

市政桥梁工程施工关键技术及质量控制研究

沈泽斌

浙江华超检测有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：市政桥梁工程作为城市交通网络的核心节点，其施工技术与质量控制直接关系到城市运转效率与市民出行安全。基于此，本文针对市政桥梁工程施工关键技术进行了分析，包括基础工程施工技术、主体结构施工技术以及特殊工况施工技术，并针对施工质量控制提出了一些有效的措施，旨在降低桥梁病害发生率，为市政桥梁工程的高质量建设提供理论支撑与实践指导。

关键词：市政桥梁工程；施工关键技术；质量控制

引言

当前，市政桥梁施工普遍面临地质条件多变、地下管线密集、交通疏导压力大等挑战。传统施工模式依赖人工经验判断，难以满足高精度施工需求，而现有质量控制体系多侧重于事后检测，缺乏对施工全过程的动态监管。因此，深入对市政桥梁工程施工关键技术及质量控制的研究具有重要的现实意义。

1 市政桥梁工程施工关键技术

1.1 基础工程施工技术

一方面，桩基础施工作为深基础处理的主要方式，需根据地质条件选择适宜的工艺类型。钻孔灌注桩施工需严格控制成孔垂直度与孔壁稳定性，通过泥浆护壁技术防止塌孔，成孔后采用超声波检测仪验证孔径与沉渣厚度，确保符合设计要求。钢筋笼下放时应保持轴线重合，避免碰撞孔壁，混凝土浇筑需连续进行，采用导管法分层振捣，控制导管理深在2-6米范围内，防止断桩或夹泥缺陷。预制桩施工则需关注沉桩设备选型与沉桩顺序，锤击沉桩应通过重锤低击减少对桩身损伤，静压沉桩需监测压桩力与终压值，确保单桩承载力达标，沉桩完成后进行桩身完整性检测，剔除断裂或偏位桩体。另一方面，承台施工需重点把控大体积混凝土温控与防水处理^[1]。承台钢筋绑扎应形成稳固骨架，预埋件定位误差控制在毫米级，模板安装需保证刚度与密封性，防止浇筑过程中变形漏浆。混凝土浇筑前需预埋冷却水管，通过循环水降低水化热峰值，避免内外温差过大引发裂缝，浇筑后采用蓄热养护法保持表面湿润，养护时间不少于14天。扩大基础施工需根据地基承载力确定开挖深度，超挖部分采用级配碎石回填压实，基底处理后进行承载力试验，不满足要求时需进行换填或加固。基础钢筋施工应确保主筋间距与保护层厚度，混凝土浇筑采用分层振捣工艺，每层厚度不超过300毫米，避免出现蜂窝麻面等

质量缺陷。

1.2 主体结构施工技术

(1) 支架现浇法通过搭设支架完成模板安装、钢筋绑扎及混凝土浇筑，适用于地形复杂或对结构整体性要求高的桥梁，其优势在于无需大型吊装设备且能适应异形结构，但存在支架用量大、工期较长、受季节性气候影响显著等问题，且混凝土收缩徐变易导致长期变形。预制拼装法则通过工厂化生产标准化构件，运输至现场后采用架桥机或吊车安装，具有施工速度快、质量控制精准、环境影响小等优势，尤其适用于中小跨径桥梁及交通繁忙区域的快速化改造，其核心在于构件预制精度与现场连接技术的可靠性，需重点关注节点区的钢筋穿筋与预应力施工工艺。(2) 大跨度桥梁施工中，悬臂浇筑与顶推技术各具特色。悬臂浇筑以桥墩为中心向两侧对称延伸，利用挂篮作为移动作业平台，逐段浇筑混凝土并施加预应力，形成连续梁或刚构体系，适用于跨径超百米的深谷、大河等场景，其关键在于挂篮系统的稳定性、临时固结措施的可靠性及合龙段的精度控制，需通过实时监测调整桥墩承力状态，确保施工与运营受力状态一致。顶推技术则在桥台后方设置预制场地，分节段预制梁体并通过纵向预应力筋连接，利用千斤顶将梁体逐段顶推至设计位置，适用于等高度连续梁或直线桥梁。(3) 钢-混凝土组合结构施工需突破两种材料的协同工作难题，核心在于通过剪力连接件实现钢梁与混凝土板的有效传力，确保共同受力与变形协调，同时需优化节点区钢筋布置与焊接工艺，避免应力集中导致的局部破坏。施工过程需严格控制界面处理质量，采用高压水枪凿毛或喷砂工艺增强结合面粗糙度，并通过新增钢筋与连接构造的隐蔽工程验收保障结构耐久性，此外需结合防腐涂装与防火设计，延长组合结构的使用寿命。

1.3 特殊工况施工技术

(1) 跨河施工通常采用围堰法或便桥法构建作业平台, 围堰需根据水深、流速选择草袋、钢板桩或双壁钢围堰结构, 确保基坑开挖时水体隔离。跨铁路施工则需申请“天窗点”, 在封锁时间内完成关键工序, 防护棚架成为核心设施, 通过钢便桥或贝雷梁搭建临时通道, 棚架顶部铺设防抛网与绝缘板, 防止施工坠物影响行车安全, 底部设置荧光警示标志与防撞墩, 夜间施工增设LED警示灯, 同时采用活动销固定贝雷梁, 必要时可快速拆除为船只或列车让行。(2) 软土地基处理需针对高压缩性、低强度特性采取加固措施^[2]。常用方法包括排水固结法与复合地基法, 排水固结通过塑料排水板或砂井加速孔隙水排出, 配合堆载预压使地基沉降提前完成, 适用于淤泥质土层; 复合地基则采用水泥搅拌桩或高压旋喷桩, 将水泥与软土强制搅拌形成加固土体, 提升地基承载力, 对于深厚软土层, 可结合桩网复合结构, 通过刚性桩与土工格栅协同作用减少不均匀沉降。(3) 旧桥拆除与新建桥梁衔接需解决结构安全与耐久性矛盾。拆除阶段采用“分段切割、倒装拆除”工艺, 利用新建拱肋或临时支架作为受力体系, 将旧桥构件逐段吊运, 减少高空作业风险, 同时设置污水收集系统处理切割废水, 实现绿色施工。新建桥梁衔接时, 新旧结构需通过植筋、焊接或预应力连接形成整体, 植筋深度与抗拉拔力需经试验验证, 连接部位增设钢筋骨架与抗裂混凝土, 防止因沉降差导致开裂。

2 施工关键环节质量控制实施策略

2.1 施工准备阶段质量控制

(1) 图纸会审需组织设计、施工、监理及第三方咨询单位共同参与, 重点核查结构计算书与施工图的匹配性, 包括构件尺寸、预应力体系、钢筋布置等关键参数是否符合规范要求^[3]。同时, 审查各专业图纸的碰撞问题, 如电气管线与结构预埋件的冲突、排水系统与桥面铺装的衔接等, 会审记录应形成书面文件并经各方签认, 作为后续施工与验收的依据。(2) 施工组织设计的审核需聚焦资源配置与风险管控的合理性, 方案应包含进度计划、材料供应、机械设备及劳动力安排等要素。其中进度计划需采用网络图或横道图形式, 明确关键线路与里程碑节点, 材料供应计划应结合市场波动与运输周期制定储备方案, 避免因缺料导致停工。专项方案审核则针对危险性较大的分部分项工程, 如深基坑开挖、高大模板支撑、悬臂浇筑等, 需验证方案是否符合相关要求, 包括计算书的完整性、监测措施的可靠性及应急预案的可操作性。而对于超过一定规模的工程, 还需组织专家进行专项论证。(3) 审核过程中应重点关注交叉作业的协调

性, 如基础施工与上部结构施工的场地转换、预制构件吊装与现浇作业的时空衔接等, 通过动态调整施工顺序减少质量干扰。此外, 方案需明确质量检验标准与验收流程, 如混凝土强度试块留置规则、钢筋焊接接头抽检比例等, 确保每道工序均处于可控状态。

2.2 基础工程质量控制要点

(1) 桩基垂直度与完整性检测是确保桥梁基础承载能力的核心环节, 垂直度偏差需严格控制在规范允许范围内。其中钻孔灌注桩垂直度偏差应 $\leq 1\%$, 成孔孔径偏差 $\leq \pm 50\text{mm}$, 孔深需满足设计值要求, 端承桩需超深 $\geq 0.5\text{m}$ 、摩擦桩超深 $\geq 1.0\text{m}$, 施工期间每2小时检测泥浆比重、黏度及含砂率, 清孔后泥浆密度需 ≤ 1.1 且含砂率 $\leq 2\%$ 。(2) 完整性检测需结合多种方法综合判定, 低应变反射波法适用于桩径 $\leq 2.0\text{m}$ 、桩长 $\leq 30\text{m}$ 的混凝土桩, 通过波速、波形特征分析桩身缺陷^[4]。声波透射法需在桩身预埋2-4根声测管, 检测时换能器匀速提升, 每0.2m采集数据, 依据声速、波幅及PSD判据评估完整性。钻芯法直接钻取混凝土芯样, 观察连续性并测试抗压强度, 大直径桩或重要工程桩需采用该方法验证低应变、声波透射法检测结果, 确保I类桩(完整)占比达标, 及时处理III类(明显缺陷)及IV类(严重缺陷)桩。(3) 地下水控制方法包括集水明排、降水、隔水及回灌, 集水明排适用于地下水位不高且水量较小的情况, 需在基坑四周设置排水明沟及集水井, 通过水泵抽排积水。降水法适用于深基坑, 通过真空井点、喷射井点或管井降低地下水位, 降水深度需满足基础施工要求, 且距开挖上口边线不宜小于1m。隔水帷幕采用高压喷射注浆、水泥土搅拌桩或咬合式排桩, 阻断地下水侧向渗透, 帷幕深度需穿透含水层。(4) 抗浮措施需结合抗浮设计水位进行稳定性验算, 优先采用主动式抗浮技术, 如抗浮锚杆、抗浮桩或压重法, 抗浮锚杆长度通常8-15米, 直径150-300mm, 单根抗拔承载力特征值需现场试验确定, 锚杆安装后需进行抗拔测试。被动式抗浮措施包括降排水法及基坑回填, 降排水需持续至结构具备抗浮能力, 基坑肥槽回填应采用黏性土、灰土或预拌流态固化土等弱透水材料, 分层夯实以减少地下水渗透。施工期间需实时监测地下水位、出水量及含砂量, 确保控制措施有效性, 避免因水位变化引发基础上浮或土体失稳。

2.3 主体结构质量控制重点

主体结构质量控制需聚焦预应力张拉、混凝土温控及钢结构检测三大核心环节。(1) 预应力张拉工艺控制需确保设备与锚具匹配性, 千斤顶、油压表及压力传感器必须配套标定且在有效期内, 张拉前应按标定系数计

算分级加载的油表读数。张拉时严格遵循设计顺序与程序,以张拉力控制为主、伸长值校核为辅,实测伸长值与理论值偏差应控制在 $\pm 6\%$ 以内。张拉完成后需及时进行孔道压浆,压浆料应采用高性能专用材料,确保初始流动度10-17秒、30min流动度10-20秒,压浆顺序先下后上,压力控制在0.5-0.7MPa,稳压期不小于3-5分钟,保证孔道填充密实度 $\geq 95\%$ ^[5]。(2)混凝土浇筑温度控制需通过预冷骨料、加冰拌和、夜间施工等措施降低入模温度,确保浇筑温度不超过 55°C 。大体积混凝土应埋设冷却水管通循环水散热,表面覆盖保温材料减少内外温差,控制内表温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 、降温速率 $\leq 1.5^{\circ}\text{C}/\text{d}$,养护制度优化需根据环境条件选择覆盖保湿、薄膜养护、喷雾养护或蒸汽养护等方式。普通混凝土养护周期不少于7天,掺缓凝剂或抗渗要求的混凝土不少于14天,养护期间应保持混凝土表面湿润,避免过早加载或温度应力导致开裂。(3)钢结构焊接质量无损检测应结合材料特性与缺陷类型选择适宜方法。超声波检测适用于内部缺陷探测,通过声时、振幅、波形变化判断裂纹及未熔合问题;射线检测利用X或 γ 射线成像直观显示缺陷尺寸与形状;磁粉检测针对铁磁性材料表面及近表面缺陷,通过磁粉堆积形成可视化显示;渗透检测适用于非多孔性材料表面开口缺陷,通过渗透液渗入与显影剂显示缺陷形态。检测时应根据焊缝类型、材料特性及检测目标综合选择方法,确保检测结果准确可靠。

2.4 附属设施质量控制标准

一方面,支座安装精度直接影响结构受力传递与变形协调,安装前需复核支座中心位置、高程及平整度,确保与设计坐标偏差 $\leq 3\text{mm}$ 、高程偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$ 。临时支撑应采用专用千斤顶或垫块,避免直接接触混凝土表面导致局部应力集中,安装时通过水平仪与激光定位仪调整支座顶面水平度,偏差应 $\leq 0.5\%$ 。对于活动支座,需确保上下座板滑动面清洁无杂质,四氟板与不锈钢板间涂抹硅脂润滑,预偏量设置需根据温度变化及收缩徐变

计算确定,安装完成后采用专用螺栓固定,防止运输或浇筑过程中移位。另一方面,伸缩缝施工需统筹考虑结构变形与行车舒适性,缝体安装前应清理预留槽内杂物,修复锚固区混凝土缺陷,确保基层平整度 $\leq 2\text{mm}/\text{m}$ 。伸缩缝装置与桥面铺装层间需预留2-3cm间隙,采用环氧树脂或聚氨酯密封胶填充,防止渗水腐蚀。安装时通过专用卡具固定缝体位置,焊接锚固钢筋时需对称施焊,避免局部过热导致变形,焊接完成后清除焊渣并涂刷防锈漆。伸缩缝两侧混凝土应采用微膨胀补偿收缩混凝土,强度等级不低于C40,浇筑时分层振捣密实,表面抹压平整后覆盖塑料薄膜保湿养护。

结语

综上所述,市政桥梁工程施工关键技术与质量控制是保障城市交通基础设施安全耐久的核心命题。本文系统梳理了基础工程、主体结构及特殊工况下的施工技术要点,揭示了桩基垂直度控制、预应力张拉工艺优化、钢结构焊接质量检测等关键技术的实施路径,并通过多维度质量控制策略构建了全流程管控体系。未来研究需进一步探索装配式桥梁智能建造技术、基于大数据的结构健康监测模型,推动市政桥梁工程向标准化、智能化、绿色化方向发展。

参考文献:

- [1]姬增良.市政桥梁施工的技术及质量控制措施分析[J].现代工程项目管理,2023(5):41-42.
- [2]陈维华,刘雁飞.公路桥梁施工质量控制与技术应用分析[J].运输经理世界,2023(4):31-32.
- [3]包睿贇.道路桥梁工程施工质量技术分析[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2023(3):25-26.
- [4]唐微.市政桥梁工程的施工管理及施工控制措施[J].中国设备工程,2023(19):256-259.
- [5]高清耀.市政桥梁工程施工质量问题及防治对策[J].工程技术研究,2023(23):151-153.