

# 犍为岷江特大桥主跨 458 m 钢管混凝土拱桥 施工关键技术

陈文强, 叶 顺, 桂文涛, 胡元峰  
(海波重型工程科技股份有限公司, 湖北 武汉 430207)

**摘 要:** G4216 仁寿经沐川至屏山新市高速公路控制性工程犍为岷江特大桥主桥采用主跨 458 m 中承式钢管混凝土拱桥。主桥由主拱圈、桥面梁和附属结构三部分组成。主要介绍该桥的总体制造思路、制造关键重难点及解决思路、大节段整体运输重难点及解决思路、现场安装重难点及解决思路。

**关键词:** 中承式; 钢管混凝土拱桥; 制造技术; 桥梁施工; 总体布置; 大节段运输

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)03-0107-06

## 0 引 言

犍为岷江特大桥桥址位于犍为县县城下游孝姑镇、清溪镇交界处, 连续跨岷江及其支流马边河。该桥跨越岷江主桥采用 457.6 m 的中承式钢管混凝土拱桥(见图 1)。主桥由主拱圈、桥面梁和附属结构三部分组成, 主拱圈拱轴线采用悬链线, 净跨径 400.0 m, 净矢跨比 1/4, 拱轴系数为 1.45; 桥面梁由纵、横梁组成格子桥面梁, 纵、横梁均采用“工”形截面, 拱圈与桥面梁之间以吊杆、立柱进行连接。主桥钢结构总重量约 11 600 t, 单根主拱分段最大重量约 152 t<sup>[1]</sup>。

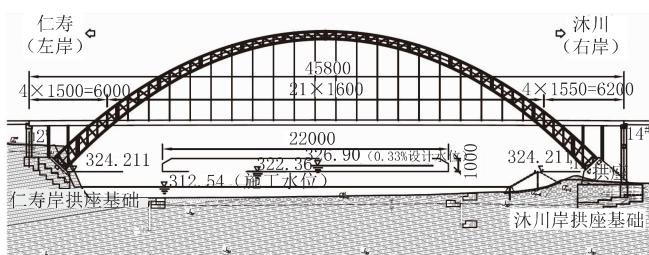


图1 犍为岷江特大桥主桥布置图(单位:cm)

针对主桥结构复杂、钢管拱合龙位调整难度大等技术难题, 主桥采用缆索吊先对称吊装主拱, 合龙后桥面梁采用悬拼的安装方式进行安装。

## 1 主桥总体制造方案

根据犍为岷江特大桥的结构特点, 重视制造精度, 控制焊接变形是保障桥梁线形和尺寸正确性的

关键。结合工厂已建和在建钢管拱桥制造方面的成功经验, 犍为岷江特大桥钢结构制造总体思路如下:

(1) 主拱肋制造思路: 主拱圈上、下弦管采用多筒节“以直代曲”的加工方法进行制造, 筒节采用钢板卷制, 接长后形成主弦管部件; 平联、横撑短接头等直径大于 800 mm 的采用管板卷制, 直径小于 800 mm 等直接采购成品直缝钢管或无缝钢管; 钢管相贯线接头全部采用相贯线数控切割机进行切割。主拱肋分段的上、下弦杆、腹杆、法兰、平联管、缀管等在卧拼胎架上进行主拱肋分段制造, 主拱肋分段焊接完成后进涂装车间进行喷砂除锈及涂装, 然后首轮转运至码头区域进行“2+1”拱肋节段“立位”试拼装, 首轮试拼装满足精度要求则后续不用进行试拼装直接发运。犍为岷江桥主线桥横断面布置见图 2。

(2) 主梁制造思路: 主梁中的主横梁、次横梁、主纵梁、次纵梁零件采用数控切割机下料后均以单根杆件的形式组装焊接成工字梁单元件(其中主纵梁、次纵梁现场拼装接头的腹板及下翼板孔群在零件下料后匹配钻孔, 然后匹配组装成工字梁单元件), 纵梁拼接板零件下料后采用平面数控钻床钻孔; 主梁节段在厂内采用“长线法”匹配制造, 横、纵梁在厂内焊接形成杆件后整体进砂房进行喷砂除锈及涂装。完成后参与试拼装流程, 拼装完成形成吊装分段后整体船运至现场缆索吊安装。犍为岷江桥主线桥单个节点横梁三维示意图见图 3。

### 1.1 拱脚铰轴部件制造工艺技术

分别滚圆铰轴及轴瓦零件, 检查轴瓦的内径及铰

收稿日期: 2020-07-16

作者简介: 陈文强(1992—), 男, 学士, 助理工程师, 从事钢结构研发制造工作。

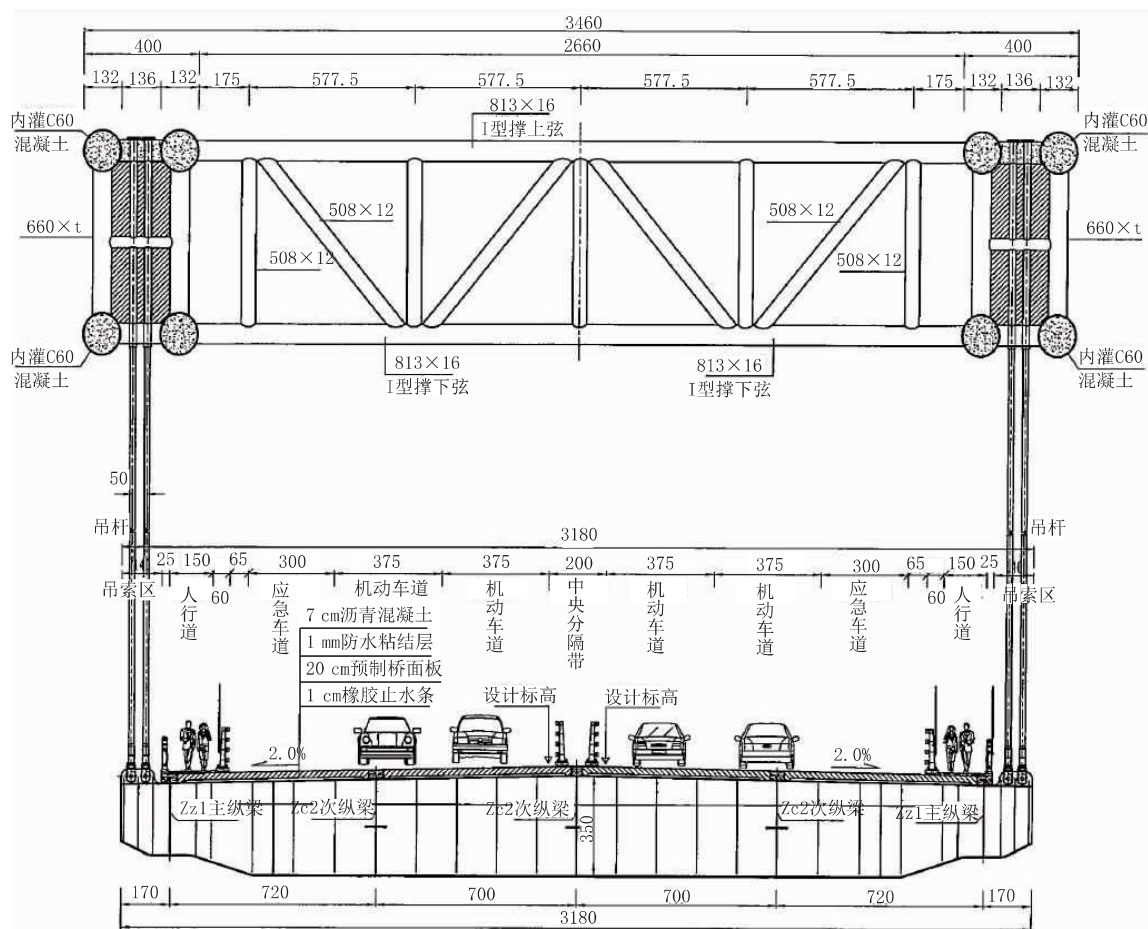


图 2 犍为岷江桥主线桥横断面布置图(单位:cm)

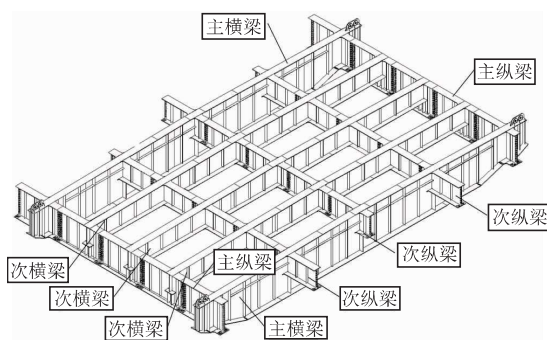


图 3 犍为岷江桥主线桥单个节点横梁三维示意图

轴的外径,保证二者的内外径之差满足设计规范要求;将轴瓦嵌套至铰轴内,以铰轴作为胎架面装配轴瓦加劲和轴瓦底板;将一侧轴瓦底板固定至刚性胎架上,焊接轴瓦加劲焊缝,保证轴瓦的圆度及轴瓦底板的平面度;焊接完成后进行火焰校正,并用锯床将轴瓦圆筒从中间一分为二,由于已装焊轴瓦加劲,能保证剖开后的轴瓦瓦面的圆度和整体外形<sup>[2]</sup>。

## 1.2 主拱肋分段卧拼装制造工艺技术

本项目主拱肋分段“卧式”拼装首轮采用“3+1”节段片体匹配组装,其他轮次采用“2+1”节段匹配制造。上下弦管、平联、腹杆、缀管、横撑短接头以管散件进入拼装。构件上拼装胎架顺序为:下层上弦管→

下层腹杆/斜杆→下层下弦管→缀管/吊杆套管/平联管→上层上弦管→上层腹杆/斜杆→上层下弦管→横撑短接头→线型检测→焊接→矫正→线型复核。拼装验收合格后并进行严格统一的标记标识在片体两端,并用样冲标记后方可转运至立拼装场地<sup>[3]</sup>。

## 1.3 主拱肋分段立拼装制造工艺技术

按照地样线及胎架布置图要求划制地样线并布置胎架。胎架与预埋铁点焊固定;钢管地样线绘制中心线及边线,采用全站仪根据放样数据确定分段位置。主拱肋片体的控制点与地样线上对应的线对齐,使用水平仪调整弦管的高度,使得主弦管对应结构控制点处于同一水平面内。下弦管与胎架模板之间刚性连接固定。采取具有足够刚性及稳定性的临时支撑,对片体进行支撑、固定。依次组拼主拱片体、平联、斜撑、横撑及K撑等部件,同步报检各部件定位精度及尺寸,合格后整体对称施焊,最大限度减小焊接变形。主拱肋分段立拼装制造流程见图4。

## 1.4 桥面梁横、纵梁制造工艺技术

桥面梁横零件采用数控无限回转坡口机切割下料,采用专用胎架卧式装配成整体杆件,采用专用船型焊接胎架全自动龙门式埋弧焊接方式焊接;使用

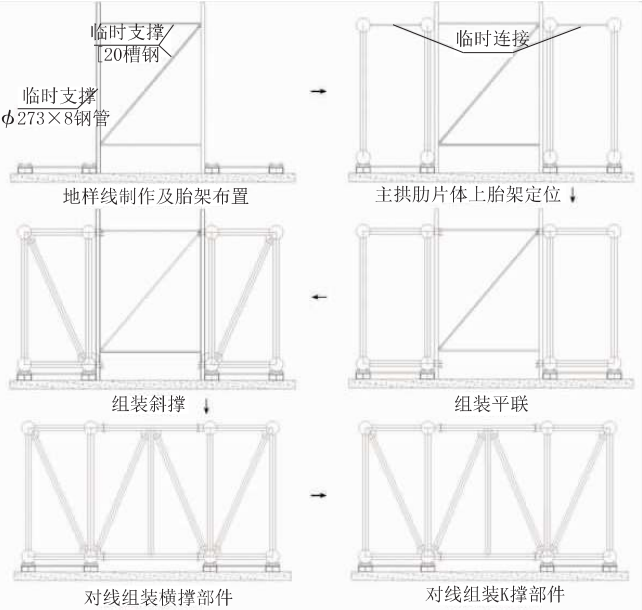


图4 主拱肋分段立拼装制造流程示意图

翼缘矫正机进行对主梁工字钢进行矫正，保证腹板与顶底板的夹角及腹板自身平面度；横梁加劲采用两面对称立焊的方式进行焊接，减少因加劲焊接量大导致横梁腹板扭曲变形；接头板安装时保证接头板孔群到腹板的间距；腹板孔群与底板孔群的相对位置。桥面梁纵梁同理采用横梁制造技术制造成杆件，采用先孔法三维数控钻床进行杆件锁点钻孔，保证纵梁两端孔群的相对位置。纵梁拼接板零件下料后采用平面数控钻床钻孔，横、纵梁在厂内焊接形成杆件后整体进砂房进行喷砂除锈及涂装。

1.5 桥面梁试拼装施工工艺技术

本项目分段横梁、主纵梁及次纵梁分段总装在专用胎架上进行试拼装，试拼装按厂内制造次序及现场安装次序进行按轮次进行试拼，全桥分两轮分别从边跨向中跨拼装以“长线”法匹配形式进行匹配制造(见图5)。达到“2+1”分段试拼验收合格后，可将前面两个节点的横梁焊接成运输分段并进行严格统一的编号后，脱胎分离转运至下一工序，留下一个分段继续进行“长线法”拼装。依次完成全桥60个分段的试拼装，既保证了桥面梁线型，又大大缩短了试拼装的工期。

2 大节段整体运输方案

根据仁沐新高速公路犍为岷江特大桥钢结构构件节段自身长度、宽度、重量，以及岷江航道水流急、滩险众多等特点，主拱肋及桥面梁采用船运至犍为岷江大桥桥位后由现场缆索吊吊装卸船，钢管拱节段及桥面梁大分段卸船后直接吊装。

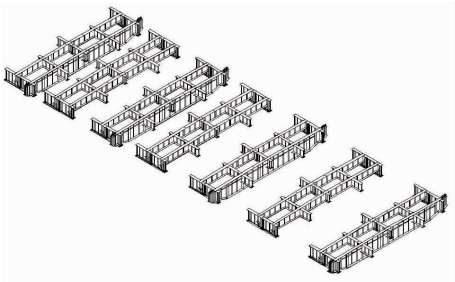


图5 桥面梁试拼装脱胎分段示意图

2.1 主拱肋运输船舶装载方式

主拱肋长度为18~39 m、宽度为4.5 m、高度为7.00~13.00 m，重量为120~150 t。主拱肋采用大节段立装方式进行运输，装载方式见图6。

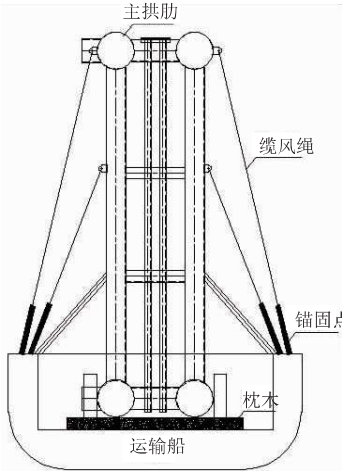


图6 主拱肋运输装载示意图

2.2 桥面梁运输船舶装载方式

桥梁主梁长度为24.50~39.0 m、宽度为8.0 m以下，高度为2.80~3.70 m，重量为20~80 t。桥面梁试拼装脱胎换采用大节段整体装载船运至现场，装载方式见图7。

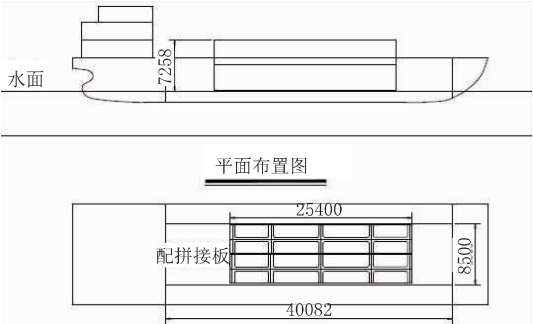


图7 桥面梁运输装载示意图(单位:mm)

2.3 运输船舶顺向定位方案

高度超8 m以上的约36件主拱肋节段，根据缆索吊情况主拱肋经水路运输到桥位后，主拱肋节段必须是按长度方向平行于桥梁方向吊装，采用单索双车从船上垂直吊装上桥进行安装，根据船舶型宽，不能横向装船运输至桥位，故在码头装船时只能是

纵向装船运输主拱肋,当流速大于 1 m/s 时船舶打横风险较大,故采用万向钩吊具(见图 8)将钢结构件转体,并其操作要点如下:运输船舶纵向停靠桥位定位船并系好缆绳后,选用两条相同主尺度和吃水的甲板驳,两条甲板驳依次定位抛锚后,用槽钢进行连接,保证两驳船稳定,运输船到位后抛艏锚,与甲板驳固定(见图 9)。同时缆索吊跑车单根缆索上的双勾通过吊具相连,吊具中心处设置吊点,通过单根钢丝绳与吊带相连,同时设置 4 根缆风绳,通过人工辅助进行转体。

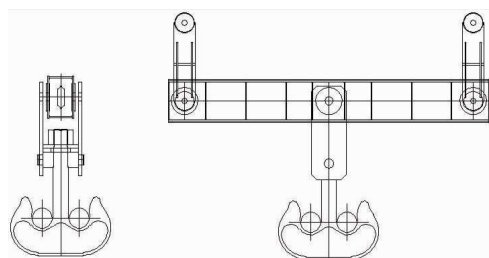


图 8 万向钩吊具结构示意图

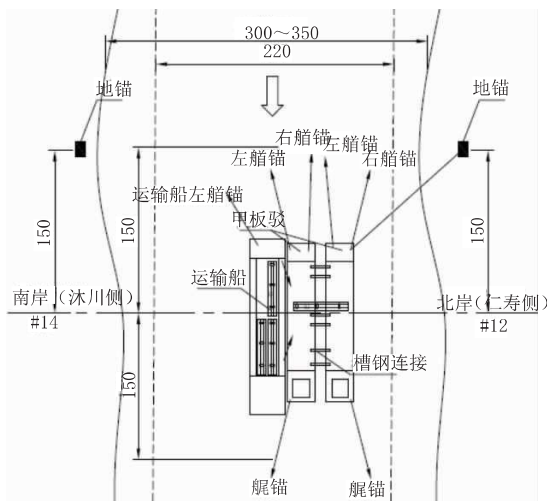


图 9 甲板驳定位示意图(单位:cm)

### 3 主桥总体施工方案

根据本工程现场地理条件,结合已有的施工经验及设备条件,本工程总体施工方案如下:

(1)拱肋各节段采用斜拉扣挂式无支架缆索吊装方案。拱肋节段在加工厂制作,试拼装合格后,构件用船运至现场拼装场拼装为整体,通过缆索吊装系统起吊、安装;

(2)拱肋间横撑吊装重量约为 32 t 左右,在拱肋内侧设置工作索,采用工作索进行横撑吊装;

(3)桥面梁安装分为拱上段安装和拱下段安装。均采用缆索吊装进行安装。

上部结构安装流程见图 10。

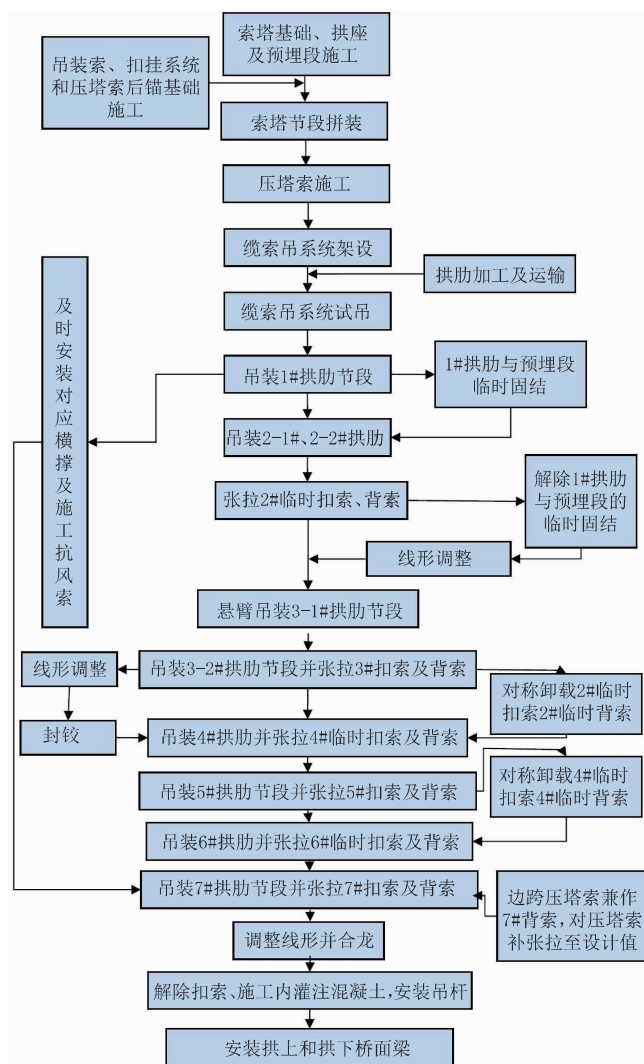


图 10 上部结构安装流程示意图

#### 3.1 缆索吊系统总体设计

本项目缆索吊系统由索塔、主缆索系统(主索、牵引索、起吊索)、工作索系统、压塔索系统、卷扬机系统、锚碇、扣索背索系统组成<sup>[4]</sup>。

(1)跨径组合:吊装系统采用双塔三跨方案,中支点为钢管索塔结构,后锚碇为“桩基+承台结构”。跨径组合为 186.75 m+482 m+240.6 m。在上下游各布置一套缆索吊装系统(包括主索、工作索、及压塔索等)。

(2)设计最大吊装重量:拱肋构件节段最大重量为 151.99 t,采用单幅主索起吊;采用 151.99 t 为主索设计的控制荷载。工作天线设计控制荷载为拱肋间横撑最大重量 32 t。

(3)工作垂度:根据吊重、索塔构件(9 m 标准节段)、索塔基础高程以及主梁吊装跨越拱顶需要的距离综合考虑,取主索工作垂度为  $L/13=37.08$  m,此时吊重净空为 13.336 m,满足主梁吊装要求。工作天线

垂度选取主要根据受力情况配置,选取工作垂度为  $L/13=37.08\text{ m}$ 。

3.2 主拱肋及拱肋间横撑安装施工工艺技术

分别在两岸12#交界墩后方、14#交界墩布置钢管柱索塔,索塔上部设置扣背索锚箱安装层,在索塔塔顶对应拱肋位置布置缆索吊装系统。

两岸分别自预埋段拱肋节段开始,向对岸拼装至7#节段拱肋。待整体调整好轴线及各控制点高程后,吊装合龙段,实施合龙。逐级对称放松各扣、背索,完成全部拱段吊装。

拱肋各节段两岸对称安装;每安装完成两节段拱肋,上下游侧布置横向抗风,每节段完成安装后,对应位置安装相应扣索及背索系统,拱肋线性调整完成后,再进行下一节段吊装。

吊装时,主拱肋节段吊装为上下游独立起吊,采用整体节段吊安,最大拱肋节段吊装重量为151.99 t (见图11)。

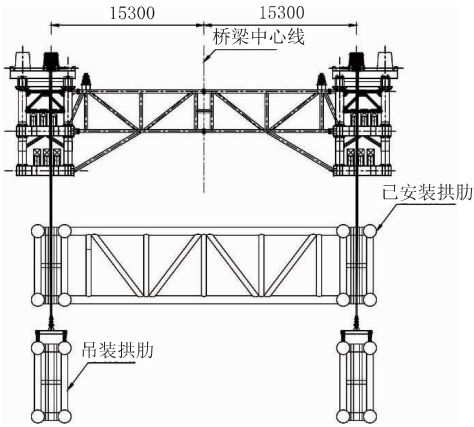


图 11 主拱肋吊装示意图 (单位:mm)

拱肋间横撑吊装重量约为32 t左右,在拱肋内侧设置工作索,采用工作索进行横撑吊装。

3.3 桥面梁安装施工工艺技术

本桥为中承式钢管混凝土拱桥,桥面梁安装分

为拱上段安装和拱下段安装。均采用缆索吊装进行安装。

拱下节段桥面梁吊装方法为在14#拱座前方陆地上设置拼装场地,桥面梁构件通过运输船运输至拼装场岷江边,用龙门吊机吊放至拼装场,在拼装场拼装成节段,采用缆索吊从拱肋外侧下放吊点对桥面梁进行安装施工。缆索吊系统在拱肋吊装完毕后,将主索鞍横移至拱肋外侧,下放吊点起吊、纵移,完成跨中桥面梁的吊装。

拱上桥面梁安装方法为在仁寿岸交界墩处搭设支架平台,在支架平台上拼装梁段,然后整体从拱肋上进行吊装 (见图12)。

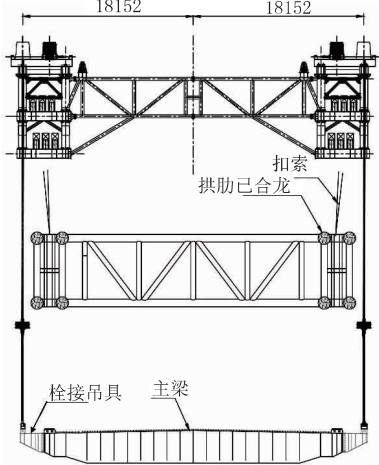


图 12 桥面梁吊装示意图 (单位:mm)

3.4 主拱肋合龙段施工工艺技术

本桥合龙采用瞬时连接装置辅助合龙,具体设计见图13。

拱肋瞬时合龙应选择在水温较低的时间区段内进行,在进行拱肋合龙施工前一周时间内,对每天不同时间区段的水温测量,以确定合龙时间及温度;本桥安装完第六节段及其横撑后,安装第七节段,然后择机合龙;瞬时连接装置在两岸第七段均安装好

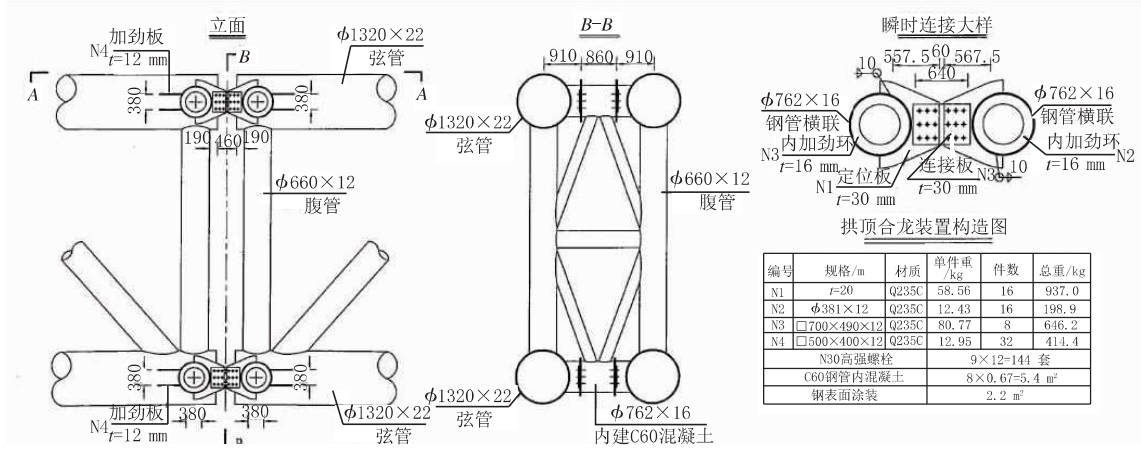


图 13 瞬时连接装置 (单位:mm)

以后,将拼接板安装在已钻好的一侧。通过收放缆风绳、扣索调整好两半孔拱肋的拱顶合龙标高、平面轴线后,选择符合设计要求的合龙温度,利用连接板上的螺栓孔现场套钻拼接板上另一侧的  $\phi 32$  冲孔钉,同时完成 8 个合龙口的瞬时合龙。

### 3.5 桥面梁合龙段施工工艺技术

桥面梁由缆索吊从两侧向桥中侧进行大节段吊装,预留 5 m 宽度合拢段,合拢段整体大节段船运至主桥下方,将主索鞍横移至拱肋外侧,下放吊点起吊、纵移,完成跨中桥面梁合拢段的吊装。

## 4 结 语

犍为岷江特大桥主跨 458 m 钢管混凝土拱桥结构新颖、桥型美观,具有许多优点,该桥型已为众多桥梁设计者所采用,但该桥型结构复杂、技术含量高、精度要求高、施工难度大,其中铰轴部件的制造

工艺技术、主拱圈立拼的制造工艺、桥面梁长线法制造工艺技术等是关系全桥制造成败的关键;同时,采用缆索吊先拱后桥的施工方法,合理有效的施工安排,在施工过程中精心组织,精心施工,严格控制,确保施工质量,已于 2020 年 1 月主拱安全合龙<sup>[5]</sup>,大桥各项检测数据均满足设计要求。

### 参考文献:

- [1] 何畅,张维福.G4216 仁寿经沐川至屏山新市高速公路犍为岷江特大桥主跨 458 m 钢管混凝土拱桥总体设计[J].西南公路,2018(3):5-9.
- [2] 陈文强.贵州江凯河特大桥中承式钢管混凝土等截面桁架拱桥制造关键技术[J].冶金与材料,2019(2):16-17,19.
- [3] 陈宝春.钢管混凝土拱桥[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [4] 满洪高.桥梁施工临时结构[M].北京:人民交通出版社,2012.
- [5] 梁鹏.仁沐新高速犍为岷江特大桥钢管拱桥主拱成功合龙[N/OL].四川经济日报,2020-01-17 [2020-01-15].<http://epaper.scjrb.com/Article/index/aid/3264460.html>.

(上接第 103 页)

向培养相关人才。组织有经验的专家开展科技下乡的活动,提出针对黑臭水体治理的合理性建议。

## 4 结 论

综上所述,笔者认为,加强农村小流域黑臭水体治理工作要从以下几方面进行:

(1)必须与小流域治理相结合,加大资金投入力度。黑臭水体的治理是民生工程,也是生态环境保护中最惠民的,为中国 8 亿农民开展黑臭水体治理最得民心的工程之一。加大资金投入合理统筹规划利用,将其用到农村黑臭水体治理,污水处理设施建设等项目中去。

(2)要充分考虑到农村不同的地域、经济、人口密度及污染源规模,采用科学的治理方式和技术。借助先进的现代化生态修复措施减轻对于水体的污染。

(3)加强制度建设及管理。要严格按照农村当地的实际情况,进行制度的建设,将农村黑臭水体治理要求纳入到村规中,增强村民环境保护意识,各级政府应对管理保护人员提供奖励机制。

总之,在“水十条”、“河长制”等相关法规的推动下,我国农村开展黑臭水体治理一定会取得十分有效的成果。