

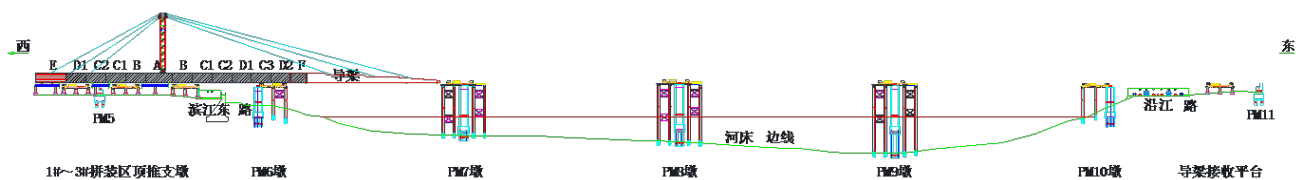
# 钢箱梁双幅步履式大跨度同步顶推关键技术研究

韦 干 何 鹏

中铁上海工程局集团第五工程有限公司 广西 柳州 546100

**摘 要:** 凤凰岭大桥主桥为 (96+124+3×130+90) m = 700m 等高连续双箱组合梁公轨两用桥, 梁高 6.5m, 桥面标准断面宽 46.6m, 底板宽 2×13.61m, 中墩墩顶处局部加宽至 48.6m。全桥共分为 12 种类型、55 个梁段, 标准梁段长度为 12m, 最大梁段重量约为 634.190t, 梁体总重约为 19000t。

为了满足柳江 II 级航道通行的要求, 研发了 130m 跨钢索式步履顶推施工技术, 针对长达 130m 钢箱梁单跨顶推, 在梁前端设置 80m 变截面钢导梁, 在钢梁上设置 36m 高塔架, 塔架采用 4 个铰支座及 24 根可调式预应力索及塔架主体组成, 顶推过程中可根据不同工况对预应力索进行张拉调整, 实时改善梁体的受力及挠度, 解决大跨度顶推梁体局部应力过大超限、顶推支墩支反力超限等难题。



顶推布置图

**关键词:** 钢箱梁; 大跨度; 同步顶推;

## 1 引言

随着社会经济的发展, 我国越来越多的新建桥梁以钢结构的形式代替了原先的混凝土结构, 尤其是现代钢箱梁、钢桁梁、钢混组合梁等结构更是在跨江跨河大桥中应用广泛。可以使得钢箱梁在设计上体量更大、造价更低; 在施工上安装更快、风险更低等优点。尤其是在钢箱梁安装常采用的顶推滑移施工工艺, 可以根据施工环境和施工能力往更大跨度发展。

为解决双幅同步性步履式长距离顶推施工技术难题, 通过实践应用, 成功解决了 130m 单跨度钢箱梁顶推的安装难题。

## 2 施工准备

### (1) 技术准备

① 制定顶推施工方案进行方案比选, 从经济性、安全性、适用性等方面综合考虑最优的顶推施工方案。

② 结合永久桥墩自行设计一套完整的顶推临时支墩, 采用 Midas Civil 和 ANSYS 软件建立整体模型对钢梁顶推工况进行精细地分析计算, 分析钢梁、支架以及临时塔架的应力、强度、刚度和稳定情况, 形成检算成果资料经审批后作为施工过程监控依据。

③ 编制详细的施工进度计划, 制定施工节点, 确保洪水前水中临时支架、承台墩身全部施作完成;

④ 建立全桥 BIM 模型, 将 LSD 同步液压顶推系统结合物联网技术研发《钢梁顶推智能监控指挥系统》, 加强安全监控辅助措施。<sup>[1]</sup>

### (2) 现场准备

① 制定钢梁板单元运输路线, 合理布置制造区、运梁通道、存梁区、涂装区、喂梁区、顶推区、导梁接收平台等作业区域, 对钢梁拼装区域软弱地基进行换填、硬化。

② 提前到海事部门办理水上作业施工许可证, 与附近水文站了解近几年洪水情况及周边流域的水文情况; 并分析和预判施工期间洪水标准。

③ 布设测量导线控制点, 安装支架应力传感器、支架位移监测点、钢梁线型监测点, 采集原始数据。

## 3 施工工艺流程

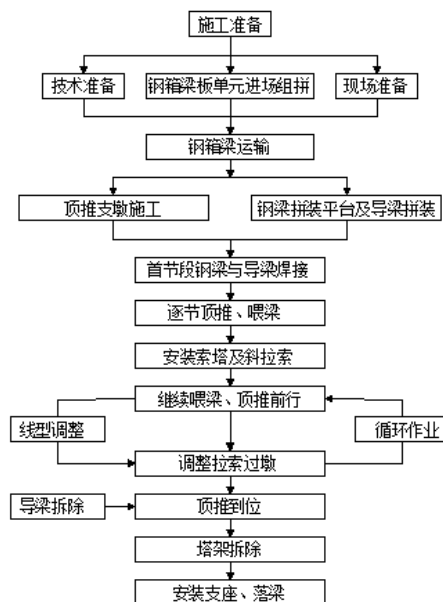


图 3.1 工艺流程图

## 4 关键技术

### 4.1 钢梁拼装平台施工

钢梁拼装平台主要用于喂梁完成后钢箱梁梁段之间环缝焊接时的工作平台, 拼装焊接平台总长度66m, 纵桥向总共7设排立柱, 跨度 $3 \times 12\text{m} + 3 \times 10\text{m}$ , 每排设置钢管立柱4根, 钢管柱之间采用 $[20$ 、 $[16$ 槽钢进行连接, 钢管立柱底部设置混凝土扩大基础上, 基础尺寸为 $2\text{m} \times 2\text{m} \times 0.8\text{m}$ 。钢管立柱顶部设置 $156\text{a}$ 双拼工字钢横梁, 双排双层 $156\text{a}$ 工字钢纵梁滑道。除纵梁区域, 其他区域设置 $114$ 工字钢分配梁, 间距 $40\text{cm}$ , 分配梁上方满铺 $6\text{mm}$ 钢板, 作为焊接操作平台。

### 4.2 导梁拼装

导梁采用桁架式变截面型钢组合导梁, 长度为 $80\text{m}$ , 共分8个节段, 长度分别为 $(9.41\text{m} + 10.59\text{m} + 6 \times 10\text{m})$ 首节导梁与钢梁F节段直腹板与顶、底板对接, 顶、底板设置 $3.0\text{m}$ 宽联接加宽段, 首节导梁腹板两侧加劲纵肋与钢梁直腹板设置 $1\text{m}$ 搭接长度, 采用双面角焊缝。为了方面导梁上墩, 在导梁最前端设置宽度 $1.95\text{m}$ , 高度 $70\text{cm}$ 的鼻端。导梁采用 $260\text{t}$ 汽车吊分节段拼接的方式, 从根部逐节拼接到端部, 每节拼装完毕, 立即连接导梁横向联系。

### 4.3 顶推支墩施工

部分顶推支墩利用原桩基钻孔平台锚固桩接高至设计标高, 满灌混凝土作为顶推支墩立柱, 每个支墩设计 $16$ 根钢管柱。顶推支墩纵梁采用特制的鱼腹式分配梁作为主滑道梁。在钢管立柱顶部设置应力、沉降、位移观测点, 桥梁顶推过程中, 采用高精度全站仪实时观测支墩情况。

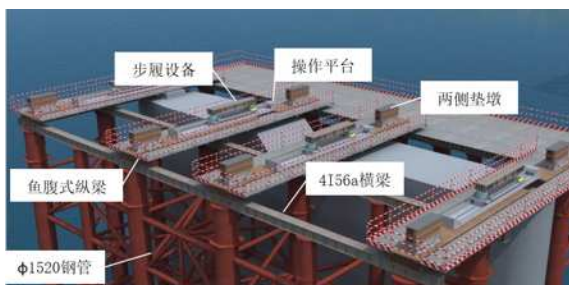


图4.1 顶推支墩模型图

### 4.4 首节段钢梁与导梁焊接

导梁及钢梁拼装平台均施工完成后, 采用 $2 \times 200\text{t}$ 模块车将首节钢箱梁运输至喂梁区, 采用拖拉滑移的方式将首节钢梁拖拉至指定位置, 并通过梁底千斤顶将首节钢梁与导梁进行匹配焊接。所有焊接工作完成后, 即可对导梁及首节钢箱梁进行整体顶推前移。<sup>[2]</sup>

### 4.5 逐节顶推、喂梁

在顶推过程中, 需不断地在后方补充梁段, 因此, 该工序存在两道施工工序, 一是采用顶推设备不断将导梁及已焊接完成的钢箱梁顶推前移, 二是在顶推前移至一定长度后, 通过喂梁区进行喂梁施工, 步履式顶推施工及喂梁具体步骤如下:

### (1) 顶推

步履式顶推的原理是通过每台步履设备统一地起顶、前移、落梁(受力转换)、回程的联动方式, 将钢箱梁按每 $4\text{m}$ 的行程进行顶推前移, 每次行程完成并在落梁前, 将每个临时支点的高差进行塞垫, 使所有支点的高差与梁底高差一致, 避免某一临时支点存在高差导致梁体局部应力集中产生屈服变形。步骤如下:

第一步: 顶起桥梁

第二步: 向前平移1个顶推行程

第三步: 桥梁落于垫梁上

第四步: 设备回程

步履式设备顶推过程中, 在顶推设备上设置拉绳式计米器, 通过以太网将同一顶推支墩上的四套步履式设备的行进距离差值实时反馈至顶推指挥室, 当反馈数据异常时, 立即采用全站仪进行复核, 确保满足双幅顶推同步性要求。

该设备将常规的步履式与拖拉式设备的功能相互融合, 形成钢索式自平衡步履顶推设备, 该设备具有以下特点:

1) 顶推灵活性强。单支墩上可设置多套步履式顶推设备, 顶推设备顶升、顶推、纠偏三向千斤顶设备集成一体, 同时, 可根据工程需要, 设置多套千斤顶设备, 使起顶能力和顶推能力不受限制。

2) 单次行程距离长。采用钢绞线作为传力介质, 且无需倒索; 采用连续拖拉千斤顶作为动力, 并且采用前驱随动的形式替代纵移千斤顶, 实现大行程顶推, 使单行程顶推步距达 $4000\text{mm}$ 。

3) 同步精度高。利用LSD液压控制系统+物联网技术将全桥顶推设备连接到钢梁顶推智能监控指挥系统, 实现顶推设备同步运行, 使双幅不同步距差值控制于 $20\text{mm}$ 以内。

4) 适用范围广。整套设备和结构设计考虑了全桥不同线形变化, 通过设计可调式楔形垫块, 可以适用于单体桥梁多段线梁型的长距离顶推施工。

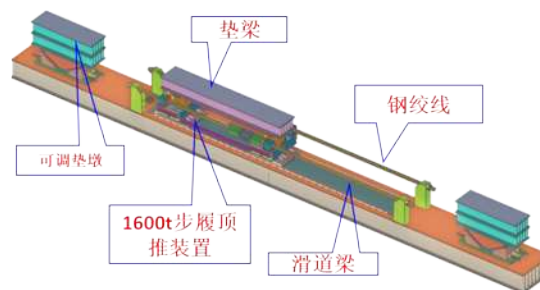


图4.2 钢索式步履设备模型图

### (2) 喂梁

钢梁采用模块车逐节运送至钢箱梁焊接平台喂梁区, 通过模块车自身升降功能落梁至焊接平台滑靴上, 在滑道梁前端侧面设置反力架, 水平穿心千斤顶安装在反力架装置后, 钢绞线末端安装夹片钢板固定在钢箱梁梁段尾部底板上, 通过张拉钢绞线拖拉实现钢箱梁滑移就位。焊接平台总长

68m, 一次可满足5片钢梁的安装与焊接, 以减少梁段拼装的轮次和环缝焊接作业时间, 同时保证梁段线型。

#### 4.6 塔架及斜拉索施工

针对长达130m跨径的钢梁顶推滑移无法顺利过墩情况, 通过在主梁前端设置临时塔架及斜拉索改善主梁应

力情况。塔架安装位置距母梁前端86.26m, 塔架由16根 $\Phi 630 \times 12\text{mm}$ 钢管和 $\Phi 325\text{mm}$ 钢管横联组成, 每4根钢管立柱为一组, 四组对应钢箱梁截面4道腹板而设, 塔架总高度36m, 设三层拉索。

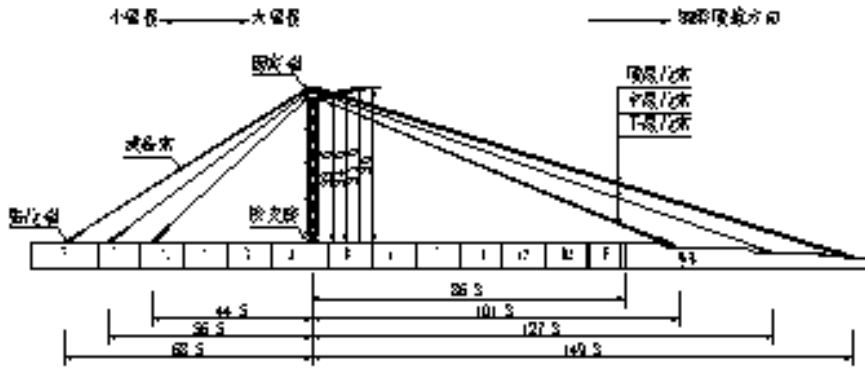


图4.4 塔架及斜拉索布置图 (单位: m)

为了保证施工安全, 钢箱梁顶推过程中需进行多次调索。调整索力在斜拉索下端的张拉锚箱内进行, 通过张拉千斤顶来实现。

#### 4.7 导梁过墩施工

由于本工程梁体线型为“圆曲+直线+圆曲+直线+圆曲”的五段线, 与普通钢箱梁顶推上墩措施有所变化, 针对本工程跨度长达130m、梁端挑臂挠度过大、应力集中等特点, 采取了以下过墩方式:

(1) 当导梁底部与墩垫高差较小时, 通过设置在导梁鼻梁上的上墩千斤顶辅助上墩。

(2) 当导梁底部与墩垫高差稍大, 导梁鼻梁辅助千斤顶无法使得导梁上墩时, 在保证钢箱梁内力、塔架受力以及拉索索力具备足够的安全系数情况下, 通过张拉斜拉索的方式, 使导梁前端上翘高于步履设备的垫梁。待导梁前端越过墩垫, 顺利上墩后, 释放拉索索力, 导梁降落至步履设备垫梁上, 步履装置继续正常工作。<sup>[4]</sup>

(3) 若采用前两种方式均无法顺利上墩, 则需要后方顶推支墩进行抄垫, 全部步履千斤顶起顶时, 通过对不同支墩进行抄垫, 调整支墩标高, 改变箱梁导梁悬臂端仰角, 使导梁前端上翘, 能够满足前两种上墩方式后, 再使用前两种方法辅助上墩。

#### 4.8 顶推到位、落梁

钢箱梁顶推是一个相对漫长的施工工序, 过程中需要步履式顶推设备的三向纠偏装置采取纠偏、过墩、调索、线型调整等工序辅助前移, 全桥总长度为700m, 顶推总行程约692m, 通过36套步履式顶推设备统一起顶、前移、落梁(受力转换)、回程的联动方式逐步推进。

钢箱梁顶推到位后, 需进行整体落梁工作, 落梁总重量为19000t, 落梁总高度1200mm, 需采取多次起升→拆除

抄垫→落梁→再次起升→拆除抄垫→再次落梁的循环工序进行整体分级落梁, 为了确保落梁的同步性, 避免偏压带来的风险, 将所有落梁千斤顶油泵连接至同一套主控台上, 利用LSD液压同步顶升控制系统实现钢箱梁整体、同步落梁。

### 5 技术创新点

(1) 为满足130m大跨度顶推, 减少顶推支墩数量的设计及投入使用, 全桥共设9个顶推支墩。顶推支墩利用主体结构的大承载力, 采用永久墩身+临时墩作为单个顶推支墩的形式, 利用既有钻孔平台入岩锚固桩, 对钢管立柱进行接高至设计标高作为临时顶推支架主体, 避免增加深水裸岩溶蚀地质桩基的施工数量, 极大限度减少了单个墩的临时工程量。使经济性达到更一步提升。<sup>[3]</sup>

(2) 为解决大跨度顶推导致梁体最大挠度工况下造成应力过大对梁体造成局部屈服变形, 于梁前端设置80m导梁及梁上设置36m高塔架, 减少最大悬挑工况时梁体自重, 塔架采用4个铰支座及24根可调式预应力索及塔架主体组成, 顶推过程中可根据不同工况对预应力拉索进行张拉调整, 实时改善梁体的受力及挠度, 解决梁体局部应力过大超限、顶推支墩支反力超限等难题。

(3) 为满足运梁需求, 采用场内消纳土回填作为运梁通道, 于拼装区设计临时综合焊接平台对钢箱梁进行安装, 运梁到位后通过拖拉滑移就位形式进行梁段对接安装, 避免了龙门吊的投入使用; 焊接平台设计为4组滑道, 总长68m, 拼装滑道长度可满足一次安装5片梁, 有效减少了梁段拼装循环轮次及保证拼装的长度、各梁段不同线形要求。

(4) 为保证双幅顶推同步性, 使双幅不同步距控制于20mm以内, 单墩设计4组滑道, 采用单行程为4000mm的自平衡步履设备进行钢箱梁顶推, 设计集成系统使各墩设备同时联动, 共9个顶推支墩, 每墩具有6400t强大顶升能力,

同时设备顶升、顶推、纠偏三向集成,可于顶推过程中通过数据自动反馈进行纠偏,使双幅顶推同步性实时可控。同时采用步履式自平衡顶推设备代替传统拖拉式顶推,解决了“蛙跳”现象,减少了对顶推支墩及其他临时工程的影响,并避免了梁体因温度变化而对支座的影响。

(5)采用自主研发的主拱提升监测指挥系统对钢箱梁及各临时结构进行动态监测,实时预警、数据超限报警等功能,并通过现场视频监控系统、BIM三维仿真动画形式反应钢箱梁及各临时结构应力、位移状态,使现场施工与指挥中心无缝对接,全方位保证整体提升的安全性,降低施工风险。

#### 6 结束语:

通过采用多点三向自平衡步履式顶推设备进行双幅同步顶推代替传统拖拉式顶推,解决了“蛙跳”现象,采用LSD液压同步控制系统远程控制顶推设备,实现全桥36套步履式集成设备同步作业,每个行程长达4000mm,可将每行程双幅同步误差控制在10mm以内,累计双幅同步误差控制在20mm以内,顶推精度高。

在首节钢箱梁前端设置80m变截面钢导梁+36m高塔架+24根可调式扣索形成反力主动控制斜拉体系,通过调整索力可改善箱梁悬臂根部受力,减少悬臂端挠度,保证导梁顺利上墩,主动控制支反力,确保箱梁内力、线型及顶推支墩安全。

#### 7 参考文献

[1]陈祥;王炜杰;钢箱梁顶推施工技术[J];山西建筑;2010年17期;

[2]郭铁钧;高架桥宽幅钢箱梁顶推施工技术[J];铁道标准设计;2009年05期;

[3]白云;公路桥梁钢箱梁顶推施工技术[J];中国新技术新产品;2009年10期;

[4]王雷;郑娜;跨铁路钢箱梁全断面悬空多点同步顶推施工技术[J];天津建设科技;2010年06期;

作者简介:韦干男1992年1月广西来宾壮族本科助理工程师南昌航空大学研究方向:桥梁工程501924964@qq.com。