

DOI: 10.7672/sgjs2025180062

节段预制连续刚构桥悬臂拼装施工优化技术*

罗圣明^{1,2}, 林思远³

(1. 瀚阳国际工程咨询有限公司, 广东 广州 510663; 2. 瀚阳国际院士工作站, 广东 广州 510663; 3. 中国路桥工程有限责任公司, 北京 100011)

[摘要] 澳门 C390B 轻轨石排湾线主体工程桥梁结构采用完整性结构设计方案, 墩梁固结连续刚构体系。针对城市道路空间狭小、道岔区渡线变化、两侧梁宽不同、桥梁曲线半径小、工期紧等施工难点, 结合悬臂拼装工作优选出最优施工方案, 研究了轻型异腿门式起重机及节段梁专用吊具改进技术, 优化设备支腿的结构形式和专用吊具吊杆装置, 充分发挥设备实用性和通用性, 能适应狭小空间施工条件, 且提高施工工效。针对墩顶块安装定位困难、工期紧难题, 采用“镂空式”预制方式及优化墩顶块施工工艺, 并利用临时张拉及时松钩。综合运用上述 4 项施工创新技术, 节段预制连续刚构桥悬臂拼装施工的高程偏差控制在 $\pm 15\text{mm}$, 轴线偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$, 满足设计要求, 并提前 2 个月完成全部节段架设工作。

[关键词] 桥梁; 连续刚构桥; 门式起重机; 吊具; 临时张拉; 优化

[中图分类号] U445.46 [文献标识码] A [文章编号] 2097-0897(2025)18-0062-07

Optimization of Cantilever Assembly Construction for Segmental Prefabricated Continuous Rigid Frame Bridges

LUO Shengming^{1,2}, LIN Siyuan³

(1. Sun Engineering Consultants International, Inc., Guangzhou, Guangdong 510663, China;
2. Sun International Academician Workstation, Guangzhou, Guangdong 510663, China;
3. China Road and Bridge Engineering Co., Ltd., Beijing 100011, China)

Abstract: The main construction project of Macao C390B Light Rail Shipai Bay Line adopts a complete structural design scheme for the bridge structure, with a pier-girder consolidation continuous rigid frame system. In response to the construction difficulties such as narrow urban road space, changes in crossing lines in turnout areas, different girder widths on both sides, small bridge curve radius, and tight construction periods, the optimal construction plan was selected based on cantilever assembly work. The improvement technology of lightweight cross legged gantry crane and specialized lifting equipment for segmental girders was studied, and the structural form of equipment support legs and specialized lifting equipment and rod devices were optimized. The practicality and universality of the equipment were fully utilized, which can be suitable for construction conditions in narrow spaces and improve construction efficiency. In response to the difficulties in installing and positioning the top block of the pier, as well as the tight schedule, a “hollow out” prefabrication method is adopted, and the construction process of the top block of the pier is optimized. Temporary tensioning is used to timely release the hook. By comprehensively applying the four innovative construction technologies mentioned above, the elevation deviation of the cantilever assembly construction of the prefabricated continuous rigid frame bridge segment is controlled within $\pm 15\text{mm}$, and the axis deviation is controlled within $\pm 10\text{mm}$, meeting the design requirements. All segment installation work was completed two months in advance.

Keywords: bridges; continuous rigid frame bridges; gantry cranes; lifting equipment; temporary tensioning; optimization

* 中国路桥工程有限责任公司 2022 年度重点科研课题(P2230455)
[作者简介] 罗圣明, 项目经理, 工程师, E-mail: 277457165@qq.com
[收稿日期] 2024-08-14

本文依托澳门 C390B 轻轨石排湾线主体工程桥梁,从悬臂拼装方案比选、门式起重设备 & 专用吊具改进技术、优化墩顶块钢筋布置和构造形式、临时张拉松钩研究等关键创新技术进行系统介绍,项目各环节紧密衔接配合,4d 安装 1 个悬臂 T 构,提前 2 个月完成全部节段架设工作。

1 工程概况

澳门 C390B 轻轨石排湾线主体工程位于繁华都市区内,包括 11 座桥梁,共计 46 跨,全桥长度 1 329.1m,预制梁节段共计 690 片。预制节段梁高 2.15m,节段长 2.4~2.6m。中墩和边墩的 0 号块采用预制和现浇 2 种做法,0 号块与 1 号块间也有设置和不设置湿接缝 2 种情况。标准节段间采用拼接胶黏结,跨中合龙段采取现浇施工。根据构造和架设施工需要,常规跨度 32m 的中跨划分 12 个预制节段,24m 跨径的边跨划分 8 个预制节段。典型桥梁节段划分如图 1 所示,标准横断面如图 2 所示。

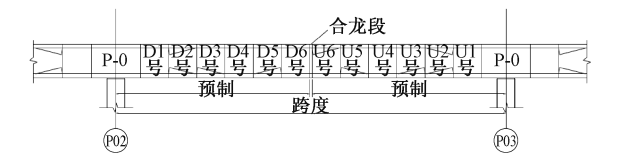


图 1 节段梁划分
Fig. 1 Segmental girder division

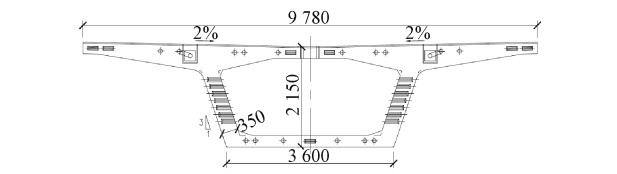


图 2 标准横断面
Fig. 2 Standard cross section

2 总体拼装实施方案分析

2.1 悬臂拼装方案

悬臂拼装工法配套的装备要求质量小、架设装备选择灵活,不受曲线半径大小制约,不受作业面是否连续制约,不受结构类型是否多样制约。行业内常用的架设设备主要有上行式架桥机、门式起重机、桥面吊机、支架+起重机、起重机。

1) 方案 1。整孔架桥机安装法。整孔架桥机特点为设备重且行走在桥面,潜在安全风险较其他装备略高;单台设备费用合理;对地面交通影响小、跨越施工障碍能力强,但下穿建(构)筑物能力较弱;体量大,不利于转场。其适用于跨越既有立交、既有河流或有条件连续架设情况,建议长度 $\geq 1.5\text{km}$ 。小曲线桥梁、零散分布的桥梁、大跨节点桥适用性

较差(见图 3)。

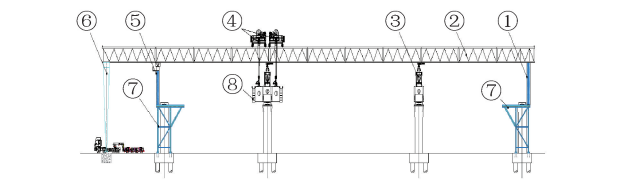


图 3 架桥机悬臂安装法
Fig. 3 Cantilever installation method for bridge-erection crane

2) 方案 2。门式起重机悬臂安装法。轨道式门式起重机特点为地面行走,安全;单台设备工作范围可负责约 3 跨,设备利用率高;单台设备费用偏高但在合理范围;喂梁方式灵活。其适用于主线标准段及单层立交匝道,对于宽幅桥面、门架墩多、桥梁较高的情况适用性较差(见图 4)。

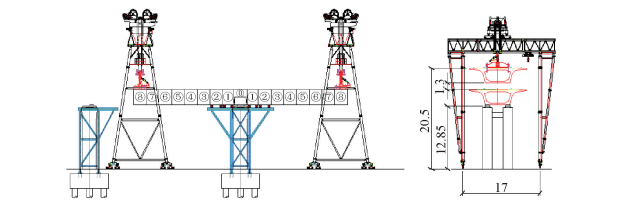


图 4 门式起重机悬臂安装法(单位:m)
Fig. 4 Cantilever installation method for gantry crane(unit:m)

3) 方案 3。桥面吊机悬臂安装法。桥面吊机特点为对地面交通影响小;体积小、自重小,易安拆;单台设备费用低;转场灵活;下穿建(构)筑物能力较架桥机强;根据需要可设计为固定点提梁、侧面提梁或正下方提梁。其适用于包括大跨预制节点桥在内的所有预制梁;但专用设备,功能单一,综合施工效率较低,对于多跨桥梁设备投入数量较大(见图 5)。

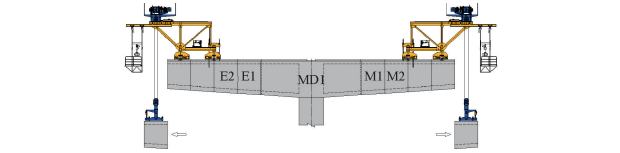


图 5 桥面吊机悬臂安装法
Fig. 5 Cantilever installation method for bridge deck erection crane

4) 方案 4。支架+起重机安装法。支架+汽车式起重机(或履带式起重机)设备自重小,墩高较矮时安全风险可控;支架体量大,转场效率相对较低,墩高较小、曲线半径较小时适用,建议作为辅助设备选用(见图 6)。

5) 方案 5。汽车式起重机(或履带式起重机)安装法。相对于支架+起重机方案,汽车式起重机(或

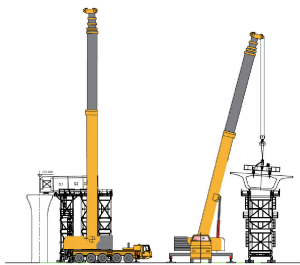


图 6 支架+起重机悬臂安装法

Fig. 6 Cantilever installation method for support + crane

履带式起重机)安装法减少了支架用量;单台设备费用低;转场灵活,效率较高;如桥梁结构抵抗不平衡能力允许,单台设备可完成桥墩两侧所有预制节段的悬臂安装。但拼装对位过程相对不易控制。

2.2 工程特点及拼装方案选择

2.2.1 工程特点

- 1)部分桥梁取消了墩顶预制 0 号块与 1 号块间湿接缝,提高了实施效率的同时,也增大了预制和安装线形控制难度。
- 2)采用多箱梁桥适应道岔区渡线变化,对安装工序、安装设备有严格要求。
- 3)与已建成运营轻轨横向拼宽,箱梁单侧翼缘渐变加宽,部分梁段梁宽存在由 5.86m 至 8.6m 的变化,节段梁重心持续变化,给施工吊装及线形控制增加难度。与既有运营轻轨距离较近,最近处仅为 0.6m,为保障施工安全与精度,需对施工工艺及设备要求进行调整。
- 4)曲线节段预制梁桥的节段预制及安装难度大。依托项目有 3 联曲线桥,曲率半径分别为 58,

75,95m,特别是 58m 半径的曲梁为国内外少见的超小曲率预制安装结构,施工难度大。

2.2.2 拼装方案选择

针对架设设备、桥址环境及结构体系特点,对以上 5 种施工方案进行对比,如表 1 所示。
根据项目总体施工计划和不同现场实际条件,因地制宜选出其中 4 种架设方案配套使用。

- 1)该项目直线段只有 630m,且有 3 座小曲线半径桥,此特点决定了该项目不适合架桥机架设方案。
- 2)三箱梁道岔区渡线两侧同步拼装,选择双钩门式起重机架设。设备可同时架设 2 条线,机动灵活,综合效率高,且门式起重机设计为双钩异腿门式起重机、上宽下窄的曲腿结构,不侵占两侧公共道路,不影响红线外道路交通。
- 3)项目其中一段左侧是繁忙道路,右侧紧挨既有运营轻轨线,只有桥面吊机具备安装条件。
- 4)边跨节段采用落地支架+汽车式起重机架设方案。
- 5)直线段单箱梁悬臂拼装采用汽车式起重机方案机动灵活、效率高。

综上所述,澳门 C390B 轻轨石排湾线主体工程桥梁选择门式起重机架设法、桥面吊机架设法、支架+汽车式起重机架设法、汽车式起重机架设法配套使用是适应项目特点的合理选择。

3 施工关键创新技术

3.1 轻型异腿门式起重机设备改进技术

根据设备特点与实施环境,将门式起重机设计为轻型双钩异腿门式起重机、上宽下窄的曲腿结

表 1 总体施工方案对比
Table 1 Comparison of overall construction schemes

项目	施工方法				
	整孔架桥机 安装法	门式起重机 悬臂安装法	桥面吊机悬 臂安装法	支架+起重 机安装法	起重机安装法
优点	1)吊梁施工无须另外增设其他支架及吊装设备; 2)对地面交通影响小; 3)跨越施工障碍能力强	1)机动灵活,可多个桥墩同时施工,综合施工效率高,工期短; 2)功能性强,可兼顾施工过程中其他运输作业; 3)设备通用性强,后续改造空间大,可仅在桥梁红线范围内允许,不侵占公共路权	1)对地面交通影响小; 2)整机造价较低; 3)下穿建(构)筑物能力较强; 4)设备转场容易,安拆方法相对简单	1)工艺成熟,操作简单,工序、质量安全管控简单,工期可控; 2)桥面无其他荷载,有利于桥梁线形控制	1)单台设备费用低; 2)转场灵活,效率高; 3)减少支架费用
缺点	1)整机造价高; 2)顺序作业,施工作业面较单一; 3)综合施工效率低; 4)专用设备,功能单一; 5)设备安拆工作量大,转场困难; 6)架桥机拼装吊重大,风险高	1)整机造价较高; 2)下穿既有建(构)筑物能力较差; 3)跨越河流、立交等能力差; 4)门式起重机周转需安拆多次,增加安全风险	1)悬臂施工前端有集中荷载,施工线形控制难度大; 2)工作面较多,需桥面吊机数量、投入作业人员多,风险点多,安全风险大、管控要求高	1)桥下施工空间受限,起重机摆放位置受限; 2)支架投入量大,安拆时间长,支架及设备租用费用高	1)桥下施工空间受限,起重机摆放位置受限; 2)预制梁拼装对位过程相对不易控制



图 12 改进后专用吊具

Fig. 12 Improved special lifting equipment

于吊具顶部中心在横向和纵向不断发生变化。

为了适应节段梁重心变化,在吊具上增加横坡和纵坡调整油缸,并根据所有预制梁结构特性进行计算、模拟确定油缸行程及吊具旋转角度。在使用油缸调整坡度过程中,预制梁与吊具会向油缸作用的相反方向整体往回旋转,直至节段重心与吊具顶部中心处于同一铅垂线时方能稳定。

为了减小预制梁与吊杆接触面不平及吊杆倾斜受力等因素产生的弯矩,在吊杆上、下螺母与垫板间设置球面接触结构,保证吊杆受力状态良好。另外,吊杆长度设计需考虑桥面临时预应力张拉台座在空间尺寸上影响(见图 13)。

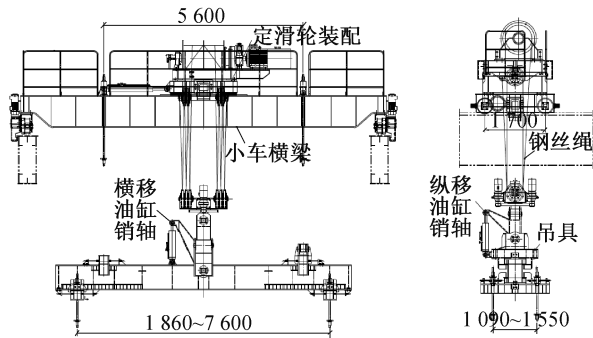


图 13 改进后吊具设计

Fig. 13 Design of improved lifting equipment

3.3 优化墩顶块构造技术

3.3.1 优化前墩顶块工艺分析

3.3.1.1 结构适应性设计方案

参考黄茅海跨海通道桥梁墩顶块设计经验,初步概念设计为:挖空墩顶箱梁顶板,预留后浇槽口等纵向预应力张拉结束后封锚;墩顶块的横隔墙在第 1 次预制时全部挖空,吊装至墩顶安装后关模现浇。

3.3.1.2 施工步骤。

1) 预制阶段。在钢筋胎架上将墩顶块钢筋笼整体绑扎成型,预埋二次浇筑预留钢筋,整体吊装钢筋笼入模,安装模板,浇筑墩顶块混凝土。待混凝土强度达到设计要求后,利用墩顶块作为匹配梁双线匹配其两侧的 1 号块。

2) 架设阶段。在中墩墩顶安装托架,在托架上放置液压三向千斤顶和砂箱钢支撑,利用架梁天车将墩顶块吊装至墩顶正上方,使墩顶预埋钢筋插入墩顶块箱梁钢筋内,先通过目视箱梁纵横轴线标记与墩顶安装控制线对齐,再利用三向千斤顶对墩顶块的空间姿态进行精确调整。定位后绑扎横隔板和底板钢筋,安装墩梁调节层外模,浇筑墩梁调节层混凝土;继续绑扎剩余横隔墙钢筋,安装横隔墙外模、内模,浇筑横隔墙混凝土。

3.3.1.3 应用分析

存在的问题及困难:①墩顶块及横隔墙钢筋排布密集,与墩顶预埋钢筋穿插困难;②墩顶预埋钢筋与墩顶块预应力管道冲突严重被挤压损坏;③墩顶块底板钢筋排布较密,墩顶块落位后调整转向受限,调位困难;④墩顶块顶、底板及隔板被挖空,整体刚度较小,吊装点位置受限,吊装过程中易发生变形;⑤墩梁固结及横隔墙二次浇筑,需 2 次钢筋绑扎、2 次安拆模板、2 次浇筑混凝土、4 次验收,耗时长、工效低,混凝土体外观质量差,高空作业安全风险大。

3.3.2 优化后墩顶块方案

3.3.2.1 适应性调整

针对以上应用分析,通过改进墩顶块预制结构优化钢筋布置,实现优化墩顶块梁段预制与拼装工艺的目的。新型预制墩顶块结构要素为:①将横隔墙底板钢筋改成预留螺纹套筒形式,在墩顶块安装调位后再安装,采用快易收口网模;②在制作钢筋笼时,使用钢管临时代替现场墩顶预埋钢筋位置,减少施工误差导致的钢筋冲突;③在墩顶块两侧腹板处增加临时工字钢加劲肋,增加墩顶块横向刚度(见图 14);④在两侧腹板预留开口,采用“镂空式”预制方式,在墩顶块调位固结后再与横隔墙共同二次浇筑(见图 15)。



图 14 墩顶块加装临时工字钢加劲肋

Fig. 14 Installing temporary I-beam stiffeners on the top block of the pier

3.3.2.2 优化方案应用分析

优化后的墩顶块方案在澳门 C390B 轻轨石排



图 15 墩顶块安装
Fig. 15 Installation of pier top block

湾线主体工程中进行成果应用,其工艺优势主要体现在:①使用直螺纹接头强度高、施工方便、效率高,综合效益好;②采用“镂空式”预制方式,有效减少墩顶块钢筋与墩顶预埋钢筋冲突,给墩顶块预制施工和墩顶块安装调位带来很多便利;③通过优化钢筋布置,采取收口网模、工字钢加劲肋等措施,使得墩顶块安装定位及二次浇筑的总时间从 17d 缩短至 10d。

3.4 临时张拉松钩技术

常规节段梁悬臂拼装施工,张拉永久预应力后松开吊具的吊钩,以防止临时预应力拉力不足影响已拼装节段稳定性,但这样会一直占用现场吊装设备,影响设备周转效率。如吊装设备能在节段拼装后不张拉永久预应力,该节段吊具脱钩也能进行另一节段安装,这将使吊装设备得到更充分利用,大大提高施工效率。

3.4.1 临时预应力设置

为了使接缝两侧梁段拼接良好,需在节段梁拼接面涂胶后施加一定压力,施加在匹配面的混凝土压应力 $\geq 0.3\text{MPa}$ 。临时预应力张拉设置一般有 2 种,即移动式可拆装多次倒用钢台座、永久式混凝土台座(见图 16)。

以澳门轻轨项目典型断面预制梁为例,截面高度为 2.15m,节段长度为 2.5m,计算出截面面积 S 为 6.05m^2 ,截面惯性矩 I 为 2.2186m^4 ,形心距上缘 0.623m,在顶板设置 3 个混凝土台座,在内腔底板设置 1 个钢台座,预应力合力点距形心 0.252m,预应力筋选用 $\phi 32$ 精轧螺纹钢,抗拉强度为 930MPa,顶板张拉力为 500kN,底板张拉力为 600kN。经过验算,在自重及施工荷载作用下上缘应力为 0.32MPa,下缘应力为 0.41MPa,均大于 0.3MPa,满足规范要求。

3.4.2 接缝作用力验算

为了验证在临时预应力作用下,节段梁间贴合面产生压力(摩擦力)能有效克服节段梁自重,可从

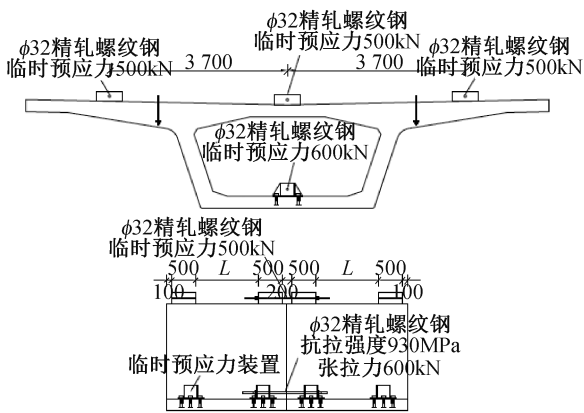


图 16 临时预应力装置
Fig. 16 Temporary prestressing device

以下 2 个方面进行验证。

1) 对于采用干接缝结构,接缝处抗剪承载力验算

根据美国国家高速公路和交通运输协会 AASHTO 发布的《Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges 1999》(《节段预制混凝土桥梁设计与施工指导规范 1999》)中第 12.2.21 条,对于采用干接缝结构,接缝处额定容量应按下述公式计算:

$$V_{uj} = \Phi_j V_{nj} \tag{1}$$

$$V_{nj} = A_k \sqrt{f'_c} (12 + 0.017f_{pc}) + 0.6A_{sm}f_{pc} \tag{2}$$

式中: V_{uj} 为接缝处抗剪承载力; V_{nj} 为考虑安全系数下的极限抗剪承载力; A_k 为破坏面所有剪力键面积; f'_c 为混凝土抗压强度; f_{pc} 为所有预应力损失至允许值后混凝土压缩应力,由横截面中心确定; A_{sm} 为破坏面上光滑表面间接触面积; Φ_j 为安全系数。

根据 TB 10092—2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》,对于采用干接缝结构,其截面抗剪承载力计算应符合下列规定:

$$F = 2bh \cdot \frac{A_{ln}}{A_1} \cdot \tau_c = 853\text{kN} \tag{3}$$

式中: F 为混凝土截面抗剪承载力; b 为截面腹板厚度; h 为截面高度; A_{ln} 为截面腹板剪力键面积; A_1 为截面腹板面积; τ_c 为素混凝土纯剪应力,当混凝土强度等级为 C50 时取 1.55MPa。

已知预制节段梁最大质量为 40t,因此,抗剪承载力 $F = 853\text{kN} \geq 400\text{kN}$,满足规范要求。

2) 对于采用环氧树脂胶接缝结构,接缝面的摩擦力验算

根据 JTG 3362—2018《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》,T 形截面的受弯构件截面抗剪承载力计算应符合下列规定:

$$F = \nu N = \nu A \sigma = 1\,080\text{kN} \tag{4}$$

式中： ν 为截面摩擦系数； A 为截面面积； σ 为截面压应力。

同理,抗剪承载力 $F = 1\,080\text{kN} \geq 400\text{kN}$,满足规范要求。

综上所述,对临时预应力张拉松钩研究,得出以下结论:①在节段梁顶板设置 3 根临时预应力筋并分别施加 500kN 有效张拉力,底板设置 1 根临时预应力筋并施加 600kN 有效张拉力,可满足环氧树脂胶所需压应力要求;②精轧螺纹钢临时锚固张拉过程中,只需考虑节段自重作用下顶、底板接缝处应力变化情况,当张拉完成后可实现松钩,有利于底板挤胶贴合,防止下缘出现拉应力;③通过干接缝和胶接缝两方面进行接缝处的抗剪承载力验算,结果均满足节段梁自重作用下抗剪承载力要求;④通过验证,在保障结构、施工安全前提下,张拉临时预应力后松钩,减少架设机械占用时间,提高施工效率。

4 结语

澳门 C390B 轻轨石排湾线主体工程桥梁结构采用完整性结构设计,即墩梁均固结的连续刚构体系,采用体内+体外索混合预应力布置方式,具有曲线半径小、场地狭小、结构新、工期紧、难度大等特点。主梁安装施工中,结合场地及结构特点,采用轻型异腿门式起重机改进技术、专用吊具改进技术、优化墩顶块构造技术、临时张拉松钩研究技术,通过设备结构及优化施工工艺等技术创新,快速、安全完成了主梁架设,确保项目如期完工,而且施工质量得到保障。

参考文献:

[1] John J · Sun, Gernot Komar. 长大桥梁工程的先进节段预制技术及其应用[J]. 公路,2009,54(5):73-80.
SUN J J, KOMAR G. Advanced segmental prefabrication technology and its application in long and large bridge engineering [J]. Highway,2009,54(5):73-80.
[2] 祁向宇. 澳门轻轨高架连续刚构桥节段预制拼装施工及控制[J]. 中国港湾建设,2016,36(10):69-72.
QI X Y. Construction and control of segmental precast assembly for continuous rigid frame viaduct in Macao LRT [J]. China harbour engineering,2016,36(10):69-72.
[3] 杨昌维,陈若强. 混凝土连续箱梁节段短线匹配法预制及架桥机悬拼施工技术[J]. 水运工程,2008(12):156-163.
YANG C W, CHEN R Q. Prefabrication and suspended splicing of continuous concrete box girders by segment short-line matching method[J]. Port & waterway engineering,2008(12):156-163.
[4] 何永平,陈清华. 郑州四环节段预制主体桥梁架设工艺及架

设装备选择[J]. 四川水泥,2019(6):29,31.
HE Y P, CHEN Q H. Erection technology and equipment selection of precast main bridge in Zhengzhou four-link section [J]. Sichuan cement,2019(6):29,31.
[5] 耿庆祥. 桥梁节段拼装设备与架设方案的比选研究[J]. 科技视界,2021(21):7-10.
GENG Q X. Study on comparison and selection of bridge segment assembly equipment and erection scheme [J]. Science & technology vision,2021(21):7-10.
[6] 黄跃,王敏,刘景红,等. 跨海桥梁超高渐变段预制和安装控制技术[J]. 中国港湾建设,2013,33(1):69-72.
HUANG Y, WANG M, LIU J H, et al. Control technology of precasting and erection of high gradient section for a cross-sea bridge[J]. China harbour engineering,2013,33(1):69-72.
[7] 孙九春,薛武强,曹虹. 大跨连续梁桥单 T 构悬臂拼装施工力学状态控制技术[J]. 桥梁建设,2022,52(4):125-132.
SUN J C, XUE W Q, CAO H. Techniques to control load bearing behavior of T-frame of long-span continuous girder bridge during asymmetrical cantilever assembly[J]. Bridge construction,2022,52(4):125-132.
[8] 杨晖. 短线匹配法预制拼装连续刚构桥墩梁固结施工技术[J]. 公路,2015,60(5):98-105.
YANG H. Consolidation construction technology of pier and beam of prefabricated continuous rigid frame bridge by short-line matching method[J]. Highway,2015,60(5):98-105.
[9] 王东志,李宁,陈少林,等. 混凝土刚构桥短线匹配法墩顶块设计及施工技术[J]. 施工技术,2020,49(S1):1211-1214.
WANG D Z, LI N, CHEN S L, et al. Design and construction technology of pier top block for short-line matching method of concrete rigid frame bridge [J]. Construction technology,2020,49(S1):1211-1214.
[10] 王丽锋. 接缝胶在节段梁拼装施工中的应用研究[J]. 施工技术,2020,49(11):68-70,100.
WANG L F. Study on the application of joint glue in the assembling construction of segmental beams [J]. Construction technology,2020,49(11):68-70,100.
[11] 王敏,袁超,肖浩,等. 全预制装配式刚构桥一体化架设关键技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(18):1-5.
WANG M, YUAN C, XIAO H, et al. Key technology of integrated construction of fully prefabricated rigid frame bridge [J]. Construction technology,2022,51(18):1-5.
[12] 张定马,王新保,余果. 预应力混凝土桥梁节段预制干接缝抗剪性能分析[J]. 公路,2021,66(12):181-186.
ZHANG D M, WANG X B, YU G. Shear performance analysis of precast dry joints of prestressed concrete bridge segments [J]. Highway,2021,66(12):181-186.
[13] 耿树成. 铁路高架桥箱梁节段预制胶拼施工关键技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(6):41-45.
GENG S C. Key construction technology of box girder segments pre-casting and splicing for railway viaducts [J]. Construction technology,2022,51(6):41-45.