

武汉光谷高新大道桥钢塔制作关键技术

谭敏刚

(中铁宝桥集团有限公司, 陕西 宝鸡 721006)

摘要:自21世纪初以来,我国已建成多座大型钢塔桥梁,其制作工艺及相关设备的研发及应用已日趋成熟。随着社会经济的发展,因钢塔具有景观效果良好、现场施工干扰小、工厂化制作等优点,在城市中小跨径桥梁建设中也得到了大量应用。以武汉光谷高新大道桥施工为背景,介绍该项目钢塔结构形式和结构特点,分析钢塔的制作难点,针对外壁板制作、钢塔节段制作、钢塔与横梁段固结、节段整体预拼装等关键技术进行了分析研究,解决了钢塔线形、节段匹配等精度控制难题,有效保证了钢塔的制作和安装质量。

关键词:钢塔;外壁板;钢塔节段;钢塔横梁段;预拼装

中图分类号: U445.8

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0210-04

0 前言

2004年我国建成了第一座桥梁钢索塔——南京长江第四大桥钢塔,为此后的泰州长江公路大桥、马鞍山长江公路大桥等大型钢塔制作积累了宝贵的技术经验。随着社会经济的发展,桥梁钢塔因其具有良好的景观效果、现场施工周期短、对周边环境影响小等优点,在城市桥梁中也得到了较为广泛的应用。与跨江、跨海等大型桥梁钢塔相比,城市桥梁钢塔的景观要求更高,故其结构更为复杂,且具有截面小、曲率或线形变化大等特点,一些部位施工操作空间受限,大型钢塔常用的制作工艺及智能化、自动化设备并不适用。因此,城市中小跨径桥梁钢塔的制作难度更大。本文以武汉光谷高新大道桥施工为例,介绍该项目钢塔的结构形式和特点,分析难点,为同类中小跨桥梁钢塔制造提供借鉴。

1 工程概况

武汉光谷生态大走廊旅游专线一期项目线路全长10.4 km,全线高架敷设,是国内首条商业化运营的城市空中悬挂式轨道列车。其中,高新大道桥为一期项目重要节点工程,采用5跨双塔双索面斜拉桥结构,塔梁固结体系,跨径布置为(20+35+100+35+20)m,全长210 m,斜拉桥结构主要由主梁系、钢塔和钢桥墩三大结构体系组成,如图1所示。

收稿日期: 2023-10-18

作者简介: 谭敏刚(1979—),男,工学学士,高级工程师,从事钢桥梁、钢结构制造工作。



图1 光谷高新大道桥全貌

两座钢塔高度分别为42、42.5 m,立面总宽约13.9 m,采用半椭圆形单箱单室截面;钢塔柱段共划分为5个节段,由下到上分别为1个下塔柱段(T1)、1个塔柱横梁段(T2)、3个上塔柱段(T3~T5)和1个塔顶段(T6)。上塔柱为2 m×2 m等截面,下塔柱为2.5 m×2.9 m的渐变截面。上塔柱共有8个拉索锚固区,设置了锚固加强板,将截面一分为二。塔柱间横梁采用矩形截面,尺寸为1.2 m×1.952 m。横梁底板与主梁顶板共板,形成固结。钢塔壁板厚28 mm,横隔板厚25 mm,拉索锚固区加强板厚32 mm。

2 制作难点分析

(1)钢塔立面为扁圆形、截面为半椭圆形,外壁板的外观质量影响着钢塔的整体景观效果;加之,塔顶段为半椭圆的回转体构造,其外壁板为不可展曲面,常规工艺难以保证制作精度。

(2)钢塔截面小、内部构件多,焊接量大,焊接变

形难以控制,且下塔柱断面自下而上逐渐缩小,整体线形设计复杂,制作及精度控制困难^[1]。

(3)钢塔横梁段底板与轨道梁顶板共板,T2 节段需要和轨道梁节段作为一个整体制造,故塔柱横梁段的制造精度决定着后续轨道梁的安装质量。

(4)钢塔节段间采用焊接方式连接,如何确保现场安装顺利、整体线形精度可控也是一大难点。

3 外壁板制作工艺

结合钢塔线形及截面特点,通过对曲板加工工艺及设备能力的分析、研究,并综合质量、效率、成本等因素,对上、下塔柱及塔顶段外壁板分别制定了相应的制作工艺。

3.1 上、下塔柱外壁板

上、下塔柱外壁板沿高度方向,按 2~3 m 分段制作。上塔柱外壁板为固定截面的半椭圆,椭圆展开长度约 4.2 m,采用辊压工艺制作;下塔柱外壁板为变截面的半椭圆,椭圆展开长度约 4.2~5.2 m。分成三块加工,其中板 1 和板 3 采用折弯成型工艺,板 2 采用辊压工艺,如图 2 所示。

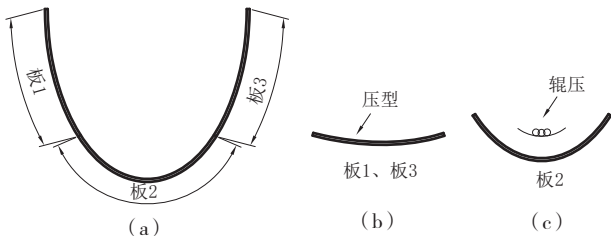


图 2 下塔柱外壁板加工示意

3.2 塔顶段外壁板

塔顶段外壁板制作精度重点从展开图、压型两方面控制,采取了以下措施。

(1)建立钢塔三维模型,将塔顶段壁板在横断面上分成 3 部分、纵向分为 2 段并提取相应的三维模型,采用专用软件绘制展开壁板零件放样图。如图 3 所示,T6~B1、T6~B2 为塔顶段 T6 外壁板纵向分段。

(2)采用三维数控压力机加工壁板曲面,根据曲面各点矢高变化设置压力机上下压点行程,同时还需考虑壁板厚度 28 mm 反弹量较大的特点调整压型参数,以确保壁板曲面的加工精度,如图 4 所示。

4 钢塔节段制作

一般大型曲线钢塔多采用“钢板→板单元→板单元合件→块体→箱体”节段制作工艺^[2],但本项目钢塔截面小、节段内曲线线形变化大,内、外壁板若进行板单元制作则焊接变形矫正量大,且影响节段

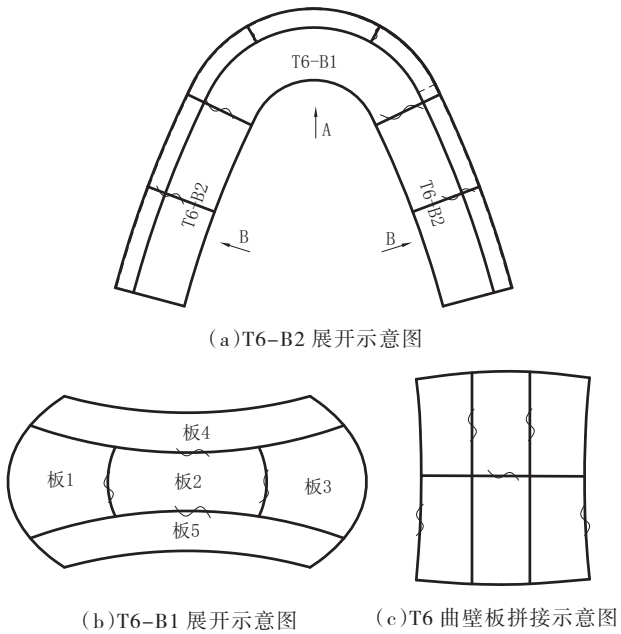


图 3 壁板零件分解展开示意图



图 4 塔顶段壁板压型

线形精度控制。经综合分析、比选,钢塔节段制作采用卧拼散装方案。

4.1 胎架设计制作

胎架是确保钢塔节段制作质量控制的关键,制作过程中通过胎架与外壁板的刚性约束控制钢塔节段截面形状及线形。以控制钢塔截面形状及高度方向线形精度为原则进行胎架设计,根据钢塔节段线形放样确定胎架内支撑板的三维坐标,采用全站仪对支撑板进行定位、安装,同时还需在胎架内设置钢塔纵向中心线、内外轮廓的控制点、拉索定位标线等标点。

4.2 节段组装

节段组装前在壁板内划出纵向中心线、纵肋定位线、横隔板定位线等,然后胎架上完成壁板定位,节段内纵向加加劲肋、横隔板单元件、加强板单元件等拼装,其制作工艺控制重点如下。

(1)调整外壁板使其内部纵向中心线与胎架中心

线偏差小于 0.5 mm, 壁板间预留合理的焊接坡口间隙及 2 mm 焊接收缩量, 然后与胎架撑板可靠固定。

(2) 外壁板纵向加劲肋设计为沿壁板曲面径向布置, 如果先组装纵向加劲肋则横隔板无法组装, 故只能按照“底板中心纵向加劲肋定位→组装横隔板→其他纵向加劲肋定位”的方案进行纵向加劲肋、横隔板的组装。虽然纵向加劲肋在下料时已考虑纵向曲线线形变化, 但由于切割变形的影响, 亦无法保证加劲肋焊接边与壁板密贴, 尤其是其它加劲肋穿过多道横隔板与壁板组装, 定位精度更难控制。为此, 纵向加劲肋组装从一端按线向另一端进行, 对于个别部位采用火焰热煨(热煨温度控制在 400 ~ 600℃)并辅以千斤顶等工具配合, 确保纵肋垂直度偏差不大于 1 mm、焊接边与壁板间隙不大于 0.5 mm, 具体如图 5 所示。

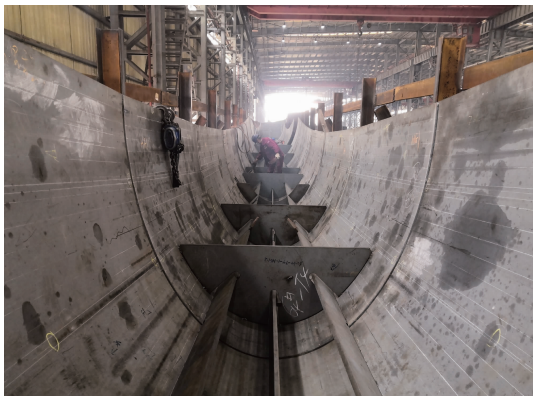


图5 纵向加劲肋及横隔板定位

(3) 将内壁板、侧壁板的其加劲肋放入相应隔板槽口内粗定位, 然后组装内壁板、侧壁板, 采取压重、热煨等措施确保内壁板、侧壁板的线形及组装精度符合设计要求, 具体如图 6 所示。



图6 内壁板及其加劲肋定位

4.3 节段焊接

钢塔节段焊接分为胎架内焊接和胎架外焊接两阶段进行, 其中胎架内焊接为焊接变形控制的重点。

(1) 胎架内焊接前应在两端箱口及刚性较差部位

设置相应的临时支撑, 检查壁板横向对接焊缝、壁板间纵向角接熔通焊缝两侧错台, 并按 300 ~ 500 mm 距离设置工艺码板马固, 同时需注意纵向加劲肋在壁板横向对接焊缝位置预留 R20 mm 过焊孔。

(2) 采用线能量相对较小的 CO₂ 气体保护焊进行焊接, 从中间向两边依次施焊, 先焊接横隔板与壁板焊缝, 再焊接纵向加劲肋、外壁板横向对接焊缝, 最后焊接侧壁板两侧纵向角接熔通焊缝, 以利用箱体自身刚性降低焊接变形的影响。

(3) 胎架内焊接完成后, 钢塔出胎、翻身, 再对内壁板、侧壁板加劲肋进行精确定位, 然后平位焊接其于壁板间的角焊缝, 并对钢塔外观整体质量进行全面检查, 对有缺陷部位进行处理, 具体如图 7 所示。



图7 钢塔节段出胎焊接

5 钢塔横梁段制作

钢塔横梁与钢塔采用刚性固结, 即横梁与钢塔 T2 节段采用焊接连接形成整体结构。钢塔横梁固结段总宽 13.858 m, 高 1.728 m, 总重约 53 t。根据塔梁固结段结构特点, 采用钢塔节段和钢横梁节段分别进行制造, 再将钢塔节段和钢横梁节段组焊为塔梁固结段的方案(见图 8), 该方案有效解决了塔梁固结段接口关系复杂、制作精度要求高的难题^[3]。



图8 钢塔横梁段

(1)采用全站仪在钢塔 T2 节段、横梁节段上分别划出塔柱中心控制线、钢塔立面中心线、横向基准线等基准标记线。

(2)横梁节段在胎架上抄平后与胎架固结,然后以已定位横梁节段为基准定位两侧的钢塔 T2 节段,对钢塔 T2 节段进行调整,确保钢塔横梁接头与横梁标高、横基线偏差、内壁间距及对角线偏差等项点符合设计要求。

(3)横梁及钢塔 T2 节段定位检测合格后,采用码板对其进行刚性约束,然后同步施焊钢塔横梁接头与横梁间的焊缝,焊接时按照先焊接立位焊缝、再焊接平位焊缝、最后焊接箱内嵌补段焊缝的顺序进行,以降低焊接收缩对整体结构精度的影响。

6 钢塔预拼装

为保证钢塔桥位箱口连接及线形精度,根据钢塔结构特点及现场施工条件,对两座钢塔在厂内分别进行整体预拼装,即所有钢塔节段均参与预拼装(见图9)。



图9 钢塔节段预拼装

(1)钢塔节段采用实体预拼装技术。根据设计图纸放样和卧式预拼装方案,计算出各节段控制点的三维坐标,并采用全站仪进行精确的划出塔纵向中心线、横梁检查控制线、内外轮廓的控制点、拉索定位地标线、节段端口等定位地标点,根据绘制好的地样线,结合构件实际结构情况,进行预拼装胎架布置。

(2)首先将钢塔横梁段在胎架上精确定位,然后

以钢塔横梁段为基准,定位下塔柱、上塔柱及塔顶段。按照地样线对各节段进行整体调整,并检测各控制点的尺寸偏差及各对应端口间的错边与间隙情况^[4]。

(3)在定位上塔柱及墩顶段时应以控制节段内拉索锚固点位置为主,必要时可通过调整节段间焊接间隙来确保拉索锚固点位置精度。

(4)预拼装检测合格后,在节段间内、外壁板上分别焊接匹配件,在桥位通过连接相应的匹配件,以提高安装效率,确保整体线形的安装精度。

7 取得效果

在光谷高新大道桥钢塔制作过程中,通过对多个钢塔项目制作技术的研究及分析,结合钢塔结构特点,对相关制作工艺进行了改进,形成了适用于小截面曲线钢塔的制作技术,有效提升了钢塔的制作质量。通过对该钢塔制作线形、断面尺寸、锚点位置等主要项点检测,其结果表明各主要项点均满足设计标准要求^[5]。

8 结 语

在对武汉光谷高新大道桥钢塔结构特点分析的基础上,针对其制作难点,经研究分析,开发了小截面曲线钢塔制作技术,通过对曲线外壁板制作技术、节段卧拼散装技术、钢塔与横梁固结技术、钢塔实体预拼装技术,有效确保了钢塔的制作质量、降低了制作难度、提高了施工效率,对同类项目有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 常彦虎,章建,沈涛.大榭二桥钢索塔制作难点分析及对策[J].钢结构,2013(9):52-55.
- [2] 洪军.大型桥梁钢索塔制作关键技术探析[J].钢结构,2018(2):89-92.
- [3] 吕建锋.港珠澳大桥九洲航道桥组合梁钢主梁制作关键技术[J].施工技术,2021(12):28-31.
- [4] 陈振明,隋小东,李立洪,等.钢结构预拼装技术研究与应[J].施工技术,2019(4):100-103.
- [5] JTG/T 3651—2022,公路钢结构桥梁制造和安装施工规范[S].