

跨越既有铁路线钢箱梁拖拉施工经验总结与优化建议

——基于烟长公路立交桥工程

刘斌

中铁二局第四工程有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19213

[摘要] 本文以烟长公路项目上跨长双烟铁路公铁立交桥钢箱梁拖拉施工为背景,系统总结了在营业线Ⅲ级施工条件下,跨越既有铁路线实施大跨度钢箱梁拖拉施工的关键技术、组织管理及安全控制措施。通过对临时支架体系设计、钢箱梁拼装焊接、导梁设置、液压同步拖拉系统、落梁工艺等核心环节的深入分析,提炼出若干成功经验,并针对左幅施工中暴露出的问题(如四氟滑板质量缺陷、应急准备不足、限位装置安装滞后等),提出具有针对性的优化建议。研究成果可为类似涉铁桥梁工程提供理论参考和实践指导。

[关键词] 钢箱梁; 拖拉施工; 既有铁路; 临时支架; 同步顶推; 施工优化

中图分类号: U445.4 **文献标识码:** A

Summary of Experience and Optimization Suggestions for Steel Box Girder Dragging Construction Crossing Existing Railway Lines—Based on Yanchang Highway Overpass Project
Bin Liu

China Railway No.2 Engineering Group No.4 Engineering Co., Ltd.

[Abstract] This paper takes the steel box girder dragging construction of the Yanchang Highway Project over the Changshuangyan Railway highway-railway overpass as the background, and systematically summarizes the key technologies, organizational management, and safety control measures for large-span steel box girder dragging construction crossing existing railway lines under the condition of Class III construction on operational lines. Through in-depth analysis of core aspects such as temporary support system design, steel box girder assembly welding, guide beam installation, hydraulic synchronous dragging system, and girder lowering process, several successful experiences are extracted. Targeted optimization suggestions are proposed to address issues exposed during the left section construction, such as quality defects in PTFE sliding plates, insufficient emergency preparedness, and delayed installation of limiting devices. The research results can provide theoretical reference and practical guidance for similar railway-related bridge engineering projects.

[Key words] steel box girder; dragging construction; existing railway; temporary support; synchronous jacking; construction optimization

引言

我国交通基础设施网络不断完善,新建高等级公路与既有铁路交叉情形愈发常见。铁路运营安全要求严苛,传统施工方法受“天窗期”短、净空受限、安全风险高等因素制约,难以满足需求^[1]。钢箱梁拖拉(顶推)施工技术凭借对下方铁路干扰小、施工效率高、安全性好等优势,成为跨越既有铁路桥梁建设的重要工法。烟长公路项目上跨长双烟铁路公铁立交桥工程,主跨为60米钢混叠合梁,单幅钢箱梁重近500吨,要在有限铁路封锁“天

窗”时间内完成跨越,且被划为营业线Ⅲ级施工,对施工各方面要求极高。本文以该工程为依托,梳理拖拉施工全过程,总结技术要点与管理经验,针对问题提出优化建议,为同类工程提供可复制推广的技术路径。

1 工程概况与施工难点

1.1 工程基本情况

上跨长双烟铁路公铁立交桥对应高速公路中心里程 K400+091.85,公路与铁路交角为34.2°。主跨为60米钢混叠合

梁,单幅桥横向布置三片主梁,主梁截面尺寸为宽2000mm、高3000mm,整幅桥面宽 $2 \times 13.056\text{m}$ 。左幅钢箱梁重492.9t,右幅重496.5t。桥墩采用矩形薄壁墩($5.0\text{m} \times 1.6\text{m}$),基础为 $\phi 1.6\text{m}$ 钻孔桩。桥墩承台与铁路最小净距11.35m,设计实际净空8.68m。

1.2 主要施工难点

一是涉铁安全风险高:施工区域紧邻运营铁路,任何构件坠落、设备侵限或支架失稳均可能引发重大安全事故。二是天窗时间极其有限:铁路部门仅批准三次、每次4小时的封锁点用于关键拖拉作业,要求施工高度精准、高效。三是结构体量大、精度要求高:单幅近500吨的钢箱梁需在90余米距离内实现毫米级轴线与高程控制。四是场地条件受限:受征地及下部结构交叉作业影响,拼装场地狭小,组织协调难度大。五是环境干扰因素多:风荷载、温度变化、地基不均匀沉降等均可能影响拖拉过程的稳定性与同步性。

2 拖拉施工总体方案

2.1 总体思路

采用“先左后右、支架周转”策略:先完成左幅临时支架搭设、钢箱梁拼装、拖拉及落梁,再将支架拆除转运至右幅重复使用。拖拉方向统一为从小里程向大里程推进。

2.2 核心工艺流程

地基处理与临时支墩基础施工;临时支架安装与预压;钢箱梁节段运输、吊装与现场焊接;前后导梁安装;拖拉系统(滑道、千斤顶、钢绞线、控制系统)安装与调试;体系转换;分阶段铁路封锁期内完成拖拉;导梁与支架拆除;落梁就位与支座锚固。

3 关键施工技术与实施要点

3.1 临时支架体系设计与施工

3.1.1 支架结构设计

其基础采用 $6.2\text{m} \times 3.6\text{m} \times 0.85\text{m}$ 的C30钢筋混凝土结构,基底换填1.5m厚挖方石碴,确保地基承载力不低于 240kPa 。立柱采用 $D609 \times 16\text{mm}$ 螺旋钢管,每座临时支墩设四根,通过HW250型钢形成横向连接;顶部设双拼HW400型钢分配梁,并在其上布置四拼HW400型钢垫梁,构成稳固的承载平台。关键在于,临时支架通过纵向连接系与永久桥墩盖梁上的预埋件焊接成整体,显著提升了体系的横向刚度和抗倾覆能力^[2]。整套支架用钢约220吨,除租赁钢管外,其余均为新购材料,保障了结构可靠性。

3.1.2 基础施工与预压

在完成钢筋绑扎、预埋钢板安装及混凝土浇筑后,对每座临时支墩基础均进行1.1倍设计荷载的预压,最大荷载达432吨。经72小时持续观测,各基础沉降稳定在3~4mm,优于“72小时沉降小于5mm”的合格标准,充分验证了地基处理效果和基础稳定性,为后续钢箱梁拼装与拖拉提供了坚实支撑。

3.1.3 安全通道设置

鉴于L4临时支墩高度最大且位置关键,项目专门设置符合规范的梯笼作为上下通道,其底部通过膨胀螺栓锚固于基础,中部与桥墩固结,顶部与支墩连接,确保整体稳定。其余支墩顶部

四周则设置带踢脚板和防护网的栏杆,且栏杆高度特意低于拖拉钢绞线底部20cm,有效避免拖拉过程中钢绞线与栏杆刮蹭,兼顾人员安全与系统运行顺畅。

3.2 钢箱梁拼装与焊接

3.2.1 节段划分与吊装

为便于运输与吊装,单幅钢箱梁划分为纵向3段、横向3段,共9个节段,最重节段YFB-1达63.6吨。采用一台400吨级汽车吊作业,最大吊装半径10米、高度18.4米。经计算,考虑1.1倍动载系数及3吨吊索具重量后,所需起重量为72.96吨;吊车在该工况下折减后额定起重量为79.2吨,满足安全要求。吊车站位距铁路安全界限最近38.5米,远超36米工作臂长,有效避免侵限风险。

3.2.2 吊索具选型

选用 $\Phi 56\text{mm}$ 、 $6 \times 37+1$ 结构钢丝绳,公称抗拉强度 $1700\text{N}/\text{mm}^2$,破断力总和 2000kN 。每梁段使用4根8m长钢丝绳,按3根受力、 60° 夹角验算,并计入1.05冲击系数,所需最小破断力为 1776.7kN ,低于实际破断力,安全储备充足。配套采用35吨卡环,可满足最重节段在各种工况下的吊装需求。

3.2.3 焊接工艺与质量控制

焊接前对梁段进行三维精调,确保中心线对齐、错口偏差小于2mm,并用码板点焊固定。焊接主要采用 CO_2 气体保护焊,根据板厚和受力情况,分别采用单面V型坡口加陶质衬垫或双面坡口工艺。针对野外环境,严格落实防风、防雨及除湿措施,如湿度超80%时采用火焰烘烤。所有对接焊缝按一级标准控制,焊后通过外观检查、磁粉探伤及超声波探伤多重检验,确保焊缝质量全面达标。

3.3 导梁系统

导梁系统有效保障了钢箱梁在悬臂拖拉阶段的稳定性。前导梁长35米、重83.198吨,前端1米设50厘米错台,便于平顺搭接临时支墩;后导梁长6米、重11.756吨,前端2米设15厘米斜坡,起缓冲作用,确保主梁尾部平稳离墩。为增强连接强度,主梁内增设16毫米厚通长补强加劲板,并与腹板加劲板及支座隔板可靠连接。导梁与主梁间采用熔透焊,焊缝等级为二级,确保力的有效传递。

3.4 拖拉系统与施工控制

3.4.1 拖拉设备配置

拖拉采用两套ZLD1500/200型自动连续千斤顶,配套ZLB10/30泵站及计算机集中控制系统,可实时监控并同步控制拖拉力与位移。拖拉力通过后锚点传递,锚板为40mm厚钢板,焊接于梁底,穿束2束共16根 $\Phi 15.2\text{mm}$ 高强度钢绞线。按总重595吨(含导梁)计算,所需拖拉力约71.4吨,而钢绞线总破断力达297.6吨,安全系数4.1,保障了施工安全。

3.4.2 滑道与摩擦控制

滑道由H型钢与30mm厚聚四氟乙烯(PTFE)蘑菇头板组成,设计摩擦系数 < 0.1 。左幅施工中因PTFE板硬度不足、表面粗糙,导致摩擦阻过大、试拖失败;后通过增设光洁钢板并涂抹润滑剂解决。该问题凸显了滑道材料质量对拖拉成败的关键影响。

3.4.3 限位与纠偏

为控制横向偏位,在L1-L4支墩分配梁上各设4组限位装置(共16组),L5支墩先装导梁纠偏装置,待主梁接近时更换为钢箱梁限位装置。所有限位预留10mm间隙,允许微小自由移动,超限时采用100吨千斤顶横向纠偏,操作灵活、效果可靠。

3.4.4 拖拉工况与天窗安排

表1 拖拉工况与天窗安排

工况	拖拉距离(m)	铁路状态	备注
一	0→13.528	非封锁	至安全限界外3m
二	+25	封锁4h	进入铁路影响区
三	+17.53	封锁4h	前导梁上L5墩
四	+33.981	封锁4h	到位,总距90.039m

3.5 落梁施工

项目在11号、12号永久墩顶各布置4台300吨千斤顶及配套保护支墩。落梁分三个铁路“天窗”完成:首落5厘米观察结构响应,后续采用两端交替、每次10厘米的方式缓慢下落,全程梁体脱空不超过10毫米,严禁两端同步下落。保护支墩由20mm钢板与可调高钢管柱组成,并配备2mm、3mm、5mm、10mm等垫片,实现精准密贴。通过调控千斤顶进油压力,确保各墩受力均匀,最终梁体线形与支座反力均满足设计要求。

4 施工经验总结

4.1 成功经验

本次拖拉施工的成功,得益于多项关键技术与管理举措的有效落实。临时支架通过预埋件与永久桥墩刚性连接,形成整体受力体系,有效抵御拖拉过程中的复杂荷载;钢箱梁焊接实施全流程精细化控制,从焊前处理到焊后无损检测,确保了毫米级安装精度;采用计算机同步控制系统,精准调控位移与拉力,避免结构因不同步受力受损;落梁采用分阶段、小步距交替下落工艺,配合可调式保护支墩,保障了就位安全与精度^[3]。尤为关键的是,右幅施工充分吸取左幅教训,在组织协调、物资准备和应急响应等方面全面优化,工期较左幅缩短10天,效率显著提升。

4.2 存在问题与教训(左幅)

左幅施工虽最终完成,但暴露出诸多问题。四氟滑板硬度与光洁度不达标,导致摩擦阻过大,试拖失败;应急准备不足,发电机组无燃油致停电延误2小时,辅助吊车未及时就位再耗2.5小时天窗;初期未设专用上下通道,依赖高空作业车,存在安全隐患;限位装置“边拖边装”,在L3-L5支墩额外占用2小时天窗,暴露前期策划缺陷。根本原因在于前期组织协调不力:征地滞后、场地受限、队伍推诿、管理缺位,最终浪费两个宝贵天窗点,教训深刻。

5 优化建议

5.1 材料与设备优化

应严格管控关键材料,滑道用聚四氟乙烯板须明确技术指

标:邵氏硬度 \geq D60、表面镜面抛光,并附出厂摩擦系数检测报告。同步研发标准化复合润滑剂,规范其在拖拉各阶段的涂抹工艺。设备方面,推行“备用电源常备制”,确保发电机组状态完好、油箱满油,并纳入每日班前强制检查项。

5.2 施工组织优化

强化“前置”与“预制”理念。限位纠偏装置应采用模块化千斤顶式设计,作为临时支墩标准配件,在支架搭设阶段同步安装固定。所有天窗期所需设备(如辅助吊车、备用千斤顶)须提前24小时就位并完成调试^[4]。推广BIM4D模拟技术,通过虚拟演练优化工序衔接与空间部署,提前规避冲突。

5.3 安全管理强化

坚持“生命通道优先”,所有2米以上作业平台须在主体施工前完成梯笼或合规爬梯安装,严禁依赖移动设备上下。推行关键工序“双确认”机制,由技术与安全负责人联合签认后方可实施重大操作。建立《涉铁施工应急物资动态台账》,对油料、钢绞线、通讯设备等实行清单化、责任人化管理,确保应急状态下即时可用。

5.4 监控智能化升级

引入北斗/GNSS高精度定位技术,实现梁体平面位移全天候、全自动、毫米级监测,弥补全站仪在夜间或恶劣天气下的盲区。整合应力、位移、倾角、温度等多源传感器数据,构建云端监控平台,设置多级自动预警阈值,并联动专家系统远程诊断,推动施工监控由“被动响应”向“主动预防”转型。

6 结语

烟长公路立交桥钢箱梁拖拉施工的成功实施,不仅是一次技术上的胜利,更是一次管理上的深刻洗礼。它充分证明了在复杂的涉铁环境下,通过科学的设计、精细的施工、严密的监控和高效的组织,完全能够安全、优质、高效地完成大跨度钢箱梁的跨越任务。左幅施工中遭遇的挫折,以高昂的代价换来了宝贵的实战经验,而右幅施工的顺利高效,则是对这些经验进行有效转化的最佳证明。展望未来,随着新材料、新装备与数字化、智能化技术的深度融合,钢箱梁拖拉施工技术必将不断迭代升级,为我国乃至世界范围内更多跨越既有交通干线的桥梁建设,提供更加坚实、可靠的技术支撑。

【参考文献】

- [1]张群.上跨浅埋段铁路隧道钢箱梁拖拉式顶推施工技术[J].云南水力发电,2023,39(11):218-223.
- [2]陈兵.大跨度曲线钢箱梁上跨双线铁路拖拉施工关键技术研究[J].工程技术研究,2023,8(09):197-200.
- [3]李华健.大跨度曲线钢箱梁上跨铁路拖拉施工及安全管理研究[J].交通科技与管理,2023,4(04):68-70.
- [4]刘小青,李彪,刘振标,等.跨高速铁路运营线钢箱梁拖拉快速施工方案与控制[J].铁道建筑,2023,63(02):82-87.