

预制拼装技术在市政桥梁施工中的质量控制要点分析

冯一川

四川省交通建设集团有限责任公司 四川 成都 610000

摘要：文章聚焦预制拼装技术在市政桥梁施工中的质量控制要点。先概述该技术原理、分类及适用场景，指出其适用于交通繁忙区域、生态敏感区等。接着阐述预制构件生产阶段，从原材料、模具、浇筑养护到出厂检验的质量控制要点。然后分析现场拼装阶段，涵盖运输堆放、拼装定位、接缝处理及线形应力监测。最后提出构建质量控制体系，包括标准化流程、数字化应用及人员培训考核，为市政桥梁预制拼装施工提供质量管控参考。

关键词：预制拼装技术；市政桥梁；质量控制

1 预制拼装技术概述

1.1 技术原理与分类

预制拼装技术通过工厂化生产将桥梁结构分解为标准化构件，在预制场完成钢筋加工、混凝土浇筑及预应力张拉等核心工序，经养护达标后运输至施工现场，利用专用设备进行精准定位与可靠连接，最终形成整体受力体系。该技术依据构件类型可分为上部结构拼装与下部结构拼装两大体系：上部结构以节段梁拼装为主，采用短线法或长线法匹配预制，通过胶接缝或湿接缝实现纵向连接；下部结构涵盖装配式墩台、预制立柱及盖梁等模块，通过灌浆套筒、金属波纹管或承插式连接等工艺实现竖向传力。按连接方式划分，可分为干式连接（机械连接）与湿式连接（混凝土现浇连接），前者依赖高强螺栓或预应力筋实现快速拼装，后者通过后浇混凝土或高强灌浆料保障结构整体性^[1]。典型工程如上海嘉闵高架采用预制小箱梁湿接缝拼装，单跨拼装时间较现浇工艺缩短60%，现场湿作业量减少85%。

1.2 市政桥梁中的适用场景

预制拼装技术特别适用于交通繁忙区域的市政高架工程、生态敏感区的跨河桥梁以及严寒地区的快速施工项目。在城市高架建设中，该技术可显著减少对地面交通的干扰，如北京东六环改造工程采用全预制拼装技术，夜间单幅封闭2小时即可完成跨线桥拼装，较传统现浇工艺缩短工期45天。对于生态保护区桥梁，预制构件工厂化生产可避免现场混凝土搅拌对水体的污染，如杭州西溪湿地桥通过预制墩台水上吊装，减少施工期水域占用面积达70%。在严寒地区，预制构件可在恒温车间完成养护，避免低温对混凝土强度发展的影响，如哈尔滨阳明滩大桥在-25℃环境下采用蒸汽养护预制箱梁，确保28天强度达标率100%。此外，该技术还适用于小半径曲线桥梁、异形结构桥梁等复杂工程，通过三维坐标匹配

预制实现毫米级安装精度。

2 预制构件生产阶段质量控制要点

2.1 原材料与配合比控制

原材料质量是构件耐久性的基础保障。水泥应选用强度等级不低于42.5的普通硅酸盐水泥，其安定性、凝结时间需经复检合格，对于抗冻构件，水泥中铝酸三钙含量应控制在8%以内。细骨料采用中粗河砂，含泥量在C30及以上混凝土中不得超过1%，泥块含量严格控制在0.5%以下；粗骨料选用5-25mm连续级配碎石，针片状颗粒含量≤10%，含泥量≤1%。减水剂采用聚羧酸系产品，进场检测减水率需≥20%，含气量≤4%。配合比设计需综合考虑构件类型与耐久性要求，如预制墩身采用C50高强混凝土，水胶比控制在0.32以内，胶凝材料总量不超过480kg/m³，通过掺加15%粉煤灰改善工作性。试配阶段需进行3次以上调整，制作150mm立方体试块验证7天、28天抗压强度，确保实际强度达到设计值的1.15倍。

2.2 模具设计与制造精度

模具精度直接影响构件尺寸偏差。钢模面板采用Q235B钢板，厚度≥5mm，复杂构件可搭配木模或塑料模，但需保证整体刚度。模具加工时，面板平整度控制在1mm/m²以内，拼接缝隙≤0.5mm，避免漏浆。安装前需清理模台表面并涂刷水性脱模剂，厚度均匀控制在0.1-0.3mm。关键尺寸校验标准为：长度偏差≤±3mm（构件长度≤6m）或≤±5mm（>6m），高度偏差≤±2mm，对角线差≤5mm（板类构件）。对于带预埋孔洞的模具，孔洞位置偏差≤±2mm，深度偏差≤±1mm。模具设计需考虑通用性与周转次数，如上海某预制场通过优化边模定位系统，使单套模具周转次数从80次提升至150次，单方混凝土模具成本降低22%。

2.3 构件浇筑与养护工艺

混凝土浇筑采用分层推进工艺，分层厚度 $\leq 300\text{mm}$ ，使用插入式振捣棒时，振捣时间15-20秒/点，移动间距 $\leq 400\text{mm}$ 。对于钢筋密集区，配合附着式振捣器辅助振捣，频率控制在50-60Hz。养护工艺分自然养护与蒸汽养护两种：自然养护适用于环境温度 $\geq 5^\circ\text{C}$ 的工况，浇筑后6-8小时覆盖塑料薄膜，保持表面湿润，养护时间C50以下混凝土 ≥ 7 天，C50及以上 ≥ 14 天；蒸汽养护分为静停（2-4小时，温度 $\leq 25^\circ\text{C}$ ）、升温（速率 $\leq 15^\circ\text{C}/\text{h}$ ）、恒温（温度 $\leq 65^\circ\text{C}$ ，时间4-8小时）、降温（速率 $\leq 10^\circ\text{C}/\text{h}$ ）四个阶段，每小时记录温度，温差超过 $\pm 5^\circ\text{C}$ 时需调整供汽量。典型工程如港珠澳大桥预制墩身采用蒸汽养护，24小时强度达到设计值的80%，较自然养护提前3天脱模^[2]。

2.4 出厂检验与标识管理

构件出厂前需进行三维尺寸复核、预埋件位置校验及强度回弹检测。尺寸偏差控制标准为：长度 $\pm 5\text{mm} (\leq 6\text{m})$ 或 $\pm 8\text{mm} (> 6\text{m})$ ，厚度 $\pm 3\text{mm}$ （板类）或 $\pm 5\text{mm}$ （梁类），预留孔位置 $\pm 3\text{mm}$ （孔径 $\leq 50\text{mm}$ ）或 $\pm 5\text{mm} (> 50\text{mm})$ 。强度检测采用回弹法，推定值需 \geq 设计强度的90%，对受弯构件需进行1.2倍设计荷载试验，观测挠度 $\leq L/250$ （L为跨度）且裂缝宽度 $\leq 0.15\text{mm}$ 。合格构件需进行标识，内容包括构件名称、型号、生产日期、质量状态、生产企业及检验员签名，采用喷涂或粘贴防水标签方式，位置选择侧面或顶部明显部位。某预制场通过二维码系统实现质量追溯，扫描后可获取原材料检测报告、生产工序记录及养护参数，使构件错装率降低75%。

3 预制拼装技术在市政桥梁现场拼装阶段质量控制要点

3.1 运输与堆放管理

运输车辆的选择对预制构件的运输安全至关重要。通常需选用低平板车，其离地高度应控制在800mm以内，以降低构件重心，增强运输稳定性。构件与车厢之间需铺设10mm厚的橡胶板，起到缓冲减震作用，防止构件在运输过程中因颠簸而受损。同时，采用柔性绑带进行固定，绑带的破断拉力需达到5t以上，确保构件在运输途中不会发生位移或滑落。在堆放方面，叠合板的堆放层数不宜超过6层，且层间支垫要对齐，偏差控制在20mm以内，使用100mm×100mm的木方作为支垫，保证构件受力均匀。梁类构件宜单层立放，若因场地限制需叠放，层数不应超过2层，且层间支垫厚度要大于等于100mm。对于异形构件，如飘窗板等，需定制专用支架，如三角形钢支架，以避免局部应力集中导致构件

损坏。运输途中，车速在城市道路上应控制在40km/h以内，高速公路上不超过60km/h，过减速带时降至10km/h以下。长途运输（超过200km）需每2小时检查一次捆绑状态，确保构件始终处于安全状态。通过优化运输路线，某工程成功将构件破损率从3.2%降至0.8%。

3.2 拼装定位与临时支撑

拼装定位是确保预制构件准确就位的关键步骤。在拼装前，需进行基准线放样，采用全站仪精确校核墩顶标高，将偏差严格控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，为后续构件的拼装提供准确的基准。当预制立柱吊入基杯后，应立即使用风缆或撑木进行临时固定。风缆一般采用Φ15.2mm的钢绞线，初始张力控制在50kN，以确保立柱在拼装过程中的稳定性。待盖梁安装完成后，再分阶段卸载风缆，避免因突然卸载导致结构受力突变。对于曲线桥梁，由于构件角度和位置的要求更为精确，需采用三维坐标匹配技术，通过激光定位系统精确调整构件角度。上海某项目通过该技术，成功实现了弧形梁拼装轴线偏差 $\leq 3\text{mm}$ 的高精度要求。另外，临时支撑体系的稳定性至关重要，需进行详细的稳定性验算。如高架桥采用H400×200型钢作为横向联系，通过有限元分析确保支撑刚度满足施工阶段荷载要求，为拼装过程提供了可靠的安全保障。

3.3 接缝处理与连接质量

接缝处理是预制拼装桥梁结构整体性的核心保障。在灌浆套筒连接中，需严格控制钢筋插入深度偏差，确保其在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，以保证钢筋与套筒的有效连接。同时，套筒内灌浆料的28天强度需达到85MPa以上，流动度不低于30s，以确保灌浆料的密实性和强度。金属波纹管连接时，预留孔道直径应比钢筋直径大20-40mm，为钢筋的插入和压浆提供足够的空间^[3]。孔道内压浆密实度需达到95%以上，通过高压注浆确保孔道内无空隙，提高连接质量。承插式连接中，插入深度应为墩身截面尺寸的1.2-1.5倍，底部铺设20mm厚的砂浆垫层，周围用半干硬性混凝土填充，以增强连接的稳定性和密实性。通过超声波检测确认接缝密实性，确保无缺陷。典型试验表明，采用环氧胶接缝的预制墩身，其抗剪强度较现浇混凝土提高15%，但需严格控制胶粘剂施工环境温度在5-35℃之间，以保证胶粘剂的固化效果和连接质量。

3.4 整体结构线形与应力监测

拼装完成后，对整体结构进行线形复测与应力监测是确保桥梁安全运营的重要环节。线形测量采用全站仪或三维激光扫描仪，能够精确获取桥面的纵坡、横坡及平整度等关键参数。上海工程通过高精度测量，将桥面高程偏差严格控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，确保了桥面的平顺性和

行车舒适性。应力监测则通过埋设振弦式应变计，实时采集结构关键部位的应力变化数据。监测频率在拼装阶段为每小时1次，以便及时发现应力异常情况；在运营期为每月1次，长期跟踪结构的应力状态。某跨海大桥监测数据显示，拼装阶段墩身最大应力为设计值的68%，盖梁应力为设计值的72%，均满足规范要求，验证了拼装质量和结构安全性。对于大跨度桥梁，还需进行动力特性测试，通过脉动法获取结构的自振频率，与理论计算结果进行对比，验证理论计算与实际状态的吻合度，为桥梁的长期安全运营提供科学依据。

4 预制拼装市政桥梁施工质量控制体系构建

4.1 标准化管理流程

构建覆盖设计、生产、施工、验收的全过程标准体系。设计阶段推行BIM正向设计，通过参数化建模实现构件标准化，如某项目将小箱梁截面类型从12种优化至4种，模板通用率提升65%。生产阶段执行《混凝土预制构件质量验收规范》(GB50204)，制定模具验收、混凝土浇筑、养护等18项关键工序作业指导书。施工阶段采用“首件验收制”，每类构件首件拼装需通过五方联检，合格后方可批量施工。验收阶段实施“一构件一档案”，记录原材料检测、生产过程参数及拼装质量数据，档案保存期不低于工程质保期。

4.2 数字化技术应用

为强化工程质量管控，应大力推广BIM+物联网技术，构建质量可追溯体系。利用RFID芯片绑定构件详细信息，施工时只需简单扫描，便能精准获取构件的安装定位、养护记录等关键数据。在一项目中，智慧预制场管理系统大显身手，集成模具管控、生产调度、质量检测等多项功能，实现高效管理，使生产效率提升30%，质

量缺陷率大幅降低45%。面对复杂结构施工难题，采用有限元分析模拟拼装过程，科学优化临时支撑布置与张拉顺序^[4]。

4.3 人员培训与考核

建立分级培训体系，操作人员需通过理论考试与实操考核。理论培训涵盖构件识别、连接工艺、安全规范等内容，实操考核包括模具组装、混凝土振捣、构件吊装等关键工序。一企业推行“师徒制”培训，新员工需完成60学时理论学习与30次实操演练，考核合格后方可独立作业。定期组织技能比武，对优秀班组给予奖励，激发员工质量意识。通过持续培训，该项目拼装工效从每日2片提升至3.5片，质量返工率从2.1%降至0.5%。

结束语

预制拼装技术在市政桥梁施工中优势显著，能有效缩短工期、减少对环境及交通的影响。然而，其质量控制涉及生产、拼装等多环节，需严格把控各要点。通过构建标准化管理流程、应用数字化技术以及加强人员培训考核，可提升施工质量控制水平。未来，随着技术发展，应持续优化质量控制体系，推动预制拼装技术在市政桥梁领域更广泛应用，保障桥梁建设质量与安全。

参考文献

- [1] 张克超.市政道桥桥梁预制拼装施工关键工艺与技术要点研究[J].房地产导刊,2025(8):48-49,52.
- [2] 赵俊杰.浅谈市政桥梁工业化预制拼装施工技术[J].中国新技术新产品, 2021, (08): 111-113.
- [3] 高昇伟.市政桥梁预制拼装施工技术[J].建筑施工,2020,42(04):593-595.
- [4] 陈磊,刘洋.市政桥梁节段预制拼装混凝土桥梁技术应用研究[J].智慧城市,2021,7(13):135-136.