

长沙市白庭路跨靳江河大桥主桥顶推施工技术

彭 冉

湖南湘江新区建设工程质量监督站 湖南 长沙 410000

摘要:长沙市白庭路跨靳江河大桥主桥为4×58m钢-混组合连续箱梁,单幅桥宽17.5m,断面布置3根槽型钢箱梁,C55钢筋砼板。槽型钢箱梁采用步履式顶推施工,桥面板采用现场浇筑施工。为保证安全,对步履式顶推系统组成与工作原理、临时支架结构构造、关键结构的受力分析、支架基础预压、落梁等施工技术进行分析。得到了步履式顶推施工工艺可同步、精准、稳定控制,格构式临时支架安全高效等结论。该类技术为同类大跨度桥梁顶推施工提供了可靠技术参考,具有良好的推广应用价值。

关键词:顶推施工;钢-砼组合梁;格构式支架;抱墩支架;高位落梁

传统的市政桥梁建设面临施工工期长、对临近道路交通干扰大、影响周围环境等诸多挑战^[1],应用新型桥跨结构^[2]、探索新的施工技术^[3,4]、提高施工效率和质量、缩短工期,成为当前市政桥梁建设的趋势。步履式顶推施工集顶升、平移及横向纠偏功能于一体,实现梁体的平稳移动和精确就位,具有良好的经济性、安全性和灵活性,是一种融合信息化与机械化手段的快速施工方案,在市政桥梁建设中得到了广泛应用与实践验证。康欣帅等^[5]分析了步履式顶推施工过程中的顶推千斤顶优化布置、顶推过程纠偏、大悬臂状态下导梁上墩技术、落梁体系转换等关键技术。骆洪飞^[6]研究了顶推施工所涉及的临时结构设计及验算、拼装质量控制、顶推过程动态控制、落梁精度控制等施工技术。在这些技术基础上,本文以长沙市白庭路跨靳江河大桥主桥为工程背景,深入分析步履式顶推技术,为类似工程提供参考。

1 工程概况

本项目位于长沙市湘江新区,为城市主干道,全长1.972km,设计速度50km/h,双向六车道。沿线跨靳江河大桥全长449m,桥跨布置为北引桥+4×58m钢-混组合主桥+南引桥;单幅桥宽17.5m,主梁高2.9m,单幅断面3根槽型钢箱梁,桥面板采用C55聚丙烯补偿收缩砼(防渗等级P6),钢箱梁采用步履式顶推施工,桥面板现场浇筑。

2 步履式顶推系统组成与工作原理

2.1 步履式顶推系统组成

如图1所示,步履式顶推系统包含2台400t竖向千斤顶、1台80t长行程顶推千斤顶、2台50t纠偏千斤顶,底部设滑移支座、滑板及滑道等临时结构。

2.2 顶推设备的电控系统

顶推采用PLC电控系统,通过控制电动机和电磁阀驱

动各部件,利用传感器采集压力、位移数据并传输至主控台,实现程序控制与预警。



图1 顶推滑移系统

2.3 顶推施工的基本过程

步履式顶推技术通过“顶升—顶推—回落—复位”的循环作业,实现钢箱梁的前移,具体工作机制如下:

1)顶升:竖向千斤顶将钢箱梁整体顶起50mm,使梁体脱离滑道梁表面,此时梁体重量由步履装置承担,同时通过压力传感器监测各支点反力,确保受力均匀。

2)顶推:竖向千斤顶保持顶升状态,启动顶推千斤顶,推动滑块带动钢箱梁沿滑道梁向前移动1个工作行程(700mm)。推移过程中位移传感器实时反馈梁体移动距离,主控台调节各千斤顶,保证同步。

3)回落:推移到工作台行程后,竖向千斤顶缓慢回落,将钢箱梁平稳放置在滑块上,此时梁体重量由滑块传递至滑道梁及临时墩。

4)复位:顶推千斤顶回程,滑块复位,完成一个循环,重复至梁体就位。

5)纠偏:顶推过程中轴线偏位预警值控制为2cm,一般顶推4个行程后,进行一次钢箱梁纠偏动作。如果顶推过程平面坐标横向误差大于4cm,则停止顶推立即进行

纠偏。

3 顶推施工的临时支架构造

主桥钢箱梁架设顶推⑩增设格构式临时支架协同受力。如图2所示，2[#]~4[#]桥墩为北引桥位、4[#]~8[#]桥墩为主

桥位。顶推施工所用的临时支架为2[#]~3[#]墩间搭设拼装平台，并布置350T履带吊，实现节段钢箱梁上架。在3[#]、4[#]、8[#]墩旁搭设顶推支架、河中5[#]~7[#]墩上搭设抱墩顶推支架。

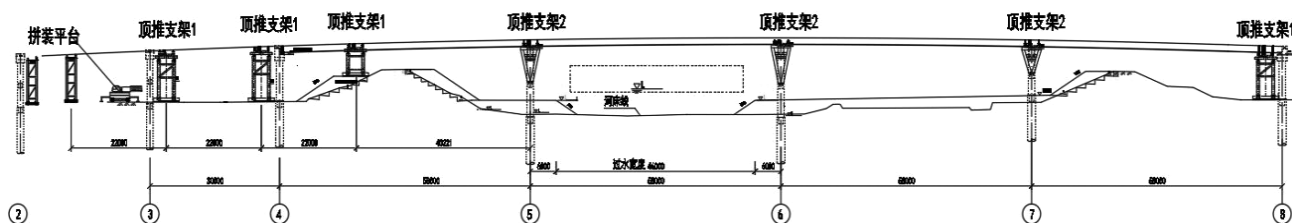


图2 临时支架布置图

3.1 拼装平台支架

将钢箱梁纵向分为11个节段，横向分为6个节段，共计66个吊装节段；钢箱梁段安装时，采用格构式钢管承重拼装支架。立柱由 $\phi 377 \times 7$ 钢管、横梁及临时横斜撑组成。横梁(分配梁)采用HM440 $\times 300 \times 11 \times 18$ 型钢制作，横撑和斜撑件均采用L100 $\times 7$ 角钢。为便于节段调节定位，在H型钢顶部设置300~700mm长的 $\phi 273 \times 6$ 调节管，调节管顶部根据梁底纵坡、横坡调整角度，使支垫密实稳定。基础采用C30砼现浇。

3.2 顶推支架

顶推支架立柱采用 $\phi 630 \text{mm} \times 10 \text{mm}$ 钢管，材质为Q235；顶部采用双拼HN588 $\times 300 \times 12 \times 20$ 型钢作为横梁，

三拼588 $\times 300 \times 12 \times 20$ 型钢作为顶推纵梁。横向连接采用 $\phi 219 \times 6$ 钢管连接；施工平台为4000 $\times 600 \times 4 \text{mm}$ 花纹板及40 $\times 40 \times 3 \text{mm}$ 角钢焊接组成，上面用 $\phi 16$ 钢筋400mm一道组成框架，防护网片围起。顶推支架采用C30混凝土现浇基础且预埋钢板用于临时支架焊接连接，顶推支架基础浇筑前需通过地基承载力试验验证设计要求。

3.3 抱墩顶推支架

抱墩支架依托主桥墩，在桥墩承台上设立 $\Phi 630 \times 10 \text{mm}$ 钢管立柱，钢管间纵横向横撑采用 $\Phi 377 \times 7 \text{mm}$ 钢管。顶推支架顶纵向横梁采用三拼HM588 $\times 300 \times 12 \times 20 \text{H}$ 型钢，横向托梁为四拼440 $\times 300 \times 11 \times 18$ 型钢，材质均为Q235钢。结构如图3所示。



图3 抱墩顶推支架

3.4 钢导梁

钢导梁与外侧钢箱梁内腹板焊接，总长36m、重约70T，材质Q345，腹板厚度16mm/20mm，翼板厚度20mm/25mm，钢箱梁内部与钢导梁腹板对应位置设置假

腹板，两侧导梁间设3道四管桁架平联，主管为219 $\times 8 \text{mm}$ 钢管，横撑、斜撑为159 $\times 6 \text{mm}$ 钢管，过墩最大挠度427mm，前端设456mm台阶辅助上墩措施。结构构造如图4所示。



图4 钢导梁结构图

4 关键结构的受力分析

为保证安全,采用Midas/Civil软件建模,确保钢箱梁、导梁、临时支架等结构的强度、刚度、稳定性满足要求。

4.1 钢箱梁顶推过程的受力分析

根据设计图和顶推方案,首先对钢箱梁分节段拼装、顶推过程的进行分析,再选择整体受力较不利的工况进行顶推步进分析。结构受力最不利的7个工况特征描

述如表1所示。

表1 最不利工况的主要特征

工况	工况特征描述
工况1	7节段钢梁段+导梁,最大悬臂58m
工况2	7节段钢梁段+导梁,导梁上墩15m
工况3	7节段钢梁段+导梁,导梁上墩20m
工况4	7节段钢梁段+导梁,导梁上墩25m
工况5	7节段钢梁段+导梁,导梁上墩30m
工况6	7节段钢梁段+导梁,导梁上墩36m
工况7	2节段钢梁+导梁,最大悬臂60m

对顶推过程进行有限元模拟分析时,采用梁单元建立3D模型,计算中考虑结构自重(钢材容重取值 78.5kN/m^3)、施工荷载(人群+机具荷载按 2.5kN/m 均匀分布,竖直向下作用于桥面施工区域)、50年一遇风荷载(0.281kN/m^2)。基本组合下,钢箱梁和钢导梁的弯曲应力、剪应力、最大挠度值如下表2所示。钢箱梁采用Q425钢材、钢导梁采用Q235钢材,材料强度设计值按规范取值。

表2 钢箱梁和导梁的应力、挠度最大值

工况	钢箱梁/MPa		钢导梁/MPa		最大挠度/mm	
	弯曲应力	剪应力	弯曲应力	剪应力	钢箱梁	导梁
工况1	156.85	23.58	123.10	8.15	76.3	427.0
工况2	95.45	27.33	134.98	20.74	35.6	34.7
工况3	81.91	27.04	139.45	23.85	29.8	27.5
工况4	79.01	25.30	135.30	27.56	27.9	60.4
工况5	68.41	26.85	140.92	30.21	25.8	112.3
工况6	65.98	18.22	122.71	18.60	18.4	176.2
工况7	84.29	25.12	124.9	17.6	38.7	39.1
设计值	345	185	270	155	193.33	

由表2可知,钢箱梁和钢导梁的弯曲应力、剪应力均小于设计值,强度满足要求;钢箱梁挠度小于挠度限值 193.33mm ($L/300$),刚度达标。工况1(最大悬臂状态)下钢导梁挠度不满足要求,但该状态为临时施工阶段,且前端设有顶升措施,不影响顶推作业。工况7(2节段钢梁+钢导梁最大悬臂)时,悬臂段钢导梁、钢箱梁倾覆弯矩分别为 $12328.13\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $685.64\text{kN}\cdot\text{m}$,抵抗倾覆弯矩 $63651.36\text{kN}\cdot\text{m}$,抗倾覆稳定系数 $5.15 > 2$,满足规范要求。

4.2 顶推支架最不利受力分析

工况1时顶推支架竖向总反力 1870.78kN ,按水平摩擦系数 0.05 计算,水平顶推力为 93.54kN 。经计算,结构组合应力(弯曲+轴向) $94.22\text{MPa} < \text{Q235}$ 钢材设计值 180MPa ,最大剪应力 $20.97\text{MPa} < \text{设计值}110\text{MPa}$,第一

阶临界荷载系数 $K = 28.16 > \text{规范要求}4$,强度、稳定性均满足施工要求。

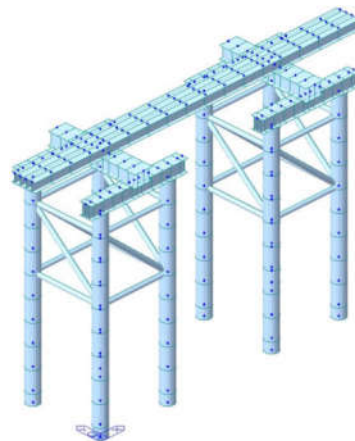


图5 顶推支架的有限元模型

4.3 顶推支架地基承载力计算

顶推支架采用尺寸为6m×6m×0.8m的C30砼现浇基础。顶推过程中,最大一组支架反力为2483.6kN、现浇砼基础重量为748.8kN,基础底面积A为36m²。按式(1)进行承载力验算:

$$F_k \leq A f_{ak} \quad (1)$$

式中: F_k 为基础底面竖向力,取为2483.6+748.8 = 3232.4kN; f_{ak} 为地基承载力特征值,取为200kPa。

地基承载力验算: $F_k = 36 \times 200 = 7200\text{kN} > 3232.4\text{kN}$,地基满足承载力要求。

4.4 抱墩顶推支架最不利受力分析

工况5(钢导梁悬臂上岸30m)时,抱墩顶推支架支力最大为3361.6kN,水平摩阻力168.08kN。结构组合应力83.6MPa < 180MPa,最大剪应力58.2MPa < 110MPa,第一阶临界荷载系数K = 23.92 > 4,强度、稳定性满足要求。

4.5 拼装支架的最不利受力分析

拼装支架最大反力为558.9kN,相应水平摩阻力取为0.05×558.9 = 27.9kN。拼装支架有限元模型如图6所示。

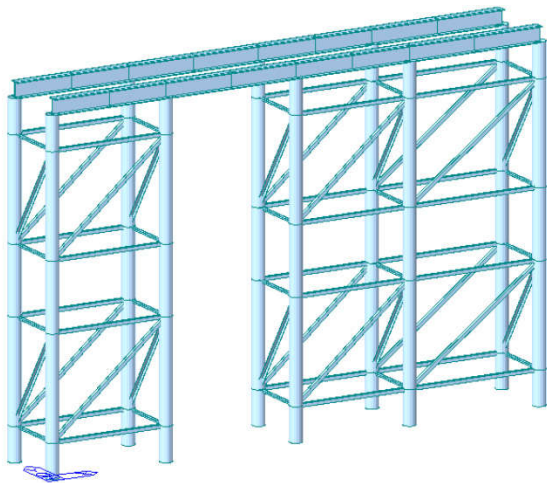


图6 拼装支架的有限元模型

结构在作用效应基本组合下的组合应力(弯曲+轴向)为29.1MPa、小于Q235钢材应力设计值180MPa,最大剪切应力为4.14MPa,小于剪切应力设计值110MPa。强度满足要求。

4.6 拼装支架地基承载力计算

拼装支架采用尺寸为3.5m×1m×0.5m的C30砼现浇基础。拼装支架最大一组支架反力426.8kN、C30砼基础自重45.5kN,总重为472.3kN,砼地基承压面积3.5m²,地基承载力特征值取为200kPa。按式(1)知地基承载力验算结果为: $F_k = 3.5 \times 200 = 700\text{kN} > 472.3\text{kN}$,地基满足承载力要求。

4.7 钢导梁与钢箱梁焊缝验算

在最大悬臂工况1时,钢导梁与钢箱梁连接位置受力最不利。钢导梁与钢箱梁焊接为T形接头焊缝,但由于采用熔透焊接,为开坡口I级焊缝,因此其焊缝强度按对接接头计算。

(1)焊缝接头受最大剪力时的焊缝静载强度计算
受剪切时的强度计算按下式(2)进行:

$$\tau = \frac{Q}{L\delta} \leq [\tau] \quad (2)$$

式中: Q —剪力; L —焊缝长度; δ —接头中较薄板厚度; $[\tau]$ —焊缝许用剪切应力

在接缝受力最不利工况下,钢导梁与钢箱梁接头处的剪力为278.02kN,焊缝长度取钢导梁腹板长度2.56m、接头腹板厚度为0.02m,计算的焊缝剪切应力为5.43MPa。根据《钢结构设计手册》(第3版)查表得到Q235焊缝许用应力为 $[\tau] = 98\text{MPa}$,满足要求。

(2)焊缝接头受最大弯矩时的静载强度计算

焊缝接头受最大弯矩时强度复核分为受水平板(翼缘板及呈劲板)内弯矩作用、受垂直板(腹板)面内弯矩作用的强度计算。其计算按式(3)进行。

$$\sigma = \frac{6M}{L\delta} \leq [\sigma_w] \quad (3)$$

式中: M —弯矩; L —焊缝长度; δ —接头中较薄板厚度; $[\sigma_w]$ —焊缝许用弯曲应力

为保守考虑,受水平板面内弯矩作用下仅考虑翼缘和加劲肋位置焊缝受力,焊缝长度和3.75m;受垂直板面内弯矩作用下仅考虑腹板焊缝受力,长度为2.56m。接头中较薄板厚度均为0.02m,按上述公式及接头处的内力,受水平板面内和垂直板面内弯矩的应力分别为2.17MPa、72.3MPa,均小于弯曲许用应力为 $[\sigma] = 201\text{MPa}$,满足规范要求。

5 顶推支架基础预压

为检验顶推支架基础承载能力、克服不均匀沉降,按工况1顶推支架总反力2483.6kN的1.2倍,采用堆载水泥块方式预压。基础4个角点设沉降监测点,分60%、80%、100%、120%四级加载,监测点12h平均沉降量 < 2mm方可进行下一级加载;120%加载完成后,连续3天总沉降量 < 2mm视为稳定,一次性卸载。卸载6h后监测沉降量,计算非弹性变形量和回弹变形,为支架顶标高设置提供依据。

6 钢箱梁落梁

由于拼装平台设在北引桥位范围内,引桥结构为4×30m装配式简支变连续的小箱梁结构,梁高1.6m,比主桥梁高矮1.3m,钢箱梁顶推须从具有L型墩帽的4#过渡墩

顶通过,因此钢箱梁提升标高顶推,顶推就位后再高位落梁。

主桥位内4#~8#桥墩处设置支撑系统和落梁系统。落梁高度1.5m,每次落梁高度0.15m,分10次循环交替落梁。具体落梁流程如下:

- 1)利用顶推设备顶起钢箱梁,移走支座位置的临时设施,安装支座,在支座上方设置落梁垫块。
- 2)顶推设备回落,钢箱梁落至支座垫块上,移除顶推设备,完成体系转换,在顶推设备位置布置垫块和落梁千斤顶。
- 3)利用落梁千斤顶顶起钢箱梁,移除一层支座垫块。
- 4)支座垫块移除一层后,落梁千斤顶回落,移除落梁千斤顶下方一层垫块。
- 5)重复步骤3和4,直到完全落梁。
- 6)钢箱梁段精确回落至支座上方,拆除落梁设备和垫块,落梁结束。

7 工程实践效果

长沙市白庭路跨靳江河大桥主桥在建设各方的共同努力下,钢箱梁步履式顶推精度为水平偏位9mm,同步偏差2mm,均小于设计限值;顶推过程中没有出现纠偏预警。钢箱梁最大弯曲应力156.82MPa,钢导梁根部弯曲应力140.92MPa,均在材料设计强度范围内。顶推过程中钢箱梁和钢导梁没有出现结构屈服、焊缝开裂等现象,结构安全可靠。经施工方案比选,步履式顶推技术比传统支架施工技术减少临时支架用量56.4%,缩短工期45d,节省施工成本约225万元。单幅钢箱梁顶推用时95天,期间未发生任何安全生产事故。顶推过程中实时监测数据显示,临时支架沉降量 $\leq 4\text{mm}$,结构变形稳定。

8 结论

以长沙市白庭路跨靳江河大桥主桥为依托,围绕钢箱梁步履式顶推施工技术展开系统研究,得到以下结论。

- 1)本项目采用“液压同步控制+临时结构协同受力”模式的步履式顶推系统,通过液压配置与实时流量调节,可将同步精度稳定控制在2mm以内,水平偏位9mm,顶推控制精度高。
- 2)格构式的拼装支架、顶推支架、抱墩支架等经设计与计算,强度、刚度和稳定性均符合规范要求,能安全传递顶推荷载。
- 3)将有限元计算与现场监测结合的管控方式,可精准预测结构响应,有效规避施工风险。
- 4)钢箱梁顶推施工技术安全可控,经济效益好,具有良好的推广价值。

参考文献

- [1]文升宁.架设混凝土箱梁桥应用的步履式顶推施工技术研究[J].建设机械技术与管理,2025(04):143-145.
- [2]祝轶君.钢-混组合箱梁桥的设计及力学性能影响因素[J].交通世界,2025(27):149-151.
- [3]吴浙豪.钢箱梁顶推施工技术在桥梁工程中的应用[J].四川水泥,2026(02):224-226.
- [4]周晓晨.高速公路连续钢箱梁顶推方案总体设计及结构计算[J].科学技术创新,2026(04):131-134.
- [5]康欣帅,彭涛,田仲初,等.大跨度钢桁梁步履式顶推施工关键技术[J].湖南交通科技,2025,51(4):84-88.
- [6]骆洪飞.钢桁梁步履式顶推施工控制技术及工程应用[J].建筑机械化,2026,47(1):125-129.