

西宁机场新建 T3 航站楼中央 C 区网架施工关键技术

陈阿彬¹, 赵星辰^{1*}, 张皓²

(1. 中建二局第一建筑工程有限公司, 北京 100176; 2. 中国建筑第二工程局有限公司, 北京 100160)

摘要: 钢网架结构因其跨度大、自重轻等优势被广泛应用于大型公共建筑。西宁机场新建 T3 航站楼中央 C 区网架具有跨度大、高差大、自重大、悬挑长等特点, 具有较高的施工难度。针对施工难题, 该项目创新地采用“多阶扩展累积提升、虚拟轴+竖向旋转提升”组合提升技术, 具有高效、精准、安全等优点。施工前通过 SAP2000 软件建模分析, 获取结构应力、变形等关键数据, 为施工方案提供可靠支撑。多阶扩展累积提升技术通过三级空中停滞、先高阶后低阶提升的方法, 解决了错层施工难题, 大幅减小高空作业与胎架用量, 并缩短工期; 虚拟轴技术通过方程推导确定最优旋转轴, 突破传统技术局限, 实现双曲面网架精准安装。该技术可为同类体育馆、会展中心等大型公共建筑钢网架施工提供可靠参考, 推广价值显著。

关键词: 航站楼; 钢网架结构; 累积提升; 虚拟轴; 竖向旋转提升

中图分类号: TU758.11

文献标志码: A

文章编号: 1671-9379(2026)02-0097-08

DOI: 10.13969/j.jzgjz.20241129001

Key Technology of Grid Structure Construction in Central Zone C of New Terminal 3 of Xining Airport

CHEN Abin¹, ZHAO Xingchen^{1*}, ZHANG Hao²

(1. The First Construction Engineering Company Ltd. of China Construction Second Engineering Bureau, Beijing 100176, China; 2. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Beijing 100160, China)

*Corresponding author: 196827180@qq.com

Abstract: Steel grid structures are widely employed in large-scale public buildings owing to their advantages of large span and low self-weight. The steel grid structure in central zone C of the newly built terminal 3 (T3) building at Xining Airport has the characteristics of large span, significant elevation difference, heavy self-weight, and long cantilever, which poses considerable construction challenges. Addressing construction challenges, an innovative combined lifting technology integrating "multi-stage expansion cumulative lifting" and "virtual axis + vertical rotational lifting" was adopted, which boasts multiple advantages including high efficiency, precision, and safety. Prior to construction, SAP2000 software was utilized for modeling and analysis to obtain key data such as structural stress and deformation, thereby providing reliable support for the construction scheme. The multi-stage expansion cumulative lifting technology, through three-level aerial stagnation and lifting in the order of high stage first and low stage second, resolves the problem of staggered-floor construction, substantially reduces high-altitude operations and the usage of temporary support frames, and shortens the construction period. The virtual axis technology, by deriving equations to determine the optimal rotation axis, breaks through the limitations of traditional technologies and achieves precise installation of the hyperboloid grid. This technology provides reliable reference for the construction of steel grid structures in large-scale public buildings such as stadiums and exhibition centers, and has significant promotional value.

收稿日期: 2024-11-29

作者简介:

陈阿彬(1994—), 男, 硕士, 中级工程师, 主要从事钢结构施工技术与质量控制方面的研究。E-mail: 755726528@qq.com。

通信作者:

赵星辰(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事钢结构施工技术与质量控制方面的研究。E-mail: 196827180@qq.com。

Keywords: terminal building; steel gird structure; cumulative lifting; virtual axis; vertical rotation lifting

大跨度空间网架结构具有造型美观、结构受力均匀、绿色环保等优势,在体育馆、机场、高铁站等大型公共建筑中被广泛应用^[1]。液压提升技术^[2]是目前网架安装的主流方法。李瑞川等^[3]详细阐述了液压提升系统的功效、性能及其未来发展前景。然而,大跨空间网架在安装过程中常因场地条件受限而进行分块提升、空中对接。李红现等^[4]对网架分块提升进行了深入研究,明确了分块提升的技术路线。由于空间网架往往并非常规几何形态,其重心不易确定,给提升施工带来挑战。张明亮等^[5]对电脑数控液压提升技术进行研究,提出对网架竖向旋转提升过程中的重心变化进行联调联控,从而能够保障提升安全。网架提升前为确保施工安全,需要进行严格的安全验算,选择合理的提升支点。周观根等^[6]对液压提升器的最大提升力进行安全验算,为提升器和提升架的选择提供科学依据。同时,通过对网架应力进行分析来确定最大应力的位置,并采取相应的安全措施。夏志远等^[7]对空间屋盖桁架进行应力分析,使得钢结构屋盖在提升过程中的应力变化及重心位置与模拟结果相吻合。通过在提升过程中对网架进行实时监测,来验证空间位置、坐标等与模拟结果是否一致,该结果的一致性确保施工安全的关键。罗创等^[8]通过研究网架监测技术,解决了大跨度网架施工过程中的监测难题。范立军等^[9]通过对大跨钢结构进行提升数值模拟和施工过程监测,进一步保障了施工安全。

目前整体提升和分块吊装等网架安装技术相对成熟,但其局限性也逐渐显现。主要原因是大量次构件需高空散装,施工效率低、措施量大、施工成本大幅增加,特别是对于跨度大于36 m的曲面网架,采用这些技术施工难度更大。

本文通过运用BIM、SAP2000软件进行建模与应力分析,对西宁机场新建T3航站楼屋盖网架提升过程进行模拟,旨在解决复杂错层、悬挑结构、大跨度曲面结构网架提升施工中的难题,并解决提升过程中因网架重心位置变化影响结构安全的施工技术难题。模拟得到的结构应力、变形量、空间位置坐标等关键数据,作为合理布置提升架、决定三阶式网架的提升顺序、进行网架重心调整、提升过程监测对比的参考依据。同时,采用全站仪、三维激光扫描仪,监测网架提升过程中的空间位置,与软件计算得出的阈值进行对比,指导现场施工。最终成功实现单跨54 m的大跨度空间曲面网架整体竖向旋转提升,顺利完成三阶式网架的分块提升及其空中拼接后的整体提升。

1 工程概况

西宁机场T3航站楼作为青藏高原高海拔机场建设的标志性工程,其海拔达2 162 m,其中央C区屋盖采用创新型大跨度双曲空间网架结构,主体结构投影面积积达95 000 m²。该结构以正交正放与正四角锥组合体系构建,南北向跨度268 m,东西向延伸376 m,最大单体跨度54 m,悬挑长度达24 m,总用钢量21 000 t,多项设计参数在国内机场建设中具有突破性意义。

西宁机场新建T3航站楼中央C区的网架结构设计在以下维度处于国内领先水平:

设计复杂度:双曲分阶网架设计复杂度超过多数平原机场,与北京大兴机场、深圳宝安机场等相比更具挑战性。

施工难度:动态校准与多级液压提升技术填补高原复杂网架施工的空白,技术难度高于拉萨、九寨黄龙等高原机场。

高原适应性:在成本与工期的双重约束下,实现技术突破,综合管理水平居行业前列。

T3航站楼网架由中央C区、三个指廊区和西连廊区组成,其航站楼整体效果及网架区域划分见图1、图2。



图1 航站楼俯视效果图

Fig. 1 Top view rendering of the terminal building

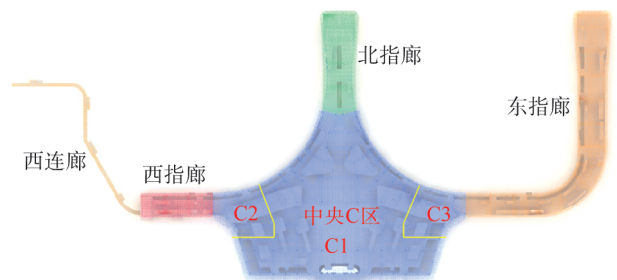


图2 T3航站楼网架组成

Fig. 2 Composition of T3 Terminal

综合考虑该工程网架结构形式特点、现场施工场地条件及工期要求等因素,涉及到网架的整体稳定性、变形

量控制以及施工效率等多个方面,采用多阶扩展累积提升技术、虚拟轴+竖向旋转提升技术进行施工。

2 多阶扩展累积提升技术

2.1 结构特点分析

中央C2区屋盖网架结构为相对独立的结构单元,是较为罕见的三级台阶式网架设计,如图3所示。各级网架之间通过斜杆连接,最大高差为3.5 m;每阶网架为双曲造型,面积约3 000 m²。若采用传统的散拼、分块吊装技术,需要按阶分层施工,施工措施量、高空补档量大;同时需设置大量的支撑胎架,补档精度难以保证。为此,以充分利用现有柱网并考虑三阶网架整体施工的思路来研究设计施工方案。

2.2 施工方案设计

通过采用SAP2000软件建立整体模型,分析柱网和



图3 三级台阶式网架

Fig. 3 Three-level stepped grid frame

屋盖整体结构的受力情况,模拟提升过程中构件应力及位移,通过对薄弱杆件的替换形成正交正放网架最优受力结构,考虑提升过程重心偏移的情况,在充分利用现有柱网的基础上增加临时支撑胎架,利用计算反力的分析结果确定最终的提升支架、吊点形式。结合累积提升技术,各阶网架按照设计方案分三个高度进行空中停滞,最终形成多阶扩展累积提升技术,从而解决多阶网架错层施工的难题。应力计算模型见图4。

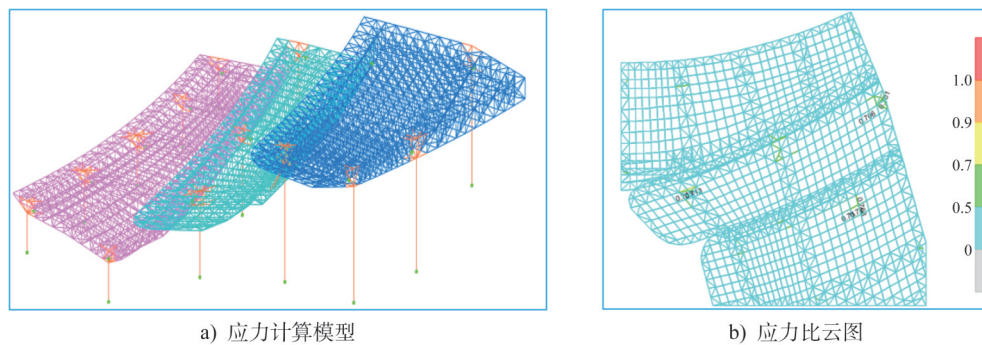


图4 应力计算模型及应力比云图

Fig. 4 Stress calculation model and contour of stress ratio

建模完成后,通过运行计算过程得出相关数据,如图5所示,从应力及挠度变化图中可以看到网架结构最大竖向变形 U_3 为56.3 mm,小于 $l/200=18\ 300/200=91.5$ mm,其中 l 为网架最大悬挑长度,满足提升要求。从应力比云图中可以看出网架杆件最大应力比为0.77,小于0.80,且绝大部分杆件应力比小于0.50,结构强度和稳定性满足提升要求。

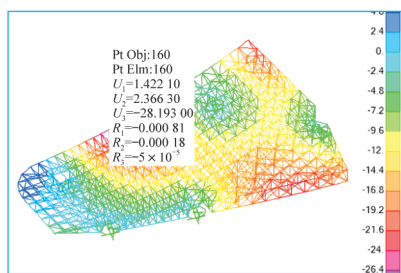
2.3 实际应用效果

根据每阶网架高度及斜杆补档所需空间,在标高6.500 m、11.300 m、16.300 m处设置三个空中停滞点,整体按照先高阶后低阶的顺序进行提升。25.000~29.500 m标高段网架为第1阶,整体拼装完成后锁定并进行提升,停滞点标高设置为6.500 m。18.500~22.200 m标高段网架为第2阶,与第1阶网架通过斜杆、铸钢件整体锁定,调整各提升点后提升,停滞点标高设置为11.300 m。13.700~16.800 m标高段网架为第3阶,同理经过与第2

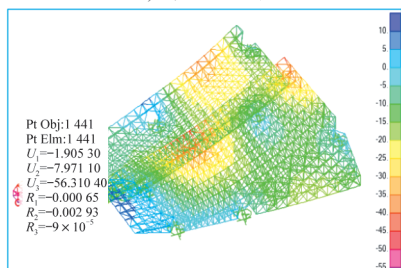
阶网架连接后提升,停滞点标高设置为16.300 m,即三阶网架整体就位。

地面拼装完成后的网架在提升时,网架提升液压泵压力根据网架提升设计总荷载对应的液压泵额定压力依序按20%、40%、60%、80%、100%逐步加载使结构离地约20 cm,停留12 h以上,确认结构状态正常后,继续提升作业,在提升到停滞点时暂停,当各吊点未处于同一标高时进行单点微调,确保各吊点在同一标高。提升过程如图6所示。

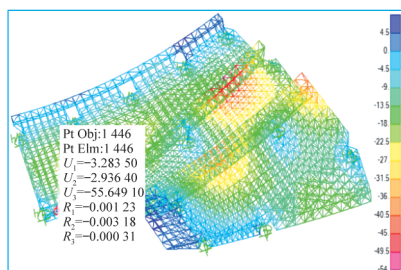
此技术各阶网架均在楼面进行整体拼装,最大限度的减少了高空作业量,降低作业人员的安全风险,减少支撑胎架设置的措施量;网架的拼装精度和焊接质量可控,避免杆件高空施工,精准控制网架空中姿态,杆件补档精度高。同时,网架防腐、屋面及装饰工程可在提升单元拼装完成后穿插施工,缩短施工周期,降低施工成本。



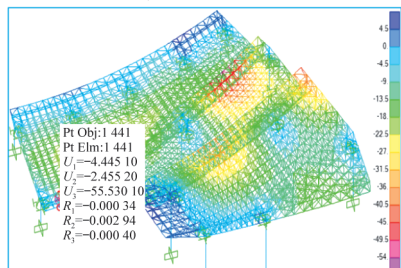
a) 第一阶网架



b) 第二阶网架



c) 第三阶网架



d) 整体网架

注:图a)中Pt Obj(Point Object)指独立的节点对象,是结构中单独定义的节点,后面数字160为编号第160号的节点对象;Pt Elm(Point Element)指单元关联的节点,是某一构件单元(如网架杆件)的端部节点,后跟数字160为第160号单元节点; U_1 、 U_2 、 U_3 为节点在空间 x 、 y 、 z 三个方向的位移,负号代表与设定坐标系方向相反,单位为mm; R_1 、 R_2 、 R_3 为当前标注的160号节点在 x 、 y 、 z 三个方向的应力,单位为Pa;图a)中最右侧一列数据代表图名中的位移变化范围,上述解释也适用于图11、图12。

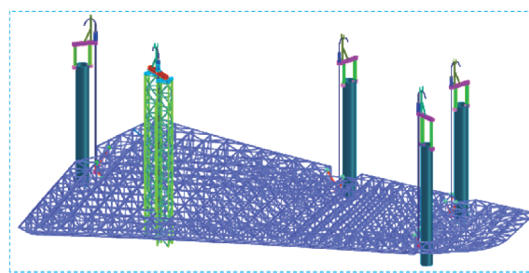
图5 多阶扩展累积提升施工中位移变化(单位:mm)

Fig. 5 Displacement during multi-stage extended cumulative lifting construction (unit:mm)

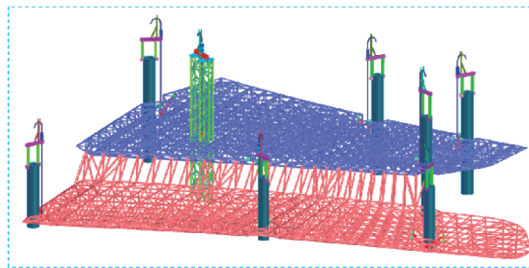
3 虚拟轴+竖向旋转提升技术

3.1 结构特点分析

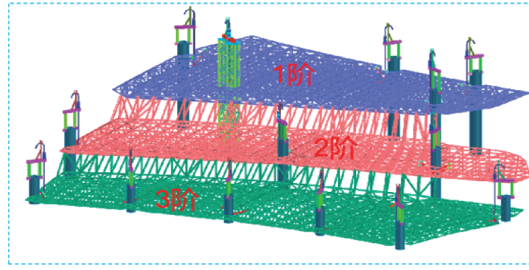
中央C1区网架为沿中轴线对称的双曲面屋盖结构,如图7、图8所示,最大跨度54 m,最大标高43.400 m,最大分区提升重量约1 200 t。由于外观造型为双曲面,若



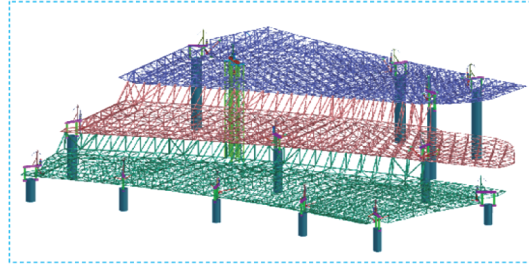
a) 第一阶网架拼装、提升



b) 第二阶网架拼装、提升



c) 第三阶网架拼装、提升



d) 整体提升就位

图6 提升架吊点及提升过程

Fig. 6 Lifting points and lifting process

采用分块吊装技术,单块网架的最低点和最高点不在同一平面。传统分块吊装技术只能进行平板式网架的竖向提升,无法进行双曲面网架的安装施工。

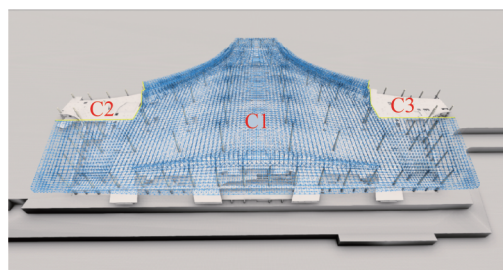


图7 中央C1区网架俯视图

Fig. 7 Top view of the central area C1 grid frame

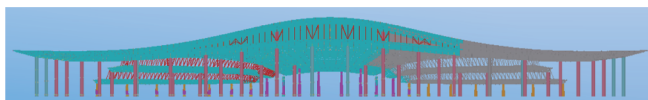


图8 中央C区网架立面示意图

Fig. 8 Elevation of the central area C grid frame

3.2 施工方案设计

根据网架的空间曲面结构形式,研发了“虚拟轴+竖向旋转”提升技术,使网架在提升过程中旋转至设计位形。由于网架在提升时会产生重心偏移,需要提前模拟并选择虚拟轴的最优位置。现场提升时,通过调整倒链实现网架旋转,旋转定位后采用刚性(钢架管)+柔性(钢绞线)支撑临时加固。不同标高网架连接成整体后,整体提升至设计标高。

1) 旋转提升技术流程

旋转提升原理为通过提升器行程控制网架旋转,在提升的过程中旋转网架(图9),最终达到设计位形。

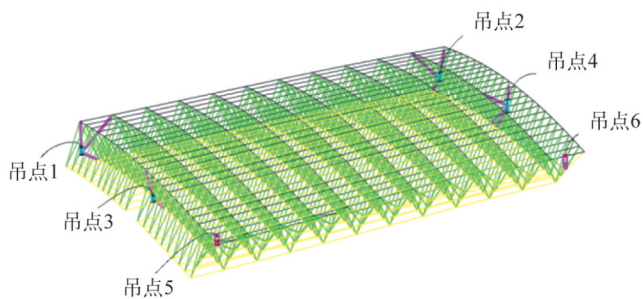


图9 旋转提升吊点

Fig. 9 Rotational lifting points

(1) 计算拼装单元重心,确定虚拟轴(旋转轴);

通过BIM模型计算网架重心坐标,根据施工设备的布置和吊点的位置,确定可能的虚拟轴候选位置。对候选的虚拟轴进行力学分析,选择最优的虚拟轴位置。提升过程中重心的位置不断变化,所以虚拟轴也变换位置,通过调整提升器实现提升网架绕轴旋转。

虚拟轴的方向与结构设计状态的下弦拟合平面(记为平面M)与地面的交线方向一致,所述的平面M与地面表达式如公式(1)所示:

$$\begin{cases} Ax + By + C = z \\ z = 0 \end{cases} \quad (1)$$

由此平面M与地面的表达式获得虚拟轴的方向向量,方向向量 \vec{R} 的表达式如式(2):

$$\vec{R} = (B, -A, 0) \quad (2)$$

代入拼装状态下的结构重心坐标 (x_g, y_g, z_g) ,可得虚拟轴表达式(3):

$$\begin{cases} \frac{x - x_g}{B} = \frac{y - y_g}{-A} \\ z = z_g \end{cases} \quad (3)$$

式中: $A、B、C$ 为平面方程系数; $x、y、z$ 为三维坐标变量; \vec{R} 为虚拟轴方向向量; $x_g、y_g、z_g$ 为结构重心坐标。

(2) 将拼装单元绕虚拟轴旋转至接近水平状态,即为拼装状态;

(3) 根据拼装状态拼装网架;

(4) 将网架提升至使其最低点离胎架高1500mm的位置(确保旋转过程中低点网架不会触碰拼装胎架);

(5) 保持低点提升点不动,缓慢提升高点提升点直至达到设计状态;

(6) 同步提升结构至设计标高,完成提升作业。

该工程旋转提升拼装态至设计状态旋转角度约为 9° ,钢绞线倾斜角约为 1.4° 。若倾斜角度过大会造成提升支架水平分力较大,影响提升设备的提升安全。此时启动提升器液压系统,通过控制阀调偏转侧液压缸行程,观察激光仪数据,直至偏转角度 $\leq 1.5^\circ$,旋转提升示意如图10所示。

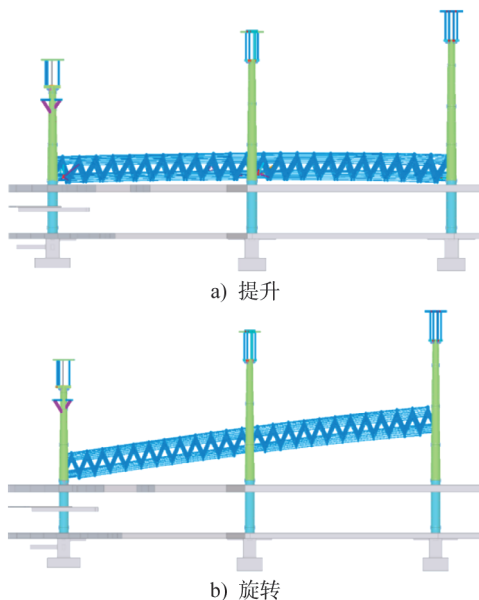


图10 网架旋转提升示意图

Fig. 10 Schematic diagram of grid rotation lifting

2) 旋转提升施工模拟

通过旋转提升施工模拟发现网架提升过程中,网架最大竖向位移的位置在中轴线中部附近,最大竖向位移值 $110.2 \text{ mm} < D/400 = 54\ 000/400 = 135 \text{ mm}$, D 为吊点跨度,满足提升要求。网架最大应力比0.78,小于0.80,结构强度和稳定性满足提升要求,结构提升竖向位移云图见图11。

如图12所示,采用补档工艺后网架的整体位移减

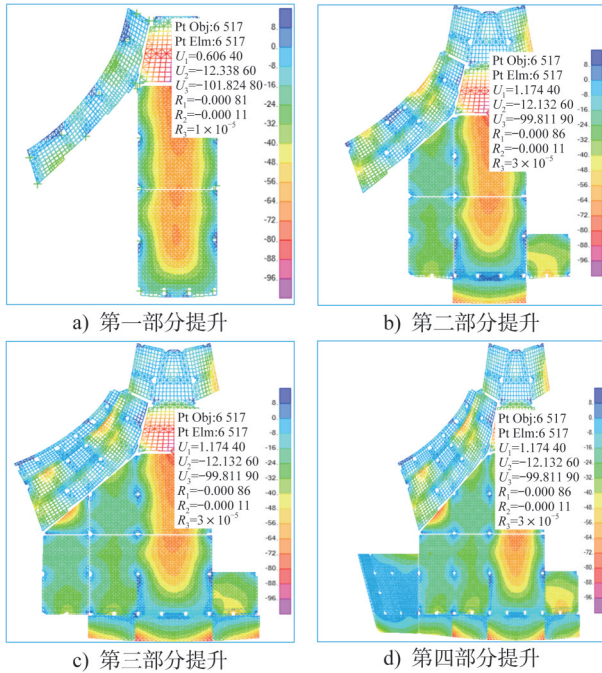


图 11 结构提升竖向位移(单位: mm)

Fig. 11 Displacement during structural lifting (unit: mm)

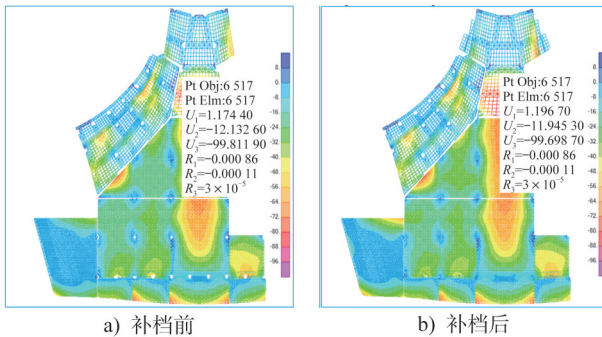


图 12 补档前后位移(单位: mm)

Fig. 12 Displacement before and after documentation supplement (unit: mm)

小,从而提高了网架的稳定性和整体性。通过实施网架补档措施,结构位移得到有效控制。采用补档工艺前最大位移为 99.81 mm,采用补档工艺后最大位移降至 99.69 mm,降低 0.12 mm(降幅约 0.12%),表明采用补档工艺优化了结构受力性能,使应力分布更均匀,提升了结构的整体刚度。

3.3 实际应用效果

根据网架施工部署需要划分施工段,分段提升。各分块如图 13 所示,提升流程如下:

第一阶段:首先将分块 1 原位拼装后平动提升,再进行分块 1 与分块 2 阶梯连接杆件补档。

第二阶段:原位拼装分块 3、4、6、7,提升过程中进行补档。提升前需要确定虚拟轴,通过公式计算确定重心后,进行竖向旋转提升。在提升的过程中因为重心的偏

移,需要调整提升器,启动提升器液压系统,通过控制阀微调偏转侧液压缸行程来调整提升器。

第三阶段:将分块 1、2、3、4、6、7 竖向提升,过程中进行分块 5 与分块 8 之间杆件补档,形成整体屋盖网架,最后整体提升就位。

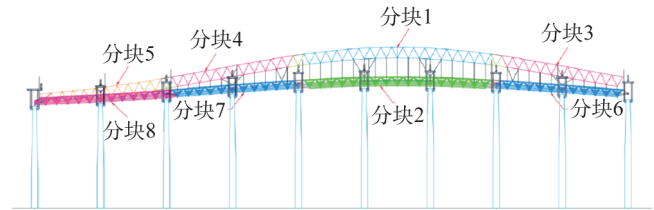


图 13 网架整体提升就位

Fig. 13 The overall lifting and positioning of the grid frame

本文中采用的施工技术,可缩短屋盖网架的施工工期、减少措施量和机械使用量,同时能够保证施工质量、提高施工安全性、降低成本。就经济效益而言,项目技术创效 796.36 万元,节约费用合计 127.80 万元。

4 施工过程检查与监测

4.1 网架提升过程中检查内容

(1) 液压提升系统定时检查;

① 提升承重系统检查

提升承重系统是提升工程的关键部件,务必做到全面检查:锚具情况(脱锚情况,锚片及其松锚螺钉);导向架中钢绞线穿出顺畅度;主油缸及上、下锚具油缸情况(是否有泄漏及其它异常情况);缸头阀块、软管及管接头连接情况;各种传感器及其导线使用情况。

② 液压动力系统检查

系统压力变化情况;油路泄漏情况;油温变化情况;油泵、电机、电磁阀线圈温度变化情况;系统噪声情况。

(2) 上吊点提升平台结构工作情况;

(3) 提升钢绞线的垂直度(应控制在 $\pm 1^\circ$ 以内);

(4) 液压提升系统设备的提升同步性(提升单元吊点不同步位移应控制在 20 mm 以内);

(5) 提升支架的偏移情况(应控制在 10 mm 以内);

(6) 柱顶偏差的偏移情况(± 3.0 mm)。

4.2 网架提升过程中监测内容

1) 网架变形监测

(1) 正式提升前需先对网架进行试提升,在网架提升至离地 3 m 后静止并保持 12~24 h,观察网架重点监测点的挠度值(图 14):如网架的最终挠度值未超过施工验算的最大挠度值,或者稍大于施工验算的最大挠度但未

超过网架图纸规定最大计算挠度值,则可继续提升。同时将观察到的挠度值与 $L/250$ (L 为网架跨度)及挠度设计值进行对比,如超过相应设计值的1.15倍,立即停止提升,待解决问题后方可继续提升。

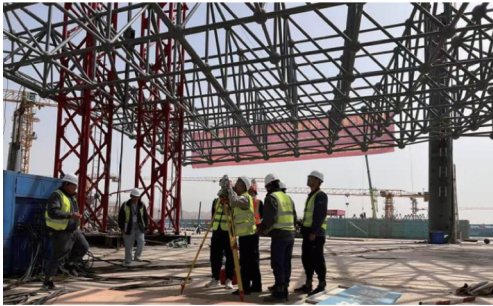


图14 现场监测

Fig. 14 On-site monitoring

(2) 采用空间三维精准测量定位技术,在网架整体就位阶段实时定位监测,保证网架与设计模型精准匹配。网架提升距设计高度250 mm时,提升设备暂停、锁定,保持结构在空中的姿态稳定不变,通过提前在设置的观测点处架设的全站仪进行观测,逐一对提升网架上的反光片监测点进行测量,并利用数据分析表进行分析,高度误差整体控制在 ± 5 mm的范围。

2) 提升风速监测

网架结构提升前,使用现场风速仪测定提升施工前3天的风速变化情况,为网架提升施工风速环境提供参考依据,确定网架的提升时间。网架提升施工时间计划为每日7点~18点,此时间段风速及温度变化最小,当风速大于5级时,应停止提升施工或延期提升施工。

3) 提升同步控制监测

用于该工程的液压同步提升系统设备采用CAN总线控制,并采用从主控制器到液压提升器的三级控制方式,实现了对系统中每一个液压提升器的独立实时监控和调整。

5 结论

西宁机场T3航站楼钢网架结构造型复杂、施工难度大。本文创新地提出了“多阶扩展累积提升、虚拟轴+竖向旋转提升”的施工技术,突破了传统的单一提升模式限制;结合网架模块化拼装技术,实现了网架结构的精准、安全、高效安装。

西宁机场T3航站楼钢结构网架提升技术克服了多个环节中的技术难点,国内首次在高原机场工程中使用该技术,其降本增效效果显著。该技术不仅可为同类工程提供参考,还可广泛应用于体育馆、会展中心等其他大型公共建筑领域,具有广阔的应用前景和推广价值。

参考文献:

- [1] 杨付增, 贾子光, 任亮, 等. 郑州奥体中心体育馆网架结构施工监测[J]. 施工技术, 2020, 49(2): 25-29. DOI: 10.7672/sgjs2020020025.
YANG Fuzeng, JIA Ziguang, REN Liang, et al. Construction monitoring of grid structure in Zhengzhou Olympic sports center gymnasium [J]. Construction Technology, 2020, 49(2): 25-29. DOI: 10.7672/sgjs2020020025. (in Chinese)
- [2] 曾令权, 郭正兴, 罗斌, 等. 潮汕机场航站楼钢屋盖整体提升技术[J]. 施工技术, 2011, 40(1): 70-72.
ZENG Lingquan, GUO Zhengxing, LUO Bin, et al. Integral lifting technology of steel roof in Chaoshan Airport terminal [J]. Construction Technology, 2011, 40(1): 70-72. (in Chinese)
- [3] 李瑞川, 袁文涛, 丁馨锐, 等. 闭环控制下液压同步系统研究与发展综述[J]. 现代制造工程, 2023(2): 137-147. DOI: 10.16731/j.cnki.1671-3133.2023.02.019.
LI Ruichuan, YUAN Wentao, DING Xinkai, et al. Review of research and development of hydraulic synchronization system under closed-loop control [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2023(2): 137-147. DOI: 10.16731/j.cnki.1671-3133.2023.02.019. (in Chinese)
- [4] 李红现, 许向阳, 于浩, 等. 大型机场钢结构屋盖北连接体拼装分块施工技术[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(14): 23-30. DOI: 10.7672/sgjs2023140023.
LI Hongxian, XU Xiangyang, YU Hao, et al. Construction technology of large airport steel structure roof north connector assembly block [J]. Construction Technology, 2023, 52(14): 23-30. DOI: 10.7672/sgjs2023140023. (in Chinese)
- [5] 张明亮, 雷周, 刘维, 等. 液压同步整体提升技术在演播厅钢结构屋盖施工中的应用[J]. 施工技术, 2020, 49(14): 22-26. DOI: 10.7672/sgjs2020140022.
ZHANG Mingliang, LEI Zhou, LIU Wei, et al. Application of hydraulic synchronous integral lifting technology in construction of steel structure roof of studio [J]. Construction Technology, 2020, 49(14): 22-26. DOI: 10.7672/sgjs2020140022. (in Chinese)
- [6] 周观根, 谢董恩, 游桂模, 等. 杭州奥体中心亚运三馆体育馆游泳馆施工关键技术[J]. 钢结构(中英文), 2020, 35(10): 1-8. DOI: 10.13206/j.gjgS20060303.
ZHOU Guangen, XIE Dongen, YOU Guimo, et al. Key construction technology for gymnasium and natatorium of Hangzhou Olympic sports center [J]. Steel Construction (Chinese & English), 2020, 35(10): 1-8. DOI: 10.13206/j.gjgS20060303. (in Chinese)
- [7] 夏志远, 邓星河, 唐柏鉴, 等. 大跨屋盖空间桁架施工方案及应力监控分析[J]. 空间结构, 2023, 29(3): 68-75. DOI: 10.13849/j.issn.1006-6578.2023.03.068.
XIA Zhiyuan, DENG Xinghe, TANG Baijian, et al.

- Analysis of construction scheme and stress monitoring of a long-span roof spatial truss [J]. *Spatial Structures*, 2023, 29(3): 68-75. DOI:10.13849/j.issn.1006-6578.2023.03.068. (in Chinese)
- [8] 罗浩, 刘创, 周飞, 等. 大跨度预应力网架监测施工技术[J]. *施工技术(中英文)*, 2022, 51(14): 83-86. DOI:10.7672/sgjs2022140083.
- LUO Hao, LIU Chuang, ZHOU Fei, et al. Monitoring construction technology of large-span prestressed space truss [J]. *Construction Technology*, 2022, 51(14): 83-86. DOI:10.7672/sgjs2022140083. (in Chinese)
- [9] 范立军, 稂学斌, 范春生, 等. 高铁站房大跨度屋盖钢结构整体提升数值模拟及施工安全监测[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2023, 62(4): 719-724. DOI: 10.6043/j.issn.0438-0479.202204021.
- FAN Lijun, LANG Xuebin, FAN Chunsheng, et al. Simulation and construction safety monitoring of station building with long-span steel roof during integral lifting [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2023, 62(4): 719-724. DOI:10.6043/j.issn.0438-0479.202204021. (in Chinese)