

螺旋形屋盖钢结构加工制作与施工技术

蔺军, 缪六华, 周永明, 丁建强

(江苏沪宁钢机股份有限公司, 江苏 宜兴 214231)

[摘要]上海光源工程结构造型独特,其螺旋形屋盖钢结构造型别致、构件连接关系复杂、节点构造类型多样,给结构构件的加工制作与现场施工带来了相当的难度。介绍了该工程屋盖钢结构构件加工、制作与施工拼装的特点、难点以及采取的工艺措施与技术看方案。

[关键词]螺旋形屋盖;钢结构;加工制作;施工技术

[中图分类号]TU758.11

[文献标识码]A

[文章编号]1002-8498(2008)S0-0217-04

Manufacturing, Fabrication and Installation of Spiral Roof Steel Structure

Lin Jun, Miao Lihua, Zhou Yongming, Ding Jianqiang

(Jiangsu Huning Gangji Co., Ltd., Yixing, Jiangsu 214231, China)

Abstract: The novelty of structural shape, complex form and types of joint connection of Shanghai Guangyuan steel structure led to special manufacturing and installation difficulties of its structure members. The manufacturing, fabrication and installation of its spiral roof steel structure were introduced in this paper. Special techniques and methods to solve the manufacturing and installation difficulties were mainly present.

Key words: spiral roof; steel structure; manufacturing and fabrication; installation technology

中科院上海光源工程(SSRF)位于上海市张江高科技园区,一期总建筑面积约为50 648m²,项目主体建筑面积36 625m²,其主体结构建筑平面呈环形,包括异形钢屋盖(含劲性柱)和环形吊车梁系统,上、下两层,最高处20m,结构用钢量5 600余t。作为国家重大前沿科学装置项目,该工程建成后可应用同步辐射光进行基础自然学科与应用学科的研究,成为我国多学科前沿研究中心和高新技术的开发应用研究基地。其整体建筑效果如图1所示。

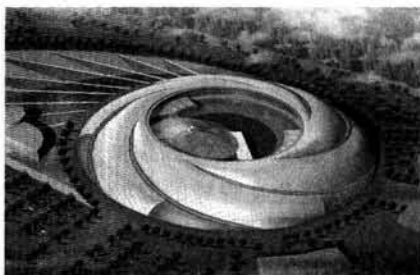


图1 上海光源工程整体建筑效果

1 屋盖钢结构形式与构件类型特点

光源工程屋盖钢结构由8片异形双向弯曲的“花瓣”旋转而成,结构造型独特,宛如美丽的“鸚鵡螺”(见图2、3)。作为国内首座大型螺旋形屋盖建筑钢结构,其屋盖平面投影为内径117m、外径211m的圆环,环内边周长368m,外边周长662m,环内边高度17m,

外边落地。屋盖柱网按环向与径向轴线的交点布置,径向轴线间隔9°呈放射状布置,共40条,将整个屋盖分成40个开间,每5个开间为一个结构类型周期,单个开间结构由径向主梁、环向梁、网格梁(包括渐开梁)和劲性柱组成,如图4所示。

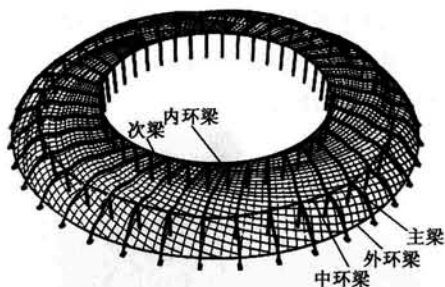


图2 整体屋盖钢结构透视图

按曲线线形,屋盖结构承重主梁分5种类型,每隔4根重现。单根主梁曲线最长约56m,为两跨连续梁,内跨梁段采用等截面曲线箱梁,外跨梁段为变截面曲线箱梁,梁高由1 500mm过渡到1 000mm。主梁内支座为固定球铰支座,支于内环混凝土柱顶;中间通过劲性钢管固接于中环混凝土柱;外支座为落地的径向

[收稿日期]2008-03-31

[作者简介]蔺军,江苏沪宁钢机股份有限公司总工程师,工学博士,上海市河南南路33号9楼K座 200002,电话:(021)63375271, E-mail: hngjzhlb@163.com



图3 异形双向弯曲螺旋形花瓣结构

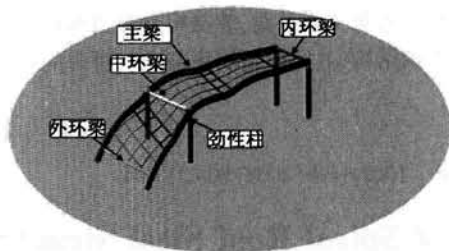


图4 一个开间屋盖结构的组成

滑动球铰支座。屋盖内、中环梁为截面 $700\text{mm} \times 400\text{mm} \times 15\text{mm} \times 15\text{mm}$ 的弧形箱梁,外环梁为截面 $\phi 550\text{mm} \times 16\text{mm}$ 的弧形钢管。渐开梁和网格梁为环向与径向交织的双曲线形钢管,其中环向网格梁分为 $\phi 351\text{mm} \times 16\text{mm}$ 的渐开梁及 $\phi 273\text{mm} \times 16\text{mm}$ 的一般环向次梁,形成 8 个花瓣的分界线,其与主梁的典型连接节点如图 5 所示,网格梁之间以及径向网格梁与外环梁之间为相贯节点。随主梁曲线线形的不同,支承屋盖结构的劲性柱亦有 5 种不同规格,采用变截面钢管 $\phi 1\ 000\text{mm} \times 30\text{mm}$ 及 $\phi 1\ 000\text{mm} \times 45\text{mm}$ 。主体建筑实验大厅内设置 2 台全程贯通、环形平均跨度约 32m 的 150t 吊车,吊行车梁结构分成环向行车内、外行车梁,均为多跨连续弧形箱梁 $800\text{mm} \times 400\text{mm} \times 12\text{mm} \times 12\text{mm}$,支承牛腿分别位于内环与中环混凝土柱上。钢构件材性为 Q345B、C。

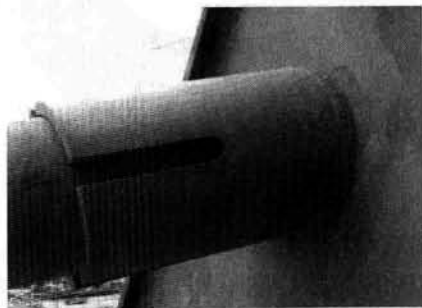


图5 环向网格梁与主梁连接节点

2 屋盖钢结构的制作施工工艺

2.1 构件制作与施工的特点与难点

由于本工程的空间曲面造型复杂,主梁为弧形箱梁结构,网格梁为空间异形双曲面,径向和环向钢管均需弯曲成型,空间面积大,二者的线形控制难度均很大;构件分段制作时需确保接口尺寸的准确性,对制作

精度的要求极高;劲性钢管柱径厚比仅为 22,卷板制作工艺复杂,厚板焊接质量至关重要;构件组装连接多要求采用全熔透一级焊缝,焊接工作量大,焊接质量要求高,使得构件的加工制作难度进一步加大。

2.2 构件制作施工工艺

为了保证工程质量,除严格执行设计图纸、文件规定的技术条件并满足有关规范、标准的要求外,特别应用了公司历年完成重大工程所累积的成熟制造工艺与质量检测手段以确保工程的优质质量。总的说来,首先严把原材料的采购质量控制关,杜绝钢材的层状撕裂与分层现象。其次针对本项目制定专门的钢结构制作、拼装、焊接及油漆等关键工序质量控制程序,编制详细的设计工艺技术文件与相关的工序流程、工装夹具、套模、施工胎架等工艺布置图,并实行严格的监督和反馈制度。根据结构构件的类型特点,在工厂里严格完成预拼装工序,施工中合理架设胎架完成构件的多段拼接与现场连接工作,直至整体结构的吊装施工完成。

1)放样和号料 所有构件均按钢结构详图与制造工艺的要求进行计算机放样,加工必要的角度、槽口,制作样板和胎架样板。对刨、铣加工的零件及拼焊结构,根据锯、割等不同工艺要求预放不同的切割、加工余量与焊接收缩量。对主梁之类的弧形箱梁,在数控排版时采用喷粉划线标记其纵向劲板、横隔板安装中心线及内衬管与梁腹板椭圆交点的十字位置线;余量线也须划出并加以标识,同时加放收缩余量。号料时需复核所使用材料的规格、检查材料外观质量并逐一记录;如因原材料长度或宽度不足需焊接拼接时,必须在拼接件上注出相互拼接编号和焊接坡口形状。

2)切割下料 构件切割采用数控自动气割,以保证切割精度;钢管和钢板切割边要求打磨光洁。切割前应该对材料的规格与牌号以符合图纸要求。切割时必须看清断线符号,确定切割程序,减小变形。焊接坡口采用了自动与半自动切割。

3)焊接工艺措施 本工程中应用的焊接应力控制措施主要有:厚板定位焊时,提高预加热温度,加大焊缝长度和焊脚尺寸;避免在焊缝的起始、结束和拐角处施焊,弧坑需填满;定位焊所采用的材料与工艺要求与正式焊缝的要求相同;不允许在焊区以外的母材上引弧和熄弧,重要的对接接头和 T 形接头的两端均应装焊引弧板和熄弧板;坚持多层、多道焊,严禁摆宽道;焊接前应对母材进行预热,焊接过程中应注意保温;加强焊接过程的中间检查及焊后 48h 等的多重检测,确保构件合格。另一方面,通过选择与调整施焊顺序与焊接方法、设置胎模夹具对构件进行约束等措施来控制构件的焊接变形。同时,严格进行焊接工艺评定工作,所有的焊

接工艺评定试验报告及其试验标准、内容及结果均应在得到工程监理认可后才进行正式焊接工作。

3 结构构件的制作

3.1 分段弧形主梁的制作

根据主梁的结构形式和实际运输条件,对其划分分段,以腹板为其底平面,采用卧造法在厂内制作,操作过程依次为:地面划出线形,胎架制作;将一侧腹板吊上胎架(另一侧腹板也吊上);在一侧腹板上装焊劲板及内衬钢管(另一腹板仅装焊纵劲板);以一侧腹板为底平面、另一侧腹板为顶面进行合拢焊接;组装加强隔板,焊接一面翼缘板;组装另一侧翼缘板;线形与焊缝检测、校正、冲砂、油漆,分段制作完成。

3.2 网格梁的制作

双曲弧形网格梁全部为钢管弯曲而成,在工厂内进行单根构件的下料与冷加工,经检验合格冲砂涂装后发运现场拼装。对曲率半径大的弧形钢管,采用了油压机弯制结合液压弯管机进行弯管的加工方法。根据每根弦管的曲率制作成型加工样板,然后再进行压模的制作,如图6所示。弯管时配备了弯管机使用的各种规格尺寸的专用弯曲钢模,可在弯管过程中严格控制弯曲半径和钢管壁厚减薄量,还可最大限度地减少钢管弯曲时局部受力部位的变形。

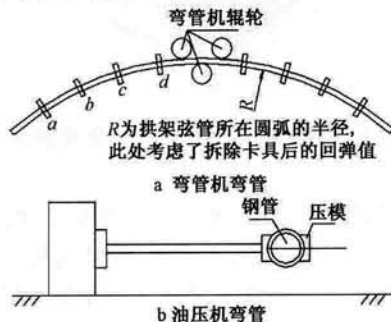


图6 压模制作与弯管示意

3.3 吊车梁的制作

根据吊车梁的外形尺寸要求,内、外环的多跨吊车梁各分2~4个分段,以底板为底平面采用正造法厂内制作、现场拼装。构件翼板面、腹板间的焊缝均为坡口全熔透焊缝,腹板定位前应预先装焊焊接用垫板,垫板安装后的间隙及曲度必须保证要求。为了减少翼缘板的焊接变形,焊接时首先采用CO₂气保焊打底,而后吊上专用焊接胎架采用埋弧自动焊进行焊接,2台焊机从中间向两侧同时工作。由于吊车梁行车道为环形曲线,吊车梁分段焊接后,必须进行细致的分段外形尺寸和焊缝的检测,特别要对构件上、下翼缘板的曲线度、焊接角变形进行测量,对超差处严格进行校正,确保翼缘板的整体直线度。吊车梁分段制作合格后,需将分段重新吊上胎架进行定位,划出上、下口的加工余量线

并切割;最后将分段处的对合线进行标记作为现场拼装的依据。

3.4 劲性柱的制作

本工程钢管柱小段节下料长度定为2500mm,最小段节长度不小于1500mm,钢管壁厚比最小仅为22。根据设备技术参数计算,选择本公司定制的数控水平下调式三辊卷板机进行筒体的卷制加工。采用800t油压机进行钢板两端部压头,用专用样板检验,切割两端余量后并开坡口。将压好头的钢板吊入三辊轧车后,靠模式拉线进行调整,保证钢板端部与轧辊成一直线,防止卷管后错边;按要求徐徐轧制至卷制结束,再吊入专用筒体焊接中心滚轮拼装胎架进行纵缝的埋弧拼接,如图7所示。多节筒体对接前,每节小段节必须校正,特别是椭圆度必须校正准确。拼接组装时纵缝相互错开120°并保证两端口的椭圆度、垂直度及直线度要求,符合要求后定位焊。将拼接好的筒体吊入滚轮焊接胎架上进行环缝的埋弧焊接。焊后经校正、冷却后探伤,合格后吊入专用水平胎架上划线安装牛腿。



图7 筒体纵向焊缝焊接

4 屋盖钢结构的拼装施工

4.1 屋盖钢结构的施工质量保障措施

如上所述,本工程结构造型特别,空间构件交错复杂,拼接定位难;现场焊接工作量大,焊缝等级、质量要求高,施工难度较大。为保证项目施工质量达到优良标准,特别按照本单位质量保证体系文件和ISO9000-GB/T19000系列标准,实行了全面的钢结构施工质量管理措施,主要有:在拼装前施工人员必须熟悉施工图、制作拼装工艺及有关技术文件的要求,构件外观检查合格后方可施工;应重点检查胎架模板的布置位置、角度情况,批量拼装的胎模每次复测完成后才能进行后续拼装施工;部件或构件的整体组装应在板材、型材的拼接、焊接与矫正完成后进行;各吊点需预先做好结构单元起吊加强措施,确保吊装安全;现场采用激光经纬仪定点与定位测量,要经常检查各分段的拼装定位情况,作出反馈并及时处理。

4.2 构件预拼装

由于本工程结构构件空间曲线交错复杂,外形尺寸大,构件均为分段制作,钢结构的预拼装显得尤为重

要。根据工厂加工制作与现场拼装方案,厂内预拼装主要分两类,即劲性柱环外主梁分段间与上段劲性柱之间、劲性柱环内主梁分段间与上段劲性柱之间的预拼装。主梁在厂内进行整体预拼装,由于其拱高较高,为降低拼装胎架的高度、提高拼装精度,采用了卧拼法预拼。通过设置专用拼装胎架、吊装定位劲性柱上段、依次分步吊装主梁各定位分段并切割余量,完成预拼。节点与构件分段预拼装时,在保证构件外形尺寸的前提下,将主要拼接接口进行试组装,检查所有连接接口的板边差、坡口间隙尺寸、截面的错位;划出节点、构件、分段预拼装后的现场组拼对合标记线,作为现场拼装的基准。验收合格后进行分段的校正与标记,直至拆送冲砂、油漆、发运。

4.3 构件运输

为减少现场工作量,尽量少的划分构件运输分段,部分预拼构件不再拆分而整体发运。所有钢构件通过重汽直接运输至现场。车上构件堆放牢固稳妥,通过增加必要的捆扎防止滚动碰撞。相同类型的钢构件叠放运输时,各层构件的支点处于同一垂直线上,防止构件压坏或变形。

4.4 结构现场拼接施工

对结构主要承重构件的主梁与劲性柱,现场拼接主要采取整体卧拼法,将工厂的加工与运输分段对接焊接、整体拼接成吊装分段,采用50t履带吊现场分段吊装。为防止拼接变形,设置现场拼接胎架,用专用路基箱作为胎架的承重平台,分别划出主梁分段接口线、轮廓线,劲性柱中心线与其外轮廓线。拼装时先定位拼接单元的中间分段,再分别吊装两端分段进行定位。现场主梁构件拼装及其胎架布设如图8所示。为便于安装,将网格梁主要以渐开梁、中环梁为分界面分成多个重复性吊装网格分块,每块网格单独拼装,拼装时应有效降低胎架高度。现场分段拼装主要为环向与纵向梁钢管之间的拼接,采用了25t汽车吊进行网格的分段吊装。为防止现场拼接变形,施工中也需设置现场胎架(见图9)。先将中心部位的横向钢管吊上胎架进行定位后与胎架牢固固定,再依次吊装纵向钢管与横向钢管进行定位,定准所有位置线后与横向钢管固定牢固,用全站仪测出高空吊装定位点并作标记。所有钢管定位完成检测无误后进行焊接并探伤检测;吊装单元拼接工作全部合格后补涂油漆开始吊装。

根据工程总体进度安排并考虑与土建进程同步,将屋盖施工布置平面分成8个分区,现场构件的整体拼装、吊装施工从施工平面的3区开始,依次向环形两侧对称进行,顺序为:3区→2、4区→5、1区→6、8区→7区,如图10所示。



图8 现场主梁拼装与胎架设置示意



图9 网格梁拼接现场

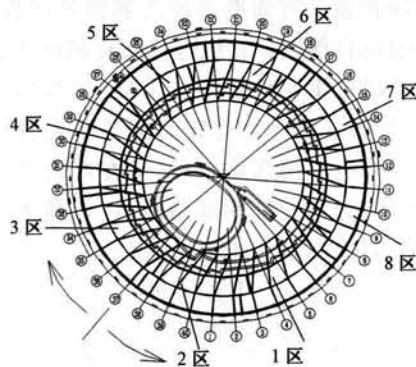


图10 现场拼接、吊装施工平面布置示意

5 结语

上海光源工程屋盖钢结构造型独特、构件曲线连接关系复杂、节点构造形式多样,给结构构件的加工制作与现场拼接施工都带来了相当的难度。制定合理有效的钢结构制作方案与工艺措施是本工程结构加工制作的一个关键环节,为整个工程建设的顺利进行提供了根本技术保证。本文从工厂制作加工、现场拼装施工两个角度介绍了该工程钢结构施工的特点与难点,给出了所采取的工艺解决措施与技术方案,可供相关工程的设计与施工参考。该工程钢结构加工制作荣获2006年中国建筑钢结构“金奖”(国家优质工程)。

参考文献:

- [1] 江苏沪宁钢机股份有限公司. 上海光源工程钢结构施工组织设计[R]. 江苏宜兴, 2006.
- [2] 高继领, 蔺军, 周永明, 等. 沈阳奥林匹克体育中心体育场罩棚钢结构工程加工、制作及安装技术[A] // 中国大型建筑钢结构工程设计与施工[C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 中冶集团建筑研究总院. JGJ81-2002 建筑钢结构焊接技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 冶金工业部建筑研究总院. GB50205-2001 钢结构工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2001.