

钢结构网壳安装施工技术

孙建功

中铁建工集团有限公司 山东青岛 266112

摘要:介绍了青岛市李沧区某项目中的钢结构网壳的施工方法,该网壳造型为贝壳状异形双曲面。钢网壳长轴方向长度约为58.9m,短轴方向长度约为44.7m,高度约为12.8m。总量约为700吨,通过详细介绍本工程的网壳安装,以期通过此文为钢结构网壳安装工程提供经验参考。

关键词:钢结构网壳;钢结构吊装;网壳测量

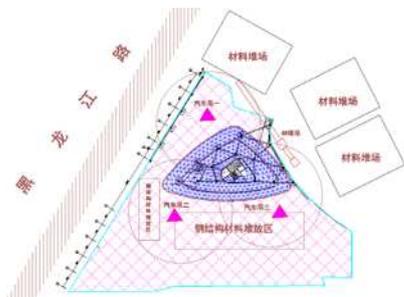
一、工程概况

本工程位于青岛市李沧区,是一个地上三层的办公展示厅网壳,用途为办公展示厅,建筑总高12.8m,总建筑面积1576.38m²,主体结构为异型钢网壳结构,钢结构总量约为700吨,外装饰面为复合板幕墙和玻璃幕墙。结构高度较高,造型曲面复杂,构件种类型号较多,节点交汇处理复杂,焊接量很大,平面投影近似为三角形,造型为贝壳状异形双曲面。钢网壳长轴方向长度约为58.9m,短轴方向长度约为44.7m,高度约为12.8m。

整个网壳通过方管直线拟合曲面,细分网格为大小不一的三角网格。钢网壳主要分为3大层,分别为下层+0.000m~+5.250m外倾网壳,中层+5.250m~7.660m环形网壳及H型钢框架层,上层+7.660m以上内收网壳^[1]。

二、吊装准备

本项目需用机械主要是汽车起重机。根据图纸分析确定吊装过程中最大吊装重量约为6t,在吊装半径12m,臂长25.4m的吊装条件下50t汽车吊最大起重量为7.5t, $7.5 \times 0.85 \approx 6.4t > 6t$,可满足吊装需求。通过分析,本工程将选择2台100T汽车吊构件卸车倒运、3台50T)汽车吊进行安装。根据本工程钢结构分布位置、现场根据土建施工完成情况分别进行各区域型钢结构安装。现场施工平面布置图如下:

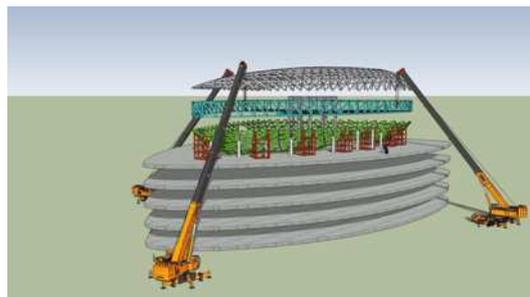


三、主要安装过程

施工顺序:整体施工方向:自下而上,依次是下层

网壳、中间层网壳及平台、上层网壳。

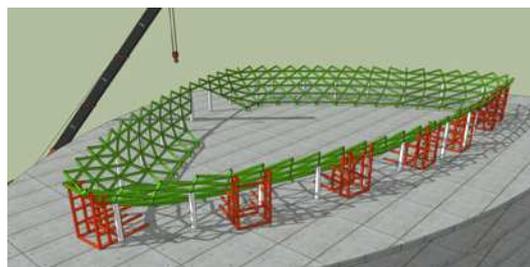
细部安装顺序:先使用胎架定位节点,后安装交汇杆件。



整体安装分层示意

1. 下层网壳的施工

下层网壳拟采用设置临时支撑钢柱、设置拼装胎架的方式进行安装。



下层支撑钢柱及拼装胎架的设置示意

临时支撑钢柱使用矩形300×300方管作为支撑体系,矩形150方管作为拼装胎架,在胎架上拼装网壳节点、杆件、单元。

首先根据网壳造型预制好拼装胎架,胎架根据网壳分格情况进行布置,两个胎架间距一般不超过5个网格。

安装人员在测量员的指导与起重吊车的配合下进行矩形钢管的三维坐标定位,矩形钢管定位后临时点焊固定,另一测量小组对其进行复测校正,两个测量小组复核无误后,安排焊接操作人员进行临时加焊,在此过程中,胎架体系稳定不变形,满足高空散装的要求。依次

对各根矩形钢管进行定位、复测、校正、临时固定，完成两个胎架间的网壳拼装。

两个相邻胎架间小块单元网壳完成拼装后，通过汽车吊及手拉葫芦安装临时支撑钢柱，支撑钢柱应安装在小单元网壳的重心与节点交汇处，将网壳部分自重传递至临时支撑上，两个拼装胎架与临时支撑钢柱共同承担小单元网壳的整体重量^[2]。

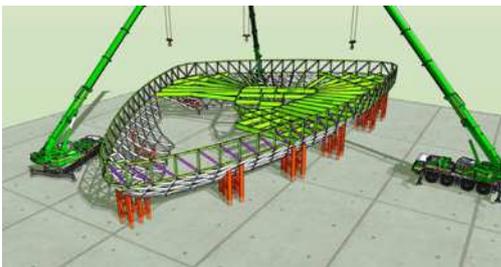
按照上述安装方法，可同时展开多个区域的小单元网壳拼装，直至下层网壳完成合拢，合拢后依次测量各个节点的三维坐标，观测整体拼装精度及网壳变形情况。根据施工完成后实测误差及变形值，通过千斤顶、手拉葫芦进行校正。

2. 中层网壳的施工

中层网壳为下层网壳与上层网壳的共同连接层，且后期将安装玻璃幕墙，因此中层的安装精度要求非常高，为关键层。

中层网壳整体类似为环形桁架，其上下弦层与水平面几乎平行，因此其定位较其他两层难度较低，所以中层的安装思路为：在地面预拼装为小段桁架，然后通过汽车吊将小段桁架直接吊装至下层网壳上方进行对接。

在吊装过程中应保证小段桁架不发生变形，以免造成安装误差，两个小段桁架进行对接时，将通过三个作业面同时安装，且应有测量小组进行观测其对接精度，保证整个环形桁架的对接精度，以免误差累积。



中层环形桁架的安装示意

中层环形桁架层整体完成施工后，焊接人员应及时加焊，将中层与下层进行满焊固定，然后进行中间的H型钢单层框架的安装。H型钢通过高强螺栓与焊缝连接与中层矩形钢管连接，拉设型钢框架层应复测中层的安装精度及变形情况，以免造成钢梁安装过程中的强拉硬拽或切割。

钢结构位移监测

结构上被监测的层称为参考层，结构的监测过程是由下至上进行的，参考层上的监测点的变化量经过多次迭加获得。监测时先测出首层的变形，从而可明确首层的具体变形情况；测出各参考层的监测点的坐标值，每

个观测点坐标值同以往观测值叠加比较，可明确本层测点的变形情况。

为减小监测点遭破坏的可能性及监测实施过程方便，各平面监测点和高程监测点采用同一个观测标识。坐标测量时将棱镜拧紧到观测接头上，高程测量时将钢钢尺垂直立在观测标石最上方。

竖向位移变形控制：通过对钢柱的标高进行控制，测量数据及时反馈于加工厂进行构件制作时的变形补偿。

3. 上层网壳的施工

上层网壳为整个结构中施工难度最大的部分，整体的曲面极为复杂，且需已完的结构合拢。

上层网壳的安装方法：

第一步 安装中部顶层核心筒钢柱及拉结矩形钢管

第二步 在地面预制通长的主龙骨

第三步 通过汽车吊将主龙骨搭设在中层与核心筒之间

第四步 依次搭设主要的通长龙骨

第五步 拉设相邻主龙骨之间的次龙骨

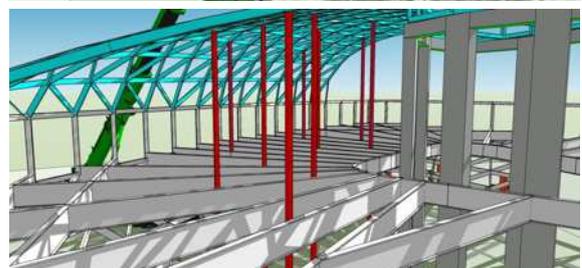
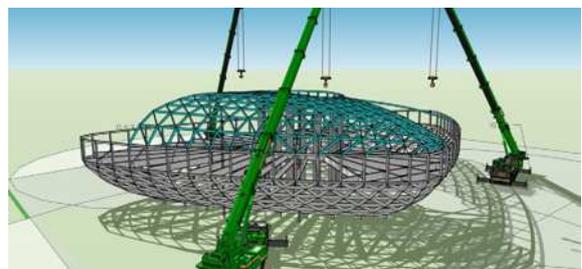
第六步 拉设完所有的次龙骨，完成曲面的分格 [3]

主要施工过程的示意如下图所示：

1) 核心筒的搭设（钢结构核心筒应在土建核心筒完成后进行安装）

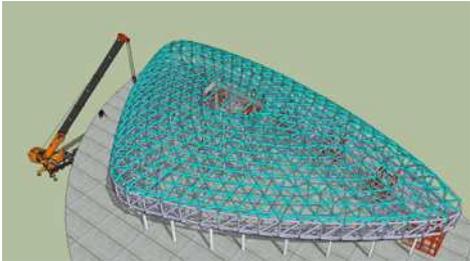


2) 次龙骨的搭设

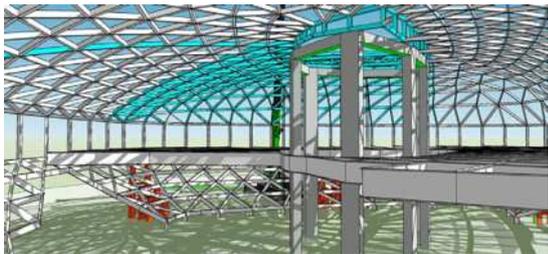


3) 设置临时支撑体系, 对部分完成拼装的上部壳体进行支撑, 临时支撑通过计算机放样确定点位及标高, 避开H型钢框架层构件

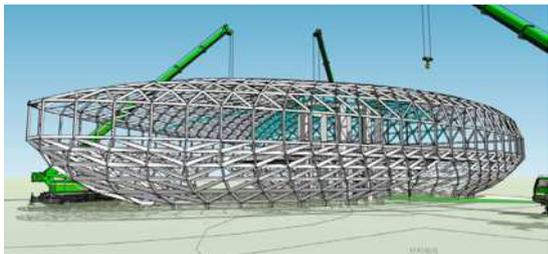
4) 拉设所有次龙骨, 曲面完成分格



5) 对上部壳体的临时支撑进行卸载, 卸载顺序: 因对称卸载, 两个方向同时进行拆除临时支撑, 并实时对壳体进行观测。



6) 对整个网壳下部支撑及胎架进行卸载拆除, 卸载顺序: 顺时针依次拆除各支撑加及拼装胎架。观测网壳稳定情况, 所有网壳稳定后进行混凝土楼板浇注



四、钢柱施工

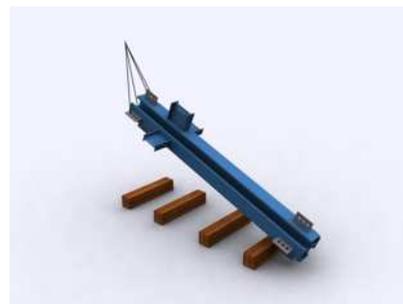
1. 地脚螺栓安装方法及技术措施

本工程钢柱柱脚处理设地脚螺栓。地脚螺栓埋设于下部混凝土中, 易受交叉作业影响。预埋精度直接关系到后续钢柱的安装定位, 因此, 对地脚螺栓采取有效的定位措施, 是钢结构安装质量的重要保证。为了更好的定位加固地脚锚栓, 提高螺栓预埋质量, 锚栓上设有2道定位板环板。为防止浇筑混凝土时地脚螺栓移位并提高地脚螺栓定位精度, 埋设地脚螺栓时采用定位环板进行加强定位, 钢板规格为12件-600×450×10、16件-600×650×10, 由加工厂加工制作完成, 为保证定位环板加工精度, 加工厂制造时采用配钻的方式制孔, 精度偏差控制在2mm之内, 确保现场一次安装就位。

2. 钢柱的吊装

钢结构绑扎时, 吊点要绑扎牢固, 吊点位置准确, 确定重心, 吊耳焊接牢固。吊装时钢构件上垫上破布, 卡环要把绳索卡死, 不能出现松扣现象。为使构件吊起后不发生大的摇摆, 构件两端底部需用缆风绳控制, 以便保持平衡。构件在起吊前进行试吊。高度为钢构件底部离地面200mm~300mm左右, 观察吊车的运转情况, 检查各钢丝绳受力是否均匀, 持续5分钟, 再看有无下沉现象, 如无异常情况, 方可正式起吊。构件起吊的速度应均匀缓慢, 同时将构件上的缆风绳固定在各个角度, 使起吊中不致摆动。当由水平状态逐渐倾斜时, 应注意绑绳处所垫的破布、木块等是否滑落。构件提升超过安装位置约300mm~500mm, 然后将构件缓慢降至安装位置进行对位, 固定稳妥后(临时焊缝长度不小于焊缝总长度的1/3), 吊车方可摘去吊钩。

钢柱吊点的设置需考虑吊装简便、稳定可靠、还要避免钢构件的变形。钢柱吊点设置在钢柱的顶部, 直接在临时连接板上预留吊装孔(连接板至少4块)。为了保证吊装平衡, 在吊钩下挂设四根足够强度的单绳进行吊装。



钢柱起吊示意图

上下节钢柱的吊装: 上部钢柱的吊点同样设置在钢柱的上部, 利用四个临时连接耳板作为吊点。吊装前, 下节钢柱顶面和上节钢柱底面的渣土和浮锈要清理干净, 保证上下节钢柱对接面接触顶紧, 并进一步保证焊接质量。

下节钢柱的顶面标高和轴线偏差、钢柱扭曲值一定要控制在规范以内, 在上节钢柱吊装时要考虑进行反向偏移回归原位的处理, 逐节进行纠偏, 避免造成累积误差过大。

钢柱吊装到位后, 钢柱的中心线应与下面一段钢柱的中心线吻合, 并四面兼顾, 活动双夹板平稳插入下节柱对应的安装耳板上, 穿好连接螺栓, 连接好临时连接夹板, 并及时拉设缆风绳对钢柱进一步进行稳固。

钢柱吊装应按照各分区的安装顺序进行, 并及时形成稳定的框架体系。每根钢柱安装后应及时进行初步校

正, 以利于钢梁安装和后续校正。校正时应应对轴线、垂直度、标高、焊缝间隙等因素进行综合考虑, 全面兼顾, 每个分项的偏差值都要达到设计及规范要求。钢柱安装前必须焊好安全环及绑牢爬梯并清理污物。利用钢柱的临时连接耳板作为吊点, 吊点必须对称, 确保钢柱吊装时为垂直状。每节柱的定位轴线应从地面控制线直接从基准线引上, 不得从下层柱的轴线引上。

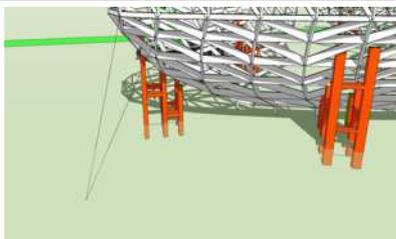
结构的楼层标高可按相对标高进行, 安装第一节柱时从基准点引出控制标高在混凝土基础或钢柱上, 以后每次使用此标高, 确保结构标高符合设计及规范要求。在形成空间刚度单元后, 应及时对柱底板和基础顶面之间的空隙由土建进行二次灌浆施工。钢柱定位后应及时将垫板、螺帽与钢柱底板点焊牢固。上部钢柱之间连接的连接板待校正完毕, 并全部焊接完毕后, 将连接板割掉, 并打磨光滑。割除时不要伤害母材。起吊前, 钢构件应横放在垫木上, 起吊时, 不得使构件在地面上有拖拉现象, 回转时, 需有一定的高度。起钩、旋转、移动三个动作交替缓慢进行, 就位时缓慢下落, 防止擦坏螺栓丝口。

五、网壳测量安装

1. 现场拼装测量

本工程现场有大量的拼装工作, 现场拼装测量的工作比较繁重, 现场拼装测量程序如下:

序号	程序内容
1	拼装前在内业获取各拼装胎架的布置位置, 胎架顶部标高以及拼装单元各节点间的相关数据, 并填写在预先设计好的表格上;
2	测量人员在拼装场地外侧加设仪器对拼装胎架进行找平, 并在拼装单元下方投射投影线及控制点;
3	依据拼装胎架布置位置图进行拼装胎架的定位测量, 并跟踪测量拼装过程的精度;
4	拼装胎架安装完成后, 精确测量每个胎架顶部的三维坐标, 与内业计算的三维坐标进行比对, 有误差及时进行调整;
5	拼装过程中对重要控制节点的拼装定位进行全程测量定位, 保证节点位置和接口准确无误。



测量点位示意

2. 支撑胎架安装测量

支撑胎架的安装精度直接关系到其上安装构件的定

位精度, 因此支撑胎架的安装精度非常关键。

支撑胎架安装测量的总体思路: 放样出胎架中心位置→安装胎架→校正胎架→测量胎架标高→精确测量胎架标高。

胎架就位时, 胎架支座中心线须与基础中心线基本对齐后方可松钩。然后用千斤顶调整胎架位置, 使胎架支柱底座中心线与基础中心线重合。

胎架柱身垂直允许偏差必须满足本工程的规范要求。根据规范要求, 当胎架高度小于5m时为 $\pm 5\text{mm}$; 当胎架高度5~10m时, 为 $\pm 10\text{mm}$, 当胎架高超过10m时, 则为胎架高度的1/1000, 但不得大于20mm。

胎架柱复测结束后, 需在柱顶进行中心定位, 并作好十字线, 标记鲜明。同时, 应根据实际情况测出主桁架的实际支顶位置。

3. 卸载过程测量

在屋盖节点及支撑点位置设置观测点, 每个测量点作好标记, 以保证卸载前后测点在同一个位置。屋盖安装完卸载之前, 用全站仪测量每一个测量点的坐标, 待屋盖卸载完后, 依次对上述各点再测量其坐标, 比较卸载前后的坐标数据变化, 可知屋盖的变形情况。

为确保卸载过程的安全以及实际卸载变形量与计算的差别, 在卸载过程中安排两台全站仪进行检测, 详细记载过程中的相关记录, 及时根据实际情况调整卸载步骤和单元卸载量。

六、结束语

钢结构网壳因其造型优美, 跨度大在大型展览管中的应用越来越广泛, 网壳的加工、安装、测量一直是其施工的重点及难点, 本文结合该钢结构网壳的实际施工过程, 详细介绍了钢结构网壳施工技术的关键步骤, 期望为后续钢结构网壳施工提供借鉴。

参考文献:

- [1] 祝叶, 罗凡. 大型钢结构虚拟吊装施工模型构建研究[J]. 钢结构, 2019, 34(01): 103-107. DOI: 10.13206/j.gig.201901021.
- [2] 吕永涛. 大跨度钢结构吊装施工技术研究与应[D]. 安徽建筑大学, 2017.
- [3] 罗清泉. 大跨度钢结构分段吊装施工过程模拟分析[D]. 武汉理工大学, 2015.

个人信息: 孙建功, 1977.02, 汉, 男, 中铁建工集团山东有限公司, 副总经理, 高级工程师, 本科, 建筑工程, 13708984799@139.com