 DOI: https://doi.org/10.26789/jzjg.v7i2.1028

Research on Integral Installation Technology of Super Long Inverted Triangular Arc Pipe Truss

Ming Zhang　Zhiyong Peng　Haifeng Lu　Xian Wei

Beijing Urban Construction Group (BUCG) Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

Relying on the roof of the Sharing Hall of the Capital Museum East Building project in Beijing Sub-center, the overall installation and construction technology of the super-long 53m inverted triangular arc tube truss is studied, especially for the details of truss processing, support deformation and stress relief during lifting, so as to realize the high-precision lifting of the ultra-large-span roof of the sharing hall of the museum.

Keywords

triangular truss; overall lifting; large crawler crane; support deformation; support stress relief

超长倒三角弧形管桁架整体安装技术研究

张明　彭志勇　卢海丰　韦娴

北京城建集团有限责任公司，中国·北京 100000

摘　要

依托北京城市副中心首都博物馆东馆工程共享大厅屋盖对超长53m倒三角弧形管桁架整体安装施工技术进行了研究，尤其是针对桁架加工过程、吊装过程中支座变形及应力释放等细节进行技术创新，实现了博物馆共享大厅超大跨度屋盖的高精度吊装。

关键词

三角桁架；整体吊装；大型履带吊；支座变形；支座应力释放

1 引言

随着社会的不断发展，中国建筑行业也在蓬勃发展，各类博物馆、展览馆等作为城市文化传播的重要载体，各大城市都在积极建设，大多博物馆造型新颖，大跨度、超高度钢结构越来越广泛的使用，且中国建筑用地紧张，博物馆类建筑群越来越广泛的出现。施工过程可利用空间有限、建筑群体相邻建筑物很近，这就给大型钢构件吊装带来极大难度。

2 特点

超长倒三角弧形管桁架施工与常规钢结构安装方式相比具有以下特点：

①超长桁架为弧形倒三角桁架[1]，桁架在加工厂整体加工，桁架组拼与预拼装结合，根据运输能力，分段运输至现场拼装后整体吊装；有效解决空间角度的弦杆及腹杆，因分段吊装或高空散装，高空对接难度极大的难题。

②根据桁架两端安装高差大的特点，对球铰支座特殊设计，低区支座锁定后，直接与桁架、钢柱焊接，高区支座锁定并设计临时连接螺栓，安装过程中，支座栓接，使支座既能释放施工变形又满足支座整体受力前不变形；整体安装完成后，高区支座焊接，并解除高、低区支座锁定装置[2]。

③根据桁架安装就位位置的高差，设计吊装钢丝绳，桁架高点的两个吊点，直接采用钢丝绳吊装，桁架低点的两个吊点，通过两个手动葫芦连接钢丝绳，再通过卸扣连接构件吊装耳板，通过调整葫芦整构件角度，在吊装就位前将构件高差调整至预定角度，需精准计算吊点位置。

④现场拼装场地需平整、坚实，拼装胎架设置位置应与加工厂拼装胎架位置相同，最大限度还原工厂预拼装条件，有效保证拼装精度。

⑤对吊机作业区域软弱地基，铺设路基箱[3]，并对路基箱加固设计，所有路基箱均横向满铺，并通过临时连接板将路基箱连成整体。采取铺设路基箱的方式加固地基，有效解决了大型履带在回填土路面作业路基软弱的问题。

3 适用范围

本技术适用于管桁架钢屋盖体系的屋盖吊装，尤其适

【作者简介】张明（1983–），中国北京人，本科，工程师，从事建筑施工研究。

用于反弧、桁架两端高差大且吊装作业面受限的倒三角弧形桁架吊装。

4 工艺原理

根据整体钢屋盖的受力特点，桁架整体尺寸长、跨度大，单榀桁架两端高差大，桁架与钢柱通过球铰支座连接，桁架安装过程中，侧向力很大，且桁架下方混凝土结构复杂、一侧主楼屋盖已吊装，均无吊机站位条件。这就要求在施工过程中，只能选择单侧场地作为吊装作业面，施工过程中桁架自身稳定，不能发生侧向移动，又要有足够变形能力，释放应力，且桁架与联系梁整体受力前，支座不能发生位移、转动等变形。采用大型履带吊整榀吊装的方案，并对桁架支座节点进行设计，预先锁定球铰支座，并将高点支座设计为临时栓接，使应力、应变顺利释放并保证支座整体受力前不发生位移。保证了结构整体性，提高了施工速度，大大缩短了施工工期，确保了工程质量及安全。

5 工艺流程及操作要点

5.1 工艺流程

超长倒三角弧形管桁架整体吊装施工工艺流程如下：

桁架加工制作→实地调查、收集资料→测量放线→吊装作业面处理→大型履带吊进场→钢柱安装→支座安装→桁架地面拼装、焊接→桁架整体吊装，与支座焊接→第二榀桁架吊装→桁架间联系梁吊装→下一单元吊装→整体屋盖安装完成。

5.2 操作要点

5.2.1 桁架加工制作

桁架在加工车间由单杆整体组拼成桁架，一整榀桁架作为一组加工单元，整体加工完成后，按运输长度拆分、发运至现场，此加工方案，相当于将车间组拼与预拼装结合，保证现场桁架对接精度。

①钢管弯弧。

钢管采用专用液压设备弯弧，钢管大多采用冷压成型，如钢管径厚比过小，冷压成型母材易开裂的情况下，采用热压成型。

②钢管相贯线切割。

在专用相贯线切割设备上切割腹杆相贯线。

③桁架组拼。

桁架在加工车间设计专用拼装胎架，分段整体拼装，拼装后拆分成运输分段，进入涂装车间，喷砂除锈、喷涂底漆和中间漆后，运输至现场。

④由于屋面桁架超长，根据运输长度对桁架进行分段，每段不超过 18m。

⑤现场拼装时应控制桁架的尺寸和桁架的预起拱值，按照深化设计说明要求预起拱值达到 L/500（即 107mm）。

5.2.2 实地调查、收集资料

①桁架施工前应具备下列资料：

第一，吊装作业区地基承载力报告。

第二，钢柱焊接完成，钢柱联系梁焊接完成，且焊缝探伤合格。

第三，测量基线和水准点资料。

第四，工程设计有关文件。

②履带吊作业面地面障碍物等及时清除。

③施工场地应基本平整，场地地耐力满足设备行走要求。

④现场应该有足够的拼装场地，拼装场地地耐力应满足要求。

5.2.3 测量放线

①施工前，先根据设计图纸和坐标基准点，精确计算出梭型柱支座、尤其是牛腿销轴孔的坐标，进行坐标数据复核；利用测量仪器进行放样，通知相关单位进行放线复核。

②吊装期间，利用全站仪全程跟踪测量。

③单体构件吊装完成后，对已安装构件及时复测。

5.2.4 吊装作业面处理

①履带吊行走区域为原基坑出土马道或回填土，局部坡度较大，对马道面平整、压实，并满铺钢板，设置排水设施。

②履带吊行走区域地面满铺路基箱，路基箱规格为 2m×6m，履带与地面接触长度为 8.7m。按两条履带下部承压 10 块路基箱计算，路基箱与土接触面积 $10\times2\times6=120m^2$，按履带吊自重约 400 为例，带载及考虑动力系数约 480t，要求地基承载力约为 40kPa。考虑吊装时主臂与履带垂直，单侧履带受压极限值 40×2=80kPa，要求履带吊行走路线地基承载力为 80×1.2=96kPa。

5.2.5 大型履带吊进场组拼

履带吊采用主臂＋副臂工况，履带吊散件进场，由设备厂家组拼，组拼需 100m 长、10m 宽相对平整的场地，组拼后经各方验收完成使用。

5.2.6 钢柱安装

①钢柱采用履带吊吊装，安装方式较常规，不再赘述。

②钢柱吊装完成后，吊装钢柱间联系钢梁。

③钢柱钢梁校正、焊接完成、并探伤合格后，准备吊装桁架支座。

5.2.7 支座安装

①支座采用铸钢球铰支座。

②低区球铰支座出厂前焊接临时锁定装置，安装后与钢柱直接焊接。

③高区球铰支座出厂前除焊接临时锁定装置外，还需焊接四块长圆孔耳板，支座安装时，暂不与钢柱焊接，仅在耳板处栓接固定，保证支座可整体小范围位移。

④桁架及联系梁整体安装完成后，焊接高区支座，拆除长圆孔耳板，并割除支座锁定装置。

5.2.8 桁架地面拼装

①桁架地面拼装长度应坚实、基本平整，场地软弱处

需垫钢板，并通过拼装胎架调节标高。

②桁架拼装胎架设计位置应与加工厂分段胎架设计位置一致，以最大限度还原工厂预拼装条件，保证拼装质量。

③桁架现场拼装完成后，对接口焊接并探伤完成后整体吊装。

5.2.9 桁架整体吊装、焊接

①根据桁架重量选择吊装钢丝绳及卸扣。单榀屋面桁架吊装立面如图 1 所示。

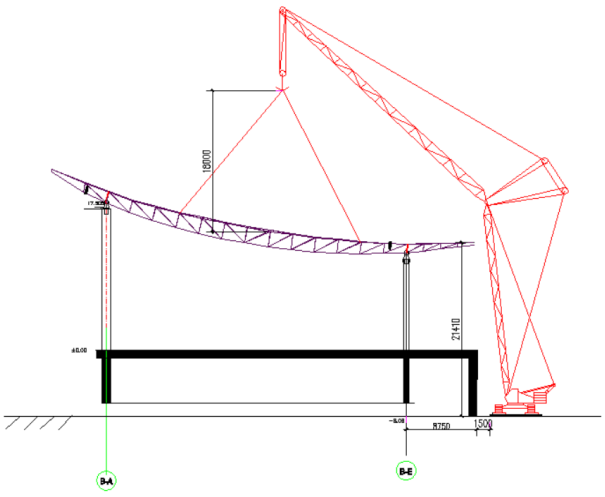

图 1 单榀屋面桁架吊装立面

②桁架吊点位置选择应该使用软件计算分析，以首都博物馆东馆共享大厅桁架为例，吊点位置左端钢丝绳距边距离为 13.3m，右端钢丝绳距右端 14m；构件重心距左端 26.2m，距右端 26.8m；钢丝绳左侧长度 15.8m，右侧长度 18.6m；夹角 45°，应力最大值为 48.90MPa。应力云图如图 2 所示。

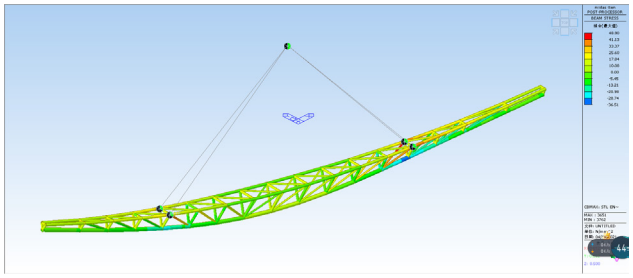

图 2 应力云图

以上计算结果可知，吊装过程中悬挑端变形：20.76mm ＜ 13288/200=66.44mm；应力最大值为 48.90MPa，满足规范要求。

5.2.10 第二榀桁架吊装

采用相同方法吊装第二榀主桁架。

5.2.11 桁架间联系梁吊装

桁架间联系钢梁吊装为常规吊装，不再赘述。

5.2.12 下一单元吊装

采用相同安装方法吊装下一单元。

6 质量控制

6.1 主要施工规范、标准

GB50205—2001《钢结构工程施工质量验收规范》、GB50661—2011《钢结构焊接规范》、GB50755—2012《钢结构工程施工规范》等相关文件。

6.2 质量控制措施

6.2.1 施工过程的质量控制

检查由项目经理直接负责，总工中间控制，专职检验员作业检查、班组质量监督员自检、互检的质量保证组织系统，将每个岗位、每个职工的质量职责都纳入项目承包的岗位责任合同中，并制定严格的奖罚标准，使施工过程的每一道工序，每个部位都处于受控状态，并同经济效益挂钩，保证工程的整体质量水平。

6.2.2 钢结构安装质量控制

由焊接工艺评定确定焊接方法，优先选用 CO_2 自动和半自动焊接的方法，尽量采用单面焊双面成型工艺。选用焊缝金属少，变形量小的坡口形式，规定焊接顺序、焊接方向，综合控制焊接变形。

7 安全措施

7.1 钢柱安装安全技术要求

①吊装前安全措施设置：钢柱吊装前，为了方便摘钩及下部工序安全有效进行，在钢柱一侧设置通长的直爬梯，并设置安全绳配防坠器。

②钢柱安装就位后，在钢柱四个方向拉设揽风绳，使其固定。缆风绳上设置警示带，起到安全提示的作用。钢柱焊接完成后，需立即拆除缆风绳。

7.2 桁架及钢梁安装安全技术要求

①吊装前安全措施设置：为了方便施工人员进行下一步工序的操作及安装检查，在钢梁上设置双道安全绳，安全绳固定在 Φ48×3.5 圆管制作的立桩上，立桩通过焊接与钢梁连接，主楼钢梁在安装完成后，进行铺设安全平网。

②吊装前安全要求：同钢柱吊装前安全要求。

8 结语

采用桁架整体吊装技术，有效减少了现场高空对接，实现了现场桁架弦杆 0 偏差对接，整体安装偏差大大小于规范要求，将吊装的关键线路工期分解到地面拼装的非关键线路上，共节约工期 20 天，节约机械费及人工费共计 110 万，经济效益明显。对于同类工程的施工有很好的借鉴作用。

参考文献

[1] 高磊,何晓辉,江克斌,等.倒三角形拼装桁架桥的极限承载力分析[J].钢结构,2015,6(30):9-12.

[2] 赵雷.调高支座技术的应用[J].科学中国人,2014(15):28-30.

[3] 马文,连晋华,李亚忱.大型履带起重机路基箱的设计与计算[J].机械工程与自动化,2013(5):88-90.