

Research on Optimization and Quality Control of Prefabricated Assembly Construction Technology for Highway Bridges

Yun Wei Tingshu Hu*

Yunnan Jiaotou Public Construction Energy Engineering Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

In response to the high requirements for quality, efficiency, and environmental protection in the construction of highway bridges in China, as well as the problems of unstable component production accuracy, waiting for optimization of assembly connections, and imperfect quality control system in prefabricated assembly construction technology, this study conducts relevant optimization and control research. The research covers technology status analysis, multi link technology optimization, construction of a full process quality control system, and engineering case verification, using literature research, case analysis, and comparative analysis methods. Technical optimization focuses on the three core processes of prefabrication, transportation and hoisting, and assembly and connection. Quality control runs through the entire process of raw materials, prefabricated components, and on-site construction. Through the verification of a case study of a cross river super large bridge on a provincial ring expressway, the proportion of qualified component size deviation after optimization exceeds 98%, and the mechanical performance of the connecting parts meets the design value of 105% or more. The construction period is shortened and the benefits are good, which can provide reference for similar projects. At the same time, the research shortcomings are pointed out and the future direction is clarified.

Keywords

highway bridges; Prefabricated assembly; Construction technology optimization; Engineering Case

高速公路桥梁预制拼装施工技术优化及质量控制研究

魏云 胡廷树*

云南交投公建能源工程有限公司, 中国·云南昆明 650000

摘要

针对我国高速公路桥梁建设对质量、效率及环保的高要求,以及预制拼装施工技术存在的构件生产精度不稳、拼装连接待优化、质量控制体系不完善等问题,本研究开展相关优化与控制研究。研究涵盖技术现状分析、多环节技术优化、全流程质量控制体系构建及工程案例验证,采用文献研究、案例分析与对比分析方法。技术优化聚焦预制工艺、运输吊装、拼装连接三大核心环节,质量控制贯穿原材料、预制构件、现场施工全流程。经某省绕城高速跨江特大桥案例验证,优化后构件尺寸偏差合格占比超98%,连接部位力学性能达标设计值105%以上,工期缩短且效益良好,可为同类工程提供参考,同时指出研究不足并明确未来方向。

关键词

高速公路桥梁; 预制拼装; 施工技术优化; 工程案例

1 引言

我国高速公路桥梁建设规模持续扩大,对施工质量、效率及环保要求不断提高。预制拼装施工技术因工期短、质量稳、环境影响小等优势广泛应用,但存在构件生产精度不稳、拼装连接待优化、质量控制体系不完善等问题。因此,开展该技术优化与质量控制研究,对提升工程质量、缩短工期、降低成本及推动技术升级具有重要意义。本研究包括预制拼装施工技术现状分析、多环节施工技术优化、全流程质量控制体系构建及工程案例验证。方法上综合采用文献研究

法,梳理技术现状;案例分析法,提炼实践经验;对比分析法,凸显技术优势与改进方向,为最优方案选择提供支撑。

2 施工技术优化措施

预制工艺优化:为优化高速公路桥梁预制构件生产质量与效率,需从模板、钢筋加工安装、混凝土浇筑养护三大核心环节革新。模板方面,摒弃传统钢、木模板弊端,采用铝合金模板(重量轻、精度高,周转次数超200次,构件尺寸偏差 $\pm 2\text{mm}$ 内)或塑料模板(成本低、可回收,适配复杂形状),结合模块化设计与有限元分析优化结构,提升通用性与稳定性。钢筋加工引入数控设备,弯曲精度达 $\pm 1^\circ$,效率提升50%以上;安装采用定位架与模具,控制位置偏差 $\pm 5\text{mm}$ 内,同时强化全流程质量检查。混凝土施

【作者简介】魏云(1988-),男,中国云南昭通人,本科,工程师,从事公路施工研究。

工优化配合比,降低水胶比至0.40,添加高性能减水剂,抗压强度提升10%且抗渗达P8;采用分层浇筑(30cm厚)与高频振捣,避免缺陷;搭配智能养护系统,实时调控温湿度,使28天强度达设计值110%以上。三大环节的技术革新,全面提升了预制构件的尺寸精度、力学性能与生产效率,为后续拼装施工奠定坚实基础^[1]。

运输与吊装技术提升:运输与吊装是预制拼装施工的关键环节,需精准优化以保障安全与精度。运输方案按构件规格适配工具:小型构件用载重卡车,大型箱梁、T梁等选用平板挂车(适配50-100吨构件)或炮车(适配复杂路况),车厢底部铺设减震垫并设支撑座,通过钢丝绳、紧固螺栓等固定装置多点加固,防止构件震动损坏。吊装设备按需选型:汽车起重机适配开阔场地中小型构件,履带起重机应对复杂地形大型构件(80-150吨),龙门起重机提升批量吊装效率。工艺上采用多点吊装技术,大型构件经受力模拟确定吊点,控制变形在5mm内;结合全站仪、GPS实时监测,调整吊装位置与角度,使安装精度控制在±5mm内,全面提升吊装安全性、效率与精准度。

拼装连接技术创新:拼装连接与定位调整是保障桥梁整体性与拼装精度的核心。连接方式摒弃传统焊接、螺栓及湿接缝的弊端,推广灌浆套筒连接(高强灌浆料需符合GB/T 51440-2023《装配式混凝土结构灌浆施工技术标准》,保障连接密实性与强度,抗拉、抗剪性能达到设计要求)和胶结连接(高性能结构胶粘接,施工效率提升30%以上,防水性优),大幅提升连接可靠性。定位调整技术方面,采用全站仪精准测量水平角、距离,实时监测构件控制点,拼装精度控制在±3mm内;GPS技术适用于大型/远距离工程,实现全天候实时定位跟踪。搭配定位销、定位板等装置,先通过定位销初步定位,再经定位板微调垂直度与水平位置,高效保障构件精准就位。新型连接方式与先进定位技术的结合,全面提升了预制拼装的质量、效率与结构稳定性。

3 施工质量控制要点

质量控制贯穿高速公路桥梁预制拼装全流程,需分阶段严格落实。原材料控制方面,钢筋进场按GB/T 1499.2-2018标准每60t为一批检验,核查屈服强度($HRB400 \geq 400\text{MPa}$)等指标,存储垫高200mm以上分类防雨防潮,使用前处理锈蚀缺陷;混凝土原材料中,水泥按工程特点选型,进场核查强度、凝结时间等,存储期不超3个月,骨料优先选级配良好的中砂(细度模数2.3-3.0)和连续级配石子,外加剂依需求选型并按GB 8076-2017标准检验,精准计量掺量。预制构件控制聚焦尺寸精度(长度、截面尺寸等按规格把控偏差,用高精度模具及专业工具检测)、外观质量(针对蜂窝、麻面、裂缝采取预防与分类修补措施)及强度性能(按规范制作试块检验抗压、抗渗、抗冻等指标)。现场施工中,运输需按构件规格选适配车辆,车厢铺减震垫并设支撑座,

用专用装置多点固定并检查牢固性;存放场地需地势高、排水好、地基坚实且硬化处理,不同类型构件分类存放并设明显标识,全程保障各环节质量符合设计与规范要求。

4 工程案例

4.1 案例选取与工程概况

本研究选取了某省绕城高速跨江特大桥作为案例进行深入分析。该项目位于省域中部沿江平原与丘陵过渡地带,是绕城高速东线的关键控制性工程,对于打通区域交通环线、强化沿江产业带联动、促进城乡融合发展具有重要意义。该桥梁全长1280米,共28跨,全线采用预制拼装施工技术。上部结构为预应力混凝土预制箱梁,共计112片,箱梁跨径主要为30米和40米两种规格,梁高1.8米,顶板宽度12.75米;下部结构采用预制桥墩与现浇承台组合形式,桥墩为圆形实心截面,直径1.5米,高度根据墩位地势在8-22米之间;承台为矩形整体式结构,尺寸统一为长6.5米、宽4.8米、高2.0米。桥梁设计使用寿命为100年。项目所在地地形兼具平原低洼区与丘陵缓坡,3处墩位穿越软土地基段(承载力80-120kPa),需通过地基处理保障结构稳定性;区域属亚热带季风气候,年平均气温18.5℃,6-8月高温多雨(月均降雨量220mm),冬季最低气温不低于0℃,气候条件对预制构件运输、拼装及混凝土养护提出了较高要求^[2]。

选择该项目作为案例,主要是因为其具有典型性和代表性。该项目全面应用预制拼装施工技术,涵盖中小跨径箱梁、预制桥墩等核心构件,同时面临软土地基处理、高温多雨气候应对等常见工程难题,通过对该项目的分析,能够全面深入地验证预制拼装施工技术的优化及质量控制措施的有效性,为同类地质、气候条件下的高速公路桥梁工程提供有益参考和借鉴。

4.2 施工技术应用与优化

该项目初期采用的原施工技术方案存在诸多不足:预制工艺用传统钢模板,存在重量大、周转次数有限、表面平整度欠佳等问题,钢筋加工安装依赖人工,精度与效率低,混凝土浇筑为常规工艺,养护以自然养护结合洒水养护为主,效果受环境影响不稳定;运输环节减震固定措施简单,仅铺简易橡胶垫、用普通绳索固定,存在安全隐患,吊装选用汽车起重机与龙门起重机,但工艺传统、缺乏精准测量控制,精度不足;拼装连接采用传统湿接缝与部分螺栓连接,前者施工周期长、易开裂,后者可能松动,定位调整依赖人工测量与简单工具,精度难以保障。针对这些问题,项目实施了系列技术优化措施:预制工艺引入铝合金模板,尺寸精度达±1mm内、表面平整度误差<0.5mm,配备数控钢筋加工设备,加工精度≤±2mm、效率提升60%以上,辅以定位架与模具控制钢筋安装偏差,优化混凝土配合比并采用分层浇筑、高频振捣工艺,引入智能养护系统

使 28 天抗压强度达设计值 115% 以上；运输环节为大型构件增设多层减震橡胶垫与专用支撑座，用高强度钢丝绳和专业紧固装置固定，吊装选用升级后的履带起重机与大型龙门起重机，搭配多点吊装技术及全站仪、GPS 实时监测，精度控制在 $\pm 3\text{mm}$ 内；拼装连接关键部位采用灌浆套筒连接，定位调整结合全站仪与定位销、定位板，桥墩拼装精度 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，全面提升了施工质量与效率。

4.3 质量控制实施与效果

质量控制体系建立：项目成立以项目经理为组长，项目总工、质量总监为副组长，各部门负责人及专业技术人员为核心成员的质量管理领导小组，全面统筹质量管理工作。明确岗位职责权限：项目经理作为工程质量第一责任人，保障国家、行业、地方标准规范及企业质量管理规定全流程落地；项目总工承担技术总责，牵头编制专项施工方案、工艺标准及操作规程，制定针对性质量保证措施；质量总监协助开展日常质量管理，承担直接管理责任，负责组织质量检查、下发缺陷整改通知并及时汇报。同时，制定涵盖质量管理、责任、检验、验收、奖惩的全链条管理制度。确立“一次性验收合格，争创优质工程”核心目标，将其层层分解至各部门、岗位及施工人员，实现全员参与、全程覆盖。建立严格的质量责任追溯机制，对质量问题责任人严肃追责；配套奖惩办法，对质量管理成效突出的予以表彰奖励，对违规造成质量事故的从严处罚，以奖惩倒逼责任落实。

质量控制措施执行：施工过程中严格落实全流程质量控制，从原材料、预制构件到现场施工层层把关。原材料方面，对钢筋、水泥、骨料、外加剂等核心材料严格检验：钢筋抽样检测屈服强度、抗拉强度；水泥按工程特点选型，检测品种、强度等级等参数；骨料检验粒径、级配及含泥量；外加剂重点检测减水率、凝结时间差，合格后方可投入使用。预制构件聚焦尺寸精度、外观质量与强度性能，采用全站仪等高精度仪器检测尺寸偏差，巡检并修补蜂窝、麻面等缺陷，按规范制作混凝土试块并开展抗压强度试验。现场施工重点把控运输存放与吊装拼装：运输车辆配备减震固定设施，存放场地设防雨防潮防晒措施；吊装拼装遵循方案规程，运用全站仪、GPS 等仪器实时监测构件位置，动态调整确保精准就位，保障施工精度与质量^[3]。

质量检测与评估结果：项目采用常规检测与专项检测相结合的多元化方法，实现工程质量全面覆盖。原材料检测增设化学成分分析、无损检测等深度手段；预制构件检测引

入超声波、回弹法等无损技术，排查内部隐患；现场施工通过全站仪、水准仪测量线形、高程等参数，用压力试验机等设备检测连接部位力学性能。

经严格管控与全面检测，项目质量评估结果优良：原材料 100% 合格，满足设计与规范要求；预制构件尺寸偏差合格占比超 98%，外观缺陷发生率 $\leq 2\%$ ，强度全部达标；桥梁整体施工质量优良，线形平顺，高程和垂直度偏差均控制在 $\pm 5\text{mm}$ 内，连接部位抗拉强度、抗剪强度分别达设计值的 105% 和 110% 以上。此次质量控制措施的成功实施，充分验证了施工技术优化方案的有效性，为同类高速公路桥梁预制拼装工程提供了可靠实践经验与技术借鉴。经严格管控与全面检测，项目质量评估结果优良：原材料质量 100% 合格，完全满足设计与规范要求；预制构件尺寸偏差合格占比超 98%，外观质量缺陷发生率控制在 2% 以内，构件强度全部达到设计强度标准；桥梁整体施工质量优良，线形平顺，高程和垂直度偏差均控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，连接部位抗拉强度、抗剪强度分别达到设计值的 105% 和 110% 以上。此次质量控制措施的成功实施，充分验证了施工技术优化方案的有效性，为同类高速公路桥梁预制拼装工程提供了可靠的实践经验与技术借鉴。

5 结论

本研究聚焦高速公路桥梁预制拼装施工技术优化与质量控制，经技术与工程验证成效显著。技术优化方面，预制环节采用新型模板、数控钢筋加工及智能养护系统；运输吊装通过定制方案与精准测量提效；拼装连接创新应用灌浆套筒保障可靠性。质量控制构建全流程体系，严格把控各环节标准与检测。项目验证显示工程质量优良、工期缩短，获良好效益。研究存在新型材料与智能技术应用不深入、特殊环境适配性探索不足等局限。未来需加大高强材料、BIM 等智能技术研发，拓展大跨径及特殊环境技术适配性，推进标准化建设，为交通基建提质升级提供支撑。

参考文献

- [1] 胡路遥. 兰太高速公路桥梁盖梁预制安装机械化施工技术[J]. 石河子科技, 2025, (05): 60-61.
- [2] 侯玉茹. 公路桥梁预制节段拼装施工关键技术[J]. 交通世界, 2025, (08): 121-123. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2025.08.054.
- [3] 黎颀. 某高速公路桥梁预制T梁施工流程及技术方案研究[J]. 工程技术研究, 2022, 7(11): 63-65. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2022.11.019.