

跨江便道桥钢箱梁顶推施工技术 with 结构计算

李锐

中冶（云南）工程投资建设有限公司，云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ETQM.2025110023

摘 要： 为解决跨江便道桥钢箱梁架设对水文环境干扰大、施工效率低的问题，本文以顶推施工工艺为核心，基于现行公路与钢结构规范，结合现场环境参数，通过相关软件建模，开展荷载计算、多工况结构响应分析及临时设施稳定性验算。结果表明：钢箱梁最大应力 158MPa、导梁最大应力 197MPa，均小于对应钢材许用强度；临时支墩、吊索塔架的强度与稳定性满足设计要求，抗倾覆系数 $1.2 > 1.05$ ，顶推总阻力控制在 185.5kN 内（选用 2 台 150t 油缸，安全系数 1.3）。研究验证了顶推施工方案的可行性，为同类跨江便道桥钢箱梁施工提供理论参考。

关 键 词： 跨江便道桥；钢箱梁；顶推施工；结构计算；稳定性验算

Push Construction Technology and Structural Calculation of Steel Box Girder for River-Crossing Access Bridge

Li Rui

MCC (Yunnan) Engineering Investment & Construction Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract： To address the problems of significant interference with the hydrological environment and low construction efficiency in the erection of steel box girders for river-crossing access bridges, this paper focuses on the push construction technology. Based on current highway and steel structure specifications, combined with on-site environmental parameters, load calculation, structural response analysis under multiple working conditions, and stability check of temporary facilities are carried out through modeling with software. The results show that the maximum stress of the steel box girder is 158MPa, and the maximum stress of the guide beam is 197MPa, both of which are less than the allowable strength of the corresponding steel; the strength and stability of temporary piers and suspension towers meet the design requirements, with the anti-overturning coefficient of $1.2 > 1.05$, and the total push resistance is controlled within 185.5kN (two 150t oil cylinders are selected, with a safety factor of 1.3). The study verifies the feasibility of the push construction scheme and provides a theoretical reference for the construction of steel box girders for similar river-crossing access bridges.

Keywords： river-crossing access bridge; steel box girder; push construction; structural calculation; stability check

引言

在跨江桥梁建设中，钢箱梁因结构刚度大、跨越能力强，广泛应用于主桥与引桥建设^[1]。传统吊装工艺受水流、通航限制明显，而顶推施工通过“拼装-顶推”循环作业，可减少对外部环境的干扰，成为复杂水文条件下的优选工艺^[2]。某跨江便道桥上部结构采用钢箱-混凝土组合梁（主跨超 100m）与钢板-混凝土组合梁（引桥），全长超 300m，需通过系统计算确保顶推过程中结构安全与施工可控。本文围绕顶推施工的核心技术难点，重点开展荷载计算（风载、水流力、顶推阻力）、18 种关键工况结构受力分析及临时支墩、导梁、吊索塔架的设计验证，旨在为施工方案优化与安全管控提供依据，同时为同类工程积累技术经验。

一、计算依据与基础条件

（一）计算依据

本研究严格遵循以下规范，确保计算结果合规准确：

《钢结构设计规范》（GB50017-2003）

《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50-2011）

《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2004）

《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63-2007）

《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205-2001)

(二) 基础条件

桥梁采用“差异化上下部结构+顶推工艺”设计,适配跨江工程需求^[3]。上部结构按跨径分区:引桥为30m钢板-混凝土组合梁,靠钢混协同受力保障刚度、降低成本,预制化程度高;主桥为(70+110+70)m钢箱-混凝土组合梁,大跨径满足通航净空,钢箱梁封闭截面抗扭稳定,搭配混凝土叠合层提升承压能力。下部结构优化适配水文条件:桥墩为柱式墩桩基础,深入稳定地层抗冲刷、减沉降;桥台为重力式U台,靠自重平衡水平推力,混凝土台身耐久。施工用后端双点同步顶推工艺,起始墩侧设临时支架拼装钢箱梁,同步顶推至终点墩就位。

关键参数基于实测、规范与实践确定,保障计算精准。现场环境:工作风力 ≤ 5 级(风压 200N/m^2 ,参考《公路桥涵设计通用规范》),滑动摩擦系数0.1(滑道接触面实测),水流速度 3m/s (水文观测报告)。结构重量:钢箱梁总重 1588t (含主体、加劲肋及连接件),导梁自重 100t (纳入荷载平衡)。钢材性能:安全系数1.48(依《钢结构设计规范》),Q235钢许用强度 $[\sigma]=145\text{MPa}$ (临时支架),Q345钢许用强度 $[\sigma]=199\text{MPa}$ (钢箱梁、导梁等主构件)。

二、荷载计算

本研究的荷载计算涵盖恒载、活载、风载荷与水流力四大类^[4]。其中,恒载以顶推支架自重为核心,边跨顶推支架与跨中临时支架均按实际结构参数计入,确保荷载传递路径清晰;活载为钢箱梁与导梁自重产生的线荷载,经计算得单位长度荷载 6.352t/m ,为简化计算并保障安全性,后续分析统一取 10t/m 作为线荷载取值。

风载荷计算分两类支架:边跨支架迎风面积 471.5m^2 ,对应风载荷 127kN ,单根钢管风载荷 1.4kN ,其上方钢梁风载荷 3.3kN ;跨中支架单根钢管风载荷 1.4kN ,上方钢梁风载荷 8.4kN ,两类支架风载荷计算均基于结构充实率0.3、风力系数0.8等参数。

水流冲击力按设计最大流速 3m/s ;水深按 12m 计算。查《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60-2004)公式:根据规范,流水压力作用点位于水位线以下 $1/3$ 水深处。

顶推总阻力由钢梁风阻力、摩擦阻力与坡道阻力三部分组成,三者协同决定顶推设备选型^[5]。经计算,钢梁风阻力为 82kN ;摩擦阻力基于滑动摩擦系数0.1,结合钢箱梁总重 1588t 与导梁自重 100t ,得 $f=0.1\times(1588+100)=168.8\text{kN}$;坡道阻力按经验系数0.005计算,得 $f=0.005\times(1588+100)=8.5\text{kN}$ 。三者叠加得顶推总阻力 $F_{\text{total}}=82+168.8+8.5=185.5\text{kN}$ 。考虑摩擦力不均匀系数0.8,选用2台 150t 液压油缸,经核算安全系数 $= (2\times 0.8\times 150)/185.5=1.3$,满足施工安全控制要求^[6-8]。

三、工况分析与结构计算

(一) 工况划分

选取3种典型工况(源于18种核心工况):导梁悬臂 $14\text{m}+62\text{m}$ 钢梁顶推;钢梁出主墩悬臂 40m (装塔架+1#锚索张拉);钢梁出主墩悬臂 60m (多锚索二次张拉)。

(二) 典型工况计算结果

采用相关软件建模,关键结果如下:

工况一:导梁悬臂 $14\text{m}+62\text{m}$ 钢梁顶推

模型如图1所示,最大支反力 58t (临时墩),钢箱梁最大应力 $< 199\text{MPa}$ (图2为应力分布)。

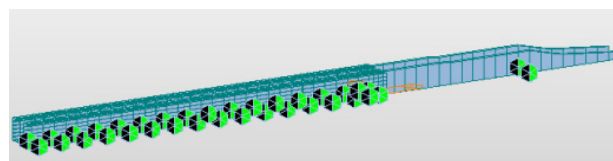


图1 工况一计算模型

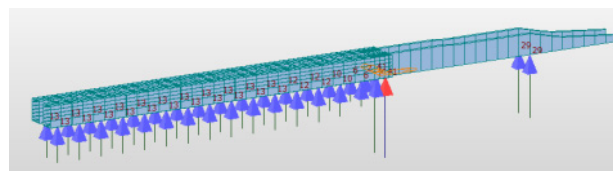


图2 工况一应力图(单位:MPa)

工况五:钢梁出主墩悬臂 40m (装塔架+1#锚索张拉)

模型如图3所示,1#锚索索力 $4\times 75\text{t}$,最大支反力 609.8t (主墩),位移最大值 $<$ 规范限值(图4为位移分布)。



图3 工况五计算模型

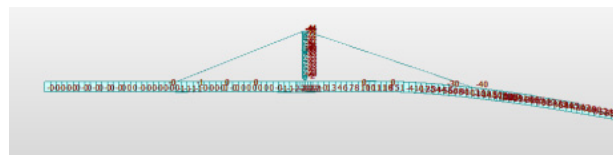


图4 工况五位移图(单位:mm)

工况九:钢梁出主墩悬臂 60m (多锚索二次张拉)

此为控制工况,1#、2#锚索张拉至 $4\times 175\text{t}$,3#、4#锚索至 $4\times 150\text{t}$,模型如图5所示,最大支反力 1099t (主墩),索力分布均匀(图6为索力图)。

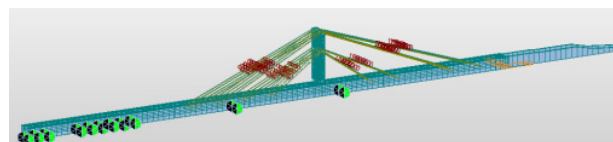


图5 工况九计算模型

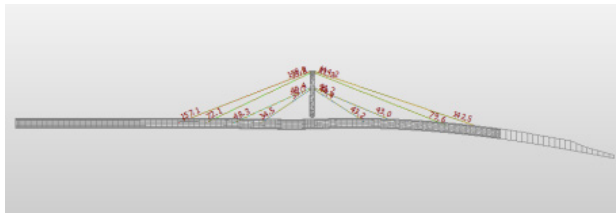


图6 工况九索力图(单位: t)

(三) 应力与位移控制

所有工况中, 导梁最大应力 $197\text{MPa} < 199\text{MPa}$ (Q345 钢), 钢箱梁最大应力 $158\text{MPa} < 199\text{MPa}$, 位移最大值 $<$ 规范限值, 结构刚度可靠。

四、临时设施稳定性验算

(一) 抗倾覆验算

导梁过第一跨时, 需保证拼装支架上钢箱梁长度 $\geq 30\text{m}$, 抗倾覆系数 $K=1.2 > 1.05$, 满足安全要求^[9]。

(二) 临时支墩验算

以受力最大的主墩临时支架为例(图7为结构图), 滑道梁最大应力 $190\text{MPa} < 199\text{MPa}$, 钢管应力 $127\text{MPa} < 145\text{MPa}$, 地基承载力 $139\text{kPa} < 260\text{kPa}$ (细沙地基), 强度与稳定性合格。

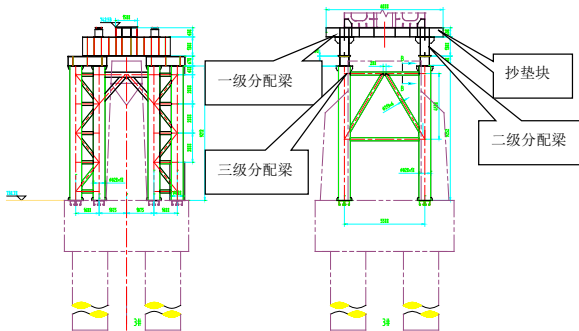


图7 主墩临时支架结构图

(三) 吊索塔架验算

塔架自重 80t , Midas 建模计算, 主肢最大应力 $194\text{MPa} < 199\text{MPa}$, 横桥向抗倾覆系数 $2.02 > 1.5$, 纵桥向 $1.8 > 1.5$, 稳定性满足要求。

五、结论

本研究从荷载计算、结构受力、临时设施三方面^[10]验证了跨江便道桥钢箱梁顶推施工的可行性——荷载计算合理: 顶推总阻力 185.5kN , 选用 2 台 150t 油缸(安全系数 1.3), 风载、水流量取值符合现场环境, 为结构计算提供精准输入; 结构受力安全: 18 种工况下, 钢箱梁最大应力 158MPa 、导梁 197MPa , 均小于许用强度, 支墩最大支反力 1360t 、锚索最大索力 168t , 在设计承载力内; 临时设施可靠: 抗倾覆系数 1.2, 临时支墩、吊索塔架的强度、刚度及地基承载力均满足要求。可为同类工程提供技术参考。

参考文献

[1] 廖印. 顶推技术在现代钢结构桥梁施工中的应用——以绵阳科技城涪江大桥建设项目为例[J]. 建设监理, 2024, (12): 99-101+114.
[2] 孙晓强, 岳新兴. 钢箱梁双导梁顶推施工关键技术[J]. 中外公路, 2024, 44(06): 204-212.
[3] 王纪源, 万刚, 陈甫君, 等. 曲线钢箱梁顶推施工中弯扭耦合效应影响研究[J]. 交通科技, 2024, (06): 82-87.
[4] 李三民. 大曲率小半径互通匝道钢箱梁跨线顶推施工技术[J]. 工程建设和设计, 2022, (24): 156-158. 肖俊, 王若愚. 城市高架桥多联超长钢箱梁顶推施工技术[J]. 中外公路, 2023, 43(06): 224-229.
[5] 王小娜. 钢箱梁顶推施工技术在桥梁工程中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (20): 140-142.
[6] 陈示光. 桥梁工程钢箱梁顶推施工技术[C]//《施工技术》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2021年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册). 中亿丰建设集团股份有限公司; 2021: 141-144.
[7] 刘海兵. 公路桥梁钢箱梁顶推施工技术[J]. 四川建材, 2021, 47(12): 129-130.
[8] 黄浩, 吴志刚. 高墩大跨径顶推施工钢箱梁桥方案设计[J]. 工程与建设, 2021, 35(06): 1171-1173.
[9] 叶洪波. 大跨径钢箱梁顶推施工关键技术研究[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(12): 82-84.
[10] 刘瑞, 姜荣剑, 韩亨通. 上跨高速公路钢箱梁顶推施工支架设计与检算[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2023, 22(04): 10-14.