

超高层大悬挑钢桁架空中平台工程安装技术

蒙宇红, 陈世新

广西建工第一建筑工程集团有限公司, 广西 南宁

收稿日期: 2026年3月11日; 录用日期: 2026年3月31日; 发布日期: 2026年4月13日

摘要

以超高层空中大悬挑工程案例, 针对超高大悬挑钢结构安装过程中结构施工作业面悬空、形状复杂、安装构件体型巨大且重量大、对接对位精度高, 吊装稳定性高等特点, 通过现场经济可行性分析、深化优化钢结构安装方案、钢结构加工、桁架组件拼装、钢桁架组件吊装、钢结构对接对位焊接等方面着手, 对拼装组件措施、整体桁架分块分段、吊装过程的组织和控制进行详细阐述, 避免超高空满堂架施工的高投入, 获得大悬挑钢结构超高空安装作业的关键控制技术, 同时保证安装施工质量安全, 使得施工成本得到较大的降低, 为同类工程提供参考。

关键词

大悬挑桁架钢结构, 超高空作业, 分块分段拼装, 整体吊装

Installation Technology for Mega-Overhanging Steel Truss Sky Platforms in Super High-Rise Buildings

Yuhong Meng, Shixin Chen

The First Construction Engineering Group Co., Ltd. of Guangxi Construction, Nanning Guangxi

Received: March 11, 2026; accepted: March 31, 2026; published: April 13, 2026

Abstract

Based on a case study of a super high-rise building featuring a large-scale overhanging structure, this paper addresses the challenges inherent in the installation of such mega overhanging steel structures—specifically, the lack of accessible working platforms at great heights, complex geometries, the enormous size and weight of structural components, high precision requirements for

alignment and connection, and the need for lifting stability. Through on-site economic feasibility analysis, refinement and optimization of the steel structure installation scheme, steel fabrication, truss sub-assembly, lifting of truss segments, and precision alignment and welding procedures, this study provides a detailed discussion on assembly measures, segmentation strategies for the overall truss, and the organization and control during the lifting process. The approach effectively avoids the high costs associated with full-scale scaffolding at extreme elevations, thereby achieving key technical controls for the installation of large overhanging steel structures at super-high altitudes. This ensures both construction quality and safety while significantly reducing project costs, offering valuable reference for similar engineering projects.

Keywords

Mega-Overhanging Truss Steel Structure, Ultra-High-Altitude Construction, Block-by-Block and Segment-by-Segment Assembly, Overall Lifting

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城镇化进程由高速扩张转向高质量发展,社会公众对建筑环境的需求已从“满足基本使用”转向审美品质与使用功能双重高标准,城市空间不再仅是生产生活载体,更成为彰显城市气质、承载人文价值、提升公共体验的重要场景[1][2]。高空与超高层建筑成为集约利用土地、塑造城市天际线的核心载体。钢结构观景平台以轻质高强、造型可塑性强、空间效率优等优势,成为超高层公共化、景观化的关键配置,设计层面需协同结构安全、风工程、人行舒适度、防火防灾与视觉美学,应对大悬挑、大跨度、异形曲面、高空连体等复杂形态;施工层面面临高空作业风险高、构件精度控制严、吊装难度大、工序协同复杂等问题,必须依托精密测控、数字化建造与装配式技术实现安全高效落地[3]。

当代城市建设与住宅发展的核心趋势,是人本化、审美化、高品质、高难度并行演进。社会对建筑的要求已从“建成”转向“建好”,从“可用”转向“好用、好看、耐用”[4]。高空与超高层钢结构观景平台的发展,正是这一趋势的集中体现——它既是城市形象与公共活力的新增长点,也是检验设计创新与工程技术的前沿领域。

2. 工程概况

本工程 12、13、15 栋楼为超高层楼栋,地下四层地上 42 层,建筑高度 145.9 米;三栋楼非直线呈现弧线布置,本建筑在 32 层(避难层)设有悬挑空中平台,33 层 101.65 米高度处设置空中连廊及空中游泳池,最大悬挑长度为 9.5 m,采用 2.8 m 高的钢桁架作为支撑体系。钢结构桁架下弦顶面标高为 97.200 米,桁架高度(上、下弦中线) 2.80 米;悬臂空中平台结构采用型钢 H 钢桁架结构,桁架连续锚入主体剪力墙结构,桁架剪力墙支座设型钢混凝土组合结构;主桁架与型钢混凝土柱 H 型钢的连接节点上弦、下弦 H 型钢采用贯通型;剪力墙内钢骨以及钢桁架构件的钢板对接焊缝和腹板、翼缘的 T 形焊缝(包括桁架腹杆与弦杆的焊接)均为全熔透焊缝,焊缝质量等级一级;钢结构桁架构件上弦和下弦、腹杆、悬挑钢结构部位过渡层钢柱为 Q390B,型钢构件连接采用摩擦系数 0.50 摩擦型高强螺栓,10.9 级扭剪型。超高层空中泳池连廊如图 1 所示。

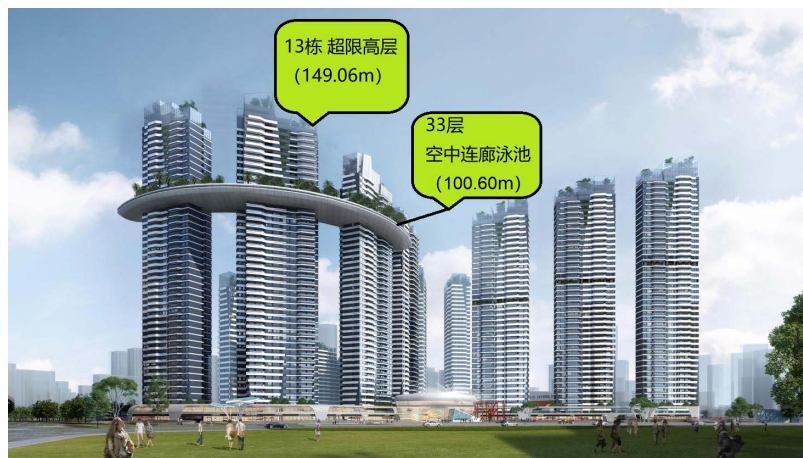


Figure 1. Corridor of super high-rise air swimming pool

图 1. 超高层空中泳池连廊

3. 施工重难点分析

工程项目位于市政道路边, 施工现场毗邻地铁站, 施工场地限制较大, 项目的为大悬挑, 施工面大, 存在超高空作业(作业面在 33 层超 100 米), 施工安装中必须充分考虑施工的技术可行性、经济性、安全性。如按常规方法空中散装施工难度极大, 质量难控制、极高的安全风险, 并且施工进度慢, 影响整个工程的施工工期。经过多方案比较, 本工程采用悬挑部分钢结构桁架地面组装, 并用大型履带吊分块整体吊装的方法进行安装。吊装单件重量 330 KN, 安装高度接近 100 米, 故吊装重量和高度都较大, 吊装作业的危险性较大。

主体内部锚固部分钢结构需要提前进行钢柱预埋螺栓定位, 确保悬挑钢结构部分吊装精准对接。主体内钢结构部分定点安装钢柱的同时该位置存在大量钢筋与钢柱进行搭接等施工, 因此需要保证钢柱安装定点位置精确且所有钢筋与钢柱能够紧密连接, 覆盖范围较广, 难度较大。

4. 施工方法

(一) 施工流程和平面布置

主体部分:

主体施工到 30 层地脚螺栓预埋→施工 30 到 33 层过渡层主体预埋部分剪力墙及梁柱主体内钢柱进场及安装→主体内钢桁架拼装用胎架进场及安装→主体内钢桁架第一组构件进场及地面拼装→主体内钢桁架第二组构件进场及地面拼装→主体内钢桁架第三组构件进场及地面拼装→主体内钢桁架第四组构件进场及地面拼装→用 400 吨履带吊分别吊装主体内分块钢桁架→使用项目工程塔吊依次吊装主体内重量较轻次梁→施工主体 30 到 33 层过渡层钢筋混凝土剪力墙及梁柱→施工预埋对接悬挑钢结构组件部分→收尾完善。

悬挑部分钢结构:

地面地基处理→组装 400 T 吊机→主体外钢桁架拼装用胎架进场及安装→使用塔吊依次吊装主体外次梁→主体外悬挑部分钢桁架进场及地面拼装(共七组)→使用 400 吨履带吊吊装主体外悬挑部分钢桁架(共七组)→与主体钢结构固定→悬挑部分作业面作业平台挂装→后期悬挑部分连廊和空中泳池施工→悬挑部分作业面作业平台挂装拆除。

平面布置:

三栋楼位于十字路口处, 两面临路边, 南面有地铁线路。吊装要考虑吊装半径和高度。履带吊的安

拆场地如图所示, 场地按计算方案的要求进行回填和压实后方可进行。因 400 T 履带吊需要组装场地较大, 安拆场地最少保证 140 米的长度, 宽度 15 米。位于 15#楼和 13#楼的正前方。履带吊组装吊装平面示意图如图 2、图 3 所示。

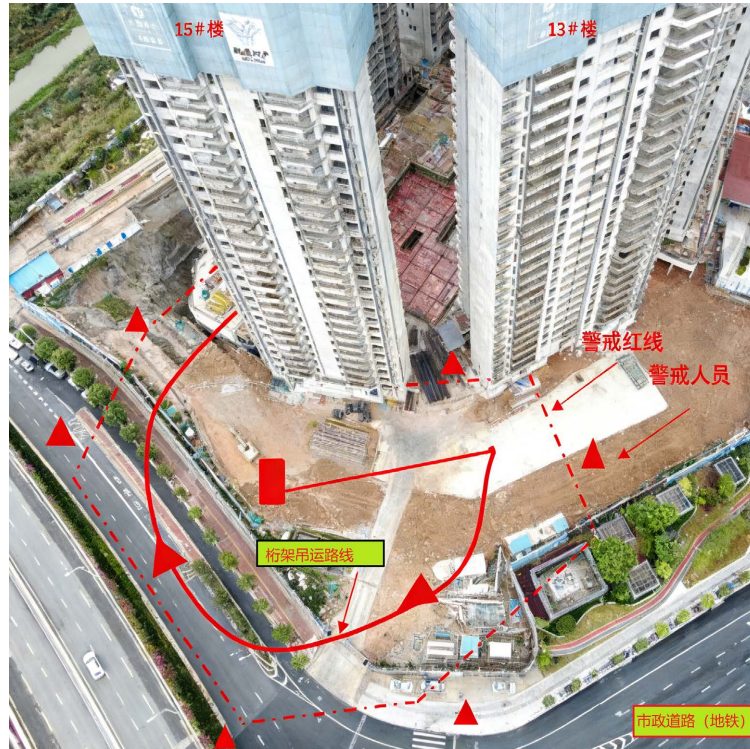


Figure 2. Assembly and hoisting plan of crawler crane (I)
图 2. 履带吊组装吊装平面示意图(一)



Figure 3. Assembly and hoisting plan of crawler crane (II)
图 3. 履带吊组装吊装平面示意图(二)

(二) 地基处理要求

本项目组装吊装时吊装设备体型较大, 需要较大场地, 且吊装设备很重, 要先对组装场地进行处理, 硬化要求: 平整压实后, 铺垫 500 mm 碎石层, 400 吨履带吊行车路线需进行硬化处理, 其硬化要求: 平整压实后, 铺垫粒径大于 100 mm 的石头 + 35 mm 厚钢板, 确保行车、吊装安全。其他区域的场地地坪做平整和夯实处理, 满足施工要求。

(三) 构件吊装分析及吊机选择

本工程施工主要为 H 型钢钢结构桁架结构, 组装后整体构件较重, 达 30 T, 安装高度较高, 悬挑钢结构桁架安装位置标高 + 97.200 米, 且吊装物件尺寸较大, 最大悬挑桁架长度约 12.50 米, 吊装难度极大, 故采用 400 T 履带式吊机(ZCC400T 型全液压履带式起重机)吊装。

在进行吊装工作之前, 必须将起重机运输到施工现场并将各部件组装成一个整体。400 T 履带起重机的主要组成部分由主机、行走装置、臂杆系统、液压系统、吊钩等组成。吊机的各部件自重较大, 且部件体积尺寸较大, 如主机(重 50.7 t、长 12.3 m), 履带总成(重 26.5 t、长 8.9 m), 400 T 履带式吊机主要分为主机、配重、吊杆、吊钩等部分组成主机带基本臂自重 330 T, 主臂长度 24~84 m, 固定轻型臂长度 72~102 m, 固定副臂长度 12 m。在组装、拆卸、运输过程中、需要较大的地基承载能力。在必要时需对组装、拆卸场地进行地基加固处理, 运输过程中需按相关规定办理超限运输许可证, 并对道路情况进行详细勘察, 必要时危桥等危险道路应进行加固处理。

履带式起重机组装较为复杂, 自身组装需要另一台 80 T 以上和一台 50 T 汽车吊车进行辅助配合。履带吊安拆和吊装场地在主体地下室墙体外, 场地应做压实处理, 回填土在结构混凝土达到设计强度后回填, 满足要求。

(四) 钢结构构件加工设计和制作

钢结构构件制作分如下步骤: 1 数控精密下料、切割; 2 零件二次矫平; 3 上、下翼缘板的焊接加工控制反变形; 4 翼板腹板 T 型组装; 5 翼板腹板 H 型组装; 6 定位焊接; 7 焊前预热; 8 H 型钢埋弧焊接; 9 焊接后进行翼缘角变形的矫正; 10 焊缝探伤检测划线切割余量; 11 加劲肋的组装; 12 两端高强螺栓孔钻孔; 13 整体检测; 14 冲砂、除刺、涂装; 其中吊点设计和起吊过程尤为重要。

防止吊装时受力状态不平衡, 吊点根据吊装的构件重心进行设置, 设计好吊绳长度使得吊钩位置和重心重合。吊耳的设置节点区或采用钢丝绳直接在节点处绑扎, 并经过详细计算。计算应考虑构件在整个吊装过程中可能出现的各种不利的空间形态。吊耳具体设置位置或绑扎点应符合要求, 有必要时应增加加劲板。吊装耳板规格: 长度 250*高度 200*厚度 25 mm, 加劲板规格: 长度 200*高度 150*厚度 25 mm, 按最重构件 36 T 计算, 4 个吊耳, 每个吊耳承受 10 吨的力, 经验算以上耳板和吊点焊接符合受力要求。

1) 合理的焊接顺序

根据钢结构构件形状、板材拼接焊缝的设置位置安排焊接的先后顺序, 当构件的板材焊接焊缝分布较多时候, 判断哪些焊缝收缩量大并优先焊接, 后焊接收缩量小的焊缝; 判断哪些焊缝约束度大而难以自由收缩则优先焊接, 后焊约束度小更容易自由收缩的焊缝。焊接长焊缝, 采用由中间向两侧焊接前进, 逐步退焊。从整体构件而言, 采用由中心向四周扩散焊接。对柱、梁节点连接处, 节点复杂的构件, 要降尽量低焊接造成的初始应力和变形, 采用对称、多点、同时、分段退焊方式焊接。

2) 热处理

构件完工后, 由于焊缝的热效应, 在板材内部产生初始应力, 在使用工况中会与工况应力叠加产生不良应力, 应尽量消除初始应力。对焊接的构件其焊缝背部或焊缝两侧进行加热, 不用施加任何外力, 对“T”形构件等对称构件焊接角变形的矫正中, 要对称加热对称冷却, 消除和校正焊缝的残余应力和构件角变形。

3) 制孔

钢构件开孔应根据构件和螺栓类型选择合理的开孔方式。对于高强度螺栓开孔, 零件开孔应精准, 采用自动数控床、摇臂钻床加工, 型钢开孔采用磁力钻加工成孔。对于设备孔, 可在零件下料时, 利用数控火焰切割机制孔。

4) 组装

定位焊缝应避开焊缝起始端, 在构件端部、棱角等位置不宜进行焊接施工, 以免造成应力集中影响构件强度, 保证焊接质量。对于 T 形接头, 采用对称焊接, 从构件两侧对称施焊, 减小焊接造成的变形, 坡口内不宜进行定位对接。坡口全熔透焊接时, 先对焊接背面清根, 在清根的坡口中实施定位焊接。

5) 矫正

构件定位焊接组装完成后, 应对焊缝和拼接质量位置等进行检查, 确认构件无缺陷。若变形或位置超过规范或设计允许值时, 及时矫正。分析加工中不同因素产生的变形, 需要考虑适合的焊接方式, 矫正方法包括机械矫正、火焰矫正和综合矫正等。

(五) 主体内型钢混凝土柱安装

先在原主体柱子上预埋安装好地脚螺栓, 然后进行钢柱安装, 使用现场塔吊(臂长 35.00 米, 可覆盖所有钢柱), 逐一安装型钢柱, 型钢柱重量 3.6 T、1.8 T, 筑型钢混凝土柱浇筑, 为了确保型钢钢柱稳定性, 先浇筑 1.20 米高混凝土, 再往上安装和浇筑型钢混凝土柱型钢, 混凝土柱浇筑混凝土完成后, 临时固定方管横梁, 钢桁架安装前, 拆除临时固定架。

钢柱安装控制技术: 钢柱起吊前, 在现场垫放枕木, 不能在地面拖拽钢柱易造成变形。安装时同时测量校正钢柱定位, 控制钢柱轴线、垂直度、标高、焊缝间隙参数, 各项观测值偏差值都应控制在允许偏差之内。钢柱吊装对接后, 先临时固定, 钢柱上下节之间的连接采用钢柱制作时焊接临时连接耳板, 吊点对称布置, 临时连接板采用铰接, 安装矫正时先调整构件安装标高, 再调节扭转, 最后调节垂直度, 最终矫正完整后按设计要求连接, 固定钢柱。

(六) 钢结构桁架施工吊装

本工程钢结构桁架组件重量重, 安装高度超高, 外形尺寸大, 现场靠路边条件的限制, 吊装尤为复杂, 吊装难度极大, 吊装方案应考虑经济性、可靠性、可行性、工程质量、工期和安全。确定合适的吊装设备, 合理的吊装顺序, 才能确保施工, 拟采用大型吊机分块整体吊装的方法进行安装。

分块整体桁架由型钢 HN400×200×8×13、HN500*200*10*16 等组装构成, 拼装后构件重量最重达 33.00 T, 最大起重构件重量 $Q = 36.00$ 吨(已含吊钩、吊索重量)为依据, 选用四根直径 42 mm 的钢丝绳, 安全系数取 8; 荷载不均匀系数为 0.82 考虑。分析方法: 吊点距离吊车中心位置距离最大约 60 米左右, 安装高度最高点标高 100.60 米, 吊装中联 ZCC5200S 履带起重机, 选用变幅副臂工况, 主臂 60 m + 副臂 72 m = 132 m, 整车 330 t, 根据现场实际情况, 需复核吊装最不利情况下吊车的臂长 L 和吊重能力是否满足吊装要求。根据图纸中各钢梁桁架组件位置和现场场地情况, 分析其需要的最大回转半径 $R = 30.00$ m, 参照公式得出的 $H = 120.80$ m, 则吊臂分角 $\alpha = 76.06^\circ$ 。故而吊车在最不利情况下臂长: $L = H/\sin\alpha = 30.00/\sin 76.06^\circ = 124.47$ m。根据 400 吨履带吊技术参数: 使用主臂长 132.00 m, 使用主臂长 $\geq L$ 符合要求, 回转半径为 30.00 m 时起重能力 $Q = 41.9$ 吨 ≥ 36.00 吨(已含吊钩、吊索重量), 满足吊装要求。悬挑钢结构桁架吊装示意图如图 4 所示。

对于主体内的钢结构桁架组件, 每栋楼分为不同组件, 其中 12#楼主体内分 5 组, 主体外悬挑部分分 1 组, 13#楼主体内分 5 组, 主体外悬挑部分分 7 组, 15#楼主体内分 3 组, 主体外悬挑部分分 2 组, 最重为 12#楼主体外钢结构桁架组件 33 T。钢结构桁架的自身特点和平面情况, 使用 400 吨履带吊吊装每栋楼的第一组构件, 第二组构件, 使用现场塔吊, 安装次梁及次桁架及拆除临时连接钢梁及吊装耳板等,

吊装第三组构件和第四组构件, 使用现场塔吊, 安装桁架, 拆除临时连接钢梁及吊装耳板等, 重复以上步骤直至全部组件安装完成。悬挑钢结构主体内桁架吊装示意如图 5, 图 6 所示。

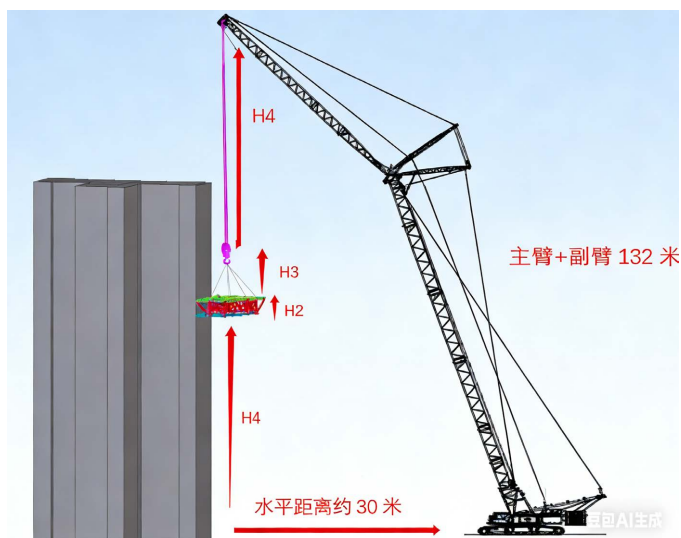


Figure 4. Hoisting diagram of cantilever steel structure truss
图 4. 悬挑钢结构桁架吊装示意图

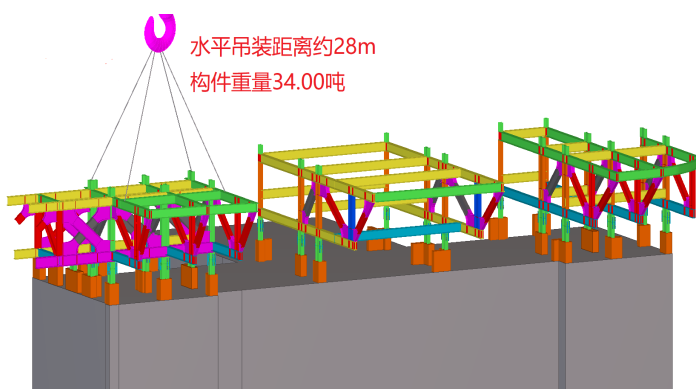


Figure 5. Schematic diagram of truss lifting for the main cantilevered steel structure
图 5. 悬挑钢结构主体内桁架吊装示意图

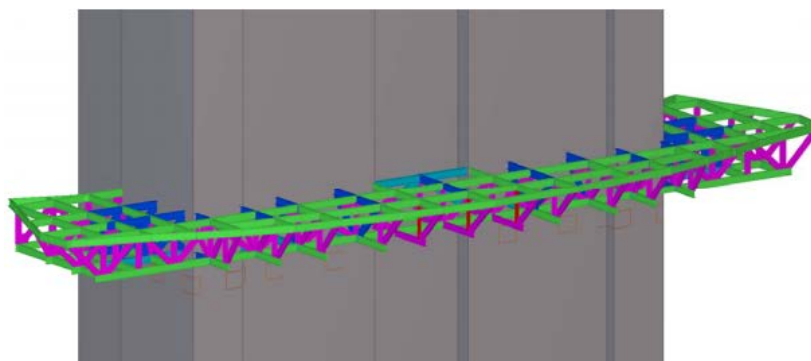


Figure 6. Completed diagram of the cantilever truss of the cantilever steel structure main body
图 6. 悬挑钢结构主体外悬挑桁架完成图

履带吊单构件起吊工作状态时间控制:

因为起吊安装位置较高, 100 m 的起吊行程, 履带吊的吊车卷筒单绳速度 140 m/min, 主钩为 8 绳, 则被吊物上升速度计算: $140/8 = 17.5 \text{ m/min}$; 被吊物从地面至吊点位置时间计算: $100/17.5 = 5.7 \text{ min}$; 被吊物固定时间估算为: 30 min, 此时钢构件上螺栓固定牢固, 吊车将荷载减至 0~1 吨, 但仍然不能卸钩, 直至被吊物完全牢固后方可松钩, 吊车一吊的过程约 1.5 个小时左右。松钩后, 吊车可以准备下一单元的钢构件吊装, 保证全天候作业紧凑, 加快施工进度。

吊装注意重点:

桁架组件正式起吊前应进行试吊, 在桁架两端绑扎拉绳, 安排工人辅助拉着稳定桁架重心, 如果吊装构件摇摆滑动, 应马上停止吊升, 被吊物吊装时, 吊车根据被吊物的理论计算重量缓慢加载, 至被吊物吊离地面 500 mm, 待平稳后, 调平后将被吊物水平吊至安装位置下端, 观察各钢丝绳是否绷紧, 是否受力均匀。吊起稳定持续 5 min 后, 过程观察吊装参数是否有超载情况, 是否在吊车安全工况范围内。桁架上下弦构件型钢的位移和垂偏是否过大, 杆件弯曲变形与否, 如有弯曲变形立即停止起吊, 并对桁架杆件采取加强措施, 满足所有安全吊装条件后, 才能正式起吊, 缓慢上升至安装位置进行安装。

桁架组件起吊速度必须缓慢均匀, 严禁突然吊放, 起吊时间应根据当地天气情况, 大风 5 级不能吊装, 确保吊装中不摆动。将桁架组件吊到主体安装预定位置上方 300~500 mm 处, 缓慢将桁架组件降至安装位置, 进行对位, 要根据安装建筑物轴线的预埋件、螺栓口为对位点。对位后临时固定措施, 当桁架进行落位安装时, 应加强监控, 防止破坏预埋板承力面。此时应察验桁架支座底板中心线与预埋件中心线是否吻合, 并在悬吊状态下对桁架进行调整。

对位临时固定后, 应检查各平面标高和位置, 支座附近设置标高控制点, 采用水准仪全站仪等仪器测定组件标高, 各平面位置和变形, 确定临时固定钢结构组件的上弦平面水平。对桁架组件轴线、标高偏差进行对位校正、垂直度偏差进行测量校正, 满足设计要求; 校正检查无误后, 对接部位焊接牢固和高强螺栓连接固定作为最后固定。

5. 结论

近年来各城市发展建设, 涌现出很多标新立异的地标性建筑, 建筑的使用功能也进一步多样化, 同时也给施工造成了极大的难度。通过本项目案例的大型空中悬挑平台钢结构整体分块吊装安装施工, 吊装后满足设计和规范验收标准, 该方法的优点:

- 1) 平台钢结构桁架拼装在地面组装, 高空作业量减少, 避免如散装的超高空施工作业, 确保施工人员的施工安全, 且通过在地面施工过程监测, 便于过程控制质量和相关检测, 能更好检查桁架拼装保障质量。
- 2) 在地面钢结构桁架拼装可与主体部分混合结构部分钢结构混凝土浇筑同步施工, 缩短工期。
- 3) 通过现场钢结构组装设计优化和模拟, 选用符合条件的吊装设备, 确定各分块桁架组件重量和吊装方案, 现场试吊并对接就位, 加强过程吊装变形控制并能够满足设计平面和立面精度要求。

参考文献

- [1] 周波. 钢结构厂房施工质量控制与管理[J]. 江西建材, 2014(11): 273-274.
- [2] 孙继文, 王彦芳, 柴晓林, 翁建军. 航站楼空间曲面大跨度钢结构屋盖安装施工[J]. 建筑施工, 2020, 42(9): 1652-1655.
- [3] 龙玉辉. 大跨度钢结构管桁架的设计与施工安装技术探究[J]. 科技传播, 2013, 5(1): 147-148.
- [4] 唐香君, 谷金省, 曹元宝, 等. 枣庄市体育中心体育馆游泳馆钢结构施工关键技术[J]. 施工技术, 2016, 45(2): 26-29.