

钢箱梁双导梁顶推施工关键技术

孙晓强,岳新兴

(中交第二航务工程局有限公司,湖北武汉 430012)

摘要:该文以宝鸡市钛谷大桥引桥第6孔跨钢箱梁顶推施工为工程背景,原方案拟采用单导梁多点步履式顶推工艺,在邻孔的预应力钢筋混凝土梁上进行拼装和顶推。因混凝土梁的梁跨中部无法承受顶推点处的集中力,最终决定采用双导梁多点步履式顶推工艺,将顶推点设置在混凝土梁端的横隔板处,通过增加每组顶推设备数量并加大两组顶推点间距,解决了上述问题,并顺利完成了顶推施工。

关键词:钢箱梁;双导梁;顶推;临时支架;落梁

中图分类号:U445

文献标志码:A

Key Technology for Incremental Launching Construction of Double Guide Beam of Steel Box Girder

SUN Xiaoqiang, YUE Xinxing

(CCCC Second Harbor Engineering Co.,Ltd., Wuhan,Hubei 430012, China)

Abstract: By taking the incremental launching construction of the steel box girder at the 6th hole of the approach bridge of Baoji Taigu Bridge as the engineering background, the original plan adopted single-guide beam multi-point walking incremental launching technology for assembly and incremental launching on the prestressed reinforced concrete beam of the adjacent hole. Since the middle span of the concrete beam cannot withstand the concentrated force at the incremental launching points, the multi-guide beam multi-point walking incremental launching technology was finally used to arrange the incremental launching points at the transverse diaphragm plate of the end of the concrete beam. By increasing the incremental launching equipment number in each group and the spacing between two groups of incremental launching points, the above problems were solved, and incremental launching construction was successfully completed.

Keywords: steel box girder; double guide beam; incremental launching; temporary support; falling beam

0 引言

顶推法施工是指桥梁梁体在桥头平台逐段浇筑或拼装,以千斤顶沿桥梁纵向施加推力,使梁体通过各墩顶的临时支座面滑动就位成桥的施工方法^[1-2]。顶推法的构思来源于刚梁纵向拖拉法,在城市立交或高速公路桥梁跨线中得到广泛应用^[3-4]。导梁在顶推施工中起到导向、纠偏的作用,并能改善钢箱梁的受力情况^[5]。而顶推工艺中,又以单导梁顶推工艺比

较常见。当遇到施工大跨度或顶推组数比较少的情况时,主梁前端在某个时刻会经历最大悬臂状态,随着顶推的进行,主梁后端会经历最大悬臂状态,为了减小主梁后端的最大悬臂长度,需要在主梁后端设置辅助墩,这会增加工期和施工成本,尤其是当顶推距离较大时,工程上一般会设置前、后两根导梁^[6]。

1 工程概况

宝鸡市钛谷大桥引桥上部结构主要为钢箱梁和

收稿日期:2024-07-18(修改稿)

基金项目:国家科技攻关计划项目(编号:HL-(18)-SG-027)

作者简介:孙晓强,男,高级工程师.E-mail:95125180@qq.com

现浇混凝土箱梁形式。其中,第6孔为钢箱梁结构,跨度48 m,梁高2 m,纵坡3.5%,上跨连霍高速公路,桥位布置如图1所示。

引桥第6孔钢箱梁桥宽25 m,横断面采用五箱单室断面,内侧腹板采用竖直腹板,边箱外腹板为斜腹板,跨径48 m;钢箱梁梁高2 m,两侧悬臂长度2.537 m,边腹板厚度16 mm,中腹板厚度14~16 mm,第6孔钢箱梁总重651.1 t,钢箱梁具体结构如图2所示。

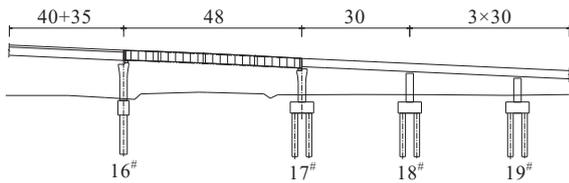


图1 引桥纵立面图(单位:m)

Figure 1 Longitudinal elevation of approach bridge(unit: m)

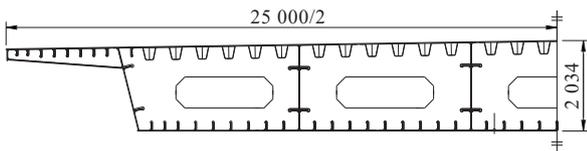


图2 引桥第6孔钢箱梁断面图(单位:mm)

Figure 2 Cross-section view of steel box girder at 6th hole of approach bridge (unit:mm)

第6孔的相邻孔跨梁体采用单箱多室预应力混凝土连续箱梁结构,混凝土强度等级为C50,梁宽21.5 m,梁高1.6 m,如图3所示。

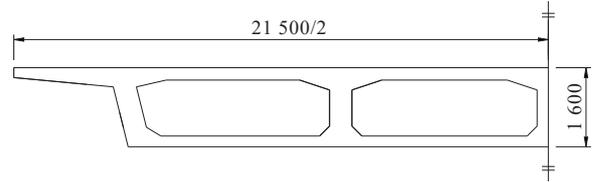


图3 引桥混凝土连续箱梁断面图(单位:mm)

Figure 3 Cross-section view of concrete continuous box girder of approach bridge (unit:mm)

2 方案比选

2.1 单导梁顶推方案

设计图纸中最初制定的引桥第6孔钢箱梁施工方案为:双机抬吊法施工,后因高速公路无法实现交通管制而被迫放弃。

随后,因施工单位有步履式顶推设备,项目部制定了单导梁顶推施工工艺,该方案的顶推点布置为:在第7孔设置1组顶推设备(每组2个顶推设备),在第8孔设置2组顶推设备(每组2个顶推设备),在第6孔的2个墩边设置2组临时支架,每组临时支架上设置2个顶推设备,如图4所示。

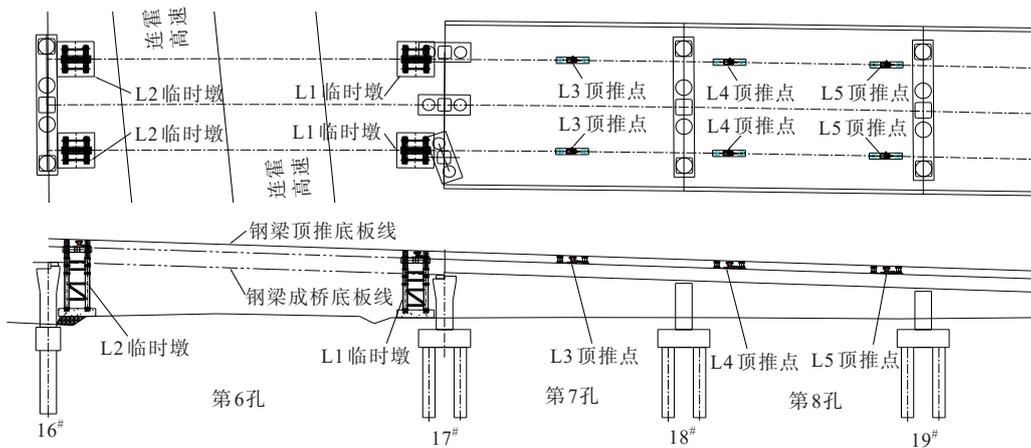


图4 单导梁顶推方案顶推点布置图

Figure 4 Layout of incremental launching points in incremental launching scheme of single guide beam

后经设计单位验算,混凝土梁空心段无法承受顶推点处的集中力,需将顶推点移至混凝土梁实心段,即墩顶区域的梁段,该处有很好的承载效果。因此单导梁顶推方案被否定。

2.2 双导梁顶推方案

为解决上述问题,需将顶推设备设置在第17#、

18#、19#墩上方的梁面上,因为这些位置是在混凝土梁的横隔板处,其承载力能够满足要求。因各组顶推点之间的距离随之增大,导致钢箱梁在顶推过程中悬臂过大,应力无法满足要求,故须在钢箱梁前后均设置导梁,即为双导梁顶推工艺。

该方案的顶推点布置为:在第17#墩处的梁面上

设置1组顶推设备(每组2个顶推设备),在第18#、19#墩处的梁面上各设置1组顶推设备(每组4个顶推设备),在第6孔的2个墩边设置2组临时支架,每组临时支架上设置2个顶推设备,如图5所示。

备),在第6孔的2个墩边设置2组临时支架,每组临时支架上设置2个顶推设备,如图5所示。

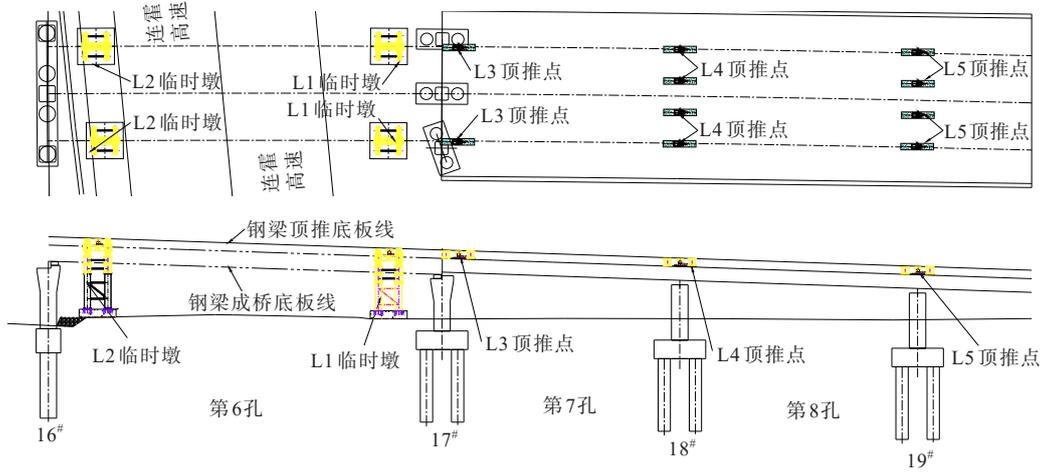


图5 双导梁顶推方案顶推点布置图

Figure 5 Layout of incremental launching points in incremental launching scheme of double guide beam

3 总体施工方案

引桥第6孔钢箱梁及导梁均在专业厂家进行加工并运至施工现场,在已施工完成的引桥第7孔、第8孔上拼装、焊接成型。在第6孔前后2个墩边设置2组临时支架,临时支架采用钢管少支架形式,临时支架上设置顶推设备。顶推采用320 t智能步履式顶推设备。钢箱梁顶推到位后采用小行程循环落梁法落梁。

临时支架采用25 t汽车吊进行安拆,导梁及钢箱梁采用130 t汽车吊分节段进行安装。

纵桥向划分为4节段,每一节段钢箱梁沿宽度方向分为9段,钢箱梁节段划分如图9、10所示。

4 施工关键技术

4.1 钢箱梁拼装施工

4.1.1 拼装支架设置

钢箱梁开始拼装前,先在引桥第7、8联钢箱梁拼装区布置拼装支架。预拼时,钢箱梁底面与混凝土桥面空间约1 050 mm,拼装支架沿横桥向通长布置,拼装支架由钢管立柱、横梁及调平钢管组成。钢管立柱下方采用C30混凝土垫层找平,立柱采用 $\phi 800\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 钢管,立柱高300 mm,起稳定及调平作用,立柱布置在混凝土箱梁实腹板区域;立柱上方布置HM440 \times 300 \times 11型钢横梁,横梁顶部设置 $\phi 273\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ 调平钢管。钢箱梁拼装支架布置图及结构图如图6~8所示。

4.1.2 钢箱梁吊装

根据设计图纸及现场实际情况,将引桥第6联沿

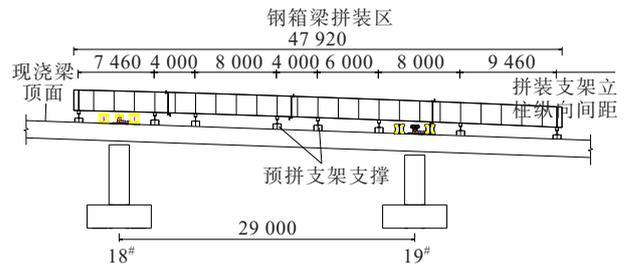


图6 钢箱梁拼装支架纵断面布置图(单位:mm)

Figure 6 Longitudinal cross-section layout of assembly support of steel box girder (unit:mm)

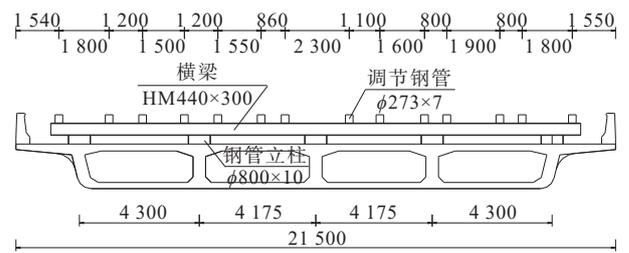


图7 钢箱梁拼装支架横断面布置图(单位:mm)

Figure 7 Transverse cross-section layout of assembly support of steel box girder (unit: mm)

钢箱梁转运至施工现场后采用130 t汽车吊在桥下左右两侧的既有道路上进行拼装,每个拼装节段设4个吊点,每个吊点设吊耳,吊耳通过卸扣与钢丝绳连接。根据吊装工况分析,当吊装C5或D5节段时为最不利工况,最大吊重为23.6 t。

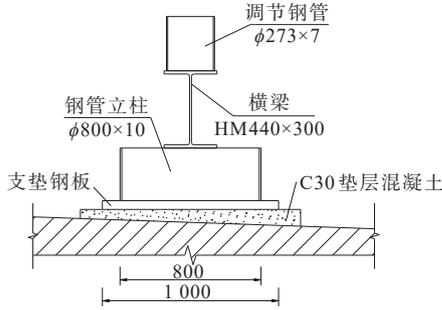


图8 钢箱梁拼装支架结构示意图(单位:mm)

Figure 8 Structure of assembly support of steel box girder (unit: mm)

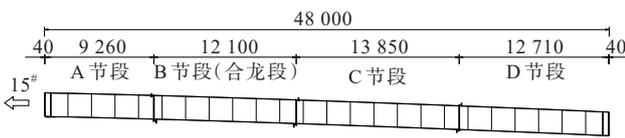


图9 钢箱梁节段划分立面图(单位:mm)

Figure 9 Segmented division elevation of steel box girder (unit: mm)

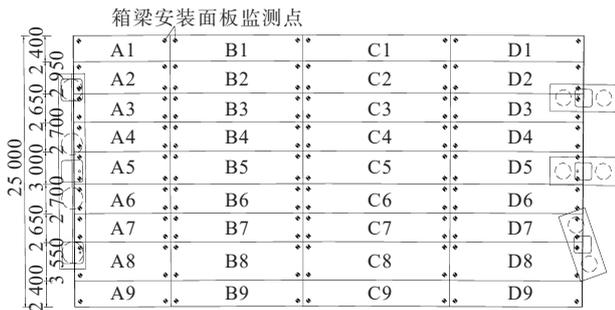


图10 钢箱梁节段划分平面图(单位:mm)

Figure 10 Segmented division plan of steel box girder (unit: mm)

钢箱梁严格按顺序进行拼装,纵桥向按A节段→C节段→D节段→B节段(合龙段)顺序拼装。横桥向箱梁(两侧挑臂段除外),按自左向右顺序依次拼装;钢箱梁主体拼装完成后,最后拼装挑臂分段及桥面附属设施。钢箱梁拼装如图11所示。

钢箱梁各节段间采用焊接连接,梁体焊接全部完成后再进行涂装施工。

4.2 临时支架及导梁设计

4.2.1 临时支架设计

顶推临时支架共设置4组,16#、17#墩边各设置2组,便于钢箱梁落梁,同时也解决了墩顶不便设置落梁装置的限制^[7]。临时支架布置如图12、13所示。

临时支架采用钢管支架搭设,钢管支架立柱采

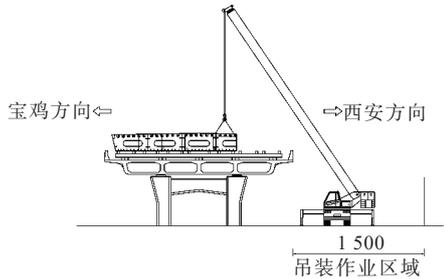
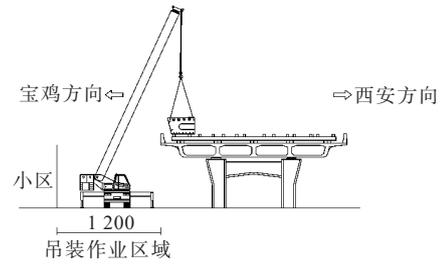


图11 钢箱梁拼装示意图(单位:mm)

Figure 11 Assembly of steel box girder (unit: mm)

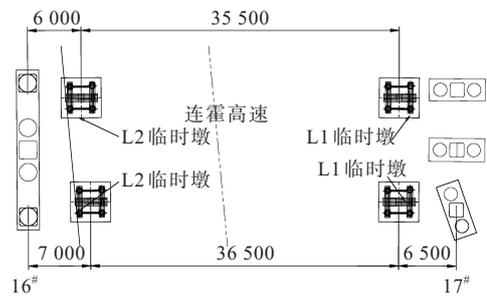


图12 顶推临时支架平面布置图(单位:mm)

Figure 12 Plan layout of temporary support for incremental launching (unit: mm)

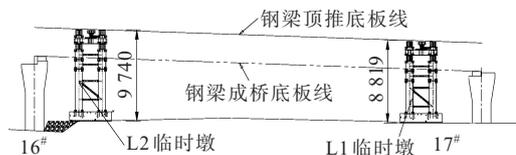


图13 顶推临时支架立面布置图(单位:mm)

Figure 13 Elevation layout of temporary support for incremental launching (unit: mm)

用φ800 mm×16 mm的Q235钢管,立柱横纵间距均为2.5 m。考虑到后期落梁需要,立柱上部采用1 m高的标准落梁节段,落梁标准节也采用φ800 mm×16 mm的Q235钢管,标准节段上下设置桩帽,标准节之间、标准节与立柱之间采用高强螺栓连接。立柱之间采用支架平联及斜撑等连接,各连接系采用双拼槽[14型钢,立柱顶部设置横、纵向,分配梁均采用四拼I56a型钢加工,在纵梁顶部设置步履式顶推千斤顶。临时支架基础为C30钢筋混凝土结构,结构尺

寸为 4.5 m×4.5 m×1.0 m,其顶部设置柱脚预埋件,底部设置加强钢筋网片,基础底部地基承载力不应小于 210 kPa。临时支架结构图如图 14 所示。

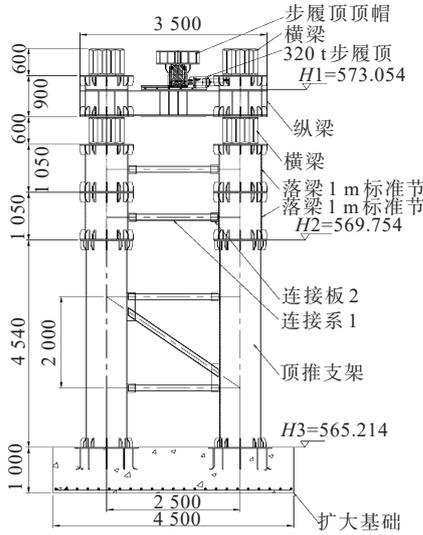


图 14 顶推临时支架结构设计图(单位:mm)

Figure 14 Structural design drawing of temporary support for incremental launching (unit: mm)

4.2.2 导梁设计

钢箱梁前端设置 2 根前导梁,每根长 36 m(顶推跨径的 0.75),前导梁分成 3 个片体,每节片体长 12 m;钢箱梁后方设置 2 根后导梁,后导梁长 12 m。前导梁高度由悬臂端的 1.30 m 变化至根部的 2.80 m,后导梁高度由根部 2.80 m 渐变至悬臂端的 2.37 m。导梁之间采用双层平联结构连接。前导梁前端企口采用鱼腹式设计,便于前导梁通过临时支架。前、后导梁结构图如图 15、16 所示。

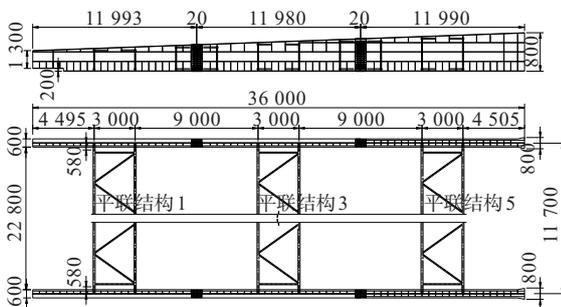


图 15 前导梁结构设计图(单位:mm)

Figure 15 Structural design drawing of leading guide beam (unit: mm)

4.3 顶推设备安装

4.3.1 顶推设备型号

根据设计计算,顶推施工时设备应满足最大竖

向承载力,顶推施工过程中具有一定的竖向调节能力及水平纠偏能力。综合考虑设计要求,结合桥梁结构形式,施工时采用 320 t 智能步履式顶推设备进行施工。

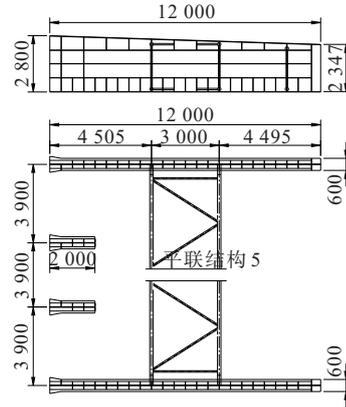


图 16 后导梁结构设计图(单位:mm)

Figure 16 Structural design drawing of rear guide beam (unit: mm)

4.3.2 顶推点布置

顶推施工共设置 5 组(共 14 个)顶推点,临时支架上设置 2 组,顶推设备底部与纵梁采用焊接连接。混凝土梁上设置 3 组,设置在主墩顶部横隔板区域,防止顶推过程中对桥面的破坏。顶推点布置位置如图 17~19 所示。

4.3.3 顶推点构造

在顶推设备顶前后两侧设支撑钢管,支撑钢管采用 $\phi 800$ mm×16 mm 钢管加工制作,支撑钢管高度为 90 cm,钢管纵向间距为 30 cm。千斤顶及支撑钢管安装前,先采用 C30 混凝土将桥面调平。钢箱梁底部存在纵坡,在支撑钢管上方设置垫钢板及橡胶垫片进行找平,单个顶推点的具体结构如图 20 所示。

4.3.4 顶推点处梁体加固

为防止顶推区域受力过大,导致顶推腹板弯曲变形,钢箱梁加工时,在顶推点着力处设置加劲板。加劲板厚度为 16 mm,采用钢箱梁同等型号钢材加工,加劲板设置间距为 300 mm,其结构形式如图 21、22 所示。

4.4 顶推施工

4.4.1 顶推设备调试

顶推施工共配置 320 t 步履式千斤顶 14 台、千斤顶泵站 7 台(每个泵站连接 2 台千斤顶)、控制柜 1 台。顶推设备安装完成后,连接好系统的油路及电路,再

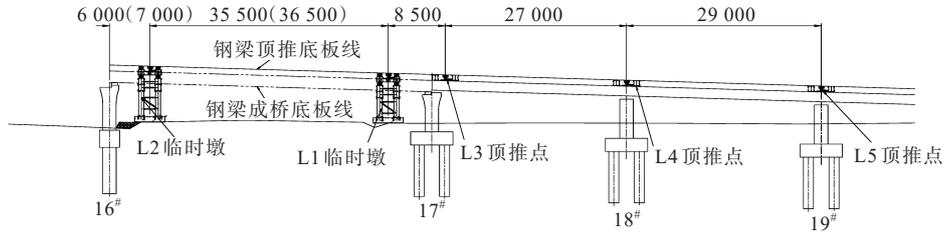


图 17 顶推点立面布置图(单位:mm)

Figure 17 Elevation layout of incremental launching points (unit: mm)

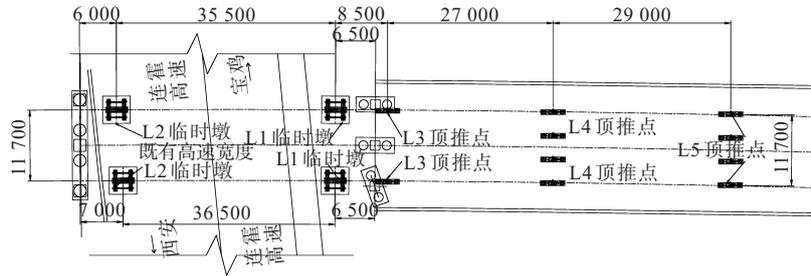


图 18 顶推点平面布置图(单位:mm)

Figure 18 Plan layout of incremental launching points (unit: mm)

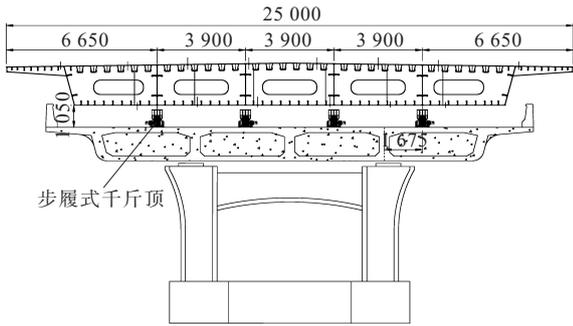


图 19 顶推点横断面布置图(单位:mm)

Figure 19 Transverse cross-section layout of incremental launching points (unit: mm)

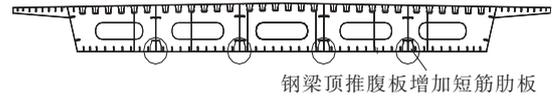


图 21 加劲板横断面布置示意图

Figure 21 Transverse cross-section layout of stiffening plate

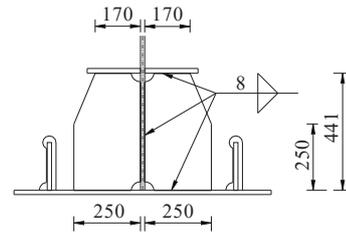


图 22 加劲板结构示意图(单位:mm)

Figure 22 Structure of stiffening plate (unit: mm)

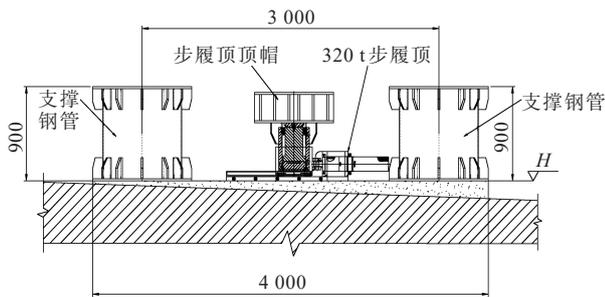


图 20 单个顶推点结构设计图(单位:mm)

Figure 20 Structural design drawing of single incremental launching point (unit: mm)

进行调试以保证在手动、自动模式运行下,执行元件按设定的运动方式运行。

4.4.2 顶推施工步骤

顶推施工步骤如图 23 所示。

步骤 1:钢箱梁及导向梁拼装完成,钢梁长 48 m,前导梁 36 m,后导梁 12 m,整体拼装,拼装长度 96 m;钢梁后悬臂 26.5 m,导梁前悬臂 5 m。

步骤 2:顶推 26.5 m,导梁尾部脱离 L5 顶推点;钢梁后悬臂 29.0 m,导梁前悬臂 31.5 m。

步骤 3:继续顶推 4.5 m,顶推到最大悬臂 36.0 m;钢梁后悬臂 24.5 m,导梁前悬臂 36.0 m。

步骤 4:继续顶推 1.0 m,导梁上 L2 临时墩;钢梁后悬臂 23.5 m,导梁前悬臂 1.0 m。

步骤 5:继续顶推 22.5 m,导梁上墩 2/3;钢梁后

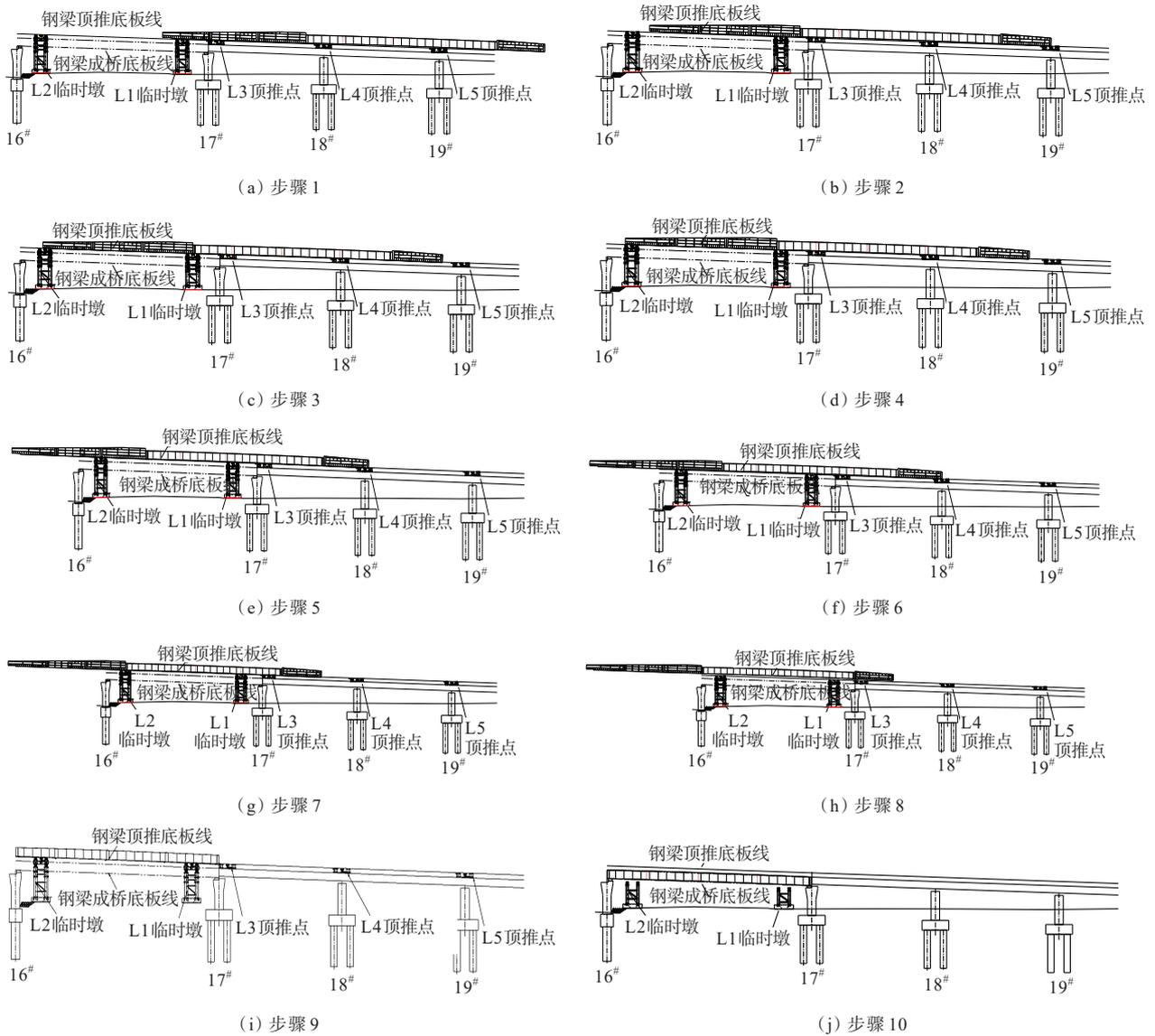


图 23 顶推施工步骤

Figure 23 Incremental launching construction steps

悬臂 1.0 m, 导梁前悬臂 23.5 m。

步骤 6: 继续顶推 1.0 m, 钢梁尾部脱离 L4 顶推点; 钢梁后悬臂 27.0 m, 导梁前悬臂 24.5 m。

步骤 7: 继续顶推 11.0 m, 导梁过墩; 钢梁后悬臂 16.0 m, 导梁前悬臂 35.5 m。

步骤 8: 继续顶推 6.0 m, 顶推到位; 钢梁后悬臂 6.5 m, 导梁前悬臂 41.5 m。

步骤 9: 顶推到位, 拆除前后导梁, 调整钢梁位置; 安装落梁顶准备落梁。

步骤 10: 整体落梁。落梁高度为 2.9 m。

根据 Midas Civil 软件的计算结果, 钢箱梁最大竖向挠度在整个顶推过程中变化较小, 最大竖向挠度

为 -28.4 mm, 出现在步骤 3; 钢箱梁最大正应力为 -30.43 MPa $<$ 295 MPa, 出现在步骤 4; 钢箱梁最大剪应力为 17.9 MPa $<$ 170 MPa, 出现在步骤 4; 钢箱梁整体最大正应力和剪应力均未超出材料容许应力, 钢梁腹板满足局部稳定性, 满足顶推要求。

4.4.3 顶推施工过程控制

(1) 设备调试

顶推开始前, 首先选择手动模式, 检查油泵, 顶升顶, 纠偏顶、顶推顶, 压力表, 传感器等是否异常。手动操作顶推系统牵引主梁滑移启动后, 转换至自动运行模式, 进行主梁的自动连续顶推。

(2) 顶推速度控制

开始顶推时,先推进5 cm,然后停止、回油,再推进5 cm,再停止、回油,反复操作2~3次,以松动滑动面并检查各部分设施,一切正常后再正式顶推。最后1 m顶推时采用小行程点动,控制纵移速度^[8]。

顶推施工中,千斤顶顶升高度按箱梁底面脱离支撑钢筒顶面2 cm为宜,顶升至此高度后,顶推千斤顶同步向前顶推,每次顶推行程按40 cm控制,顶推速度不宜过快,宜控制在10 cm/min之内。在顶升及平推过程中,安排专人对顶升设备进行观察,每2个顶推设备安排一个人监控。

(3) 顶推同步性控制

顶推千斤顶用油泵采用配套同步控制系统,多点顶推时各墩千斤顶纵横向可同步运行。顶推过程中竖向顶升和水平顶推各墩的同步精度应控制在5 mm以内,同墩两侧同步精度应控制在4 mm以内^[9]。

(4) 过程监控

在顶推过程中,始终由测量人员监控桥轴线,随时检查钢箱梁中心线是否偏离,同时还要观测临时墩在承受垂直荷载和水平推力所产生的垂直、水平位移,主梁和导梁的控制截面的挠度^[10]。

4.5 落梁施工

钢箱梁顶推至设计位置后,拆除导向梁后,开始落梁。本项目落梁总高度为2.9 m,采用小行程循环落梁法落梁,即交错下放千斤顶和落梁垫块,使钢箱梁整体下放^[11]。在临时支架上设置落梁垫块及320 t三向调节千斤顶,落梁过程中,每次最大落梁高度控制在15 cm以内。顶梁或落梁应均匀对称,升降高差各墩台间不得大于10 mm,同一墩台两侧不得大于1 mm^[12]。

落梁施工时,采用通过箱梁底部设置的吊耳,采用手拉葫芦进行落梁垫块的吊装及位置调整,当多层垫块堆叠时,必须保证其堆放垂直度,同时各垫块间进行点焊连接,防止施工中发生坍塌。

落梁过程中,每次千斤顶顶升高度按箱梁底部脱离支撑垫块5 cm为宜,箱梁离开垫块后,及时将垫块抽出,并回落千斤顶。落梁示意图如图24所示。

4.6 实施效果

4.6.1 施工工期

钢箱梁顶推施工工期统计详见表1。

根据实际施工情况,顶推速度为5 cm/min,即3 m/h,属目前步履式顶推的正常速度。

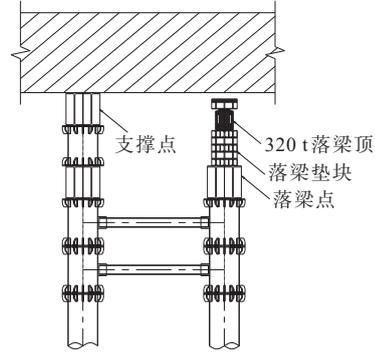


图24 钢箱梁落梁示意图(单位:mm)

Figure 24 Falling of steel box girder (unit: mm)

表1 钢箱梁顶推施工工期统计

Table 1 Schedule of incremental launching construction for steel box girder

项目	工期/d	项目	工期/d
拼装支架安装	5	钢箱梁顶推	4
钢箱梁拼装及导梁安装	40	导梁拆除	2
临时支架搭设	7	落梁	3
顶推设备调试	2	临时支架及顶推设备拆除	2

4.6.2 精度控制

钢箱梁顶推施工偏差统计见表2。可知各项验收指标均符合规范要求。

表2 钢箱梁顶推施工偏差统计

Table 2 Deviation of incremental launching construction for steel box girder

项目	允许偏差/mm	实测偏差/mm
轴线偏位	10	5
落梁反力	不大于1.1倍设计反力	符合要求
支座高差	相邻纵向支点	4
	同墩两侧支点	2

5 结论

钛谷大桥引桥第6孔钢箱梁顺利完成了顶推施工,各项控制指标满足设计要求,可为其他类似工程提供借鉴。证明了双导梁顶推技术在顶推点间距较大的跨路钢箱梁顶推施工中应用的可行性。施工过程中应注意以下几方面关键控制内容:

(1) 应根据工况状态、荷载等情况分别进行建模仿真分析(可采用Midas Civil软件),计算钢箱梁及前后导梁的最大组合应力、最大剪应力、最大挠度,这是导梁设计、支架设计、顶推点布置的重要依据。

(2) 前后导梁与钢箱梁的焊接质量必须严格控

制,否则会影响导梁过墩、顶推设备的顶升高度,甚至直接影响顶推施工的成败。

(3) 必须控制好顶推设备的同步性,正式顶推前必须做好调试工作,确保控制柜、泵站、千斤顶、管路有较好的协调性,否则会影响顶推施工的进度及精度。

参考文献:

References:

- [1] 杜玉林,闫志刚,杜立峰,等.跨密集铁路小半径连续钢箱梁顶推施工技术[J].公路工程,2013,38(4):157-161.
DU Yulin, YAN Zhigang, DU Lifeng, et al. Incremental launching method of small-radius continuous steel box girder crossing intensive railways[J]. Highway Engineering,2013,38(4):157-161.
- [2] 季建东,王彬.长挑臂闭口钢箱组合梁桥设计及其关键技术[J].中外公路,2024,44(3):137-144.
JI Jiandong, WANG Bin. Design and key technologies of bridges with long-cantilever closed steel box composite girder [J]. Journal of China & Foreign Highway,2024, 44(3):137-144.
- [3] 邹德玉.基于BP神经网络-GA的顶推PC箱梁临时墩拉索索力优化研究[J].中外公路,2023,43(6):234-239.
ZOU Deyu. Optimization of cable force on temporary pier during pushing PC box-girder based on BP neural networks-GA[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2023, 43(6):234-239.
- [4] 陈军刚,王学勇,周洲,等.大跨钢-混凝土组合箱梁无支架顶推技术与控制计算[J].中外公路,2020,40(4):137-140.
CHEN Jungang, WANG Xueyong, ZHOU Zhou, et al. Jacking technology without support and control calculation of long-span steel-concrete composited box girders[J]. Journal of China & Foreign Highway,2020, 40(4):137-140.
- [5] 崔磊,陈艳华.钢箱梁顶推施工过程中内力分析[J].施工技术,2011,40(13):87-89.
CUI Lei, CHEN Yanhua. Analysis of internal force on launching construction of box girder[J]. Construction Technology,2011,40(13):87-89.
- [6] 冀伟,邵天彦.多跨连续梁桥顶推施工双导梁的优化分析[J].浙江大学学报(工学版),2021,55(7):1289-1298.
JI Wei, SHAO Tianyan. Optimization analysis of double launching noses during launching construction of multi-span continuous girder bridge[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science),2021,55(7):1289-1298.
- [7] 左雁,彭云涌,万小龙.场地受限条件简支钢箱梁不等跨顶推对策及受力分析[J].中外公路,2021,41(6),137-140.
ZUO Yan, PENG Yunyong, WAN Xiaolong. Analysis of unequal span jacking countermeasures and force of simply supported steel box girder under site constraints [J]. Chinese and Foreign Highway,2021,41(6),137-140.
- [8] 靳江海.跨多线并行营运铁路1-63 m钢箱梁顶推施工研究[J].铁道建筑技术,2019(11):70-74.
JIN Jianghai. Study on incremental launching construction of 1-63 m steel box girders across multiple parallel operating railways[J]. Railway Construction Technology, 2019(11):70-74.
- [9] 中交一公局集团有限公司.公路桥涵施工技术规范:JTG/T 3650—2020[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
CCCC First Highway Engineering Group Co., Ltd.. Technical specification for construction of highway bridges and culverts:JTG/T 3650—2020[S]. Beijing:China Communications Press Co., Ltd.,2020.
- [10] 李会良.钢桁梁顶推施工技术[J].中国港湾建设,2009,29(2):57-59.
LI Huiliang. Technique for pushing and installing steel truss girders[J]. China Harbour Engineering,2009,29(2):57-59.
- [11] 张帅军,蔡力,刘杰.城市立交曲线钢箱梁顶推安装技术[J].施工技术,2013,42(增刊1):461-465.
ZHANG Shuaijun, CAI Li, LIU Jie. Pushing installation technology of curved steel box girder in urban interchange [J]. Construction Technology,2013,42(sup 1):461-465.
- [12] 北京市政建设集团有限责任公司.城市桥梁工程施工与质量验收规范:CJJ 2—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
Beijing Urban Construction Group Co., Ltd. Ministry of housing and urban-rural development of the people's republic of China. Code for construction and quality acceptance of urban bridge engineering: CJJ 2—2008[S]. Beijing:China Architecture & Building Press,2009.