

圆形料场构筑物工程球面网壳结构施工技术

吕晓阳

中国石油广东石化公司, 广东 揭阳

收稿日期: 2022年8月6日; 录用日期: 2022年9月15日; 发布日期: 2022年9月23日

摘 要

针对某圆形料场跨度大、高度高特点, 结合现场条件与施工重点难点, 综合采用分条块提升结合高空散装法施工方法。重点介绍了网壳结构分条块提升结合高空散装法施工技术工艺关键工序施工质量控制和安装质量保证措施, 有效提高大跨度钢结构网壳的施工效率和安装质量。

关键词

拼装, 网壳结构, 高空散装法

Construction Technology of Reticulated Shell Structure in Round Yard

Xiaoyang Lv

Petro China Guangdong Petrochemical Company, Jieyang Guangdong

Received: Aug. 6th, 2022; accepted: Sep. 15th, 2022; published: Sep. 23rd, 2022

Abstract

According to the characteristics of large span and high height of a circular stockyard, combined with the site conditions and key and difficult points of construction, the construction method of modularization lifting combined with high-altitude bulk method is comprehensively adopted. This article focuses on the key process construction quality control and installation quality assurance measures of modularization lifting combined with high-altitude bulk construction technology of reticulated shell structure, so as to effectively improve the construction efficiency and installation quality of long-span reticulated shell structure.

Keywords

Assembly, Reticulated Shell Structure, High-Altitude Bulk Method



1. 引言

国内外大型炼化工程圆形料场存在跨度大、高度高的特点，极大影响大跨度钢结构网壳的施工效率和安装质量，本文通过研究国内某在建大型炼化工程，结合现场条件与施工重点难点，综合采用分条块提升结合高空散装法，有效提高大跨度钢结构网壳的施工效率和安装质量[1]。

2. 工程概括

某石化炼化一体化项目圆形料场构筑物，本工程抗震设防类别丙类，抗震设防烈度为 7 度，设计基本加速度 0.10 g，所在场地设计地震分组第二组，场地类别 II 类，基本风载为 0.99 kN/m²，上部主体结构形式是螺栓球节点球壳网架，构筑物高度 56.34 m，网架底标高 13.5 m，网架顶标高 56.34 m，正放四角锥网壳，直径 93.4 m，矢高 39 m。网壳厚度 2.4 m，网壳支撑条件未下弦点支撑，设置 36 个支座。

3. 工程重点和难点

全封闭圆形料场构筑物结构中的球面网壳形式在四周布置混凝土柱，然后根据材料进场和人员配备等情况确定网壳结构施工及其场地内部输料机安装先后顺序，本工程先进行内部输料系统结构安装，因此网壳选择内扩法进行安装。内扩法是从外向内、从低到高进行施工，其施工顺序可以归纳为：进行测量定位和外圈支座安装→完成最低端第 1 圈网格安装→继续向内安装直到网格主体结构完成施工。

屋面网壳结构采用分(条)块拼装，无支架高空散装施工法，其施工重点和难点如下：

- 1) 网壳跨度大、吊次多、高空作业量大；
- 2) 网壳施工工期紧，施工组织难度大；
- 3) 屋面网壳钢结构施工精度要求高。

无支架高空散装施工技术利用空间网格结构自身整体稳定性能优异的特点，直接以已完成安装施工的网格结构作为下一阶段施工平台，无须进行脚手架或支撑平台搭设，能更进一步地减少工作量，加快施工进度。该方法施工技术难度较大，要求作业人员在节点安装时保证较高操作精度，及时纠正误差，管理人员妥善做好安全防范工作[2]。

4. 施工工艺技术

4.1. 施工工艺流程

施工工艺流程包括 9 项工作内容，包括施工准备、十字中心线复测、块状网壳拼装、块状网壳吊装、块状网壳固定、块状网壳空中对接、高空散装剩余网架、檩条安装、彩钢板安装，具体如下：

施工准备→十字中心线复测→块状网壳拼装→块状网壳吊装→块状网壳固定→块状网壳空中对接→高空散装剩余网架→檩条安装→彩钢板安装。

4.2. 施工方法

目前，工地上常用的安装方法有 7 种，即高空散装法、分条或分块安装法、高空滑移法、移动支架安装法、整体吊装法、整体提升法和整体顶升法。根据以往同类球壳工程安装的成功经验，结合新的安装方法及本工程特点，采用“分条块提升结合高空散装法”安装施工[3]。

首先在地面上把网壳支座所在网格的第一圈网架沿着水平顺时针方向,每3个支座之间网壳分成一个吊装单元进行地面拼装,网壳第一圈在扶壁柱内侧沿着扶壁柱共分成18个起吊单元,两单元之间杆件为对接杆件,然后用25T吊车同样按照拼装顺序把地面18个吊装单元吊装到扶壁柱上进行拼接,当第一圈网架合拢后网壳形成刚性,调整网壳轴线与土建轴线的偏差在允许范围内,然后以第一圈网壳自身为平台,在地面拼装小拼单元(单锥体),用25T~50T吊车吊到设计位置与第一圈网壳高空组装,以此类推完成剩余部分的网壳安装。此种方法的优点很明显:受天气、地理位置等因素影响小;在网壳未安装的地方可以同时进行设备安装。

4.2.1. 十字中心线复测

我们利用全站仪采集点位坐标的功能,根据土建单位提供的十字中心点安置棱镜,在料场的中间架设全站仪。然后将所测36个支撑点坐标导入到CAD中,在CAD中绘出所测坐标的实际位置。根据实际绘出的点位,参照设计及施工规范进行核对,并对偏差大的点位做相应调整。根据调整的点位,在预埋件上重新画出十字线,然后重新复测核对,如此反复至十字线点位符合设计及施工规范要求。

4.2.2. 块状网壳的拼装

如图1所示,根据网壳的尺寸,将第一圈网架(高度方向为上弦一个网格,下弦一个网格)划分为18块网壳单元,每两个支座间距的网格为一个块状单元,块状网壳采用地面整体拼装,拼装时将所有杆件一次安装紧固到位,发现有难以安装的螺孔时,用丝锥将螺孔修整合格,然后再安装,以保证安装精度[4]。



Figure 1. Live assembly of module

图 1. 块状单元拼装实况

4.2.3. 块状网壳吊装及固定

吊装采用专人指挥,采用四点绑扎,吊装时先采用试吊法,即先将块状网壳吊离地面200 mm时停吊,检查块状网壳变形情况、绑扎的牢固情况及吊车的稳定性,无异常时再将其吊装至设计位置。

块状网架支座就位后调整好位置,然后按照设计要求将螺母拧紧,并在外侧用缆风绳拉结固定(详见图2),缆风绳的布置为每间隔一个支座处一根,缆风绳底部设置配重,并配合3 t倒链张紧(详见图3)。

4.2.4. 块状网壳空中对接

如图4和图5所示,块状网壳对接时,每个连接点安排一名安装人员,安装人员接到对应的安装杆件后,先将高强螺栓初步拧入螺栓球三~五扣,根据其他安装人员的安装情况,待全部安装螺栓均进入螺栓球后,再一起将高强螺栓紧固到位,要避免某一、二个高强螺栓先紧固,这样会造成其他高强螺栓难以安装到位。

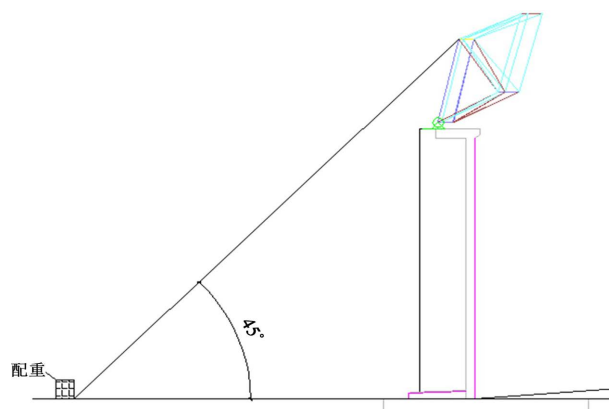


Figure 2. Elevation view of cable wind rope arrangement
图 2. 缆风绳布置立面示意

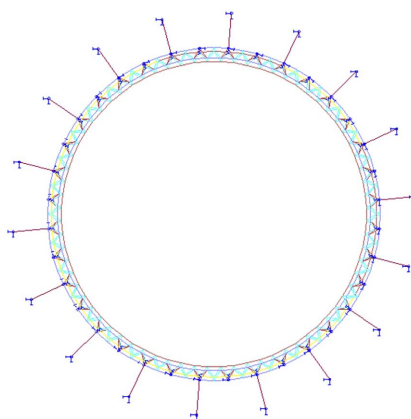


Figure 3. Plan view of cable wind rope arrangement
图 3. 缆风绳布置平面示意



Figure 4. The first hoisting unit of the reticulated shell is hoisted in place

图 4. 网架第一吊装单元吊装就位

4.2.5. 首圈网壳闭合

由于第一圈网壳安装时的初始安装平面为支座预埋平面，故网壳安装势必受支座预埋的标高及平面位置偏差影响。另外，网壳杆件尺寸或螺栓球钻孔位置的制作误差，还有某杆件的螺栓没有拧紧到位所引起的安装累积误差，以及温度影响造成的偏差都会对第一圈网壳闭合的顺利闭合带来影响。



Figure 5. Reticulated shell docking of the second hoisting unit
图 5. 网架第二吊装单元对接

第一圈网壳闭合处是球面网壳安装的关键部位之一，为了该部位的顺利闭合，除了强调减少土建施工偏差和网壳杆件、螺栓球的制作偏差外，还可以采用以下处理方法：

现场施工时，网壳正式吊装前，应计算出网壳支座实际拼装后的位置与预埋件实际位置之间的偏差，然后根据此偏差值确定在吊装第一圈网壳时，网壳支座放置位置沿支座预埋件平面所在圆的径向方向向外或向内做出一定的调整。此偏差值的确定很重要，也有一定的技巧，因为它直接关系到第一圈能否顺利闭合。

4.2.6. 后续网壳的安装

1) 如图 6 所示，块状网壳合拢完成后即进入网壳的高空散装，高空散装即从网壳的上弦第二个环带开始，先采用一台吊车安装下弦小拼单元，当安装至 1/4 环带时，再增加一台吊车开始安装上弦小拼单元，如此环向逐圈闭合安装至整个球壳全部完成，栈桥位置洞口处，在栈桥两侧对称设置 5t 倒链进行牵引张拉，保证洞口处安全顺利闭合。根据吊车的起吊高度，吨位逐渐加大，依次为 25T (前 9 圈)、50T (9 圈以上)。

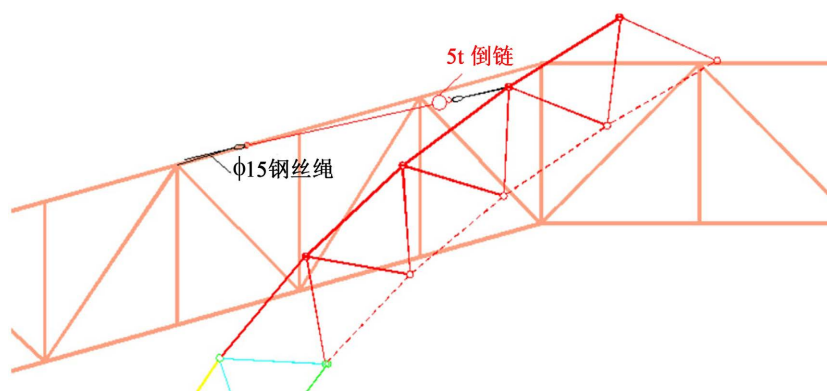


Figure 6. Schematic diagram of reinforcement at the opening
图 6. 洞口处加强示意

2) 高空散装时每个工作面可将安装人员分成两部分，一部分拼装地面小单元，另一部分进行高空安装，安装程序为：先由地面拼装人员按图纸要求，将待安装网架在地面拼装成小单元，用吊车将小单元吊到空中已经安装好的网架的对应位置，由高空作业人员完成小单元与网架的连接。

3) 地面小单元也称为三角锥,即由一个节点球与三~四根杆件在地面拼成的小单元,小单元分为下弦小单元和上弦小单元,地面拼装时应将所有杆件一次安装紧固到位,发现有难以安装的螺孔时,应用丝锥,将螺孔修整合格,然后再安装(详见图 7)。



Figure 7. Live assembly of small units

图 7. 拼单元拼装实况

4) 小拼单元安装

如图 8 所示,吊装时每个连接点有一名安装人员在高空接应,安装人员接到对应的安装杆件后将高强螺栓与螺栓球孔连接,初步连接时应先拧入三~五扣,根据其他安装人员的安装情况,待全部安装螺栓均进入螺栓球后,再一起将高强螺栓紧固到位,要避免某个高强螺栓先紧固,这样会造成其他高强螺栓难以安装到位。高强螺栓的拧紧顺序为先压杆后拉杆,防止先拧紧拉杆时压杆顶死,导致螺栓漏紧情况的发生。

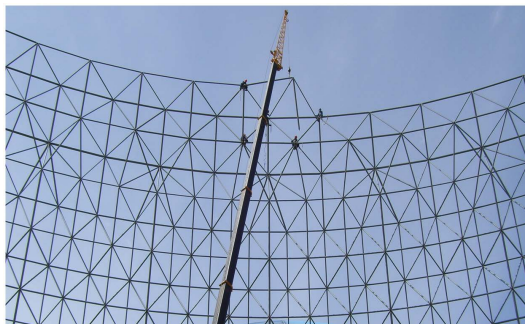


Figure 8. Schematic diagram of bulk method

图 8. 散装实况示意

4.2.7. 质量控制的重点

1) 支座的埋置精度必须提前控制在预留预埋规范允许的偏差范围内;特别是对称 2 个支座的预埋螺栓之间的间距;相邻 2 个支座之间的间距。

2) 网架按设计加工前,现场需将预埋支座的实测数据提供,存在的偏差可提前在网架螺栓球、杆件加工时,将偏差在结构模型中略微调整消化,实际制造螺栓球杆件逐一编号,确保安装精度。

3) 螺栓紧固在预拼单元不要全部一次拧紧,否则高空无法实际调整。螺栓球节点网壳总拼完成后,高强螺栓与球节点应紧固连接,连接处不应出现有间隙、松动等未拧紧情况。

4) 变形监测:

① 结构变形的监测应能反应出结构的整体变形规律,应对变形较大的关键点进行监测。

② 监测控制：采用全站仪、经纬仪、水准仪、卷尺对网架进行监测，主要监测网架变形。

③ 网壳总拼完成、屋面工程完成处及室内吊挂安装完成后分别在 1/4 跨度测量其挠度值，记录各阶段挠度的变化情况，挠度值不应超过设计值的 1.15 倍[5]。

5. 结束语

分条块提升结合高空散装法，在建筑行业有着十分重要的应用价值，能够显著提升工程项目的建设进度和质量，减少成本支出，提高建设企业的经济效益。在国内某大型炼化工程施工过程中，通过采用分条块提升结合高空散装法，并且严格按照规范要求进行施工操作，使实际测量的挠度值在规定的范围之内，显著提高了此项目整体的建设水平和建设效益，促进了建筑行业的高质量可持续稳定发展。

参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. JGJ7-2010 空间网格结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [2] 尹新伟, 李竞远, 朱滢政, 赵彦彬, 胡月龙. 全封闭煤棚施工技术分析与比较[J]. 施工技术, 2020, 49(8): 87-91.
- [3] 王猛, 郝建勋. 钢结构施工过程跟踪监测技术与工程实例探讨[J]. 中国建筑金属结构, 2013(18): 12-13.
- [4] 武兵, 周春勇. 大跨度双层空间椭球面钢网壳结构综合施工技术[J]. 施工技术, 2016, 45(21): 66-70.
- [5] 邹建磊, 韩巍, 王幸男, 俞力强, 池明智. 国家会议中心二期屋面索承网壳钢结构精细化施工技术[J]. 建筑技术, 2021, 52(5): 592-595.