

空间发散独拱波浪式钢架组合体系景观钢桥制造 关键技术研究

季 轩,张 俊,全顺红

(中铁重工有限公司,湖北 武汉 430067)

摘 要:空间发散独拱波浪式钢架组合体系应用于深圳前海湾景观钢桥,其钢拱为三根空间发散拱肋,同时拱肋耳板需要与钢架、钢横联、桥面锚点精准定位,配合要求及精确制造难度极高。对桥面上部结构的钢拱、钢架、钢横联的制造难点进行了分区介绍并针对其难点制定出相应的解决办法,起到了良好的效果。该项目制造精度和质量达到了较高的水平,实现了良好的社会效益。

关键词:景观钢桥;钢拱;组合体系;制造技术

中图分类号: U445.47

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)04-0167-05

0 引 言

随着国家经济的不断发展,人民对美好生活的向往,桥梁已不仅仅是单纯的交通设施,更是一道亮丽的风景,是文化的景观载体^[1]。未来景观钢桥呈组合体系发展趋势,以钢拱、钢塔组合体系异形化、结构倾斜与扭转等变形的综合应用实现景观效果,并使用大量新型材料及超厚板材支撑空间结构受力及稳定性,为加工制造带来大量难题。对其制造技术开展研究有利于促进城市景观钢桥的发展,使更多、更美妙的景观造型成为可能,以城市景观钢桥发展促进城市发展,必然带动城市区域经济的增长与繁荣。

1 工程概况

空间发散独拱波浪式钢架组合体系景观钢桥制造关键技术成功应用于深圳前海湾景观桥,其为法国著名建筑师马克米姆拉姆和东南大学景观桥梁研究中心联合设计,广泛征求了中国著名的建筑学家何镜堂院士等国内知名建筑学专家指导意见。桥梁设计理念为“护佑之翼”,整体结构造型如大鹏振翅高飞,凸显前海绿化空间和水廊道的城市景观特质,打造富有“前海水城”独特风格的艺术佳品^[2],图1为桥梁效果图。

前海湾景观钢桥为单跨简支拱梁组合体系钢桥,设计全长161.22 m,跨径155.5 m,桥宽46.5 m,双向8车道。

收稿日期:2022-04-06

作者简介:季轩(1989—),男,工学硕士,工程师,从事桥梁钢结构生产制造工作。



图1 桥梁效果图

2 结构特点

2.1 桥梁结构形式

该桥总体结构形式组成如图2和3所示,由钢主梁、钢拱、钢架、钢横联、内吊杆和外吊杆组成。

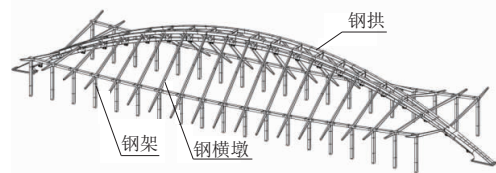


图2 桥面上部组合结构三维布局图

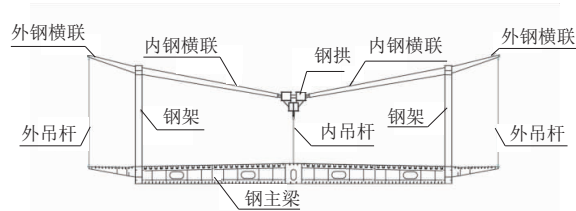


图3 桥梁横断面图

其中,钢主梁为正交异性板结构,主纵梁两端头与钢拱的拱脚为整体结构,中间包含的钢锚箱为吊杆的下锚点,边纵梁与钢架下部焊接。

钢拱从拱脚的单箱结构发散为上部两根、下部一根的空间拱肋结构,拱肋间由横向联系杆件连接成空

间钢架拱,横断面成三角形结构。由上拱、下拱、平联、斜联组成。如图4所示,上拱隔板与耳板为整体,从腹板相应孔洞中穿出后与钢横联销接,下拱耳板从底板孔洞中穿出用于连接吊杆。

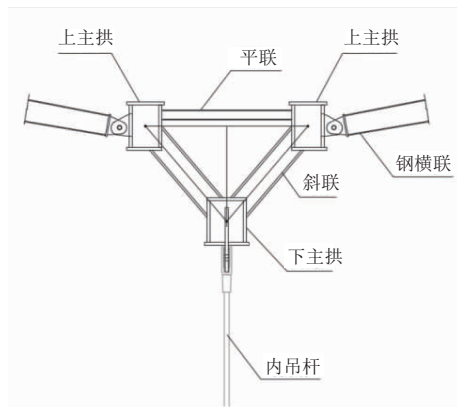


图4 钢拱节点断面图

主拱从钢桥面到拱架最高点为23.382 m,拱肋根据各段受力情况分别采用厚度为40 mm、60 mm的钢板。上平联与两侧斜联跨中区域顶、底宽为710 mm;上平联截面高为200 mm,板厚为20 mm;两侧斜联截面高为500 mm,腹板厚度为50 mm,根据受力情况,顶、底板厚度分为30 mm、40 mm两种。

钢架分为横梁和立柱,均为单箱结构,立柱下部与钢主梁的边纵梁焊接。钢横联同样为单箱结构,上端与上拱耳板销轴连接,下端与钢架焊接。

2.2 制造难点

(1)上部为空间发散独拱波浪式钢架组合体系,钢拱主体形式为发散的上部两根、下部一根的空间拱肋结构,同时空间拱肋与波浪式钢架通过刚性横联组合在一起,对该体系结构的整体制造精度要求极高。

(2)钢拱由单箱室拱脚转换为空间拱肋,其转换过渡段为制造的最难点,为保证结构强度,其主轮廓均为60 mm厚Q420qD高强度钢板,为实现外形结构的转换,其截面也在不断变化,同时其内部加筋纵横交错相互干涉,完成该节段的制造及焊接难度极大。

(3)拱脚结构的腹板内嵌入桥体端横梁中,与主梁端横梁腹板设计为一体,如何在满足运输和吊装因素限制下进行分段,分体制造,现场实现拱脚内部狭小空间对接成型同样一大难题。

3 钢拱制造关键技术

根据结构特点,将钢拱划分为拱脚段、拱脚拱肋过渡段、拱肋段,如图5所示。

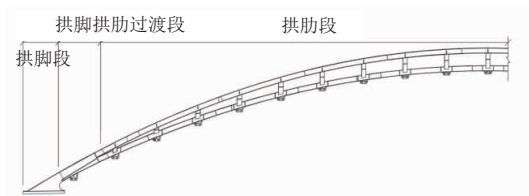


图5 钢拱分段示意图

3.1 拱脚段制造方法

如图6所示,拱脚段主体结构为单箱四室形式,主要由顶板、底板、边腹板、中腹板、中层底板、隔板组成。

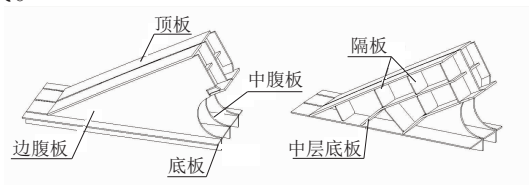


图6 拱脚段结构示意图

拱脚段与主梁对接处,主梁内三道腹板外伸出顶板与拱脚段的腹板成为整体,同时主梁内部与结合段顶板、中层底板、底板对接处均设置有隔板对结构进行加强,其中最小间距仅600 mm。

其中,拱脚段腹板均为60 mm厚度,对接焊缝必须开双面坡口在两侧同时焊接才能溶透达到设计强度,操作人员必须进入腹板中间箱室区域才能完成焊接作业,且每个隔板间的箱室均需进入焊接施工。

为组装拱脚段与主梁的对接,采用部分零件现场散拼的形式,如图7所示,在工厂内将无标号的零件制造为整体,有标号的零件作为散拼件随整体结构一同发运到现场。拱脚结构发运到现场后,操作人员先进入拱脚内部焊接拱脚与端横梁的纵向对接焊缝,再将底板中分割出①~③号零件安装,最后按④~⑥零件安装顺序从箱室内倒退拼装,可实现拱脚与端横梁现场组装。图8所示为拱脚段制造成型图。

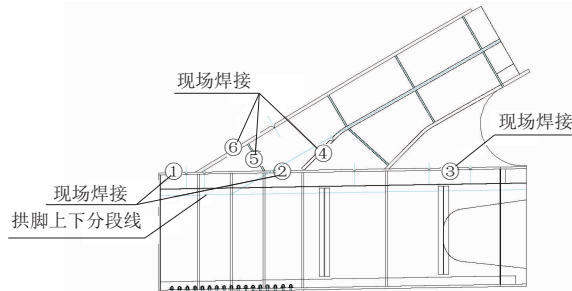


图7 拱脚段与主梁对接处总体制造思路



图8 拱脚段制造成型图

3.2 过渡段制造方法

如图9所示,过渡段以拱箱封板为基准分为拱箱部分和拱肋部分。

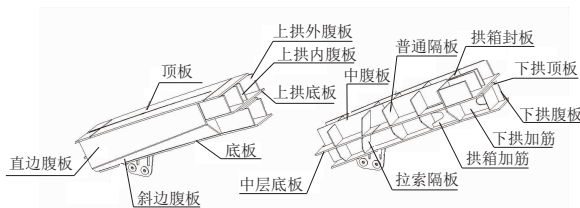


图9 过渡段结构示意图

拱箱部分由顶板、直边腹板、斜边腹板、中腹板、底板、中层底板、拉索隔板、普通隔板、拱箱加筋、拱箱封板组成。直边腹板与斜边腹板均为60 mm厚板,斜边腹板与上下对接均为斜交对接坡口定位难度大,厚板焊接又将造成钢板收缩无法成功对位;拱箱内部结构焊接空间狭小且要求高,难以保证焊接质量;节段制造完成后,拱箱与拱脚节段对接后为封闭舱室,操作人员无法入内施工,导致内部中腹板和中层底板节段间的对接焊缝无法焊接。

拱肋分为上拱肋和下拱肋,上拱肋与拱箱共顶板,为单箱双室结构,下拱肋与拱箱共底板,是单箱室结构。拱肋与下一节段对接时内部的上拱底板、上拱内腹板、下拱顶板对接焊接均无法实现焊接。

为解决以上难题采用如下方法进行制造:

第1步,如图10(a)所示,对节段底板数控切割,让其在搭设的拼装胎架上自然成型,同时作为整体节段制造的基准。再依次组装中腹板、拱箱封板,首先保证主体结构熔透焊缝施焊空间和质量,最后组装第一层隔板。

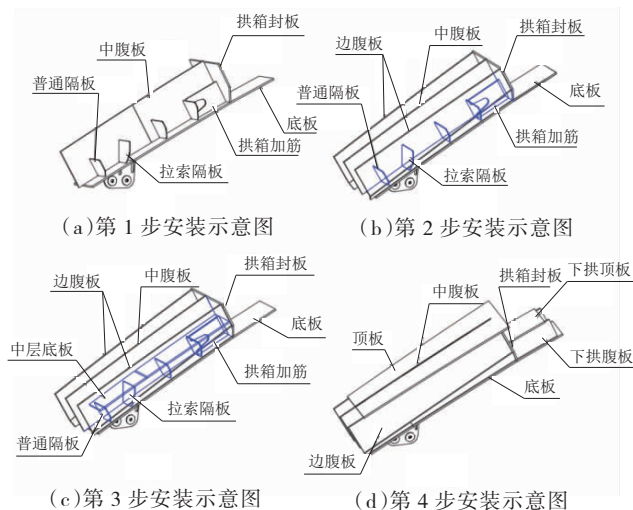


图10 过渡段制造步骤1~步骤4示意图

第2步,如图10(b)所示,安装边腹板。为预防60 mm厚斜交腹板主焊缝施焊过程中的焊接变形,预先在保证直边腹板和斜边腹板相对角度条件下使

用码板进行预固定,后吊装到节段上,先焊接隔板与边腹板,待边腹板与隔板焊接完成后再焊接边腹板间的对接焊缝和与节段的主焊缝。

第3步,如图10(c)所示,安装中层底板。成箱室后无法焊接拉索隔板与中层底板的焊缝,将中层底板在图示位置断开,使操作人员能够进入到下箱室完成焊接。中层底板与拱箱加筋连接处局部开槽,拱箱加筋顶面延伸出中层底板的厚度并开双面坡口,实现其三面焊接的设计意图。

第4步,如图10(d)所示,安装拱箱顶板以及下拱零部件。将顶板与中腹板连接处局部开槽,中腹板顶面延伸出顶板的厚度并开双面坡口,使中腹板和顶板成为一体。

第5步,如图11所示,与拱脚节段对接制造措施。节段制造完成后,拱箱与拱脚节段对接后为封闭舱室,导致内部中腹板和中层底板节段间的对接焊缝无法施焊。在节段制造时为对接处中层底板预留1 000 mm嵌补段,为顶板预留900 mm嵌补段,使操作人员能进入舱室作业。

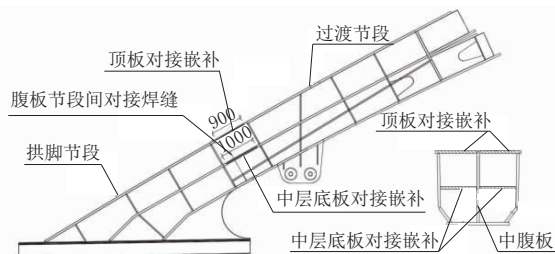


图11 过渡段制造步骤5示意图

对接施工时,对位拱脚与拱箱的腹板和底板,在箱室内完成中腹板和底板的焊接,在箱室外完成外腹板对接焊缝。以退装法逐层完成中层底板和顶板的嵌补段安装,实现与拱脚节段对接施工。

第6步,如图12所示,与拱肋节段对接制造措施。拱肋与下一节段对接时内部的上拱底板、上拱内腹板、下拱顶板对接焊接均无法实现焊接,为解决此问题采取上拱节段在厂内加工完成后,以零件形式发往项目现场逐步安装的方式。

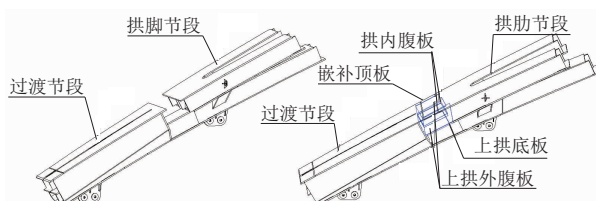


图12 过渡段制造步骤6示意图

首先,以下拱为定位基准,定位节段间的环焊缝,然后拼装上拱底板完成其对接,再完成上拱内腹板的对接,待内腹板安装完成后安装外腹板,最后安

装顶板的嵌补段。其中,嵌补段需预留 1 000 mm 的人员操作空间。



图 13 过渡段制造成型照片

3.3 拱肋段制造方法

拱肋段呈空间发散结构,其制造过程划分为小节段制造、节段预拼装、拱间连接安装等步骤。

第 1 步,节段制造。三根发散的拱肋按其线型分开制造,每根钢拱肋分为 9~14 m 的小节段,先采用单个节段制造再总体拼装的方式,制造时重点保证拱肋耳板与拱肋节段的位置和角度关系。

第 2 步,节段预拼装。根据设计线型搭设半幅拱肋预拼胎架,跨中节段不预拼,预留到施工现场进行调节。考虑到主拱高度多在 20~30 m,故采用相对设计位置旋转 90°放倒拼装的方式,如图 14 所示。

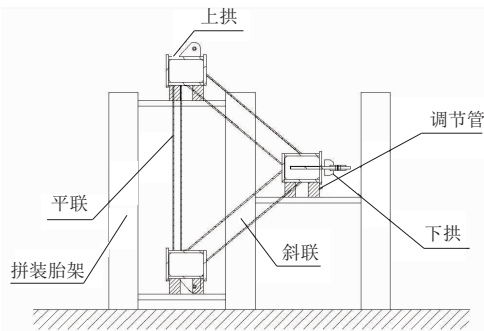


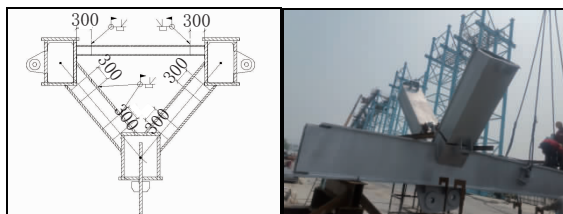
图 14 拱肋段预拼装胎架搭设示意图

预拼装胎架搭设完成后,对每个节段的耳板位置进行地面划线放样,拼装时每个节段均以此线为纵桥向定位基准。首先在胎架上定位无发散线形的下拱,以下拱耳板中心线为基准放点与地线匹配调整,定位完成后对节段间余量进行配切,有效保障节段间的连续性。下拱预拼完成后,再以下拱为定位基准对两个上拱进行预拼,定位完成后复测上拱耳板轴线与地线的相对位置关系。拱肋段节段间预拼装实景照片如图 15 所示。



图 15 拱肋段节段间预拼装实景照片

第 3 步,拱间连接制造。主拱到拼装胎架上定位完成后,对钢拱间的三角形横向连杆进行预拼装,焊接平联和斜联与拱肋连接焊缝,如图 16 所示。预拼装完成后在胎架上切割开平联和横梁,预留中连杆与拱肋连接的定位接头,同时安装匹配件,便于发往现场后再拼装的定位,同时可以避免现场安装时斜联接口的立焊和仰焊操作。



(a)拱肋段拱间连接节点分段示意图 (b)拱肋段拱间连接节点实景照片

图 16 拱肋段拱间连接节点分段示意图及实景照片

4 钢架及钢横联制造关键技术

钢架结构按照钢架立柱和钢架横梁进行分段制造。钢架节段生产完毕后与主桥的边纵梁结构组合预拼,先将边纵梁整体 90°放倒,再把每根钢架立柱放倒与边纵梁上的钢架的底座对应配合,最后根据钢架立柱间距的定位调整钢架横联连接。

钢架预拼完成后与钢横联的进行预拼装。取单根钢架立柱与配套钢横联进行预拼装,角度复核完成后对钢横联与钢架连接处进行焊接成型。钢架与配套钢横联焊接完成后,切断钢横联并预留与钢架结构连接的定位接头,切口需与钢架立柱方向平行,便于发运到现场后钢横联与钢架立柱对接找正,且切口间不会相互干涉阻碍钢横联沿销轴转动。图 17 为钢架节点实景照片。



图 17 钢架节点实景照片

5 项目的社会效益

中铁重工有限公司承建的深圳前海合作区梦海前湾景观桥于 2021 年 8 月 26 日正式通车,成桥后的实景照片如图 18 所示。梦海大道实现全线贯通,成为继听海大道后又一条贯穿妈湾、前湾、桂湾三片区和宝安中心区的南北向主干道。桥梁造型现代新

颖,体现了前海“先行、创新”特色,成为前海新的网红打卡地。



图 18 成桥后夜间实景照片

6 结 语

空间发散独拱波浪式钢架组合体系景观桥,其钢拱为三根空间发散拱肋,同时拱肋耳板需要与钢架、钢横联、桥面锚点精准定位,配合要求精确制造

难度极高。本文对桥面上部结构的钢拱、钢架、钢横联的制造难点进行了分区介绍并针对其难点制定出相应的解决办法,起到了良好的效果。深圳梦海前海湾景观桥顺利完成建造,实现预期的景观效果,体现出深圳前海区“先行、创新”特色。该桥制造精度和质量达到了较高的水平,实现了良好的社会效益。

参考文献:

- [1] 张绍银.国内外景观桥梁设计现状及发展[J].科技风,2009(15):263.
- [2] 李丰群.深圳前海合作区梦海前海湾大桥设计[J].现代交通技术,2019,16(3):51-54.
- [3] 靳琛.城市景观桥及其周边环境协调机制研究[J].华中建筑,2012,30(9):119-121.
- [4] 严亚飞,周喜,沈念龙,等.大跨度空间异型连续梁景观桥制作技术[J].焊接技术,2017,46(9):21-24.
- [5] 高波,李叶茂.重庆千厮门嘉陵江大桥钢桁梁制造关键技术介绍[J].公路交通技术,2014(6):117-121.

(上接第 163 页)

(3)在拖拉过程中,应配备相应的风速检测仪器,当风力等级超过 6 级时现场应立即停止施工。

参考文献:

- [1] 赵人达,张双洋.桥梁顶推法施工研究现状及发展趋势[J].中国公路学,2016,29(2):32-43.
- [2] 项敏.大跨度钢桁梁顶推滑动体系的研究与应用[J].铁道建筑,2017,57(12):21-24.
- [3] 黄成国,朱铮栋,唐益军,李枝军.曲线钢箱梁桥步履式顶推施工横向倾覆稳定性影响因素的分析[J].南京工业大学学报(自然科学版),2020,42(3):399-404.
- [4] 刘军华.大跨径梁拱组合桥拱肋顶推力学性能研究[J].公路,2021,66(4):176-181.
- [5] 杨江国.钢桁梁顶推施工的技术应用[J].城市道桥与防洪,2018(8):222-223,234.
- [6] 车铁成,邓涛,王巍,龚洪苇,周越良.小半径曲线钢箱梁桥顶推施工箱梁横向倾覆稳定性研究[J].水利与建筑工程学报,2021,19(2):144-148.
- [7] 廖应先,达勇.小半径大坡度连续钢箱梁顶推施工分析[J].湖南交通科技,2016,42(3):142-145.
- [8] 杨江国.钢桁梁顶推施工的技术应用[J].城市道桥与防洪,2018(8):222-223,234.
- [9] 王玲,王韬,王荣霞.大跨径连续钢桁梁桥悬臂拼装线形控制方法研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2017,36(11):11-15.
- [10] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].人民交通出版社,2018.
- [11] JTG 025—86,公路桥涵钢结构及木结构设计规范[S].人民交通出版社,1986.
- [12] GB 50009—2012,建筑结构荷载规范[S].中国建筑工业出版社,2012.