

# 超高层建筑屋顶穹顶钢结构安装施工技术

陈爱东 于吉圣 高勇刚 吕明涛

(中建三局股份公司钢结构有限公司 上海 201206)

**摘要:**本文以某超高层屋顶大开间外穹顶钢结构施工为例,就欧式圆形穹顶结构设计所带来施工问题,分别从深化设计、构件分段和加工、现场安装方面进行叙述。深化设计结合施工多次模拟分析,强化深化深度;构件加工选取整体制作后分段和分段制作后拼接的不同制作控制方法,确保加工精度;现场安装选取分段安装、对称安装方法,测量控制采用投影测量、中心发散测量控制等,保证了外穹顶高空各施工工序的有序进行,保证了现场施工质量,为类似穹顶钢结构的施工提供了可借鉴的施工经验。

**关键词:**超高层 穹顶 钢结构 施工

## 1 工程概况

某大厦建筑设计整体以古罗马风格为基调,用途主要为商办楼,中央主楼标准层为办公区,两侧裙房为商业设施,标准层高 4.2m。该建筑为地下 3 层,地上 38 层,屋顶结构层以上设计有两层阁楼和圆形穹顶,主楼建筑高度 210m。结构形式是钢结构为主的框架—支撑结构体系,无核心筒,其中,外周圈框架柱、框架梁采用型钢混凝土柱、梁,内部框架柱采用钢管混凝土柱,部分钢管混凝土框架柱间设置了 14 道钢支撑,共 28 根支撑梁。主楼 B1 层和 B2 层柱采用 SRC 结构形式,主楼 1 层和 B1 层大梁采用 SRC 结构形式,主楼 B3 层柱和 B2 层大梁采用 RC 结构。

外穹顶设计在主楼最顶层,整个穹顶位于主楼中间位置,由 12 根辐射分布的弧形钢管格构柱和顶部箱型截面环形钢梁组成,弧形钢管格构柱由 3 根截面为  $\Phi 325 \times 28$  的钢管组成,缀杆截面为  $\Phi 203 \times 16$ 。格构柱截面为三角形,自底到顶部逐渐变小,穹顶弧形钢管

格构柱起始点在阁楼上层,标高为 175.900m,底部钢管中心线之间尺寸为 1540mm,顶部格构柱管中心间距为 440mm,弧形格构柱长 26.5m,自底部到顶端单根弧形格构柱重约 17 吨。钢管弧形格构柱汇交于顶部半径为 5194.16mm 的箱型环梁位置,箱型环梁截面为  $\square \Phi 600 \times 600 \times 25 \times 25$ ,箱型环梁顶面标高为 198.250m。

本工程外穹顶总高度 22.45m,穹顶弧形柱脚分部在直径 36m 的圆上,构件材质均为 Q345B,整个屋顶外穹顶主结构用钢约 300 吨。外穹顶结构详见图 1、图 2、图 3。

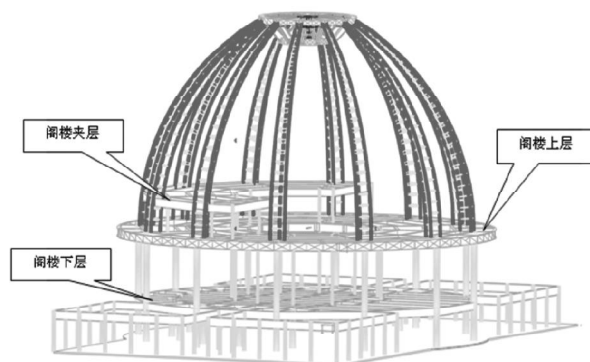


图 1 外穹顶整体轴侧图

作者简介:陈爱东 高级工程师

收稿日期:2012 年 5 月



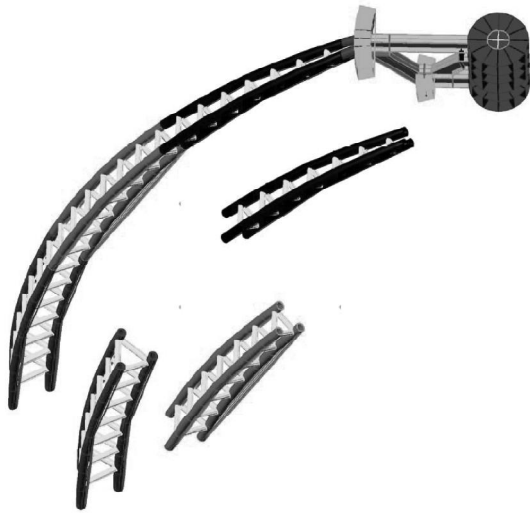


图5 穹顶箱型环梁分段图

### 3.2 加工制作技术措施

弧形格构柱采用整体制作、校正和验收,然后再根据图纸进行分段,弧形格构柱焊接制作采用胎架组装。胎模装配法组装是用胎模把各零件固定在其装配的位置上,用焊接定位,使组装一次成形。其特点,装配质量高、工效快。穹顶中间环形结构在加工厂分段制作好后,采用整体预拼装措施,因顶部结构上部直径大(10m),下部直径小(6m),整体预拼装采用和安装时相颠倒的形式进行,即在加工厂拼装时将顶部直径较大的顶部放在下面,直径较小的底部放置在上面,整体拼装好后进行验收,然后在根据现场安装顺序和构件进场计划分段进场。如图6、图7。



图6 弧形格构柱整体制作图

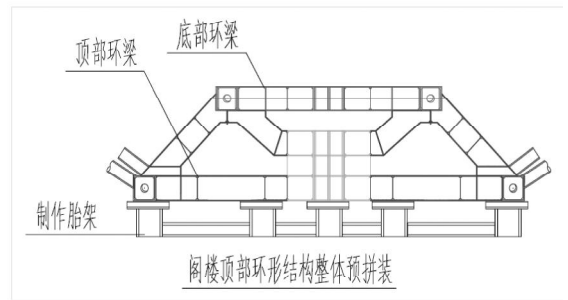


图7 穹顶顶部构件预拼装图

### 3.3 现场安装技术措施

#### 3.3.1 本工程外穹顶钢结构现场安装施工流程如图8

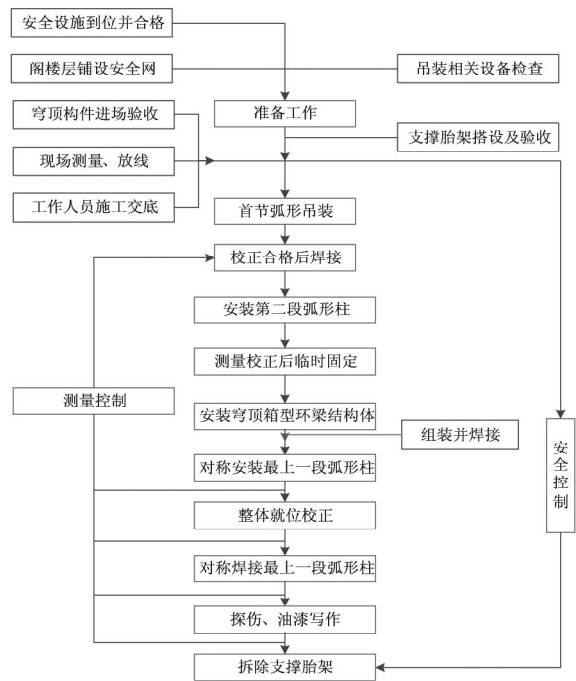


图8 外穹顶钢结构现场安装施工流程

#### 3.3.2 支撑胎架的设计和搭设

外穹顶安装支撑胎架材料采用工字钢,所有节点均采用焊接连接。支撑胎架安装在阁楼下层钢梁位置,在阁楼上层和夹层位置使胎架和主体结构连接在一起形成一个稳定的结构,整个胎架四周拉设缆风绳,胎架除受风荷载外,主要承受自身重量和顶部环形结构的重量,根据施工工况分别进行验算。见图9、图10。

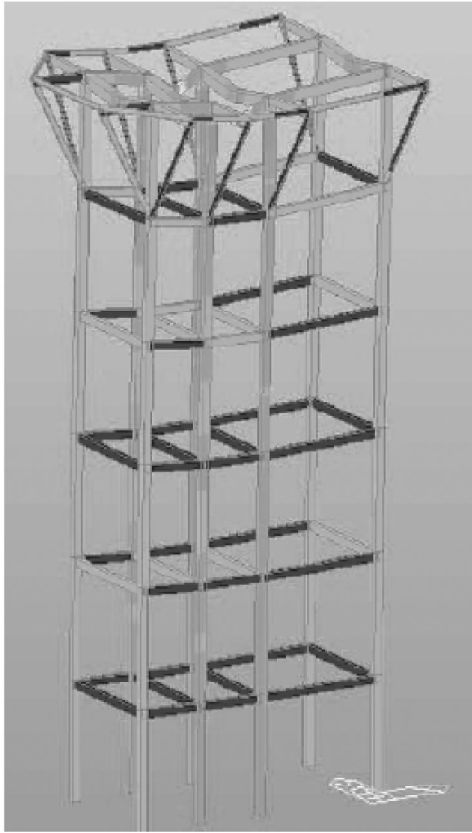


图9 胎架结构图

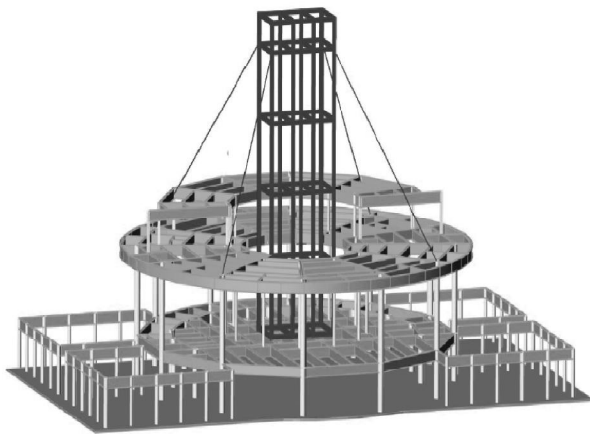


图10 胎架搭设位置图

### 3.3.3 弧形格构柱安装控制

穹顶支撑胎架安装并拉设固定好后,从阁楼夹层位置开始安装首节弧形格构柱,在阁楼夹层位置的弧形柱之间的结构钢梁及时安装。首节钢柱采用柱底加焊调节固定用钢板进行临时固定和调节。见图11。

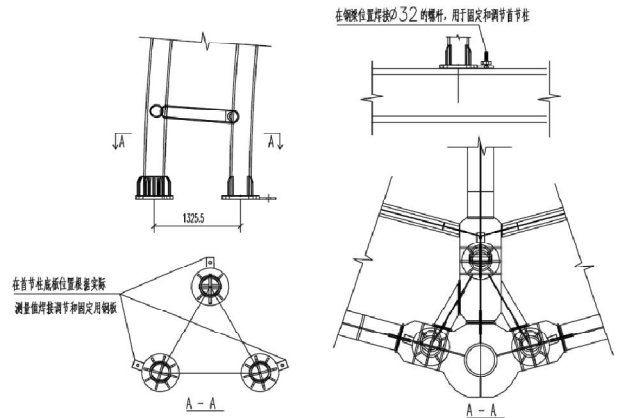


图11 首节弧形格构柱安装时固定图

第一段格构柱全部安装完成后,整体校正,并将柱脚焊接牢固。第一段弧形格构柱安装并焊接完成后,开始安装第二段弧形格构柱,第二段柱和下一段柱通过连接耳板连接,耳板连接强度通过设计计算要能够满足上段弧形格构柱自身稳定和连接强度要求。

### 3.3.4 穹顶结构顶部构件的安装和拼接控制

本工程外穹顶设计特殊,属于下吊式组合构件,拼装前先测量,将平台底部标高调平,安装时先吊装定位中间一件构件,经过调平和校正后,继续组装左右两构件形成一个整体圆,将形成的整圆焊接,再次整体复测固定后安装上部中间连接部件,中间部件通过临时连接槽钢同下部已完成的整圆连接,然后对称安装顶部大圆的各个杆件,同时对穹顶结构形式,安装时一定要注意结构自身受力的情况,尽量采用对称安装的形式,将上部竖向荷载通过对称安装后的杆件进行分担,不但可以减少胎架的受力,而且可以减少因胎架变形产生的结构应力。穹顶顶部构件安装见图12~15。

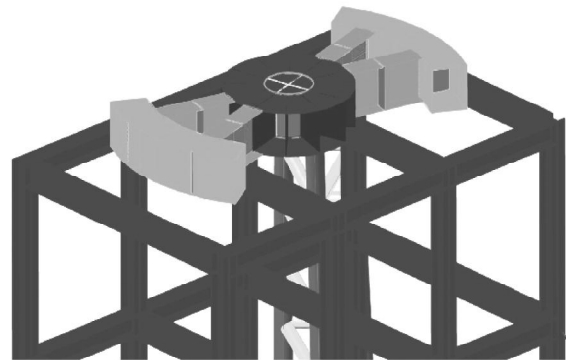


图12 安装第一段构件并调平



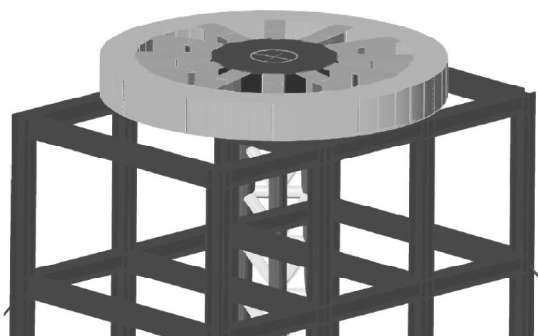


图13 对称安装另外两构件并固定

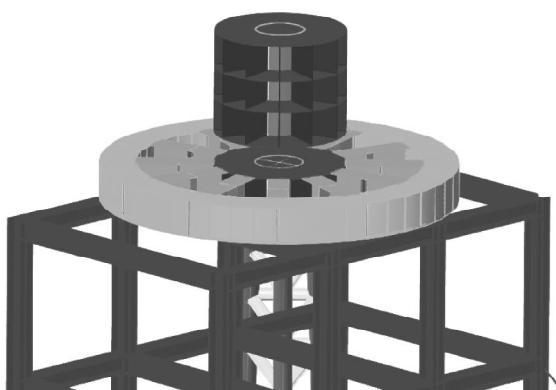


图14 安装中间圆形连接筒体

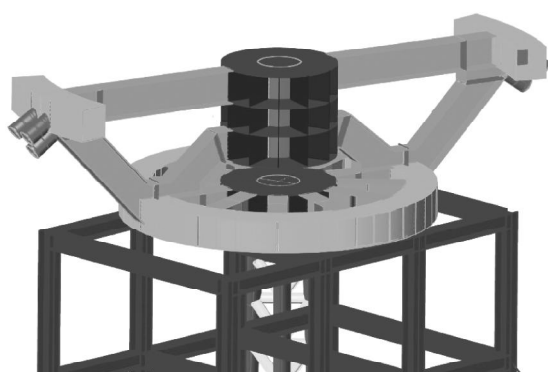


图15 对称安装顶部箱型环梁构件

### 3.3.5 穹顶最后一段弧形柱和中间环梁连接措施

四周最上部一段格构柱随顶部箱型环梁同时对称安装,所有弧形格构柱安装完成后,整体测量校正,然后组织焊工对称焊接。单根弧形柱焊接时先焊接穹顶外面的两根钢管,同样采用两个焊工同时焊接,外围两

根钢管焊接完成后再焊接穹顶内侧的一根钢管。考虑现场安装固定和安全需要,现场安装在最后一段连接是留有调节用的短构件。在厂里先将顶部3段短钢管预对接,保证钢管长度和切口尺寸,然后运到现场。见图16。

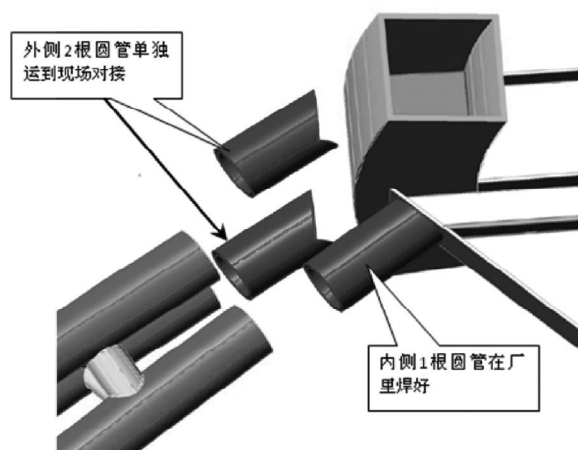


图16 弧形柱同箱型环梁连接节点

### 3.3.6 焊接方法选择

外穹顶弧形柱由3根钢管组成,属于变截面空间管桁架类型,安装后整体倾斜,焊接选择和顺序对安装好后的精度控制起着至关重要的作用。弧形柱在安装过程中选择先焊接外侧两根钢管,外侧两根钢管采用对称同时焊接,焊后再焊接内侧1根钢管。弧形柱顶部同箱型杆件连接时,焊接选择先焊接内侧调节杆件,后焊接外侧两调节段钢管,见图16。圆形顶部12根辐射分布的杆件的焊接采用对称焊接,整个外穹顶施工属于高空作业,焊接前需要做好安全防护工作,焊丝选用药芯焊丝。见图17。

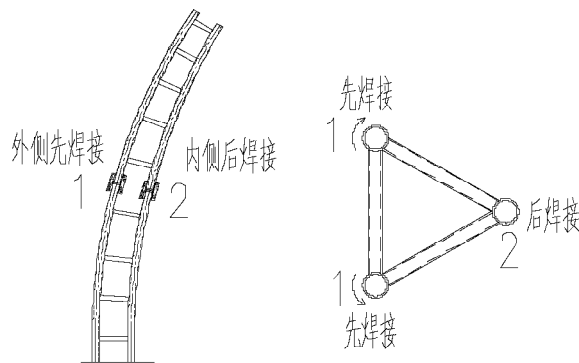


图17 弧形柱安装焊接顺序图

### 3.3.7 测量控制措施

因外穹顶自起点到顶部高达23m,为了保证整个外穹顶在安装过程中每节柱的标高和坐标,在安装前首先保证起始标高的正确,然后用全站仪全程控制,支撑胎架处于外穹顶内部位置,可在底部架设铅直仪,分别投测在胎架平台上,根据顶部箱型环梁就位位置在支撑胎架顶部分别用墨线标出环梁就位位置边线,用于控制箱型环梁的组装和就位,在拼装时分别对每个零件进行测量控制,保证每一段环梁的精度,同时在顶部进行拼接时进行严格控制,确保尺寸正确。见图17。

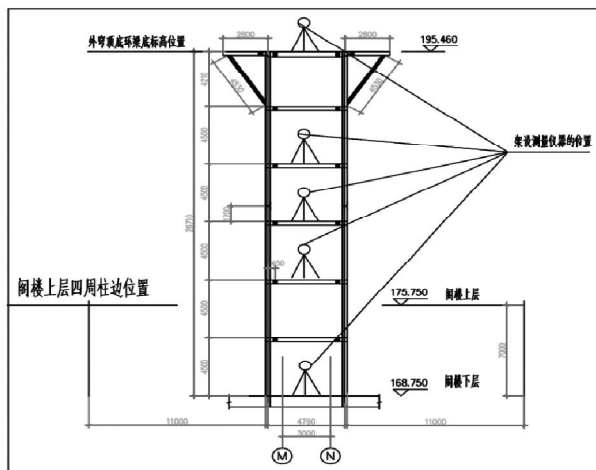


图18 测量控制布置

为了提高弧形柱安装后的精度,根据每段弧形柱顶在阁楼上层的竖向投影进行控制,为了便于作业,在阁楼上层铺设压型钢板,并将压型钢板点焊固定牢固,每根弧形格构柱顶理论投影点均在压型钢板上测量防线出,当弧形柱安装就位后用于测量监控。见图18。

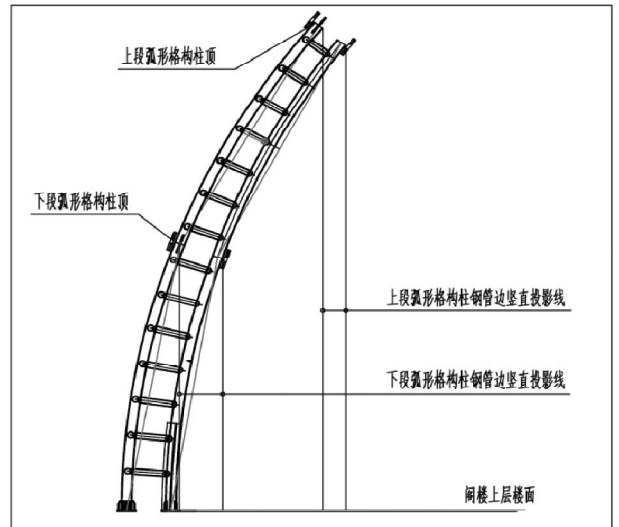


图19 弧形格构柱测量控制

## 4 结束语

本文介绍了超高层屋顶外穹顶钢结构施工控制技术,针对制作、安装及测量质量控制要求,制定了“整体制作后分段和分段制作好后拼接的不同制作方法,现场分段安装、对称安装就位的安装方法”,保证了各施工工序的科学进行,提高了现场施工的质量,通过细致的施工组织和分析,为欧式穹顶结构的安装提供了科学的参考依据和实践支撑。

### 参考文献

- [1] 中国建筑工程总公司. 钢结构工程施工工艺标准[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] GB50026—2007 工程测量规范
- [3] 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计规范 GB50017—2003 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [4] 郑训兵. 钢结构制作安装便携手册[M]. 北京: 中国计划出版社, 2008.