

DOI: 10.7672/sgjs2026040123

# 复杂悬挑钢结构安装及支撑体系转换技术研究

曹剑峰

(南通宏华建筑安装有限公司, 江苏 南通 226000)

[摘要] 针对某综合服务楼项目存在多处大跨度、大悬挑钢结构,且位置分散,导致吊装难度大、结构受力复杂等特点,为确保施工安全与质量,引入精细化施工过程模拟技术,利用 Midas Gen 有限元软件对吊装顺序、临时支撑胎架设计及拆撑工艺进行了深入研究。针对悬挑区域特点,采用塔式起重机标准节作为临时支撑胎架,并通过模拟分析确定了钢构件的预起拱值及吊装参数。重点分析了混凝土楼板浇筑与临时支撑拆除的时序关系,确定了合理的拆撑时机。结果表明,采取“先内后外”的分级托换卸载顺序,即优先拆除内侧支撑,待内力重分布稳定后,再分级缓慢拆除外侧支撑,能有效控制结构下挠,确保结构体系转换过程的安全平稳。

[关键词] 钢结构;悬挑结构;支撑胎架;吊装;有限元分析

[中图分类号] TU758

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)04-123-05

## Research on Installation and Support System Conversion Technology for Complex Cantilever Steel Structures

CAO Jianfeng

(Nantong Honghua Construction Installation Co., Ltd., Nantong, Jiangsu 226000, China)

**Abstract:** To address the challenges posed by multiple large-span, cantilevered steel structures distributed across various locations in a comprehensive service building project-which resulted in complex lifting operations and intricate structural forces-a refined construction process simulation technique was introduced. Utilizing Midas Gen finite element software, in-depth studies were conducted on the lifting sequence, temporary support jig framework design, and support removal procedures to ensure construction safety and quality. Tower crane standard sections were employed as temporary support formwork in accordance with the characteristics of the cantilevered area. The pre-lifting camber values and hoisting parameters for steel components were determined through simulation analysis. The timing relationship between concrete slab pouring and temporary support removal was critically analyzed to establish an optimal schedule for support removal. Results indicate that adopting an “inside-to-outside” staged transfer sequence-prioritizing removal of inner supports followed by gradual, phased removal of outer supports after internal forces have stabilized-can effectively control structural deflection. This approach ensures a safe and stable transition of the structural system.

**Keywords:** steel structure; cantilever structure; support tire frame; hoisting; finite element analysis

### 0 引言

随着现代建筑造型日趋复杂化,大跨度、大悬挑钢结构在综合服务类建筑中的应用日益广泛,对施工过程中的结构安全性与变形控制提出了严峻挑战<sup>[1-3]</sup>。吴杰春<sup>[4]</sup>以某博物馆楼盖结构为研究对象,采用有限元软件 ETABS 与 SATWE 进行结构模态分析以验证模型准确性,通过反应谱分析及时程

分析揭示该类结构在地震作用下的动力响应规律,并系统研究其在竖向地震作用下的抗震性能。同时,文中介绍了内置钢桁架的大型悬挑墙体施工技术,采用 ABAQUS 有限元软件对构件抗震性能及承载能力开展专项分析。张桂钦<sup>[5]</sup>针对天津茱莉亚学院大悬挑连体钢结构,研究了施工完成后的内力分布特征及施工过程对结构服役期静动力性能的影响。通过对关键施工步骤的大量参数化分析发现:结构整体施工顺序对增强结构整体性无显著作

用;建议防屈曲支撑在主体结构完工后、卸载前完成安装,并据此确定了临时支撑布置方案及卸载工艺。吕维波等<sup>[6]</sup>从设计优化角度,通过合理布置桁架体系,利用多榀桁架协同受力机制优化荷载传递路径,有效解决了大跨度悬挑区域的竖向变形控制与承载力不足问题。通过楼盖舒适度分析验证了大悬挑及大跨度连廊结构的竖向振动峰值加速度满足设计要求,结合结构特点与难点,通过多项计算分析与加强措施,确保长悬挑桁架结构具备可靠的抗震性能。

本文针对某工程“悬挑尺寸大、位置分散、结构受力复杂”的特点,引入精细化施工过程模拟技术。旨在借助有限元分析软件,深入探究钢构件的吊装顺序、临时支撑胎架设计、混凝土楼板浇筑时机及临时支撑拆除顺序等关键施工参数。通过对施工全过程进行数值模拟与优化,解决存在多处大跨度悬挑结构时的吊装顺序难题,确保结构在施工及卸载过程中的稳定与安全,为类似复杂钢结构工程施工提供参考。

## 1 工程概况

某综合服务楼结构类型为钢框架-支撑结构,地下1层,地上4层,房屋总高度为22.00m,地下室深度为5.8m。地上区域钢结构悬挑结构较多,增大了吊装难度。且结构吊运顺序对构件的预拱度需求大,外挑尺寸较大区域需在其下方搭设支撑胎架辅助受力。2~3层结构位置①轴线外侧含8.7m跨外伸悬挑挑挑结构;因2层结构标高位置E-F/⑪-⑮轴为楼梯结构区域,故其上方位置⑪-⑭轴区域含最大外悬挑长度为26.1m结构;3~4层6-⑩/(①/A-B)轴区域及6-⑩/E-F轴区域各含1个钢结构连廊,该连廊最大悬挑跨度为34.8m,该区域竖向斜支撑连接2层与屋面层位置钢梁,如图1所示。

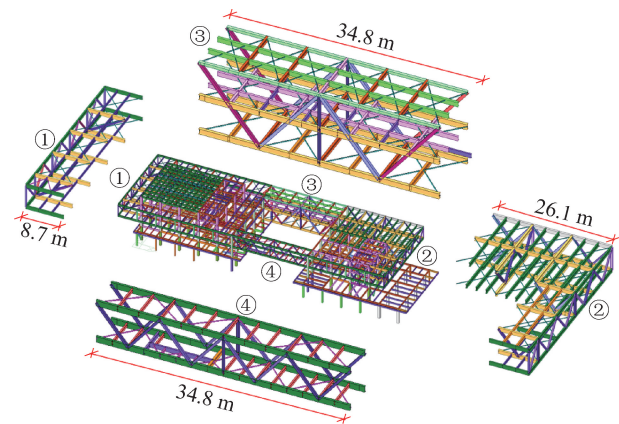


图1 钢结构悬挑区域位置

Fig. 1 Location of cantilevered area of steel structure

针对本项目地上区域钢结构悬挑尺寸大且悬挑位置多的特点,拟对钢结构进行精细化施工过程模拟,通过施工模拟优化吊装顺序及吊装过程,确定钢构件生产加工时的预拱度值,对于外挑尺寸较大区域在其结构下方搭设支撑胎架进行辅助受力。

## 2 钢结构施工

### 2.1 施工方案

#### 2.1.1 地上区域吊装施工流程

施工过程分析中需按照钢构件自身截面尺寸考虑吊重,在吊装过程计算中进行一定程度放大,根据深化钢结构总质量调整计算模型整体自重系数。考虑本工程悬挑区域较大,拟优先对非悬挑区域进行单构件吊装作业。根据整体施工方案,对地上部分的钢结构按照6个分区进行分阶段吊装,如图2所示。

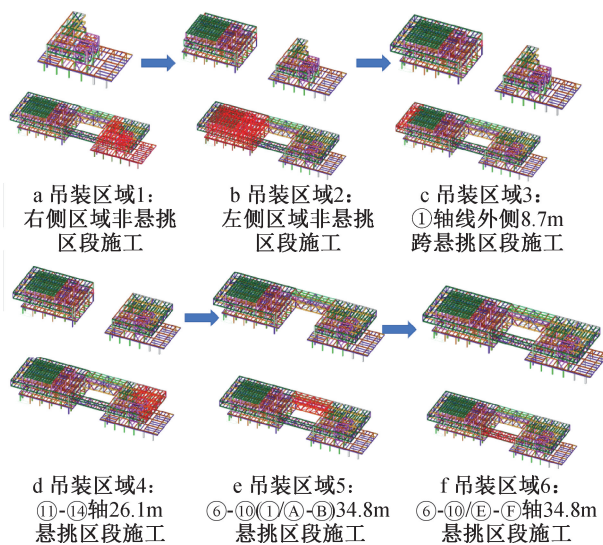


图2 地上区域钢结构吊装分区

Fig. 2 Steel structure hoisting partition in overground area

按上述顺序,采用单元法依次吊装钢柱、钢梁及其他连系杆件,优先形成稳定结构体系。悬挑段钢梁单次吊装尺寸及截面均较大,如图3所示。因此,统计较长截面钢梁质量,作为钢梁吊装作业时80t汽车式起重机的控制荷载。最大截面梁净重6.917t,考虑吊装动力效应,取1.3倍自重放大系数,计算得最大钢梁吊重约8.992t。结合钢柱尺寸、质量及80t汽车式起重机性能,控制其工作幅度 $\leq 15\text{m}$ ,起重臂长28m。此时,80t汽车式起重机额定起重量为10.000t。

#### 2.1.2 临时支撑胎架布置

依据吊装计划,拟采用塔式起重机标准节作为临时支撑胎架,在长跨悬挑区域设置临时支撑点,

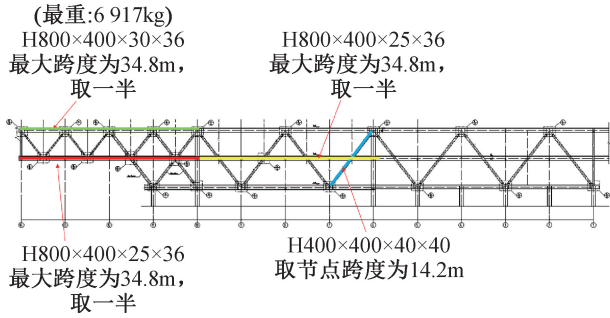


图3 较大截面及跨度钢梁示意

Fig. 3 Large section and span steel beam

如图4所示。共设置6处塔式起重机标准节胎架,高度分别约为12,6,10,12,17m。选用1.5m×1.5m×2.2m(长×宽×高)标准节,顶部高度可通过非标件及分配梁调节。标准节基础杆件选用L140×12或140mm×140mm×12mm方管,材质为Q235B。标准节顶部纵、横向铺设HW250型钢,作为钢梁吊装时的支撑点分配梁。考虑标准节高度,高于10m的胎架需在标高跨中附近设置四向缆风绳以确保侧向稳定。待结构整体施工完成并达到设计要求后,方可进行临时支撑胎架的卸载作业。

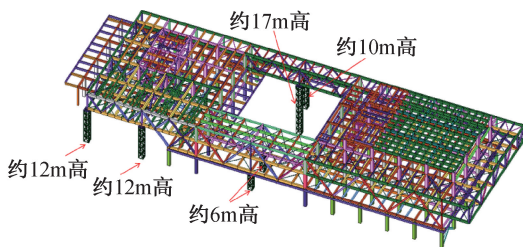


图4 临时支撑胎架位置

Fig. 4 Temporary support bracket position

## 2.2 钢构件安装过程模拟

利用Midas Gen有限元分析软件,对各安装流程进行受力分析(见图5),并根据各施工阶段受力确定施工用材料及设备规格,并设置相关保障措施。

根据模拟内容,控制关键施工节点,本次施工过程中因设置多道临时支撑胎架,将原有悬挑段变更为简支非悬挑受力状态,在模拟分析中钢构件安装过程中的各环节结构最大组合变形值为18mm,位于较大跨钢梁跨中位置,设置临时支撑胎架后,钢结构最大组合变形显著减小,可有效控制钢构件安装变形。依托施工工艺流程,综合设计意见,于3~4层位置⑥-⑩/(①/A-B)轴区域34.8m跨中位置下弦中部预起拱2.5cm,⑤-E/F/⑪-⑭轴最大外悬挑26.1m端部区域上下弦端点预起拱3cm,如图6所示。

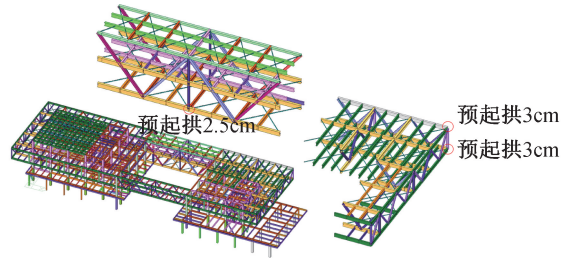


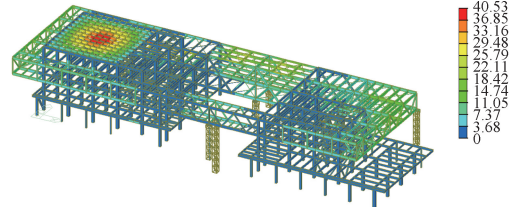
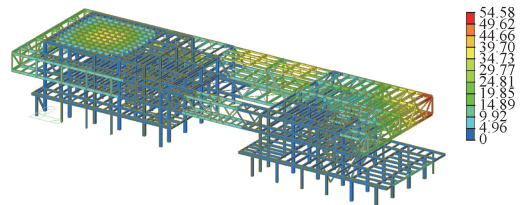
图6 钢构件预起拱

Fig. 6 Pre-cambering of steel components

## 3 关键施工步骤

### 3.1 混凝土楼面浇筑施工与临时支撑胎架拆除

楼板采用钢筋桁架楼承板,厚度110mm,混凝土强度等级为C30。计算钢框架在楼面荷载作用下的整体变形,分胎架拆除前及拆除后两种工况。楼板重度按25kN/m<sup>3</sup>计,面荷载标准值为2.75kN/m<sup>2</sup>。混凝土浇筑后组合变形如图7,8所示。

图7 混凝土浇筑后有胎架下组合变形值(单位:mm)  
Fig. 7 Combined deformation value of the tire frame after concrete pouring (unit:mm)图8 混凝土浇筑后无胎架下组合变形(单位:mm)  
Fig. 8 Combined deformation value of the non-frame after concrete pouring (unit:mm)

无胎架支撑时,悬臂端最大变形值为54.58mm;有胎架支撑时,该悬挑段最大变形值仅为11.84mm,且最大组合变形位于非悬挑段较大跨度跨中位置。因此,确定在混凝土浇筑完成并达到设计强度后拆除胎架。

### 3.2 大悬挑跨度临时支撑胎架拆撑顺序

2层⑤-E/F/⑪-⑭轴区域为楼梯结构,其上方⑪-⑭轴区域包含最大外悬挑长度26.1m的结构,对该区域2个临时支撑胎架的拆除顺序进行分析。临时支撑胎架位置及编号如图9所示。

经对比分析,优先拆除跨中支撑(内侧支撑)引

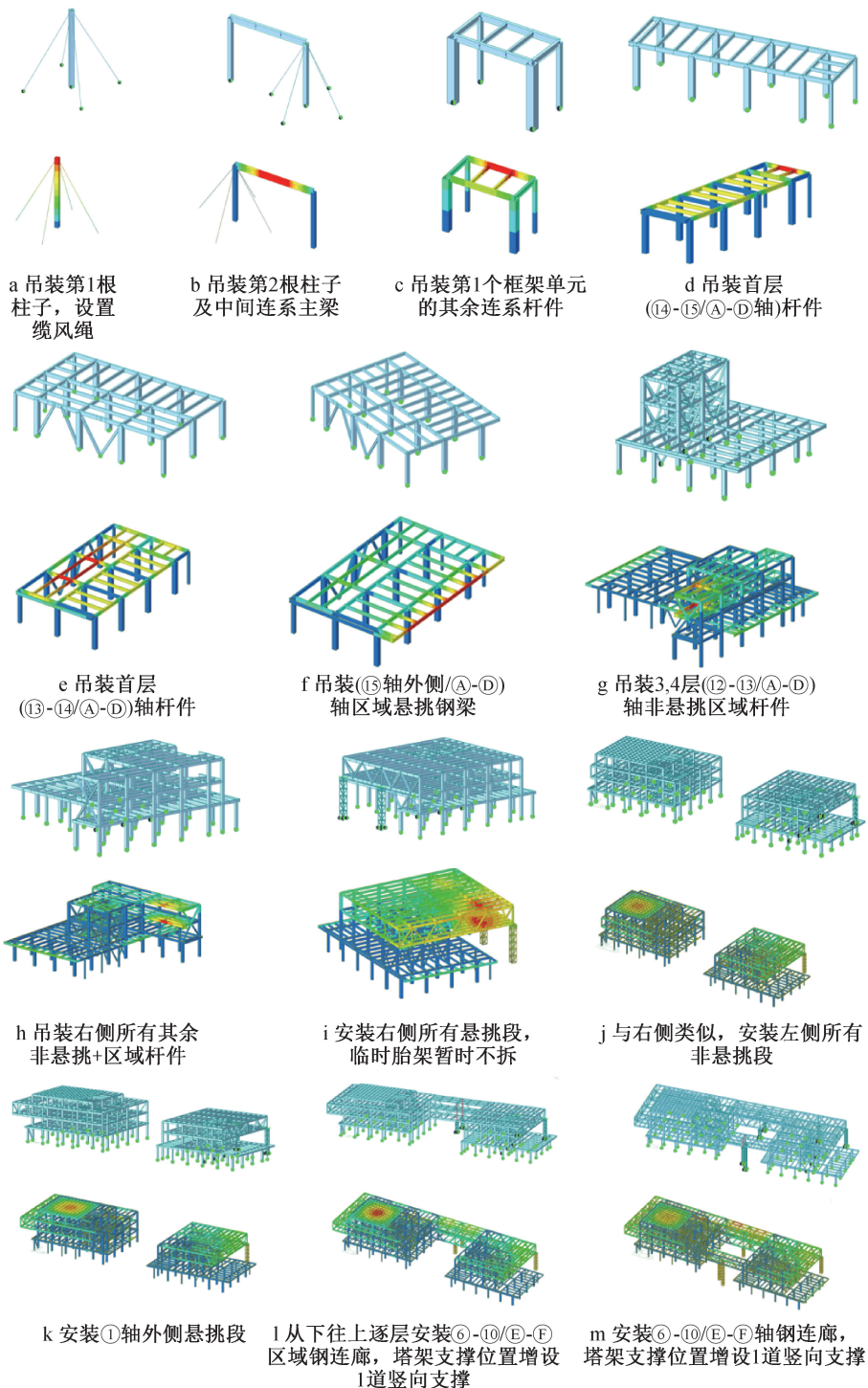


图5 施工过程模拟分析

Fig. 5 Simulation analysis of construction process

起的结构下挠变化较小。因此, 拆撑顺序确定为: 先拆除内侧支撑, 待结构内力重分布稳定后, 再分级缓慢托换拆除外侧支撑。支撑拆除前, 该区域最大组合变形约 24.12mm; 内侧支撑拆除后, 最大组合变形为 24.83mm, 下挠仅增加 0.71mm, 变化微小, 可直接拆除。内侧支撑拆除后, 静置观察 24h, 使结构充分完成内力重分布, 并进行现场监测。外侧支撑拆除采用分级托换卸载法。根据计算结果,

在上部荷载作用下, 采用 2 个 100t 千斤顶进行托换。托换前准备 1~2cm 厚钢板备用。千斤顶预先出缸顶紧上方钢梁, 顶端放置钢板扩散荷载。顶紧过程中逐步切割原有竖向支撑(单次切割量  $\leq 1.5\text{cm}$ ), 切割完成后千斤顶回油下落相应行程。拆撑前后悬挑端下挠值约 30mm, 需密切关注千斤顶回油过程中端部的变形值, 按  $L/400$  (悬挑长度/400) 控制整体下挠。

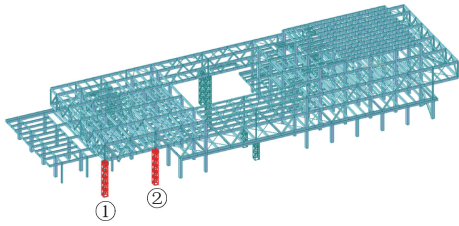


图9 临时支撑胎架位置及编号

Fig.9 Position and number of temporary support frame

#### 4 结语

本文针对某综合服务楼大悬挑钢结构施工难点,通过有限元软件进行了全过程精细化模拟与关键技术分析,得出以下结论。

1) 针对工程中存在多处悬挑的复杂工况,采用Midas Gen 仿真分析软件对施工过程进行精细化分步模拟,并利用塔式起重机标准节作为临时支撑胎架,有效控制了施工期间的结构变形。

2) 针对大跨悬挑复杂结构,通过施加楼板荷载,分析临时支撑胎架拆除与结构整体浇筑混凝土的相对时序关系,确定了合理的拆撑时机。

3) 在大悬挑跨度支撑胎架卸载拆除环节,明确了“先内后外”的拆撑顺序,即优先拆除内侧支撑,待结构内力重分布稳定后,再分级缓慢托换拆除外侧支撑。计算表明该顺序可有效控制结构下挠,确保结构体系转换过程安全平稳。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 徐平飞. 大跨度悬空钢结构楼层整体提升施工关键技术[J]. 施工技术(中英文),2025,54(21):97-103.  
XU P F. Key technology of integral lifting construction of large-span suspended steel structure floor[J]. Construction technology, 2025,54(21):97-103.
- [ 2 ] 郑小燕,吴东杭,何涛,等. 某博物馆钢结构施工技术及有限元分析[J]. 施工技术(中英文),2025,54(14):22-28.  
ZHENG X Y, WU D H, HE T, et al. Construction technology and finite element analysis of a natural history museum [J]. Construction technology, 2025,54(14):22-28.
- [ 3 ] 陈达贤,潘文智,赵文雁,等. 双向大跨度悬挑结构拆撑方案对比研究[J]. 施工技术(中英文),2025,54(2):71-75.  
CHEN D X, PAN W Z, ZHAO W Y, et al. Comparative research on two-way large-span cantilever structure dismantling support scheme[J]. Construction technology, 2025,54(2):71-75.
- [ 4 ] 吴杰春. 带大悬挑的大跨楼盖结构施工与抗震性能分析[D]. 广州:广东工业大学,2023.  
WU J C. Construction and seismic performance analysis of large-span building cap structures with large overhangs [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2023.
- [ 5 ] 张桂钦. 天津茱莉亚学院大悬挑连体钢结构施工过程力学性能分析[D]. 天津:天津大学,2019.  
ZHANG G Q. Analysis of mechanical behavior of large cantilever connected steel structure during construction in tianjin juilliard school[D]. Tianjin: Tianjin University, 2019.
- [ 6 ] 吕维波,李国. 某带长悬挑桁架的多层综合服务楼钢结构设计[J]. 重庆建筑,2024,23(12):60-65.  
LÜ W B, LI G. Steel structure design of a multi-story comprehensive service building with long cantilever trusses[J]. Chongqing architecture, 2024,23(12):60-65.