

装配式桥梁构件智能化预制与运输安装技术应用

李赵鑫¹ 李福海² 唐慧琪³ 陈淇¹

1.新疆工程学院土木工程学院; 2.西南交通大学土木工程学院; 3.中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i5.8026

[摘要] 本文以绍兴市二环南路智慧快速工程的高架桥段为工程背景,首先分析了预制装配式桥梁构件智能化预制存储和运输安装的技术难点和解决措施,详细介绍了该工程构件的预制存储和运输安装的施工过程,阐述了施工过程中如何保证施工效率和工程质量。通过对装配式桥梁构件智能化预制存储和运输安装的施工方案、工艺流程、技术难点与解决措施、质量控制措施的阐述,形成了一套适用于装配式桥梁的施工方案,可为相似工程提供参考。

[关键词] 装配式桥梁; 构件预制; 现场安装; 质量控制

[中图分类号] TU5 **[文献标识码]** A

Application of Intelligent Prefabrication and Transportation Installation Technology for Prefabricated Bridge Components

Li Zhaoxin¹ Li Fuhai² Tang Huiqi³ Chen Qi¹

1. School of Civil Engineering, Xinjiang University of Engineering;

2. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University;

3. China Power Construction Corporation Zhongnan Survey and Design Institute Co., Ltd

[Abstract] This article takes the elevated bridge section of the Shaoxing Second Ring South Road Smart Rapid Project as the engineering background. Firstly, it analyzes the technical difficulties and solutions of intelligent prefabrication, storage, transportation, and installation of prefabricated bridge components. It provides a detailed introduction to the construction process of prefabrication, storage, transportation, and installation of the project components, and elaborates on how to ensure construction efficiency and engineering quality during the construction process. By elaborating on the construction plan, process flow, technical difficulties and solutions, and quality control measures for intelligent prefabrication, storage, transportation, and installation of prefabricated bridge components, a set of construction plans suitable for prefabricated bridges has been formed, which can provide reference for similar projects.

[Key words] prefabricated bridges; Prefabrication of components; On site installation; Quality Control

1.工程概况

项目主线采用“高架+地面+地道”的组合形式设计。从起点至中兴南路段,采用高架快速路形式,高架桥在跨越中兴南路口后落地,全长约 2.59 公里。中兴南路至终点段,则采用地面快速路形式,全长约 3.65 公里。本文针对高架桥段构

件的预制和装配施工过程进行研究,高架快速路段地质情况:上部为湖沼相、海积、冲湖积、坡洪积粉质粘土、粘质粉土、泥质粘土等,层厚约 9.20~21.20m,力学性质较差~稍好;下部为强~中风化基岩,强风化基岩力学性质稍好~较好,中风化基岩力学性质良好。

2. 立柱、盖梁预制

立柱、盖梁和小箱梁均采用工厂化预制，预制厂占地 250 亩，根据产生流水任务主要划分为原材料区、半成品区、加工区、存放区，每月平均产能可达到立柱 120 根、盖梁 45 榀。

2.1 立柱预制

2.1.1 制作前准备

立柱台座是预制高架桥立柱的基础部分，位于立柱与地基之间，起着连接和承载立柱的作用。台座可分为单立柱台座和多立柱台座，本项目采用多立柱台座。台座由工字钢组成，台座的宽度按照最大立柱截面来考虑，立柱截面最大尺寸为 $2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ ，台座宽设置 3.2m ，两边各预留 35cm ，台座长度按产能合理布置。

为保证立柱安装时定位精准，制作立柱前需预先制作定位系统。一整套定位系统包括两块定位框架和两个定位板。一个定位框架用于立柱主钢筋顶端定位，一个定位框架用于承台预埋连接钢筋定位。为保证预制盖梁与立柱能够精准安装，立柱顶部预留钢筋通过定位框进行定位，盖梁底部通过定位板定位灌浆套筒。为保证立柱钢筋笼定位准确，需要为立柱设计钢筋笼胎架，胎架由底座、支架、挂片及定位板组成。

桥梁构件现场连接采用灌浆套筒连接，预制时需安装好灌浆连接套筒。灌浆套筒的构造形式如图 1 所示，其一端为预制安装端，另一端为现场拼装端，套筒中间设有钢筋限位挡板。安装时，将每个套筒的底端插入定位板的预留底塞，拧紧底塞螺栓以固定套筒。最后，用箍筋和拉钩筋将所有套筒绑扎成型，以确保整体牢固。安装定位示意图如图 2 所示。

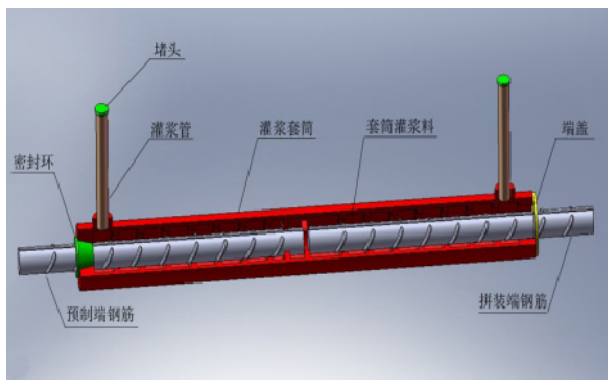


图 1 灌浆套筒示意图

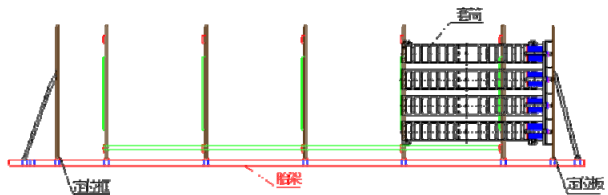


图 2 立柱套筒定位安装示意图

2.1.2 立柱制作过程

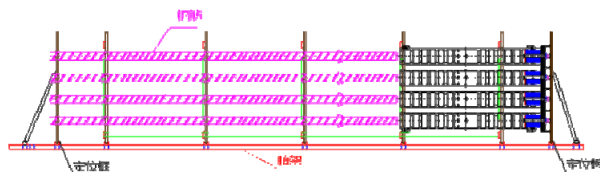
前期准备工作完成后，将主筋和箍筋等制作成为钢筋笼，放入模板内部，最后浇筑混凝土，完成制作。

主筋安装过程为：（1）每天检查主筋切断、弯曲质量；（2）主筋按挂片及灌浆套筒位置控制间距；（3）主筋按工艺流程顺序进行安装；（4）立柱钢筋骨架制作完成后，用定位板复测主筋位置，允许偏差 $\pm 2\text{mm}$ ；（5）套筒顶口的钢筋插入部位用止浆塞密实，四个断面用钢筋压紧固定，防止套筒活动和堵塞。（6）严格按照设计要求控制主筋进入灌浆连接套筒内的长度。主筋安装过程如图 3 所示。



a. 主筋安装（一）

b. 主筋安装（二）



c. 主筋插入套筒示意图

图 3 立柱主筋安装过程

箍筋安装过程为：（1）箍筋按工艺流程顺序进行安装、绑扎；（2）箍筋间距定位按加密区，非加密区要求绑扎；（3）箍筋绑扎后扎丝需向内弯；（4）箍筋与主筋焊接采取二氧化碳气体保护焊点焊。箍筋安装完成后，需安装保护层垫块，保证混凝土保护层厚度不小于 30mm ，并且在箍筋外围安装防裂钢筋网，减少混凝土受力时的裂缝和变形。

立柱钢筋骨架及所有附属构件加工完成后，涂刷脱模剂并拼装模板。立柱钢模板采用平躺式安装，两侧钢模板安装完成后，安装立柱钢筋骨架，再依次安装其他侧模板，拼接完成后采用螺栓固定；翻转并吊运模板至浇筑台座，通过连接件固定底模（定位板）。复测立柱模板垂直度，确保螺栓和卡扣紧固。最后进行立式混凝土浇筑，分层浇筑和振捣，确保一次性完成。

2.2 盖梁预制

与立柱预制过程相似，盖梁预制也需要钢筋加工胎架。盖梁钢筋加工胎架由套筒底框架、支架、定位架及爬升胎架组成。在拼装钢筋加工胎架前，先检验胎架各部件，特别是灌浆套筒定位框的位置，精度控制在 1mm 内。拼装时，确保胎架底座水平，各支架垂直，精度控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内。安装完成后，测量支架，确保其在同一条线上，防止主筋弯扭。

盖梁灌浆套筒的预制安装采用两种形式:一种是在钢筋绑扎胎架外预先将灌浆套筒定位制作成整体,然后吊入钢筋绑扎胎架;另一种是直接在钢筋绑扎胎架上盖梁底部通过定位底板定位灌浆套筒。

盖梁定位系统完成后,在混凝土浇筑之前,需要制作钢筋骨架并且安装模板。安装制作过程如下:

- (1) 端头板安装:将端头板固定在胎架中间的卡销上,并用水平尺确保其垂直;
- (2) 主筋安装:在操作平台上,将主筋穿过箍筋骨架片和端头板预留口,确保定位准确;
- (3) 箍筋安装:按照编号顺序,将盖梁箍筋骨架片依次安装在胎架卡槽内;
- (4) 水平筋安装:在放置平台上,将水平筋穿过箍筋骨架片和端头板预留口,并用扎丝固定。
- (5) 波纹管安装:按图纸位置在盖梁钢筋骨架内安装塑料波纹管。
- (6) 钢绞线安装:预埋 P 锚单端张拉,钢绞线露出挤压套 $2\text{mm} \sim 5\text{mm}$ 。
- (7) 端头锚具安装:在盖梁尾部和湿接缝处安装内嵌锚具和深埋套筒,保持水平,并添加三层加强钢筋网片。
- (8) 预埋件安装:根据图纸加工挡块、支座垫石钢筋及预埋件,使用三维软件计算并安装吊点。



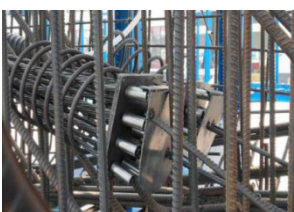
a. 湿接缝端头板安装



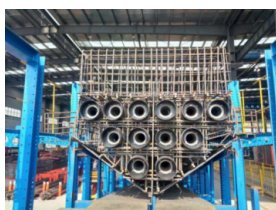
b. 箍筋安装



c. 波纹管安装定位



d. P 锚安装



e. 端头锚具安装



f. 挡块钢筋安装



g. 侧模安装

h. 两端侧模安装对拉螺杆

图4 盖梁制作过程

完成盖梁的侧模、悬挑段端头模板、挡块模板安装后,在两端侧模安装对拉螺杆。模板安装时,控制错台,接缝处贴双面胶并涂玻璃胶防止漏浆。安装后,测量和技术人员检查位置和垂直度。模板安装过程如图4所示。采用泵送方式浇筑 C60 高性能混凝土。浇筑前,在预应力波纹管内穿入塑料内衬管,防止波纹管挤压变形和损坏漏浆。

3 运输与安装工艺

3.1 运输难点与措施

预制构件重量大,运输风险高。预制构件最大运输重量达 200 吨,运输路线中经过大小桥梁数量高达 89 座,运输前需对所有经过旧桥进行检测,手续复杂,超重车辆经过桥梁是运输过程中最大安全隐患之一。

成品损坏风险高。预制构件厂距施工现场距离较远,预制构件运输时间长且大多在晚上进行,在装车过程中如支垫加固等措施不当,运输时极易产生构件破损。

针对运输难点,初拟多条运输路线,调查运输路线道路、桥梁情况,重点收集临近年份的桥梁检测报告,综合比选运距和检测(含初检和使用过程季度检测)等综合费用,选取最优技术经济线路,对运输线路上的桥梁进行检测,取得报告并报上级行政许可部门审批后再进行运输。

针对预制构件立柱、盖梁、小箱梁等不同结构特点,分别采用不同的支垫、加固方法,确保运输过程中构件稳定。立柱运输时,在立柱底部放置 2 块枕木提高立柱运输过程中的稳定性;小箱梁运输时,根据小箱梁长度和重量在小箱梁底部放置 4 块枕木;针对盖梁底部存在部分斜面的特点,在底部平面处放置 2 块枕木,斜面部分采用特制尺寸契合的钢支架进行支撑,提高盖梁运输时的结构稳定性。

3.2 立柱、盖梁安装

3.2.1 准备工作

使用宕渣对原吊装场地进行硬化,厚度至少 80 厘米,确保地基承载力至少 200kPa。然后铺设碎石垫层,浇筑 24 厘米厚的 C30 混凝土。在吊装前,对承台槽口进行凿毛处理,底部中心区域不凿毛,然后清理凿毛面,确保无水分。在槽口中心放置薄钢板调节垫块,高度不超过 3 厘米。测量并标记立柱中心轴线的四个方位点,安装挡浆模板,模板固定在承台上。以预埋套筒和钢筋为基准,进行弹墨线,确保立柱拼装精度,建立两个支墩支撑盖梁,用标准节和不同高度的调节段拼装,底部是预制混凝土基础,顶部钢管柱调节高度。吊装前,在柱顶设置 5 厘米高的钢制挡板,用螺栓固定。盖梁验收后,在顶部

角点粘贴反光标识用于定位，立柱顶面安装钢板，通过钢板厚度调整盖梁底面至正确标高。

3.2.1 立柱和盖梁安装

(1) 立柱试安装

立柱牛腿安装完毕后，使用吊车将立柱吊至承台槽口上方 50 公分处，缓慢下落立柱，工人引导底部半灌浆套筒与承台预留钢筋对位。使用两台全站仪检查立柱的垂直度和平面位置，借助千斤顶和吊车姿态调整立柱位置，确定位置后固定千斤顶，调离立柱。

(2) 盖梁试安装

在柱顶座浆前，进行盖梁的现场预拼装，使用两台吊车双机抬吊盖梁至立柱预留钢筋上方 50 公分处。通过调整吊车姿态，引导盖梁的金属波纹管与立柱预留钢筋对位，利用全站仪调整盖梁坐标位置。

(3) 座浆

在立柱和盖梁试安装完成后，对立柱和盖梁进行座浆处理。座浆材料采用高强无收缩砂浆，首先在每根预留钢筋上套上止浆垫，控制浆料流动，待浆料准备好之后，将其直接倾倒入承台凿毛面，用铁板刮平垫层砂浆，施工时间控制在 30min 内。

(4) 立柱、盖梁精调

座浆完成后，及时起吊立柱，采用试安装相同的方法进行校正，误差为 5mm，调整完毕后锁紧千斤顶。盖梁的安装过程与试安装类似，但需注意高架桥主线预制盖梁分两段预制吊装。A 块吊装完成后再吊装 B 块，B 块盖梁吊装时不仅要控制盖梁自身的平面位置和标高，还要保证湿接缝预留钢筋与 A 块盖梁湿接缝预留钢筋精确对位，便于后续对位主筋机械套筒连接施工。

(5) 套筒灌浆

在垫层砂浆终凝后方可进行灌浆作业，灌浆料采用高强无收缩水泥灌浆料。灌浆过程为浆料从下部注浆孔进浆，上部出浆，待浆料流出持续 5 秒，封堵出浆口并停止灌浆，进浆口采用橡胶止浆塞封堵。观察灌浆口，当浆液初凝前并不再流动时，在出浆口插入 $\Phi 12$ 钢筋，顶住套筒内立柱主筋。

(6) 盖梁现浇段施工

盖梁吊装完成后，进行湿接缝施工。采用吊模法，在盖梁顶部和底部分别设置两根工字钢，并用四根 $\Phi 32\text{mm}$ 精轧螺纹钢作为吊杆连接，形成吊架平台以便施工。湿接缝处预留的主筋采用套筒连接，采用大号套管连接预制盖梁两端波纹管，并用

透明胶带缠紧确保密封，最后使用 C60 收缩补偿混凝土浇筑湿接缝。

(7) 盖梁张拉

盖梁设置上下两排预应力钢绞线，分两次张拉，第一次张拉为盖梁湿接缝强度达到 85% 时张拉下排钢绞线，第二次张拉为小箱梁架设完成后张拉上排钢绞线，张拉应对称、交替进行。

3.3 套筒灌浆质量检测控制

钢筋套筒灌浆连接是装配式混凝土结构中连接预制构件钢筋的关键技术。预制构件通过套筒内的高强灌浆料凝结连接在一起，以此传力。但是目前依然存在灌浆材料和工人操作不当的问题，影响连接质量，因此需要检测套筒灌浆的质量。现有检测方法和技术多为工业 CT 法、超声波法、预埋钢丝拉拔法、冲击回波法和阻尼振动法等，本项目主要采用冲击弹性波法检测。

冲击弹性波属于波动的一种，传播过程中位置随时间变化。冲击弹性波的具体实施过程为：在被测介质表面施加冲击力，诱发介质振动，通过分析传感器拾取的振动曲线，得出时域和频域动力响应，评价结构内部质量。施工时将发射装置安装在预应力梁板一端的锚索上，接收装置安装在梁端对面。通过激振装置产生冲击波，沿波纹管传播。波遇到缺陷会改变参数，利用仪器记录，用以判断灌浆质量。

4 结语

本文通过绍兴市二环南路智慧快速工程高架路段的施工实例，探讨了桥梁构件智能化预制、运输和现场装配的关键技术。通过阐述构件预制的工艺流程和质量控制、构件运输的技术难度及对策、构件现场装配的工艺流程和质量控制，形成了一套适用于装配式桥梁构件施工作业方案。该施工方案可为类似装配式桥梁的施工提供经验与参考。

[参考文献]

- [1]杨杰, 周良.BIM 信息流传递与重构在结构正向设计中的应用[J].中国市政工程, 2019 (03): 24-27+133-134.
- [2]张涛.T 梁预制场建设及预制关键施工技术[J].交通世界, 2018 (36): 130-131.
- [3]许建军, 李志勇, 党维维.质量安全标准检查信息化在铁路建设中的应用[J].铁道勘察, 2020, 46 (02): 106-109.
- [4]栾紫明.全预制装配式连续梁桥一体化架设关键技术研究[J].科学技术创新, 2024 (02): 183-186.