

三边支承大跨度空间网架安装施工技术研究

李惠琦

上海建工五建集团有限公司, 上海 200062

[摘要] 上海河口海岸科学研究中心长江口整体物理模型试验大厅扩建工程位于上海市浦东新区合庆镇, 其扩建的试验大厅采用混凝土排架+钢网架结构体系, 由于扩建大厅北侧与原大厅相接, 无法设置支撑柱, 导致该网架采用三边支承形式, 钢网架最大跨度达到 112.5 米, 给大跨度钢网架安装施工带来一定的挑战。通过前期对方案的策划和比选, 决定采用整体提升+高空嵌补的施工方式。介绍了钢网架拼装到整体提升的具体流程以及施工过程中采取的一些措施。实践证明, 整体提升效果良好, 整体提升过程中各项指标均在可控范围内。

[关键词] 大跨度钢网架; 整体提升; 安装施工技术

DOI: 10.33142/aem.v6i1.10728

中图分类号: TU758.11

文献标识码: A

Research on Installation and Construction Technology of Large-span Spatial Grid with Three Side Supports

LI Huiqi

Shanghai Construction No. 5 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200062, China

Abstract: The expansion project of the Yangtze River Estuary Integrated Physical Model Test Hall at Shanghai Hekou Coastal Science Research Center is located in Heqing Town, Pudong New Area, Shanghai. The expanded test hall adopts a concrete truss+steel grid structure system. Due to the connection between the north side of the expanded hall and the original hall, it is not possible to set up support columns, resulting in the use of a three sided support form for the grid. The maximum span of the steel grid reaches 112.5 meters, which poses certain challenges to the installation and construction of large-span steel grids. Through the planning and comparison of the plan in the early stage, it has been decided to adopt a construction plan of overall lifting and high-altitude embedding. This article introduces the specific process of assembling steel mesh frames to overall lifting, as well as some measures taken during the construction process. Practice has proven that the overall improvement effect is good, and all indicators during the overall improvement process are within a controllable range.

Keywords: large span steel truss; overall improvement; installation and construction technology

近年来,随着城市更新人们对建筑空间需求的不断增长,传统的柱网形式结构已不能满足需求,而钢网架作为一种高效、经济的大跨度结构形式,因其刚度大、自重轻、抗震性能好等特点被广泛应用于大型公共建筑中。目前,大跨度钢网架安装施工采用的主要方式有:高空散拼法、分块吊装法、整体顶升法、整体提升法、高空滑移法等。本案例中的大跨度钢网架安装施工技术是在综合现场情况及施工安全前提下所采用的有效合理的作业方式。

1 工程概况

上海河口海岸科学研究中心长江口整体物理模型试验大厅扩建工程位于上海市浦东新区合庆镇,本工程在原长江口整体物理模型试验大厅东南侧扩建模型大厅 1 栋,测量控制室 1 栋、雨水收集池 1 个。模型大厅地上 1 层,总高度 15.1m,建筑面积 7225.4m²,采用混凝土排架+钢网架结构体系,主要钢构件包括钢柱、钢网架,总的用钢量约 520t,主要材质 Q355B;楼板采用压型钢板,总量约 7038m²。本工程网架为螺栓球+焊接球混合节点,平面尺寸 153*46m。网架结构采用网架下弦层多点支承,支座底

标高 8.95m,最大跨度 112.5m,钢网架重量 480t。网架采用双层正放四角锥网架,局部三层,结构找坡,支座采用平板支座,网架杆件截面均为圆钢管。柱采用矩形现浇钢筋混凝土柱(局部采用劲性柱),屋面采用压型钢板轻质屋面。

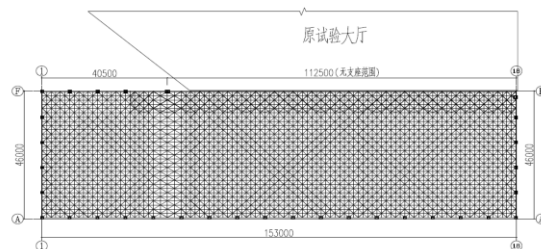


图 1 网架平面布置图

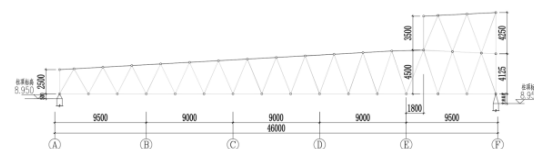


图 2 网架立面图

2 难特点分析

(1) 本工程屋面钢网架最大跨度 112.5m, 重量 480 吨, 且作业区域紧邻原试验大厅, 施工难度大。

针对措施: 通过前期方案策划和比选, 选择合理的施工方案, 兼顾钢网架安装的安全性、合理性及经济性。

(2) 屋面钢网架施工中测量是重要一环, 对测量精度的控制要求严格。钢网架的施工测量不仅需要定位准确还需要考虑到钢构件变形和膨胀等因素。

针对措施: 根据本工程测量工作量大、测量精度要求高的特点, 决定采用外部控制法和内部控制法相结合的方式, 测量遵循“由整体到局部”的原则。利用全站仪、经纬仪、水平仪等设备进行多次测量和校验。

(3) 由于扩建大厅北侧与原大厅相接, 无法设置支撑柱, 导致该网架支座局部受力形式发生变化, 设计要求西北角两支座产生反拱挠度后才能进行安装。

针对措施: 严格按照设计要求, 对施工过程进行测量和验算, 达到起拱状态并且稳定后再进行两支座的安装。

3 方案策划及比选

根据以往的网架施工经验对本工程的网架施工进行前期方案策划和比选, 主要有以下四个方案:

(1) 高空散拼法。高空散拼法即利用起重机械将散件或小拼单元吊运至网架设计部位直接进行拼装的方法, 此方法需搭设满堂脚手架或临时支撑及操作平台, 其优点是散件及小拼单元重量较轻, 所以对起重机械要求较低, 同时也对场地要求不高, 但其满堂脚手架或支架的搭设费用及钢管租赁费用较大, 且高空作业较多, 满堂架也给测量复核带来一定困难。

(2) 分块吊装法。分块吊装法即将整个网架拆分成若干块, 在地面拼装后利用起重设备就位安装, 相较高空散拼法减少了高空作业量且不需要搭设满堂脚手架, 但若分块太大, 会导致起重设备选型太大, 甚至需要采取双机抬吊的方式施工, 若分块太小则大大增加了高空作业量, 失去了分块吊装的优势。而本工程由于紧邻原试验大厅, 大型设备停放位置受限, 会导致部分网架分块较难就位。

(3) 整体顶升法。整体顶升法即将网架就地拼装后利用顶升设备整体顶升就位安装, 由于大部分网架均在地面进行拼装, 所以网架拼装阶段施工质量和安全性较前两种方案均更有保障且可缩短大量施工周期, 但由于每次顶升高度有限, 其整体顶升阶段需要分多次进行, 且施工人员需在其下方不断进行顶升设备和支承架升节施工, 会造成较大的安全隐患。

(4) 整体提升法。整体提升法即将网架就地拼装后利用液压提升设备整体提升就位安装, 其具备顶升法的所有优点, 且由于是采用液压提升方式, 可一次性提升到设计标高, 避免了反复升节带来的安全隐患且工期可进一步缩短。但该施工方法需要制作提升架, 所以成本相对较高。

结合项目实际特点, 从场地条件、人员安全、施工成本、进度工期等多维度综合考量, 决定采用第四种方案实施现场作业。

4 关键技术和设备选用

采用超大型液压同步提升技术+高空嵌补技术。选用 GYS-100C-250 液压提升器、GYS-200C-250 液压提升器、液压泵源系统、同步控制系统、25t 汽车吊及高空作业车组合使用。

5 网架安装工艺技术要点

5.1 总体流程

施工准备→放线定位→地坪处理及提升架基础施工→网架地面原位拼装(同时提升架安装)→网架拼装验收→提升系统连接、调试→试提升(系统检查, 过程检测)→正式提升至设计标高→网架高空嵌补→网架卸载→支座焊接→提升系统拆除

5.2 焊接球地面拼装

首先根据图纸中球节点的坐标求出各下弦球的 Z 坐标和高差, 再根据中心区要拼网架球的大小在地面摆支撑管, 支撑管下垫钢板, 钢板上分别测定中心十字线, 用钢管定位环确定球节点的位置, 并连接拼装节间杆件, 形成下弦四边形单元网格, 再用三根腹杆将上弦中心球定位, 使上弦球中心与地面投影中心位置吻合, 连接拼装其他二根腹杆, 形成一个小单元基准控制点。中心区拼装焊接完成后, 利用球和杆之间的相互定位逐渐向外扩展拼装, 杆件和球就位后先点焊固定, 每个单元闭合后方可进行下一小单元的拼装。

5.3 螺栓球地面拼装

根据平面坐标图进行测量放线(钢结构网架的正投影线)。正式拼装前需用水准仪对临时胎架的标高及平直度进行检查、调整直到满足设计规范要求。螺栓球安装首先放置下弦球并安装下弦杆, 然后安装上弦球形成四角锥并安装上弦杆, 其次安装侧边网架上弦球形成三角锥, 随后依次安装其余上弦球形成四角锥, 以此类推。

5.4 同步提升施工工艺

5.4.1 提升设备及吊点选择

根据网架布置及提升工况的计算, 本工程网架提升时共需设置 10 组提升平台, 每组提升平台布置 1 台液压提升器, 共计 10 台液压提升器。

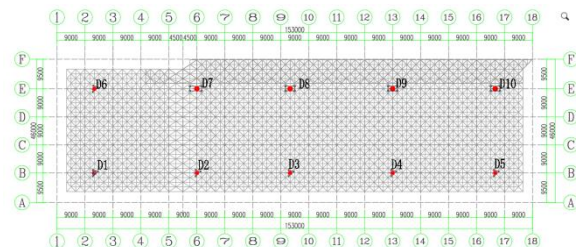


图3 提升点位平面图

5.4.2 网架提升临时措施

采用液压同步提升设备吊装大跨度网架钢结构,需要合理设置提升上吊点(提升平台布置液压提升器)及下吊点(整体提升单元受力点)。上吊点通过提升专用钢绞线与对应下吊点相连接。

本次提升用临时措施采用 10 组提升平台,平台采用型钢制作,其中 TJ-1(4 件)、TJ-2(1 件)为三肢圆管格构柱,TJ-3(1 件)、TJ-4(3 件)为四肢圆管格构柱。

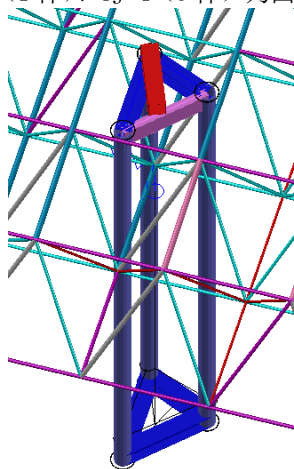


图 4 提升平台三维图 (TJ-1)

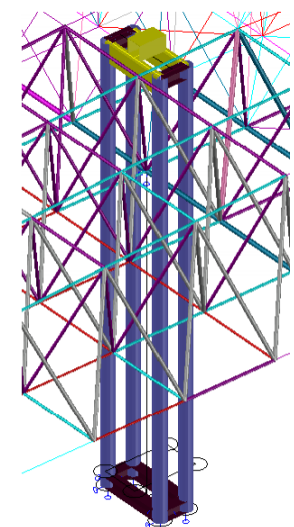


图 5 提升平台三维图 (TJ-3)

提升支架采用柱下独立基础(每个提升架一个独立基础),基础下方土体夯实,并换填 300 厚级配砂石,最大粒径不大于 20mm,提升支架柱脚通过预埋件与混凝土基础全融透焊接。基础混凝土等级 C30,钢筋等级 HRB400。

5.4.3 网架提升

提升架采用工厂制作,现场先柱后梁的安装工艺。现场安拆采用 25 吨汽车吊单根吊装。提升架安装完成后进行钢绞线安装及各系统的连接,系统检查并进行调试后开始提升。

为确保结构单元及主楼结构提升过程的平稳、安全,根据网架结构的特性,拟采用“吊点油压均衡,结构姿态调整,位移同步控制,分级卸载就位”的同步提升和卸载落位控制策略。

(1) 提升分级加载。以计算机模拟计算的各提升吊点反力值为依据,对网架进行分级加载(试提升)。在分级加载过程中,每一次分级加载结束都要暂停并检查上下吊点结构、网架结构等在加载前后是否有变形。

(2) 结构离地检查(试提升)。网架结构单元离开拼装胎架约 100mm 后,利用液压提升系统设备锁定,空中停留 12 小时做全方位检查。

(3) 姿态检测调整。使用测量仪器检测各个吊点的离地距离,并计算出它们之间的相对高差。然后通过液压提升系统设备对各吊点的高度进行调整,使结构达到水平姿态。

(4) 整体同步提升。以调整后的各吊点高度为新的起始位置,复位位移传感器。在结构整体提升过程中,保持该姿态直至提升到设计标高附近。

(5) 提升速度。影响网架提升速度的主要因素包括液压油管的长度和泵站的配置数量。按照本工程配置的设备数量,整体提升速度约为每小时 3 米。

(6) 提升过程的微调。网架在提升和下降时需要的高度微调以满足空中姿态调整或者杆件对口的需求。微调需要先将计算机同步控制系统调整为手动模式。然后根据现场实际情况对各个吊点的液压提升器进行同步微动或者对单台液压提升器进行毫米级别的微动调整以确保满足网架安装的精度需要。

(7) 网架提升到设计标高后暂停提升,复核各吊点位置并进行微调,确保网架各层弦杆位置精确符合设计要求,网架就位后暂停液压提升系统设备,确保网架结构在空中保持正确姿态。

5.4.4 悬挑法施工工艺

网架顶升至安装标高后,安装四周欠缺杆件时,采取悬挑法安装工艺,网架组拼小单元重量较轻,最大重量不超过 700kg,总吊装重量考虑为 900kg,选用两吨吊装带,捆绑形式。选用 25 吨汽车吊进行四周循环安装。

安装人员首先根据图纸将网架结构的球和杆件拼成一个锥体单元,并在地面按照节点所在位置进行摆放,每个吊装单元包括一个球和 3~4 根杆件。

用汽车吊按以下顺序将锥体单元吊装到设计安装位置,工人在高空作业车上将其与相连的网格进行拼装。

第 1 个锥体单元:1 颗上弦球、1 根上弦杆和 2 根腹杆(红色单元)

第 2 个锥体单元:1 颗上弦球、2 根上弦杆和 2 根腹杆(青色单元)

第 3 个锥体单元:1 颗下弦球、1 根下弦杆和 2 根腹

杆（品红色单元）

第4个及第5个锥体单元：1颗下弦球、2根下弦杆和1根腹杆（蓝色单元）

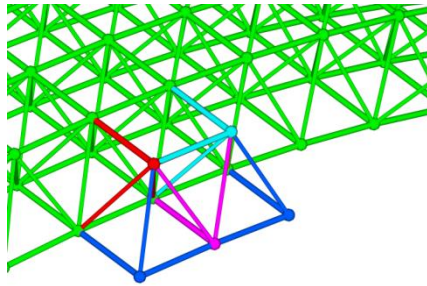


图6 悬挑法锥体单元施工顺序图

重复以上方法，继续吊装剩余锥体单元直到整个结构拼装完成。

5.4.5 网架卸载

网架卸载之前必须对网架尺寸、整体位置、柱头位置、标高进行二次复核，对有问题部分应提起调整，符合完成后按轴线位置放置好网架支座，并焊接，利用支座的球窝保证网架卸载过程中水平位置及标高的准确。为了确保钢网架卸载的安全性，采用“整体逐级”卸载法，整体：是指在卸载过程中要将整个网架视为一整个单元，而不是进行分段卸载，这样做可以确保网架的整体稳定性和完整性。逐级：是指在卸载时要将液压提升器设计下降的高度并分成多个阶段，每个阶段在规定时间内缓慢下降进行卸载。

6 建模模拟安全验算分析

采用Midas FEA NX有限元分析软件、3D3S V2022钢结构设计软件等对结构进行构件受力计算并对提升工况进行模拟。

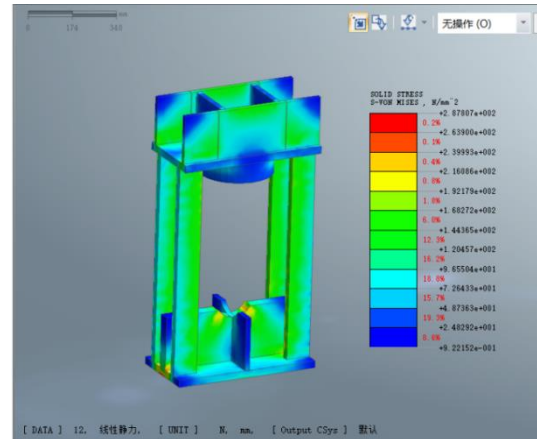
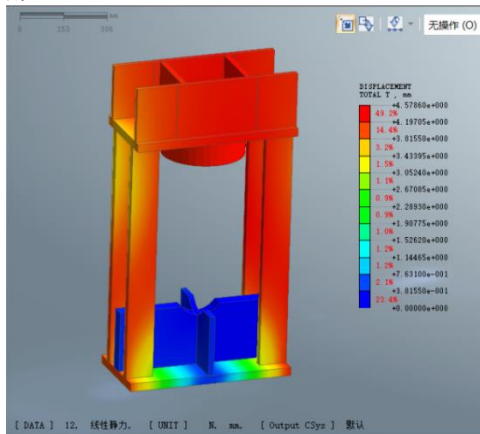


图7 下吊点受力变形计算

经模拟施工及计算可知，提升支架及提升梁的强度、稳定性、长细比、最大剪力、提升支架基础承载力、提升支架底部埋件剪力、吊装带工作荷载、下吊点受力分析、网架提升过程验算等指标均满足设计文件和标准规范要求。

7 结语

超大型液压同步提升技术融合了计算机软件模拟施工、数据监测与控制、钢结构设计优化等多方面技术体系，结合局部嵌补技术实现了三边支承大跨度钢网架的安装施工。实践证明，本方法具有安全性高、操作性强、施工速度快等特点，相关的施工经验可为类似工程提供参考。

【参考文献】

- [1]陈培生. 大跨度钢网架整体吊装施工技术[J]. 安徽建筑, 2013(5): 79-80.
 - [2]林建明. 地面散拼提升单元与高空散拼单元相结合的网架施工技术[J]. 福建建筑, 2014(2): 83-88.
- 作者简介：李惠琦（1988.12—），毕业院校：上海理工大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：上海建工五建集团有限公司第二工程公司，职务：副总工程师，职称级别：中级。