂。

二、混凝土与钢筋施工质量控制

(一) 混凝土原材料与配合比管理

混凝土质量控制首先从原材料选择与配合比优化开始。水泥采用42.5级普通硅酸盐水泥,细骨料含泥量不超过2%,最大粒径控制在20 mm,粗骨料级配需满足 $5 \sim 40$ mm,并保证含水率在 $2\% \sim 4\%$ 范围内。外加剂选用减水剂或缓凝剂,掺量控制在 $0.8 \sim 1.2\%$,确保坍落度在 $180 \sim 220$ mm。水灰比严格控制在 $0.42 \sim 0.48$,通过配合比设计保证28天抗压强度达到C30~C50等级要求。

配合比优化过程中还需考虑温度和施工环境的影响。施工温度在 $5 \sim 35^\circ\text{C}$ 范围内,低于 5°C 时需采取加热材料或覆盖保温措施,高于 35°C 时采用喷水雾或添加缓凝剂控制水化速率。混凝土在运输过程中坍落度允许损失不超过25 mm,泵送压力控制在 $100 \sim 500$ kPa,确保混凝土均匀到位^[2]。通过科学配合比设计与现场监控,可实现混凝土密实度、抗渗性和耐久性达到设计指标。

(二) 浇筑振捣与养护防裂控制

混凝土浇筑过程对结构质量至关重要。浇筑应采用分层分块方式,每层均匀铺设并充分振捣,确保混凝土密实、均匀,无蜂窝麻面。施工中应密切关注混凝土温度变化,控制内部温差,防止早期裂缝产生,同时在表面采取覆盖或保湿措施控制水分蒸发。大体积混凝土可通过降低拌制温度或添加冷却材料,并结合覆盖养护,减少温度应力和收缩裂缝风险,保证结构质量与耐久性,浇筑前后技术数据对比见表1。

表1 混凝土浇筑施工前后技术数据对比

指标	施工前标准值	施工后实际值	改善效果
浇筑层厚度 (cm)	30 ~ 50	30 ~ 50	保持设计厚度,避免分层不均
振动频率 (Hz)	100 ~ 500	120 ~ 480	混凝土密实度提高,蜂窝麻面减少
振动时间 (秒/点)	5 ~ 15	5 ~ 12	避免过振导致离析
内部温度梯度 ($^\circ\text{C}$)	≤ 15	12 ~ 14	防止早期裂缝
水分蒸发率 (%)	—	控制在3以下	表面干裂风险下降
混凝土密实度 (kg/m^3)	—	提升约50	提高强度与耐久性

养护环节严格控制温度和湿度,采用覆盖湿麻袋或喷雾养护方式,保持表面湿度在95%以上,养护期一般为 $14 \sim 21$ 天。早期收缩裂缝可通过及时洒水或涂膜剂控制裂缝宽度不超过0.3 mm。对于桥台、承台等关键部位,可在混凝土浇筑完成后24小时内安装温度应变计和湿度计,监测内部温度和湿度变化,实现动态管理。

(三) 钢筋加工、安装与预应力施工管理

钢筋施工要求加工、安装与预应力施工协调进行,

以保证结构受力性能。钢筋加工应严格按照设计尺寸控制弯折精度 ± 5 mm,焊接或机械连接符合规范要求,接头位置均匀分布,保证钢筋保护层厚度符合设计标准。钢筋安装后需进行位置和间距复核,间距允许偏差不超过 ± 10 mm,绑扎牢固,防止浇筑过程中移位。

预应力施工阶段应严格控制张拉力、张拉速率及锚固过程。张拉力控制在设计值的95%~105%,张拉速度 0.5 mm/s以内,锚固后应测定应力损失,控制总损失在

设计值允许范围内。施工期间监测梁体温度及振动变化,避免过早张拉引起裂缝或钢筋屈服^[3]。对于关键桥梁构件,张拉后2~3周可进行应力复测,确保预应力钢筋达到设计承载效果。

三、信息化与智能化质量控制

(一) BIM 在施工全过程质量管理中的应用

BIM 技术在市政道路桥梁施工中实现了从设计、施工到验收的全过程质量管理。通过建立三维模型,可直观展示地基、桥墩、承台及上部结构的空间关系和施工工序。施工前通过 BIM 模型进行碰撞检查和施工模拟,识别管线冲突、钢筋干涉及模板搭设问题,提前调整施工方案。模型中可嵌入材料属性、施工工艺及质量指标,如混凝土强度等级、钢筋间距及模板承载力,便于施工单位实时核查与记录,图 2 为桥梁施工 BIM 技术的应用现场。

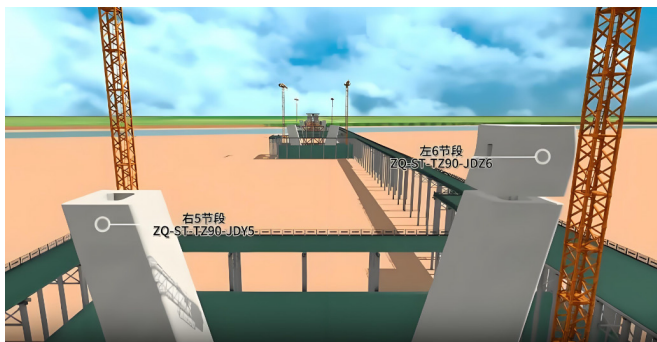


图 2 桥梁施工 BIM 技术的应用现场

BIM 技术与现场实际监测结合,可实现施工偏差预警与校正。通过将施工测量数据导入模型,可对桩基标高、桥墩位置及梁体几何尺寸进行实时对比,偏差超过 ± 10 mm 即触发警示。结合三维可视化,施工人员可快速了解问题位置和整改方案,缩短处理时间。模型还可支持施工方案优化,如调整模板支撑布置或混凝土浇筑顺序,使施工质量和安全性得到有效提升。

(二) 物联网与传感监测技术的集成应用

物联网技术在市政道路桥梁施工中实现了现场传感器数据的实时采集与远程管理。沉降计、测斜仪、应变计及温湿度传感器通过无线网络布设在桥墩、承台及梁体关键位置,传输距离可达 10~20 km。传感器采集频率可达 10~100 Hz,测量精度垂直位移 ± 0.3 mm、应变 $\pm 50 \mu \varepsilon$ ^[4]。通过物联网平台,施工单位可实时监控基础沉降、结构应力应变及混凝土温度变化,及时发现潜在异常并采取处理措施,避免施工缺陷扩散。

传感监测技术可与 BIM 模型集成,实现可视化数据管理。监测点数据自动同步到三维模型中,可直观显示结构变形趋势和应力分布情况。通过长期数据积累,系

统可建立结构健康数据库,用于分析沉降规律、温度效应及施工荷载影响。关键节点可设置自动报警,当沉降或应力超过设计警戒值 80% 时,现场管理人员可即时收到提示,并采取卸载、加固或暂停施工等措施,从而提升施工过程安全性和质量可靠性。

(三) 大数据与智能分析在质量控制中的应用

大数据分析在市政道路桥梁施工中可对施工质量与安全进行全方位评估。施工过程中产生的测量数据、混凝土温度、振动监测、沉降观测及材料验收信息均可集中存储,并通过算法进行趋势分析与异常识别。通过对历史数据与实时监测数据的比对,可发现施工偏差、潜在裂缝发展及荷载影响,及时提出整改方案。分析系统可将混凝土养护效果、预应力张拉情况及钢筋安装精度综合评分,形成施工质量指数,为项目管理提供量化依据^[5]。

智能分析还可结合机器学习预测结构性能变化,提前评估长期沉降或裂缝风险。基于监测曲线及施工记录,系统能够自动生成施工质量报告和风险预警,支持管理人员决策。通过大数据与智能分析,施工单位可优化施工工序、动态调整资源分配,并对复杂节点进行精确控制,实现施工全过程质量可控、可追溯与可预测,提高市政道路桥梁工程的整体质量水平与管理效率。

结语

系统化与智能化手段可有效保障市政道路桥梁施工质量,未来市政道路桥梁施工将更加依赖数字化与智能化手段,实现全生命周期质量管理,BIM、物联网与大数据的深度融合,可实现施工过程的精准监控、结构性能的动态评估以及风险的主动预警,同时,新型传感器、人工智能分析算法及自动化施工设备的应用,将进一步提升施工精度与效率,降低安全隐患和维护成本。随着技术的持续发展,市政道路桥梁施工将向安全、耐久、环保和智能化方向不断迈进,为城市基础设施建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 杨丽雯. 市政道路桥梁施工技术及质量控制[J]. 居业, 2022, (05): 56-58.
- [2] 赵健春. 市政道路桥梁施工质量控制和管理措施研究[J]. 新型工业化, 2021, 11(11): 204-205+210.
- [3] 卓江波. 市政道路桥梁工程施工及质量控制措施[J]. 居舍, 2021, (27): 135-136.
- [4] 朱旭新. 市政道路桥梁工程施工及质量管理控制措施[J]. 运输经理世界, 2021, (14): 73-75.
- [5] 刘建东. 现场施工技术在市政道路桥梁施工中的应用[J]. 智能城市, 2021, 7(09): 152-153.