

文章编号: 1674—8247(2024)02—0102—06

DOI: 10. 12098/j. issn. 1674 - 8247. 2024. 02. 019

张吉怀铁路酉水大桥非对称拱桥钢拱肋架设技术研究

孙凤祥 左少群 李江

(中铁大桥局集团第五工程有限公司, 江西 九江 332001)

摘要:张吉怀铁路酉水大桥主桥为主跨 292 m 的非对称上承式钢管混凝土拱桥,其钢拱肋采用斜拉扣挂法进行节段悬臂架设施工。本文结合张吉怀铁路酉水大桥工程,针对高速铁路非对称拱桥钢拱肋安装施工技术展开研究,主要包括:复杂地形条件下的施工技术,因地制宜地进行缆索起重机的设计及安装,钢管拱整节段拼装和架设,合龙装置和技术等。该施工技术保障了钢拱肋架设的精度和质量,钢拱肋的成拱线形与设计值较为吻合。该桥运营以来,各结构性能指标均满足设计要求。

关键词:张吉怀铁路;酉水大桥;非对称钢管混凝土拱桥;钢拱肋;斜拉扣挂法;施工技术

中图分类号: U448. 22 ; U445. 4 **文献标志码:** A

Study on Erection Technology for Steel Arch Rib of Unsymmetrical Arch Bridge for Youshui Bridge on Zhangjiajie-Jishou-Huaihua Railway

SUN Fengxiang ZUO Shaoqun LI Jiang

(The Fifth Engineering Co., Ltd. of China Railway Major Bridge Engineering Group Co., Ltd., Jiujiang 332001, China)

Abstract: Youshui Bridge on Zhangjiajie-Jishou-Huaihua Railway is a main bridge with a main span of 292 m, and it is an asymmetric upper-arch concrete-filled steel tube arch bridge, whose steel arch ribs were erected using the inclined cable-stayed buckling method for segmental cantilever construction. The paper focuses on the erection technology for the steel arch ribs of asymmetric arch bridge of high-speed railways, for which Youshui Bridge on Zhangjiajie-Jishou-Huaihua Railway was taken as an case for study. The contents of this study mainly include construction technology under complex terrain conditions, design and installation of cable cranes according to local conditions, assembly and erection of steel tube arch segments, and the closure device and technology, etc. The above construction technologies ensure the accuracy and quality of the steel arch rib erection, and the shape of the steel arch rib closely matches the design values. Since the operation of the bridge, all structural performance indicators have met the design requirements.

Key words: Zhangjiajie-Jishou-Huaihua Railway; Youshui Bridge; asymmetric concrete-filled steel tube arch bridge; steel arch rib; cable-stayed buckling method; construction technology

1 概况

1.1 酉水大桥简介

新建张家界至吉首至怀化铁路酉水大桥是目前

国内设计速度 350 km/h、跨度最大的高速铁路无砟轨道非对称上承式钢管混凝土拱桥,如图 1 所示。桥址位于永顺县芙蓉镇,桥梁全长 461.53 m,桥面总宽 12.6 m,采用 292 m 一孔跨越酉水河,其中张家界侧

收稿日期:2022-08-03

作者简介:孙凤祥(1979-),男,高级工程师。

基金项目:中铁大桥局集团有限公司科技研究开发计划项目(2018-19-重点)

引文格式:孙凤祥,左少群,李江.张吉怀铁路酉水大桥非对称拱桥钢拱肋架设技术研究[J].高速铁路技术,2024,15(2):102-107.

SUN Fengxiang, ZUO Shaoqun, LI Jiang. Study on Erection Technology for Steel Arch Rib of Unsymmetrical Arch Bridge for Youshui Bridge on Zhangjiajie-Jishou-Huaihua Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(2):102-107.

拱肋半跨长 123.5 m, 矢高 49.41 m; 怀化侧拱肋半跨长 168.5 m, 矢高 92.91 m^[1]。全桥拱上结构及两侧引桥分两联, 孔跨布置为: 0 号台~6 号墩间为(2×43 m+32 m+3×24 m) 刚构连续组合梁; 6 号墩~13 号台间为(3×24 m+32 m+2×59 m+39 m) 刚构连续组合梁^[2]。

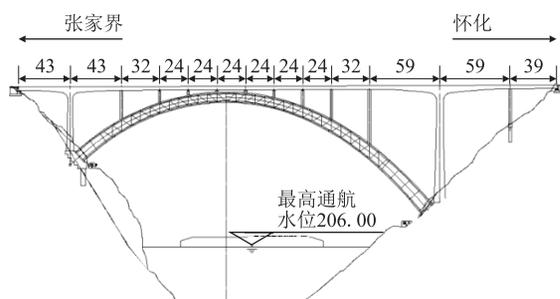


图1 酉水大桥总体布置图(m)

1.2 酉水大桥施工难点

酉水大桥施工难点主要有:

(1) 大跨度钢管拱悬臂拼装线型控制难度大, 两片拱肋同时整节段吊装, 节段在空中安装定位调整的难度大。

(2) 主跨为 292 m 不对称上承式钢管混凝土拱结构, 在施工过程中需多次转换体系; 拱内填充混凝土为不对称结构, 同步控制难度大。

(3) 钢拱肋架设方法为斜拉扣挂法施工, 施工过程中扣索的索力变化复杂, 需进行多次索力调整, 索力控制复杂。

(4) 钢拱肋跨中合龙精度要求高, 合龙段成拱的最终线型控制难度大。

2 总体施工方法

2.1 施工方法概况

(1) 拱肋采用斜拉扣挂法进行节段悬臂架设施工^[3-9]。拱肋及连接系分单元件在工厂制造, 汽车运输至钢拱肋预拼场, 在预拼场采用“2+1”的方式组拼成整节段并运输至起吊位置, 再通过缆索吊机逐段吊装架设。

(2) 钢管拱预埋节段采用支架法拼装, 其余节段采用扣挂法悬拼, 两岸同步进行, 在拱顶处合龙形成稳定拱圈。

(3) 1 号悬拼节段不设扣索, 其余节段每安装 1 节拱肋, 安装 1 对扣索。拱肋安装不设置扣塔, 扣索直接安装于两侧山体扣索锚碇上, 即扣挂系统由锚碇、锚箱、扣索、扣点组成。

2.2 施工顺序

钢管拱拼装架设施工总体顺序为: 施工准备(含缆索吊安装、拱肋预拼场建设、扣索锚碇施工)→钢管拱“2+1”组拼→拱脚预埋段定位支架安装→预埋节段横移→预埋节段安装→拱座混凝土浇筑→1 号、1' 号节段吊装→法兰螺栓连接→缆索吊松钩→1 号、1' 号节段接头焊接→2 号、2' 号节段吊装→法兰螺栓连接→缆索吊松钩→2 号、2' 号节段接头焊接→扣索安装及张拉→按 2 号节段安装方法循环完成后续悬拼节段施工→合龙观测→合龙口精调、锁定→合龙段安装及焊接。

3 拱肋扣挂法施工辅助设施

钢管拱整节段扣挂法悬拼施工的辅助设施主要有钢管拱拱肋预拼场、缆索吊机和扣挂系统。

3.1 拱肋预拼场

预拼场配备 2 台 150 t 龙门吊机和 2 台 150 t 运梁小车, 工厂预制的拱肋及连接系分单元件在龙门吊下方拼装为整体节段, 吊运至横移运梁小车, 利用运梁小车横移至缆塔正下方位置, 利用缆索吊机进行架设。

3.2 缆索吊机

缆索吊机由锚碇、缆塔、缆索系统和风缆系统等组成。

(1) 锚碇系统

主缆锚碇分为张家界侧主缆锚碇、怀化侧主缆锚碇和怀化侧工作索主缆锚碇 3 种, 每种锚碇有 2 个, 分上下游布置, 均利用斜向 3 排预应力锚索。其中, 张家界侧主缆及工作索共同锚固于张家界侧主缆锚碇上, 锚碇在岩石面上做成阶梯形。怀化侧主缆与工作索分开锚固, 分别锚固于怀化侧主缆锚碇和工作索锚碇上, 怀化侧山体较陡, 锚碇依山做成斜面。

(2) 缆塔结构

缆塔结构由塔柱、连接系、横梁、铰座及基础组成。由于山谷的地形优势, 仅在张家界侧设置缆塔。缆塔与基础采用铰接, 缆塔塔柱间连接系为钢管桁架, 高度上设置两道。立柱与铰座分配梁连接, 铰座分配梁与铰座通过铰轴连接。缆塔基础为扩大基础, 上游侧根据地形设置 4 m 高墩柱调节高度。张家界侧缆塔总体布置如图 2 所示。

(3) 绳索系统

绳索系统分为主缆、牵引索及起重索。主缆单组由 12 根 $\phi 62$ 钢芯钢丝绳组成, 分上下游 2 组布置, 上下游中心间距 19.5 m。怀化侧锚碇为锚固端, 在张家

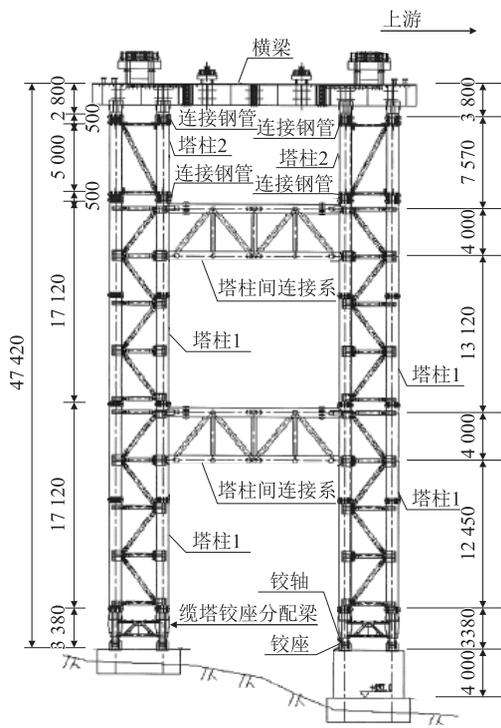


图 2 张家界侧缆塔总体布置图(mm)

表 1 风缆张力和塔顶位移表

序号	名称	前风缆 1	前风缆 2	后风缆 1	后风缆 2
1	初张力/t	66	66.2	70	70
2	最大张力/t	66	66.2	122.8	131.1
3	塔顶纵向最大位移/mm	110.5	110.5	110.5	110.5

3.3 扣挂系统

西水大桥扣挂系统由锚碇、锚箱、扣索及扣点组成,布置如图 4 所示,张家界侧和怀化侧各有扣索锚碇 4 个,分别设 8 对、11 对扣索。扣索锚碇 1 用于 1~3 号扣索锚固,扣索锚碇 2 用于 4~8 号或 4~11 号扣索锚固。扣索 $\phi 15.24$ 钢绞线束,每束扣索因张拉索力不同,1~11 号扣索钢绞线根数从 9~20 根不等。

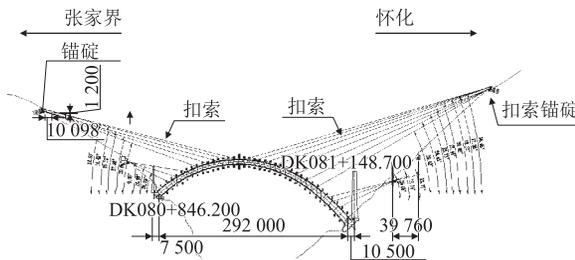


图 4 扣挂系统立面布置图(mm)

界侧锚碇处设置调索系统。牵引索为 $\phi 34$ 纤维芯钢丝绳,走 4 布置,在张家界侧设置牵引,怀化侧则在主缆锚碇上设置转向,通过牵引索回索实现两端牵引。起重索为 $\phi 32$ 纤维芯钢丝绳,走 10 布置,在张家界侧设置牵引,怀化侧则在主缆锚碇上设固定端。

(4) 风缆系统

缆塔设置风缆抵抗吊重纵向不平衡水平力及风荷载,风缆系统的布置如图 3 所示。风缆在塔顶缆风锚梁上张拉,通过下锚箱与风缆锚固梁连接,风缆锚固梁埋在锚碇中,单个锚碇通过 6 束 120 t 预应力锚索垂直锚固在岩面上。在最大吊重状态下,风缆张力和塔顶位移如表 1 所示。

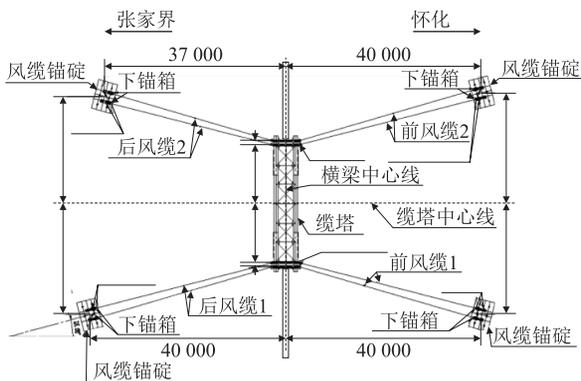


图 3 缆塔风缆平面布置图(mm)

4 钢拱肋施工

钢拱肋施工主要包括拱肋加工制造、现场拼装、预埋节段架设、悬拼节段架设及和龙等。

4.1 钢管拱肋节段加工制造

钢管拱在工厂内制造加工成单元件(弦管单元长度 10~12 m),并在厂内进行弦管单管预拼,经检查验收合格后,拆成运输单元,通过汽车运送到西水大桥拱肋预拼场。

钢管拱加工制造施工工艺流程:场内场地布置、材料进场及检验→焊接工艺试验及评定→厂内单元件制作→单元件运至预拼场→按照“2+1”模式卧拼拱肋桁片,桁片存放→进行“2+1”模式立拼整体节段→移运前两节段,留下一节段→进行下一组“2+1”节段组拼→直至全部节段组拼完成。

4.2 钢管拱肋节段现场组拼

4.2.1 拱肋现场组拼方法

(1) 钢管拱安装采用“2+1”的方式进行组拼。根据西水大桥钢拱肋特征,组拼分为单肢拱肋卧拼区、拱肋节段总拼区,各组拼区分两岸设置,每岸卧拼区又分为上、下游桁片组拼区,即全桥共计 4 个卧拼区域,2 个节段总拼区。

(2) 根据钢管拱节间的划分和缆索吊机额定吊重,考虑满足线型及焊接质量要求,钢管拱所有节段(含预埋节段)均组拼成整节段,并在预拼场完成节段内所有焊接工作。

4.2.2 拱肋吊装单元划分确定

西水大桥钢管拱弦管节段长度划分与设计图一致。构件连接方式全部为焊接,为方便施工,对腹杆、横联、平联等结构划分组拼单元(吊装单元):

(1) 预埋节段:由于预埋节段桁片间设计无横联、平联,为保证组拼后拱肋内倾角度,现场需增加临时连接装置,故预埋节段吊装单元含上、下游桁片及临时连接装置。

(2) 实腹节段:实腹节段组拼单元为设计图划分节段弦管长度及其范围内实腹杆,再加上弦管长度范围内的横联平联,当平联跨2个节段时,平联归于大编号节段,段与段接头留在靠近小编号节段端。

(3) N型腹杆节段:N型腹杆节段组拼单元为设计图划分节段弦管长度及其范围内腹杆,再加上弦管长度范围内的横联平联;当斜腹杆跨2个号节段,段与段接头留在靠近小编号节段端。

4.2.3 拱肋现场组拼

(1) 拱肋桁片拼装:根据拱肋结构,拱肋桁片在现场钢管拱拱肋预拼场进行,在拼装过程中匹配腹杆长度,并焊接形成整体节段桁片。设拼装平台:在预拼场搭设组拼、对接胎架平台,下部基础为砼墩,上部焊接型钢立撑杆,撑杆上面铺设纵横向工钢形成胎架平台;采用码板对胎架平面的线形进行调整,标高误差不得超过2 mm。

单弦管的拼装:将拱肋钢管放置在胎架上,根据胎架地样,将运至现场的上下弦管的管节两两接长,按焊接工艺进行焊接,并成对安装拱肋钢管节点板。

单片桁的拼装:上下弦杆对接完毕,节点板安装完成后,铺设腹杆,拼接腹杆时,配切腹杆长度,拼装位置偏差不超过 ± 2 mm,上下弦杆间预留焊接收缩量;检查整体尺寸无误后,焊接形成整体桁片,如图5所示。

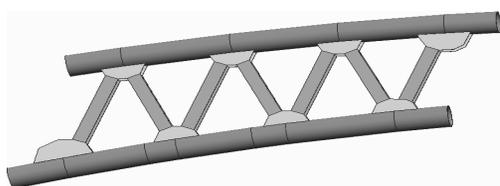


图5 单片桁的拼装图

(2) 拱肋节段的总拼:采用“2+1”节段进行平

面拼装及立体拼装,将已经焊接完成的拱肋桁片吊至“2+1”总拼胎架上进行匹配拼装。拼装方向由拱脚向拱顶。拼装场内设怀化侧和张家界侧2个总拼胎架,每个胎架进行4/6个轮次拼装。

拱肋节段总拼施工流程:搭设拼装胎架→单片拱肋定位→安装横联、平联→安装拱上立柱接头→安装拱肋连接法兰→安装拱肋吊点、扣点→安装拱肋节段临时连接构件。

4.3 拱肋预埋节段架设

(1) 定位支架安装:绑扎拱座钢筋时,预埋各个支架的预埋件。各个支架在钢结构加工场加工成整体,精度符合设计、规范要求。安装预埋节段之前,将各个支架与相对应的预埋件焊接牢固。焊接完成后,对每个支架顶部标高位置进行测量复测,确保所有支架位置符合设计、规范要求。各个支架四周各设1个反力座,反力座距离待安装杆件边缘不得小于25 cm,以放置机械千斤顶。

(2) 预埋节段起吊:运行缆索吊,牵引天车至起吊区上方,下落吊钩至预埋节段顶位置,安装好起吊千斤绳及卸扣,起升吊钩,牵引天车至预埋节段设计位置上方,下落吊钩,将预埋节段平稳安放于预埋节段定位支架上。

(3) 预埋节段调整固定:预埋节段安装就位后,复测上、下弦节点位置坐标,如有偏差,利用周边千斤顶仔细调整,确保各个坐标与设计值误差满足规范要求。调整完成后,再次抄垫稳固,固定锁定,防止混凝土浇筑或其他荷载作用下预埋节段偏位。

(4) 拱座混凝土及预埋段底节浇筑:预埋节段安装定位完成后,按照拱座混凝土分层浇筑要求,继续完成拱座混凝土浇筑。

4.4 拱肋悬拼节段架设

钢管拱悬拼节段施工工艺流程:节段吊装→法兰螺栓连接→缆索吊松钩→节段接头焊接→扣索安装及张拉→继续架设下一拱肋节段。

预埋节段钢管拱肋安装完成,且拱座混凝土浇筑完成达到设计强度后,即可开始张家界侧1~9号节段、怀化侧1'~12'号节段钢管拱架设。悬拼节段具体安装步骤及方法为:

(1) 拱肋节段起吊就位:拱肋节段吊装采用四点抬吊、正点正落方法,双肋同时起吊,吊点按照设计图焊接于拱肋上弦管顶。

运行缆索吊,牵引天车至张家界侧预拼场起吊区上方,下落吊钩至节段上方,安装好起吊千斤绳或吊带及卸扣。吊点安装完成后,在指挥人员的指挥下拱

肋节段缓慢提升,在拱肋节段上升过程中尽量保持拱肋水平。拱肋提升距地面一定高度后,停止提升,启动缆索吊牵引系统,钢管拱节段往安装位置运行,过程中注意四吊点的同步性。当拱肋节段到达安装位置正上方时停止运行,然后四吊点同时缓慢下落。当拱肋后端与已安装节段的接口在同一水平高度时停止下落,调整水平度。启动前段两吊点,使拱肋缓慢向上提升,后端两吊点根据情况进行位置调整。当拱肋节段后端口和已架设节段前端基本对齐能够结合时,吊钩及天车停止运行,用倒链调整节段钢管拱的位置和角度,将节段钢管拱底端与已架设节段钢管拱端部法兰紧密贴合,利用冲钉等工具,将法兰连接螺栓穿入,使节段钢管拱相对固定到设计位置。在确保钢管拱节段之间的法兰连接螺栓拧紧全部受力后,下放缆索吊机吊钩,拆除钢丝绳或吊带,拱肋节段安装就位。

(2)扣索安装:除1号节段不安装扣索外,其余节段均在拱肋节段与已安装拱肋接头法兰螺栓连接并缆索吊机松钩后安装并张拉扣索,即从2号节段开始每节段需安装扣索。扣索采用牵引导索循环安装。

(3)扣索张拉:扣索张拉采用25 t千斤顶分级循环张拉,按照设计张拉力,前面3级以20%设计张拉力为一级,后面4级以设计张拉力10%为一级,循环张拉每根扣索钢绞线。张拉时以控制钢管拱线型为主,以张拉力为辅。

(4)扣索索力监测

全桥拱肋共布置有19对临时扣索(张家界侧8对,怀化侧11对)。在主拱完成合龙前,拱肋处于悬臂状态,均通过扣索传递至锚碇,而且扣索索力张拉水平对拱肋线形有直接的影响。因此,对扣索索力进行监测是必要的。

采用以压力环进行钢绞线索力监测。对扣索钢绞线进行自动化索力监测。

扣索索力调整是保证结构线型最直接和最有效的手段,在各工况下通过自动化索力监测的方式获取扣索索力,在拱肋拼装过程中,需要及时调整扣索索力,保证拱肋主体结构和扣索系统临时结构安全性和稳定性。

(5)扣索抗风措施安装

夹片防松措施:由于扣索张拉应力相对于钢绞线抗拉强度设计值小很多,自锚式锚具夹片容易松脱。为防止夹片松脱,在夹片后段设置防松脱挡板。

扣索防风振措施:为防止扣索锚固区在风载下发

生共振效应,导致扣索与锚固结构摩擦,磨断扣索,在扣索锚固点外3~5 m处设置扣索捆绑结构,捆绑结构由钢丝绳、胶皮、方木组成。

扣索防松脱措施:为防止扣索由于夹片夹紧力不够滑脱,在扣索张拉完成后需安装扣索防风振松脱装置。防风振松脱装置由撑管、马板、锚板、P锚组成。

(6)钢管拱接头焊接:钢管拱节段法兰临时连接完成,测量拱肋线型复核要求后,即可开始钢管拱接头焊接,焊接顺序为先焊接主弦管,再焊接腹杆,最后焊接平联、横联。

为减少因焊接而产生的附加应力和焊缝残余应力及边缘材料局部应力,消除或减少构件不规则变形,钢管拱焊接时应按如下方法进行操作:

- ①横向焊缝应从桥中轴线向两侧对称施焊;
- ②一端有自由端的长焊缝,从一端施焊,向自由端前进;
- ③圆型构件沿圆周施焊时,可分几段圆弧对称施焊;
- ④各类构件节段施焊顺序应对称于桥轴线,并对称于构件自身的对称轴,均匀、对称、同步协调的实施。

4.5 拱肋合龙段架设

4.5.1 施工流程

合龙段的施工顺序为:根据监控指令在1 d中气温较低且平稳的凌晨进行临时锁定→精确测量合龙段两侧前端净间距→根据测量数据对已加工的合龙段长度进行切割修正→提升就位→安装、焊接合龙段。

4.5.2 施工前准备

(1)按合龙段钢管拱构造图及拱肋节段间构造图中所示结构加工合龙锁定结构。

(2)钢管拱节段悬拼线型的调整:钢管拱节段悬臂端中心偏差,在各分段拼装过程中予以调整控制,最终使两岸合龙段两侧节段前端中心偏差的偏转方向一致,偏差值控制在规范要求的范围内。节段前端标高除了满足监控指令规定的线型误差外,还应使合龙段两侧节段前端四点相对高差满足规范要求。

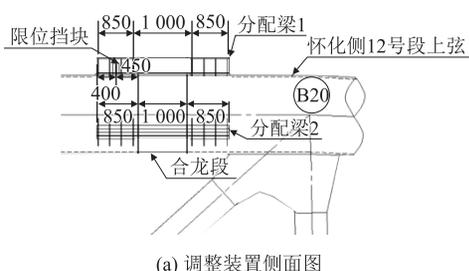
(3)气温观测及合龙时刻确定:在合龙段两侧节段拼装完毕之后,根据当地气象部门提供的7 d气象预报,选择其中1~2 d进行24 h气温观测,确定1 d中气温较低且平稳的时间。据此为参考,确定合龙段施工的临时锁定时间。

(4)观测合龙口长度:待钢拱肋最后一节悬臂节段架设张拉完成后,利用长钢尺丈量出多个不同温度状态下两岸对应的箱型弦杆4个角点之间的净间距,并做好记录。利用全站仪对合龙口弦杆端头角点进行测量,测出两岸弦杆在不同温度状态下弦杆悬臂处

里程与设计里程的偏差值。

(5) 确定合龙段长度:将拟定的合龙温度对应的拱肋弦管之间的净间距的测量数据,确定为合龙段的实际长度。根据此长度在弦管四周做好标识点,并将标识点连画成直线对齐切割,并打好坡口。

4.5.3 合龙锁定装置及合龙口精调装置安装



合龙锁定装置及合龙段采用缆索吊机起吊运输至合龙口位置。先安装合龙口锁定装置,合龙段放在合龙口周围,待合龙口锁定完成后,安装焊接。合龙段锁定装置安装到位后,在4个弦管合龙口各设置竖向、横向精调装置,用以调整和固定合龙口在高程、横向桥向方向的位置。合龙口精调装置如图6所示。

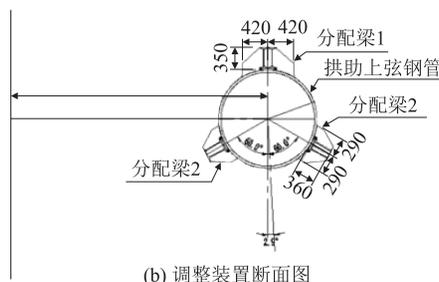


图6 合龙口精调装置图(mm)

4.5.4 合龙

(1) 合龙口锁定:在确定合龙日期气温平稳且接近合龙温度后,再次精调合龙段线型。调整后的线型测量结果经设计和监控单位认可后,在气温发生变化之前,快速拧紧所有合龙口花篮螺栓螺母,完成合龙口锁定。

(2) 合龙段安装焊接:锁定后,采用缆索吊机将合龙段吊放至合龙口,然后立即开始上下弦合龙段焊缝的焊接,先全部焊接好合龙段焊缝的一端,再4个点同时焊接合龙段另一端焊缝。

(3) 注意事项:合龙段安装误差的大小,决定着合龙段成拱的最终线型。其过程操作须尽量消除已存在的加工和安装误差,应严格按照规定的施工顺序进行作业。合龙段的安装长度为实物放样,为避免返工,测量精度必须予以充分保证,放样切割必须准确。

4.5.5 钢管拱内灌混凝土施工

拱肋共计4根 $\phi 1.5$ m主弦钢管,内灌C50补偿收缩混凝土,混凝土初凝时间大于30 h。内灌混凝土施工总体顺序为:4根主弦管逐根灌注,即先灌注上弦的一根弦管,然后灌注上弦的另一根弦管;再灌注下弦的一根弦管,再然后灌注下弦的另一根弦管;最后灌注J1、J1'节段及预埋段腹腔内混凝土,钢管拱内灌混凝土施工分5次进行,待上一次混凝土强度达到90%后,才能进行下一次混凝土灌注。

单根弦管由下而上接力连续一次性灌注完成。拱肋混凝土采用泵送顶升法灌注施工,张家界侧、怀化侧拱座处各设置1台HBT90C混凝土输送泵,同时往一根弦管内进行泵送施工。泵送混凝土时两侧泵

送速度应加强协调,灌注过程中保持慢速、均匀、对称、低压的顶升状态,通过锤击的方法了解混凝土的高程,以调整混凝土的压注速度,使两端的混凝土面高差保持在1 m范围以内。

混凝土接近拱顶面时,严格控制速度防止混凝土超过拱顶截面时振动而引起钢管骨架纵向失稳。当快速侧混凝土达到拱顶时,停止该侧泵送,等待另一侧混凝土也达到拱顶后,两侧同时泵送,让两侧混凝土结为一体,浮浆从拱顶出浆管溢出,直至溢出混凝土方且无气泡冒可停止泵送混凝土,关闭灌注口阀门且不得漏浆。

钢管拱主弦管灌注孔、出浆孔均设有加强衬板(钢管拱节段预拼时即将其焊接就位),待混凝土施工完成后及时封焊盖板,盖板利用原位割下钢管壁修边坡口后复位。

5 结束语

酉水大桥为主跨292 m的非对称上承式钢管混凝土拱桥,采用斜拉扣挂法技术保障了钢拱肋的施工。钢拱肋的标准节段采用“2+1”的方式在预拼场内进行组拼,划分吊装单元并按节段进行精准架设。合龙过程中采用连续观测、精确配切技术及合龙锁定、精调装置确保了钢拱肋的顺利合龙,整个施工过程安全可靠,钢拱肋实际的成拱线形与设计值较为吻合。该桥于2019年8月12日顺利合龙,2021年12月6日开通运营,运营状态良好。

参考文献:

- [1] 严爱国,夏正春,张杰,等. 张吉怀铁路芙蓉镇酉水大桥方案比选 (下转第118页)

- 24(12): 141 - 145.
ZHANG Qile, DONG Liandong, LIU Linya, et al. Vibration Analysis of Metro Train Operating in Special Shape Shield Tunnel Based on Transfer Function Calibration Method [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(12): 141 - 145.
- [11] 曾小刚. 市政隧道开口段异型箱涵结构设计研究[J]. 工程建设与设计, 2020(19): 26 - 28.
ZENG Xiaogang. Study on the Structural Design of Special-shaped Box Culvert in the Opening Section of Municipal Tunnel [J]. Construction & Design for Engineering, 2020(19): 26 - 28.
- [12] 谭锡洪, 孙小兵, 马兆荣. 异型箱涵有限元分析及配筋简化计算导则[J]. 山西建筑, 2008, 34(23): 82 - 83.
TAN Xihong, SUN Xiaobing, MA Zhaorong. Finite Element Method Analysis of Special Shaped Box Culvert and Reinforcement Reduction Calculation Methods [J]. Shanxi Architecture, 2008, 34(23): 82 - 83.
- [13] 朱志祥. 隧道异型结构二次衬砌支撑体系快速施工技术研究[J]. 建筑与预算, 2021(5): 95 - 97.
ZHU Zhixiang. Study on Rapid Construction Technology of Secondary Lining Support System of Tunnel Special-shaped Structure [J]. Construction and Budget, 2021(5): 95 - 97.
- [14] 李凌云. 异型套拱在隧道洞口小净距浅埋偏压段的应用[J]. 山西建筑, 2009, 35(29): 312 - 313.
LI Lingyun. Application of the Heterotypic Shaped Sets of Arch in the Tunnel Entranced Hole with Small Spacing Shallow Section and Bias [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(29): 312 - 313.
- [15] 张万斌, 李海军, 王明年. 喷筑隐式异型中墙复合式连拱隧道的设计分析[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(6): 147 - 151.
ZHANG Wanbin, LI Haijun, WANG Mingnian. Design and Analysis of a Double-arch Tunnel with Concealed, Sprayed Irregular-composite Mid-wall [J]. Modern Tunnelling Technology, 2013, 50(6): 147 - 151.

(上接第 107 页)

- [J]. 桥梁建设, 2021, 51(6): 112 - 117.
YAN Aiguo, XIA Zhengchun, ZHANG Jie, et al. Type Selection for Youshui River Bridge of Zhangjiajie-Jishou-Huaihua Railway in Furong Town [J]. Bridge Construction, 2021, 51(6): 112 - 117.
- [2] 张杰, 严爱国, 郭远航. 主跨 292 m 非对称上承式拱桥结构设计研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(S1): 142 - 146.
ZHANG Jie, YAN Aiguo, GUO Yuanhang. Study on Structural Design of Asymmetric Deck Arch Bridge with Main Span of 292 m [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(S1): 142 - 146.
- [3] 王睿. 高原山区大跨度铁路拱桥施工关键技术[J]. 桥梁建设, 2020, 50(1): 105 - 110.
WANG Rui. Key Construction Techniques for Long-span Railway Arch Bridge in Mountainous Region of Plateau [J]. Bridge Construction, 2020, 50(1): 105 - 110.
- [4] 林祥. 贵州林织铁路纳界河特大桥修建关键技术[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(S2): 118 - 121.
LIN Xiang. Key Technologies for the Construction of Najiehe Bridge on Guizhou Linzhi Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(S2): 118 - 121.
- [5] 李艳哲. 成贵铁路鸭池河特大桥主桥施工技术[J]. 桥梁建设, 2020, 50(5): 16 - 21.
LI Yanzhe. Key Construction Techniques for Main Bridge of Yachi River Bridge on Chengdu-Guiyang Railway [J]. Bridge Construction, 2020, 50(5): 16 - 21.
- [6] 林鹏. 成贵铁路鸭池河特大桥拱肋架设二次横移技术[J]. 桥梁建设, 2019, 49(2): 114 - 118.
LIN Peng. Techniques for Secondary Transverse Movement in Erecting Arch Rib of Main Bridge of Guizhou Yachi River Bridge on Chengdu-Guiyang Railway [J]. Bridge Construction, 2019, 49(2): 114 - 118.
- [7] 王亚维. 成贵铁路贵州鸭池河特大桥主桥拱肋架设施工技术[J]. 桥梁建设, 2017, 47(1): 104 - 108.
WANG Yawei. Construction Techniques for Erection of Arch Rib of Main Bridge of Guizhou Yachi River Bridge on Chengdu-Guiyang Railway [J]. Bridge Construction, 2017, 47(1): 104 - 108.
- [8] 张春新. 西江特大桥钢箱提篮拱架施工技术[J]. 桥梁建设, 2015, 45(5): 7 - 12.
ZHANG Chunxin. Construction Techniques for Erection of Steel Box Basket Handle Arch of Xijiang River Bridge [J]. Bridge Construction, 2015, 45(5): 7 - 12.
- [9] 赵剑发. 准朔铁路黄河特大桥主桥钢管拱架方案比选[J]. 桥梁建设, 2015, 45(1): 108 - 113.
ZHAO Jianfa. Comparison of Erection Schemes for Steel Tube Arch of Main Bridge of Huanghe River Bridge on Zhungeer-Shuozhou Railway [J]. Bridge Construction, 2015, 45(1): 108 - 113.