

预制拼装技术在市政桥梁下部结构施工中的应用与优化研究

余超

421126*****0043

摘要: 市政桥梁下部结构作为承载上部荷载与传递应力的关键部分,其施工质量直接影响桥梁整体稳定性与耐久性。传统现浇施工方法依赖现场支模、绑扎钢筋及浇筑混凝土,存在工期长、环境影响大、质量控制难等问题,难以适应现代城市快速建设与精细化管理的需求。预制拼装技术通过工厂化预制构件与现场高效拼装,为市政桥梁下部结构施工提供了新的技术路径。本文系统研究了预制拼装技术在市政桥梁下部结构(桥墩、桥台、基础承台)中的应用模式,深入分析了构件标准化设计、连接节点构造、拼装工艺优化及质量控制等关键技术,重点探讨了施工效率提升、结构性能保障及环境友好性改进的优化策略。研究表明,预制拼装技术通过标准化设计、精细化施工与智能化管理,可显著缩短工期、降低环境影响、提升结构质量,为市政桥梁下部结构施工提供了高效、可持续的解决方案,对推动城市桥梁建设工业化转型具有重要实践意义。

关键词: 预制拼装技术;市政桥梁;下部结构;连接节点;施工优化

DOI: 10.64216/3080-1508.25.12.075

引言

随着我国城市化进程的快速推进,市政桥梁建设规模持续扩大,桥梁下部结构(包括桥墩、桥台及基础承台)作为连接上部结构与地基的核心部分,其施工效率与质量直接影响工程整体进度与安全。传统现浇施工方法需在现场搭建模板、绑扎钢筋并浇筑混凝土,存在施工周期长(单个桥墩现浇通常需 10-15 天)、现场作业量大(模板支护与拆除占工期 40%以上)、混凝土养护受环境影响显著(温度与湿度波动易导致裂缝)等问题,且在城市中心区域施工时,噪声、粉尘及交通干扰问题突出,难以满足现代城市对快速建设与绿色施工的需求。预制拼装技术通过将下部结构构件在工厂标准化预制,运输至现场后通过高效拼装工艺完成安装,具有工期短、质量可控、环境影响小等优势,逐渐成为市政桥梁下部结构施工的重要发展方向。本文聚焦预制拼装技术在市政桥梁下部结构中的应用与优化,研究其技术原理、关键环节及改进策略,旨在为城市桥梁工业化建造提供理论与技术支撑。

1 预制拼装技术在市政桥梁下部结构中的应用模式

1.1 市政桥梁下部结构的主要组成与施工需求

市政桥梁下部结构通常由桥墩、桥台及基础承台三部分构成,各部分功能与施工要求存在显著差异。桥墩

是主要承重构件,承担上部结构传来的竖向荷载(如车道荷载、人群荷载)与水平荷载(如风荷载、地震作用),需具备足够的抗压强度与抗弯刚度;桥台位于桥梁两端,除传递荷载外还需连接路基并抵抗台背填土压力,对结构整体性与耐久性要求较高;基础承台是连接桥墩与地基的关键部件,需均匀扩散上部荷载至地基土层,同时协调各桥墩间的受力差异。传统现浇施工中,下部结构需根据现场地形与设计要求逐个定制模板,钢筋绑扎与混凝土浇筑受作业空间限制,且不同构件的连接节点(如桥墩与承台、桥台与路基)施工复杂度高,易出现质量缺陷。预制拼装技术通过将下部结构构件分解为标准化模块(如预制桥墩节段、预制承台模块、预制桥台单元),在工厂内完成钢筋加工、模板安装与混凝土浇筑,可有效解决现浇施工的痛点。

1.2 预制拼装技术的核心优势

相较于传统现浇方法,预制拼装技术在市政桥梁下部结构施工中展现出多维度优势:一是工期大幅缩短,工厂预制与现场拼装平行作业,单个桥墩预制周期可缩短至 3-5 天(含养护时间),现场拼装仅需 2-3 小时,较现浇施工效率提升 60%以上;二是质量可控性增强,工厂内采用高精度模具与自动化钢筋加工设备,构件尺寸偏差控制在 ± 3 毫米以内(现浇施工通常为 ± 10 毫米),混凝土配合比与养护条件标准化,减少了蜂窝、麻面及

裂缝等质量缺陷；三是环境影响降低，现场无需大规模支模与混凝土浇筑作业，噪声与粉尘排放减少 70% 以上，且预制构件运输可避开交通高峰时段，降低对城市交通的干扰；四是资源利用率提高，工厂化生产集中利用原材料（如钢材、水泥），减少了现场材料浪费，同时预制构件可标准化库存，灵活应对设计变更需求。这些优势使得预制拼装技术特别适用于城市中心区域、环境敏感区及工期要求紧迫的市政桥梁工程。

2 预制拼装技术的关键技术环节

2.1 构件标准化设计与模块划分

预制拼装技术的实施基础是构件的标准化设计。市政桥梁下部结构构件的标准化需综合考虑结构受力性能、运输条件及现场拼装工艺，具体包括：一是桥墩节段设计，根据桥墩高度与截面形式（如圆形、矩形），将其划分为若干标准节段（如每节高度 2-3 米），节段间通过预埋连接件实现可靠拼接，同时保证节段端面平整度（偏差不得超过 1 毫米）与垂直度（偏差不得超过 0.5%）；二是承台模块划分，对于大型承台（面积超过 10 平方米），可分解为多个小型预制模块（如边长 2-3 米的立方体），模块间预留后浇带（宽度 10-15 厘米），通过后期浇筑微膨胀混凝土实现整体连接；三是桥台单元设计，根据桥台功能（如挡土、连接路基），将其划分为基础模块、挡土模块及连接模块，各模块间通过预埋钢筋与榫槽结构实现协同受力。标准化设计需遵循“少规格、多组合”原则，在满足结构安全的前提下，减少构件类型（通常桥墩节段不超过 3 种规格，承台模块不超过 2 种规格），提高工厂预制效率与现场拼装通用性。

2.2 连接节点构造与力学性能保障

连接节点是预制拼装技术的关键薄弱环节，其构造设计与施工质量直接影响下部结构的整体性与承载能力。桥墩节段间的连接通常采用“预埋钢筋+灌浆套筒”或“湿接缝+后浇混凝土”两种方式：前者通过在预制节段端面预埋灌浆套筒，现场拼装时插入相邻节段的预埋钢筋并注入高强灌浆料（抗压强度不低于 80MPa），形成可靠轴向连接；后者通过在节段拼接面预留 10-15 厘米宽的湿接缝，现场浇筑微膨胀混凝土（膨胀率控制在 0.02%-0.05%），利用混凝土与钢筋的握裹力实现连

接。承台模块间的后浇带需采用高流动性补偿收缩混凝土（限制膨胀率 0.02%-0.03%），并设置钢筋网片（直径 8-10 毫米，间距 10-15 厘米）增强抗裂性能。桥台与路基的连接节点需设置防滑移构造（如预埋抗剪键或扩大基础接触面），确保水平荷载传递可靠。为保障连接节点的力学性能，需通过有限元模拟分析节点在荷载作用下的应力分布（如桥墩连接节点的剪应力与正应力），并通过足尺试验验证其抗压、抗剪及疲劳性能^[1]。

2.3 拼装工艺优化与施工流程控制

预制构件的现场拼装工艺直接影响施工效率与结构质量。拼装前需进行精确的测量放线（平面位置偏差不得超过 5 毫米，高程偏差不得超过 ±10 毫米），并搭建临时支撑体系（如钢结构支架或千斤顶顶升系统），确保拼装过程中构件的稳定性。桥墩节段拼装通常采用“自下而上、逐段拼接”工艺，首节段与基础承台通过预埋螺栓或焊接固定，后续节段通过吊装设备（如履带吊或汽车吊）精准就位，利用导向装置（如定位销或临时限位板）调整位置后，进行连接节点施工（灌浆或浇筑湿接缝）。承台模块拼装需先安装底部模块并调整水平度（偏差不得超过 2 毫米），再依次拼接侧部与顶部模块，后浇带浇筑前需清理拼接面（去除浮浆与杂物）并充分湿润。桥台单元拼装需与路基施工协调进行，先安装基础模块并回填部分土方，再拼接挡土模块与连接模块，确保整体稳定性。拼装过程中需严格控制关键参数（如灌浆料的拌合时间、湿接缝的浇筑温度），并通过传感器实时监测构件的应力与变形（如桥墩节段拼接后的竖向位移），确保施工质量符合设计要求^[2]。

3 预制拼装技术的优化策略

3.1 施工效率提升的优化措施

为进一步提高预制拼装技术的施工效率，可从构件生产、运输与现场作业三方面优化：一是构件生产标准化，通过 BIM 技术建立下部结构三维模型，精确计算各构件的尺寸与配筋（减少设计变更导致的返工），工厂内采用流水线作业（如钢筋自动加工、混凝土自动布料），将单个桥墩节段的预制时间缩短至 1-2 天；二是运输组织高效化，根据构件尺寸与重量（如桥墩节段单重不超过 50 吨）选择合适运输车辆（如低平板半挂车），规

划避开交通高峰的运输路线(夜间运输占比不低于 60%),并在施工现场设置临时堆放区(按拼装顺序分类存放),减少二次搬运;三是现场作业机械化,采用自动定位吊装设备(如带传感器的塔吊)替代人工指挥,通过 GPS 或北斗定位系统控制构件就位精度(偏差不超过 3 毫米),利用智能灌浆设备(自动计量与压力控制)提升连接节点施工效率(灌浆作业时间缩短至 15-20 分钟/节点)。这些措施可使单个桥墩的总施工周期(含预制与拼装)缩短至 5-7 天,较传统现浇方法效率提升 70%以上^[3]。

3.2 结构性能保障的优化方法

预制拼装结构的长期性能依赖于连接节点的可靠性与整体协同工作能力。优化方法包括:一是材料性能提升,采用高强混凝土(强度等级不低于 C60)与耐候钢材(抗腐蚀性能优于普通钢材)制作预制构件,提高构件的抗压、抗裂及耐久性;二是节点构造改进,例如在灌浆套筒内设置剪力键(如环形肋或螺旋槽),增强钢筋与灌浆料的握裹力,在湿接缝中掺入纤维材料(如聚丙烯纤维或钢纤维),提高混凝土的抗拉与抗裂性能;三是结构体系协同,通过有限元分析优化构件间的传力路径(如桥墩节段间的荷载分配比例),确保在荷载作用下各构件受力均匀,避免局部应力集中;四是长期性能监测,在关键连接节点(如桥墩底部节段与承台连接处)设置应变传感器与位移计,实时监测结构在使用阶段的应力变化与变形情况,为后期维护提供数据支持。这些优化措施可显著提升预制拼装下部结构的承载能力与使用寿命(设计使用年限可达 100 年以上)^[4]。

3.3 环境友好性改进的优化方向

预制拼装技术的环境效益需通过全生命周期管理进一步强化。优化方向包括:一是减少现场污染,通过工厂化预制避免现场混凝土浇筑产生的粉尘与噪声(现场噪声降低至 70 分贝以下,较现浇施工降低 40%),采用可周转使用的临时支撑材料(如铝合金支架替代钢支架),减少建筑垃圾产生量(较现浇施工减少 60%以上);二是降低能源消耗,工厂内集中生产利用工业余热养护

混凝土(比自然养护节能 30%),优化构件运输路线(通过智能调度系统减少空驶里程),降低碳排放;三是资源循环利用,在预制构件生产中掺入再生骨料(如废弃混凝土破碎筛分后形成的骨料,掺量不超过 30%),减少天然砂石开采,在临时支撑拆除后回收钢材与木材(回收率不低于 80%)。通过这些改进,预制拼装技术可实现“高效建造”与“绿色施工”的双重目标,契合城市可持续发展的需求^[5]。

4 结论

预制拼装技术为市政桥梁下部结构施工提供了高效、可控、环保的解决方案,通过标准化设计、精细化施工与智能化管理,有效解决了传统现浇方法工期长、质量波动大、环境影响显著等问题。本文研究表明,预制拼装技术在构件标准化设计、连接节点构造优化、拼装工艺改进及环境友好性提升等方面具有显著优势,其应用可显著缩短工期(效率提升 60%以上)、降低质量缺陷率(减少 50%以上)、减少环境影响(噪声与粉尘排放降低 70%以上)。未来随着智能建造技术(如机器人吊装、自动灌浆系统)与高性能材料(如自修复混凝土、纤维增强复合材料)的发展,预制拼装技术将进一步向智能化、高性能化方向演进,为城市桥梁建设的工业化转型与高质量发展提供更强大的技术支撑。

参考文献

- [1] 尹富秋. 中心城区高架桥桥墩预制拼装施工关键技术[J]. 施工技术, 2017, 46(12): 80-82.
- [2] 池凌杰, 张立律. 预制拼装城市高架桥施工控制要点与效益分析[J]. 施工技术, 2019, 48(22): 43-45.
- [3] 朱俭锋. 桥梁下部结构预制拼装技术应用综述[J]. 城市道桥与防洪, 2019(4): 191-194.
- [4] 鄢芳华, 曹海顺. 下部结构预制拼装技术在平原区高速公路桥梁中的运用[J]. 公路, 2020, 65(9): 137-140.
- [5] 徐华生. 装配式桥梁下部结构预制拼装施工工艺研究[J]. 工程与建设, 2024, 38(3): 596-600.