

顶推工艺在下承式梁拱组合桥施工中的应用

郝龙清

(深圳市南山区建筑工务署, 广东 深圳 518052)

摘 要: 梁拱组合梁桥造型美观, 跨越能力强, 为近年城市桥梁中较常见桥型之一, 其常规施工方法有: 少支架现场拼装法、满堂支架施工法, 本桥为 1 跨 62 m 下承式简支拱梁组合桥, 桥梁斜交角 30° , 受现场条件限制, 采用顶推施工。施工中, 设置 45 m 长钢导梁, 10 对钢管临时支撑架确保结构的安全性。采用 13 套步履式顶推设备, 将顶推力分散到各支撑架上, 既能避免采用大型顶推设备, 又能有效纠偏。顶推中通过千斤顶同步顶推, 侧向调整液压缸等措施实现纠偏。

关键词: 梁拱组合结构; 顶推; 施工

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)01-0140-03

1 概 述

近年来, 随着现代城市景观设计的发展, 城市桥梁越来越重视艺术化、特色化。梁拱组合桥梁建成后, 具有中国传统拱桥的外观特征, 融传统文化精华与现代美学精神为一体, 极富魅力。因此, 越来越受到广大工程师重视。

某项目桥梁工程跨越河流, 该河为流域内唯一的河流, 河道长、河面宽, 是区域内重要的防洪、景观工程。项目桥梁与河堤平交, 桥梁结构体系为 1 跨 62 m 下承式简支梁拱组合桥, 桥梁斜交角 30° 。桥面全宽 22 m, 横向布置为 4 m (人行道)+1.5 m (紧急停车带)+3.75 m (机动车道)+3.5 m (索区)+3.75 m (机动车道)+1.5 m (紧急停车带)+4 m (人行道)=全宽 22 m。主梁为等截面钢箱梁, 单箱五室, 顶板宽 22.0 m, 底板宽 16.0 m, 悬臂翼缘宽 3.0 m, 道路设计中线处梁高 1.4 m, 底板水平, 顶板双向 1.5% 横坡, 桥面横坡由钢箱梁腹板高度进行调整。拱肋由双拱组成, 双肢拱肋绕拱脚向外旋转 15° , 在拱梁结合处汇合为单肢拱肋即拱脚。拱轴线为二次抛物线, 矢高 12.2 m, 计算跨径 61 m, 矢跨比为 1/5, 拱脚截面为 2.0×0.8 m 矩形, 双肢拱肋截面为 $2-0.8$ m $\times$ 0.8 m, 双拱间设置 5 道横梁。吊杆 16 对, 顺桥向间距 3.0 m, 边吊杆与次边吊杆为 2 根, 梁拱连接; 剩余吊杆由 3 根呈 Y 型布置。吊杆长度约 2.7~5.5 m。吊杆与拱肋、钢梁及连接板均采用耳板销铰式锚固。

收稿日期: 2020-07-13

作者简介: 郝龙清(1966—), 男, 学士, 高级工程师, 从事工程管理工作。

根据以往工程实践经验: 对于简支梁拱组合梁桥, 常用的施工方案有: 少支架现场拼装法、满堂支架施工法, 均需在河道中布置临时支墩。本项目桥梁跨越河道为区域内的“母亲河”, 河道管理部门要求桥梁施工期间不得在河道中布置临时支墩。结合场地周边限制条件, 经多方案反复比选后, 施工方案确定采用顶推法。

2 顶推施工方案设计

2.1 总体方案

顶推法施工可采用钢箱梁裸梁顶推或梁拱组合后整体顶推。当采用裸梁顶推法施工时, 在裸梁就位后, 在梁体上布置临时墩, 拼装拱肋。受设计洪水位及桥梁两侧衔接道路限制, 主梁结构高度最大仅为 1.4 m, 裸梁顶推就位后, 主梁的应力、变形均超过规范允许值。因此采用梁拱组合后整体顶推。

2.2 导梁方案

在顶推架梁时, 为保证梁在移动时的纵向抗倾覆稳定性, 同时减少梁的悬伸长度从而降低梁应力, 在梁的前端加拼的一段导梁。本项目导梁设计长度 45 m, 为顶推跨径的 0.725 倍。

顶推过程中倾覆力矩最大的工况为导梁最大悬臂状态, 该工况下最易发生倾覆, 见图 1。

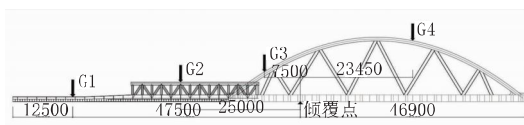


图1 抗倾覆计算简图(单位:mm)

G1 为单层导梁自重, G2 为桁架导梁自重, G3 为钢箱梁悬挑段自重, G4 为钢箱梁在支撑架上的重量。

$G1=500\text{ kN}$, $G2=800\text{ kN}$, $G3=2\ 250\text{ kN}$, $G4=7\ 050\text{ kN}$,

抗倾覆验算如下:

倾覆弯矩 $M_{\text{倾}}=500\times 47.5+800\times 25+2\ 250\times 7.5=60\ 625\text{ kN}\cdot\text{m}$

抗倾覆弯矩 $M_{\text{抗}}=7\ 050\times 23.45=165\ 322.5\text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{\text{抗}}/M_{\text{倾}}=165\ 322.5/60\ 625=2.73$, 抗倾覆满足要求。

2.3 临时支撑措施

顶推过程中, 主梁临时支点随施工过程不断变化, 梁、拱间连接构件受力也不断变化。吊杆为柔性构件, 只承受拉力, 不能承受施工过程中可能出现的压力。因此, 顶推过程中需设置刚性临时梁拱支撑, 支撑结构采用 $\text{DN}630\times 12\text{ mmQ}345$ 钢管, 共设 10 对临时支撑架(见图 2)。



图 2 梁拱临时支撑现场照片

另外, 为保证钢箱梁在顶推滑移过程中的局部承压安全性, 对顶推位置的钢箱梁腹板加厚, 并增加加劲肋板进行加固。

2.4 顶推设备

顶推核心设备为步履式顶推设备, 该设备是一种自平衡的顶推设备, 不会对下部支架产生水平推力, 通过组合千斤顶来实现上部结构的顶升、水平移位及侧向纠偏等动作。

步履式顶推设备的工作原理是竖向顶升油缸顶起主梁, 水平顶推油缸完成向前推移, 落梁后搁置于临时支墩上, 千斤顶回油完成一个行程的顶推工作。

2.5 顶推施工验算

采用 Midas 和 SAP2000 两款有限元分析软件对钢箱梁及导梁进行施工阶段计算。按照顶推施工步骤, 每顶进 5 m 划分一个施工阶段, 整个施工过程(包含前导梁安拆, 支撑体系转化等)分为 20 个施工阶段。

根据计算: 导梁最大正应力 170 MPa; 导梁最大竖向位移为 0.246 m, 发生在最大悬臂状态; 施工过程中梁体最大应力出现在梁与导梁相交的部分, 局部应力为 219 MPa。计算结果满足规范要求, 证明顶推施工中采用的导梁、梁拱临时支撑方案合理。

2.6 顶推设备选用

根据表 1 结果, 可计算出顶推系统主要技术参数, 其中水平千斤顶根据滑道摩擦系数及最大支点反力确定。全桥共计投入 13 套顶推设备, 布置在临时支撑架的中心位置, 负责钢箱梁的起顶、纵向推移以及侧向调整。

表 1 各工况下支点反力表

单位: kN

阶段	支座编号												
	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4	A5	B5	C5	A6	B6
1	2 018	2 018	1 281	1 281	1 895	1 895	354	354	255	255			
2	1 226	1 226	1 857	1 857	1 743	1 743	654	654	326	326			
3			3 063	3 063	1 663	1 663	647	647	432	432			
4			2 285	2 285	1 967	1 967	919	919	633	633			
5			2 066	2 066	1 270	1 270	1 520	1 520	948	948			
6			1 348	1 348	1 762	1 762	1 240	1 240	1 454	1 454			
7					3 100	3 100	1 156	1 156	1 548	1 548			
8					2 072	2 072	1 761	1 761	1 971	1 971			
9					1 543	1 543	1 369	1 369	2 892	2 892			
10					395	395	2 213	2 213	3 196	3 196			
11							2 163	2 163	2 728	2 728	1 419	203	203
12							971	971	4 020	4 020	1 046	290	290
13							70	70	4 182	4 182	2 187	374	374
14									4 340	4 340	1 105	827	827
15									3 502	3 502	1 854	1 205	1 205
16									3 259	3 259	1 400	1 674	1 674
17									2 901	2 901	1 214	1 976	1 976
18									2 529	2 529	1 045	2 433	2 433
19									2 594	2 594		2 890	2 890
20									2 610	2 610		2 610	2 610

顶推设备型号参数:

(1)额定顶升能力: 4 750 kN。

(2)顶升行程: 200 mm。

(3)额定推移能力: 1 000 kN。

(4)推移行程: 1 000 mm。

(5)主结构外形尺寸: 长 3 m × 宽 0.7 m × 高 1.5 m。

(6)水平纠偏能力(±30 mm)。

(7)泵站配置: 1 套泵站驱动 6 套顶推设备。泵站额定压力: 25 MPa。泵站控制方式: 变频。泵站功率: 60 kW。

3 顶推施工主要控制要点及措施

3.1 轴线控制

在钢箱梁顶推过程中, 包括钢箱梁两侧顶推不同步在内的多种因素可能会造成桥梁轴线偏离理论位置, 影响桥梁的水平线形。因此, 为了控制钢箱梁在顶推过程中的轴线始终处于允许范围, 导向纠偏十分重要。

在施工过程要保证顶推同步, 顶推千斤顶施力分辨率要高, 以保证各墩及墩两侧顶推点上施力大小一致。顶推过程中要对桥梁轴线偏位进行实时观测, 如发现有过大偏差, 可通过调整顶推设备的侧向调整液压缸等措施实现纠偏。

3.2 同步顶推保证措施

在顶推过程中虽然不能保证摩擦力完全一致, 但可通过千斤顶的同步来保证顶推力的一致以减小结构偏转的不利情况发生。

当顶升千斤顶伸出将主梁顶起后, 顶推千斤顶活塞伸出将梁顶推前移, 此过程需进行位移同步控制、压力均衡控制、横向调节控制。主控台除了控制所有顶推千斤顶的统一动作之外, 还必须保证所有顶推千斤顶每行程的同步。

其控制策略为: 同一支撑架上的水平顶推千斤顶中以其中一台顶为主动点, 以一定速度伸缸, 其余水平顶为随动点并与其比较, 每台顶与其的位移量差控制在设定值以内, 若某台顶伸缸较快, 则减小相应的比例阀的流量, 反之, 则增大相应比例阀的流量。

不同支撑架上水平顶推千斤顶的同步控制方式为: 以某一支撑架上的其中一台顶为主动点, 其余支撑架的同一轴线上的顶与之比较, 若某台顶伸缸较

快, 则减小相应的比例阀的流量, 反之, 则增大相应比例阀的流量, 从而实现所有水平顶推顶的同步。

同步精度控制: 各支撑架之间控制在 5 mm 之内, 同支撑架两侧控制在 1 mm 之内。顶推千斤顶顶缩缸则无需同步控制。

3.3 纠偏措施

钢箱梁顶进时, 测量人员要利用全站仪跟踪监测各墩的偏位及梁体中心线位置。当中心线偏移时, 应及时调整, 以保证各墩顶的偏位均在要求范围之内。若需要侧向调整, 则启动侧移液压缸, 侧推滑块, 将钢箱梁的水平位置调整到允许范围内, 实现纠偏功能。

必须注意的是, 纠偏一定要在顶推过程中进行, 不得在静止中进行。临时墩顶的水平位移观测非常重要, 必须做到从施力开始到梁体开始移动连续观测, 一旦位移过大或者钢箱梁出现“爬行”现象, 则应立即暂停, 重新调整各顶升点的荷载分布。

3.4 累计误差的控制

在钢箱梁平移过程中, 主控台通过计算每个受力点水平顶推千斤顶移动的总位移, 并用最大位移量减去最小位移量得出累计误差, 若累计误差超出要求时则停止“自动”模式进入“手动”模式, 单独调节某一侧油缸动作以纠正误差。若通过全站仪监测到累计误差超出要求时亦停止“自动”模式进入“手动”模式, 单独调节某一侧油缸动作以纠正误差。

4 结 语

本项目桥梁采用下承式梁拱组合结构, 拱肋设于中间, 很好地解决了桥面布置及梁体线形美观的问题。施工中采用顶推工艺, 施工中不占用河道, 满足了河道管理部门的要求。施工中通过设置 10 对临时支撑结构, 保证在顶推过程中结构的内力、变形满足相关规范要求。

本项目顶推重量达 10 600 kN, 采用多点顶推方式, 在每个支撑架上均设置滑动装置和顶推装置, 将集中的顶推力分散到各个支撑架上, 避免配置大型顶推设备, 也能有效地控制顶推时梁体的偏移, 同时, 顶推时对桥梁下部结构的水平推力非常小, 除在下部结构上设置预埋件安装顶推设备外, 不需要对下部结构进行其他的加固处理。