

双墩身围笼结构

验算书



目录

1、 施工楼梯结构概况 1

2、 验算依据 1

3、 钢结构计算部分 2

 3.1 计算模型 2

 3.2 荷载条件 3

 3.2.1 自重荷载 3

 3.2.2 人员荷载 3

 3.2.3 风荷载 4

 3.2.4 荷载组合 6

 3.3 边界条件设置 6

 3.4 钢结构分析结果 6

 3.4.1 应力结果 6

 3.4.2 变形结果 7

 3.4.3 抗倾覆验算 12

 3.4.4 稳定性验算 14

4、 U 型号卡强度验算 15

5、 结论与意见 16

6、 附件：阵风系数 16

7、 附件：风荷载体型系数 17

8、 附件：风压高度变化系数 17

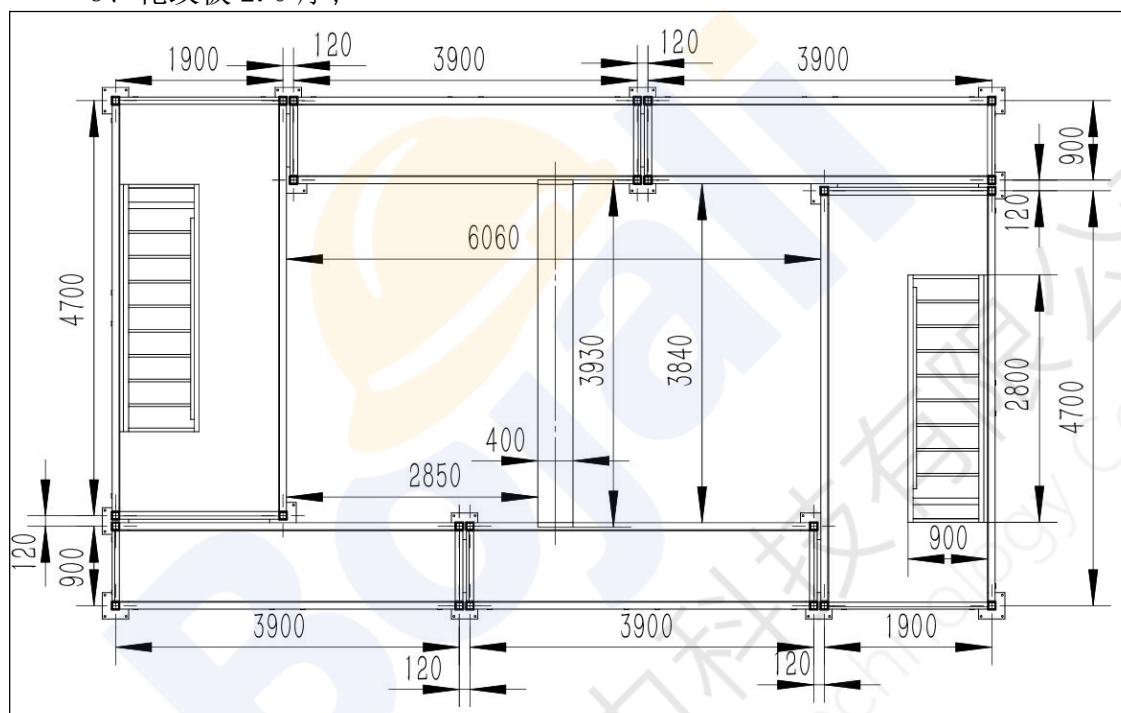
9、 附件：全国各城市的雪压、风压和基本气温 18

1、施工楼梯结构概况

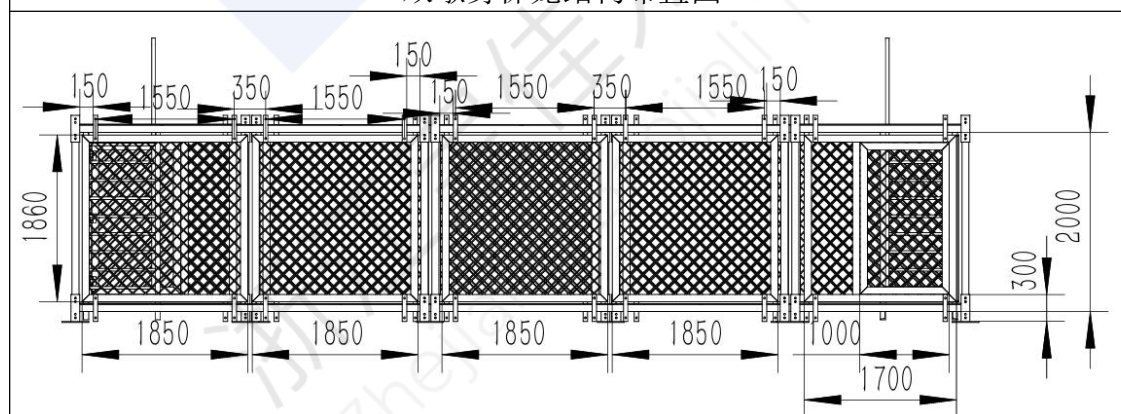
该结构为临时性双墩身梯笼结构，用于施工人员作业，整体高度 22m 由 11 个标准层拼接而成。

技术参数：

- 1、整体用料 Q235 碳钢；
- 2、墩身围笼立柱 80*80*3.0；
- 3、墩身围笼框架 80*80*2.5；
- 4、围笼平台梁板 40*80*2.0，连接角钢 63*63*3.5
- 5、楼梯料 40*80*2.0；
- 6、花纹板 2.0 厚；



双墩身梯笼结构布置图



双墩身梯笼结构布置图

2、验算依据

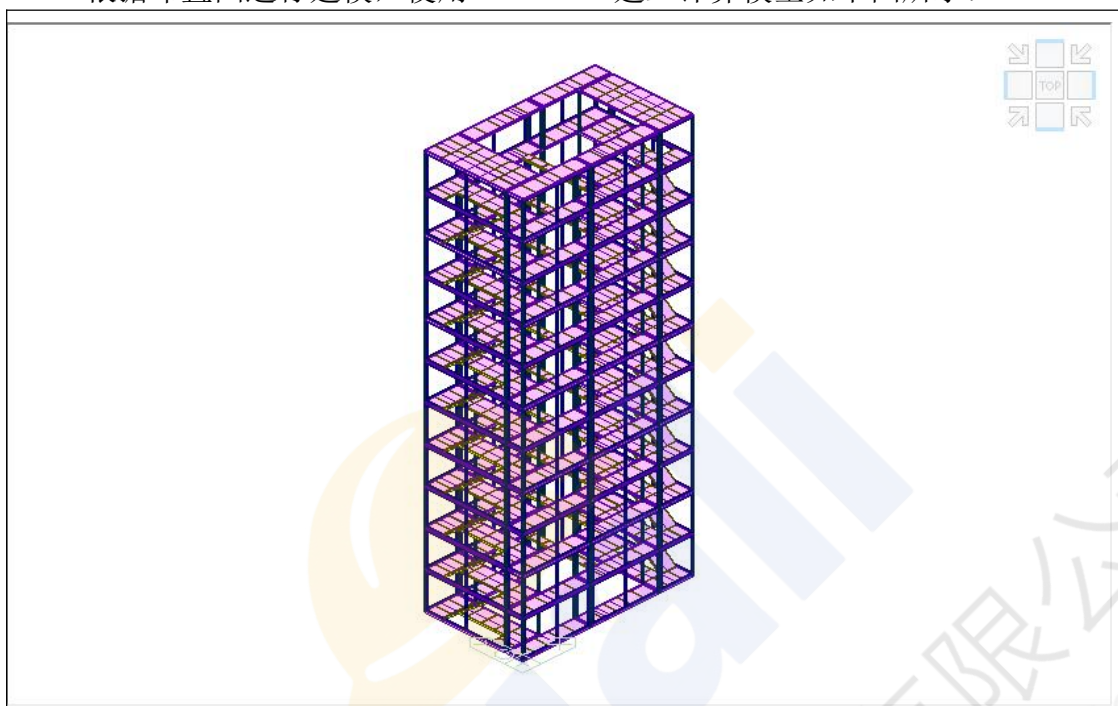
- (1) 《钢结构设计标准》(GB50017-2017)
- (2) 《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)
- (3) 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)

(4) 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ130-2011)

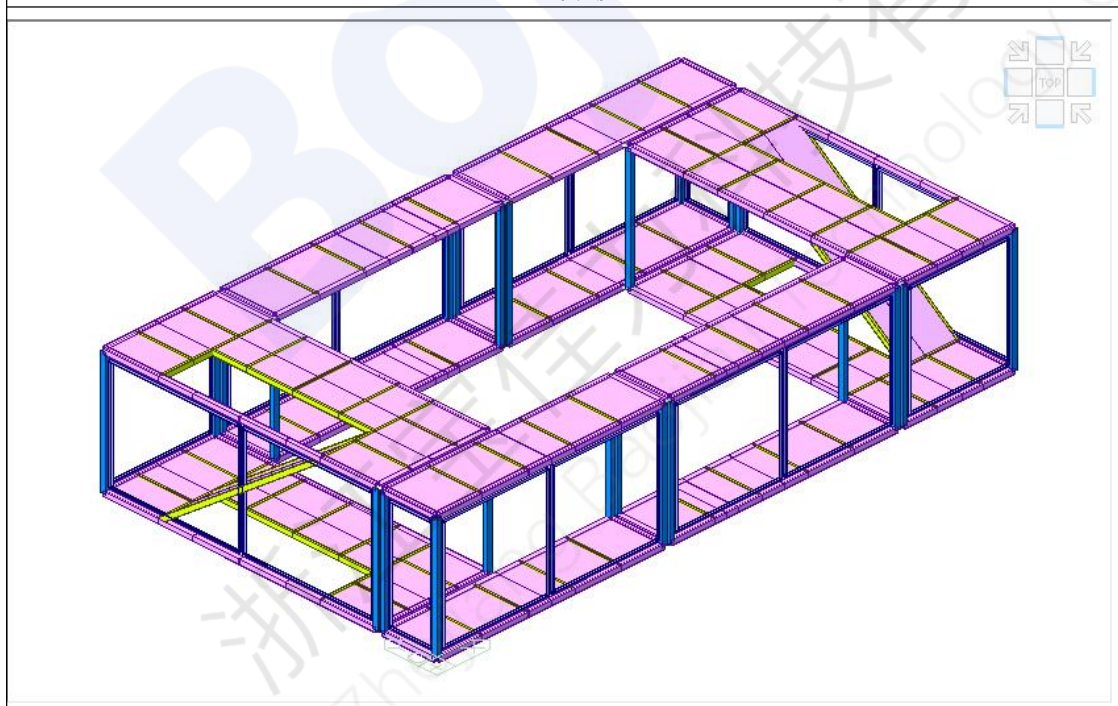
3、钢结构计算部分

3.1 计算模型

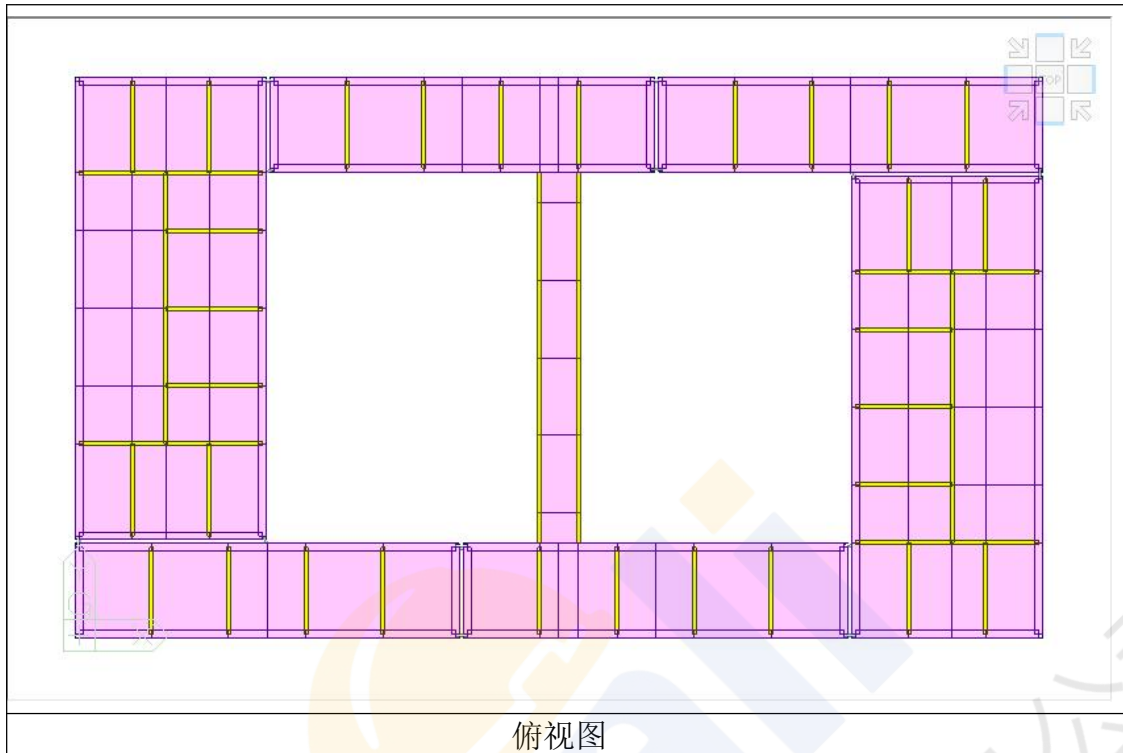
根据布置图进行建模，使用 MidasGen 建立计算模型如下图所示：



整体计算模型



标准层模型



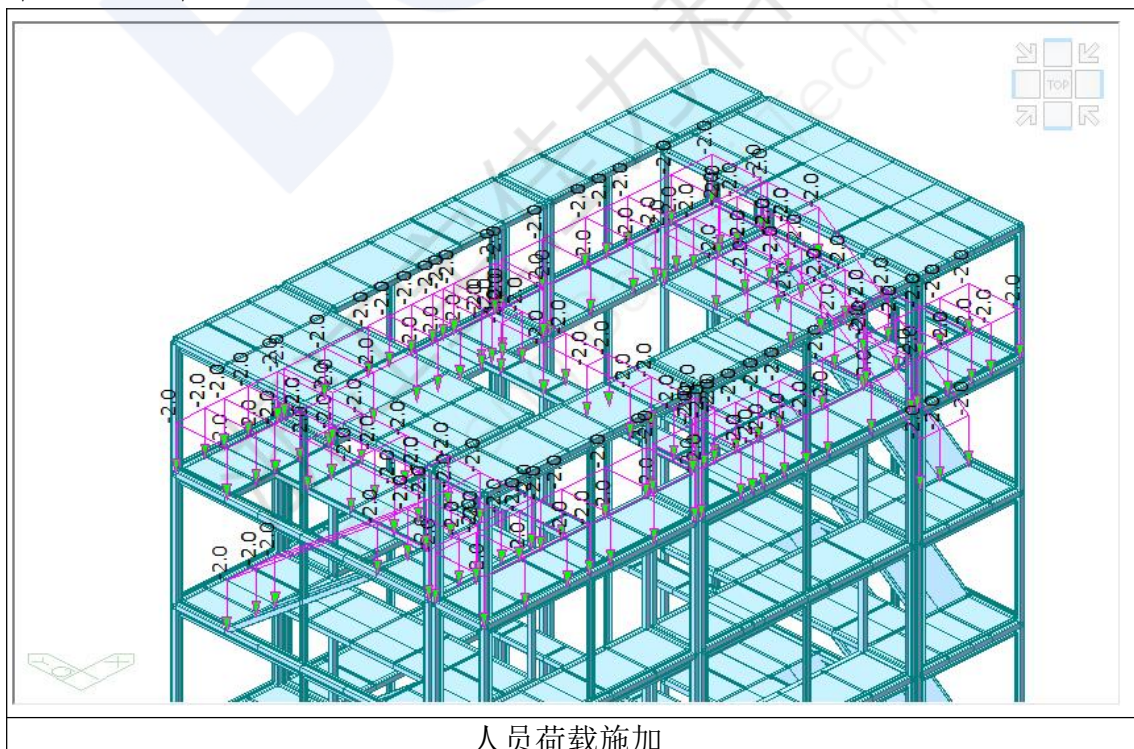
3.2 荷载条件

3.2.1 自重荷载

考虑到螺栓等细部结构以及积灰等模型未表达，取 1.05 倍自重常数（由程序自动计算）。

3.2.2 人员荷载

楼梯最大使用人数为 30 人，单人重量考虑为 100kg，考虑均集中于顶部标准层，标准层面积为 $1.9 \times 4.7 \times 2 + 3.9 \times 0.9 \times 4 = 31.9 \text{m}^2$ ，荷载为 $(30 \times 100 \times 10 / 1000) / 31.9 \approx 2 \text{KN/m}^2$ 。



3.2.3 风荷载

根据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011, 风荷载的标准值应按下列公式计算

4.2.5 作用于脚手架上的水平风荷载标准值, 应按下列公式计算:

$$w_k = \mu_z \cdot \mu_s \cdot w_0 \quad (4.2.5)$$

式中: w_k ——风荷载标准值(kN/m^2);

μ_z ——风压高度变化系数, 应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009规定采用;

μ_s ——脚手架风荷载体型系数, 应按本规范表4.2.6的规定采用;

w_0 ——基本风压值(kN/m^2), 应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定采用, 取重现期 $n=10$ 对应的风压值。

根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 取山东烟台地区 10 年期风荷载为 $0.4\text{kN}/\text{m}^2$,

风压高度变化系数

离地面高度取计算点的高度 $z=22.00\text{m}$

查《荷载规范》表 8.2.1, 风压高度变化系数 $\mu_z=1.55$

考虑修正系数 η 后, $\mu_z = \mu_z \eta = 1.55 \times 1.00 = 1.55$

结构第 1 阶振型系数

$z/H=22.00/22.00=1.000$

$B_H/B_0=9.94/9.94=1.000$

查《荷载规范》表 G.0.4, 结构第 1 阶振型系数 $\phi_1(z)=0.44$

脉动风荷载的背景分量因子

查《荷载规范》表 8.4.5-1, 系数 $k=1.28$, 系数 $a_1=0.19$

根据《荷载规范》公式 8.4.6-1

脉动风荷载垂直方向相关系数

$$\rho_z = \frac{10 \sqrt{\frac{(-H)}{H+60e^{\frac{(-H)}{60}}}-60}}{H} = \frac{10 \sqrt{\frac{(-22.00)}{22.00+60e^{\frac{(-22.00)}{60}}}-60}}{22.00} = 0.86$$

根据《荷载规范》第 8.4.5 条

修正系数 $\theta_B=B(z)/B_0=9.94/9.94=1.00$

$B_H/B_0=9.94/9.94=1.000$

查《荷载规范》表 8.4.5-2, 修正系数 $\theta_v=1.00$

脉动风荷载的背景分量因子

$$B_z = k H^{a_1} \rho_x \rho_z \frac{\phi_1(z)}{\mu_z} \theta_B \theta_v$$
$$= 1.28 \times 22.00^{0.19} \times 1.00 \times 0.86 \times \frac{0.44}{1.55} \times 1.00 \times 1.00 = 0.55$$

脉动风荷载的共振分量因子

结构第 1 阶自振频率 $f_1=1/T_1=1/2.00=0.50\text{Hz}$

根据《荷载规范》公式 8.4.4

地面粗糙度修正系数 $k_w=1.28$

$$x_1 = \frac{30 f_1}{\sqrt{k_w w_0}} = \frac{30 \times 0.500}{\sqrt{1.28 \times 0.30}} = 24.21$$

脉动风荷载的共振分量因子

$$R = \sqrt{\frac{\pi}{6 \zeta_1} \frac{x_1^2}{(1+x_1^2)^{4/3}}} = \sqrt{\frac{\pi}{6 \times 0.01} \times \frac{24.21^2}{(1+24.21^2)^{4/3}}} = 2.50$$

风振系数

根据《荷载规范》公式 8.4.3

峰值因子 g 取 2.5

10m 高度名义湍流强度 I_{10} 取 0.12

风振系数

$$\begin{aligned} \beta_z &= 1 + 2gI_{10}B_z\sqrt{1+R^2} \\ &= 1 + 2 \times 2.5 \times 0.12 \times 0.55 \times \sqrt{1+2.50^2} = 1.89 \end{aligned}$$

风荷载标准值

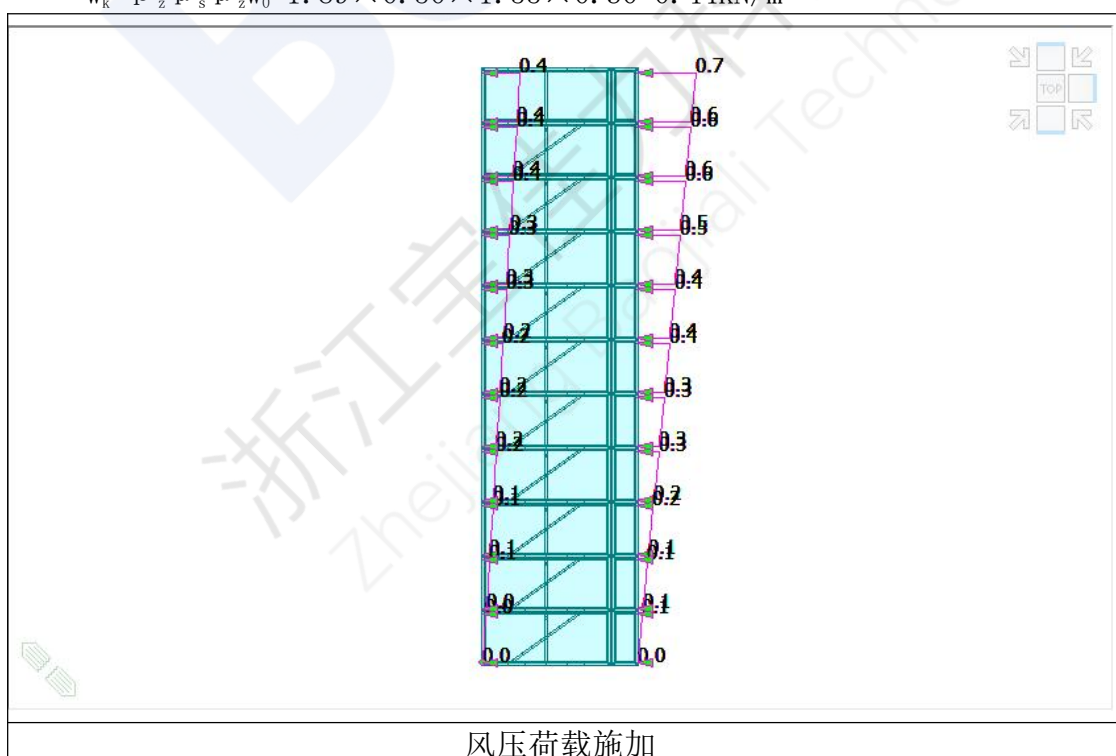
根据《荷载规范》公式 8.1.1-1

正风侧

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 = 1.89 \times 0.80 \times 1.55 \times 0.30 = 0.70 \text{ kN/m}^2$$

背风侧

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 = 1.89 \times 0.50 \times 1.55 \times 0.30 = 0.44 \text{ kN/m}^2$$



3.2.4 荷载组合

荷载组合情况如下：

号	名称	激活	类型	自重(ST)	施工人员荷载(ST)	侧风荷载(ST)	正风荷载(ST)
1	强度1	基本	相加	1.3000	1.5000		
2	强度2	基本	相加	1.3000		1.5000	
3	强度3	基本	相加	1.0000			1.0000
4	强度4	基本	相加	1.3000	1.0500	0.9000	
5	强度5	基本	相加	1.3000	1.0500		0.9000
6	刚度1	标准	相加	1.0000	1.0000		
7	刚度2	标准	相加	1.0000		1.0000	
8	刚度3	标准	相加	1.0000			1.0000
9	刚度4	标准	相加	1.0000	1.0000	1.0000	
10	刚度5	标准	相加	1.0000	1.0000		1.0000
11	抗风1	标准	相加	1.0000		1.5000	
12	抗风2	标准	相加	1.0000			1.5000

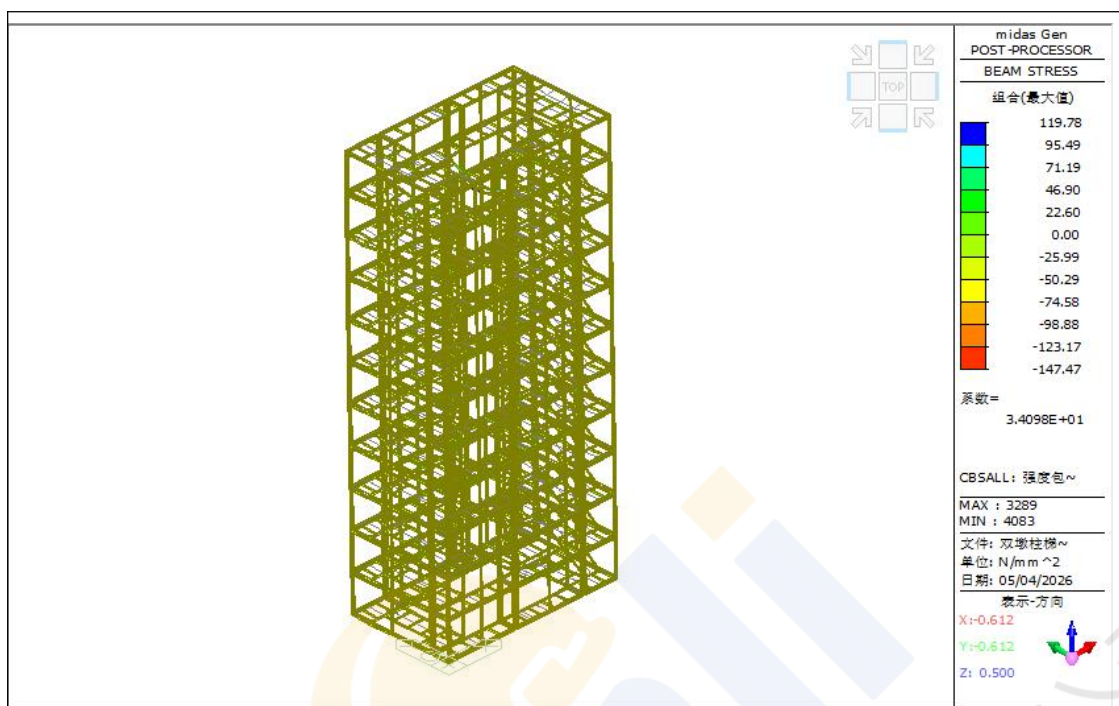
3.3 边界条件设置

立柱底部位置设置铰接，释放 RX、RY、RZ 转动自由度。

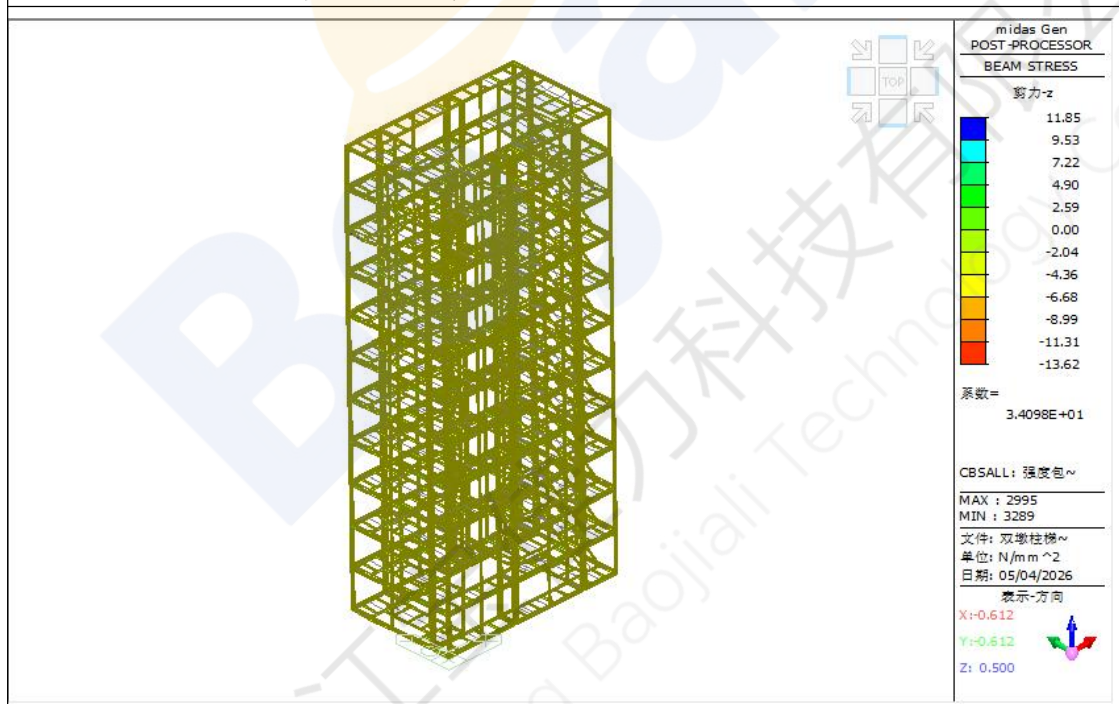


3.4 钢结构分析结果

3.4.1 应力结果



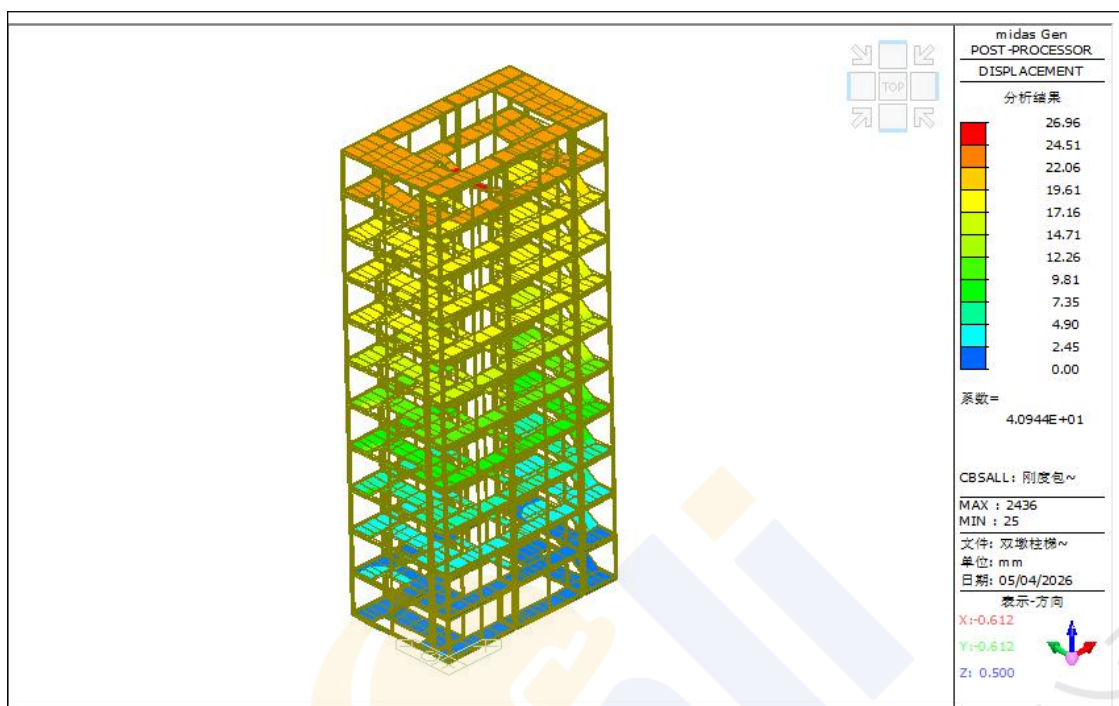
最大组合应力 147.47MPa (强度包络)



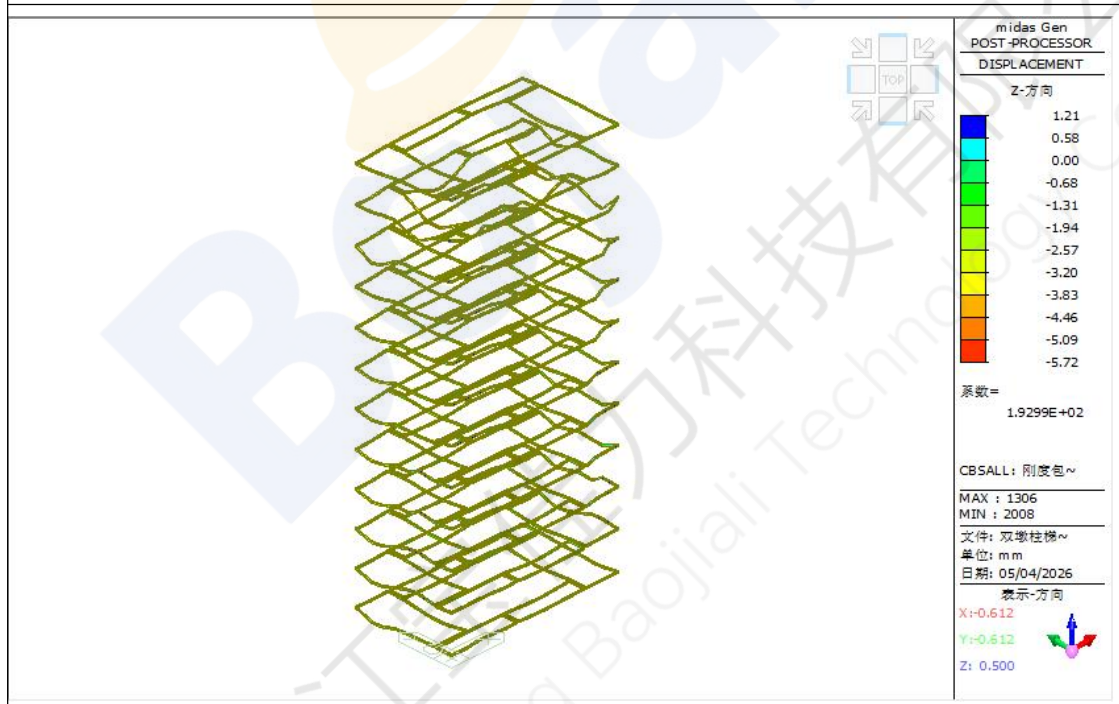
最大剪应力 13.62MPa (强度包络)

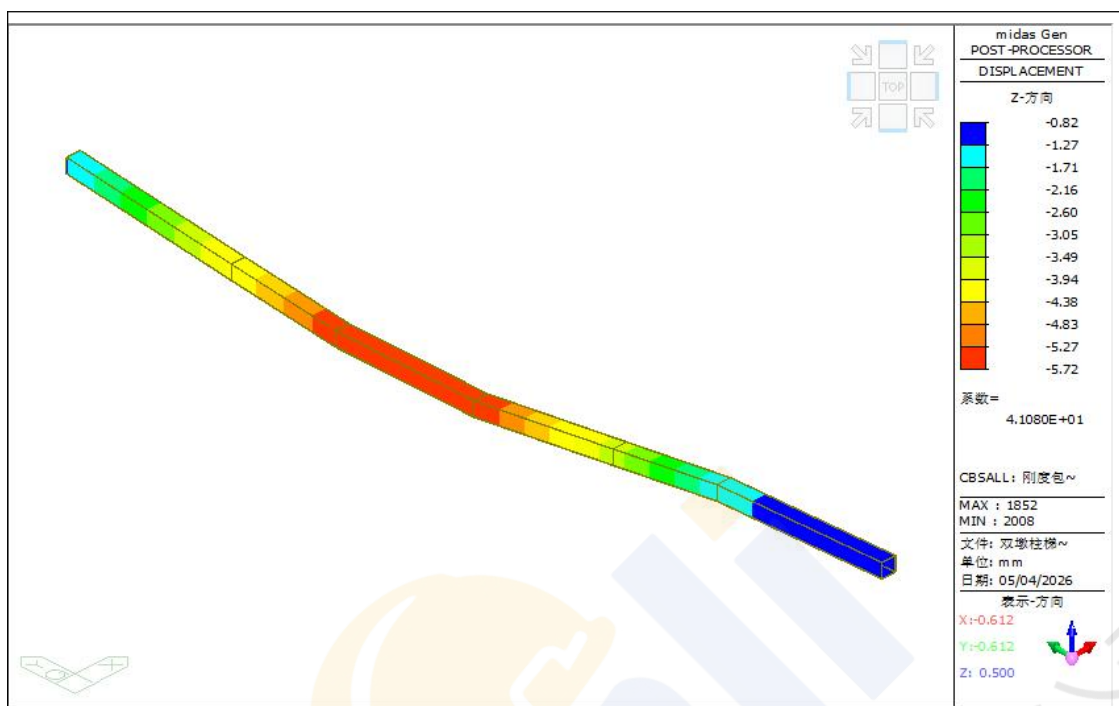
综上,结构最大组合应力为 147.47MPa,最大剪应力 13.62MPa,根据《GB50017 钢结构设计标准》要求 Q235 抗弯设计强度为 215MPa,抗剪设计强度为 125MPa, 147.47MPa<215MPa, 13.62MPa<125MPa, 结构强度安全!

3.4.2 变形结果



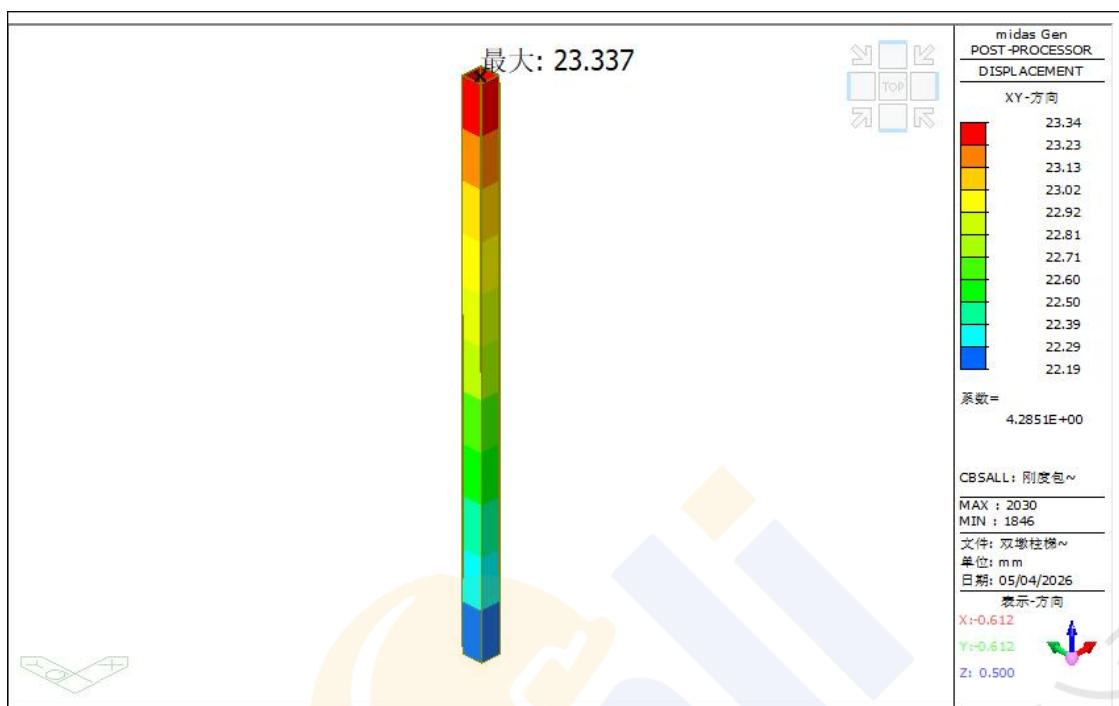
整体最大变形 26.96mm (刚度包络)





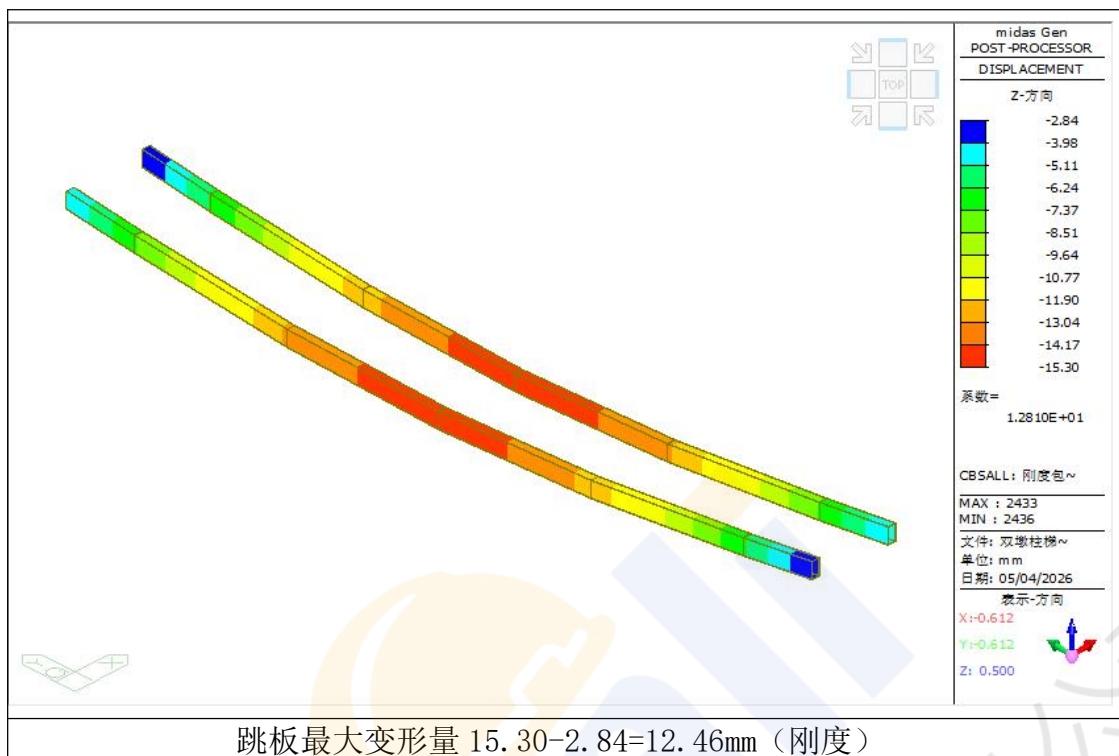
横梁最大变形 $5.72 - 0.82 = 4.90\text{mm}$





钢柱最大变形 23.34-22.19=1.15mm (刚度)





根据《GB50017 钢结构设计标准》中附录 B 结构或构件的变形容许值，对 1) 主梁或桁架(包括设有悬挂起重设备的梁和桁架)，为构件计算跨度的 $1/400$ 。
对 5) 次梁及楼梯结构，变形容许值为构件计算跨度的 $1/250$ 。

4	楼(屋)盖梁或桁架、工作平台梁(第 3 项除外)和平台板		
	1) 主梁或桁架(包括设有悬挂起重设备的梁和桁架)	$l/400$	$l/500$
	2) 仅支承压型金属板屋面和冷弯型钢檩条	$l/180$	
	3) 除支承压型金属板屋面和冷弯型钢檩条外，尚有吊顶	$l/240$	
	4) 抹灰顶棚的次梁	$l/250$	$l/350$
	5) 除第 1) 款~第 4) 款外的其他梁(包括楼梯梁)	$l/250$	$l/300$
	6) 屋盖檩条		
	支承压型金属板屋面者	$l/150$	—
	支承其他屋面材料者	$l/200$	—
	有吊顶	$l/240$	—
	7) 平台板	$l/150$	—

横梁主梁跨度 4.7m，最大变形 4.90mm， $4.90/4700 < 1/400$ ，框架横梁刚度安全！

跳板梁跨度 3.92m，最大变形量为 12.46mm， $12.46/3920 < 1/250$ ，跳板梁刚度安全！

根据《GB50017 钢结构设计标准》中附录 B 结构或构件的变形容许值，钢柱柱顶位移为 $H/150$ 。

B.2 结构的位移容许值

B.2.1 单层钢结构水平位移限值应符合下列规定:

1 在风荷载标准值作用下,单层钢结构柱顶水平位移应符合下列规定

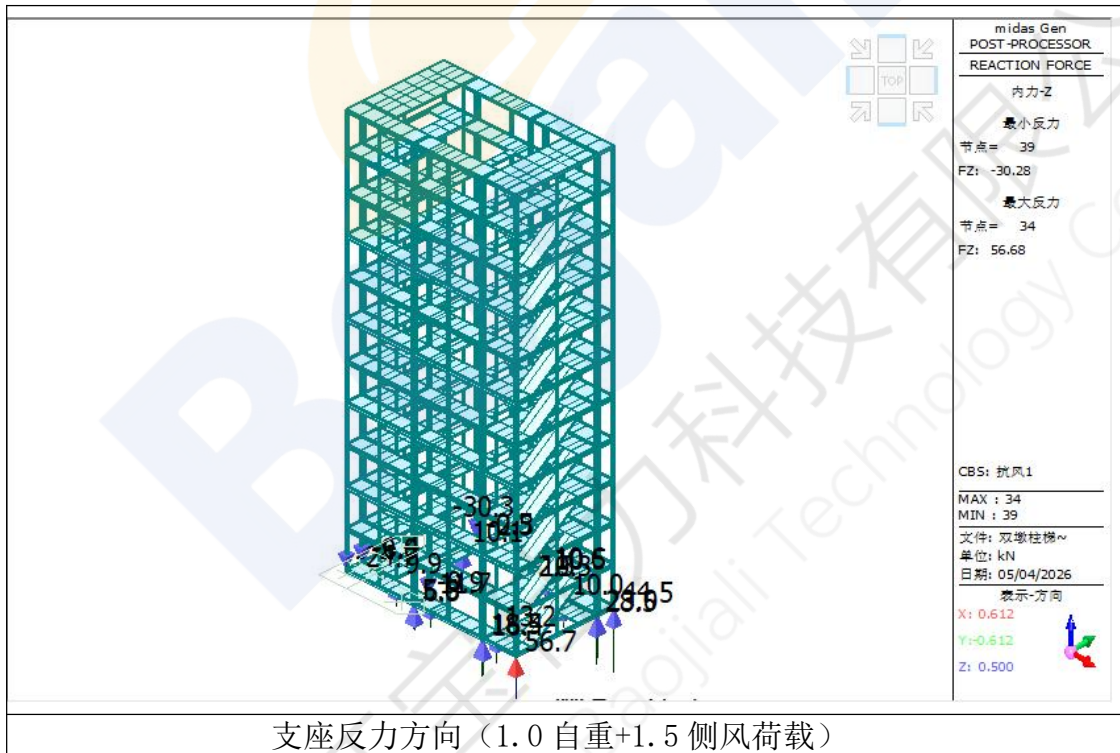
- 1) 单层钢结构柱顶水平位移不宜超过表 B.2.1-1 的数值;
- 2) 无桥式起重机时,当围护结构采用砌体墙,柱顶水平位移不应大于 $H/240$,当围护结构采用轻型钢墙板且房屋高度不超过 18m 时,柱顶水平位移可放宽至 $H/60$;
- 3) 有桥式起重机时,当房屋高度不超过 18m,采用轻型屋盖,吊车起重量不大于 20t 工作级别为 A1~A5 且吊车由地面控制时,柱顶水平位移可放宽至 $H/180$ 。

表 B. 2. 1-1 风荷载作用下单层钢结构柱顶水平位移容许值

结构体系	吊车情况	柱顶水平位移
排架、框架	无桥式起重机	$H/150$
	有桥式起重机	$H/400$

支柱最大高度为 2m，最大变形量为 1.15mm， $1.15/2000 < 1/150$ ，钢柱刚度安全！

3.4.3 抗倾覆验算



$$Nt^a = \varphi_{E,t} f_{ud,t} A_s$$

$$= 1.00 \times 490 \times 228.9 = 112165.900\text{N} = 112.166\text{kN} > 26.42\text{kN}, \text{锚栓抗拔安全!}$$

2.2 基材混凝土受拉承载力

依据《加固规范》16.3.4, 16.4.4, 计算单个锚栓引起混凝土呈锥形受拉破坏的锥体投影面积基准值:

$$\begin{aligned} A_{c,N}^0 &= S_{cr,N}^2 = (3.0 h_{ef})^2 \\ &= (3.0 \times 200)^2 = 360000\text{mm}^2 \end{aligned}$$

依据《加固规范》16.3.5, 16.4.4, 计算混凝土呈锥形受拉破坏的实际锥体投影面积:

$$A_{cn} = 700.0 \times 700.0 = 490000\text{mm}^2$$

依据《加固规范》16.3.3, 计算基材混凝土受拉承载力修改系数:

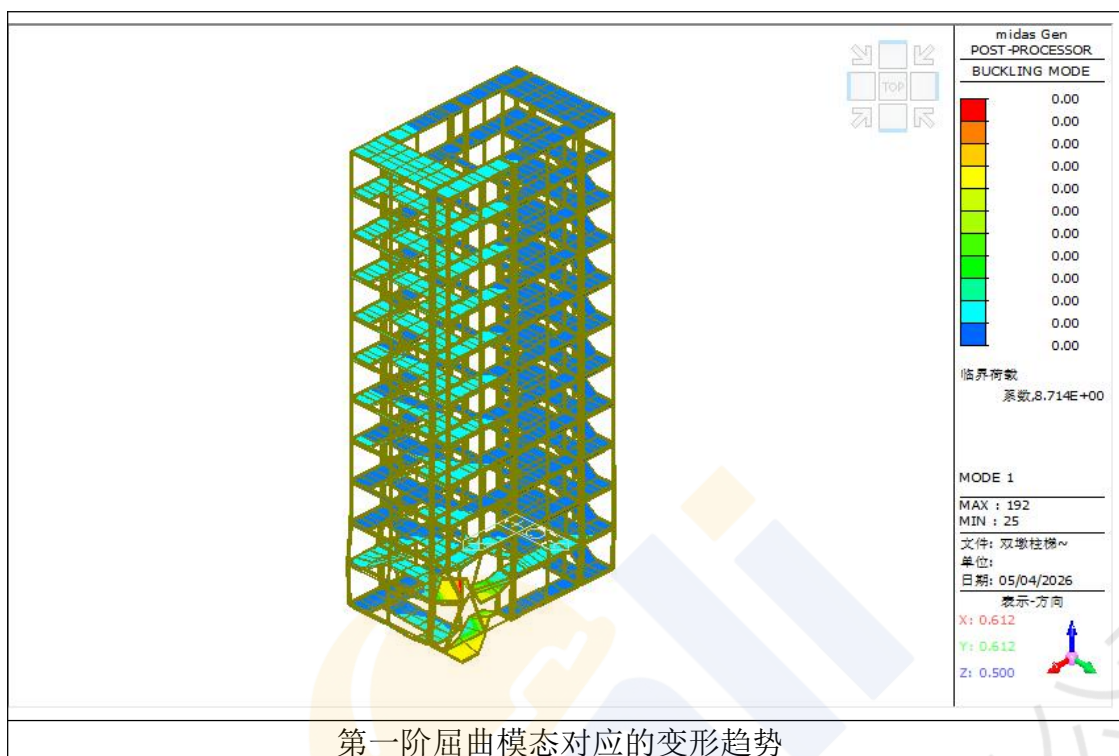
$$\begin{aligned} \varphi_{e,N} &= \min \left(1.0, \frac{1}{1 + \frac{2e_N}{S_{cr,N}}} \right) \\ &= 1.0 / [1 + (2 \times 0.0 / 600.0)] = 1.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_N &= \frac{\varphi_{s,h} \varphi_{e,N} A_{cN}}{A_{c,N}^0} \\ &= 0.95 \times 1.000 \times 490000 / 360000 = 1.293 \end{aligned}$$

依据《加固规范》16.3.2 第2款, 计算基材混凝土受拉承载力:

$$\begin{aligned} Nt^c &= 2.4 \varphi_b \varphi_N \sqrt{f_{cu,k}} h_{ef}^{1.5} \\ &= 2.4 \times 0.88 \times 1.29 \times 30^{0.5} \times 200^{1.5} = 42067.054\text{N} = 42.067\text{kN} > 26.42\text{kN}, \text{混凝土抗拔安全!} \end{aligned}$$

3.4.4 稳定性验算



第一阶屈曲模态对应的变形趋势

前 4 阶模态特征值如下:

模态	特征值	容许误差
1	8.713805	6.3757e-25
2	9.294335	1.0340e-17
3	9.450646	5.7991e-15
4	9.551188	4.0450e-12

该结构第一阶特征值为 $8.71 > 1$, 稳定性满足要求!

4、U 型号卡强度验算

由有限元分析提取 U 型卡位置所受内力



穿心棒所受最大反力为 6.80KN

U 型卡圆钢棒截面面积为: $A = \pi d^2/4 = 3.14 \times 10^2/4 = 78.5\text{mm}^2$,

U 型卡材质为 Q235, 许用抗拉强度设计值为 215MPa, U 型卡抗拉承载力为 $78.5 \times 215/1000 = 16.88\text{KN} > 6.80\text{KN}$, 承载力安全!

U 型卡强度安全!

5、结论与意见

该施工楼梯结构在自重、人员荷载、风荷载等工况组合情况下, 结构最大组合应力为 147.47MPa, 最大剪应力 13.62MPa, 根据《GB50017 钢结构设计标准》要求 Q235 抗弯设计强度为 215MPa, 抗剪设计强度为 125MPa, $147.47\text{MPa} < 215\text{MPa}$, $13.62\text{MPa} < 125\text{MPa}$, 结构强度安全!

根据《GB50017 钢结构设计标准》中附录 B 结构或构件的变形容许值, 对 1) 主梁或桁架(包括设有悬挂起重设备的梁和桁架), 为构件计算跨度的 $1/400$ 。

对 5) 次梁及楼梯结构, 变形容许值为构件计算跨度的 $1/250$ 。

横梁主梁跨度 4.7m, 最大变形 4.90mm, $4.90/4700 < 1/400$, 框架横梁刚度安全!

跳板梁跨度 3.92m, 最大变形量为 12.46mm, $12.46/3920 < 1/250$, 跳板梁刚度安全!

根据《GB50017 钢结构设计标准》中附录 B 结构或构件的变形容许值, 钢柱柱顶位移为 $H/150$ 。

支柱最大高度为 2m, 最大变形量为 1.15mm, $1.15/2000 < 1/150$, 钢柱刚度安全!

支座反力出现负值, 最大负值为 105.65KN, 柱脚使用 4 根 M18*200 化学锚栓固定, 单个锚栓受荷为 $105.65/4 = 26.42\text{KN}$, 锚栓抗拔承载力为 $112.166\text{kN} > 26.42\text{KN}$, 混凝土抗拔承载力为 $42.067\text{kN} > 26.42\text{KN}$, 抗倾强度安全!。

该结构第一阶特征值为 $8.71 > 1$, 稳定性满足要求!

U 型卡承载力 $16.88\text{KN} > 6.80\text{KN}$, 强度安全!

6、附件：阵风系数

8.6 阵风系数

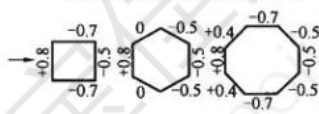
8.6.1 计算围护结构(包括门窗)风荷载时的阵风系数应按表8.6.1确定。

表8.6.1 阵风系数 β_{gz}

离地面高度 (m)	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.65	1.70	2.05	2.40
10	1.60	1.70	2.05	2.40
15	1.57	1.66	2.05	2.40
20	1.55	1.63	1.99	2.40
30	1.53	1.59	1.90	2.40
40	1.51	1.57	1.85	2.29
50	1.49	1.55	1.81	2.20
60	1.48	1.54	1.78	2.14
70	1.48	1.52	1.75	2.09
80	1.47	1.51	1.73	2.04
90	1.46	1.50	1.71	2.01
100	1.46	1.50	1.69	1.98
150	1.43	1.47	1.63	1.87
200	1.42	1.45	1.59	1.79
250	1.41	1.43	1.57	1.74
300	1.40	1.42	1.54	1.70
350	1.40	1.41	1.53	1.67
400	1.40	1.41	1.51	1.64
450	1.40	1.41	1.50	1.62
500	1.40	1.41	1.50	1.60
550	1.40	1.41	1.50	1.59

7、附件：风荷载体型系数

根据《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)对风荷载体型系数取值。

30	封闭式房屋和 构筑物	(a) 正多边形(包括矩形)平面 	—
----	---------------	---	---

8、附件：风压高度变化系数

根据《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)对风压高度变化系数取值。

表8.2.1 风压高度变化系数 μ_z

离地面或海 平面高度 (m)	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.09	1.00	0.65	0.51
10	1.28	1.00	0.65	0.51
15	1.42	1.13	0.65	0.51
20	1.52	1.23	0.74	0.51
30	1.67	1.39	0.88	0.51
40	1.79	1.52	1.00	0.60
50	1.89	1.62	1.10	0.69
60	1.97	1.71	1.20	0.77
70	2.05	1.79	1.28	0.84
80	2.12	1.87	1.36	0.91
90	2.18	1.93	1.43	0.98
100	2.23	2.00	1.50	1.04
150	2.46	2.25	1.79	1.33
200	2.64	2.46	2.03	1.58
250	2.78	2.63	2.24	1.81
300	2.91	2.77	2.43	2.02
350	2.91	2.91	2.60	2.22
400	2.91	2.91	2.76	2.40
450	2.91	2.91	2.91	2.58
500	2.91	2.91	2.91	2.74
≥550	2.91	2.91	2.91	2.91

9、附件：全国各城市的雪压、风压和基本气温

《根据建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)，重现期 $R=10$ 时，浙江绍兴市与浙江杭州市处于同一风压分布区，取浙江绍兴市风荷载取值为 0.30KN/m^2 。

浙江	杭州市	41.7	0.30	0.45	0.50	0.30	0.45	0.50	-4	38	Ⅲ
	临安县天目山	1505.9	0.55	0.75	0.85	1.00	1.60	1.85	-11	28	Ⅱ
	平湖县乍浦	5.4	0.35	0.45	0.50	0.25	0.35	0.40	-5	36	Ⅲ
	慈溪市	7.1	0.30	0.45	0.50	0.25	0.35	0.40	-4	37	Ⅲ
	嵊泗	79.6	0.85	1.30	1.55	—	—	—	-2	34	—
	嵊泗县嵊山	124.6	1.00	1.65	1.95	—	—	—	0	30	—

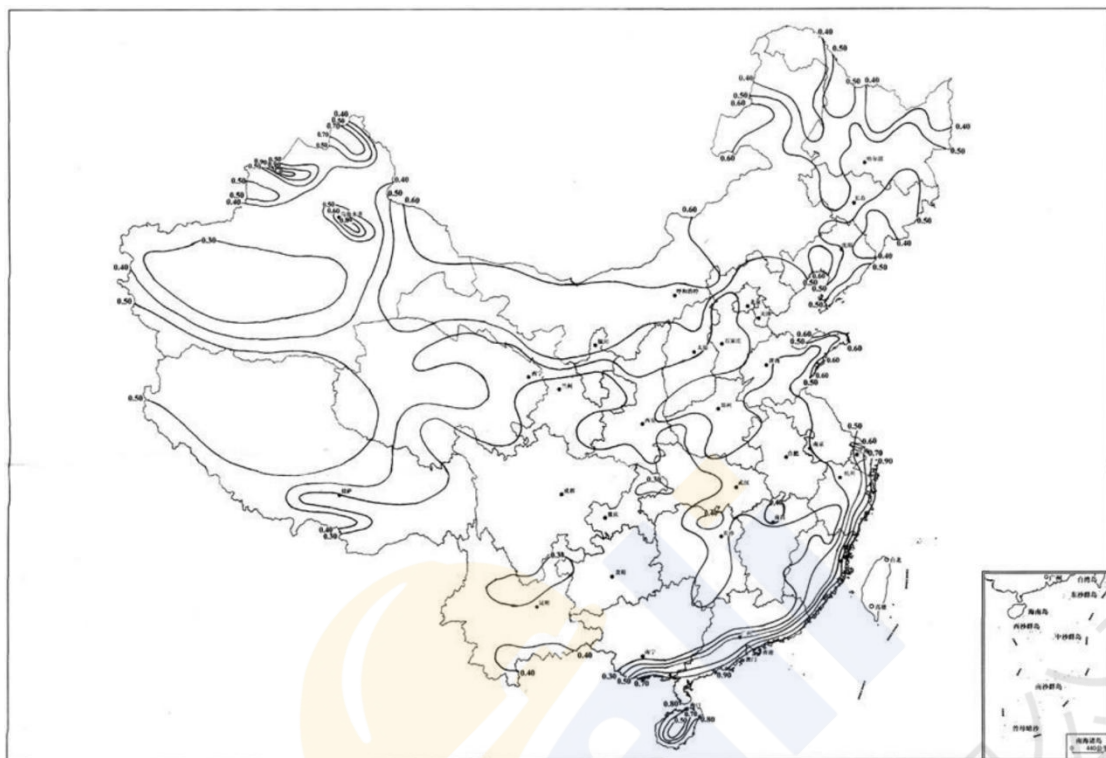


图 E.6.3 全国基本风压分布图(kN/m^2)