

DOI: 10.7672/sgjs2026080021

# 超高层大型钢结构施工综合技术

穆建胜<sup>1</sup>, 胡正平<sup>2</sup>, 王锦力<sup>2</sup>

(1. 山西八建集团有限公司, 山西 太原 030027; 2. 辽宁工程技术大学, 辽宁 阜新 123000)

**[摘要]** 依托山西汾酒文化商务中心工程,对超高层大型钢结构施工综合技术展开深入研究,旨在攻克复杂钢结构节点施工难题,提升施工精度与效率。通过有限元软件模拟施工过程,研究钢节点受力情况,优化安装顺序,实现对施工精度的有效控制。研发了多腔巨柱、转换桁架等复杂构件安装技术,并运用450t履带式起重机进行吊装作业,确保大型构件精准安装。在焊接技术方面,研究高强厚钢板的现场焊接工艺,借助数值模拟分析焊接过程中的温度场和应力分布,优化焊接顺序和施工工艺参数,降低焊接残余应力的影响。

**[关键词]** 高层建筑; 钢结构; 桁架; 焊接; 数值模拟

**[中图分类号]** TU758.11

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 2097-0897(2026)08-0021-04

## Integrated Technology for Ultra-high-rise Large-scale Steel Structure Construction

MU Jiansheng<sup>1</sup>, HU Zhengping<sup>2</sup>, WANG Jinli<sup>2</sup>

(1. Shanxi Bajian Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi 030027, China;

2. Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

**Abstract:** Leveraging the Shanxi Fenjiu Cultural and Business Center project, this paper conducted in-depth research into comprehensive construction technologies for large-scale steel structures in ultra-high-rise buildings, with the aim of overcoming challenges in the construction of complex steel structural joints and improving construction precision and efficiency. By simulating the construction process using finite element software, this paper analyzed the stress conditions of steel joints, optimized the installation sequence, and achieved effective control over construction precision. Installation techniques for complex components such as multi-cavity giant columns and transfer trusses were developed, and a 450-ton crawler crane was utilized for lifting operations to ensure the precise installation of large components. Regarding welding technology, research was conducted on on-site welding processes for high-strength thick steel plates. Numerical simulations were employed to analyze temperature fields and stress distributions during welding, thereby optimizing welding sequences and construction process parameters to mitigate the effects of residual welding stresses.

**Keywords:** tall buildings; steel structures; trusses; welding; simulation

### 1 工程概况

以山西汾酒文化商务中心工程为依托,开展超高层大型钢结构综合施工技术研发。项目位于山西省太原市龙城大街与滨河东路交汇处东南角,总建筑面积63万m<sup>2</sup>,建筑高度184m,分为商务办公区和高层住宅区,商务区由3栋超高层建筑组成,东、西塔楼均为41层。

考虑内部空间开阔,简洁明朗,在满足建筑效

果的要求下,设计中取消四面角柱,采用每边中间2根巨柱,上部设4层巨型转换桁架。通过BIM技术解决超高层复杂钢结构节点施工难题,包括多腔巨柱、转换桁架转换柱、天圆地方柱、外框多角度变截面圆管柱节点等结构的深化设计、仿真模拟施工及应力分析。通过超高层大型钢结构复杂制造综合技术的应用,保证超高层大型钢结构拼装、装配顺序及焊接顺序的合理性,以确保构件整体精度。

### 2 多腔巨柱安装施工技术

结合西塔楼钢结构特点,下部26.250m以下钢

结构采用 450t 履带式起重机吊装,基坑预留坡道,履带式起重机下移至地下室底板位置,在塔楼三面布置履带式起重机行走道路。26.250m 以上采用现场布置的 STT403,STT373 塔式起重机吊装,按由下到上、由主到次、由内到外的顺序安装。

多腔巨柱安装如图 1 所示,均由 60mm 厚钢板焊接而成,单构件质量较大,达 103t。由于现场的塔式起重机无法满足吊装要求且施工工期紧,综合考虑采用 450t 履带式起重机完成吊装任务。450t 履带式起重机 3 面柱站台与道路中心距离 20~28m,北侧柱距路中心 41m。履带式起重机行走道路满铺路基箱,吊装作业时,路基箱上铺 30mm 厚钢板,吊装半径为 41,28m。



图 1 多腔巨柱安装

Fig. 1 Installation of multi-cavity giant column

履带式起重机吊装第 1 阶段施工模拟如图 2 所示。吊装流程为:①在靠近北部区域,选用 SCC4500A 履带式起重机吊装北面巨柱第 2,3 节;②吊装西、南、东部巨柱第 2 节;③吊装北部巨柱第 4,5 节,同时,塔式起重机同步吊装核心筒内第 2 节暗柱;④履带式起重机仍站在靠近北部的区域吊装北部巨柱第 6,7 节,而塔式起重机配合吊装核心筒内第 3 节暗柱;⑤依次吊装西、南、东部巨柱第 4 节;⑥直至第 1 区 8 根钢巨柱吊装完成。待标高 9.850m 土建楼板平台完成后及塔式起重机吊装核心筒结构安装至超过 9.850m 平台 3~4 层时,再进入下一阶段吊装。

### 3 转换桁架安装施工

塔楼结构形式为内核心筒、外框架结构,外框主要承重结构为钢结构,分布有巨柱层、转换桁架层及圆管柱层,总重 15 000t,其中标高 10.770~33.620m 转换桁架结构重约 5 000t,上、下弦构件为箱形截面,腹杆有日字形和口字形的箱形截面,如表 1 所示。塔楼外框柱结构形式复杂,从下向上外框柱截面形式变化为:巨型柱→箱形截面转换桁架+H 型钢框架梁→钢管混凝土柱+H 型钢框架梁。

转换桁架位于 3~8 层(标高 10.970~33.620m);桁架上弦为日字形箱梁,下弦为箱形梁,

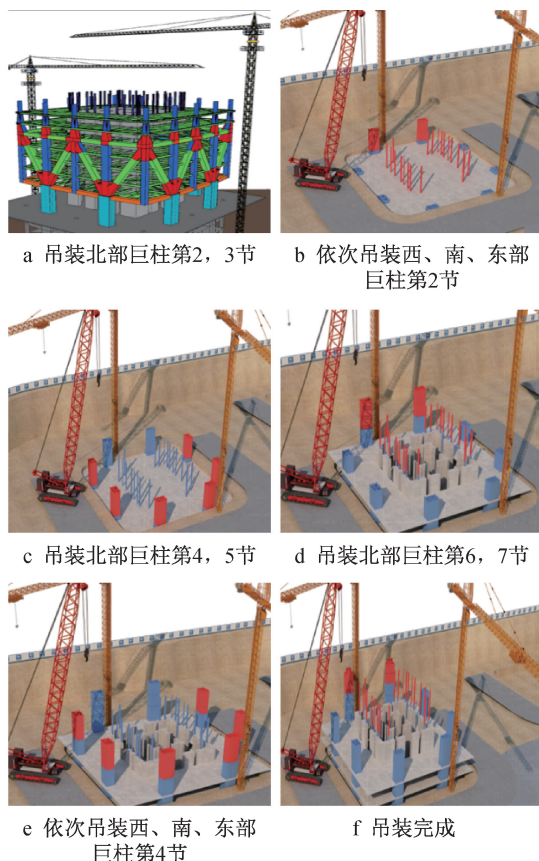


图 2 吊装第 1 阶段流程

Fig. 2 The first stage for hoisting

表 1 转换层规格

Table 1 Conversion layer specifications					
杆件名称	部位	规格/mm	材质	构件质量/t	
SXGL	上弦杆	1 400×1 350×80	Q390GJC	68	
XXGL	下弦杆	1 350×1 350×60	Q390GJC	42	
GXC1	斜腹杆	1 800×1 350×80	Q390GJC	56	
GXC2	斜腹杆	1 800×1 350×80	Q390GJC	56	
节点 1	下弦节点	80	Q390GJC	96	
节点 3	上弦节点	80	Q390GJC	99	
节点 4	上弦节点	80	Q390GJC	82	
节点 5	上弦节点	80	Q390GJC	65	

斜腹杆为箱形杆件,钢板厚 60, 80mm, 材质为 Q390GJC 钢;节点 1 重约 96t, 节点 3 重约 99t, 节点 4 重约 82t, 共 16 处。

针对大型构件分布集中的特点,履带式起重机下至-15.100m 标高处预留的 U 形道路位置,在塔楼 3 面布置履带式起重机行走道路。首先逆时针完成 10.770m 标高处十字形柱改箱形柱并加固,然后顺时针再返回吊装节点 1,周而复始安装。为避免出现卡杆,先完成北侧桁架,依次完成西侧、南侧、东侧,安装过程中携带安装平台梁。

根据主要构件特征,采用不同起重机、不同工况对不同类型构件进行吊装。下弦节点吊装如图 3

所示。



图3 下弦节点吊装

Fig. 3 Erection of bottom chord joints

吊装钢丝绳布置如图4所示。钢丝绳直径60.5mm,长度8m,采用4根等长钢丝绳,安全系数取1.1,重0.45t。

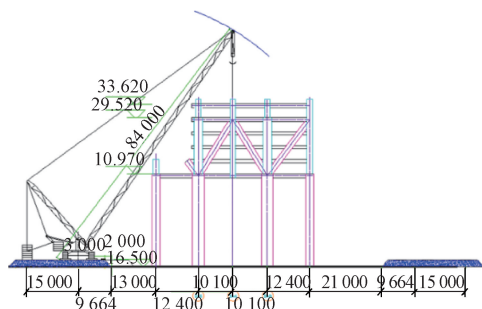


图4 钢丝绳布置

Fig. 4 Arrangement of wire ropes

#### 4 三维扫描数字模拟桁架预拼装技术

转换桁架围绕核心筒四周的4个面设置,最后形成闭合的桁架结构体系。每面桁架呈W形,下弦设置在3层,上弦设置在7层,上、下弦通过直腹杆和斜腹杆连接形成桁架体系,桁架有4个下弦节点、4个上弦节点,节点均为三向钢管相贯焊接节点。

通过采用全站仪和In-check软件相结合,对加工完成的实体构件进行三维坐标测量,利用测量数据构造实体模型,进行模拟拼装。

1)对单个已加工完成的构件建立坐标系,通过测量得出控制端口(控制点)坐标。

2)将多个相关构件建立统一的整体坐标系,将单个构件控制点坐标转换为整体坐标系下的坐标,每个接口形成2个接口面,分析接口面间隙、错边情况。单个构件扫描形成数据,整体建模完成桁架合龙预拼装。

#### 5 数值模拟

利用有限元软件ANSYS对桁架进行整体有限元分析,涵盖热分析与应力分析。热分析采用专用实体单元solid70建模,尺寸与实际构件一致,鉴于整体尺寸过大,仅对焊缝及周边3m长构件段建模,模型如图5所示。焊缝附近采用较密六面体单元,远离焊缝区域采用稀疏四面体单元。焊缝尺寸取

80mm对接焊缝,按现场焊缝建立,截面为等腰梯形,划分为四边形六面体单元,为降低计算难度,简化为4层12道焊缝,且研究表明该简化对结果影响不大。

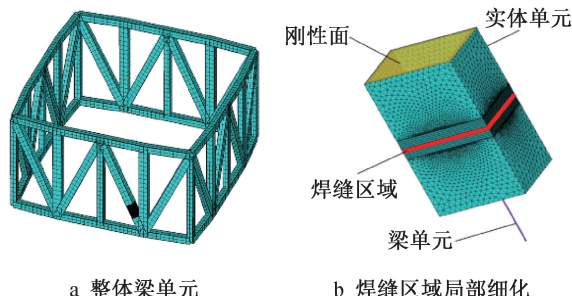


图5 有限元分析模型

Fig. 5 Finite element analysis model

结构分析采用实体单元solid185和梁单元beam188。其中实体单元部分长度尺寸和单元划分与热分析完全一致,其余为梁单元。梁单元和实体单元采用刚性面连接,以尽可能避免连接导致的应力集中。结构分析的边界条件与现场安装类似。每根竖向杆件底端均为铰支座,以模拟实际工程中的巨柱和支撑胎架。

在焊接计算中,温度场随时间动态变化,某典型温度场显示焊点最高温度 $>2100^{\circ}\text{C}$ ,远离焊点处温度低,焊点周边局部温差较高。由于焊接高温区域范围小,焊点温度计算易受单元划分等因素影响,与实际焊接温度有偏差,有限元计算所得温度不能等同于实际焊接温度。

焊接完成后残余应力如图6所示。焊接高温区接近熔化状态,应力较低。但由于高温区范围很小,在多层、多道焊接过程中,对整体应力与变形的影响有限。焊接结束后冷却至常温,焊缝区域因收缩产生较大残余应力,但高应力局限于焊缝周边,对远处材料应力影响甚微,整体桁架最大附加应力仅约15MPa,对其承载力无显著影响。多层多道焊接对整体应力与变形影响较小,焊接完成后的最大附加应力约15MPa,不会对桁架构件承载力造成明显影响。

#### 6 焊缝施工技术

为避免焊缝组织粗大而导致冲击韧性下降,必须采用小热输入焊接,选用小直径焊条、窄焊道、薄焊层、多层多道焊接工艺。焊道宽度不大于焊条的3倍,第1~3层采用 $\phi 1.2$ 焊丝打底,焊接电流200~240A,电压24~30V,焊接速度24~45cm/min;第4~8层采用 $\phi 5.0$ 焊丝填充,焊接电流650~700A,电压30~34V,焊接速度45~60cm/min;第9~10层采用

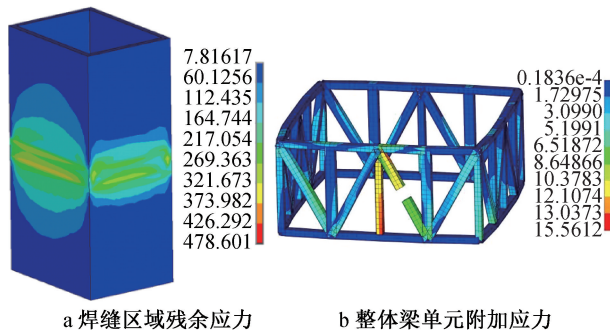


图6 焊接完成后残余应力(单位:MPa)

Fig. 6 Residual stress after welding( unit: MPa)

$\phi 5.0$  焊丝盖面,焊接电流 650~700A,电压 30~34V,焊接速度 45~60cm/min。焊接效果如图 7 所示。

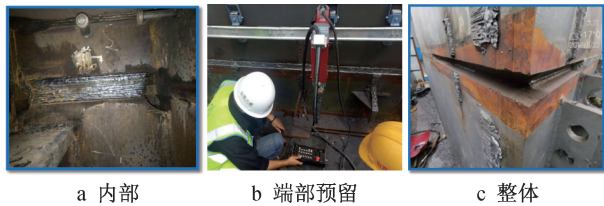


图7 焊接效果

Fig. 7 Welding effect

## 7 北斗定位导航大空间测量技术

应用全球定位系统 GPS 或北斗对每次传递的高层、平面轴线基准点位置进行检查复测。每次投测的轴线、标高控制点 $\geq 3$ 点。轴线控制点投测到上部楼层后,组成平面多边形,对多边形角度和边长图形条件进行闭合检测,通过自检调整闭合误差,然后作为上部楼层控制网的基准,以提高平面控制网经传递后的测量精度。

卫星定位仪架设在塔楼各引测楼层的控制点上,进行复测。基本操作如下:A、B点为地面固定的首级控制点,已知其三维坐标值,C点为不同楼层或同一楼层不同平面位置的被复测点。为提高观测精度,每次使用卫星定位仪,分别架设在A、B、C点,根据观测采集到的数据,利用计算机解算出C点三维坐标值。通过C点设计坐标与实测坐标比较,得到C点定位偏差。

## 8 结语

依托山西汾酒文化商务中心工程,针对超高层大型钢结构施工进行综合技术研究,取得了显著成果。通过 BIM 技术深化设计,优化施工节点,确保

设计意图的实现。利用有限元软件模拟施工过程,分析钢节点受力情况,优化安装顺序,有效控制施工精度。研发多腔巨柱、转换桁架等复杂构件安装技术,采用 450t 履带式起重机进行吊装作业,确保大型构件精准安装。在焊接技术方面,研究高强厚钢板现场焊接工艺,借助数值模拟分析焊接过程中的温度场和应力分布,降低焊接残余应力的影响。

## 参考文献:

- [1] 田黎敏,郝际平.深圳湾体育中心钢结构施工非线性时变有限元分析[J].建筑结构学报,2014,35(10):137-143.  
TIAN L M, HAO J P. Nonlinear time-dependent finite element analysis on erection procedure of the Shenzhen Bay Sports Center steel structure[J]. Journal of building structures, 2014, 35(10): 137-143.
- [2] 王宏,陆建新,张霞,等.超高层建筑钢结构施工关键技术研究[J].施工技术,2018,47(17):56-60.  
WANG H, LU J X, ZHANG X, et al. Research on key construction technologies of super high-rise building steel structure[J]. Construction technology, 2018, 47(17): 56-60.
- [3] NJOMO W, OZAY G. Sequential analysis coupled with optimized substructure technique modeled on 3D-frame construction process[J]. Engineering structures, 2014, 80: 200-210.
- [4] 高京奕.某超高层建筑钢桁架转换层及吊柱施工技术[J].工程机械与维修,2019(5):106-107.  
GAO J Y. Construction technology of steel truss transfer floor and hanging column in a super high-rise building [J]. Construction machinery & maintenance, 2019(5): 106-107.
- [5] 瞿海雁,赵学鑫,李鹏宇.超高层建筑中巨型转换桁架高空原位拼装施工技术[J].钢结构,2016,31(8):96-101.  
QU H Y, ZHAO X X, LI P Y. Construction technology for high-sky assembly of mega transfer truss in super high-rise building[J]. Steel construction, 2016, 31(8): 96-101.
- [6] 苟生贵,崔进,张宝云,等.钢桁架+钢网架采光穹顶整体提升技术[J].天津建设科技,2023,33(5):59-62.  
GOU S G, CUI J, ZHANG B Y, et al. Steel truss + steel mesh lighting dome overall lifting technology [J]. Tianjin construction science and technology, 2023, 33(5): 59-62.
- [7] 冯立新,杨翠青.不规则网壳结构施工全过程非线性模拟结构分析[J].智能城市,2016,2(5):200-201.  
FENG L X, YANG C Q. Nonlinear simulation structural analysis of irregular reticulated shell structure in the whole construction process[J]. Intelligent city, 2016, 2(5): 200-201.
- [8] 俞媛妍.高层建筑悬挂钢结构楼层标高施工控制技术[J].施工技术(中英文),2025,54(16):104-109.  
YU A Y. Construction control technology of floor elevation of suspended steel structures in tall buildings [J]. Construction technology, 2025, 54(16): 104-109.