

DOI: 10.7672/sgjs2025020065

# 某铁路站房异形钢屋盖整体提升方案优化及 非同步提升分析\*

邓裕民<sup>1</sup>, 郑宏雨<sup>1</sup>, 彭江衡<sup>1</sup>, 余玉洁<sup>2</sup>

(1. 中铁建设集团有限公司, 北京 100040; 2. 中南大学土木工程学院, 湖南 长沙 410075)

[摘要] 常益长高速铁路常德站站房大跨度异形屋盖采用由异形框架支承的空间钢桁架结构。该工程具有结构刚度不均匀和现场施工场地受限特点。因此, 针对屋盖不同提升分区进行吊点方案设计, 并基于结构受力和变形分析, 优选合理吊点方案。针对屋盖中部较大区域, 分别对比单吊点非同步提升、垂轨向隔点非同步提升及异形框架梁段非同步提升对屋盖变形效应的影响。该屋盖在异形框架梁附近的结构刚度较大, 提升时影响范围较广。外侧吊点起吊主要导致吊点外侧悬臂段上拱, 对顺轨向屋盖内部变形影响较小。基于单吊点非同步提升效应分析, 提出屋盖多点非同步提升响应的定量分析方法和不利工况确定策略。利用该方法, 可通过查表快速确定不同吊点非同步起吊时的影响幅度和不利工况。

[关键词] 钢结构; 站房; 屋盖; 提升; 变形; 应力

[中图分类号] TU375.4

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)02-0065-06

## Overall Lifting Scheme Optimization and Asynchronous Lifting Analysis of the Special-shaped Steel Roof for a Railway Station Building

DENG Yumin<sup>1</sup>, ZHENG Hongyu<sup>1</sup>, PENG Jiangheng<sup>1</sup>, YU Yujie<sup>2</sup>

(1. China Railway Construction Group Co., Ltd., Beijing 100040, China;

2. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410075, China)

**Abstract:** The large-span irregular roof of Changde Railway Station building on Changde-Yiyang-Changsha High-speed Railway is supported by an irregular frame and a spatial steel truss structure. The project features include uneven structural stiffness and limited on-site construction space. Therefore, the lifting point scheme is designed for different lifting zones of the roof, and reasonable lifting point schemes are selected based on structural force and deformation analysis. For the larger central area of the roof, the effects of the deformation caused by single point asynchronous lifting, vertical rail direction staggered asynchronous lifting, and irregular frame beam segment asynchronous lifting on the roof are compared. The structural stiffness near the irregular frame beam of the roof is relatively high, and the lifting has a broader impact range. Lifting at the outer lifting points mainly causes the outer cantilever section to arch upwards, with minimal impact on the deformation of the internal roof along the rail direction. Based on the analysis of the effect of the single point asynchronous lifting, a quantitative analysis method and adverse condition determination strategy for the response of multi-point asynchronous lifting of the roof are proposed. Using this method, the impact amplitude and adverse conditions of asynchronous lifting at different lifting points can be quickly determined by referring to tables.

**Keywords:** steel structures; station buildings; roofs; lifting; deformation; stress

\* 湖南省自然科学基金优秀青年基金(2022JJ20073); 湖南省科技创新计划(2023RC3038); 中铁建设集团有限公司科技研发计划课题(LX22-28b)

[作者简介] 邓裕民, 工程师, E-mail: 67262423@qq.com

[通信作者] 余玉洁, 教授, E-mail: yujiesu@csu.edu.cn

[收稿日期] 2024-03-22

## 0 引言

近年来, 我国高速铁路快速发展, 高速铁路枢纽的高铁站房也随高速铁路扩建而增多。为满足铁路站房独特的空间形态及建筑功能要求, 新时期

铁路站房常采用大跨度、大网柱空间结构结合多种交通设施的“桥建合一”综合结构体系<sup>[1-2]</sup>。作为地标性建筑,其屋盖常采用异形设计,这也对屋盖结构施工技术提出了更高要求。为实现建筑造型及大开间的功能需求,铁路站房多采用大跨度钢桁架结构。在施工阶段,结构或构件的吊装、滑移、提升及临时支撑拆除和卸载等工序,往往与设计时考虑的荷载情况和约束边界存在较大差异<sup>[3-7]</sup>。因此,复杂站房屋盖施工前需进行系统性的施工方案优化和施工控制方法分析,以保障屋盖施工安全稳定和整体结构顺利成型<sup>[8-9]</sup>。

基于常益长高速铁路常德站站房大跨度异形钢桁架屋盖整体提升施工难点,结合工程现场施工条件,确定屋盖分区提升方案,并结合 MIDAS Gen 进行屋盖吊点方案比选,确定各提升区段吊点最优布置方案。基于典型屋盖提升不同步效益分析,给出提升不同步时吊点位移差控制阈值。

## 1 工程概况

常益长高速铁路常德站采用两侧线侧式站房和线上高架候车室的站房结构,设计规模核定为9台20线,结构平面尺寸为285.6m×156m,总建筑面积约为60 000m<sup>2</sup>。站房屋盖沿顺轨方向布置11榀主受力梭镖形框架梁柱,跨度为48m+24m+48m,两侧悬挑12m,整体构成飞燕式异形主受力桁架;垂轨方向两端部设计有立体花瓣状空间异形桁架构造,主受力框架间平面桁架跨度为22~38m,两端悬挑16m。屋盖中部设计有天窗,平面尺寸为36.2m×136m,天窗短轴间隔6m设置圆管拱作为主要受力支撑;垂轨方向两侧设计有椭圆形天窗(端部天窗),尺寸为52m×42m,通过6榀T字形梁柱支承。站房效果如图1所示。

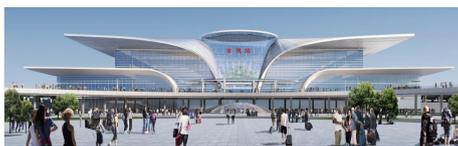


图1 常德站站房效果

Fig. 1 Effect of Changde Station building

常德站站房施工跨越多条既有营业线,且施工场地狭小。因此,站房屋盖及雨棚钢结构均采用在场外分块预拼装方式,然后整体运输至现场进行组装和吊装。根据现场施工条件及结构构造,屋盖(端部天窗除外)采用在高架层楼面上拼装,然后分区提升、分区卸载的施工方案。屋盖分为4个提升区(见图2),提升顺序为:提升1区→南侧吊装区→提升2区→提升3区→提升4区→北侧吊装区,屋盖提升到位后再安装斜柱。

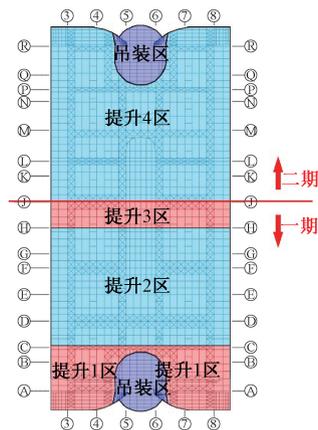


图2 屋盖提升分区

Fig. 2 Lifting zones of roof

## 2 屋盖提升方案设计及优化分析

### 2.1 提升1区吊点方案设计

站房钢桁架屋盖结构总重约为7 015t,包括22根重约137t L形柱。提升1~4区屋盖自重分别为1 379,2 226,607,2 803t,采用提升架分区提升技术进行施工,提升吊点数量及位置直接影响屋盖钢桁架能否顺利提升就位。屋盖提升主要在高架层楼面上进行,考虑提升中集中荷载对楼面的影响,且结构在提升过程中的受力应尽量与使用阶段受力形式相近,因此,设计时主要考虑在直柱、L形柱斜段及L形柱顶区域附近布置吊点。

各提升区段结构对称且质量分布均匀,因此吊点也均均匀设置,如提升变形或反力过大,则局部再加密。由于该结构L形柱自重和刚度均较大,为保证结构在提升过程中稳定,各提升区段首先在L形柱设置2个吊点(方案1),然后考虑结构应力及变形情况适当加密吊点(方案2,3),如图3所示。考虑提升4区与提升1,2区结构类似及提升3区面积较小,因此吊点优化分析应重点考虑提升1,2区。

采用MIDAS Gen软件对大跨度异形钢桁架屋盖结构进行模拟,上弦杆、下弦杆和L形柱采用梁单元模拟,腹杆采用桁架单元模拟,钢丝绳及交叉支撑拉杆采用索单元模拟(见图4)。在提升过程中,考虑到实际桁架节点处焊接了其他板件,因此桁架自重增大0.2倍。液压提升设备启动时会对结构产生冲击荷载作用,因此桁架自重增大0.4倍以考虑该冲击作用的影响。桁架提升一般选择在风速较小时进行,并且桁架迎风面积较小,因此不考虑水平风荷载影响。施工所用钢材型号为Q390B,其弹性模量参考GB 50017—2017《钢结构设计标准》,取值 $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

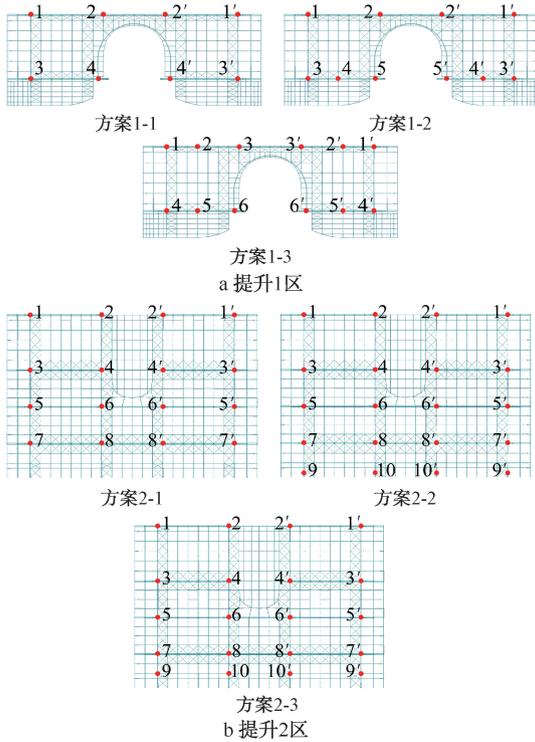


图3 各提升分区吊点布置方案

Fig. 3 Layout scheme of lifting points in each lifting zone

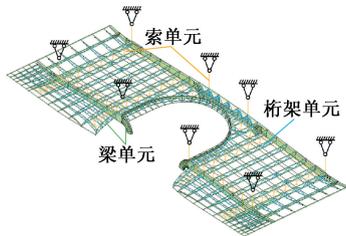


图4 屋盖结构模拟

Fig. 4 Roof structure simulation

### 2.2 提升1区提升分析

提升1区应力及竖向变形如图5所示。方案1-1由于吊点数量较少,各吊点提升荷载较大,因此吊点附近杆件拉应力较大,同时结构中间位置竖向位移较大,导致该位置杆件最大压应力较大。方案1-2,1-3分别为局部增加吊点方案,加密吊点对结构受力和变形影响较小,表明采用两吊点提升L形柱可保证结构稳定。与方案1-1相比,方案1-2,1-3最大竖向位移发生在结构最外侧,且位移有所增大。这是由于提升时屋盖类似于连续板结构,方案1-1中两吊点间竖向挠度可部分抵消外部悬臂段竖向挠度。局部加密吊点则会减小该抵消作用。提升1区整体自重适中,且吊点数量越少,施工机械投入越少,增加吊点数量对结构提升性能的影响较小,因此建议提升1区采用方案1-1。

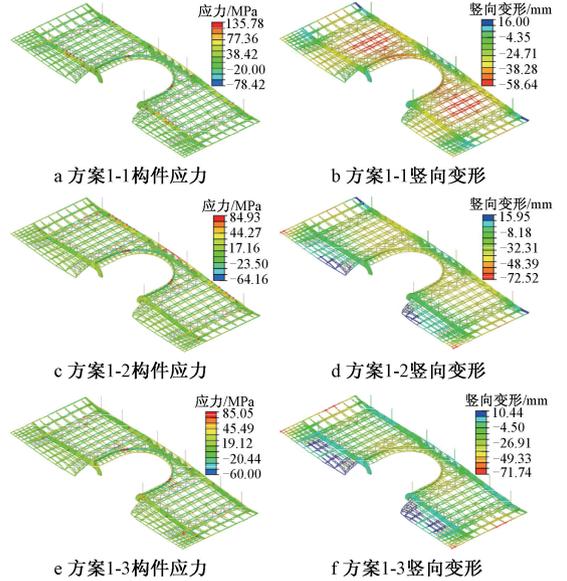


图5 提升1区应力及竖向变形

Fig. 5 Stress and vertical deformation in lifting zone 1

### 2.3 提升2区提升分析

提升2区应力及竖向变形如图6所示。方案2-1由于在垂轨向外端缺少提升吊点,该区域形成了较长悬臂段,因此外端部出现了较大竖向变形,同时导致悬臂段根部(图3b方案2-1中吊点7,8,7',8'所在轴线)杆件出现较大拉应力和压应力。方案2-2,2-3中垂轨向外端设置吊点,竖向变形及压应力最大值均有所减小。方案2-2吊点与斜腹杆相连,方案3的吊点与竖向腹杆相连,由于吊点7,8,7',8'所在轴线位置有较重L形柱,因此吊点7,8,7',8'竖向荷载较小,设置吊点对竖向位移影响较大但对应力水平影响较小。为避免结构竖向变形较大,提升2区采用方案2-2。

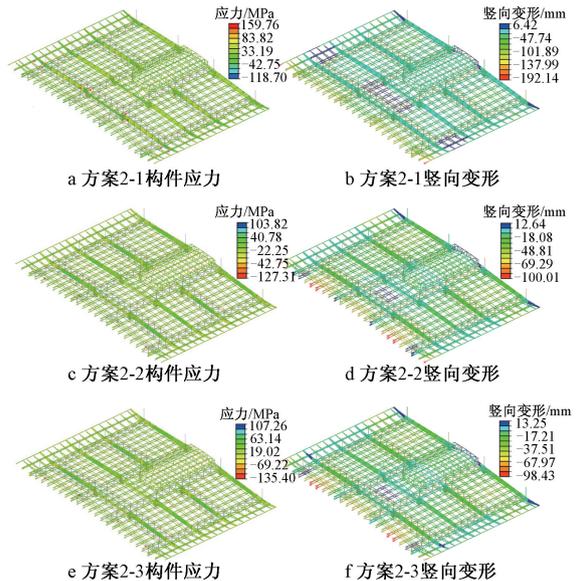


图6 提升2区应力及竖向变形

Fig. 6 Stress and vertical deformation in lifting zone 2

### 3 屋盖非同步提升效应分析

使用多台起重机进行结构提升时,由于机器性能差异、摩擦损失、操作误差及施工安全措施等因素,各吊点实际提升力与理论计算值间存在一定差异。大跨度异形钢屋盖桁架为高次超静定结构,当结构提升吊点间发生位移差时,易导致结构内力发生显著变化。

由于该大跨度钢桁架屋盖存在刚度和质量较大的L形柱,因此各吊点提升的不同步对结构内力和变形影响程度不同。为充分考虑不同非同步提升工况可能对结构产生的不利影响,分别对单吊点非同步提升、垂轨向隔点非同步提升、L形梁段非同步提升工况进行分析。考虑各提升区段结构形式相似,选择结构面积较大的提升2区进行非同步提升效应分析。

#### 3.1 单吊点非同步提升效应分析

单吊点非同步提升可能会导致局部点位提升过快或过慢,进而引发整体屋盖变形或杆件应力过大,影响提升施工安全。在单吊点非同步提升工况分析中,逐步选取1个提升吊点施加竖向20mm位移进行计算。提升2区为顺轨向对称结构,共20个吊点,因此单吊点非同步提升分析中主要考虑一侧10个吊点进行不同步提升,共10个工况。分析中不计入其他荷载(如附加自重、风荷载、施工荷载等)。计算分析得到各吊点提升反力及结构位移和应力分布,从而得到各吊点提升对结构性能的影响。单吊点非同步提升工况下屋盖竖向变形如图7所示。

单吊点非同步提升时,提升吊点附近杆件变形较大,由于内侧吊点(2,4,6,8)比外侧吊点(1,3,5,7)结构刚度大,当内侧吊点提升不同步时,其导致的结构变形影响范围和程度均大于提升外侧吊点的情况。该钢桁架屋盖结构包括普通桁架、L形梁段、弧形桁架4种结构形式。结构外侧吊点(1,3,5,7)在顺轨向边跨为无斜腹杆的L形柱,吊点间距较大,且最外侧为悬臂段;垂轨向为跨度较小的连续桁架。因此,外侧吊点起吊时主要引起吊点外侧

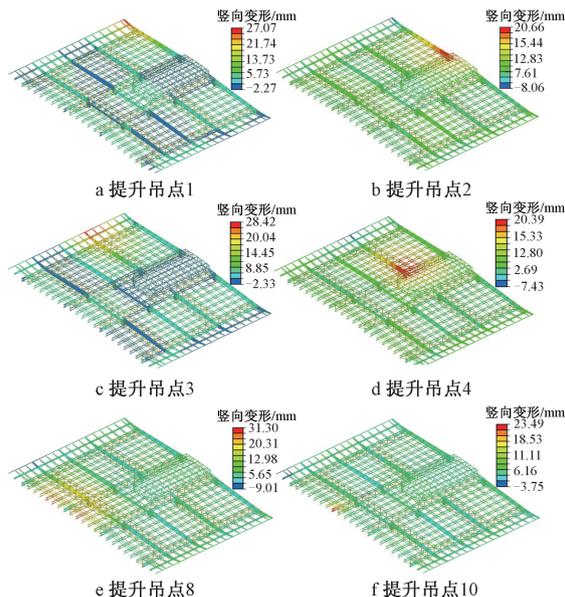


图7 单吊点非同步提升工况下屋盖竖向变形  
Fig. 7 Vertical deformation of roof under single lifting point asynchronous lifting condition

悬臂段上拱,对顺轨向屋盖内部变形影响有限,对垂轨向屋盖变形影响更大。

屋盖内侧吊点(2,4,6,8)在顺轨向位于L形梁段转角位置,并且垂轨向为跨度较小的连续桁架。因此,该部分点位提升时引起2个方向较大的杆件变形。吊点9,10位于起吊屋盖边缘,且主要为桁架构造,无刚度较大的L形梁段,因此单点提升主要引起端部桁架的局部上拱,对屋盖内部结构变形影响有限。

#### 3.2 垂轨向隔点非同步提升效应分析

垂轨向隔点非同步提升工况下屋盖变形如图8所示。与单吊点非同步提升工况类似,外侧吊点(1,3,5,7)非同步起吊时主要引起悬臂段变形增大。提升L形梁段转角段吊点时,由于L形梁刚度较大,会引起吊点附近较大范围屋盖结构变形。由于屋盖垂轨向为连续钢桁架构造,且吊点9,10位于边缘桁架,刚度相对较小。因此,同时提升吊点6,10所产生的边缘桁架变形比单独提升吊点10时桁架变形更大。

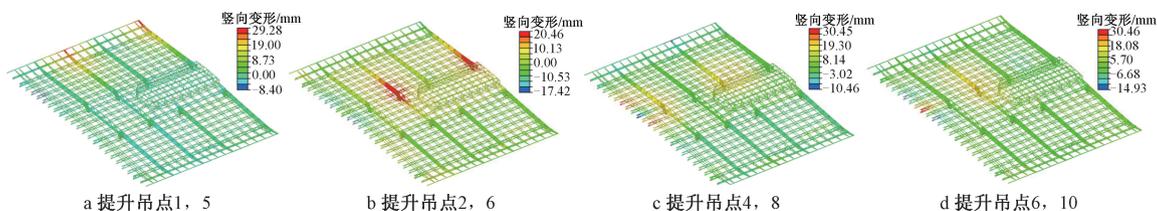


图8 垂轨向隔点非同步提升工况下屋盖竖向变形

Fig. 8 Vertical deformation of roof under interval point asynchronous lifting condition along the vertical orbital direction

### 3.3 L形梁段非同步提升效应分析

单根或多根 L 形梁段非同步提升时屋盖竖向变形如图 9 所示。由于 L 形梁段为主承载构件,其刚度较屋盖桁架大,因此单根 L 形梁段提升较快时,会引起梁段附近较大区域桁架变形,对垂轨向距离稍远的屋盖及对侧屋盖区域变形的影响较小。当相邻 2 根 L 形梁段同步提升较快时,可能引起梁段中间区域屋盖整体变形较大。

## 4 非同步提升安全性分析

### 4.1 非同步提升定量分析策略

在实际提升过程中,吊点位移差及非同步吊点位置均具有随机性,组合方式较多,难以准确找到最不利工况进行验算。针对这一问题,可基于单吊点非同步提升工况进行提升反力定量分析和不利工况组合,进而分析包络最不利工况。

由单一吊点及典型非同步提升工况分析可知,单独提升局部吊点时仅对吊点附近杆件变形和内力有影响,对远处吊点及杆件影响较小。且提升时屋盖结构杆件均处于弹性阶段。在小变形弹性情况下,可基于线性叠加法进行多吊点非同步提升的提升力计算:

$$K_{ij}\Delta_j + F_{id} = 0 \quad (1)$$

式中: $K_{ij}$  为在  $j$  处单独提升单位位移时在  $i$  处产生的反力; $\Delta_j$  为在  $j$  处提升的位移; $F_{id}$  为  $i$  处提升反力。

基于单吊点非同步提升分析,可得到各吊点单独

提升 20mm 时各提升吊点反力,如表 1 所示。与屋盖变形规律类似,单独提升吊点较近区域吊点反力表现较敏感,对距离较远屋盖区域吊点的影响减弱。提升吊点对屋盖影响范围与吊点所在区域刚度紧密相关,影响范围随着吊点区域结构刚度增大而扩大。

为验证所提方法有效性,将线性叠加法应用于同步提升吊点 5,6 工况。将表 1 中第 5,6 行数据进行叠加,即可得到所有吊点在吊点 5,6 非同步提升 20mm 时的吊点反力,同时在 MIDAS 中提取各吊点反力进行对比,如表 2 所示。由于提升引起的对侧屋盖变形和吊点反力变化较小,因此仅对比非同步提升吊点一侧屋盖吊点反力情况。结果证明,两种方法所得到的吊点反力误差很小,证明所提出的线性叠加法有效。

### 4.2 不利组合工况及非同步提升安全性分析

1) 以每种基本工况为基准,当某一吊点提升反力绝对值超过该提升吊点反力绝对值 10% 以上时,则将其纳入当前最不利组合工况。如吊点 5 反力为 319.1kN,吊点 3,5,6,7,9 反力绝对值均超过 31.91kN,则这些吊点叠加作为一种最不利组合工况。

2) 确定不利组合工况吊点后,取组合系数 1 或 -1 表示提升吊点偏移水平基准面的正位移或负位移,得到非同步提升吊点组合为 -3+5-6-7+9。

3) 计算各不利组合工况下结构受力,判别结构安全性。

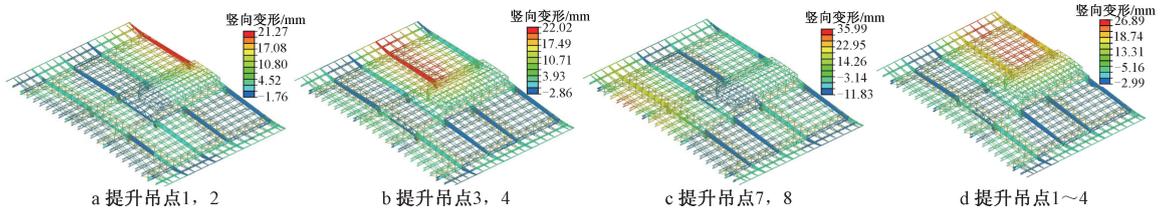


图 9 L 形梁段非同步提升工况下屋盖竖向变形

Fig. 9 Vertical deformation of roof under asynchronous lifting condition in L-shaped beam section

表 1 单点非同步提升工况下各提升吊点反力

Table 1 Reaction forces under single lifting point asynchronous lifting condition

提升吊点编号	吊点编号																			kN	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'		10'
1	29.6	-28.6	-45.2	0.4	29.1	1.7	-3.6	-0.1	0.6	0	-3	17.6	0.6	4.1	-0.6	-2.4	0.2	0.2	0	0	
2	-28.0	114.7	-1.5	-85.0	2.6	53.0	-0.4	-7.4	1.2	1.2	18.0	-66.5	3.6	-13.8	-1.4	10.0	0	-0.5	1.1	0.5	
3	-45.2	-1.3	178.7	-33.8	-172.6	-12.4	66.0	6.5	-10.0	-0.2	0.5	3.4	-2.6	19.3	-1.0	7.5	0.2	-2.1	0	0	
4	0.6	-82.9	-33.3	397.6	-9.3	-271.8	6.5	82.0	0.8	-7.4	4.2	-9.5	19.0	-75.8	4.8	-13.6	0.7	5.0	1.7	0.2	
5	29.1	2.6	-172.6	-9.4	319.1	-43.2	-214.8	-10.1	64.8	1.8	0.2	-1.2	-0.9	4.2	-1.6	29.5	-0.3	2.7	0	0.3	
6	2.0	63.0	-12.8	-273.4	-42.7	547.5	-13.4	-193.5	5.0	36.5	-1.8	7.0	7.6	-12.7	29.3	-151.4	2.7	8.0	0	0.8	
7	-3.6	-0.5	66.1	6.5	-214.8	-13.3	297.0	-51.3	-118.0	-1.4	0	0	0.2	0.7	0.3	2.7	-2.0	34.1	0	-0.7	
8	0	-8.8	6.5	80.8	-10.2	-194.8	-51.5	357.4	-4.9	-62.4	0.2	-1.3	-2.1	3.6	2.7	7.3	33.9	-157.9	1.3	0.3	
9	0.9	1.0	-10.0	-0.1	64.7	5.6	-117.6	-3.8	62.6	0.1	0.2	0.9	0	0.6	0	-0.2	0	1.8	0.8	-0.1	
10	0	1.2	-0.2	-7.5	1.8	36.4	-1.4	61.2	0.2	31.3	0.1	0.5	0	-0.1	0.1	0.8	-0.6	0.8	-0.1	0.8	

表2 吊点5,6非同步提升工况下各提升吊点反力对比

Table 2 Reaction force comparison under lifting points 5,6 asynchronous lifting condition

类别	吊点编号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
叠加法	31.1	65.6	-185.4	-282.8	276.4	504.3	-228.2	-203.6	69.8	38.3
MIDAS	30.7	64.6	-185.2	-284.2	275	505.9	-228.4	-204.9	70.0	38.2

该方式可有效降低非同步提升计算量,同时也可真实反映提升吊点位移差带来的不利影响,相较于采用经验定性方式选择不利组合更具科学性。各不利工况组合及对应杆件最大应力比如表3所示。由表3可知,各不利工况下结构最大应力比均<1,说明结构提升过程有足够的安全度。

表3 非同步提升不利组合工况及最大应力比

Table 3 Unfavorable combination of asynchronous lifting and the maximum stress ratios

序号	组合工况	最大应力比	序号	组合工况	最大应力比
1	1-2-3+5-7	0.29	6	-4+6-8	0.46
2	-1+2-4+6	0.28	7	3-5+7-8-9	0.35
3	-1+3-4-5+7	0.30	8	4-6-7+8-10	0.39
4	-2+4-6+8	0.47	9	-3+5-7+9	0.35
5	-3+5-6-7+9	0.35	10	-4+6+8+10	0.54

## 5 结语

1) 常益长高速铁路常德站大跨度异形钢桁架屋盖为由异形框架支承的空间钢桁架结构,存在结构刚度不均匀且现场施工场地受限等特点。整体屋盖采用分区多点提升施工,施工中提升方案选择及不同步提升效应分析和安全控制为施工中的难点。施工前,需根据现场机械选择及结构受力状态合理选择提升吊点方案。吊点布置应对称,并使整体结构受力均匀,避免局部变形过大。

2) 围绕不同提升分区进行吊点方案设计,并基于结构受力和变形优选合理吊点方案。由于该屋盖在异形框架梁附近的结构刚度较大,因此在提升过程中,其影响范围也相对较大。外侧吊点起吊时主要引起吊点外侧悬臂段上拱,对顺轨向屋盖内部变形的影响有限。

3) 针对大跨度屋盖在多吊点非同步提升过程中遇到的问题,提出了一种定量分析方法,该方法基于单吊点起吊效应评估多吊点非同步提升时的不利工况。可通过查表方式快速确定不同吊点非同步起吊时产生的影响幅度和不利工况。

### 参考文献:

[1] 崔嘉慧,王强,邵冰,等. 某铁路站房异形屋盖钢结构施工关键技术[J]. 建筑钢结构进展,2022,24(10):80-88.  
CUI J H, WANG Q, SHAO B, et al. Research on the key technology of steel structure construction of special-shaped roof of

a railway station [J]. Progress in steel building structures, 2022, 24(10): 80-88.

- [2] 殷静. 某铁路站房大跨屋盖钢结构设计与分析[J]. 铁道建筑技术,2019(3):133-136,148.  
YIN J. Design and analysis of large-span roof steel structure of a railway station [J]. Railway construction technology, 2019(3): 133-136,148.
- [3] 钱少波. 安庆西站站房屋盖钢桁架提升施工关键技术[J]. 建筑科技,2022,6(5):85-88.  
QIAN S B. Key technology of steel truss lifting construction of building roof in Anqing West Railway Station [J]. Building technology, 2022,6(5): 85-88.
- [4] 蔡蕾,张翔宇,苏芳洲,等. 郑州南站站房屋盖钢桁架提升施工技术分析[J]. 施工技术(中英文),2022,51(6):143-146.  
CAI L, ZHANG X Y, SU F Z, et al. Construction technology analysis of steel truss lifting for building roof of Zhengzhou South Railway Station [J]. Construction technology,2022,51(6): 143-146.
- [5] 王宇安,孙守吉,黄乐洋. 某会展中心登录厅大跨度钢屋盖施工技术研究[J]. 施工技术(中英文),2024,53(2):32-37.  
WANG Y A, SUN S J, HUANG L Y. Research on construction technology of large-span steel roof of an exhibition center login hall [J]. Construction technology, 2024,53(2): 32-37.
- [6] 任斌,王晓颖,冯亦军. BIM技术在北京大兴国际机场东航维修机库中的应用[J]. 建筑科学,2019,35(11):133-137.  
REN B, WANG X Y, FENG Y J. Application of BIM technology in the maintenance hangar of China Eastern Airlines in Beijing Daxing International Airport [J]. Building science, 2019, 35(11): 133-137.
- [7] 柏海,李红现,曹海良,等. 大型机场航站楼钢结构屋盖提升架与吊点模拟分析[J]. 施工技术(中英文),2023,52(8):10-15.  
BAI H, LI H X, CAO H L, et al. Simulation analysis of lifting frame and lifting point of steel structure roof of large airport terminal [J]. Construction technology, 2023, 52(8): 10-15.
- [8] 孙建超,孙宁,高杰,等. 海口国际免税城项目结构设计[J]. 建筑科学,2024,40(1):13-22.  
SUN J C, SUN N, GAO J, et al. Structural design of Haikou International Duty-free City project [J]. Building science, 2024,40(1):13-22.
- [9] 丁坚龙,刘粟雨,章一瑜,等. 某交通中心钢屋盖施工方案比选及施工关键技术[J]. 施工技术(中英文),2024,53(2):38-42.  
DING J L, LIU S Y, ZHANG Y Y, et al. Comparison and selection of construction schemes and key construction technologies for steel roof of a traffic center [J]. Construction technology,2024,53(2): 38-42.