

大跨度钢箱梁上跨营业线驮运施工技术研究

毕张龙, 沈捷, 陈清云, 李程

(中铁一局集团桥梁工程有限公司, 重庆市 401121)

摘要: 针对营业线施工环境复杂、安全风险高、传统工艺工期长等难题,开展大跨度钢箱梁上跨营业线顶推施工技术研究。为有效控制风险、减少对铁路运营的干扰,通过研发驮运小车同步控制系统、大纵坡自适应与制动保障技术、连续落梁智能控制技术等关键技术,实现钢箱梁在营业线上方的安全、平稳、高效顶推。该技术显著缩短了施工总工期,大幅降低了施工成本与安全风险,有效保障了营业线的正常运行,为大跨度桥梁上跨营业线施工提供了重要的技术参考与实践经验。

关键词: 驮运;同步控制;顶推施工;跨线桥

中图分类号: U445;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0387-04

Research on Construction Technology of Transporting Long-span Steel Box Girders over Operating Line

BI Zhanglong, SHEN Jie, CHEN Qingyun, LI Cheng

(China Railway First Group Bridge Engineering Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

Abstract: To address the issues of complex operational line construction environment, high safety risks, and long duration of traditional processes, the research is conducted on the incremental launching construction technology of long-span steel box girders over operational lines. By researching and developing the key technologies such as synchronous control systems for transporting trolleys, adaptive and braking guarantee for large longitudinal slopes, and intelligent control for continuous beam dropping, the safe, smooth, stable and efficient incremental launching of steel box girders is achieved above operational lines. This technology obviously shortens the total construction time, significantly reduces the construction costs and safety risks, and effectively guarantees the normal operations of operational lines, providing the important technical reference and practical experience for the construction of long-span bridges over the operational lines.

Keywords: transporting; synchronous control; incremental launching construction; flyover

0 引言

随着我国交通基础设施网络的持续完善,上跨营业线施工工程日益增多。营业线施工场景面临着天窗点时间受限、大纵坡工况下结构稳定性控制以及既有线运营安全保障的多重挑战,传统施工工艺已难以满足复杂工况需求。特别是在跨越繁忙干线铁路时,如何在最小化对铁路运输干扰的前提下,实现大跨度钢箱梁的精准架设,成为桥梁工程领域亟待解决的关键问题。

目前,国内外针对钢箱梁跨越施工主要采用3类

技术方案:传统滑移顶推法依赖临时滑道^[1],存在摩擦阻力大、同步控制精度低的缺陷;步履式顶推虽解决了摩擦问题^[2],但对基础承载力要求高,且在曲线段适应性不足,易产生横向偏位,纠偏难度大;驮运小车顶推技术通过模块化液压驱动系统,可实现毫米级控制精度,纵坡自适应能力强、可灵活组合小车数量,但在大纵坡、多股道营业线施工中的系统研究尚属空白。

1 工程概况

新建京港高速铁路九江至南昌段 CJZQ-1 标左线跨杭瑞高速特大桥 18~21#墩为 74 m+150 m+74 m 钢-混组合连续梁桥,纵坡 23‰。钢混组合梁长度共为 61 m(包括 2 个钢混结合段),具体组成为中间 50 m 钢箱梁(合龙段)+2×5.5 m(钢混组合段+钢梁连

收稿日期: 2026-02-04

作者简介: 毕张龙(1986—),男,本科,高级工程师,从事桥梁工程施工工作。

通信作者: 沈捷(1992—),男,本科,工程师,从事桥梁工程施工工作。电子信箱: 342608541@qq.com

接段)。钢箱梁高5.65 m,顶板宽8.5 m,底板宽6.6 m,如图1所示。

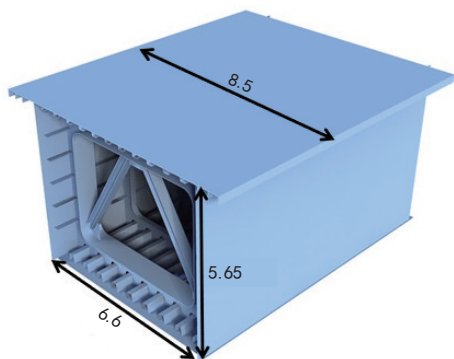


图1 钢箱梁结构图(单位:m)

线路上跨京九铁路、既有线宽度为19.3 m,共3条股道,新建铁路线与既有线呈斜交状态,钢混段位于既有线上方。线路右侧为武九客专,距离为12 m。左侧为昌九城际,距离为25~30 m,现有施工区域以外,均为林地、水渠等。

钢箱梁采用工厂内分块分段制造,汽车运输至现场,履带吊分段吊装至主墩桥面拼装成整体^[3],“导梁+轮轨驱动小车”纵向驮运法纵移就位,竖向千斤顶吊挂系统整体下放就位、焊接合龙。

2 上跨营业线钢箱梁顶推施工关键技术

2.1 钢箱梁制造及安装

2.1.1 钢箱梁分段制造

钢箱梁纵向分为5段,顶、底、腹板相互错开200 mm,上下呈“Z”字形接口。横向分为5块:高度方向分为顶板+腹板块和底板+腹板块,顶板+腹板块宽度方向分为3块,底板+腹板块宽度方向分为2块。为保证钢箱梁顺利下放,钢箱梁与钢混节段接缝位置做成上大下小的倒八字形结构。

2.1.2 钢箱梁现场拼装

钢箱梁在20#墩左侧拼装平台上,先将两块底板+腹板块完成拼装,在钢箱梁底板上安装I32内拼装支架,内拼装支架纵向间距4 m,横向间距2.75 m。每组支架中部采用I32a设置平联,内侧拼装支架安装完成后,依次拼装两侧腹板及翼缘板块,最后拼装顶板块。

2.2 顶推系统的设计

2.2.1 导梁结构设计

前导梁采用变高工字型截面,导梁纵向长度45 m,由两组纵梁及横向连接系组成,导梁根部与钢梁顶、底、腹板采用熔透焊接连接,两组纵梁间通过横向连

接系连接形成整体^[4]。导梁厂内分5段加工制造,总长度45 m,运输至现场后,将单个导梁分段吊装至桥面上,使用高强螺栓进行连接成整体。两纵梁之间的横向连接系焊接成整体后^[5],吊装上桥与纵梁焊接,前导梁立面、平面图如图2所示。

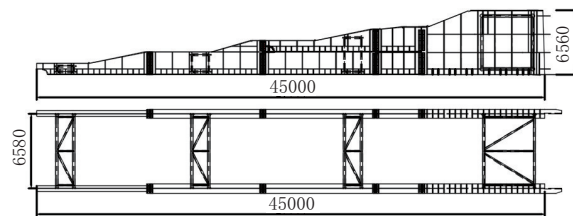


图2 前导梁立面、平面图(单位:mm)

后导梁主肢采用变截面工字型导梁,长度11.2 m。导梁由两组纵梁及横向连接系组成,导梁根部与钢梁顶、底、腹板采用熔透焊接连接,两组纵梁间通过横向连接系连接形成整体。导梁后端设置压重区和卷扬机动滑轮固定区,后导梁立面、平面图如图3所示。

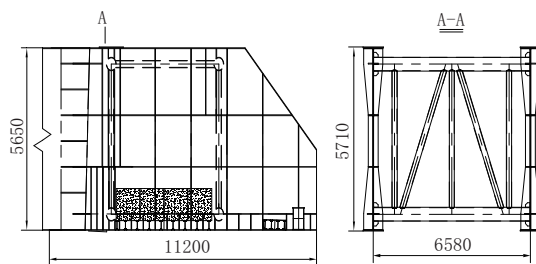


图3 后导梁立面、平面图(单位:mm)

根据钢梁顶推需要,在混凝土箱梁顶面设置运梁轨道。其中纵桥向小里程侧设置30.7 m运梁轨道,大里程侧设置85.8 m小车轨道。轨道采用P43钢轨。轨道下方采用钢管立柱加型钢组成的临时支撑体系。

2.2.2 驮运小车同步控制技术

驮运系统是顶推施工的核心承载结构,主要由智能三维千斤顶^[6]、变频电机驱动的驮运小车组成,依据受力要求自由组合小车数量,使桥梁驮运过程在纵、横、竖三向可精准调整,确保顶推过程线性可控。

智能三维千斤顶液压控制系统由三维千斤顶,一套液压泵站,一台PLC^[7]控制系统构成,每个驮运单元配置4台500 t级同步液压千斤顶,通过多点均载液压控制技术实现钢箱梁的整体抬升与平移。系统采用“分布式传感+集中控制”架构,实时监测16个支撑点的压力数据,当单点荷载偏差超过5%时自动启动流量补偿机制,确保钢箱梁在顶推过程中受力均匀,智能三维千斤顶如图4所示。

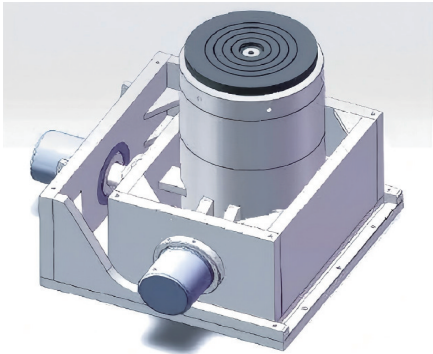


图4 智能三维千斤顶

根据钢梁的结构形式,并结合施工的特点,现场采用16台100 t运梁小车进行顶推施工,小车构造如图5所示,通过PLC数据及主从控制方式交互小车行走状态相关数据,使小车运行速度偏差控制在1 m/min以内,保持一致。

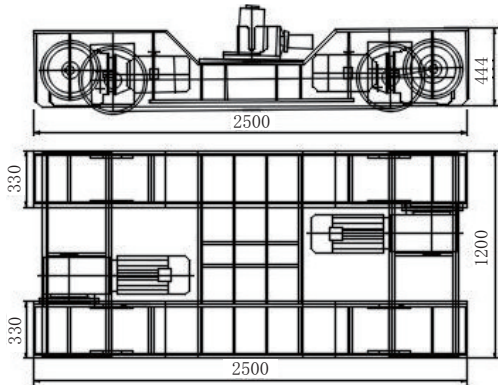


图5 运梁小车构造图(单位:mm)

2.2.3 大纵坡自适应及制动保障

桥面纵坡为2.3%,钢梁由大里程侧20#墩向小里程侧19#墩下坡顶推,施工风险大,为确保顶推过程中的安全性,在梁面采用抄垫支架将顶推轨道纵坡调坡为1.5%,支架如图6所示,小车配备有制动系统^[8],制动时制动器抱死车轮,同时小车带有自动感应装置^[9],当遇车挡时自动制动。

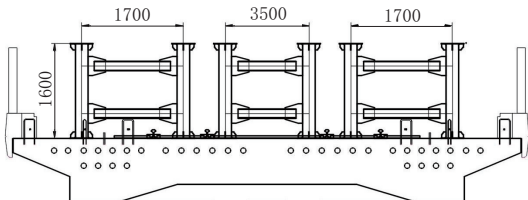


图6 支架断面图(单位:mm)

卷扬机通过出绳速度辅助限制小车速度,必要时可辅助制动,沿轨道每25 m设置一处型钢车挡,每顶推25 m进行一次检查校核,控制小车行进速度。

2.3 钢箱梁顶推

2.3.1 钢箱梁及导梁拼装

钢箱梁拼装完成后,使用320 t履带吊将钢梁及

导梁分节段吊装至桥面,然后进行全桥节段间环焊缝焊接^[10]。

2.3.2 顶推步骤

钢箱梁共进行3次顶推施工。第一次顶推距离为54 m,第二次顶推距离为18 m,第三次顶推距离为23.7 m。

第一次顶推:启动液压系统使千斤顶同步顶升钢梁,拆除临时支撑体系^[11]。通过PLC数据及主从控制方式保持小车运行速度一致,当小车运行至20#墩垫墩前1 m时停车确认导梁上墩情况,顶推到位后将钢梁临时固定并检查位置和受力。第二、三次顶推重复第一次顶推的准备和操作流程,顶推到位后将钢梁临时固定并检查位置和受力。顶推完成后,等待落梁施工^[12]。

2.4 跨中合龙落梁

2.4.1 连续落梁智能控制系统

跨中合龙落梁采用连续千斤顶+钢绞线+落梁扁担+精轧螺纹保险系统^[13],通过数控系统实现多顶同步控制,落梁精度可达±2 mm,解决高落差、短时间落梁难题。智能落梁模块基于多体动力学仿真模型,通过合龙口状态计算值指导施工。落梁扁担由600×1 000箱型梁组成,千斤顶位置局部开孔,每个吊点位置安装4根φ32 mm精轧螺纹钢作为落梁保险及临时固定措施^[14],落梁如图7所示。



图7 钢梁下落

2.4.2 钢箱梁配切及落梁

在精调天窗期内,通过小车上方的三维千斤顶将坡度由1.5%调整为2.3%,通过调整钢梁的平面位置至设计位置,钢梁两端预留100 mm配切余量,在钢梁顶推到位后,实测合龙口大小、扭转、转角等参数后再进行配切。

通过19#、20#墩的连续千斤顶同步将钢梁下落4.5 m,拧紧精轧螺纹钢螺母实现临时锁定^[15]。第2个天窗期解除精轧螺纹钢螺母约束,通过连续千斤顶将钢梁同步下落3.34 m至支撑牛腿上,完成落梁。

3 综合效益

采用大跨度钢箱梁上跨营业线顶推施工,顶推工效是传统千斤顶滑移顶推方法的6倍左右,节约工期14个Ⅱ级封锁天窗点,共计33 d。每个封锁点配合费平均需要6万元,共计需要配合费 $14 \times 6 = 84$ 万元;每天施工人数约30人,可节约人工成本 $30 \times 450 \times 33 = 44.55$ 万元;每天包含应急机械等机械租赁费用1.5万元/d,可节约机械成本 $1.5 \times 33 = 49.5$ 万元,共计节约 $84 + 44.55 + 49.5 = 178.05$ 万元。

4 结论与展望

本文依托新建京港高速铁路九江至南昌段CJZQ-1标跨京九铁路特大桥工程,系统研究了大跨度钢箱梁上跨营业线驮运施工关键技术,形成以下结论。

(1)研发的驮运小车同步控制系统,实现了16台小车在2.3%大纵坡工况下的同步顶推,顶推速度偏差控制在1 m/min以内,单点荷载偏差 $\leq 5\%$,确保了结构受力均匀,避免了偏载引发的安全隐患。

(2)创新提出的大纵坡自适应与制动保障技术,通过轨道调坡支架、卷扬机辅助限速、自动感应制动装置及多点车挡联合防护,有效解决了下坡顶推时的溜车风险,实现了顶推过程的全天候安全可控。

(3)开发的连续落梁智能控制系统,采用“连续千斤顶+钢绞线+落梁扁担+精轧螺纹钢保险”组合体系,落梁精度达 ± 2 mm,解决了4.5 m高落差、短天窗期内的快速落梁难题,为跨线桥梁合龙提供了精准技术保障。

后续可进一步研究拓展驮运系统在曲线段、变截面钢箱梁顶推中的适应性,探索基于BIM+物联网

的顶推全过程数字孪生监控平台,实现施工状态实时预警与智能决策,推动跨线桥梁施工向更高质量、更高效率、更低风险方向发展。

参考文献:

- [1] 惠林浩.跨既有铁路钢箱梁顶推施工技术[J].城镇建设,2025(3):196-198.
- [2] 许金兰.钢箱梁步履式同步连续顶推施工关键技术[J].交通世界,2025(29):166-168.
- [3] 杨裕尧.跨线钢混连续梁桥跨中钢梁顶推就位技术与受力性能[J].铁道建筑技术,2025(12):145-149.
- [4] 刘金明.跨高速公路异形钢箱梁步履式顶推施工技术[J].国防交通工程与技术,2017(6):41-44.
- [5] 赵秋红,尹壮飞,张光桥.大跨度钢箱梁连续式顶推施工技术研究[C]//2025工程技术与材料应用学术交流会论文集.北京:中国智慧工程研究会,2025:166-168.
- [6] 钱言,钱小刚,嵇鹏.随动自锁三维千斤顶(实用新型):中国,CN212982337U[P].2021-04-16.
- [7] 陈亮.基于PLC控制系统的工业电气自动化集成研究[J].2025工程技术与应用与管理交流论文集.北京:中国智慧工程研究会,2025:1-3.
- [8] 项进.大吨位钢梁顶推施工永临结合顶推支墩创新设计[J].工程管理与技术探讨,2025(4):157-159.
- [9] 孙传智,张兴虎,郝笛笛.连续钢箱梁桥顶推施工监测分析研究[J].四川轻化工大学学报(自然科学版),2025(3):120-128.
- [10] 张燕珂,丁玉阳.上跨繁忙干线钢结构滑步式顶推施工技术研究[J].铁路工程技术与经济,2025(3):71-78.
- [11] 曹卫军.钢混组合梁高位顶推施工技术探讨[J].四川建筑,2025(5):75-77;81.
- [12] 李伟,申铁军.钢箱梁顶推施工技术分析[J].河南建材,2025(6):50-52.
- [13] 刘博,周杰.大跨度钢箱梁斜拉桥顶推施工中的关键技术分析[J].黑龙江交通科技,2025(5):69-72;77.
- [14] 叶文东.钢箱梁顶推施工技术在桥梁工程中的应用分析[J].运输经理世界,2025(21):91-93.
- [15] 马仲举.复杂环境下钢箱梁顶推转体组合施工技术与应用[J].工程建设与设计,2023(3):186-188.

(上接第335页)

- 案设计[J].城市道桥与防洪,2022(6):126-130.
- [10] 刘忻斌.市政道路桥梁设计和施工性价比提升策略[J].建材发展导向,2025,23(18):52-54.
 - [11] 朱岩.生态文明建设下郑州市某滨水空间的更新设计[J].市政技术,2025,43(9):256-263.
 - [12] 葛立东,董建伟.生态砖护岸技术在河道工程的应用及启示[C]//中国水利学会2008学术年会论文集(上册).北京:中国

- 水利学会,2008:624-626.
- [13] 宋全生.基于景观生态角度的城市排洪沟改造设计研究[D].兰州:兰州交通大学,2014.
 - [14] 徐月清.污水处理厂尾水作为河道补充水的探讨[D].上海:华东师范大学,2018.
 - [15] 黄泽民.钢坝闸在河道水环境综合整治工程中的应用实践[J].水上安全,2023(15):94-96.