铁路桥梁钢箱梁跨高速公路顶推施工技术

Pushing Construction Technology of Steel Box Girder of Railway Bridge Across Expressway

曾国华

Guohua Zeng

中铁二局第五工程有限公司
中国·四川 成都 610091
China Railway Second Bureau Fifth Engineering
Co.,Ltd.,
Chengdu, Sichuan, 610091, China

【摘要】为解决梅汕铁路跨汕昆高速公路(34+160+34)m钢管混凝土刚架系杆拱钢箱连续梁组合桥钢箱梁现场安装施工周期长、施工成本高的问题,论文结合该铁路桥梁的结构设计、施工地形及环境,基于桥梁先梁后拱的施工工艺,钢箱梁采用顶推法施工。施工现场通过合理地布置顶推支架及顶推设备,采用先进的多点同步控制系统,成功保证了钢箱梁顶推施工工期、成本和安全质量,可为对类似工程施工提供一定的借鉴。

【Abstract】To solve the plum shanyou railway highway across sandstones, kunming (34+160+34)m steel tube concrete frame bracing GongGang box combination of continuous beam bridge steel box girder installation, long construction period, high construction cost problem, based on the structure of the railway bridge design and construction of terrain and environment, based on the construction technology of bridge beam before the arch, pushing method is used for the steel box girder construction. The construction site through reasonable arrangement of jacking bracket and jacking equipment, using advanced multi-point synchronous control system, successfully ensure the construction period, cost and safety quality of steel box girder jacking, can provide a certain reference for the construction of similar projects.

【关键词】桥梁钢箱梁; 多点同步; 步履式; 顶推施工

【Keywords】bridge steel box girder; multi-points synchronization; walking; pushing the construction
【DOI】10.36012/etr.v1i3.399

1 前言

目前,中国跨公路、铁路、峡谷等桥梁钢箱梁施工工艺已较为成熟,因桥梁结构形式和施工环境的差异而不同,一般施工方法有拖拉法、顶推法、支架法、缆索吊装法、悬臂拼装法等。由于该铁路桥上跨既有高速公路,受场地限制,无支架法施工条件;缆索吊装法一般都是跨大河、山谷等大跨度桥梁使用,施工成本较高,现场焊接周期长,工期不满足要求;悬臂拼装法由于现场焊接周期长,同样需增加施工临时措施,不能满足工期及成本要求。鉴于此桥钢箱梁纵向位于线路直线段等特点,且顶推施工方法具有能确保全部钢箱梁环焊缝均在胎架上完成、钢箱梁环焊缝可与支架同步作业等优点,综合考虑桥梁结构设计情况、现场施工条件以及以上优点,经反复论证,最终确定采用步履式顶推法施工,以确保安全、质量、工期及成本^[1]。

2 工程概况

梅汕铁路跨汕昆高速(34+160+34)m钢管混凝土刚架系

杆拱——钢箱连续梁组合桥位于中国广东省揭阳市新亨镇境内,上跨 G78 汕昆高速公路,铁路与公路线路呈 27.8°夹角。公路限高 5.5m,路幅组成为 11m(行车道)+2m(中央隔离带)+11m(行车道),两侧各预留拓宽 2 车道,规划路面总宽 45m。刚架系杆拱-钢箱连续梁组合桥如图 1、图 2 所示。

桥梁由钢箱梁、拱肋、横撑、吊杆及系杆组成。主梁采用单箱三室扁平钢箱梁;边跨采用单箱单室带悬臂扁平钢箱梁;拱肋采用钢管混凝土结构;横撑布设于两榀拱肋之间共设 7 道,拱顶设一道 X 型撑,靠近拱脚处各设一道 K 撑,其余均采用一字撑;吊杆采用顺桥向 8.0m 间距双吊杆体系,全桥共设 17 组;两侧各设 4 束 61 孔单根张拉可换索式钢绞线系杆。

桥梁全长 228m,钢箱梁梁高 3.5m,横隔板间距 2.65m,钢箱梁总重 2327.1t;钢管拱肋矢高 40m,钢管拱肋总重 907.36t。主跨钢箱梁顶宽 15.74m,边跨钢箱梁梁顶宽 12.6m,主墩处钢箱梁顶宽 11m。钢箱梁顶板采用复合不锈钢板,其余采用 345qD 钢板。

图 1 刚架系杆拱-钢箱连续梁组合桥立面图

图 2 刚架系杆拱-钢箱连续梁组合桥平面图

3 施工方法

钢箱梁工厂分段、分块制造,运输至施工现场跨汕昆特大桥 36# 台尾大里程路基上组装。在汕昆高速路中央绿化带上及两侧设顶推支架,顶推支架横撑上设贝雷梁兼防护棚架,最后采用“步履式顶推法”顶推就位^[2]。由于组拼场地限制,不能按钢箱梁全长设置,前期一次性在胎架上拼装完成 12 个节段,在钢箱梁顶推过程中分次拼装尾端剩余钢箱梁直至全部完成。

4 钢箱梁顶推施工工艺

4.1 节段划分

综合考虑钢箱梁运输路线限高限宽等因素,节段划分按顺桥方向最长 4.1m、最短 3.9m,共 57 节段,节段最重 45.8t 如图 3 所示。

4.2 主要临时设施

钢箱梁顶推施工主要临时设施包括钢箱梁组拼胎架、顶推支架、防护棚架及组拼场地布置^[3]。

4.2.1 组拼场地布置及钢箱梁组拼胎架设计

组拼场长 125m、宽 20m、顶面标高 41.336m,拼装场底层采用改良土回填压实,上层采用 20cm 水稳层,20cmC25 砼硬化。场地内布置 1 台 80t 龙门吊、8 个顶推操作平台、16 组钢箱梁组拼胎架,每组胎架由 10 根直径 $\varphi 219\text{mm}$ 、壁厚为 8mm 的螺旋管为主肢,等边 75 号角钢为连杆系,顶部为 I36a 工字钢组拼而成。

4.2.2 顶推支架及防护棚架设计

综合考虑设计钢箱梁最大支反力及地基承载力,通过计算,确定在中跨 33#~34# 墩之间布置 6 组顶推支架,分别位于高速公路中间绿化带和两侧水沟及边坡上。

图 3 钢箱梁节段划分布置图

顶推支架由扩大条形基础、钢管立柱、连接系、分配梁、承重梁等组成。顶推支架以 $\phi 609\text{mm}$ 钢管为承力结构,钢管下部基础采用扩大条形基础,要求地基承载力不小于 240kPa 。每组支架由 8~16 根直径 $\phi 609\text{mm}$ 、壁厚为 16mm 的钢管为主肢,双拼 20 号槽钢为联结系组拼而成。钢管立柱正上方的横向分配梁由三拼 H600 型钢焊接成整体,且采用焊接方式固定于钢管支架的顶面。承重梁由 5 根 I560 焊接而成并放置于分配梁上,采用焊接方式固定于分配梁之上。

防护棚架按顺桥向 96m 、横桥向 20m 设置,由贝雷梁、 12.6a 工字钢、 3mm 厚钢板等组成,贝雷梁在现场连接成双榀整体吊装放置于支架连接系上,且用 U 型卡环锁在支架连接系槽钢上,贝雷梁组片之间采用异形支撑架连接成整体。贝雷梁上方横向间隔 2m 铺设 112.6a 工字钢,工字钢上满铺 3mm 钢板,防护棚架两侧贝雷梁正上方满铺 6mm 花纹钢板作为走道,四周采用高度 1.8m 钢管脚手架及密目网作为临边防护,防止坠落物弹到公路上。

4.3 钢箱梁组拼吊装设备的选择

由于桥位线路右侧为自来水水厂、左侧为农田且临时征地相当困难,施工场地极度受限。综合考虑现场施工条件、钢箱梁节段重量及起吊高度,选用 MGH80t-18m 门式起重机,起重机起吊能力 80t ,跨度 18m ,高度 18m ,轨道长度根据需要布置。

4.4 顶推系统选型及特点

多点同步步履顶推系统由电控系统(集成控制系统、分控系统)、液压系统、顶推系统组成^[4]。

4.4.1 顶推系统设备选择

跨汕昆高速特大桥钢箱梁、钢导梁的顶推总重量约 2400t ,在启动顶推时,处于静摩擦状态,此时摩擦力最大。静摩擦系数取 0.1 ,全桥所需的最大顶推力 240t 。在滑箱设计为不锈钢+四氟板或不锈钢+MGE 板,并涂抹四钨化硅油脂,则顶推过程的摩擦系数接近 0.05 ,最大顶推力仅 120t 。

根据临时支架布置情况,顶推过程中最不利工况为顶推在全桥钢箱梁组拼完成后接近 35% 位置时,此时顶推重量 2400t ,顶推千斤顶 14 套,考虑 1.3 的不均衡系数,可计算出顶升力为 222.9t ,顶推力(静摩擦力)为 22.9t 。

选择单个顶推设备最大竖向承载力为 600t ,纵、横向顶推力 100t ,且具有 20cm 的竖向调节能力及 10cm 的水平纠偏能力,每次纵向顶推行程为 40cm 。顶推具体设备配置表如下表 1 所示。

4.4.2 电控系统

电控系统的主控单元由西门子 S7-300PLC、开关量扩展

表1 多点同步步履顶推主要设备配置表

序号	设备名称	规格型号	数量/套	备注
1	总控系统	PLC 集成控制系统	1	
2	分站系统	PLC 分控系统	11	
3	顶推千斤顶	TZJ-6008	22	顶推千斤顶
4	液压系统	液压泵站	11	

模块 EM222 和模拟量扩展模块 EM231、西门子触摸屏组成,控制系统中的电动机和电磁阀,并且进行各千斤顶的压力和位移量的采集,通过编制算法的程序来完成各千斤顶的动作。触摸屏为各种操作和数据的显示界面,采用触摸屏,使得系统操作面板布置非常简洁,人机界面友好。

整个系统分成 32 个主控单元,每个主控单元可以独立控制,如果要联动则需通过上位机,对全部的主控单元进行联动控制。上位机采用台式电脑,通过 RS485 网络(西门子 PROFIBUS-DP 协议)对主控单元进行操作和数据采集。

电控系统能调节主泵站的压力,手动或自动控制电机的起停,泵站的卸荷及电机的故障报警等。另外,还可以发出滤波器的压差报警,并实现应急停止。

当顶升油缸升降、顶推油缸伸缩时,电控系统通过位移传感器不仅能精确控制油缸的位置,在屏上动态显示当前的位置值,还能通过输入位移值驱动油缸到达指定位置。调整油缸为双作用缸,可以左、右同步控制伸缩,通过位移传感器能精确控制位移量^[5]。

4.4.3 液压系统

液压泵站为油缸提供动力,根据主控计算机的指令,执行规定动作。液压系统分为支撑顶升系统、顶推移动系统和横向调整系统。

支撑顶升系统主要由电机、定量柱塞泵、换向阀、溢流阀、比例阀、平衡阀、截止阀、液控单向阀、安全阀组成。其工作原理是:柱塞泵提供高压油给油缸;溢流阀可以调节系统压力;比例换向阀实现上升或者下降动作切换;再通过比例阀放大以调节油缸速度;平衡阀自动调节下降的速度;截止阀能够单独控制某个油缸的动作或者停止;液压锁能够保住油缸大腔的压力;安全阀能够防止油缸过载。

油缸的位移通过位移传感器检测,油缸的压力通过压力传感器反馈,所有的传感器信号通过总线发送给主控计算机进行分析和处理,然后根据控制软件输出泵站驱动信号,调节油缸的动作和速度,从而实现各个顶推系统同步上升或者同步下降,同时,也可对单个油缸调整高差。顶推移动系统和横向调节系统原理相似。

4.5 钢箱梁现场组拼

钢箱梁顶板、底板、腹板拼接均为融透焊,采用单面焊双

面成形,钢箱梁纵向加劲肋在工地节段间的拼接采用嵌补段,V型加劲肋采用内衬垫栓接。同一截面上的拼缝、纵横向焊缝、相邻焊缝相互错开,焊缝外观应满足规范要求。

钢箱梁吊装在胎架上后,精确调整线形及标高,采用有效的临时固定措施后,方可进行施焊,焊接必须先腹板后顶板再底板的施工顺序且对称施焊。钢板不等厚对接时,需设置1:10斜坡。

4.6 钢箱梁顶推施工

钢箱梁标准梁段采用多点千斤顶连续顶推施工,按“分级调压、集中控制、差值限定”原则控制进行^[9]。

4.6.1 顶推施工原理

钢箱梁顶推施工主要采用顶推千斤顶,利用千斤顶三向顶推功能完成钢箱梁移动作业。根据胎架长度,先在胎架上进行一次焊接完成部分钢箱梁节段的组拼工作,后期在顶推过程中分次在胎架上焊接完成剩余钢箱梁组拼工作。顶推千斤顶有竖向、纵向、横向3个千斤顶,主要由基座、不锈钢板及四氟滑板等结构组合而成,在钢箱梁顶推施工过程中,它能分步实现竖向顶升钢箱梁,纵向顶推钢箱梁、横向纠偏等功能。其工作原理是先由竖向工作的千斤顶将钢箱梁重量竖向顶起离开临时支墩后,再由纵向千斤顶将竖向千斤顶连同钢箱梁整体向移梁方向推动一个行程,然后竖向千斤顶回缩将钢箱梁搁置于垫梁上并与钢箱梁脱空,纵向千斤顶回缩带动竖向千斤顶回收一个行程后,竖向千斤顶再次顶升钢箱梁离开垫梁,如此循环实现钢箱梁的步履连续顶推工作。通过压力及位移等传感器将千斤顶适时动作信号传回给PLC集中控制系统进行分析,并对液压系统各电磁阀给出动作指令,控制各千斤顶油压及动作行程达到同步,实现集群千斤顶的同步动作,达到同步顶推施工。若钢箱梁顶推过程中发生中线偏移,则利用横向千斤顶横向顶推纠偏。

4.6.2 顶推施工步骤

钢箱梁顶推施工采用多点同步步履顶推系统从大里程方向(36#墩,现场拼装场)向小里程方向(32#墩)顶推。钢箱梁边顶推边拼装,先组拼2节导梁及12节钢箱梁A1~I1(48.05m)节段,导梁与钢箱梁之间采用坡口满焊,分6次完成钢箱梁顶推任务。向前顶推32.05m,组拼钢箱梁J1~I5(32m)节段;向前顶推32m,组拼钢箱梁J5~I9(32m)节段;向前顶推44m,组拼钢箱梁J9~J14(43.9m)节段;向前顶推44m,组拼钢箱梁I15~G2(36m)节段;向前顶推28m,组拼钢箱梁F2~A2(36m)节段;向前顶推64.05m,顶推到位拆除导梁,顶推完成。

4.7 受力体系转换

钢箱梁顶推至设计平面位置后,集群千斤顶竖向回缩将

钢箱梁临时搁置在垫梁上。待箱梁永久支座灌浆完成后,且灌浆料抗压强度满足设计要求时,顶升千斤顶同步顶升钢箱梁脱空垫梁,并分级撤除垫梁,同时分级落梁,直至垫梁低于桥梁支座顶标高,钢箱梁由原来的垫梁支撑转换为永久支座支撑,完成钢箱梁的受力体系转换,按设计要求连接支座与钢箱梁连接螺杆,完成钢箱梁就位顶推就位阶段的安装工作。

5 顶推过程监控

在钢箱梁顶推施工作业中,梁的线形控制至关重要,本桥钢箱梁线形控制包含顶推支架沉降观测、钢箱梁平面线形控制、钢箱梁纵向线形控制、钢箱梁结构变形的控制等。为保证平面线形,节段拼装胎架应按平面线形及预拱度设置;为保证钢箱梁轴线顺直,预拱度应符合设计要求。应及时进行钢箱梁拼装及顶推作业过程中的测量工作,发现问题及时矫正。

钢箱梁顶推过程是结构受力体系不断转换的过程,顶推过程中钢箱梁不仅受上下扰动,在平面内也将扭转,线形控制相对较为困难。钢箱梁顶推施工过程中受力在不断变化,导致顶推支架受力也在不断变化,必须重点关注顶推支架受力。通过监控测量可以确保顶推过程中钢箱梁的稳定,不至于出现倾覆;顶推过程中钢箱梁及顶推支架受力不超出预警范围,确保顶推过程中顶推支架的稳定性及钢箱梁变形控制;顶推就位后钢箱梁线形满足设计要求。

6 结语

跨汕昆高速钢箱梁顶推具有结构自重大、顶推跨度大、顶推距离远、地理位置复杂等特点,通过对临时支墩的合理设计、顶推设备合理选型及先进的集中控制技术,顺利地实现了预期的工期目标,降低了施工成本。该桥顶推施工工艺的成功应用,能为以后类似工程的施工提供一定的借鉴。

参考文献

- [1]周陈婴.公路桥梁工程中钢箱梁顶推的施工技术[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(2):185-187.
- [2]刘玉华.公路桥梁钢箱梁顶推施工技术[J].交通世界,2016(11):86-87.
- [3]李航运.浅谈桥梁钢箱梁顶推施工技术控制措施[J].西部交通科技,2016(4):50-53+74.
- [4]陈永宏.平胜大桥自锚式悬索桥钢箱梁顶推施工[J].桥梁建设,2006(S1):33-35.
- [5]董国祯,郭辉.鹅公岩城轨专用桥边跨钢箱梁顶推施工整体受力分析[J].铁道建筑,2016,56(9):26-30.
- [6]韩胜利.大跨高墩钢箱梁多点同步顶推技术[J].世界桥梁,2012,40(6):24-28.