

DOI: 10.7672/sgjs2026080015

超高层塔楼超重大跨度连廊拼装施工技术*

刘强斌¹,单宏伟¹,张志超¹,王江烽¹,傅强¹,兰晓刚¹,
朱东平¹,段开祥²,何培权³

(1. 中建五局华南建设有限公司,广东 深圳 518000; 2. 中国建筑第五工程局有限公司,湖南 长沙 410021;
3. 中建钢构股份有限公司,广东 深圳 518118)

[摘要] 针对深超总C塔项目双塔间超重大跨度弧形钢结构连廊的施工难题,总结了一套地面拼装施工技术。通过加强拼装场地承载力,设置预起拱分配梁将荷载合理传递至下部混凝土柱,并采用实体预拼装与三维激光扫描技术进行全过程精度控制。同时利用施工数值模拟,对连廊桁架变形与应力、分配梁力学行为及下部混凝土柱受力状态进行分析。结果表明,该技术体系有效保障了连廊结构拼装的安全稳定与成型精度。

[关键词] 高层建筑;钢结构;连廊;钢桁架;拼装;数值模拟;施工技术

[中图分类号] TU745.2;TU391

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)08-0015-06

Construction Technology of Super Large Span Corridor Assembly of Super High-rise Tower

LIU Qiangbin¹, SHAN Hongwei¹, ZHANG Zhichao¹, WANG Jiangfeng¹, FU Qiang¹,
LAN Xiaogang¹, ZHU Dongping¹, DUAN Kaixiang², HE Peiquan³

(1. China Construction Fifth Division Southern Construction Subsidiary Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China;
2. China Construction Fifth Engineering Bureau Co., Ltd., Changsha, Hunan 410021, China;
3. China Construction Steel Structure Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518118, China)

Abstract: According to the construction challenges of the super-heavy and large-span curved steel structure connecting corridor between the twin towers of the Shenzhen Super Headquarters Base Tower C project, a ground assembly construction technique is summarized. The approach involves reinforcing the ground bearing capacity, setting pre-cambered distribution beams to rationally transfer loads to the lower concrete columns, and implementing full-process precision control through physical pre-assembly and 3D laser scanning technology. Furthermore, construction numerical simulation is utilized to analyze the deformation and stress of the connecting corridor truss, the mechanical behavior of the distribution beams, and the stress state of the lower concrete columns. The results indicate that this technical system effectively ensures the safety, stability, and forming accuracy of the corridor structure assembly.

Keywords: tall buildings; steel structures; corridors; steel trusses; assembly; simulation; construction

0 引言

超高层建筑作为大型城市的地标性建筑,逐渐成为大城市重要的建筑形式^[1]。而将多个超高层建筑通过连体钢结构连接起来的结构形式称为组合塔式结构^[2],连体钢结构一般称为连廊。连廊可

以将不同的塔楼连接以提供交通通道,有效利用空间资源,达到更好的通风采光效果^[3]。经典的超高层连体建筑^[4-6]有吉隆坡的石油双子塔、南京金鹰天地广场、大阪梅田大厦、舟山市行政中心大楼、纽约的 American Coopers 等。这些钢结构连廊质量大、跨度大且需高空施工,难度非常高。为确保连廊施工质量及施工安全,选择适合的施工方法非常重要。

一般情况下钢结构的施工方法包括整体吊升法、分件吊装法、高空滑移法、逆作安装法、悬臂安

* 中施企协青年课题:超重大跨度连廊及上托下挂幕墙异型钢结构高空施工关键技术(2024-B-008);中施企协青年课题:基于结构检测的复杂连廊施工安全控制方法研究(2024-B-11)

[作者简介] 刘强斌,工程师,E-mail:997168141@qq.com

[收稿日期] 2025-11-07

装法、整体提升法、原位拼装法等^[7-8]。由于传统空中连廊多采用钢结构体系,存在构件自重较大、整体提升高度不定等特点;而在施工工艺方面,采用的常规高空散件拼装焊接工艺不仅显著增加了高空作业的施工复杂度,更导致施工安全风险呈几何倍数增长^[9-10]。不同于安全风险高的空中散拼施工工艺,为降低超高层建筑高空施工风险,本文结合工程实际情况采用地面拼装施工技术对钢结构连廊进行施工。

1 工程概况

深超总 C 塔项目位于深圳湾超级总部基地核心位置(见图 1),总用地面积 36 300m²,总建筑面积约 548 100m²,包含 72 层东塔塔楼和 63 层西塔塔楼,2 栋塔楼之间通过钢结构连廊相连形成双塔连体结构。



图 1 建筑效果

Fig. 1 Architectural rendering

本工程连廊位于东西塔之间(见图 2),其构造为大跨度外扩弧形连廊,呈现凸形结构,安装于塔楼 19~23 层,连廊共 3 个结构层,其中 19 层为吊挂层,20~23 层为桁架层,其中 19 层高 6m,20 层和 22 层高 9m,连廊整体高 24.9m。单侧连廊重约 2 400t,两侧连廊合计重约 4 800t。连廊内侧跨度约 52m,外侧跨度约 78m。同时,连廊在靠近西塔位置存在拱桥结构。

单侧连廊内外侧主桁架共有 6 个节间,如图 3 所示,节间长度 12.8~14m,其中连廊内侧两端节间位于塔楼框架内部,塔楼内节间在塔楼结构安装时吊装就位,待塔楼封顶后焊接。连廊主桁架材质为 Q460GJC,桁架间主次梁材质为 Q355B。连廊结构共 3 层,其中 19 层结构为吊挂结构,在西侧存在拱桥结构,桁架位于 20~23 层,桁架高 18m。连廊桁架呈现外凸形,其中内、外侧桁架分别有 6 个节间;但内侧桁架位于两侧的节间在塔楼内部连接至核

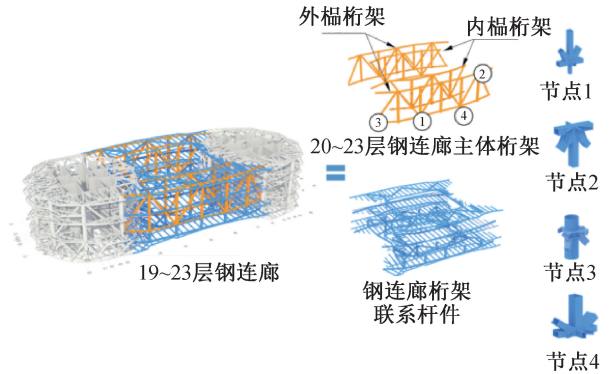


图 2 钢结构连廊

Fig. 2 Steel structure corridor

心筒(此段待搭楼封顶后焊接)。

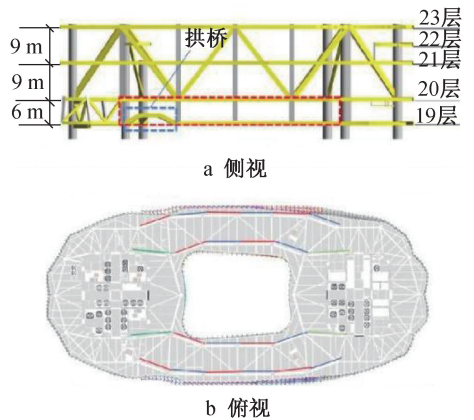


图 3 连廊示意

Fig. 3 The corridor

2 连廊拼装

2.1 施工思路

1)在连廊拼装过程中,需根据提升设备的性能合理划分连廊拼装区块质量,避免设备出现超负荷运行导致设备损坏,保证人员及财产安全。

2)由于单侧连廊重约 2 400t,两侧连廊合计重约 4 800t,为保证楼板面结构受力安全,需转移连廊的总体质量于柱上,由柱承担连廊质量,以此提高连廊拼装的稳定性,避免影响钢筋混凝土楼板安全和出现安全事故。

3)需对连廊拼装精度进行控制,确保连廊结构与设计的一致性,保证结构受力和变形满足要求。

根据上述原则,连廊拼装施工思路为:根据项目实际情况,布置 4 台 130t 汽车式起重机及东西塔楼的 6 号和 9 号动臂塔式起重机(型号为 ZSL1250)用于连廊拼装,并对连廊外侧桁架和内侧桁架进行分段,保证桁架分段质量小于吊装设备在吊装范围内的最大质量。同时根据桁架的分段和混凝土柱头位置设置分配梁,用以分配和转移连廊质量,保

护钢筋混凝土楼板。

在控制桁架精度方面,在生产桁架时,采用三维设计模型确定每根杆件的三维坐标,要求加工厂严格根据坐标进行下料、贯切、组拼,并控制加工精度满足规范与设计的要求。焊接完成的管桁架小拼单元需要进行三维激光扫描,形成杆件点云模型构件库,按照现场施工顺序进行模拟预拼装,形成点云数据模型,将点云数据模型与设计模型进行智能对比,可以得到杆件的偏差值并及时进行修正,对存在偏差杆件在正式拼装前进行误差校正。同时,对存在定位偏差、变形过大的构件及时采取补救措施,以确保实体结构拼装精度。

2.2 施工平面布置

在连廊拼装施工阶段,场地布设 2 个钢筋加工场、原材堆场和半成品堆场;另设置 2 个周转材料堆场,作为临时堆放及转运点;同时设置 3 个钢结构构件堆场。

2.3 施工流程

2.3.1 拼装场地

连廊拼装在 ± 0.000 楼面进行,主要采用 130t 汽车式起重机吊装,东、西塔楼采用塔式起重机辅助吊装。根据汽车式起重机行走及站位吊装荷载、连廊拼装荷载等,进行场地承载力计算复核并提交设计审核,对局部楼板面采取配筋加强。

2.3.2 分配梁设置

连廊地面拼装时,根据桁架分段及混凝土柱头位置设置分配梁,采用截面尺寸为 $600\text{mm} \times 500\text{mm} \times 35\text{mm} \times 30\text{mm}$, $600\text{mm} \times 500\text{mm} \times 50\text{mm} \times 40\text{mm}$, $600\text{mm} \times 500\text{mm} \times 60\text{mm} \times 60\text{mm}$ 的箱形梁截面,材质均为 Q355B,并在混凝土柱头提前预埋埋件,设置短立柱,将连廊荷载直接传递到混凝土柱上,埋件尺寸根据混凝土短柱大小确定,预留钢筋保护层与钢筋施工空间,短柱截面尺寸采用 $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 50\text{mm}$ 或 $600\text{mm} \times 600\text{mm} \times 50\text{mm}$,材质为 Q355B 钢。

小柱头与埋件、分配梁与小柱头采用角焊缝连接,分配梁与分配梁之间则通过部分熔透焊缝连接。

2.3.3 拼装胎架预起拱措施

由于在连廊拼装过程中施加于分配梁的荷载不断增大,分配梁在受力过程中的变形不断增加。而分配梁的变形量会造成连廊结构的拼装偏差,因此需要提前根据连廊拼装完成后的施工模拟计算结果,将分配梁变形量反馈到分配梁起拱值中,通过分配梁在加工时的预起拱,降低拼装时连廊结构的偏差。分配梁预起拱值最大为 34.31mm ,如图 4 所示。

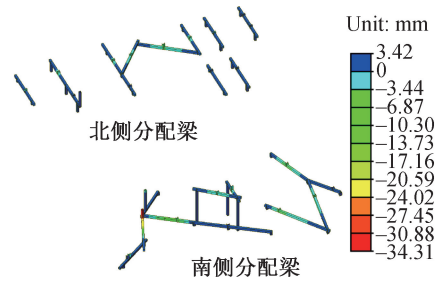


图 4 连廊分配梁起拱值云图

Fig. 4 Arching values of distributor beams of connecting corridors

2.3.4 连廊桁架分段

根据塔式起重机和吊车性能,桁架最大分段质量取 23.8t 。

2.3.5 连廊实体预拼装

为确保加工精度,连廊桁架构件加工完成后在工厂进行实体预拼装,以北连廊外侧桁架为例进行说明。整榀桁架根据现场吊重和节点共分为 56 个构件,按照拼装顺序及发运顺序标记。以④轴为分界,将桁架分为东西两侧轮次拼装,即先拼装桁架④轴以西构件,再拼装桁架④轴以东构件,拼装范围如图 5 所示。

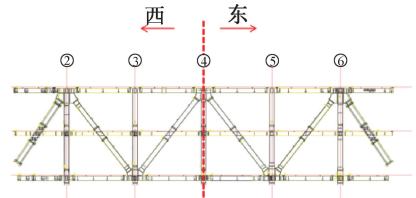


图 5 预拼装范围

Fig. 5 Pre-assembly scope

实体预拼装流程如下。

1) 放地样,根据预拼桁架的实际水平投影尺寸,在拼装场地划出桁架顶标高线、节点和杆件在平台上投影的 x, y 方向的外形线。

2) 选择位于④轴线 20~23 层竖腹杆作为首次拼装节点,根据设计坐标放置到胎架上,并定位固定。

3) ③~④轴间相邻弦杆和斜腹杆根据设计坐标进行拼装对位,验证构件的加工精度,检查对接口截面尺寸、对接缝隙是否满足规范要求,如图 6a 所示。

4) 继续拼装③轴竖腹杆,拼装完成后,对④轴竖腹杆进行测量,并记录其加工误差三维坐标等数据,若满足拼装要求,则可以发运至施工现场,若存在误差,则需要加工校正后,再次拼装检查,直至构件满足精度要求后方可出厂,如图 6b 所示。

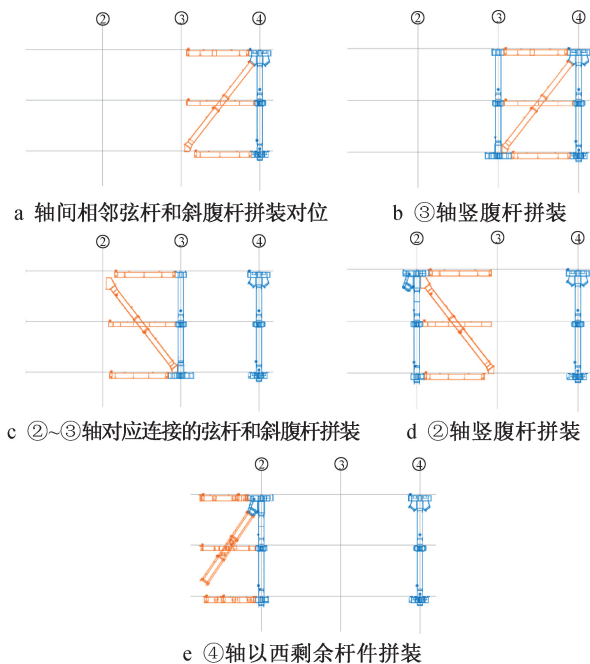


图 6 预拼装流程

Fig. 6 Pre-assembly process

5) 继续拼装②~③轴对应连接的弦杆和斜腹杆,对③轴竖腹杆进行测量,满足精度要求后出厂,如图 6c 所示。

6) 拼装②轴竖腹杆,并记录上一步构件的拼装数据,如图 6d 所示。

7) 拼装④轴以西剩余杆件,完成④轴以西所有构件拼装任务。对上述构件的拼装数据进行收集分析,确保数据满足规范与现场施工要求后发运,如图 6e 所示。

8) 重新放出④~⑥轴交 A-C 轴的拼装地样,拼装④轴东侧桁架杆件,将步骤 1) 中④轴线竖腹杆作为东侧桁架杆件拼装的起始构件,待轴线以及地样放完后开始东侧桁架杆件的拼装。重复 2)~7) 步的拼装方式进行④轴以东杆件的拼装作业,并逐步将构件发运至现场。

2.3.6 补强杆设置

因桁架打断以及提升吊点的反力影响,需对连廊桁架采取加强措施。采用 $600\text{mm} \times 500\text{mm} \times 30\text{mm} \times 35\text{mm}$ 箱形截面材质 Q355 钢的杆件在桁架下吊点位置进行加固,如图 7 所示。

2.3.7 连廊拼装施工

南北两侧连廊同步在 ± 0.000 楼面进行拼装,每个连廊按照从下往上、从中间往两边、先主梁后次梁的顺序逐层安装。在拼装过程中连廊 19 层构件尚未形成体系,无法将荷载转移至分配梁上,故在吊挂柱下方设置小支墩作为临时支撑,小支墩截面

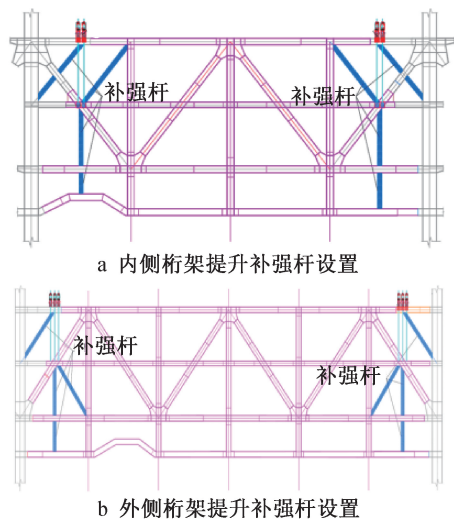


图 7 补强杆设置

Fig. 7 Reinforcement bar setting

为 $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 30\text{mm} \times 30\text{mm}$, 材质 Q355B 钢, 如图 8 所示。

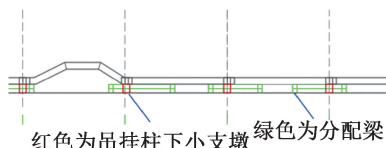


图 8 小支墩布设立面

Fig. 8 Elevation of small corbel cloth installation

具体拼装流程如下。

1) 使用塔式起重机安装连廊分配梁,如图 9a 所示。

2) 从中间向两边先拼装 19 层吊挂柱柱头及柱头间主梁,在吊挂柱柱头下设置小支墩,如图 9b 所示。

3) 主梁拼装完成后,将吊挂柱下小支墩卸载移除,使主梁荷载全部转移到分配梁上,然后拼装次梁、悬挑梁及水平边梁,如图 9c 所示。

4) 拼装 19 层中间吊挂柱及下弦节点,如图 9d 所示。

5) 拼装吊挂柱间桁架下弦杆及对应水平联系杆件,并从中间往两边逐步安装剩余杆件,如图 9e 所示。

6) 桁架下弦层拼装完成后,拼装中间桁架立杆及斜腹杆至 21 层,并及时安装其间联系杆,如图 9f 所示。

7) 拼装立杆及斜腹杆间联系钢梁,并从中间往两边安装剩余桁架杆件及水平联系杆件,完成桁架 21 层安装,图 9g 所示。

8) 重复第 6)~7) 步方法,同时完成连廊拼装,

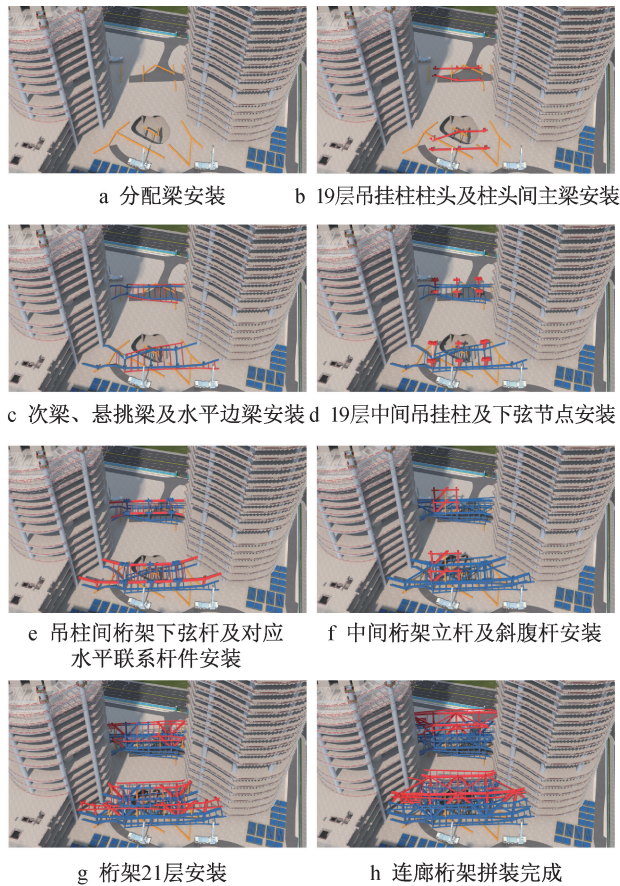


图9 拼装流程

Fig. 9 Assembly process

如图9h所示。

2.3.8 拼装精度监测

连廊拼装精度监测采用 FARO Premium Max 激光扫描仪,扫描后的点云数据与实体模型的偏差对比如图10所示。

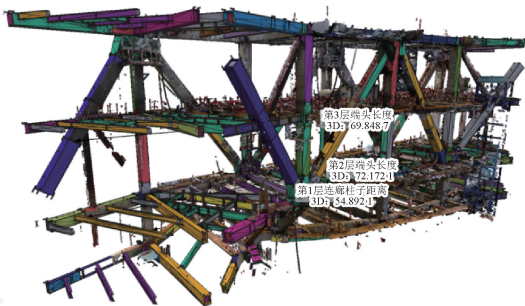


图10 连廊拼装偏差对比

Fig. 10 Comparison of assembly deviation of the corridor

根据图10可知,第1层连廊柱子距离拼装绝对误差7.3mm,相对误差0.013%;第2层端头长度拼装绝对误差8.0mm,相对误差0.011%;第3层端头长度拼装绝对误差4.1mm,相对误差0.006%。制造误差最大是第2层,绝对误差为8.0mm,桁架拼

装精度满足后续整体拼装要求。

3 施工工况模拟

3.1 连廊桁架预起拱分析

连廊拼装前,对连廊桁架进行加工,需考虑桁架的预起拱,以满足安装完成后的变形要求,因此对连廊桁架预起拱值进行数值模拟。

3.2 连廊拼装力学行为分析

采用有限元软件对连廊拼装的结构变形和应力进行数值模拟分析。如图11所示,连廊桁架拼装完成后,整体最大变形为桁架悬挑处,在考虑分配梁变形情况下最大变形值为31.45mm,桁架支撑点间距为15.76m,桁架最大挠度相对位移为 $31.45 - 15.88 = 15.57\text{mm} < L/400 = 15\,760/400 = 39.40\text{mm}$,满足规范要求。同时安装过程结构应力较小,最大组合应力发生在桁架拼装完成,最大应力值为 $225.48\text{MPa} < f = 355\text{MPa}$ (Q460GJC),满足规范要求,如图12所示。

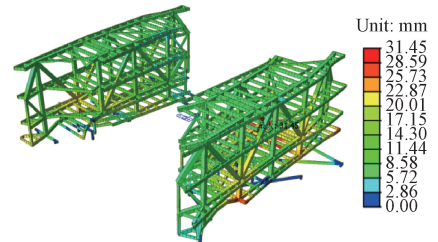


图11 连廊桁架拼装完成变形云图

Fig. 11 Deformation after assembling the truss for the corridor

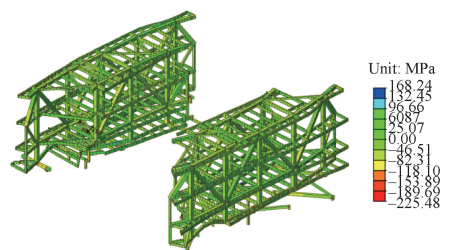


图12 连廊桁架拼装完成应力云图

Fig. 12 Stress after assembling the truss for the corridor

3.3 分配梁力学行为分析

同时对分配梁在钢结构拼装完成情况下的位移和应力进行数值模拟分析,如图13所示,分配梁在连廊拼装完成后的最大组合变形为 $26.25\text{mm} < L/400 = 12\,720/400 = 31.80\text{mm}$,满足要求。且分配梁最大应力为 $247.10\text{MPa} < f = 295\text{MPa}$ (Q355B),满足要求,结构安全。

3.4 混凝土柱受力分析

连廊的全部质量由分配梁通过支墩传递给下部混凝土柱,因此有必要对混凝土进行受力分析,

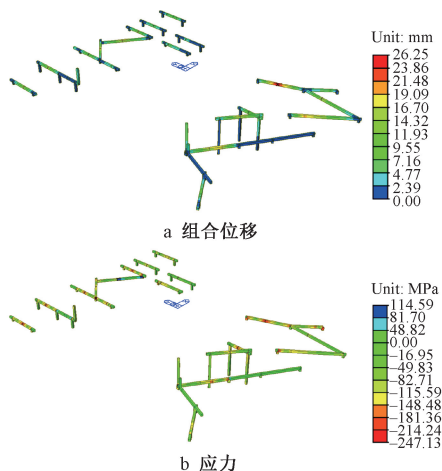


图 13 连廊拼装完成情况下的分配梁位移和应力云图

Fig. 13 Displacement and stress of distribution beam with the corridor fully assembled

以确保其结构安全性。如图 14 所示,混凝土柱受力的最大值为 365.3kN,由于混凝土柱混凝土强度等级均为 C60,最小面积为 1m^2 ,经计算结构安全。

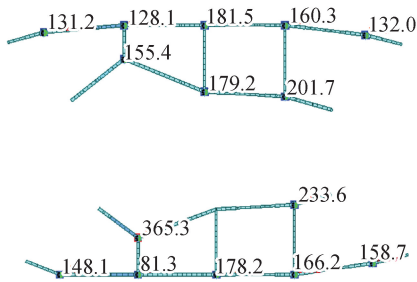


图 14 混凝土柱受力(单位:kN)

Fig. 14 Concrete column force(unit:kN)

4 结语

深超总 C 塔双塔钢结构超重大跨度连廊通过合理利用现有场地和设备进行拼装,考虑汽车式起重行走和站位的吊装荷载及连廊拼装荷载进行场地承载力加强,设置预起拱的分配梁并利用混凝土柱承担钢结构连廊整体质量,根据提升设备对连廊桁架合理分段及设置补强杆。同时为保证连廊拼装精度,采用实体预拼装技术控制加工精度,使用三维扫描仪进行现场连廊拼装精度监测。通过施工数值模拟,对连廊桁架预起拱值、连廊拼装的变形和应力、分配梁的变形和应力及混凝土柱受力情况进行分析,验证连廊施工过程的结构安全和措施合理,对此类超重大跨度连廊的设计和拼装具有重要参考价值。

参考文献:

- [1] 秦荣. 高层与超高层建筑结构[M]. 北京:科学出版社,2007.
QIN R. High-rise and super-high-rise building structure [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [2] 孔相立. 组合塔式结构的受力性能分析[D]. 北京:北京建筑大学,2013.
KONG X L. Mechanical performance analysis of bundled tower structures [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2013.
- [3] 刘亚楠. 大跨度连桥结构的受力性能分析及设计研究[D]. 北京:北京建筑大学,2017.
LIU Y N. Research on stress performance design of the large span bridge structure [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2017.
- [4] 谢伟群. 基于大涡模拟的对带连廊双塔高层建筑结构风效应的研究[D]. 广州:广州大学,2022.
XIE W Q. Research on wind effect of twin-tower high-rise building with corridor based on large eddy simulation [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2022.
- [5] 李萌. 双塔连体结构选型及抗震性能研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
LI M. Study on structural system selection and seismic performance of twin tower connected structure [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019.
- [6] 邓勇. 大跨连廊结构施工方案的比选及优化研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2023.
DENG Y. Comparison and optimization of construction scheme of long span corridor [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2023.
- [7] 龙文洲,朱宏,郑中利,等. 大跨弧形连廊结构施工全过程分析与监测研究[J]. 施工技术(中英文),2024,53(23):123-129.
LONG W Z, ZHU H, ZHENG Z L, et al. Analysis and monitoring of construction process of long-span arc-shaped corridor structure [J]. Construction technology, 2024, 53(23): 123-129.
- [8] 王磊,蔡毅敏. 基于变形协调控制的超高层连廊整体提升施工技术研究[J]. 施工技术(中英文),2024,53(19):127-131.
WANG L, CAI Y M. Research on overall lifting construction technology of ultra-high steel corridor based on deformation coordination control [J]. Construction technology, 2024, 53(19): 127-131.
- [9] 郑建辉,周磊,张凯. 高空大跨度钢结构连廊整体液压提升施工技术[J]. 城市建设理论研究(电子版),2018(2):116-117.
ZHENG J H, ZHOU L, ZHANG K. Integral hydraulic lifting construction technology of high-altitude long-span steel structure corridor [J]. Theoretical research in urban construction, 2018(2): 116-117.
- [10] 陈德龙. 钢结构液压整体同步提升施工技术研究[J]. 价值工程,2018,37(31):135-136.
CHEN D L. Study on the construction technology of hydraulic synchronous lifting in steel structure [J]. Value engineering, 2018, 37(31): 135-136.