

DOI: 10.7672/sgjs2026080100

双层曲线桥钢箱梁制造及安装技术*

马小云^{1,2}, 孙博文¹, 黄红^{1,2}, 黄超¹

(1. 中交特种工程有限公司, 湖北 武汉 430071; 2. 中交基础设施养护集团有限公司, 北京 100010)

[摘要] 知音桥采用双层桥面布置, 上部结构均为曲线钢箱梁, 梁体线形变化幅度大、精度要求高。针对现有钢箱梁加工技术存在的零件加工精度低、预拼装占用场地大、现场安装难等问题, 提出基于 BIM 技术的双层曲线桥钢箱梁制造及安装技术。选择合适的 BIM 建模软件, 利用 BIM 软件完成桥梁建模及模拟施工, 从 BIM 模型中导出零件信息进行排版下料, 并在加工场内采用“N+1”方式进行预拼装, 最后进行现场安装。工程实践表明, 本技术有效解决了大跨度曲线桥钢箱梁曲面零件加工精度差、预拼装场地占地面积大、安装难的问题, 具有质量可控性强、简单高效的优点。

[关键词] 桥梁; 曲线桥; 钢箱梁; 建筑信息模型; 制造; 安装; 施工技术

[中图分类号] U448.23; U445.4

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)08-0100-05

Manufacture and Erection Technology for Steel Box Girder of Double-curved Bridge

MA Xiaoyun^{1,2}, SUN Bowen¹, HUANG Hong^{1,2}, HUANG Chao¹

(1. CCCC Special Engineering Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430071, China;

2. CCCC Infrastructure Maintenance Group Co., Ltd., Beijing 100010, China)

Abstract: Zhiyin Bridge adopts a double-deck layout, the superstructure of the bridge is composed entirely of curved steel box girders, which have large variations in beam alignment and require high precision. In response to the issues present in existing steel box girder fabrication techniques, such as poor machining accuracy of parts, large space requirements for pre-assembly, and difficulties in onsite installation, a manufacturing and installation technology for steel box girders of double-curved bridge based on BIM technology has been proposed. The process begins with selecting suitable BIM software, followed by BIM software to complete bridge modeling and simulate construction. Then, part information is exported from the BIM model for layout and cutting. Pre-assembly is conducted in the factory using an “N+1” method, and finally, onsite installation is performed. Practice has proven that this technology effectively solves the problems associated with poor machining accuracy of curved surface parts of steel box girders of long-span curved bridge, large space occupation during pre-assembly, and difficult installation. It offers the advantages of strong quality controllability, simplicity and efficiency.

Keywords: bridges; curve bridges; steel box girders; building information modeling (BIM); manufacturing; installation; construction

0 引言

双层曲线桥钢箱梁结构因其独特的空间形态和力学性能优势, 常被用于复杂交通枢纽等建设项目, 其制造与安装过程面临诸多挑战, 传统技术在

应对复杂的几何形状、高精度的装配要求以及施工协调等方面存在一定局限性^[1-4]。

建筑信息模型 (building information modeling, BIM) 技术的出现为双层曲线桥钢箱梁制造和安装带来革新。BIM 技术以其三维可视化、信息集成化、协同作业化等特点, 能有效解决传统方法在双层曲线桥钢箱梁项目中遇到的问题^[5-8], 可在设计阶段精确模拟钢箱梁的复杂曲线形状, 为制造提供准确

* 中交基础设施养护集团重点科技研究开发项目 (RP2022012964)

[作者简介] 马小云, 高级工程师, E-mail: 569677440@qq.com

[通信作者] 孙博文, 高级工程师, E-mail: sunbowenok@qq.com

[收稿日期] 2025-08-22

的模型数据;在制造过程中,便于各环节精准把控和协调^[9-11];在安装阶段,通过虚拟施工等功能,提前规划合理的安装顺序和方案,避免现场施工的冲突和误差。因此,研究基于 BIM 技术的双层曲线桥钢箱梁制造及安装技术对提升此类桥梁的建设质量和效率具有重要意义。鉴于此,本文依托海南省陵水县知音桥双层曲线梁安装工程,进行基于 BIM 技术的双层曲线桥钢箱梁制造及安装技术研究与工程探索,以解决大跨度曲线桥钢箱梁曲面零件加工精度低、预拼装场地占地面积大、安装难的问题。

1 工程概况

知音桥位于海南省陵水县椰林镇环岛高速公路与椰林大桥之间,桥梁采用双层桥面布置,分为主桥、辅桥、连接桥、支桥。主桥及辅桥间通过支桥及连接桥连接。辅桥为人行桥,全长 466.5m,标准桥宽 3.5m,辅桥(上层桥)跨径布置为 16.54m 钢筋混凝土现浇板+(74.46+78.95)m V 形刚构钢梁+28.10m 排架刚构钢梁+(78.95+78)m V 形刚构钢梁+30m 简支钢箱梁+5×16m 钢筋混凝土现浇板;主桥兼顾人行、非机动车通行及无障碍通行,全长 444.5m,标准桥宽 6.5m,主桥跨径布置为(2×16+16.44)m 钢筋混凝土现浇板+(77.56+71.525)m V 形

刚构钢梁+2×23.975m 预应力混凝土箱梁+(71.525+76.06)m V 形刚构钢梁+(16.44+2×16)m 钢筋混凝土现浇板;支桥为 57.65m 钢箱梁,一端固结在辅桥,另一端简支固定于主桥;连接桥跨径布置为(20.5+21.01)m 连续钢梁。知音桥总体布置如图 1 所示。

全桥钢梁钢材型号均为 Q345C,采用单箱单室钢箱梁、斜腹板,钢箱梁内净高 2.5m,主桥标准段顶、底板宽度分别为 6.5,3.5m,辅桥及连接桥标准段顶、底板宽度分别为 3.5,1.8m,支桥标准段顶、底板宽度分别为 2.8,1.2m,钢箱梁顶板、底板、腹板厚度均为 16mm,底板在 V 形桥墩附近区段范围内厚 20mm,腹板在梁端、V 形桥墩区段厚 20mm。纵向加劲肋均采用 140mm×12mm 板肋。横隔板分为单板式和加劲肋式,厚 12mm,支点区段采用单板式横隔板,厚 20mm。标准段每隔 2m 设置 1 道横隔板,支点区段根据情况加密,钢箱梁横断面如图 2 所示。

2 钢箱梁施工难点及解决对策

2.1 施工难点

1) 知音桥为了在造型上表现出“水流之韵”“山形之意”“古琴之雅”,桥梁整体外形在空间上呈现出大幅度的曲线交互缠绕、直曲结合的形态,而复杂的空间及线形变化对深化设计和零件的加工、制

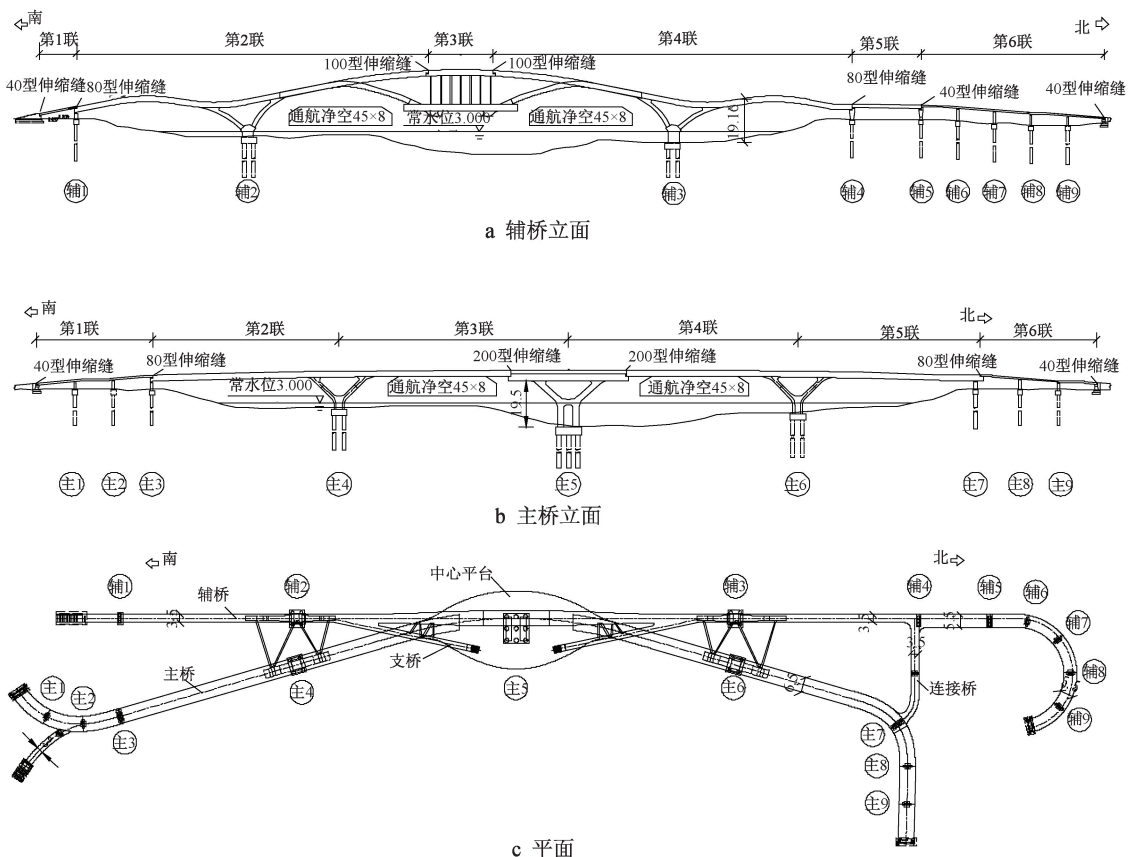


图 1 知音桥总体布置(单位:m)

Fig. 1 General layout of Zhiyin Bridge (unit: m)

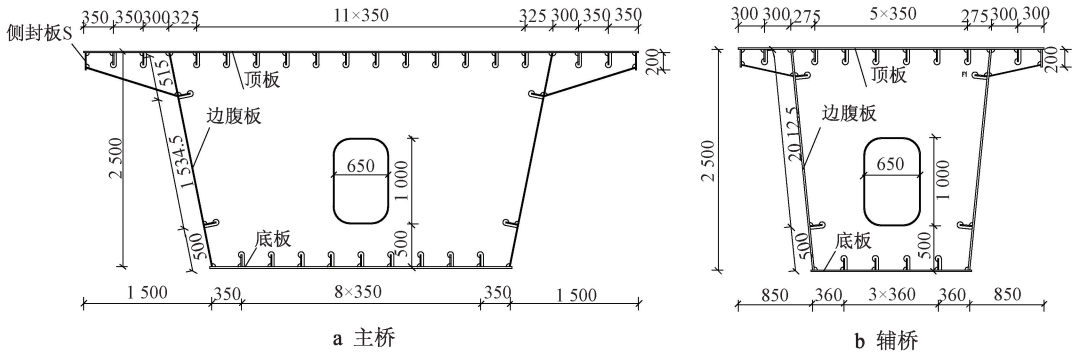


图 2 知音桥横断面

Fig. 2 Cross section of Zhiyin Bridge

造、组拼提出更高要求。

2) 陵水河目前不具备通航条件, 只能通过搭设钢栈桥方式进行施工。钢箱梁在钢栈桥上利用履带式起重机起吊拼装, 由于桥梁为双层桥, 如何高效利用钢栈桥、降低工程造价成为钢箱梁施工的难点。

2.2 现有技术的限制

1) 零件加工精度低, 质量控制难度大。钢箱梁立面和平面同时呈不规则曲线变化, 现有的二维放样下料技术是从平面、立面两个维度分别对梁体进行放样后绘制零件图, 再根据图纸输入切割参数, 控制切割设备切割钢材生成零件。由于此方法的二维放样到切割都是人为拟合参数, 对于不规则曲线变化的梁段, 生产的零件难免存在加工误差。

2) 预拼装占用场地面积大。为了验证曲线梁段的空间位置, 确保消除累积误差, 必须将整段梁同时预拼装。而知音桥曲线长度约 350m, 若采用此方法, 需在钢结构加工厂内占用很大场地, 消耗资源多。

3) 现场安装难。知音桥立体性强, 线形抽象, 每节段梁的质量不一, 钢结构上下、左右及前后拼装的顺序与节段分段长度极为重要, 易出现由于梁体节段划分不到位或安装顺序不合理导致无法安装的问题^[12-15]。

2.3 解决对策

目前 BIM 技术在工程领域应用较广泛, 可通过 BIM 技术, 在加工制造阶段通过精准建模提高下料精准度, 在安装前通过 BIM 技术进行方案模拟, 模拟施工, 论证优化安装方案, 降低工程成本。

3 关键技术

3.1 BIM 软件选择

目前国内市场上 BIM 软件多, 各类 BIM 软件的功能侧重点有所不同, 如 Tekla 为专业的钢结构零构件深化设计软件, 其可通过先创建三维模型后自动生成钢结构详图和各种报表, 同时能导出零件加工清单。Revit 为专业的建筑 BIM 软件, 三维绘图效

率高, 支持导入、导出和链接多种 BIM, CAD 文件格式, 数据交换和协作能力强, 但钢深化设计能力弱。Navisworks 施工模拟性强, 但对于复杂的钢箱梁建模能力弱。根据知音桥曲线钢箱梁的复杂程度, 综合对比, 选择多种软件协作完成知音桥的 BIM 建模, 其中桥梁 BIM 模型中结构信息、零构件信息通过专业深化软件建模进行深化设计, 仿真施工则通过 Navisworks 模拟施工进度, 而其他信息则统一在 Revit 中维护。

3.2 全桥模型建立及深化

利用软件建立全桥 BIM 模型, 如图 3 所示, 首先将 Revit 软件作为建模工具, 规划并建立全桥的坐标、线形等外观信息, 并将模型进行数据共享, 再采用钢结构专业设计软件对模型数据进行深化设计、完善零件信息, 最后将完善的模型数据导入 Revit 进行模型迭代。采用钢结构专业设计软件深化设计阶段, 对全桥钢结构构件、连接节点、节点板、预埋件、螺栓、焊接衬条等以实际型号、尺寸和空间定位进行深化建模, 并形成“整体-零件”的模型, 建立的全桥 BIM 模型精度达 LOD400。



图 3 BIM 模型

Fig. 3 BIM model

3.3 施工工艺模拟

首先将经过深化的全桥 BIM 三维模型导入 Navisworks, 并根据设备起重能力等施工制约性条件对钢箱梁进行初步分段, 随后根据初步分段的结果

计算出梁体质量等关键施工信息,再利用施工仿真软件的可视化模拟和碰撞检查功能,对每个施工工况进行检查,最后根据检查结果优化梁体分段信息,完成钢箱梁分节段划分。

在利用 Navisworks 进行碰撞检查时,采用单因素分析法。先根据梁体质量确定最远吊距,再控制履带式起重机的回旋半径为不变量,随后在模拟过程中根据履带式起重机的回旋半径不断改变履带式起重机站位,检查栈桥平面是否满足履带式起重机作业要求,确定最佳站位,再控制履带式起重机的站位为不变量,不断改变履带式起重机吊臂的空间位置,检查起吊工况是否与既有结构物碰撞。若 2 项检查有 1 项不满足,则需改变梁体分段信息后重新检查,如此反复进行碰撞检查,直至检查通过。安装模拟过程如图 4 所示。



图 4 安装模拟

Fig. 4 Installation simulation

3.4 钢结构零件自动排版

将经过 Navisworks 碰撞检查后的梁体分段模型重新导入专业的钢结构设计软件,再从钢结构设计软件中导出全桥的零件信息,对钢箱梁零构件进行编号,形成零件清单,全桥共导出 17 860 个零件文件,利用智能化自动排版技术对全桥零件进行排版,检查并调整优化后得到零件下料图,并将下料图自动转换成 NC 格式的数控代码。

3.5 零件切割及加工

将数控代码编入数控切割机,切割钢板,并将切割所得的零件按 BIM 模型的顺序分类放置。在切割钢板前,视板厚、钢材型号等实际情况,选择激光数控切割,切割完成后,对零件长度、宽度、对角线差进行检查,确保切割后的零件和 BIM 模型参数一致,若出现偏差,则需校正,直至检查通过。为了确保梁体精度,在下料时,合龙段梁体两端各增加 2cm 长度,方便后续配切。

3.6 厂内预拼装

钢结构预拼装的主要目的是在钢结构加工厂内验证线形,消除累积误差。但知音桥最大曲线钢箱梁全长约 350m,无法在钢结构加工厂内整体预拼

装。因此,工程采用“N+1”的形式进行分段预拼装。

首先利用 Revit 模型导出相对三维坐标并搭设拼装胎架,按钢结构加工场地大小将全桥钢箱梁分为 15 轮进行拼装焊接,每轮的拼装长度控制在 30~55m,每轮拼装含有 4~6 节段钢箱梁,两段梁间的纵缝不焊接。每轮拼装完成后检查梁体线形并留交接的一节段钢箱梁作为校核梁段供下一轮拼装时检查梁体线形使用,钢箱梁分段预拼装如图 5 所示。需要注意的是,钢主梁在自重下会下挠,大跨度箱梁厂内预拼胎架需考虑预拱度,现场安装阶段按增加预拱度的线形进行安装。

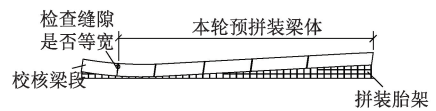


图 5 钢箱梁分段预拼装

Fig. 5 Segmental pre-assembly of steel box girders

利用 BIM 模型导出相对三维坐标并搭设拼装胎架时,首先按曲线变化的幅度大小从 BIM 模型中纵向每隔数米导出 1 个横断面,每个横断面导出梁段中心线和腹板处坐标;然后将每轮拼装的梁体最低点设置为零点后导出相对坐标;接着在拼装场地上叠加预拱度进行放样;最后调节胎架高度并固定,钢箱梁预拼装胎架横断面如图 6 所示。

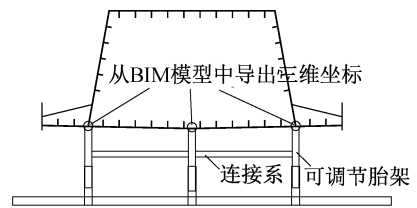


图 6 钢箱梁预拼装胎架横断面

Fig. 6 Cross section of steel box girder pre-assembly jig

检查梁体线形时,首先在每轮拼装时,在端部多搭设一节段钢箱梁长度的拼装胎架;然后将上一轮拼装中预留的校核梁段放置在本轮拼装胎架上;接着检查本轮拼装的每节段钢箱梁与胎架顶部是否存在缝隙,若无缝隙则线形检查通过,若存在缝隙但可修正,则修正后继续检测,若不可修正,则更换该节段零件;最后检查校核梁段与相邻梁段的缝隙是否等宽,若宽度一致则检查通过,若宽度不一致,则需根据梁长重新加工两节段梁的切口。

梁体采用倒装法焊接,先焊接顶板和肋板,再焊接腹板,最后焊接底板(底板、肋板提前焊接到位),为控制顶、底板单元件在焊接过程中的横向收缩变形和保证肋板对焊接位置的要求,通过试验设计焊接反变

形胎架,然后根据单元件变形趋势,总结变形规律,确定反变形量,使板单元在预拱状态下焊接,减小波浪变形。支座附近焊接部件多,为减少变形,采用线能量较小的药芯焊丝气体保护焊焊接,从中间向两边焊接,焊接完成后,采用控制火焰温度和密集形梅花点进行火焰调直,保证单元件平面度。

3.7 现场安装

采用运输设备将加工完成的每段钢箱梁运输至桥位附近,根据预设的梁体分段位置在现场搭设钢支撑,利用 135t 履带式起重机按预设方案顺序进行现场安装。现场安装时,通过 Revit 模型导出的绝对坐标进行现场放样,调整到位后临时固定梁段,固定后再用徕卡 TS16 测量机器人测 2 个端部及 1/2 断面,确认无误后焊接梁段,重复以上步骤,完成钢箱梁安装。现场在合龙前,在每天早晨气温较低时,测量合龙段的实际长度,将合龙段梁体在厂内配切后运至现场,选择一天气温较低时安装。成桥后效果如图 7 所示。

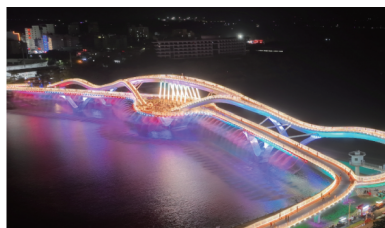


图 7 成桥后效果

Fig. 7 Effect after the completion of the bridge

4 结语

针对现有钢箱梁加工技术存在的零件加工精度低、预拼装占用场地面积大、现场安装难等问题,提出了基于 BIM 技术的双层曲线桥钢箱梁制造及安装技术。选择合适的 BIM 建模软件,利用 BIM 软件完成桥梁建模及模拟施工,从 BIM 模型中导出零件信息进行排版下料,在加工厂内采用“N+1”方式预拼装,最后进行现场安装。经过现场线形校核,全桥共测 180 个断面,水平位置无误差,高程误差均 $<5\text{mm}$ 。实践证明,本技术有效解决了大跨度曲线桥钢箱梁曲面零件加工精度低、预拼装场地占地面积大、安装难的问题,具有质量可控性强、简单高效的优点。

参考文献:

[1] 田雨金,周胜国,李亮. 上坝夹江大桥钢箱梁施工方案比选及关键技术[J]. 公路交通科技,2022,39(12):115-124.
TIAN Y J, ZHOU S G, LI L. Construction scheme selection and key technology for steel box girder of shangba Jiajiang bridge[J]. Journal of highway and transportation research and development, 2022,39(12):115-124.

[2] 孙博文,朱世峰. 混凝土跨线桥快速安装技术[J]. 桥梁建设, 2024,54(2):145-151.
SUN B W, ZHU S F. Accelerated construction techniques of concrete overpass [J]. Bridge construction, 2024, 54 (2) : 145-151.

[3] 罗博仁,刘德强,吴游宇,等. 基于激光扫描的公路钢梁桥模拟预拼装方法[J]. 施工技术(中英文),2023,52(18):104-108.
LUO B R, LIU D Q, WU Y Y, et al. Simulation pre-assembling method of steel girder bridge based on laser scanning [J]. Construction technology, 2023,52(18):104-108.

[4] 孙博文,周顺万,柴世宗. 大型双层异形景观桥施工关键技术[J]. 世界桥梁,2025,53(1):42-48.
SUN B W, ZHOU S W, CHAI S Z. Key construction techniques of a large-scale irregular landscape bridge accommodating two levels of decks[J]. World bridges, 2025, 53(1):42-48.

[5] 王锐,王杰,彭鹏. 基于 BIM 碰撞分析的空间扭转钢塔方案比选研究[J]. 施工技术(中英文),2025,54(5):29-33,50.
WANG R, WANG J, PENG P. Selection research of spatial twisted steel tower schemes based on BIM collision analysis[J]. Construction technology, 2025,54(5):29-33,50.

[6] 祁琪,李博迪,袁潇,等. 基于 BIM+技术的顶模高空安装技术应用研究[J]. 施工技术(中英文),2025,54(2):113-117.
QI Q, LI B D, YUAN X, et al. Application research of top formwork high-altitude installation technology based on BIM + technology[J]. Construction technology, 2025, 54(2):113-117.

[7] 冯东明,葛健,吴刚,等. 基于无人机点云与 BIM 模型的桥梁施工进度识别方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2024,43(6):1-7.
FENG D M, GE J, WU G, et al. Bridge construction progress identification method based on UAV point cloud and BIM model[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (natural sciences), 2024,43(6):1-7.

[8] 荆梦瑶,李阳,吴廷尧. 基于 BIM 技术的悬索桥钢桁梁吊装施工[J]. 施工技术(中英文),2024,53(18):76-82.
JING M Y, LI Y, WU T Y. Hoisting construction of steel truss girder of suspension bridge based on BIM technology [J]. Construction technology, 2024,53(18):76-82.

[9] 张子恒,刘健,鲁胜虎,等. 钢箱梁曲线多跨人行桥的振动舒适度分析[J]. 公路工程,2024,49(4):15-21.
ZHANG Z H, LIU J, LU S H, et al. Vibration comfort analysis of curved steel box girder pedestrian bridges[J]. Highway engineering, 2024,49(4):15-21.

[10] 李爽. 曲线钢箱梁桥优化设计研究[J]. 工程建设与设计, 2023(7):93-96.
LI S. Study on the optimal design of curved steel box girder bridge[J]. Construction & design for engineering, 2023 (7) : 93-96.

[11] 刘辉. BIM 技术的创新发展与大场景应用[J]. 施工技术(中英文),2024,53(17):30-34.
LIU H. Innovative development and large scene application of BIM technology [J]. Construction technology, 2024, 53 (17) : 30-34.

钢筋骨架自动化生产线、全自动液压模板、智能浇筑、养护、张拉压浆等核心装备,结合智能制造执行系统实现全过程数字化管控,可大幅度提升梁场生产效率、产品质量与资源利用效率。实践数据表明,智能化梁场可实现综合人工减少 51%,单片梁生产周期缩短 33%,养护能耗降低约 50%。

参考文献:

- [1] 秦顺全,苑仁安,郑清刚,等. 超大跨度公铁两用斜拉桥结构体系研究[J]. 桥梁建设,2020,50(4):1-8.
QIN S Q, YUAN R A, ZHENG Q G, et al. Research on structural systems for very long-span rail-cum-road cable-stayed bridge[J]. Bridge construction, 2020, 50(4):1-8.
- [2] 张鸿,张喜刚,丁峰,等. 短线匹配法节段预制拼装桥梁新技术研究[J]. 公路,2011,56(2):76-82.
ZHANG H, ZHANG X G, DING F, et al. Research on new technology of segmented precast and assembled bridges by short-line matching method[J]. Highway, 2011, 56(2):76-82.
- [3] 聂建国,周惠蒙,樊健生. 装配式混凝土结构简化构造关键技术研究与应用[J]. 土木工程学报,2023,56(8):1-15.
NIE J G, ZHOU H M, FAN J S. Research and application of key simplified detailing techniques for prefabricated concrete structures [J]. China civil engineering journal, 2023, 56(8): 1-15.
- [4] 郑健龙,陈梦洁,刘超超. 公路基础设施智能建造发展与展望综述[J]. 中外公路,2025,45(2):1-20.
ZHENG J L, CHEN M J, LIU C C. Review of intelligent construction development of highway infrastructures and its prospects[J]. Journal of China & foreign highway, 2025, 45(2): 1-20.
- [5] XU X Z, LIU Y M, OU G L. Evaluating high-speed railway intelligent construction business levels via ERT-TOPSIS and SSA-optimized BP with rigorous synthetic-data validation[J]. Results in engineering, 2025, 28: 107591.
- [6] 李金龙,杨彪,张福群,等. 预制箱梁环形生产线施工技术[J]. 建筑机械,2025(2):21-25.
LI J L, YANG B, ZHANG F Q, et al. Construction technology of circular production line for prefabricated box girders [J]. Construction machinery, 2025(2):21-25.
- [7] 曾锋,周东东,孙一方. 高速公路混凝土预制梁智能制造技术研究[J]. 公路与汽运,2023,39(2):122-126.
ZENG F, ZHOU D D, SUN Y F. Research on intelligent manufacturing technology of expressway concrete precast beam[J]. Highways & automotive applications, 2023, 39(2): 122-126.
- [8] 江伟,徐金良,周明科. 大型梁场智能化混凝土浇筑系统研究与应用[J]. 桥梁建设,2023,53(2):88-94.
JIANG W, XU J L, ZHOU M K. Research and application of intelligent concrete pouring system for large girder yards [J]. Bridge construction, 2023, 53(2): 88-94.
- [9] 黄立浦,徐有为,陈康军. 水泥混凝土智能蒸汽养护系统的设计与应用研究[J]. 公路工程,2016,41(4):242-245,289.
HUANG L P, XU Y W, CHEN K J. The design and application research of concrete intelligent steam curing system[J]. Highway engineering, 2016, 41(4):242-245,289.
- [10] 廖嵘,李建强,谢运灵,等. 智能张拉机器人的研发与应用[J]. 建筑施工,2023,45(6):1263-1267.
LIAO R, LI J Q, XIE Y L, et al. R & D and application of intelligent tensioning robot [J]. Building construction, 2023, 45(6):1263-1267.
- [11] 赵连东,马林. 铁路桥梁预应力管道自动压浆关键设备研究[J]. 铁道建筑,2018,58(5):39-43.
ZHAO L D, MA L. Study on key equipments for automatic grouting into prestressed pipe of railway bridge [J]. Railway engineering, 2018, 58(5):39-43.
- [12] 王成城,王凯,刘鹏. 面向智能制造的生产过程质量数据采集与追溯关键技术及应用[J]. 中国科技成果,2024(2):22-25.
WANG C C, WANG K, LIU P. Key technologies and applications of quality data collection and traceability in production process for intelligent manufacturing [J]. China science and technology achievements, 2024(2):22-25.
- [13] 刘炜,夏玉洁,贾骏,等. 基于主从链和边缘计算的 MES 生产调度模型[J]. 郑州大学学报(理学版),2023,55(3):14-21.
LIU W, XIA Y J, JIA J, et al. MES production scheduling model based on master-slave chain and edge computing[J]. Journal of Zhengzhou University (natural science edition), 2023, 55(3): 14-21.
- [14] 孙涛,付凯歌,朱小金,等. 虎门二桥小半径平曲线钢箱梁落梁施工关键技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(6):24-26,40.
SUN T, FU K G, ZHU X J, et al. Key technology of beam dropping construction of the steel box girder with small radius and flat curve for Humen Second Bridge[J]. Construction technology, 2022, 51(6):24-26,40.
- [15] 计春华,肖冰,戴志成. 小半径曲线钢箱梁桥线形精确控制研究[J]. 建筑机械,2024(8):239-243.
JI C H, XIAO B, DAI Z C. Research on accurate linear control of small radius curved steel box beam bridges [J]. Construction machinery, 2024(8):239-243.
- (上接第 104 页)
- [12] 老国健,刘方刚,李新平,等. 悬臂施工的连续箱梁桥框架墩横梁监控技术的研究[J]. 公路工程,2024,49(4):35-41.
LAO G J, LIU F G, LI X P, et al. Study on monitoring technology for frame pier crossbeam of continuous box beam bridge during cantilever construction[J]. Highway engineering, 2024, 49(4): 35-41.
- [13] 楚玺,周志祥,段鑫,等. 桥梁结构连续线形监测方法[J]. 公路交通科技,2023,40(11):157-163,171.
CHU X, ZHOU Z X, DUAN X, et al. A monitoring method for continuous line-shape of bridge structure[J]. Journal of highway and transportation research and development, 2023, 40(11):157-163,171.