

# 大纵坡小曲线移动模架现浇梁施工关键技术

严少发,危志豪,毛志刚,陆兵

(中交一公局集团有限公司,北京市 100024)

**摘要:**大纵坡、小平曲线半径桥梁连续曲线梁采用移动模架施工具有一定的技术难度,特别是在模板调整、过跨等方面难度较大。该文以黑山共和国南北高速公路乌瓦茨四号桥为工程背景,从底模调整、侧模调整、体系转换、纵移过跨等方面介绍中东欧山区大纵坡小曲线半径移动模架现浇梁施工关键技术,区别中国以直代曲的施工方法。

**关键词:**山区移动模架;大纵坡;小曲线半径;现浇连续梁

## 1 工程概况

黑山 BAR 港至北部城市 BOLJARE(毗邻塞尔维亚)高速公路主干道是由黑山交通和海事部主导建设的重点基础公路项目,建成后将并入国际公路交通网。路线全长 40.871 km,其中 UVAC4 桥为现浇空心箱梁桥,梁宽 9.9 m、梁高 2.5 m,左右幅共 40 跨,桥梁全长 1 694 m,标准跨径 45 m,梁部第二联、第三联采用移动模架进行施工。左线桥纵坡为 0.5%下坡,右线桥纵坡由 0.81%变至 1.4%(先下坡后上坡);最大横坡为 5.5%,平曲线半径  $r=700$  m,主梁横坡的变化是主梁整体变化,梁高保持不变。右线移动模架施工梁跨立面图见图 1,箱梁截面见图 2。

体抬升产生附加内力,在地震状态还可以发挥减隔震效能。

马尾大桥已更名为三江口大桥,于 2019 年 1 月建成通车,目前支座运营状况良好。

## 参考文献:

- [1] 庄军生. 桥梁减震、隔震支座和装置[M]. 北京:中国铁道出版社,2010.
- [2] 袁安华. 减隔震支座在大跨长联预应力连续梁中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版),2019(9).
- [3] Zayas VA, Low SS, Mahin SA. The FPS Earthquake Resisting System[R]. Technical Report UCB/EERC-87/01, University of California, Berkeley, 1987.
- [4] 张常勇,钟铁毅,李徐. FPS 隔震简支梁桥近断层地震响

## 2 移动模架结构及特点

### 2.1 移动模架结构

该桥使用的设备为 DXZ45/860 型下承自行式移动模架。模架总长 93.3 m,主梁中心距 8.6 m,结构主要部件材质为 Q345b,结构自重约 600 t(不含内模、墩顶散模),设计承载力 8 600 kN,设备使用环境为:  $-20\sim 40$  °C。其结构如图 3、4 所示。

### 2.2 移动模架特点

(1) 采用欧标模块化装配式设计,灵活程度、自动化程度高,增设压力监测模块、天气预警模块,对山区适应性强,能满足欧洲环境施工要求。

(2) 导梁与主梁铰接,折线式导梁适用小平曲线

应研究[J]. 世界桥梁,2014(5).

- [5] 夏修身,崔靛波,陈兴冲. 超长联大跨连续梁桥摩擦摆支座隔震研究[J]. 工程力学,2015(S1).
- [6] 王志英,张常勇. 大跨度连续钢桁梁桥摩擦摆支座减隔震设计分析[J]. 桥梁建设,2015(2).
- [7] 刘峰,陶诗君,王振海. 基于摩擦摆支座的连续梁桥减隔震设计方法[J]. 公路,2015(6).
- [8] 李宝坤,张盼盼. 设置速度锁定支座的大跨桥梁结构的抗震性能研究[J]. 公路交通科技(应用技术版),2018(4).
- [9] 焦驰宇,胡世德,管仲国. FPS 抗震支座分析模型的比较研究[J]. 振动与冲击,2007(10).
- [10] 舒江,李志刚,等. 福州马尾大桥主桥设计关键技术[J]. 桥梁建设,2018(5).
- [11] 占玉林,张磊,等. 摩擦摆支座参数对隔震桥梁地震响应的影响[J]. 桥梁建设,2018(3).

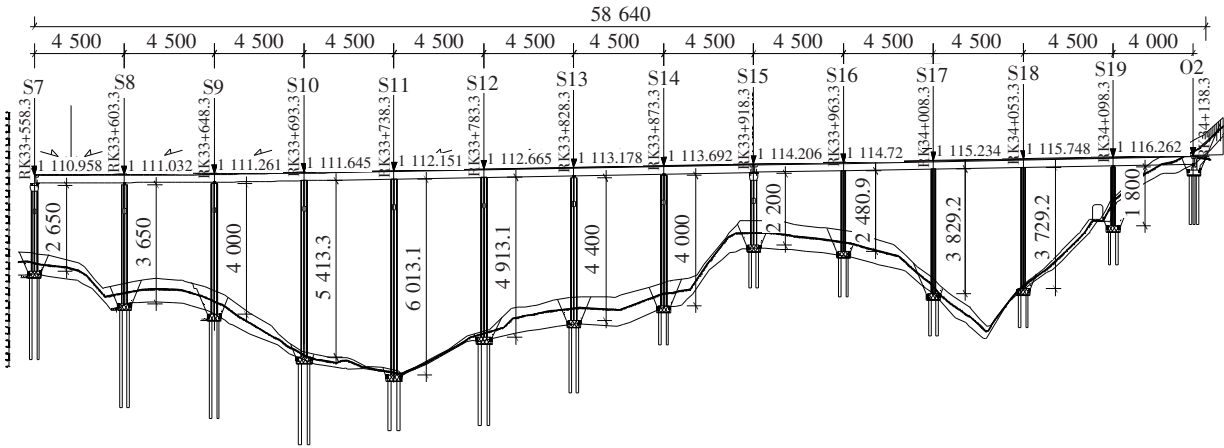


图1 UVAC4右线桥移动模架施工部位立面图(除标高、里程桩单位为m外,其余:cm)

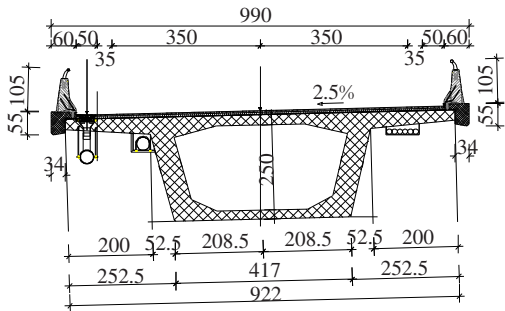


图2 UVAC4桥箱梁截面示意图(单位:cm)

半径过孔,适用于纵坡达3%,横坡达5.5%,曲线半径最小为700m的梁型。

(3) 托架牛腿承载方式抗风能力强,抗倾覆稳定性好。

(4) 行走系统采用液压轮式行走,水平阻力小,对薄壁墩结构影响小。

3 结构验算

通过 SAP2000 有限元分析软件采用极限状态法

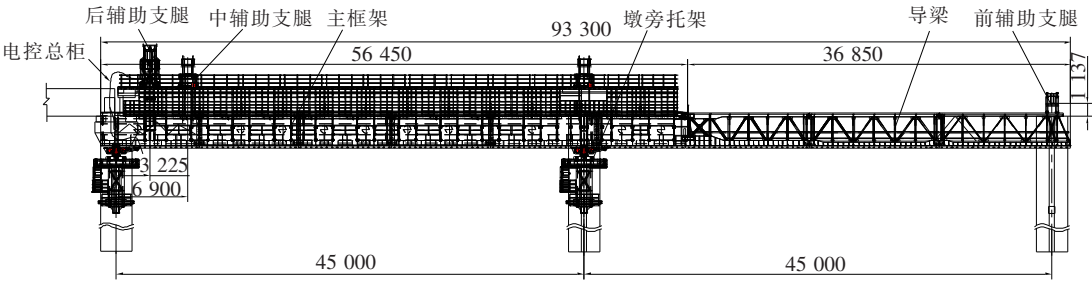


图3 UVAC4桥移动模架立面图(单位:mm)

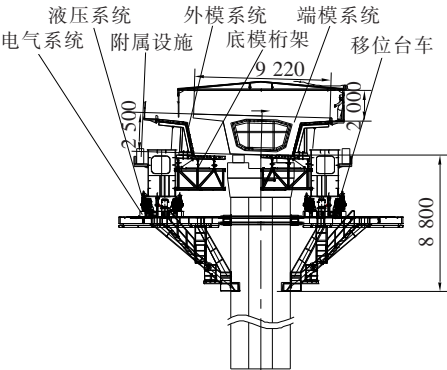


图4 UVAC4桥移动模架标准截面图(单位:mm)

对移动模架主要结构进行结构验算,主梁采用梁单元模拟,导梁采用桁架二力杆单元模拟,分别赋予杆件相应的截面特性、材料属性及边界条件,模型见图5。

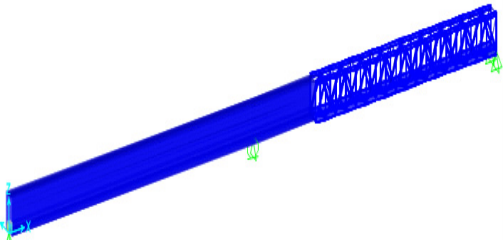


图5 移动模架主导梁验算模型

### 3.1 工况 1:自重作用

(1) 强度验算:移动模架吊装过程中,在 1.35 永久荷载作用下,主梁应力比为 0.31,导梁杆件应力比为 0.23,满足规范要求。

(2) 刚度验算:在 1.0 永久荷载作用下,主梁最大变形 15 mm,导梁前端变形 142.9 mm。导梁前端变形较大。

### 3.2 工况 2:首跨浇筑(45+9) m

(1) 强度验算:支架浇筑过程中,1.2 永久荷载+1.4 可变荷载+1.4×0.6 风荷载(10 年)作用下,主梁应力比为 0.83,导梁杆件应力比为 0.4,满足规范要求。

(2) 刚度验算:在 1.0 永久荷载+1.0 可变荷载+0.4 风荷载作用下,主梁最大变形 89 mm,导梁向上变形 36 mm。导梁前端有上翘的趋势。 $89/45\,000 = 1/506 < 1/400$ ,满足要求。1.0 倍活荷载作用下的挠度为 64 mm, $64/45\,000 = 1/703 < 1/700$ ,满足要求。

### 3.3 工况 3:标准跨浇筑(36+9) m

(1) 强度验算:支架浇筑过程中,在 1.2 永久荷载+1.4 可变荷载+1.4×0.6 风荷载(10 年)作用下,主梁应力比为 0.765,满足要求。

(2) 刚度验算:在 1.0 永久荷载+1.0 可变荷载+0.4 风荷载作用下,主梁竖向挠度最大值为 80.8 mm,导梁向上变形为 31 mm, $80.8/45\,000 = 1/557 < 1/400$ ,满足要求。1.0 倍活荷载作用下的挠度为 52 mm, $52/45\,000 = 1/865.4 < 1/700$ ,满足要求。

### 3.4 工况 4:末跨浇筑 36 m,此时导梁已拆除

(1) 强度验算:支架浇筑过程中,在 1.2 永久荷载+1.4 可变荷载+1.4×0.6 风荷载(10 年)作用下,主梁应力比为 0.95,满足要求。

(2) 刚度验算:在 1.0 永久荷载+1.0 可变荷载+0.4 风荷载作用下,主梁最大挠度为 62 mm,外悬臂主梁上翘 55 mm, $62/45\,000 = 1/725 < 1/700$ ,满足要求。

将复核计算结果与厂家设计书结果进行对比,差值较小,而且支点反力均小于牛腿托架承载力标准值,满足结构安全使用要求。

## 4 施工方案概述

### 4.1 移动模架施工流程图

移动模架施工流程图见图 6。

### 4.2 移动模架施工工艺概述

(1) 移动模架拼装调试完毕后,调整底模、侧模位

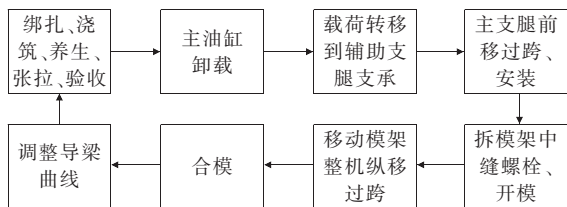


图 6 移动模架施工流程图

置及标高,设置预拱度。绑扎箱梁底腹板钢筋并安装预应力钢束,安装内腔模板并调整位置及标高。绑扎箱梁顶板钢筋,安装端头模板,检查并报检通过,完成首跨(45+9) m 混凝土浇筑。洒水覆盖养生,待强 5 d,拆除内模,预应力张拉压浆。

(2) 墩旁托架上的移位台车主油缸为 7 cm,使模架脱离混凝土。调整前、中、后辅助支腿,吊挂起移动模架。解除墩旁托架左右连接,收缩钩挂油缸使托架脱空。启动横移油缸,使托架相对于台车向外横移 70 cm,避开桥墩。在纵移油缸驱动下,墩旁托架向前过跨(如图 7、8),在前墩重新张拉固定。

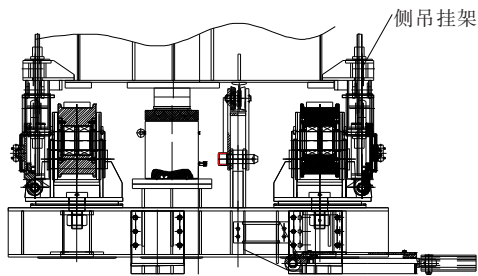


图 7 墩旁托架吊挂在主梁下方

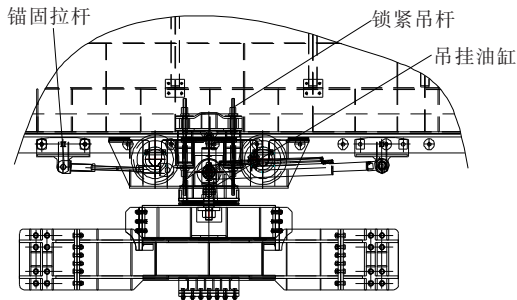


图 8 纵移油缸推动,步履向前

(3) 前、中、后辅助支腿竖向油缸回缩约 100 mm;移动模架前方下落在移位台车滑道上,后方由后辅助支腿承载。松开前辅助支腿支撑;解除中辅助支腿拉杆螺纹钢。解除底模桁架、底模、前辅助支腿中部的连接螺栓。移动模架在前、后墩旁托架及后辅助支腿横移油缸作用下,向两侧横移约 2.4 m 开模,过跨前

各辅助支腿状态如图9所示。模架横移到位后对前后两个墩旁托架上的移位台车进行微调,确认前后两个移位台车的中心线与主梁的中心线重合,以保证主梁前移过程中不与移位台车上托辊轮缘发生摩擦。

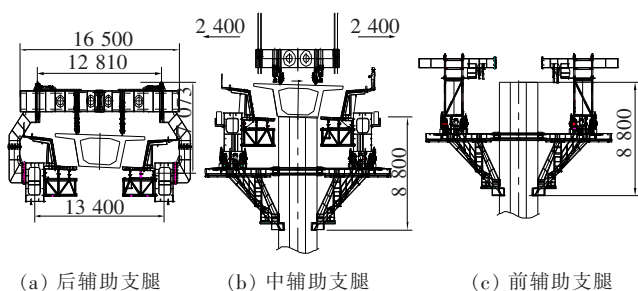


图9 辅助支腿过跨状态示意图(单位:mm)

(4) 移动模架在墩旁托架移位台车的纵移油缸推动下,同步前进,移动模架到达新的制梁位。移动模架开始过孔,用销子把纵移油缸自由端连接在纵向推进连接钢板上,开动油泵给纵向千斤顶进油,千斤顶伸长,推动主梁前移。千斤顶伸长接近100 cm时停止进油,并拔出纵向推进连接板上的固定销子,然后千斤顶回油,顶杆回缩完毕后重复以上步骤,继续纵移。当模架纵移至接近设计位置时,放慢前移速度直至指挥人员查看,确认达到设计要求位置时,方可停止纵移。

当曲线行走时,后辅助支腿的横移油缸作配合横移,每纵移2~5 m时,横移油缸推动模架尾部摆动一个距离,完成曲线过跨。当 $R=700$  m最小曲线半径时,过跨时导梁前端到达前方桥墩,利用前辅助支腿千斤顶支顶配合,将导梁折曲 $3^{\circ}\sim 4^{\circ}$ ,主梁与导梁连接螺杆伸长约133 mm,然后将螺杆紧固。底模桁架及外模横移合龙就位。前、后移位台车主油缸顶升模架就位并调整模板。施工缝后方2.1 m处吊挂中辅助支腿。绑扎底、腹板钢筋,立内模,绑扎顶板钢筋,浇注中间标准段45 m混凝土。按照以上施工、过孔步骤,完成余下箱梁浇筑。

## 5 施工控制要点

### 5.1 底模板调整

底模板面(中)距桁架安装面高 $H_0=873$  mm;螺杆伸出量 $h=260$  mm(露出部分)。各撑杆的最终调节高程 $H=H_0+\Delta_1$ (预拱值)+ $\Delta_2$ (横坡值)。调底模板拱度:根据预压结果的测量数据(后续跨为实测修正值)、主设计给定的梁体预拱度值、初定底模板的预拱

度,调节底模撑杆的高度。每侧底模共12块,设主梁预拱度为 $\Delta_1$ ,则两跨间,1/2跨内每块模板的高度计算如下(另一半对称):

$$H_i = H_0 + \frac{L_i}{22.5} \times \Delta_1 \quad (1)$$

式中: $L_i$ 为每块模板的纵向距离(m); $H_0$ 为底模面距桁架支承面的基本高度。

调底模板横坡根据横坡值计算(外)撑杆的调坡高度: $\Delta_2 \approx \pm 4170 \times i\%/2$ ,所以底模撑杆的最终调节高程 $H=H_i+\Delta_2$ (横坡值)。

### 5.2 侧模曲线调整

根据梁体的结构尺寸图,在底模板上测绘出梁形曲线的坐标,将侧模对应固定。侧模的拼接缝用骑缝板封闭。当梁平曲线的弦高 $H \leq 200$  mm时,可以设置曲线在底模板中缝一侧(图10);当曲线的弦高 $H \geq 200$  mm时,取曲线的1/2弦高(割距)对齐底模板中缝(图11),模板调整到位,根据设计值,核查模板对角线长度 $x$ 值以及模板底口净距离 $a$ 值(图12)。

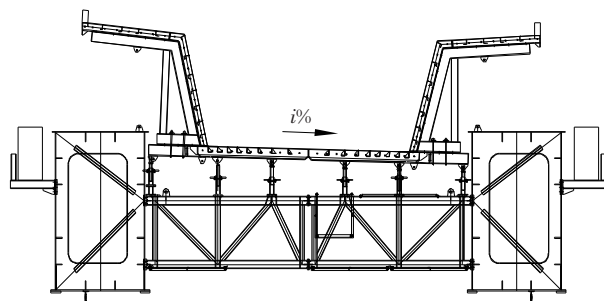


图10 底模横坡调整示意图

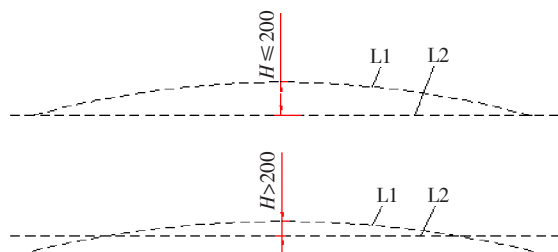


图11 侧模弦高关系图(L1:梁形中心线, L2:底模板中心线)(单位:mm)

### 5.3 体系转换

(1) 后辅助支腿支承在梁面轨道上,油缸顶升承载,装销轴保护,必要时加垫板。

(2) 中辅助支腿“水平”支承枕木上(或砂箱),必须使行走轮脱空,安装 $\phi 40$  mm螺纹吊杆并张拉预紧(30%设计值)。



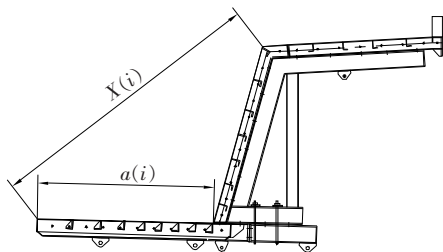


图 12 侧模安装后尺寸复核示意图

(3) 前辅助支腿用 30 t 千斤顶支承,保证主支腿过跨空间,并锚固牢固。

(4) 主油缸继续卸载,与主梁脱空 10 mm 静载观察 20 min,无沉降,方可继续下步动作。墩旁托架螺杆张力,要求分级张拉(至少 2 级),以确保每根张拉钢筋受力均匀。最终张拉力为 25~27 t(30 MPa),初张拉力控制为 20 t(23 MPa)。

(5) 移除梁面及作业面上杂物,确保作业空间整洁安全,同时操作墩旁托架两侧的主油缸,缓缓顶升使安全锁定螺母松开并且上旋 5 cm。油缸卸载时,要求墩旁四支主油缸同时缓缓下落,以确保移动模架在落架过程中整体安全稳定。

#### 5.4 移动模架整机纵移过跨

(1) 由于导梁悬臂状态下前端下垂,过孔前要求导梁、主梁直线度偏差不大于±(50~30) mm,当偏差较大时,可微调后支腿的高度来满足施工要求。但当由缓上坡走向陡坡时偏差值应当为正值;当由缓下坡走向陡下坡时偏差值应当为负值。

(2) 弯道过跨时,后辅助支腿需要摆偏(后辅助支腿的横移油缸作配合尾部横移),每个行程的偏移量计算如下(以右线 S7~S9 跨为例):

$$\chi = \frac{\text{前墩中心偏移量}(a=1\text{ m})}{\text{跨径}(45\text{ m})} \times \text{纵移距离}$$

(1 m)=22 mm

当横坡为 5.5%、平曲线半径为 700 m 的梁跨,需要将导梁调折线、变角度完成小曲线过跨。过跨时导梁前端到达前方桥墩,利用前辅助支腿千斤顶支承配合,将导梁折曲 3°~4°,主梁与导梁连接螺杆伸长约 133 mm,然后将螺杆锚固(图 13)。

(3) 过跨过程中,安排专人对前托架“擦轮缘”、后辅助支腿吊带的偏斜情况进行观测。要求每次行程

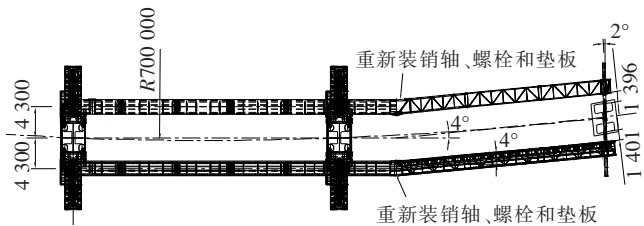


图 13 移动模架折线过跨示意图(单位:mm)

1 m,同步推进。纵移过程换行程时,可采取防溜坡措施(如塞垫木楔块等)。

## 6 结语

黑山南北高速公路 UVAC4 桥已圆满完成移动模架现浇梁所有施工任务,充分验证了该施工工艺在大纵坡、小平曲线半径桥梁的适用性、安全性。该文对东欧山区大纵坡小平曲线半径移动模架关键施工技术底模调整、侧模调整、体系转换、纵移过跨等进行了较为详细的介绍,同时也对施工工艺进行了概述,可为后续类似梁形采用移动模架施工提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 中国铁道建筑总公司. 移动模架法制梁施工技术指南[M]. 北京:中国铁道出版社,2006.
- [2] 曹淑学,皮军云. 跨海大桥混凝土箱梁移动模架施工技术[J]. 中外公路,2019(4).
- [3] 王芳,侯晓莉. 移动模架(MSS)在南京长江三桥中的应用[J]. 铁道建筑,2007(7).
- [4] 杨遵俭,刘钧泉,左宜军. 移动支撑系统在南京二桥的应用[C]. 中国公路学会桥梁和结构工程学会 2000 年桥梁学术讨论会论文集,2000.
- [5] 王志刚,余顺新,陈亚莉. 桥梁快速建造技术[J]. 中外公路,2018(4).
- [6] 师健,拓守盛,张文格. 移动模架法在桥梁上部结构施工中的应用技术[J]. 铁道建筑技术,2007(z1).
- [7] 罗向晖. 桥梁移动模架施工技术[J]. 中国西部科技,2008(18).
- [8] 王文秀. 移动模架施工技术[J]. 铁道建筑技术,2008(6).
- [9] 陇永军. 小议移动模架法现浇箱梁施工技术[J]. 建筑工程技术与设计,2015(14).
- [10] 夏飞,高凡丁. 高墩小半径桥梁的现浇设计对比分析[J]. 中外公路,2016(2).