

# 跨既有高速公路小半径曲线钢箱梁步履式顶推施工技术

韦 干

中铁上海工程局集团第五工程有限公司 广西 南宁 530000

**摘要:** 随着国内高速公路路网不断完善, 新旧高速公路之间需要通过增加枢纽作为交通转换, 而在跨越一些繁忙交通路网或需跨越障碍物的设计中, 往往选用了钢箱梁结构实现跨越。而在钢箱梁的安装方法选择上成为施工关键, 目前国内钢箱梁安装方法主要有满堂支架法、悬臂拼装法、顶推法等。

**关键词:** 跨高速公路; 小半径; 曲线; 钢箱梁; 顶推

**引言:** 本文主要介绍采用步履式顶推施工工艺高效完成跨高速曲线钢箱梁顶推施工。其工艺不仅能够高效、安全地完成桥梁建设, 减少对现有交通的影响, 而且它的精准施工能力在复杂地形和紧凑空间中优势更加显著。

## 1 工程概况

上林至横县高速公路工程黎塘北枢纽C匝道桥位于南宁市宾阳县黎塘镇境内, 采用 $(40+65+58+35) = 198\text{m}$ 跨连续钢箱梁, 上跨双向八车道的柳南高速, 平曲线曲率半径为 $480\text{m}$ , 竖曲线曲率半径为 $3400\text{m}$ , 单向纵坡为 $3.8\%$ 。横断面采用单箱双室截面, 底板水平设置, 底板宽度为 $7\text{m}$ ; 顶板设 $3\%$ 的单向横坡, 顶板宽度 $10.5\text{m}$ ; 边、中腹板采用直腹板; 钢箱梁划分为10个拼装节段, 梁段长度在 $14\text{m}\sim 22\text{m}$ , 最大梁节段重量(K5节段)约为 $163\text{t}$ , 全桥钢箱梁总重量约为 $1412\text{t}$ 。

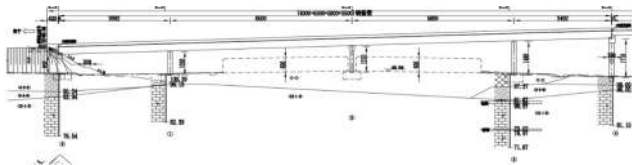


图1 黎塘北C匝道第一联跨径布置立面图

## 2 技术复杂程度分析

根据桥梁结构特点以及地理环境等要素分析, 该桥梁主要存在以下技术难题:

### 2.1 上跨既有高速公路涉路施工安全风险高

桥梁上跨既有柳南高速, 该高速公路为双向八车道, 日常交通繁忙, 2号主墩位于既有柳南高速中央分隔带内, 墩身高度 $12.6\text{m}$ , 主墩及顶推临时支墩的施工安全风险较高。

### 2.2 小半径曲线钢箱梁顶推施工技术难度大

主梁采用单箱双室全焊钢箱梁, 中心梁高 $3\text{m}$ , 梁底板宽度 $7\text{m}$ , 顶板宽度 $10.5\text{m}$ ; 轴线为曲率半径 $480\text{m}$ 的圆曲线, 顶推主跨为 $65\text{m}$ , 小半径曲线钢箱梁多点步履式顶

推同步性要求高、顶推施工精度要求高、技术难度大。

## 3 理论分析研究

### 3.1 有限元计算模型

采用MIDAS进行施工阶段有限元计算分析, 钢箱梁顶推至成桥状态阶段考虑如下:

- (1) 钢箱梁和导梁采用梁单元模拟;
- (2) 导梁与钢箱梁连接处采用刚性连接;
- (3) 临时墩、胎架上的步履设备用一般连接模拟;
- (4) 墩顶永久支座用一般连接。

### 3.2 顶推阶段竖向挠度计算结果

根据计算结果, 钢箱梁最大竖向挠度和导梁最大挠度均出现在: 向前顶推 $55\text{m}$ 顶推至第二跨导梁最大悬臂状态工况。其中, 钢箱梁最大竖向挠度为 $-217\text{mm}$ ; 导梁最大竖向挠度为 $-800\text{mm}$ <sup>[1]</sup>。

### 3.3 成桥阶段结构验算

第一, 钢箱梁在整个顶推过程中变化相对较小, 最大竖向挠度为 $-217\text{mm}$ , 出现: 在向前顶推 $55\text{m}$ 顶推至第二跨导梁最大悬臂状态工况。最不利状态下, 钢箱梁局部应力最大值为 $216.7\text{MPa}$ , 小于规范允许的 $270/1.1 = 245.5\text{MPa}$ , 满足顶推控制要求;

第二, 导梁在最不利状态下, 最大应力出现在导梁根部与箱梁顶板焊接部位, 最大应力为 $175.7\text{MPa}$ 。导梁腹板最大应力出现在第二个变截面区域, 最大应力为 $166.5\text{MPa}$ , 均小于规范允许的 $270/1.1 = 245.5\text{MPa}$ , 满足顶推控制要求;

第三, 钢箱梁顶推施工过程中的最大悬臂状态(上2#墩)的整体稳定性以面内失稳为主, 1阶屈曲特征值为 $74.3$ 大于 $4$ , 整体稳定性满足规范要求;

第四, 活载竖向位移值为 $23\text{mm}$ , 小于 $L/500$ ( $L$ 为最大竖向位移跨径), 结构刚度满足要求。

## 4 特殊条件下主要施工建造技术

### 4.1 狭窄空间下曲线钢梁万向拼装台座巧妙设计

利用0#桥台后方路基段合理布置钢箱梁临时存放区、履带吊站位区、胎架分块拼装区、梁段焊接区及导梁拼装区等。胎架根据理论顶推线型设置成斜坡，钢箱梁拼装胎架采用条形基础+型钢结构，在型钢顶部采用2mm不锈钢板铺设成可自由滑动的滑道，并在箱梁底部采用竹胶板和四氟滑板抄垫，竹胶板与箱梁底板接触增加摩阻力，四氟滑板与不锈钢板接触减少摩阻力，使钢箱梁分块拼装、整体滑移前进或横向纠偏中任意方向的调整。并在滑道两侧设置拖拉反力架，反力架前端安装穿心式自锚液压千斤顶，后方采用倒扣托盘，通过钢丝绳作为牵引绳可使钢箱梁整体前移<sup>[2]</sup>。

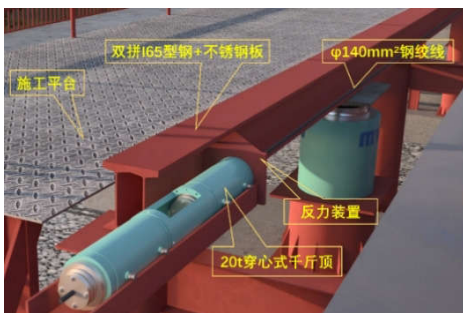


图2 反拉装置

4.2 依托桥梁墩身设计大吨位顶推支墩，实现永临结合。利用桥梁墩柱承台作为顶推支墩立柱的扩大基础，采用钢管横联系与立柱焊接形成横联系，将立柱间与永久墩身埋设的预埋钢板焊接，提高了临时顶推支墩整体稳定性和地基承载力。

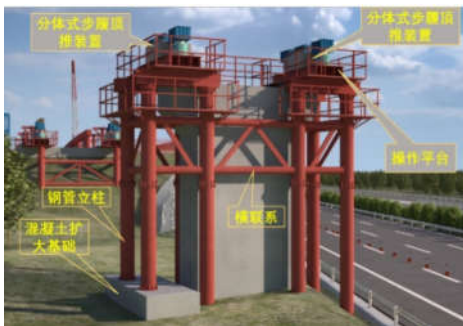


图3 顶推支墩

4.3 曲线钢导梁设计，辅助曲线钢梁顶推过跨。曲线钢导梁采用变截面设计，总长度40m，为便于安拆，将钢导梁分为5个拼装节段，以提高工效。此外，还将钢导梁设计与钢箱梁曲线一致的线型，实现曲线顶推时辅助钢箱梁顺利迎墩。

4.4 多点分离式步履顶推装置智能化控制，降低人员安全风险

#### 4.4.1 分体式步履顶推装置

分体式步履顶推装置包括1个滑箱、1个滑道，3块

MGE滑板、1台80t平移千斤顶、2套40t千斤顶纠偏部件、2套钢棒纠偏部件和4台800t外置顶升千斤顶。

#### 4.4.2 液压泵站

液压泵站是步履式顶推设备的专用液压系统，为分体式步履顶推装置提供动力源，通过泵站输出的液压力驱动顶升、平移及纠偏千斤顶，从而实现重物的顶升、移动及纠偏动作。系统采用1台泵站驱动2台分体式步履顶推装置的方式，综合顶推速度可达3-4m/h，同步精度可达±2mm。

#### 4.4.3 步履顶推控制系统

控制系统的控制站分为1个主站和N个从站，采用工业控制网进行通信链接，组网连接方式为总线式。通过步履顶推控制系统可实现1人同步远程控制多台步履式顶推装置的竖向顶升、纵向顶推、横向纠偏，安全灵活<sup>[3]</sup>。

#### 4.5 曲线钢箱梁分级同步控制，实现高精度顶推

步履式顶推施工是一项循序渐进的过程，主要操作步骤如下：

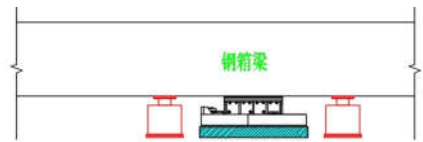


图4 设备就位，处于初始状态（第一步）



图5 竖向顶回程脱离梁底，荷载完全转移到滑箱上（第二步）

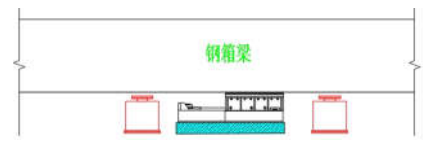


图6 水平千斤顶推动滑箱带动梁体向前顶推一个步距（第三步）

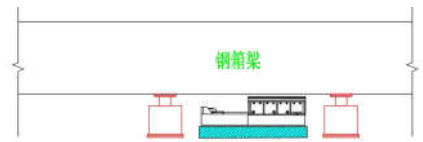


图7 竖向千斤顶起顶，使梁体脱离滑箱，完成体系转换（第四步）

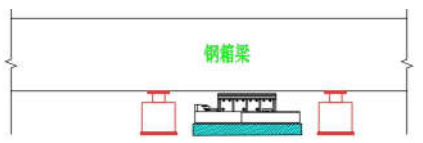


图8 水平千斤顶空载回程，复位等待（第五步）

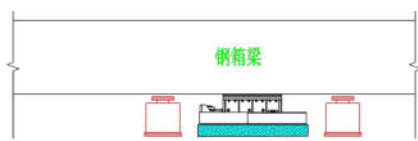


图9 竖向顶回程，将荷载转移至滑箱，回到初始状态，重复第一步完成钢箱梁往前顶推工序（第六步）

由于步履顶推在施工过程中，钢箱梁需要随着设计的圆曲线进行顶推前进；但步履式千斤顶自身的性能特点，在纵向顶推一定长度后，需横向纠偏，以达到钢箱梁在顶推过程中能按照设计线形进行顶推。顶推横向纠偏步骤如下：

第一步，按照设定好的方向顶推，一般每顶推3个行程测量一次；

第二步，技术人员测量钢箱梁前端和末端控制点，并计算出已偏移数值及方向；

第三步，主控室工作人员通过技术人员测算的数值启动步履顶推装置的横向千斤顶，按照指令对箱梁整体进行移位；

第四步，测量人员复核箱梁已回到设计曲线位置后，下达继续顶推前进指令；

第五步，重复上述步骤，直至顶推完成。

此外，在每个步履顶推装置上安排专人进行观察，若出现箱梁与步履顶推装置脱空现象，则对步履式顶推设备或箱梁进行位置调整。

#### 4.6 支座安装及落梁施工

钢箱梁顶推至设计里程并进行线型调整后，安装永久支座，并在各墩顶两侧各安装一台400t受力体系转换千斤顶，将钢箱梁整体顶升受力后，拆除步履式顶推装置，置换抄垫钢板，然后通过千斤顶回顶落梁、竖向千斤顶抽出钢板再次起顶受力、抽出部分置换抄垫钢板、再次回程的方式逐层将钢箱梁降落至设计值即完成钢箱梁的安装。

### 5 涉路顶推施工安全保障措施

#### 5.1 严格按照设计线型拼装梁体，确保满足设计要求

采用履带吊将钢箱梁吊装上拼装胎架后，利用水准仪将主梁和悬臂节块按设计纵横坡调整组拼焊接，总拼时，根据母梁计算出拼装定位高程控制数据指令，经监理工程师复核无误后方可总拼，总拼监控测量需在夜间低温时进行高程及平面位置调整，保证梁各个节段拼接线型满足设计要求。

#### 5.2 实时监控顶推走向，确保顶推安全稳定

顶推时在梁端设置两组测量人员，利用高精度全站

仪对梁体的位置进行实时监控，发现偏位大于10cm时，立即反馈总控室，通过顶推设备自身功能进行纠偏。顶推过程中，对钢箱梁及导梁的中线偏位，顶推平台、临时支墩的水平和竖向位移，临时支墩位移进行监测，在导梁前端、尾端，箱梁前端尾端安装固定小棱镜组，顶推时监控人员无需上梁。顶推前，分别在导梁、箱梁及临时支墩上设置应力监测装置实时监控各工况的应力情况，实时监控、复核各部位构件的应力情况，一旦发现即将超限，则利用千斤顶进行顶升或降落，以分散各支点的荷载。

#### 5.3 实行智能、人工多向控制，及时纠偏

顶推过程中，采用高精度全站仪进行实时监控，当箱梁轴线偏移超过预定值（ $\pm 100\text{mm}$ ）后，及时在顶推行进过程中对箱梁进行纠偏工作，使梁回到预定位置，同时各个支墩步履器周边安排人员盯控千斤顶、泵站和主控台的工作情况，确保步履设备正常运转；在滑移过程中，随时检查钢垫块、橡胶板的磨损情况，一旦发现梁体有偏移或者偏压状态，立即对垫块进行调整，确保受力均匀。

结语：使用该技术研发了《一种万向曲线钢箱梁万向拼装胎架》，取代以往轨道式滑靴底座的工艺，实现曲线钢箱梁在万向拼装胎架上实现任意角度调整，提高了拼装精度和施工效率；研发了《一种曲线钢箱梁顶推施工中的反拉装置》，实现在不破坏钢箱梁漆面的情况下，辅助完成钢箱梁滑移拼装；根据桥梁线型设置40m曲线变截面钢导梁辅助顶推，实现65m的单跨跨越，解决了钢箱梁顶推过程中应力超限的问题。采用LSD液压控制系统同步控制分离A式步履顶推装置，实现在高速公路正常通车情况下，稳步完成钢箱梁安装，落梁后相邻纵向支点最大高差为3mm（规范 $\pm 5\text{mm}$ ），轴线最大偏差-6mm（规范 $\pm 10\text{mm}$ ）；在最大悬臂状态下，应力实测增量最大值分别为74.51MPa和-108.42MPa，落梁后应力实测增量最大值分别为16.71MPa和-20.11MPa，满足设计及规范要求。

#### 参考文献

- [1] 丰正伟, 燕鹏, 林龙镔. 多节段曲线形钢箱梁顶推施工技术[J]. 钢结构. 2017, (11).
- [2] 李惊蛰. 空间曲线连续钢箱梁顶推施工技术[J]. 铁道标准设计. 2008, (10).
- [3] 徐有班. 曲线钢箱梁桥顶推施工控制方法研究[J]. 中州建设. 2023, (3).