

临海城市快速路桥梁工程预制拼装技术应用

李欣

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 在城市快速路系统快速发展的背景下,传统现浇桥梁施工模式已难以满足现代城市建设对节能环保、交通影响和施工效率的高要求。预制拼装技术通过工厂化生产、标准化设计和机械化安装,为实现桥梁绿色建造提供了有效路径。基于临海市城市快速路(南区段)工程实践,系统阐述了全预制拼装桥梁在结构设计、构件预制与现场快速施工环节的关键技术体系,包括BIM辅助的钢筋优化布置、新型结构简支桥面板连续体系、新型叠合板组合梁及改进的灌浆套筒连接工艺;叙述了立柱、盖梁等关键构件的工厂化预制与现场快速安装工艺;并针对工程应用中暴露的预制与现场阶段典型问题,总结了优化对策。通过标准化设计化、工厂化生产与智能化管理,有效保障了构件质量与施工效率,为类似城市快速路桥梁建设提供了有益参考。

关键词: 预制拼装技术;城市快速路;快速化施工;BIM;问题对策

中图分类号: U445.4;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)02-0188-07

Application of Prefabricated Assembly Technology in Linhai Urban Expressway Bridge Project

LI Xin

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: With the rapid development of urban expressway systems, the traditional cast-in-place bridge construction modes has become difficult to meet the high requirements of modern urban construction for energy conservation and environmental protection, traffic impact and construction efficiency. The prefabricated assembly technology provides an effective solution for realizing the green construction of bridges through factory production, standardized design and mechanized installation. Based on the practice of the Linhai City Urban Expressway (Southern Section) Project, the key technical system of full-prefabricated bridge in structural design, component prefabrication and rapid on-site construction is systematically set forth, including BIM-assisted steel bar optimization layout, a new type of structural simple-supported bridge deck continuous system, a new type of superimposed slab composite beam and an improved grouting sleeve connection process. The factory prefabrication and rapid on-site installation technology of key components such as columns and bent caps are described, and the optimization measures are summarized for typical problems exposed in the prefabrication and on-site stages in engineering applications. Through standardized design, industrialized production and intelligent management, the quality and construction efficiency of the components are effectively ensured, providing the valuable reference for the construction of similar urban expressway bridge projects.

Keywords: prefabricated assembly technology; urban expressway; accelerated construction; BIM; problems and countermeasures

0 引言

城市高架桥梁在缓解交通压力、优化路网结构方面具有不可替代的作用,然而其建设过程往往面临工期紧张、交通影响大、环保要求高等挑战。为贯彻《中国制造2025》提出的绿色发展战略,推动建筑业向节能、环保、高效方向转型,桥梁建设必须摆脱

传统施工模式的束缚。预制拼装技术以其工厂化生产、机械化安装、标准化设计等优势,在提高工程质量、缩短工期、减少环境污染等方面展现出显著优势^[1]。本文以临海市城市快速路(南区段)工程为案例,进一步探讨桥梁预制拼装技术在设计、施工与管理中的关键技术问题,为推动我国城市桥梁绿色建造提供参考。

1 工程概况

临海市城市快速路(南区段)工程包括汇墅路及

收稿日期: 2025-10-09

作者简介: 李欣(1978—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

靖江南路,其中靖江南路采用高架桥+地面辅道形式实施。高架桥起始于台金高速临海收费站,北至灵江二桥,工程全长约3.876 km,里程范围K0+200~K4+076,见图1。标准段主线采用双向4车道,设置2对平行匝道,2对平行匝道间主线采用双向6车道,设计车速80 km/h;地面道路改造约4.17 km,采用双向4~6车道,设计车速50 km/h^[2]。



图1 项目地理位置图

靖江南路在江南大道以南范围,利用现状中央分隔带设置高架桥墩,在江南大道以北范围,对现状道路改建,标准段道路红线宽55 m,中央分隔带宽6 m,设置高架桥墩。

本工程高架桥主体采用全预制拼装结构进行建设,预制构件类型覆盖了桥梁的绝大部分组成部分,主要包括:桩基、立柱、盖梁、小箱梁、组合梁和护栏等。

2 预制拼装桥梁结构设计

2.1 总体布置

本工程主线高架桥中预制混凝土梁的规模较大,约占主线桥梁总面积的70.6%,见表1,分为18 m和25.5 m两种标准桥宽,匝道标准宽度为8.5 m。高架道路标准横断面布置见图2。

表1 桥梁工程一览表

分项	结构形式	标准跨径/m	标准桥宽/m	新建面积/m ²
主线	小箱梁	30	18、25.5	57 052
	钢-混组合梁	40~60	18、25.5	13 574
	悬浇梁	75、90	18、25.5	8 250
	支架整体现浇梁	40	18	1 980
匝道	小箱梁	30	8.5	5 814
合计				86 670

标准段桥梁上部结构采用预应力混凝土小箱梁,结构简支桥面板连续体系,标准跨径为30 m,3~5跨一联,小箱梁跨径选取28、29、30、35 m,以“1”为

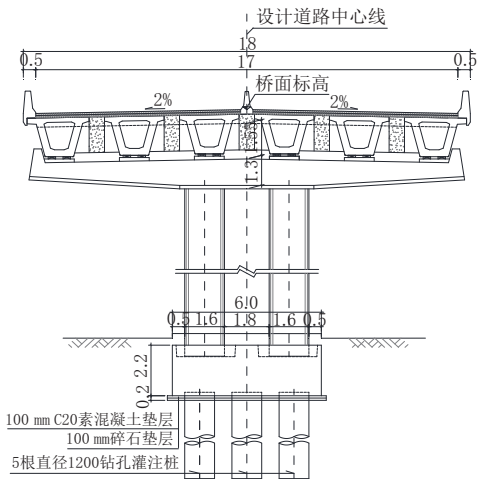


图2 主线B=18 m标准段小箱梁横断面(单位:m)

等差模数,且尽量减少跨径类型;跨越横向道路节点和河道处采用预制小箱梁或钢混组合梁,标准跨径选取40、45、50 m、……,以“5”为等差模数。

标准段桥梁下部结构采用大挑臂预应力混凝土盖梁双柱式桥墩。墩台基础根据地质情况基本选用钻孔灌注桩基础。

2.2 上部结构

2.2.1 小箱梁

主线B=18 m标准段采用预应力小箱梁,跨径分为28、29、30 m,上部结构由6片小箱梁组成,梁距3.02 m,梁间通过0.65 m宽湿接缝横向连接。主线B=25.5 m标准段同样采用预应力小箱梁,跨径和结构体系与B=18 m桥宽一致,上部结构横向布置增至8片小箱梁,梁距调整为3.15 m,湿接缝宽度增至0.75 m。匝道上部结构由3片小箱梁组成,梁距2.8 m,湿接缝宽度为0.4 m。小箱梁梁高统一为1.6 m,采用C50混凝土。顶板厚0.2 m,底板厚0.18 m,腹板跨中厚0.18 m,支点处加厚至0.3 m。

目前国内预制小箱梁连接主要有普通混凝土连接、高强度钢纤维混凝土连接和超高性能混凝土连接这3种技术^[3]。本工程上部结构小箱梁湿接缝采用C60钢纤维混凝土,并应用U形钢筋交错搭接构造,见图3。相比传统纵向接缝工艺,此设计省去了大量的现场焊接作业,降低了对梁体定位精度的苛刻要求,有效规避了钢筋焊接可能带来的疲劳风险,从而显著提升了纵向接缝的施工效率与质量可靠性,充分体现了预制拼装快速化施工的优势。张菊辉^[4]等预制小箱梁纵向U筋交错搭接接缝静载试验研究表明,该接缝在同等配筋率下承载能力与传统焊接接缝基本相当,且裂缝宽度满足规范要求。

此外,本工程采用新型结构简支桥面板连续体

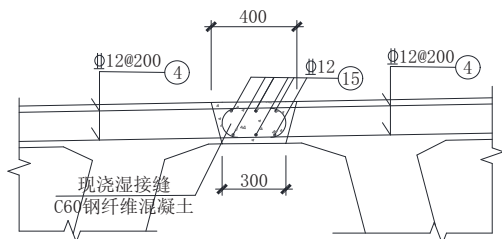


图3 小箱梁窄接缝连接方式(单位:mm)

系。预制梁桥面板纵向连续构造,是一种预制梁端桥面板外伸形成悬臂板,悬臂板的上部和端部预留现浇段,前后两跨的梁端现浇段形成T形接缝,现场浇筑UHPC连成整体,形成桥面板纵向连续构造。图4为结构简支桥面板连续方案。

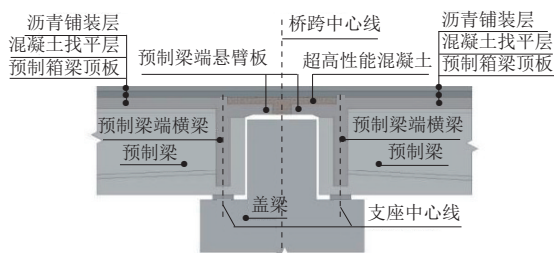


图4 结构简支桥面板连续方案

此种结构简支桥面板连续体系具有以下优点:

(1)相比先简支后连续结构体系,该体系现场施工更为简便,可缩短工期,且对前后跨预制梁的片数及对齐方式无严格要求,显著提升了在高架变宽区段的适应能力。

(2)目前在高架桥梁中,结构简支桥面铺装连续是应用最广泛的简支体系,虽施工便捷,但在实际使用中常出现桥面横向裂缝及沥青面层不平整等病害,需频繁维护。这些病害主要由连续铺装层在车辆反复荷载、温度变化与不均匀沉降共同作用下,结构受力不足导致混凝土开裂,并进一步波及沥青层,影响行车安全与舒适性。采用结构简支桥面板连续的新型体系,能够有效避免此类问题。

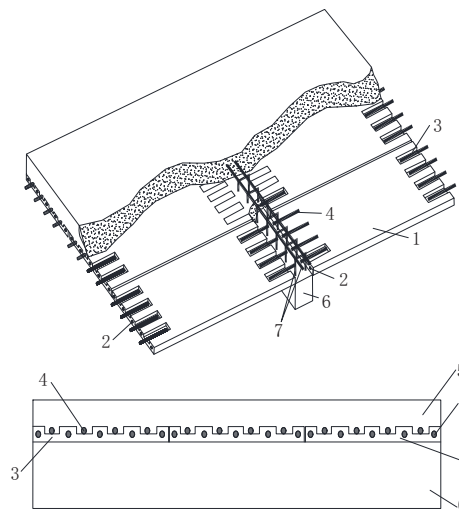
2.2.2 钢混组合梁

主线跨路口处采用钢混组合梁,跨径布置为40、45、50、60 m。桥宽B=18 m横向采用三片槽型钢梁,桥宽B=25.5 m横向采用四片槽型钢梁,顶宽3.0 m,中间采用横梁连接,横梁标准间距6~8 m。桥面变宽通过保持单片箱梁宽度不变,改变两片梁间距实现。

槽型钢梁上铺设混凝土桥面板,标准厚0.3 m,在槽型钢梁上翼缘及横梁处加高至0.35 m,并通过剪力钉与钢梁连接成整体。

钢混组合梁采用新型叠合板组合梁,见图5。该预制板的板端无外伸钢筋,而是于支座位置设置条

形槽孔。槽孔内放置附加钢筋,附加钢筋外伸长度与胡子筋伸出长度相等。预制板板端与钢梁相连。该新型叠合板组合梁取消了胡子筋的构造,既能达到传统“胡子筋”的连接效果,又能确保结构的整体性和安全性,施工便捷。



图中:1—板端开槽混凝土预制板;2—混凝土预制板内受力钢筋;3—条形槽孔;4—附加钢筋;5—上部混凝土后浇层;

6—钢梁示意;7—预留钢筋

图5 新型叠合板组合梁

以本次工程为例,18.0 m桥宽叠合板组合梁桥面板板厚0.3 m,预制板尺寸为1.0 m(纵)×2.5 m(横)×0.1 m(高),图6为新型叠合板组合梁标准横断面,预制桥面板由专业厂家加工完成后,运输至现场安装,并作为后浇混凝土的模板,叠合板通过剪力钉与钢主梁相连^[5]。

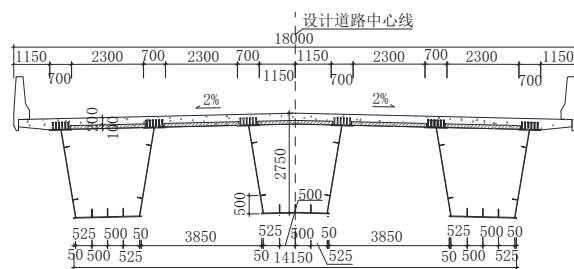


图6 新型叠合板组合梁标准横断面(单位:mm)

2.3 下部结构

2.3.1 下部结构设计

主线标准段下部结构采用预制拼装大挑臂预应力混凝土盖梁双柱墩,变宽段采用三柱或四柱门架墩。

以主线B=18 m标准段下部结构为例,见图7,盖梁采用倒T型截面,梁高2.85 m,挑臂长6.071 m,顶宽0.9 m,底宽2.90 m,顶面设置2%横坡,底面为平坡。盖梁采用预制拼装的施工工艺,跨中设置1.5 m长湿接缝。

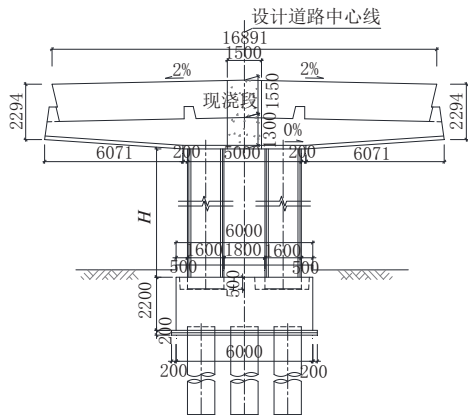


图7 主线B=18 m标准段下部结构横断面(单位:mm)

立柱矩形截面尺寸为1.6 m(横桥向)×1.6 m(纵桥向),四周设置 $R=0.15$ m圆弧倒角,两立柱边到边距离为5.0 m。墩台基础根据地质情况基本选用钻孔灌注桩基础。钻孔灌注桩共5根,桩径 $\phi 1.2$ m。相应承台平面尺寸为6 m×7 m,厚2.2 m。由于立柱与承台连接采用半套筒连接,承台上预留0.5 m×2.5 m×2.7 m空间以便安装预制立柱。

2.3.2 改进的半灌浆套筒连接技术

桥墩预制装配工艺指将桥墩分解为若干构件,在工厂或现场集中预制,再运送至现场装配成桥墩^[6]。构件预制装配的关键核心在于其连接方式。主要连接方式包括:灌浆套筒连接、灌浆金属波纹管连接、UHPC连接、插槽式连接及承插式连接等^[7]。

上海预制拼装技术的应用现状显示,其下部结构墩柱连接以灌浆套筒为主,超高性能混凝土连接已开始在实际工程中应用^[8]。本工程预制盖梁与预制立柱采用一种改进半灌浆钢筋连接套筒方式。

灌浆套筒连接桥墩是指在预制墩身节段之间、墩身节段与承台以及盖梁之间,通过在桥梁预制构件中预留孔洞,并在其中安装连接件,再利用高强度混凝土灌浆材料将孔洞填充,形成牢固的连接^[9-10]。灌浆套筒连接施工速度快、钢筋定位精度要求高,但不适用于束筋连接。目前预制拼装的抗震性能的研究仍以定性为主,缺乏定量结论与设计方法^[11]。图8为灌浆套筒连接。

改进后的一种半灌浆钢筋连接套筒:该连接套筒的上部预埋在立柱内,底部可埋入承台内,保证预制立柱与承台可靠连接,不在柱底形成薄弱截面,保护层混凝土不易剥落,满足强震等不利工况下的连接性能要求,构造见图9。

2.4 结合BIM的精细化设计

数字化与智能化的应用是新型工业化桥梁建设



图8 灌浆套筒连接

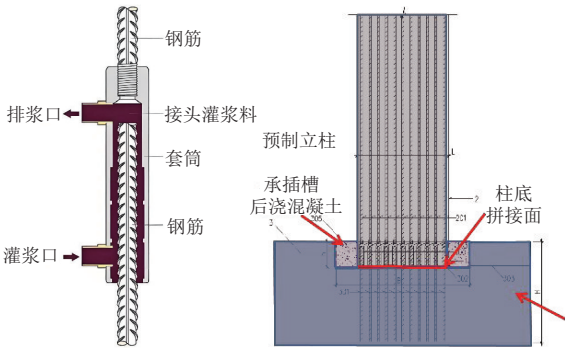


图9 半灌浆钢筋连接套筒

的重要趋势,在预制装配式结构中,BIM技术的应用贯穿项目全生命周期^[12-13]。在设计环节,可迅速生成方案并完成结构验算与优化,保障设计逻辑的严谨性;进入生产环节后,BIM数据可直接指导模板的精准设计与构件的高质量一次性成型;在施工阶段,通过可视化仿真模拟装配过程,有助于改进施工部署与工序安排;在运维阶段,全流程信息得以集成与传承,形成可复用的数字资产,助力项目管理效率持续提升。

为确保预制构件钢筋的精准定位与施工可行性,本项目基于BIM技术对盖梁、立柱及预制梁的复杂钢筋节点进行了精细化设计。通过三维空间协调,优化了钢筋交叉与避让关系,为保障结构质量和提升施工效率提供了关键技术支撑。

盖梁上部钢筋较为密集,钢筋在盖梁端头与预应力钢束锚头存在交叉,骨架钢筋与箍筋存在交叉、牛腿拉筋与骨架钢筋及预应力钢束存在交叉。通过BIM三维建模,对钢筋交叉点进行重点优化,保证了设计钢筋布设方案的合理性,见图10。

立柱为了高架整理美观,设置了禾字形凹槽及梯形排水槽,为保证箍筋连续,采用中国结形箍筋,立柱主筋需深入盖梁一定长度,造成立柱主筋布设困难。通过BIM三维模型,优化立柱主筋位置,保证了立柱钢筋设置的合理性及施工便利性,见图11。

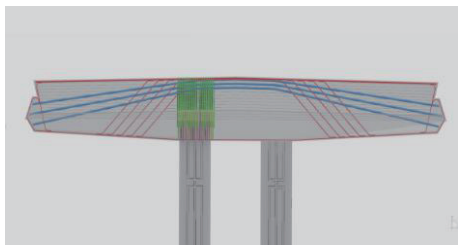


图10 盖梁钢筋 BIM 模型

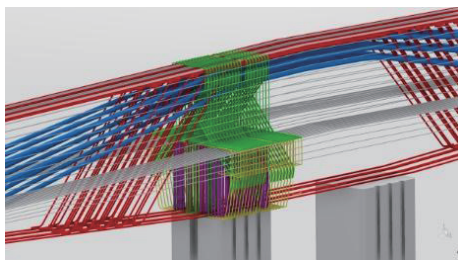


图11 立柱钢筋 BIM 模型

预制梁桥墩中心线处 UHPC 现浇连续缝处钢筋较为密集,且纵向需错开交叉布置。通过 BIM 三维建模,对钢筋进行重点优化,保证设计阶段钢筋布设方案的合理性,指导现场施工放样,减少现场钢筋绑扎工作量。预制梁跨中横隔板及端横梁处厚度仅为 250 mm,且伸出钢筋交叉搭接,通过细化钢筋间距,明确钢筋错开布置方案,减少拼装误差,提高结构的整体性,见图 12、图 13。

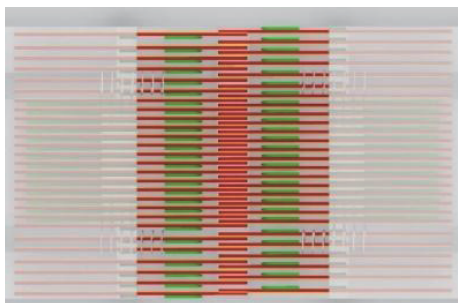


图12 预制梁连续缝纵向伸出钢筋错开示意图

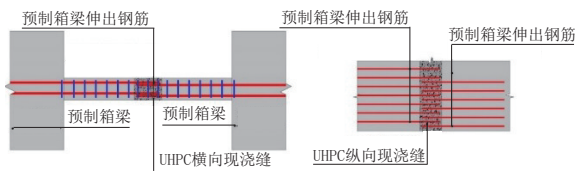


图13 预制梁横向伸出钢筋错开示意图

3 构件预制与快速化施工技术管理

3.1 快速化施工技术概述

相较于郊区等低限制因素施工工况,市区等交通繁忙区域桥梁改扩建工程和新建工程具有施工空间与交通约束性强、结构施工安全风险高、环境与社会影响大等显著特点^[14]。为减少城市高架桥建设期间对现有交通的干扰,越来越多的城市桥梁,选择采

用“高效、环保、优质、安全”的快速化施工方案。

桥梁快速化施工是在常规施工基础上,对局部影响地面交通或施工速度较慢的工艺进行改进,以减小对地面交通干扰,同时加快施工进度。本文重点分析桥梁下部结构预制拼装快速化施工技术,介绍本工程标准段立柱与盖梁全预制施工工艺。

3.2 立柱、盖梁预制工艺

立柱工厂化预制的核心在于安装精度和钢筋骨架成型质量。生产过程中,首先在预制场搭建稳定的底模台座,并通过定位板与定位框架实现灌浆套筒及钢筋的精确定位,使构件偏差控制在毫米级范围内,图 14 为立柱钢筋笼胎架。钢筋半成品由加工车间集中制作,包括箍筋弯折、主筋接长与焊接等工序,随后在胎架内绑扎成笼,并通过焊接和拉钩筋加固。骨架成型后,套筒止浆塞、销棒预留孔预留等辅助装置按工艺要求安装到位,确保后续拼装的可靠性。成品采用网格化、立式存放方式,并通过翻转与吊装设备实现稳定运输。



图14 立柱钢筋笼胎架

盖梁预制复杂度较高。其钢筋骨架需在 BIM 技术辅助下完成 1:1 放样,钢筋骨架之间采用点焊方式固定,主筋位置偏差控制在 2 mm 以内。灌浆套筒、波纹管 and 定位盘的安装对整体精度起到关键作用。模板拼装过程中在边缝处粘贴双面胶防止漏液,模板间拧紧螺栓防止浇筑过程中发生涨模。

盖梁采用 C60 混凝土,采用泵送方式分段连续浇筑,浇筑时自由倾落高度严格控制在 1.5 m 以下。完成浇筑后及时进行收浆抹面处理,并采取土工布覆盖和定时喷淋进行养护,高温环境下增加养护频率以防裂缝产生。当混凝土强度达到设计要求后,对灌浆区域进行凿毛,以确保与立柱接触面的结合效果。图 15 为盖梁浇筑现场。

通过该工厂化预制体系,立柱和盖梁的生产效率显著提高,构件质量稳定性和施工安全性得到保障,与传统现浇方式相比具有明显优势。

3.3 立柱、盖梁安装

在预制拼装桥梁下部结构中,立柱与盖梁的安



图 15 盖梁浇筑现场

装精度是决定结构整体受力性能与长期安全的关键环节。随着技术创新,预制立柱快速精确安装、超长超重盖梁快速安装、长大多节段盖梁预制及干接精确安装等方法,解决了城市道路桥梁施工难题^[15]。

立柱安装前需对承台进行严格的几何验收与表面处理,验收合格后,承台表面经高压水清理与凿毛后,设置挡浆模板并采用泡沫胶填缝,以保证后续灌浆的密实性。立柱进场后进行逐根质量检验,涵盖混凝土强度、外观质量、几何尺寸、钢筋保护层厚度及套筒通畅度等方面。

立柱吊装过程中,全站仪被用于实时监测中心线与垂直度,确保与承台精确对中。安装过程中采用牛腿与千斤顶配合进行微调,使立柱垂直度控制在 0.3%H 且不大于 15 mm 的范围内。试拼装完成后,开始座浆,砂浆由搅拌机搅拌后倾倒入承台凿毛面并刮平。立柱吊装就位后,实施“下口进、上口出”的灌浆工艺,保证浆液饱满并防止空洞形成。当浆料强度满足要求后,方可拆除千斤顶与临时支撑,进行凹槽钢筋绑扎及混凝土浇筑作业。

盖梁验收方面与立柱相同。为保证稳定性,施工前应搭设临时钢支墩,支墩采用格构柱与 H 型钢的组合形式。盖梁吊装时,测量人员实时监控轴线与标高,并通过相应厚度的楔形块进行调节。吊装完成后,在立柱顶面洒水湿润,铺设 C60 砂浆进行座浆,随后进行湿接缝主筋连接和混凝土浇筑,使结构形成整体受力体系。图 16 为盖梁吊装就位与精调。

4 工程应用中常见问题与对策分析

预制拼装技术在效率方面取得明显成效,根据本工程设计和施工的实际经验,在预制构件质量、现场施工细节、施工安全管理等方面仍旧存在一些问题。本章将讨论各阶段的典型问题,并提出相应的



图 16 盖梁吊装就位与精调

优化方案。

4.1 预制阶段典型问题与优化措施

在构件预制方面,主要存在以下问题:

(1)立柱、盖梁灌浆套筒定位不精确易漏浆。灌浆套筒需在钢筋笼绑扎之前安装完成,若无有效的固定,在钢筋绑扎的过程中套筒容易偏位和松动。可采用固定定位底盘,将灌浆套筒牢牢的卡在构件底部,并使用橡胶塞将灌浆套筒底部塞住,防止浆液渗入。

(2)盖梁湿接缝预留钢筋钢套筒偏差大安装精度低。分段式预制盖梁,需提前外漏钢筋,在安装时采用钢套筒进行连接,预制过程中需分开进行预制,在吊装和浇筑过程中钢筋很容易发生偏位,从而造成钢筋安装完成后不易连接。预制场可采用定制胎架,在钢筋绑扎阶段连接主筋先试用钢套筒进行临时连接固定,待绑扎完成后取下钢套筒使用钢材将主筋固定。

(3)盖梁注浆管接头位置容易破损和松动。传统盖梁预制工艺采用 PE 管进行注浆,因材质本身问题易发生变形,浇筑过程中受压管子容易压扁堵塞,并且接头容易掉落。可采用 PPR 管和 PP 接头,有效解决管内漏浆问题,通过灌浆套筒丝口大小,加工匹配接头,将注浆孔和出浆孔统一移至盖梁顶部,一方面有效防止漏浆风险,另一方面也解决注浆难的问题。

(4)盖梁变截面焊接精度低,整体线性偏差大。盖梁箍筋随线型、尺寸缓缓变化,仅依靠焊接设备不能实现钢筋对位有效连接,预制梁场采用自主研发的手工焊接平台,通过端部螺杆缓慢调节,从而实现箍筋精准焊接,有效改善线性的问题。

4.2 现场施工典型问题与处理方案

与工厂化生产条件下的标准化作业相比,现场施工过程受到地质条件、空间环境、交通组织、气候影响以及多工序交叉作业等多重因素制约,具有更高的不确定性和复杂性。在施工过程中,容易出现

如挡版与牛腿冲突、挡板角处漏浆、盖梁底面所需座浆厚度偏厚、盖梁顶面座浆漏浆、注浆孔堵塞等细节性问题。这些细节问题虽不一定在短期内对结构功能造成直接影响,但在长期服役中可能降低耐久性和安全性。因此,在保证施工效率的同时,也需要全面提升现场细节管理与质量控制水平。

在施工安全管理方面,盖梁吊装和拼装对现场安全要求极高。比如传统操作中,指挥人员需借助梯笼攀爬至高处进行安装指挥,不仅操作效率低,而且存在坠落风险。工程实践表明,采用登高车替代梯笼能够显著提高安全系数,同时改善作业人员的操作环境。

5 结 语

本研究依托临海市城市快速路工程,实现了全预制拼装技术在城市高架桥梁建设中的应用。通过BIM精细化设计、新型结构简支桥面板连续体系、新型叠合板组合梁及改进的半灌浆套筒连接等关键技术,本项目阐述了一套从设计、预制到施工的工业化建造体系。工程实践表明,该技术体系通过构件工厂化精密生产和现场快速化精准安装,有效保障了工程质量与施工效率,显著降低了施工对城市交通与环境的影响,充分验证了其在城区复杂工况下的优越性。同时,在项目实施过程中,面对预制与现场施工阶段典型问题,提供了具体措施,为后续同类工程的施工管理积累了宝贵的实践经验。

本工程的成功实施,是推动我国城市桥梁建设向绿色化、工业化及智能化方向转型升级的一次有

益探索与成功实践,为行业提供了可资借鉴的典型案例。随着标准体系的不断完善与智能建造技术的深度融合,预制拼装技术必将在未来城市基础设施建设中展现出更广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 卢永成. 桥梁预制拼装技术[M]. 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2021.
- [2] CJJ 11—2011, 城市桥梁设计规范(2019年版)[S].
- [3] 卢永成, 袁慧玉. 城市桥梁预制拼装技术应用[J]. 上海公路, 2023(2): 46-51.
- [4] 张菊辉, 黄帅, 管仲国. 预制小箱梁纵向U筋交错搭接接缝静载试验[J]. 中国公路学报, 2018, 31(12): 115-123.
- [5] 李松斌, 张定马, 刘国坤. 二次浇筑下钢混组合梁桥面板结合面受力分析及优化[J]. 公路工程, 2021, 46(5): 113-115.
- [6] 孙润生. 装配式建筑技术在市政桥梁工程中应用探讨[J]. 建设科技, 2022(5): 124-128.
- [7] 韩阿慧, 曹娟丽, 王超. 装配式桥墩发展及其抗震性能研究[J]. 四川建材, 2021, 47(3): 151-152.
- [8] 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.
- [9] 张子颀, 邓开来, 徐腾飞. 预制装配式混凝土桥梁结构2019年度研究进展[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2020, 42(5): 183-191.
- [10] 陈宏, 李静, 张菊辉, 等. 预制拼装桥墩抗震技术发展及展望[J]. 城市道桥与防洪, 2025(5): 70-75; 81.
- [11] 王志强, 卫张震, 魏红一, 等. 预制拼装联接件形式对桥墩抗震性能的影响[J]. 中国公路学报, 2017, 30(5): 74-80.
- [12] 卢永成. 桥梁工业化建造综述[J]. 城市道桥与防洪, 2024(11): 4-8; 16.
- [13] 孙衍, 杨光强. 桥梁预制拼装技术在城市密集区的应用与思考[J]. 上海公路, 2021(4): 62-65; 77.
- [14] 顾玉新. 吴淞江工程(上海段)跨河桥梁施工期间总体交通组织方案研究[J]. 城市道桥与防洪, 2019(6): 52-55.
- [15] 金国海. 城市桥梁预制拼装快速化施工关键技术[J]. 城市道桥与防洪, 2023(2): 146-148; 153.