

基坑栈桥承受大吨位吊车荷载加固技术研究

胡福洪¹, 程华仁^{1*}, 刘 灿²

¹武汉地质勘察基础工程有限公司, 湖北 武汉

²中铁建工集团有限公司, 北京

收稿日期: 2025年5月25日; 录用日期: 2025年6月17日; 发布日期: 2025年6月27日

摘 要

在目前的加固技术中, 型钢转换钢梁替代混凝土支撑梁被广泛应用。以临近武汉长江隧道的某基坑项目为研究对象, 采用岩土、隧道结构专用有限元分析软件MIDAS/GEN 2020, 对该基坑施工过程中的型钢转换钢梁替代混凝土支撑梁的施工工况进行模拟和受力分析, 得到塔吊的工作荷载传到型钢转换钢梁上, 再传到钢立柱上各构件的变形及应力情况, 并进行分析, 得出模型的建立是合理可行的。

关键词

型钢转换钢梁, 基坑栈桥, 加固技术, 数值模拟

Numerical Simulation Analysis of Reinforcement of a Foundation Pit Tower Crane Installation Station

Fuhong Hu¹, Huaren Cheng^{1*}, Can Liu²

¹Wuhan Geological Survey Basic Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei

²China Railway Construction Industry Group Co., Ltd., Beijing

Received: May 25th, 2025; accepted: Jun. 17th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

Abstract

In the current reinforcement technology, the steel beams to replace the concrete support beam for steel beams are widely used. Taking a foundation pit project near the Wuhan Yangtze River Tunnel as the research object, the MIDAS/GEN 2020 special finite element analysis software of geotechnical and tunnel structures is adopted is adopted for the simulation and force analysis. The working load

*通讯作者。

文章引用: 胡福洪, 程华仁, 刘灿. 基坑栈桥承受大吨位吊车荷载加固技术研究[J]. 土木工程, 2025, 14(6): 1584-1594.
DOI: 10.12677/hjce.2025.146171

of the tower crane is passed on to the steel beams, and then passed on to the deformation and stress of each component on the steel pillars. It is also analyzed to obtain the establishment of the model reasonable and feasible.

Keywords

Steel-Type Steel Beam, Base Pit Trestle, Reinforcement Technology, Numerical Simulation

Copyright © 2025 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

随着基坑支护设计[1]-[3]的发展,型钢梁的应用也越来越广泛。和钢筋混凝土梁的不同在于,型钢有较大的刚度,能够约束混凝土的拉压变形,同时斜裂缝面上混凝土释放出来的应力也由型钢腹板来承担。型钢梁较普通钢筋混凝土梁的各种抗性均有所提升。

本文以武汉地区某基坑[4]-[7]型钢转换钢梁为例,根据场地基坑支撑梁实际布置,设计型钢转换钢梁,以避免吊车站点在混凝土支撑梁上,并对型钢转换钢梁受力进行分析。评价、探讨了型钢转换钢梁方案的可行性,为类似基坑的型钢转换钢梁提供经验指导。

2. 工程概况

2.1. 工程基本情况

武汉江城之门项目位于武汉市武昌滨江商务区的核心区,与正在建设中的绿地中心“636”相邻。本工程为以办公为主的大型综合体超高层建筑,建筑形态为双塔与连接体组成的“门”形建筑。结构体系为钢框架-核心筒混合结构。总建筑高度为239.6米,地上54层,地下4层,裙楼5层,副楼6层。总建筑面积约为35.4万平方米,其中地上26.3万平米,地下9.1万平米。塔楼为写字楼,地下室为车库、设备用房及人防工程。

2.2. 施工概况

根据施工方案,基础底板浇筑完成凝固程度达到80%后开始安装塔楼南侧1#ZSL850塔吊,使用220T利勃海尔汽车吊站在塔楼东侧钢筋堆场处吊装。220T汽车吊使用普通工况,配重46.5t,出杆40m。

选用220T汽车吊。

2.3. 吊车支腿基础复核

汽车吊工作时支腿打开横向间距8000mm,竖向7500mm,配重43t,汽车吊自重60t,最大吊重为吊臂整体吊装单元13.9t。由此可知,安装ZSL850塔机时最重安装部件为在22m吊13.9t时,吊车总重:

$$G = 60\text{ t} + 43\text{ t} + 13.9\text{ t} = 112.9\text{ t}$$

静载安全系数取1.2,动载安全系数取1.4;

汽车吊可以360°回转,根据单支脚最大受力经验公式:

$$N = 1.2 \times G \div 4 + 1.4 \times Q \times R \div (1.4 \times I)$$

式中： N ——压脚压力；

G ——车体重量；

Q ——吊装重量；

R ——吊装幅度；

I ——支腿伸距；

压脚压力：

$$U_{\max} = 0.25 \times 112.9 \times 1.2 + 13.9 \times 22 \div (1.4 \times 7.5) \times 1.4 = 76.8 \text{ t}$$

汽车吊在最不利工况最大单腿压力为 76.8 t，根据现场情况，汽车吊站位在环形支撑立柱上。

汽车吊工作时支腿打开横向间距为 8000 mm，竖向为 7500 mm，配重 46.5 t，汽车吊自重 60 t。汽车吊在最不利工况下最大单腿压力为 76.8 t，加固转换梁荷载统一按照 80 t 荷载进行计算。

根据加固设计方案，拟采用在吊车支腿下方增加工字钢转换梁，将吊车荷载转换至格构支撑立柱上。

3. 模型的构建

3.1. 模型基本假定和参数选取

本次模拟转换梁构件用 3 根工字梁进行拼接组成钢梁，工字梁尺寸为 $\text{HN}700 \times 300 \times 13/24$ ，长度为 12 m，采用有限元软件[8] [9] MIDAS/GEN 2020 对钢结构承载状态进行模拟分析。梁与吊车大致位置如下，见图 3 所示。

3.2. 三维模型建立

采用 MIDAS/GEN 2020 软件对钢结构承载状态、所受荷载大小，以及钢梁上厚钢板的加设施工过程进行三维数值模拟分析。根据塔吊吊装吊车的站位平面布置图，建立三维有限元计算模型。

钢梁上的支撑、荷载位置与面积如下：

一号梁荷载面积 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ ，前端荷载为 3.2 N/mm^2 ，后端荷载为 1.6 N/mm^2 。支撑面积 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 。见图 1。

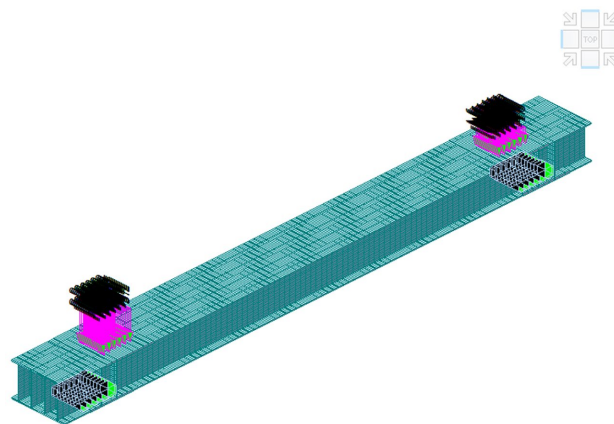


Figure 1. Schematic diagram of No. 1 steel beam support and load

图 1. 一号钢梁支撑与荷载示意图

二号梁荷载面积 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ ，荷载为 3.2 N/mm^2 。支撑面积 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 。见图 2。

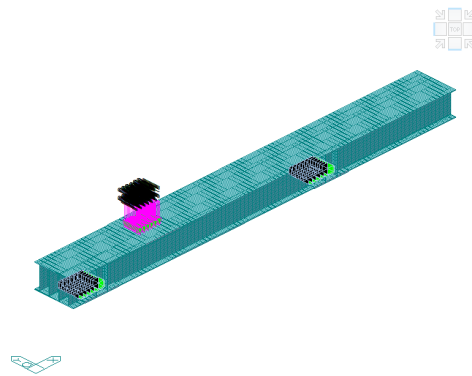


Figure 2. Schematic diagram of No. 2 steel beam support and load
图 2. 二号钢梁支撑与荷载示意图

三号梁荷载面积 $500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ ，荷载为 3.2 N/mm^2 。支撑面积 $500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ 。见图 3。

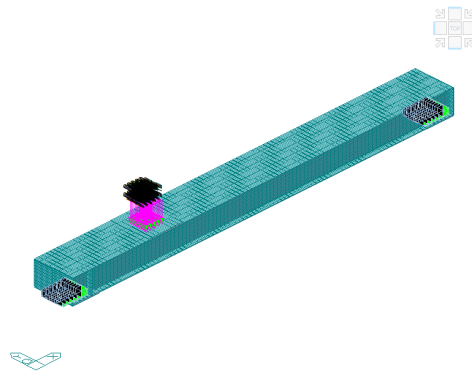


Figure 3. Schematic diagram of No. 3 steel beam support and load
图 3. 三号钢梁支撑与荷载示意图

为满足承载力的要求，避免转换钢梁变形将荷载传递至格构梁上，在 1 号、2 号、3 号钢梁的荷载及支撑位置另设置 20 mm 厚钢板，并在支撑位置加设 2 块 20 mm 厚筋板，厚筋板在钢梁上的布置位置见图 4~9。

筋板位置示意图如下。

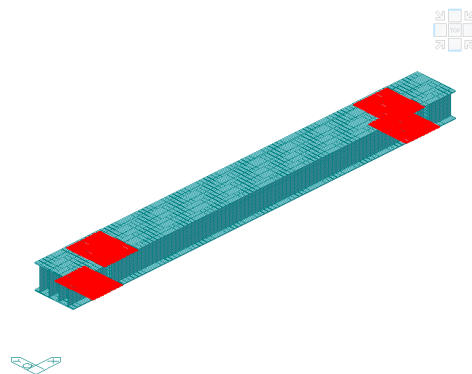


Figure 4. Schematic diagram of the position of No. 1 steel beam
图 4. 一号钢梁钢板位置示意图

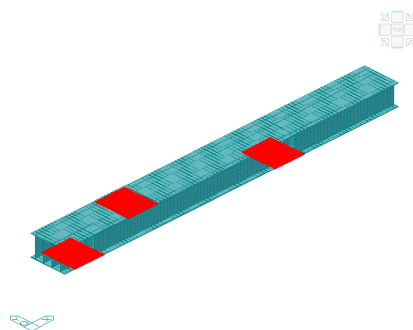


Figure 5. Schematic diagram of the position of No. 2 steel beam
图 5. 二号钢梁钢板位置示意图

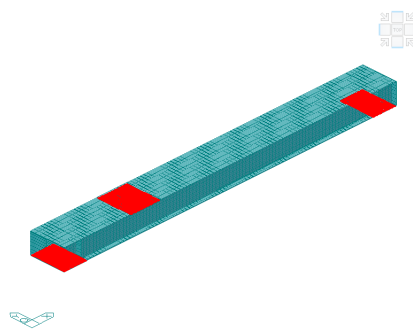


Figure 6. Schematic diagram of the position of No. 3 steel beam
图 6. 三号钢梁钢板位置示意图

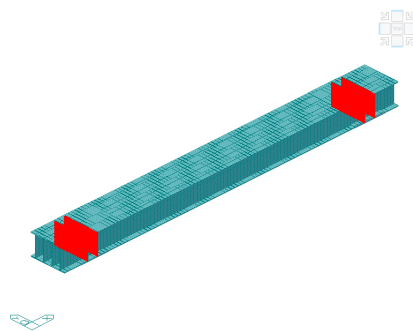


Figure 7. Schematic diagram of the position of No. 1 steel beam ribs
图 7. 一号钢梁筋板位置示意图

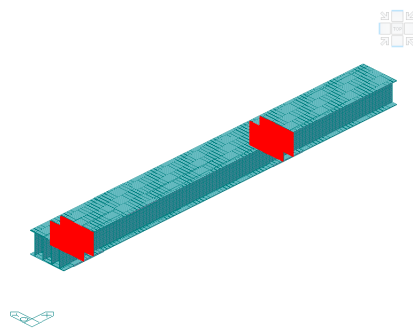


Figure 8. Schematic diagram of the position of No. 2 steel beam ribs
图 8. 二号钢梁筋板位置示意图

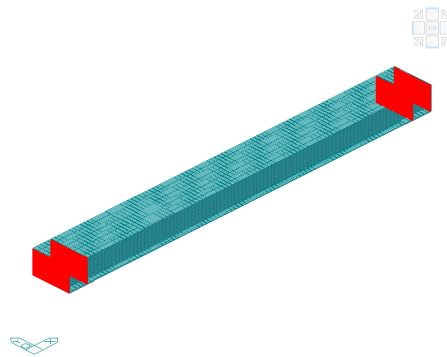


Figure 9. Schematic diagram of the position of No. 3 steel beam ribs
图 9. 三号钢梁筋板位置示意图

4. 模拟分析结果

4.1. 结构变形

一、二、三号钢梁变形详见图 10~12。

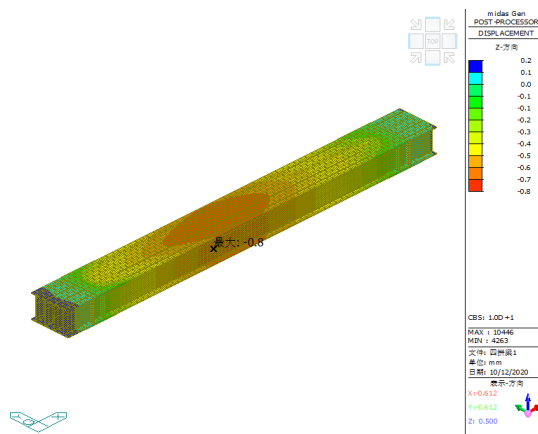


Figure 10. Deformation of No. 1 steel beam 1.0D + 1.0L (mm)
图 10. 一号钢梁 1.0D + 1.0L 变形(mm)

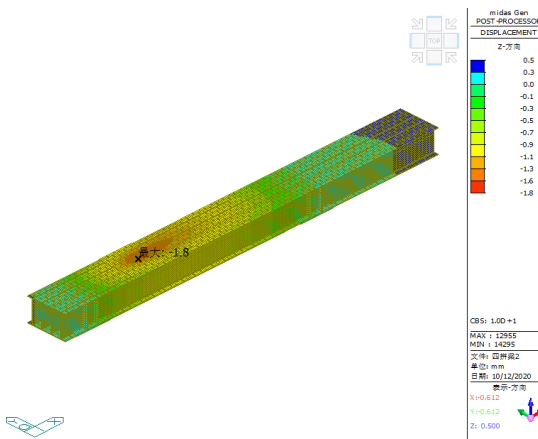


Figure 11. Deformation of No. 2 steel beam 1.0D + 1.0L (mm)
图 11. 二号钢梁 1.0D + 1.0L 变形(mm)

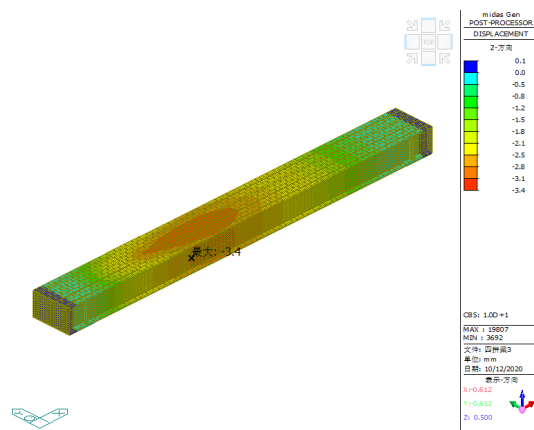


Figure 12. Deformation of No. 3 steel beam 1.0D + 1.0L (mm)
图 12. 三号钢梁 1.0D + 1.0L 变形(mm)

4.2. 结构应力

一、二、三号钢梁应力详见图 13~15。

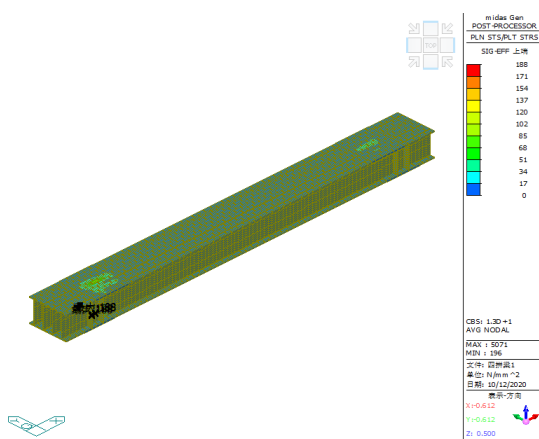


Figure 13. Structural stress of No. 1 steel beam 1.3D + 1.5L (MPa)
图 13. 一号钢梁 1.3D + 1.5L 结构应力(MPa)

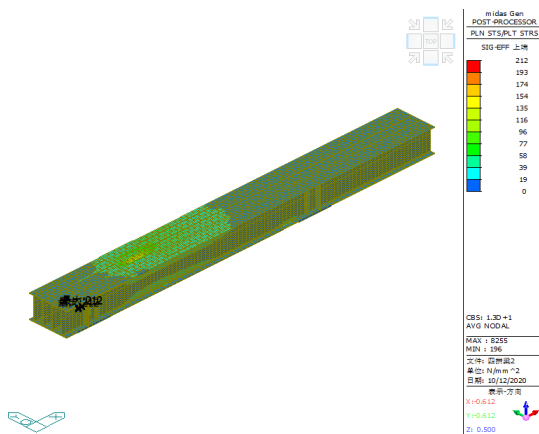


Figure 14. Structural stress of No. 1 steel beam 1.3D + 1.5L (MPa)
图 14. 二号钢梁 1.3D + 1.5L 结构应力(MPa)

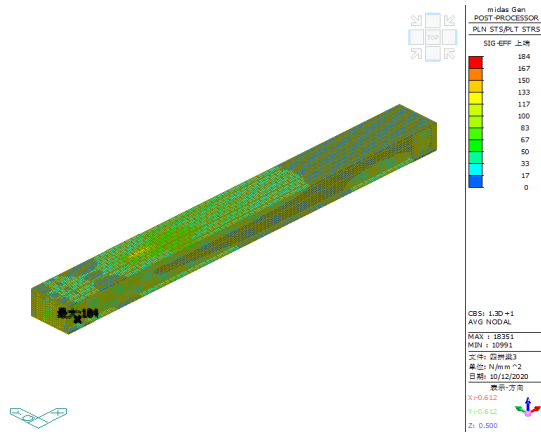


Figure 15. Structural stress of No. 1 steel beam 1.3D + 1.5L (MPa)

图 15. 三号钢梁 1.3D + 1.5L 结构应力(MPa)

施工过程中各工况计算主要结果列表如下, 详见表 1。

Table 1. Calculation and analysis of construction conditions

表 1. 施工工况计算分析表

序号	工况	最大变形(mm)	主结构最大应力(MPa)
1	1 号梁 1.0D + 1.0	-0.8	/
2	1 号梁 1.3D + 1.5L	/	188
3	2 号梁 1.0D + 1.0L	-1.8	/
4	2 号梁 1.3D + 1.5L	/	212
5	3 号梁 1.0D + 1.0L	-3.4	/
6	3 号梁 1.3D + 1.5L	/	184

5. 格构柱受吊车荷载计算

5.1. 格构支撑 1

格构柱 1 尺寸详见图 16。

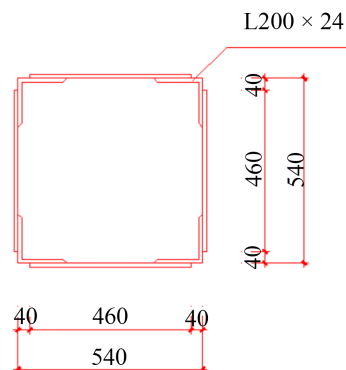


Figure 16. Sectional view of No. 1 lattice support

图 16. 格构支撑 1 截面图

截面型号：箱 4L-200 * 24。
钢材组合截面。
截面材料类型：Q345。
截面每米质量：284.67 kg/m。具体参数详见表 2。

Table 2. The geometry and mechanical parameters of the support section of the No. 1 lattice
表 2. 格构支撑 1 截面几何及力学参数表

截面几何及力学参数	
上翼水平间距	$D_1 = 140 \text{ mm}$
腹翼竖向间距	$D_2 = 140 \text{ mm}$
截面外包高度	$H = 540 \text{ mm}$
截面外包宽度	$B = 540 \text{ mm}$
形心距截面左边	$C_x = 27 \text{ cm}$
形心距截面下边	$C_y = 27 \text{ cm}$
截面面积	$A = 362.64 \text{ cm}^2$
x 向剪切面积	$A_x = 160 \text{ cm}^2$
y 向剪切面积	$A_y = 160 \text{ cm}^2$
x 轴截面惯性矩	$I_x = 175725 \text{ cm}^4$
y 轴截面惯性矩	$I_y = 175725 \text{ cm}^4$
截面抗扭惯性矩	$I_z = 721.508 \text{ cm}^4$
xy 轴截面惯性矩	$I_{xy} = 0 \text{ cm}^4$
x 轴截面抵抗矩	$W_x = 6507.93 \text{ cm}^3$
y 轴截面抵抗矩	$W_y = 6507.93 \text{ cm}^3$
x 轴回转半径	$i_x = 22.01 \text{ cm}$
y 轴回转半径	$i_y = 22.01 \text{ cm}$

格构支撑受到混凝土梁荷载为 750 kN，吊车荷载为 800 kN，柱长 14.3 m，稳定系数为 $\varphi = 0.78$ 格构柱稳定计算：

$$\frac{1.4}{\varphi Af} = \frac{1.4 \times (750000 + 800000)}{0.78 \times 36264 \times 295} = 0.26 < 1$$

满足承载力要求。

5.2. 格构支撑 2

格构柱 2 尺寸详见图 17。
截面型号：箱 4L-200 * 16。
钢材组合截面。
截面材料类型：Q235。
截面每米质量：194.72 kg/m。

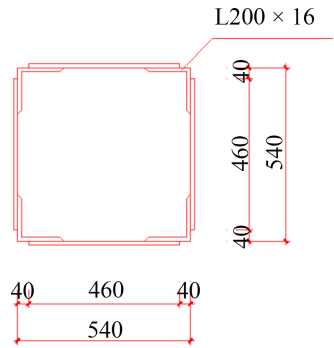


Figure 17. Sectional view of No. 2 lattice support
图 17. 格构支撑 2 截面图

具体参数详见表 3。

Table 3. The geometry and mechanical parameters of the support section of the No. 2 lattice
表 3. 格构支撑 1 截面几何及力学参数表

截面几何及力学参数	
上翼水平间距	$D_1 = 140 \text{ mm}$
腹翼竖向间距	$D_2 = 140 \text{ mm}$
截面外包高度	$H = 540 \text{ mm}$
截面外包宽度	$B = 540 \text{ mm}$
形心距截面左边	$C_x = 27 \text{ cm}$
形心距截面下边	$C_y = 27 \text{ cm}$
截面面积	$A = 248.05 \text{ cm}^2$
x 向剪切面积	$A_x = 106.66 \text{ cm}^2$
y 向剪切面积	$A_y = 106.66 \text{ cm}^2$
x 轴截面惯性矩	$I_x = 123700 \text{ cm}^4$
y 轴截面惯性矩	$I_y = 123700 \text{ cm}^4$
截面抗扭惯性矩	$I_z = 225.452 \text{ cm}^4$
xy 轴截面惯性矩	$I_{xy} = 0 \text{ cm}^4$
x 轴截面抵抗矩	$W_x = 4581.23 \text{ cm}^3$
y 轴截面抵抗矩	$W_y = 4581.23 \text{ cm}^3$
x 轴回转半径	$i_x = 22.33 \text{ cm}$
y 轴回转半径	$i_y = 22.33 \text{ cm}$

格构支撑受到混凝土梁荷载为 750 kN，吊车荷载为 800 kN，柱长 14.3 m，稳定系数为 $\varphi = 0.79$ 格构柱稳定计算：

$$\frac{1.4}{\varphi Af} = \frac{1.4 \times (750000 + 800000)}{0.78 \times 28405 \times 305} = 0.36 < 1$$

满足承载力要求。

6. 结论

根据有限元分析结果, 可以得出:

- 1) 各工况的计算结果: 钢结构施工过程中的最大变形-3.4, 钢构件最大应力为 $212 \text{ MPa} < 305 \text{ MPa}$, 处于设计允许范围内;
- 2) 格构支撑 1 满足承载力要求, 且在设计范围之内;
- 3) 格构支撑 2 满足承载力要求, 且在设计范围之内。

参考文献

- [1] 李肖. 带水平加强层的超高层钢框架-核心筒结构设计分析[J]. 钢结构, 2018, 33(2): 73-76+92.
- [2] 母恩喜, 张汝良, 汪兴龙. 超高层钢框架-核心筒加强层设置的探讨分析[J]. 四川建筑科学研究, 2013, 39(4): 47-58.
- [3] 陈冬青. 深基坑内支撑支护体系在工程中的应用[J]. 建筑科学, 2015, 31(3): 122-125.
- [4] 冯晓腊, 冯恒, 劳骥民, 张睿敏, 熊宗海. 圆环支撑在武汉地区基坑工程中的应用研究[J]. 施工技术, 2016, 45(S1): 29-32.
- [5] 许开军, 毛云, 谢昭宇. 钢筋混凝土圆环支撑系统在深基坑设计与施工中的应用[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(S1): 77-80.
- [6] 王志伟, 秦国鹏, 杨振平, 崔连刚. 大型深基坑分区拆换撑施工技术[J]. 中国港湾建设, 2019, 39(7): 28-32.
- [7] 竺启泽, 耿晔宽, 张怀生. 特殊工况下圆环支撑的拆换撑设计和实践[J]. 工程建设, 2017, 49(8): 56-59.
- [8] 王文, 赵平. 基于 Midas 的基坑换撑有限元分析[J]. 陕西理工学院学报, 2010, 26(2): 29-31.
- [9] 李治. Midas_GTS 在岩土工程中应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.