

基于建筑钢桁架提升施工技术及质量控制的探讨

尹俊杰

上海浦东唐城投资发展有限公司，上海

收稿日期：2024年5月24日；录用日期：2024年6月13日；发布日期：2024年6月21日

摘要

近年来，随着我国经济、技术的不断发展，钢结构建筑依靠自重轻、强度高、空间布局灵活等优点，迅速普及并得到了广泛应用。在钢结构建筑施工过程中，吊装提升是非常重要的环节，必须根据现场实际条件，选择相应的吊装技术，尤其是要做好质量控制及安全控制。本文以某建筑钢桁架提升吊装项目为基础进行了深入探讨。

关键词

钢结构，吊装，钢桁架，质量控制

Discussion on Construction Technology and Quality Control of Building Steel Truss Hoisting

Junjie Yin

Shanghai Pudong Tangcheng Investment Development Co., Ltd., Shanghai

Received: May 24th, 2024; accepted: Jun. 13th, 2024; published: Jun. 21st, 2024

Abstract

In recent years, with the continuous development of China's economy and technology, steel structure buildings rely on the advantages of light weight, high strength, and flexible spatial layout, and have been rapidly popularized and widely used. In the process of steel structure construction, lifting is a very important part; we must choose the corresponding lifting technology according to the actual conditions of the site, especially to do a good job in quality control and safety control.

Based on a steel truss hoisting project of a building, this paper makes a deep discussion.

Keywords

Steel Structure, Lifting, Steel Truss, Quality Control

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着我国市场经济的不断发展,建筑行业施工技术不断进步,钢结构建筑开始普及[1]。钢结构的杆件较多,常见的施工工艺有散拼结合分块吊装法以及地面组合结合整体提升法,其中散拼分块吊装会大大增加高空焊接工作量,不仅施工难度大而且风险高,整体提升法虽然可以提高工作效率,但施工精度受限。实际应用中,整体液压提升工艺施工效率高、交叉作业少、工艺成熟、操作完全性高等优点被广泛应用于钢结构安装中[2]。

随着实际项目结构类型越来越多样化,液压提升技术也在各种各样的项目得到了广泛的应用。提升施工要求结构整体稳定性强,整体刚度大,提升吊点布置均衡;常规采用液压提升施工方法的实施项目,其被提升结构均有双边或多边提升支承边界条件,结构稳定性好,提升难度小[3][4]。为了更好地提高整体提升工艺的精度和效率,本研究以某钢桁架提升项目为例,通过有限元仿真模拟结合整体液压提升技术,实现了同步提升及高精度施工质量的控制。

2. 项目概况

上海某配套初中新建项目,其中食运楼屋顶桁架提升范围为屋顶层部分钢结构,桁架投影面积 707.4 m²,此部分钢结构的最大安装标高为 16.784 m。根据结构布置特点、现场安装条件以及提升工艺的要求,钢结构的最大跨度为 39.3 m,结构顶标高为 16.784 m,自身高度为 2.0~3.2 m,提升高度约为 9 m,提升重量约 184 t。其它构件用 130 t 汽车吊安装,回转半径 35 m,最大起重量 6.3 t。

钢结构吊装平面示意图见图 1 所示。

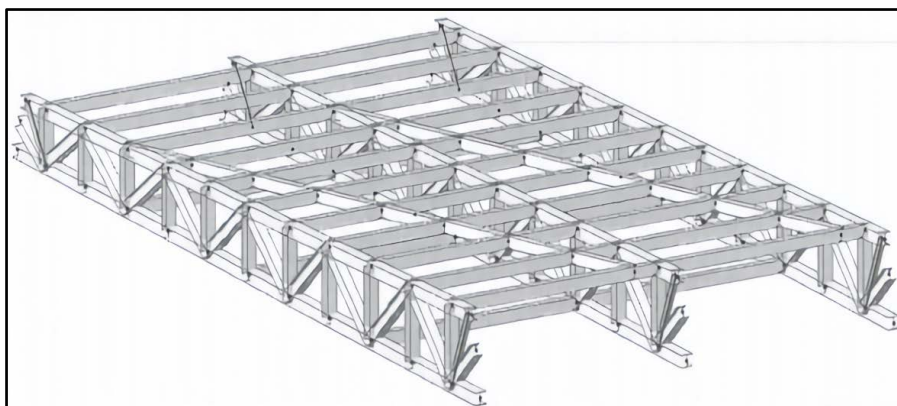


Figure 1. Steel structure hoisting plane diagram

图 1. 钢结构吊装平面示意图

3. 钢结构施工方案

本项目屋顶桁架的最大安装标高为 16.784 m，常见的分件高空散装工艺工作量大、施工难度高，而且高空组装及焊接的安全质量风险高，而且容易延误工期。

随着钢结构施工工艺的不断发展，液压提升工艺凭借着提升设备体积小、自重轻、承载能力大，适合大型设备的提升作业，且采用柔性索具承重，提升高度不受限制，设备自动化程度高，同步控制精度高，操作方便灵活，安全性好，在钢结构建筑施工过程中，得到了广泛的应用。

本项目结合类似工程的成功经验，若将结构在安装位置的正下方二层楼面上拼装成整体后，利用液压同步提升技术将其整体提升到位，将大大降低安装施工难度，既可以保证施工质量和安全，同时还能缩短相应工期、控制项目成本。

本项目钢结构提升技术采用整体液压同步提升技术，安装临时提升平台，利用钢绞线连接上下吊点，这种技术具有技术成熟、操作方便、安全性高、施工高效等优点。整体液压同步提升技术的优点见表 1 所示：

Table 1. The advantages of integrated hydraulic synchronous lifting technology

表 1. 整体液压同步提升技术的优点

序号	优点
1	钢结构主要工作在地面进行，施工效率高，施工质量易于保证
2	施工作业集中在地面，可平行施工，交叉作业影响小，有利于项目总工期控制
3	技术成熟、经验丰富，安全性高
4	钢结构单元的整体液压提升作业绝对时间较短，利于缩短工期
5	液压提升设备设施占地面积小，操作方便，机动性强
6	液压同步提升动荷载小，利于控制成本

吊装工艺采用整体液压同步提升施工技术，提升设备配置表见表 2 所示，提升吊装立面图见图 2 所示：

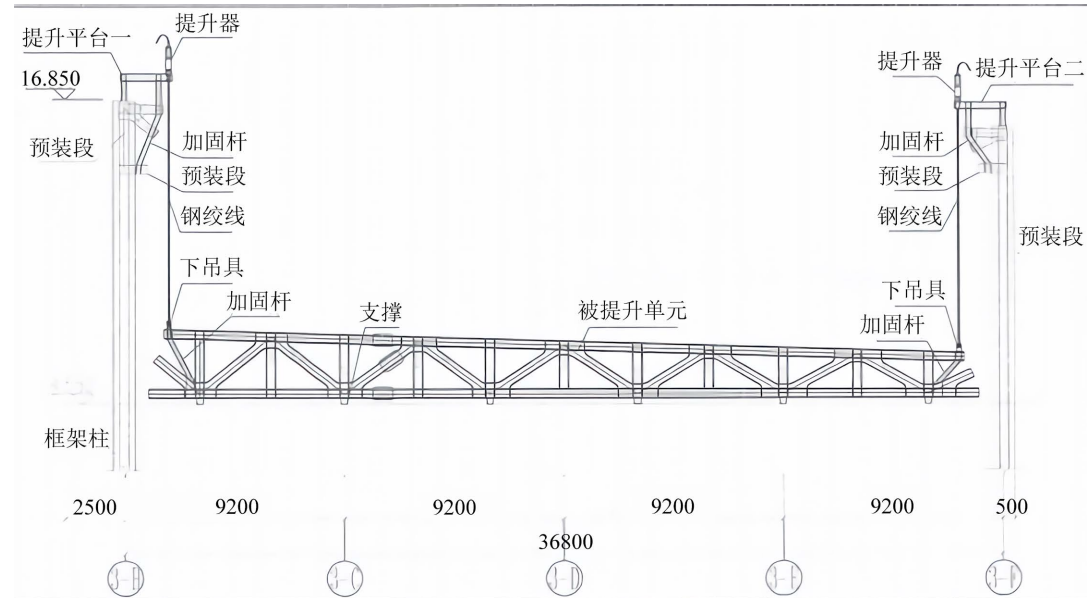


Figure 2. Elevation plan of lifting and hoisting
图 2. 提升吊装立面图

Table 2. Upgrade the device configuration table
表 2. 提升设备配置表

吊点编号	反力标准值	提升器型号	数量	钢绞线	钢绞线安全系数
1	288 KN	YS-SJ-45	1 台	3 根	3.68
2	291 KN	YS-SJ-45	1 台	3 根	3.64
3	333 KN	YS-SJ-45	1 台	3 根	3.18
4	348 KN	YS-SJ-45	1 台	3 根	3.04
5	280 KN	YS-SJ-45	1 台	3 根	3.78
6	295 KN	YS-SJ-45	1 台	3 根	3.59
合计	1835 KN	/	6 台	18 根	/

4. 计算分析

4.1. 液压提升平台设计

提升平台由前、后立柱、提升梁和水平加固杆组成。提升梁规格为 B300 × 200 × 14，前后立柱规格为 HW200 × 200 × 8 × 12，水平加固杆规格为 P114 × 4，提升平台中所有加劲板板厚均为 12 mm。液压提升平台结构示意图见图 3 所示：

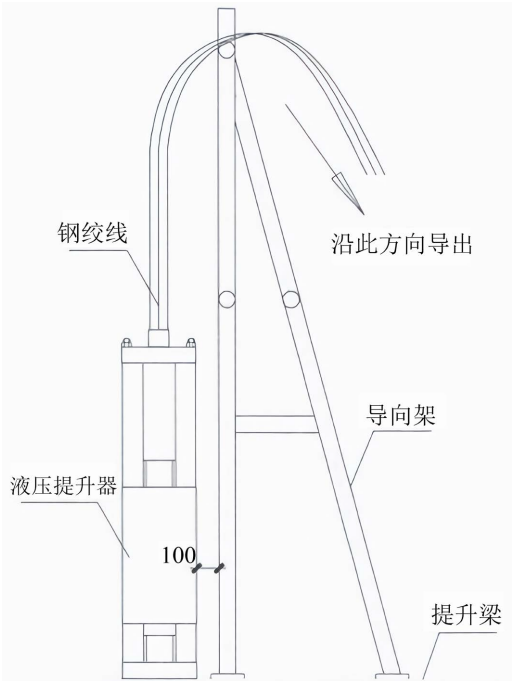


Figure 3. Hydraulic lifting platform structure diagram
图 3. 液压提升平台结构示意图

液压提升流程示意图见图 4 所示。

根据本工程中各吊点提升反力大小，最大提升反力为 34.8 t，拟选择 YS-SJ-45 型液压提升器作为主要提升承重设备， $45/34.8 = 1.29$ ，满足规范要求的 1.25 倍的安全系数。

YS-SJ-45 型液压提升器额定提升能力为 45 t。钢绞线作为柔性承重索具，采用高强度低松弛预应力

钢绞线，提升器底锚及吊具采用配合设计和试验的规格。

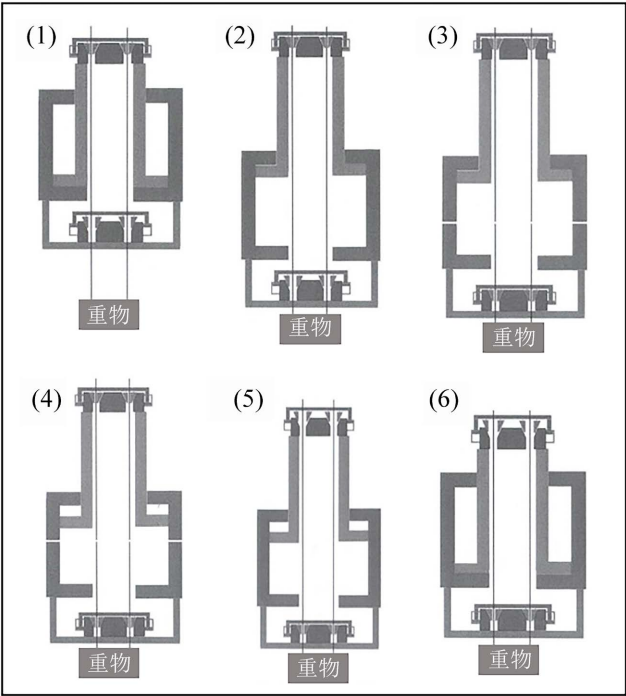


Figure 4. Hydraulic lifting process diagram
图 4. 液压提升流程示意图

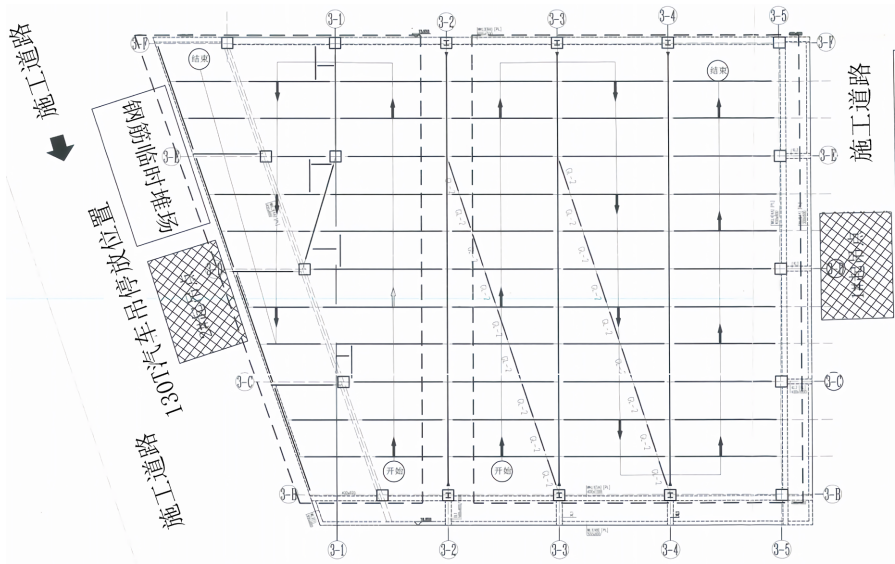


Figure 5. Steel truss hoisting sequence layout
图 5. 钢桁架吊装顺序平面布置图

屋面钢桁架吊装顺序平面布置图见图 5 所示。

4.2. 提升平台荷载计算分析

本次钢结构安装采用液压整体提升，上部受力结构为与钢结构上弦组成提升平台，液压提升器作用

在提升梁上，采用 Midas GEN V860 有限元程序仿真分析。其中 DL 为结构构件自重，LL 为提升反力，WL+ WL-为水平风荷载。

参考《重型结构和设备整体提升技术规范》GB51162-2016，应力取基本荷载组合，变形、反力取标准荷载组合，均取包络值[5]。荷载组合见表 3 所示：

Table 3. Load combination information table
表 3. 荷载组合信息表

序号	组合	备注
1	1.0 DL + 1.0 LL	
2	1.0 DL + 1.0 LL + 1.0 WL+	标准组合
3	1.0 DL + 1.0 LL + 1.0 WL-	
4	1.2 DL + 1.4 LL	
5	1.2 DL + 1.4 LL + 1.0 WL+	基本组合
6	1.2 DL + 1.4 LL + 1.0 WL-	

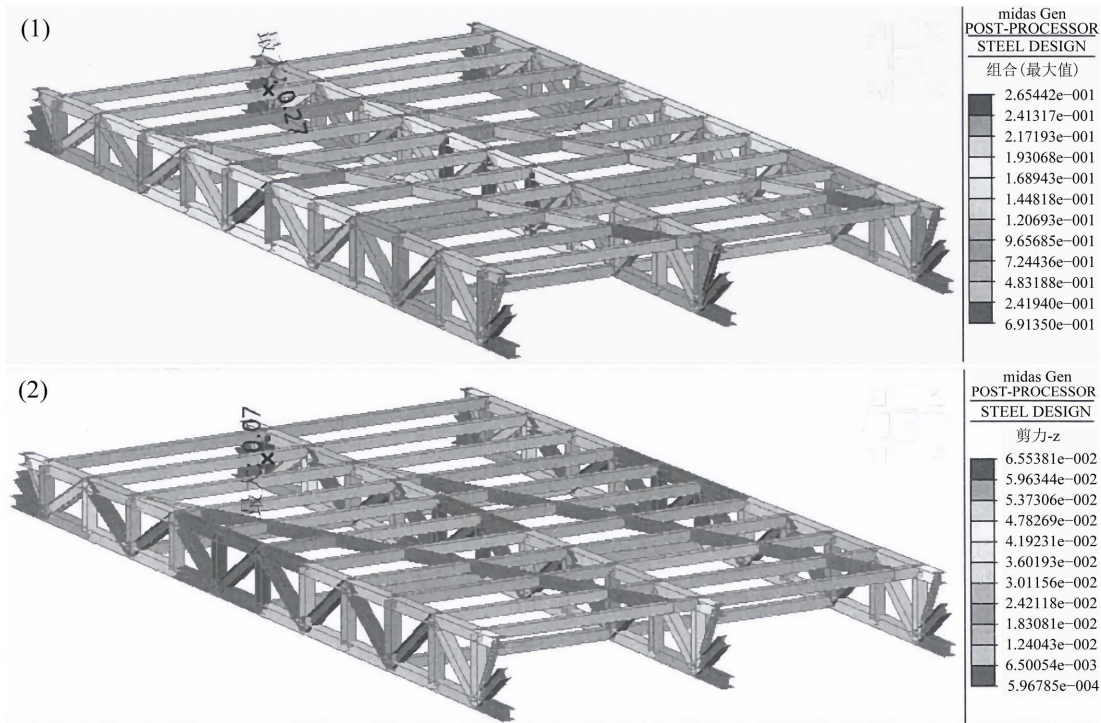


Figure 6. Structural stress ratio layout and structural shear stress ratio layout
图 6. 结构应力比分布图及结构剪应力比分布图

本次顶推过程采用 Midas GEN V860 有限元程序仿真分析。其结构应力比分布图及结构剪应力比分布图如图 6 所示。提升工况中，构件最大应力比为 $0.27 < 1$ ，原结构杆件最大应力比为 $0.07 < 1$ ，被提升结构杆件应力比均小于 1，满足要求。

根据仿真模拟验算结果，各方向的最大变形见表 4，其中 DXYZ 变形分布图如图 7 所示。提升工况中结构最大综合变形 16 mm。主桁架跨度 36,800 mm，竖向变形为跨度的 $16/36,800 = 1/2300 < 1/400$ ，满

足规范要求。

Table 4. DXYZ maximum deformation information table in each direction
表 4. DXYZ 各方向最大变形信息表

方向	DXYZ	DX	DY	DZ
最大变形(mm)	16	2	-3	-16

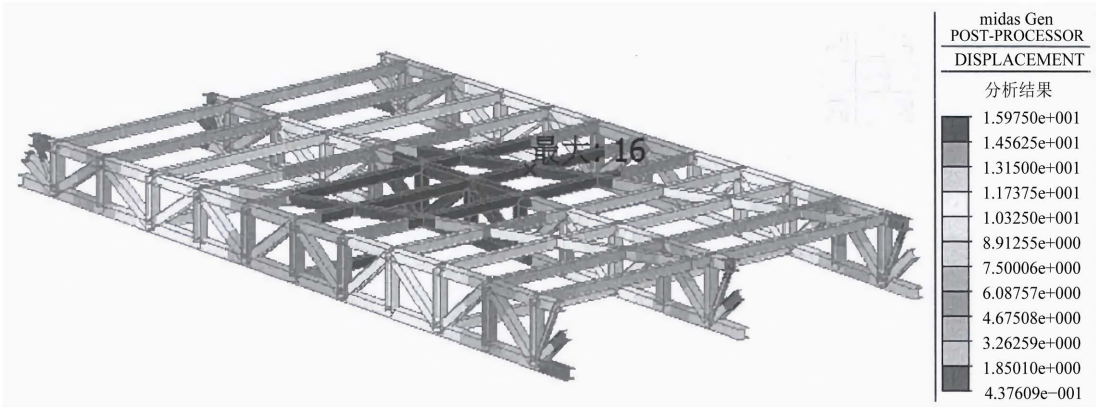


Figure 7. DXYZ deformation profile
图 7. DXYZ 变形分布图

4.3. 提升下吊点计算分析

下吊具分析采用 ANSYS 有限元程序仿真分析，基本荷载组合：1.4 LL，其中 LL 为提升反力标准值。根据 GB50017-20017《钢结构设计规范》，钢材抗拉、抗压、抗弯设计值为 $[f] = 295 \text{ MPa}$ 。
挤压应力 $\theta = F/A = 90 \text{ MPa} < [f] = 295 \text{ MPa}$ ；两块侧板的拉应力 $\sigma = F/2A_2 = 84 \text{ MPa} < [f] = 295 \text{ MPa}$ 。
所以，综合以上计算结果，吊具满足规范要求。提升反力分布图见图 8 所示：

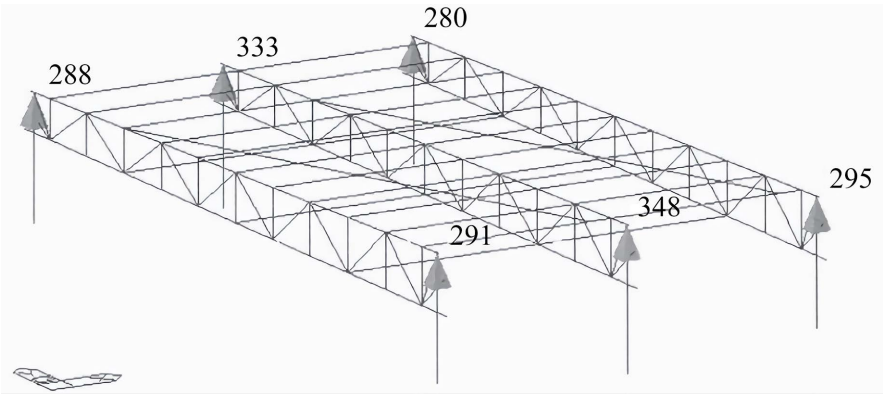


Figure 8. Lifting reaction distribution diagram
图 8. 提升反力分布图

5. 质量控制及安全管控

5.1. 质量控制要点

本项目施工过程中安排专人进行自检并作好自检记录。专业施工单位负责钢结构的施工质量，配合

总包单位做好桁架安装过程中的测量和记录。实施对施工设备、工具、索具每日安全检查、维护保养，确保设备安全无故障运行。

桁架提升安装操作和指挥人员必须经过技术和安全培训，每一个作业人员必须熟知施工程序和基本性能。所有参加作业人员必须遵守施工现场各项安全规定和本工种安全操作规程[6]。作业前明确分工，指定专人统一指挥，并在作业范围设明显的安全标志及警戒线。

整体提升前，应进行试吊，持荷 ≥ 12 小时。液压提升设备、控制系统、钢绞线、吊点焊缝等应组织验收工作，检测合格后方可作业。

液压提升过程中应密切注意液压提升器、液压泵源系统、传感检测系统等的工作状态。上吊点提升平台操作区域，应当设置符合安全标准的走道和防护栏杆，可利用脚手架及跳板等搭设。

在杆件安装过程中，需要进行气割、电焊等工作，操作区域靠近钢绞线，为保证安全，应对钢绞线进行特殊保护处理。

5.2. 安全管控要点

吊装作业按照专项方案要求进行，并将吊装作业区封闭，设专人加强安全警戒，防止其他人员进入吊装危险区。

施工现场应设置安全区域隔离，设置警示标志，严禁非作业人员进入现场；加强作业指挥，操作人员应按照指挥人员的信号进行作业。

提升作业前，技术人员应对作业人员进行详细的技术交底，明确作业方法、作业要求、安全措施等。钢绞线在安装施工前，应进行全面清场，在下降过程中，应指定专人观察底锚、上下吊点、提升器、钢绞线等的工作情况，若有异常现象，直接通知现场指挥，且6级及以上大风和雨雪天气，不得进行提升施工[7]。

6. 结语

本项目采用的有限元仿真模拟结合液压同步提升施工技术，动荷载小，利于施工成本控制，液压提升器锚具具有逆向运动自锁性，操作安全，通过计算机人机界面的操作，实现提升单元整体提升安装工艺中所需要的同步提升、空中姿态调整等特殊要求。

根据本项目验收结果，液压提升模型及提升平台模型符合实际情况，构件应力比和变形均满足要求，结构安全，保障了整体提升过程的稳步进行，为未来同类工程的实施提供了相应的指导思路和施工经验。

参考文献

- [1] 陈景镇, 胡泽铭, 蔡宏观, 等. 超大面积钢桁架整体提升监测技术研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(14): 1-3.
- [2] 王晓光, 陈晓冬. 建筑钢桁架连廊整体提升施工技术[J]. 江西建材, 2023(4): 267-268+273.
- [3] 丁利, 贾尚瑞, 吴楚桥, 等. 内侧支承大悬挑轮辐式桁架结构悬挑提升关键技术研究[J]. 钢结构, 2024, 39(4): 34-40.
- [4] 贾涛. 建筑钢结构吊装施工技术分析[J]. 四川水泥, 2023(4): 183-185.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 51162-2016, 重型结构和设备整体提升技术规范[S]. 2016.
- [6] 周吉林, 邱项宏. 超大面积大跨度钢桁架屋面整体拼装施工技术[J]. 建筑施工, 2019, 41(7): 1252-1253+1273.
- [7] 贾金博, 孙世和, 庄坤. 建筑钢结构的施工技术质量控制探析[J]. 中国住宅设施, 2022(12): 39-41.