DOI: 10.7672/sgjs2025020071

# 双向大跨度悬挑结构拆撑方案对比研究\*

陈达贤<sup>1</sup>,潘文智<sup>1</sup>,赵文雁<sup>1,2</sup>,杨 杰<sup>1</sup>,林天宇<sup>3</sup>,邵光辉<sup>4</sup> (1.浙江精工钢结构集团有限公司,浙江 绍兴 312030; 2.哈尔滨工业大学(深圳)土木 与环境工程学院,广东 深圳 518071; 3.中国建筑一局(集团)有限公司,北京 100161; 4.深圳市海科达咨询有限公司,广东 深圳 518101)

[摘要]海能达全球总部大厦项目塔楼与裙房3~7层联通,设有多榀大跨度及大悬挑桁架,传力路径复杂。裙房桁架施工共布置12个临时支撑胎架,在结构成型前作为重要依靠,其卸载是结构内力重分布转变为设计状态的过程,对结构成型状态及施工安全有重大影响。通过对3种不同拆撑方案进行对比研究,最终选择以东西对称卸载为原则,先卸载裙房悬挑桁架支撑胎架,再卸载塔楼悬挑桁架支撑胎架,最后卸载裙房与塔楼间大跨度悬挑桁架支 撑胎架。通过理论数据与施工实测数据对比,进一步验证了方案的合理性。

[关键词] 钢结构;悬挑结构;桁架;支撑胎架;卸载;数值模拟;监测

[中图分类号] TU745.2 [文献标识码] A [文章编号] 2097-0897(2025)02-0071-05

# Comparative Research on Two-way Large-span Cantilever Structure Dismantling Support Scheme

CHEN Daxian<sup>1</sup>, PAN Wenzhi<sup>1</sup>, ZHAO Wenyan<sup>1,2</sup>, YANG Jie<sup>1</sup>, LIN Tianyu<sup>3</sup>, SHAO Guanghui<sup>4</sup>

 Zhejiang Jinggong Steel Building Group Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang 312030, China; 2. College of Civil and Environmental Engineering, Harbin Institute University, Shenzhen, Guangdong 518071, China;

 China Construction First Group Co., Ltd., Beijing 100161, China; 4. Shenzhen Haikeda Consulting Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518101, China)

Abstract: The tower and podium of the Hainengda Global Headquarters Building project are connected on floor 3~7, with multiple large-span and large cantilever trusses, and the transmission path is complex. A total of 12 temporary support bed-jigs are arranged for the construction of the podium truss, which serve as important supports before the structure is formed. The unloading is the process of the redistribution of internal forces in the structure and the transformation into the design state, which has a significant impact on the structural forming state and construction safety. Through comparative research on three different dismantling support schemes, the principle of east-west symmetrical unloading was ultimately chosen. Firstly, the support bed-jigs of the podium cantilever truss was unloaded, followed by the support bed-jigs of the tower cantilever truss, and finally, the support bed-jigs of the large-span cantilever truss between the podium and the tower was unloaded. The rationality of the scheme was further verified by comparing theoretical data with actual construction data.

Keywords: steel structure; cantilever structure; trusses; supporting bed-jig; unloading; simulation; monitoring

#### 0 引言

大悬挑大跨度空间钢结构施工工序复杂,工期 长,结构体系处于动态变化中,在体系成型前,需临 时支撑体系提供额外约束。卸载是在结构安装、焊 接完毕,形成结构体系后拆除临时支撑体系,结构 撤去额外约束转变为设计状态的过程。主要涉及 以下问题:①卸载前及卸载过程中临时支撑体系强 度及稳定性是否满足要求;②卸载过程中结构变形 是否协调、局部变形是否过大,杆件变形在内力重

<sup>\*</sup>国家自然科学基金(52178129)

<sup>[</sup>作者简介] 陈达贤,助理工程师,E-mail: 136521339@ qq. com [收稿日期] 2024-02-10

分布过程中是否满足要求;③卸载完成后,结构成 型状态与设计状态是否一致等问题。

本文以海能达全球总部大厦为例,对裙房大跨 度大悬挑桁架进行卸载分析研究,确保结构卸载过 程的安全,并为类似工程施工提供参考。

## 1 工程概况

海能达全球总部大厦位于深圳市南山区粤海 街道后海中心区兰香三街以南,兰桂一路以东,兰 桂二路以西,兰香二街以北。南北长 119.5m,东西 宽 50m,总用地面积为 5 925m<sup>2</sup>,地上 43 层、地下 4 层,高 211.080m。塔楼位于南侧,北面联通 5 层商 业裙房,裙房高约 32m,如图 1 所示。



图 1 项目整体效果 Fig. 1 Integral effect of the project

塔楼采用斜交网格钢筒-钢筋混凝土单侧双角 筒结构体系,裙房为核心筒-钢框架结构体系,裙房 及塔楼3~7 层为由数榀悬挑桁架及大跨度桁架组 成的双向大跨度悬挑结构。其中,裙房设置2 榀东 西向悬挑桁架,悬挑长度为13.5m;塔楼与裙房间设 置4 榀大跨度桁架,连接塔楼及裙房;塔楼南侧设置 2 榀悬挑桁架及1 榀封边桁架,悬挑长度为13.5m。 桁架杆件截面包括H形及箱形,最大截面尺寸为 □750×600×50×50,最小截面尺寸为H700×300× 13×24,材质为Q390GJ,Q355B。悬挑结构如图2 所示。

## 2 临时支撑体系

裙房桁架构件采用分段吊装方式施工,根据桁 架布置及其受力模式,结合分段方案,共布置 12 个



a 桁架平面布置



b 轴测图



#### 3 支撑胎架卸载重难点分析

1)3~7 层结构用钢量合计达 2 500t,该区域共 布置 12 个支撑胎架,胎架反力较大,最大反力接近 850kN,且卸载过程中支撑反力变化较大。

2)裙房桁架相互交错布置,受力模式较复杂, 在结构成型前,其自重由核心筒、框架(斜)柱及临时支撑体系承担,卸载后结构杆件内力重分布转变 为设计状态。因此,卸载顺序对结构成型、杆件内 力分布和支撑胎架承受荷载有较大影响。

3)确定合理安全的卸载顺序,确保卸载过程中 结构杆件内力不产生过大变化而发生破坏及结构 成型状态的传力路径、成型姿态与设计状态保持一 致,保证结构安全是卸载的重点与难点。

#### 4 卸载方案模拟对比分析

4.1 卸载方案

根据支撑胎架布置,结合其结构受力特点,提出3种卸载方案。

1)方案1。按东西侧对称原则,先卸载裙房悬 挑桁架支撑胎架,再卸载塔楼悬挑桁架支撑胎架, 最后卸载裙房与塔楼间悬挑桁架支撑胎架。

2)方案 2。按从南到北顺序,先卸载塔楼悬挑桁架支撑胎架,再卸载裙房与塔楼间悬挑桁架支撑 胎架,最后卸载裙房悬挑桁架支撑胎架。

3)方案3。总体按先东后西顺序,先卸载裙房 东侧(南、北端部除外)悬挑桁架支撑胎架,再卸载 裙房西侧(北侧端部除外)悬挑桁架支撑胎架,再





cA轴桁架

d 13轴桁架

图 2 悬挑结构 Fig. 2 Cantilever structure



Fig. 4 Three dismantling schemes for supports

卸载最北侧支撑胎架,然后卸载裙房与塔楼间悬 挑桁架支撑胎架,最后卸载塔楼悬挑桁架支撑 胎架。

针对以上3种卸载方案,进行卸载模拟对比分 析。3种方案拆撑顺序如图4所示。

4.2 卸载方案对比分析

根据施工图及支撑胎架布置建立1~11 层主体 结构及支撑胎架精细模型,根据3种卸载方案,模拟 分析卸载过程。卸载模拟分析模型如图5所示。



图 5 卸载模拟分析模型 Fig. 5 Analysis model of unloading simulation

#### 4.2.1 主体结构成型状态对比

由计算结果可知,3种方案下主体结构成型状态应力及变形结果基本一致。桁架区域结构最大z 向变形为9.7mm,说明该区域桁架刚度较大;结构 最大等效应力为34.7MPa,主体结构构件应力均远 小于其设计强度,整体结构处于安全状态。

4.2.2 主体结构等效应力变化

拆撑过程中,主体结构等效应力变化曲线如图 6所示。3种拆撑方案下,主体结构等效应力变化较 平稳,均未出现应力突变情况,且结构杆件应力均 远低于设计强度,说明拆撑顺序较合理,结构内力 重分布较平缓。

4.2.3 主体结构位移变化

选取位于桁架悬挑端部及跨中的8个支撑点作 为关键点(见图7),分析结构竖向位移变化。拆撑 过程中关键点竖向位移变化曲线如图8所示。由图 8可知:

1)关键点 1,2 位于塔楼南侧悬挑桁架端部,3 种方案下竖向位移变化均在失去支撑约束的阶段 一次性完成,且竖向位移较小(约为 2mm),最终竖 向位移保持一致,说明桁架刚度较大。



图 6 主体结构等效应力变化曲线

Fig. 6 Equivalent stress changing curves of the main structure



2)关键点 3,4 位于裙房及塔楼间的联系桁架 跨中。3 种方案下关键点 3 竖向位移变化在失去支 撑约束的阶段完成,后续阶段趋于稳定。对于关键 点 4,方案 1,3 下其竖向位移存在突变阶段,方案 1 下其竖向位移由-3.3mm 增大至-6.9mm,然后回弹 至-6.7mm,方案 3 下其竖向位移由-3.5mm 增大至 -6.6mm,然后增大至-6.7mm;方案 2 下其竖向位 移每阶段增大约 1mm 且平缓过渡至最终的 -6.7mm。综上,在卸载过程中方案 1,3 下竖向位移 均存在突变,方案 2 下竖向位移在变化过程中较缓 和,说明采用方案 2 对于结构的安全更有利。

3)关键点 5~8为裙房悬挑桁架端部,3种方案 下竖向位移变化均较平缓,每阶段竖向位移各增加 1~2mm,未出现位移剧增情况。

4.2.4 支撑点反力变化

卸载过程中支撑点反力如表1所示。





图 8 关键点竖向位移变化曲线

Fig. 8 Vertical displacement changing curves of key points

表1 卸载过程中支撑点最大竖向反力对比

Table 1	Compar	ison of	the	ma	ximum	vertical	reaction
•							

force for support points in unbaung process Kit						
胎架编号	卸载前	方案				
		方案 1	方案2	方案 3		
1	541.4	541.4	541.4	541.4		
2	486.5	486.5	486.5	486.5		
3	675.3	714.1	675.3	728.5		
4	683.8	751.7	683.8	773.5		
5	372.5	391.1	373.1	384.0		
6	577.1	711.9	715.4	750.6		
7	765.7	851.9	765.7	765.7		
8	723.6	796.5	954.8	723.6		
9	777.2	777.2	829.8	777.2		
10	738.8	738.8	897.0	738.8		
11	435.9	591.4	573.4	573.0		
12	405.0	541.0	562.8	630.6		

由表1可知:

1)卸载过程中,方案1,2,3下支撑点最大竖向 反力分别为851.9,954.8,777.2kN,方案2下支撑 点最大竖向反力最大,方案1次之,方案3最小。

2)由卸载前、后支撑点最大反力变化可知,方 案 1,2,3 最大反力变化分别为 155.5,231.2, 225.6kN,说明对于各支撑胎架,采用方案 1 所得支 撑点最大竖向反力变化最小,更平稳。

4.2.5 小结

综合对比3种方案下主体结构成型状态、卸载 过程中杆件等效应力变化、竖向位移变化及支撑点 最大竖向反力等,相比于方案2,3,方案1下竖向位 移变化及支撑点最大反力变化更平稳,卸载过程中 主体结构应力均远小于设计强度,满足规范要求, 主体结构处于安全受力状态。因此本工程采用方 案1进行支撑胎架卸载。

#### 5 监测结果及分析

5.1 竖向位移监测

根据方案1拆撑顺序及现场施工情况,拆除支 撑胎架。拆撑前,在关键点所对应的桁架下弦杆件 布设测量点,拆撑过程中对其进行变形监测,保证 拆撑过程中结构安全。竖向位移实测值与模拟值 对比如图9所示。由图9可知:

1)各测点变形实测值均较小,整体变形趋势基 本一致,且拆撑过程中结构变形较缓和,说明拆撑 顺序较合理,施工模拟结果与实际基本一致。

2) 实际施工中关键点 1,2 提前 1 个阶段卸载, 因此实测值曲线拐点与理论值不一致。

3) 实测值相较于模拟值总体偏大,原因是实际 施工中结构卸载前进行了楼承板铺设及钢筋绑扎, 加上钢结构安装偏差、结构沉降等因素,实测值与 模拟值存在一定偏差。

5.2 应力监测

选取④, ⑩轴桁架下弦杆及腹杆进行应力监测,采集卸载前、后数据。应力监测点布置如图 10 所示。卸载前、后应力变化如表 2 所示。

由于本工程桁架刚度及杆件截面均较大,卸载 过程中整体应力变化很小,最大应力变化为 10.3MPa。由于施工过程中存在钢结构安装偏差等 问题,测点 SA-3,SA-7 实测值偏差较大,最大偏差约 为7.8MPa,其余测点偏差均在 5MPa 以内,说明施 工模拟结果与实际监测结果基本吻合。

# 6 结语

1)针对由自重及整体刚度较大的大悬挑桁架



图 9 竖向位移实测值与模拟值对比

Fig. 9 Comparison of monitoring values and simulated values of vertical displacement

MPa



图 10 监测点布置

#### Fig. 10 Layout of monitoring points

#### 表 2 卸载前、后应力变化

Table 2 Stress change before and after unloading

					mi a
测点编号	模拟值	实测值	测点编号	模拟值	实测值
SA-1	-5.2	-6.4	SA-6	-6.3	-1.3
SA-2	-4.7	-7.1	SA-7	-10.3	-3.7
SA-3	-4.8	-12.6	SA-8	3.5	5.6
SA-4	-6.3	-8.2	SA-9	-7.4	-4.8
SA-5	-4.2	-2.3	SA-10	4.4	9.4

与多榀大跨度桁架交错布置的结构体系,先拆除跨 中支撑胎架会引起靠近支座位置的支撑点反力显 著增大。

2)通过对3种拆撑方案进行施工模拟,综合对比 主体结构应力变化、关键点竖向位移及支撑点反力变 化,最终采用方案1,即按东西侧对称原则,先卸载裙 房悬挑桁架支撑胎架,再卸载塔楼悬挑桁架支撑胎 架,最后卸载裙房与塔楼间悬挑桁架支撑胎架。

3) 裙房卸载完成后测点应力最大增加
12.6MPa,最大竖向位移≤6mm,与模拟值基本吻合,因此施工阶段处于安全可控状态。说明卸载顺序合理可行,有效保证了卸载过程的安全。

#### 参考文献:

[1] 秦长金,伍刚,刘飞凡,等. 落地与悬挑组合式支模体系在高

位逐层外悬挑结构施工中的应用 [J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(2): 87-91.

QIN C J, WU G, LIU F F, et al. Application of the combination of landing and cantilever formwork system in the construction of high-level layer by layer external cantilever structures [J]. Construction technology,2024, 53(2): 87-91.

[2] 辛业洪,韩杰,黄浩,等.中广核大厦超长悬挑钢结构施工阶 段监测及计算模拟分析[J].建筑钢结构进展,2013,15(5): 55-59.

> XIN Y H, HAN J, HUANG H, et al. Monitoring and calculation simulation analysis of the construction stage of the extra long suspended steel structure of CGN Building [J]. Progress in steel building structures, 2013, 15(5): 55-59.

 [3] 潘文智,赵文雁,张坚洪,等. 轮辐式索桁架外围支承结构拆 撑方案对比研究[J].建筑钢结构进展,2022,24(1): 128-136.

PAN W Z, ZHAO W Y, ZHANG J H, et al. Comparative study on dismantling support schemes for peripheral support structures of spoke type cable trusses [J]. Progress in steel building structures, 2022, 24(1): 128-136.

 [4] 赵中伟,陈志华,刘红波.考虑主体结构与临时支撑相互作用的拆撑过程动力响应分析[J].工业建筑,2016,46(11): 142-146.

> ZHAO Z W, CHEN Z H, LIU H B. Dynamic response analysis of dismantling process considering the interaction between main structure and temporary support [J]. Industrial construction, 2016,46(11): 142-146.

 [5] 寻奥林,张明亮,江波,等.大平面多筒支承的大悬挑多层空腹钢桁架楼盖整体提升关键技术[J].施工技术(中英文), 2023,52(14):9-16.

> XUN A L, ZHANG M L, JIANG B, et al. Key technology for overall lifting of large cantilevered multi-layer hollow steel truss floor supported by large planar multi tube support [J]. Construction technology,2023,52(14): 9-16.