

空间结构计算书

北城云海项目悬挑防护棚



编制单位：浙江宝佳力科技有限公司

审核批准：施工单位项目部

编制日期：2025-8-26

悬挑防护棚计算书

1、工程概况

悬挑防护棚主要使用 B80*60*2.0、B60*40*1.5 方管，钢丝绳 $\Phi 16\text{mm}$ (1570MPa 纤维芯钢丝绳)。

整体结构材质为 Q235 钢。

2、编制依据及技术指标

2.1 编制依据

- (1)、项目部提供的相关施工图纸
- (2)、《钢结构设计标准》(GB50017-2017)
- (3)、《建筑结构荷载规范》GB50009-2012
- (4)、《钢丝绳通用技术条件》GB/T20118-2017

2.2 主要材料设计指标

根据《GB50017 钢结构设计标准》取用钢材相关材料参数如下：

钢材设计强度值 (N/mm ²)						
钢材 牌号	钢材厚度 或直径 (mm)	强度设计值			屈服强度 f_y	抗拉强度 f_u
		抗拉、抗压、 抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}		
碳素结 构钢	Q235	≤16	215	320	235	370
		> 16, ≤40	205		225	
		> 40, ≤100	200		215	
	Q345	≤16	305	400	345	470
		> 16, ≤40	295		335	
		> 40, ≤63	290		325	
		> 63, ≤80	280		315	
		> 80, ≤100	270		305	

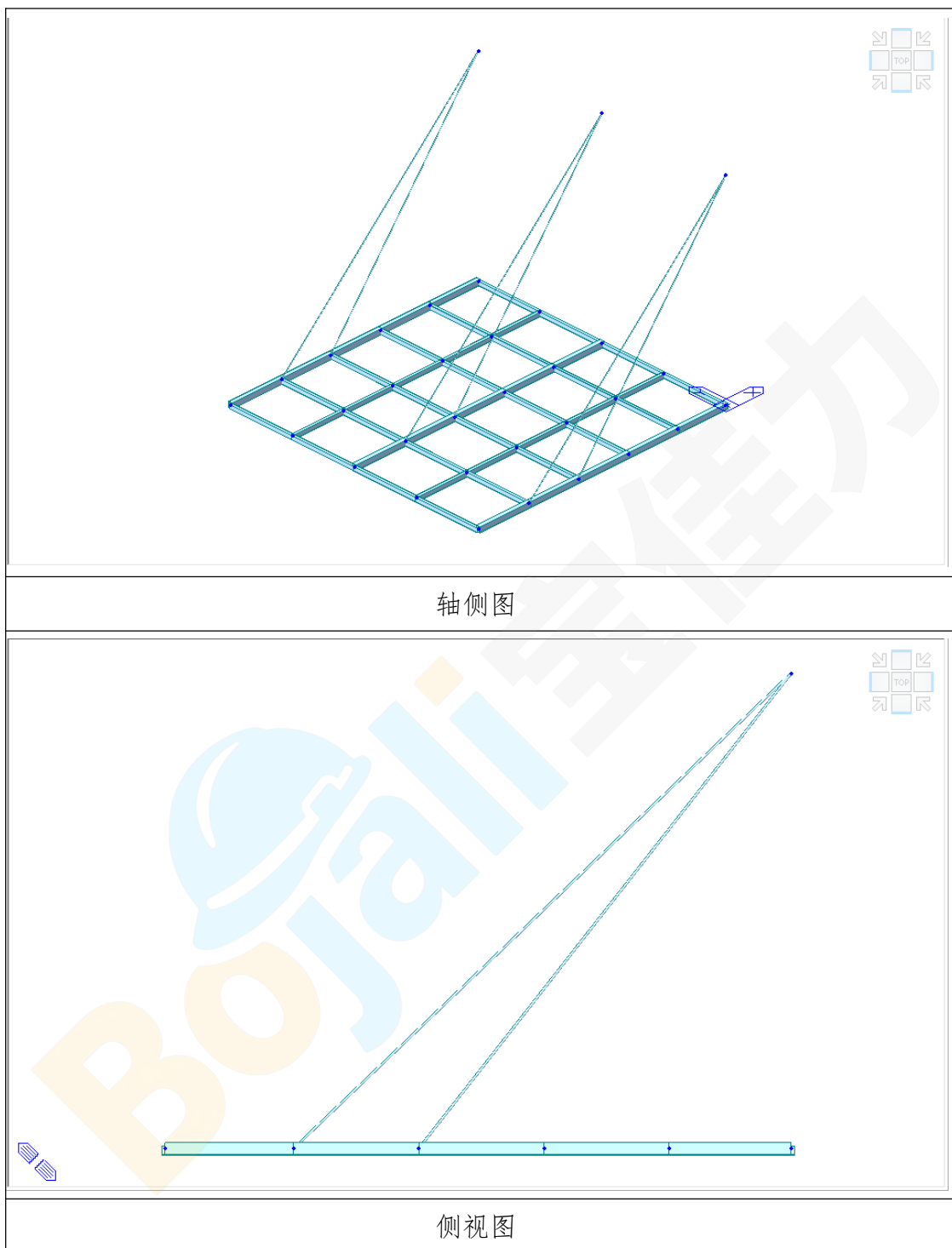
4.4.8 钢材和铸钢件的物理性能指标应按表 4.4.8 采用。

表 4.4.8 钢材和铸钢件的物理性能指标

弹性模量 E (N/mm ²)	剪变模量 G (N/mm ²)	线膨胀系数 α (以每℃计)	质量密度 ρ (kg/m ³)
206×10 ³	79×10 ³	12×10 ⁻⁶	7850

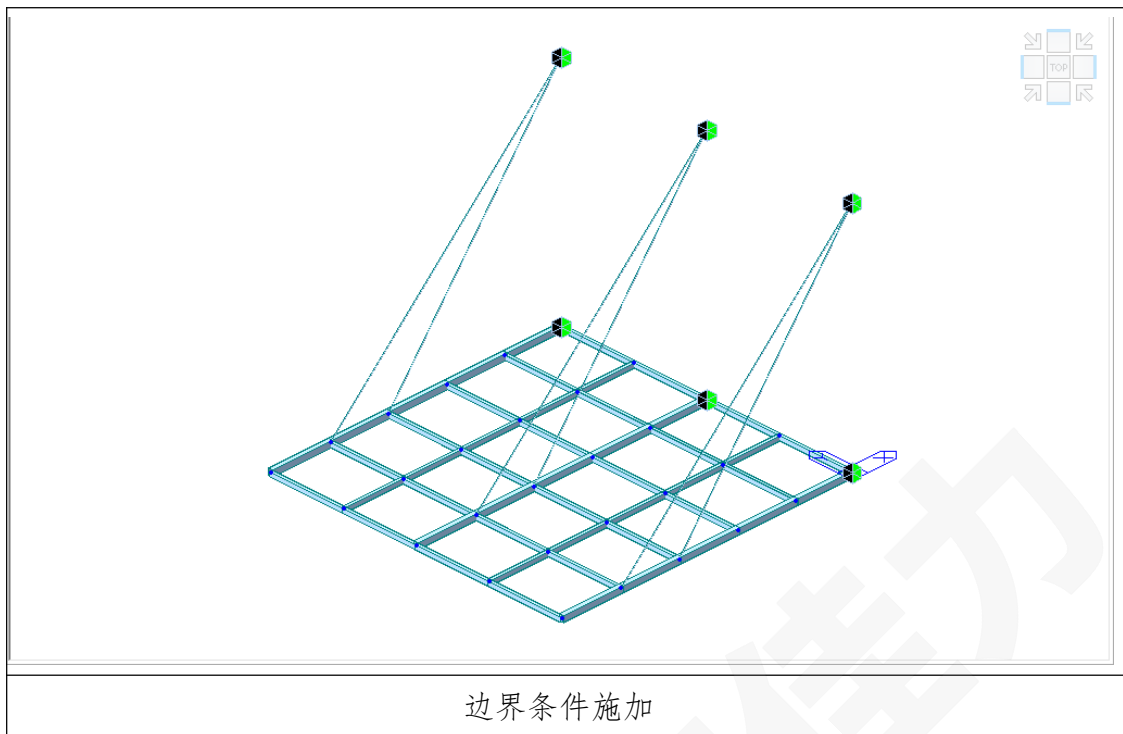
3、模型建立

使用 midasGen 对模型进行建立。



4、边界条件建立

钢柱底部及钢丝绳顶部设置铰接接触。



5、荷载取值

5.1 恒荷载

(1) 自重作用

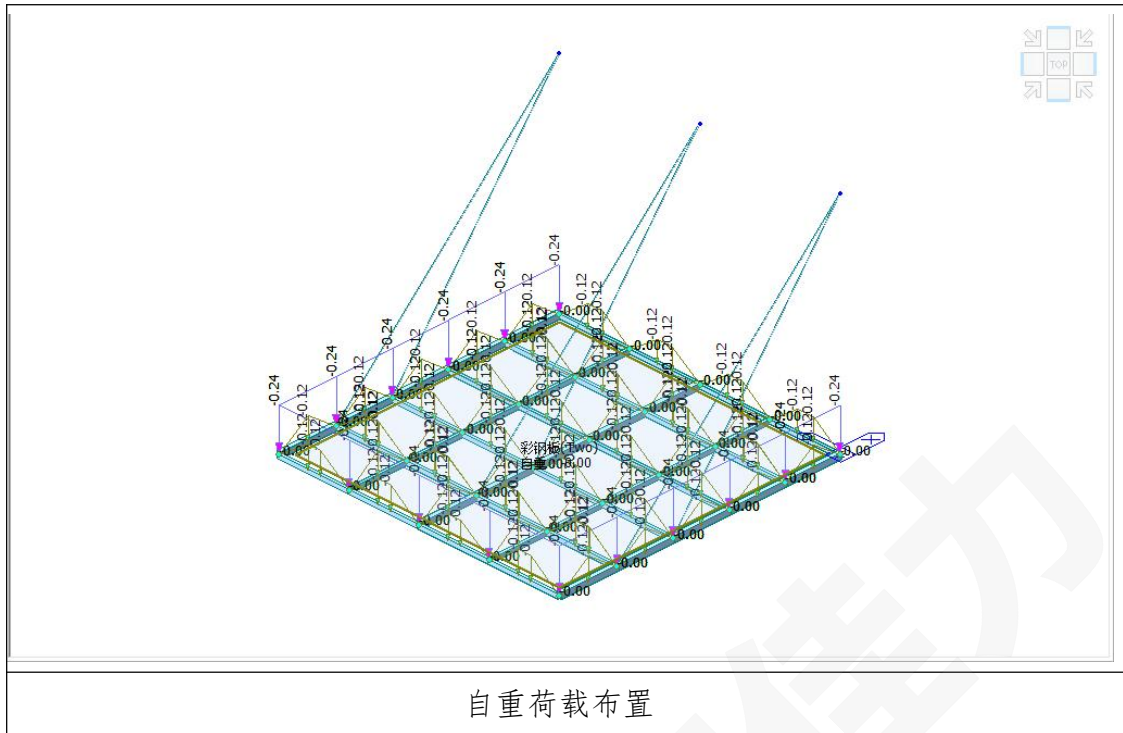
架体自重由迈达斯软件自行计入；

根据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[附条文说明]》JGJ130-2011

表 4.2.1-1 脚手板自重标准值取冲压钢脚手板自重为 0.3KN/m^2 。

护栏高度为 0.8m ，集度线荷载为 $0.8 \times 0.3 = 0.24\text{KN/m}$ 。

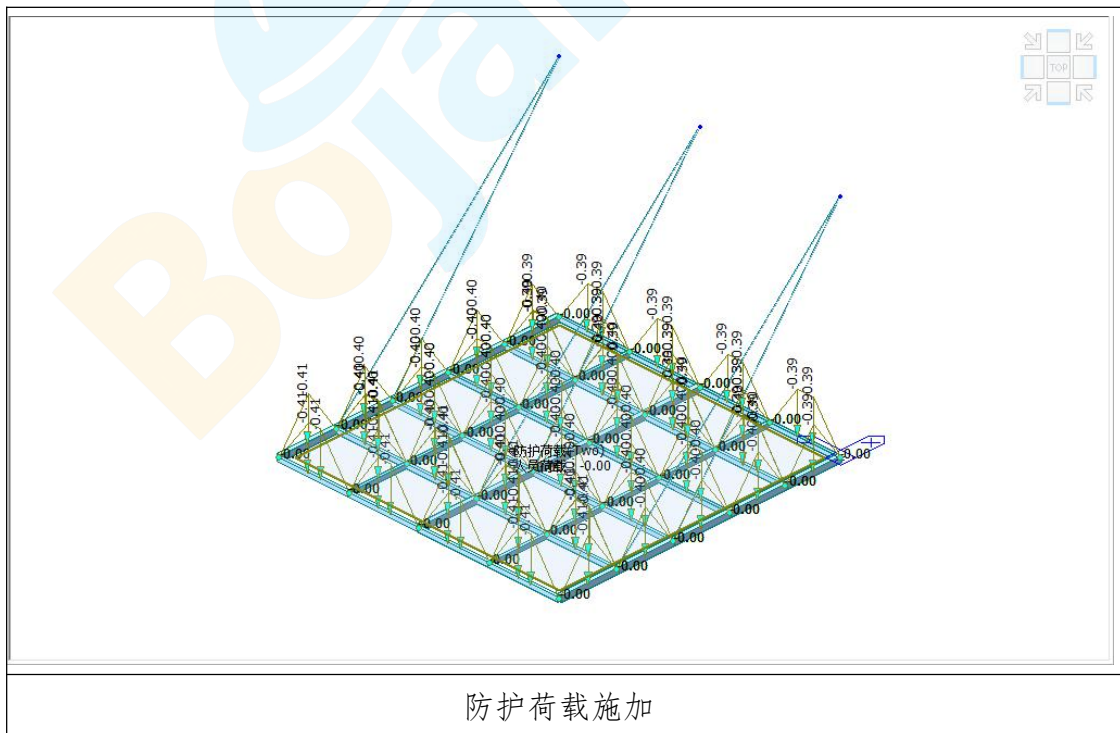
自重荷载布置如下：



5.2 活荷载

(1) 防护荷载

参照《施工脚手架通用规范》GB55023-202 表 4.2.4-1 作业脚手架施工荷载标准值取防护荷载为 1.0KN/m^2 。



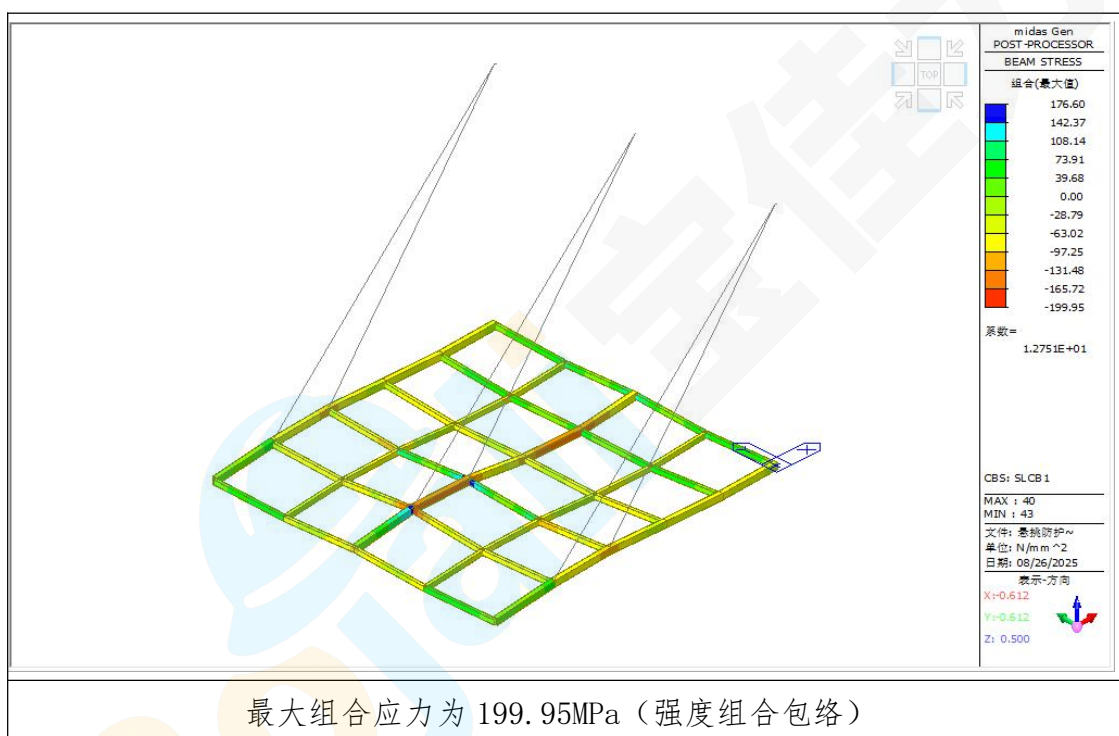
6、工况分析

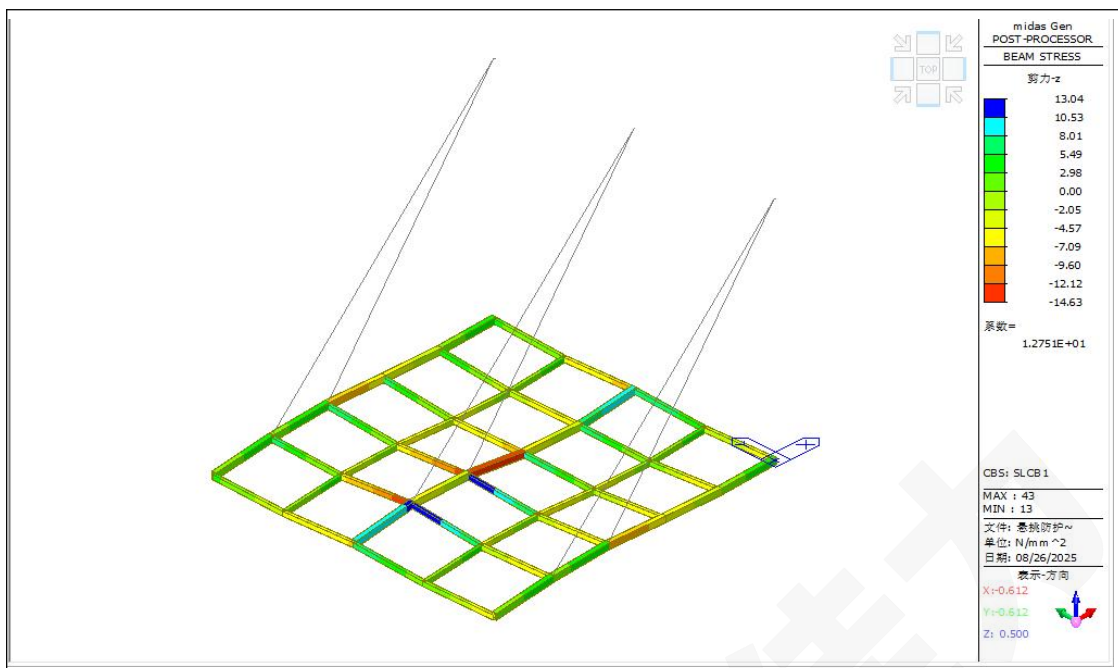
本结构采用以概率论为基础的极限状态法进行设计,其中承载极限状态包括构件强度破坏、构件稳定性破坏、及整个结构的倾覆破坏;正常使用极限状态包括结构、构件的变形。结构构件按照短暂设计状况设计,安全等级为二级,结构的重要性系数。

荷载组合	组合方式	自重荷载	防护荷载
强度	相加	1.3	1.5
刚度	相加	1.0	1.0

7、验算结果

7.1 强度验算

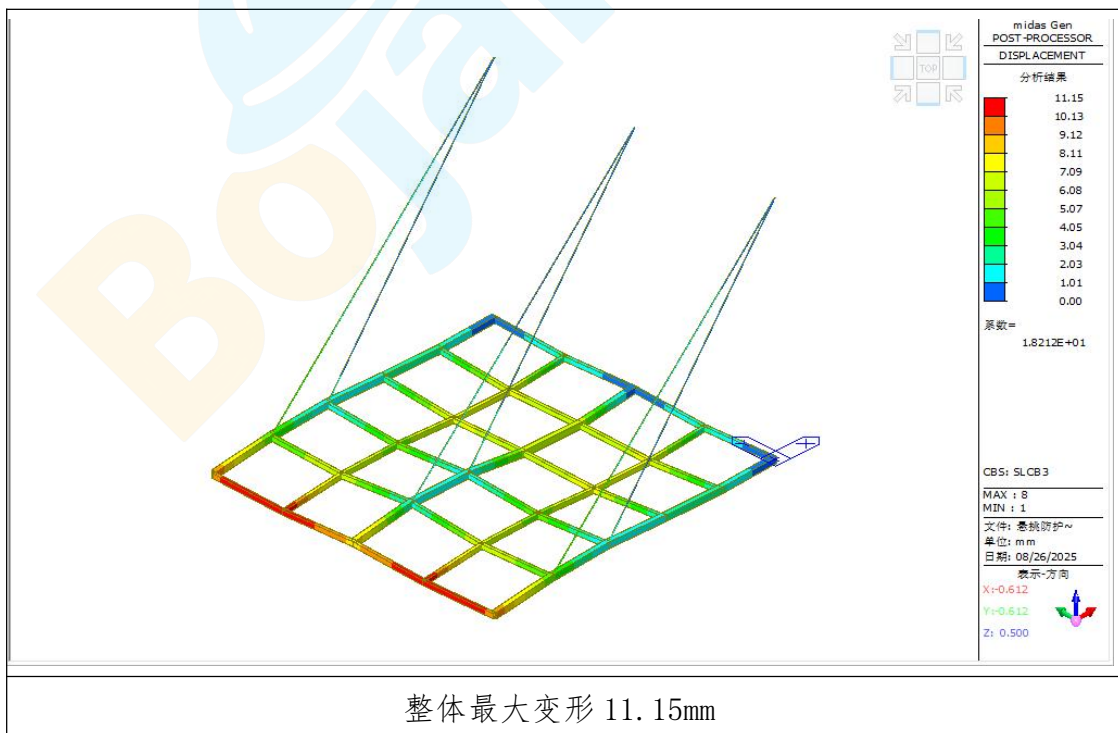




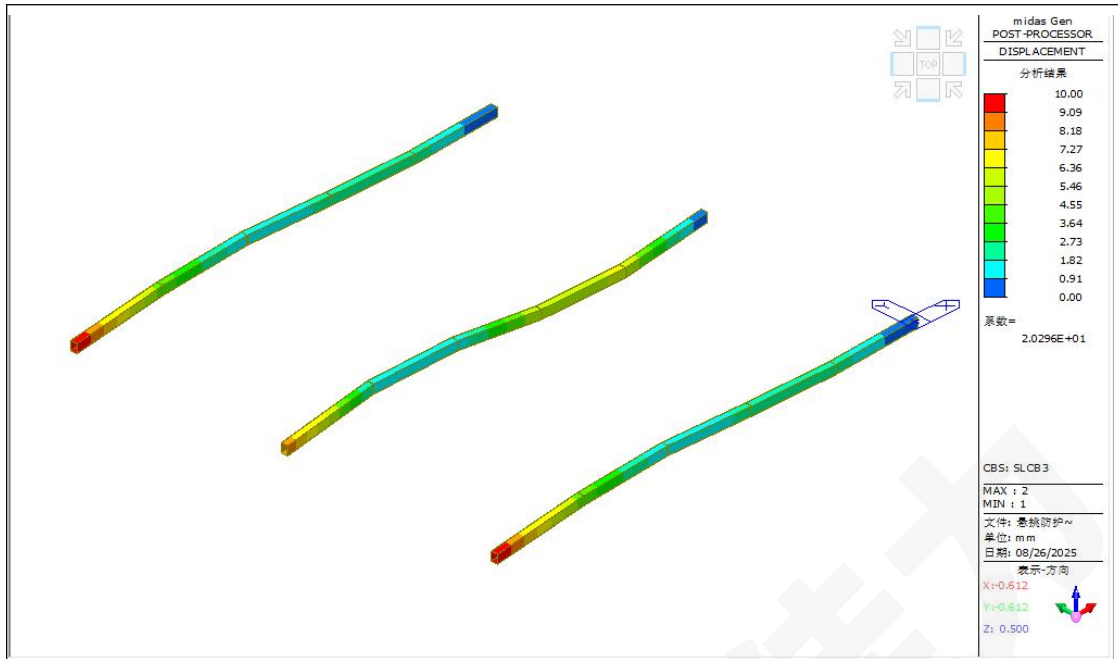
最大剪应力为 14.63MPa（强度组合包络）

悬挑防护棚结构材质为 Q235 钢，许用组合应力为 215MPa，许用剪应力为 125MPa，悬挑防护棚结构最大组合应力为 199.95Mpa<215Mpa，安全！最大剪应力 14.63MPa<125MPa，安全！

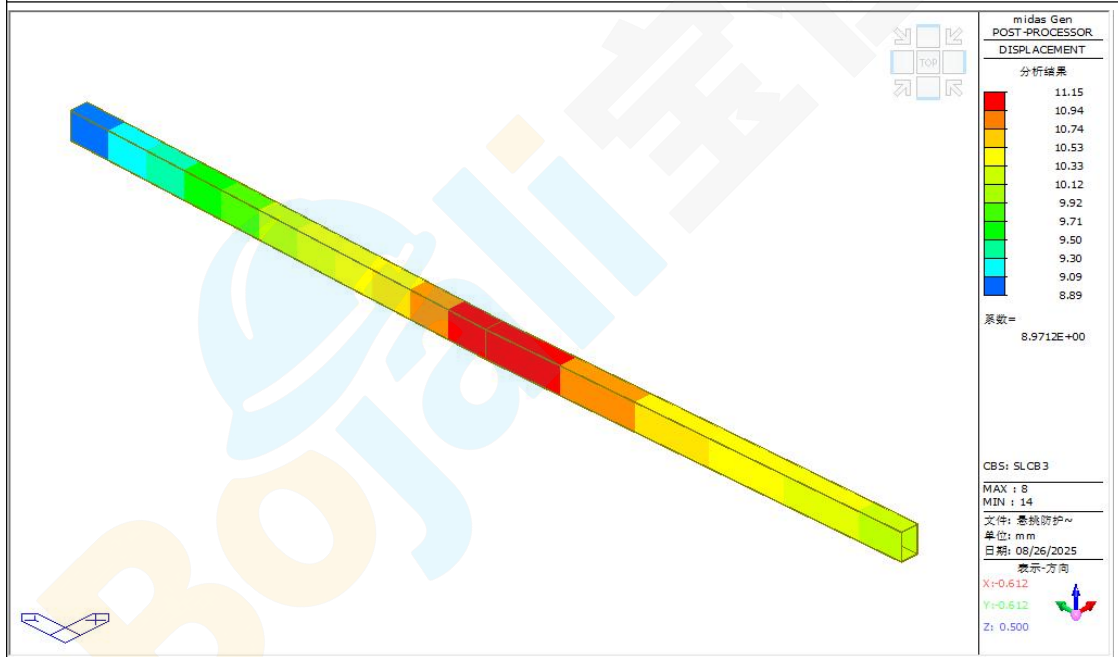
7.2 变形验算



整体最大变形 11.15mm



主梁最大变形量为 10mm



次梁最大变形量为 11.15-8.89=2.26mm

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 $L / 400$, L 为受弯构件的跨度(对悬臂梁和伸臂梁为悬臂长度的 2 倍)。

主梁长度为 4m, 最大变形量为 10mm, $10/8000 < 1/400$, 结构刚度安全!

次梁长度为 2m, 最大变形量为 2.26mm, $2.26/4000 < 1/400$, 结构刚度安

全！

7.3 稳定性验算

7.3.1 B80*60*2 杆件稳定性验算

y 向稳定验算：

按纯弯验算的过程：

内力： $M_y = -9.6784e+05$, $M_z = 2.0044e+04$ (sLCB1,J 端)

非抗震组合： $\gamma_0 = 0.90$

受力类型：受弯

根据规范 GB50017-17 公式 6.2.3：

截面板件宽厚比等级为 S1 级，

$$W_y = I_y / z = 4966.27$$

$$W_z = I_z / y = 3969.91$$

$$\gamma_z = 1.05$$

$$\phi_b = 1.00$$

$$f = 215.00$$

$$M_y / (\phi_b W_y f) + M_z / (\gamma_z W_z f) = 0.84 \leq 1.0, \text{满足规范要求!}$$

按压弯验算的过程：

内力： $N = -4.846$, $M_y = -9.6784e+05$, $M_z = 2.0044e+04$ (sLCB1,J 端)

非抗震组合： $\gamma_0 = 0.90$

受力类型：压弯

根据规范 GB50017-17 公式 8.2.5-1：

$$A = 291.000, I_y = 1.4899e+05, W_y = I_y / z = 4966.275$$

$$I_z = 7.9398e+04, W_z = I_z / y = 3969.912$$

$$\beta_{my} = 1.00$$

$$\lambda_y = 88.389, \text{查附录 D 表得: } \phi_y = 0.632$$

$$N'E_y = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_y^2) = 6.8844e+04$$

$$\phi_{bz} = 1.000$$

$$\eta = 0.700$$

$$\gamma_y = 1.050$$

$$\beta_{tz} = 0.65 + 0.35 M_2 / M_1 = 0.67$$

$$f = 215.000$$

$$N / (\phi_y A f) + \beta_{my} M_y / (\gamma_y W_y (1 - 0.8 N / N'E_y) f) + \eta \beta_{tz} M_z / (\phi_{bz} W_z f) = 0.79 \leq 1.0,$$

满足规范要求!

z 向稳定验算:

$$\text{内力: } N = -4.846, M_y = -9.6784e+05, M_z = 2.0044e+04 (\text{sLCB1, J 端})$$

$$\text{非抗震组合: } \gamma_0 = 0.90$$

受力类型: 压弯

根据规范 GB50017-17 公式 8.2.5-2:

$$\beta_{mz} = 1.00$$

$$\lambda_z = 60.540, \text{查附录 D 表得: } \phi_z = 0.804$$

$$N'E_z = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_z^2) = 1.4675e+05$$

$$\phi_{by} = 1.000$$

$$\eta = 0.700$$

$$\gamma_z = 1.050$$

$$\beta_{ty} = 0.65 + 0.35 M_2 / M_1 = 0.67$$

$$f = 215.000$$

$$N / (\phi_z A f) + \eta \beta_{ty} M_y / (\phi_{by} W_y f) + \beta_{mz} M_z / (\gamma_z W_z (1 - 0.8 N / N'E_z) f) = 0.40 \leq 1.0,$$

满足规范要求!

7.3.2 B60*40*1.5 杆件稳定性验算

y 向稳定验算:

按纯弯验算的过程:

内力: $M_y=1.7046e+06, M_z=0.000$ (sLCB1,l 端)

非抗震组合: $\gamma_0=0.90$

受力类型: 受弯

根据规范 GB50017-17 公式 6.2.3:

截面板件宽厚比等级为 S1 级,

$$W_y=I_y/z=1.2786e+04$$

$$W_z=I_z/y=1.0926e+04$$

$$\gamma_z=1.05$$

$$\phi_b=1.00$$

$$f=215.00$$

$$M_y/(\phi_b W_y f)+M_z/(\gamma_z W_z f)=0.56 \leq 1.0, \text{满足规范要求!}$$

按压弯验算的过程:

内力: $N=-1.3916e+04, M_y=1.7046e+06, M_z=0.000$ (sLCB1,l 端)

非抗震组合: $\gamma_0=0.90$

受力类型: 压弯

根据规范 GB50017-17 公式 8.2.5-1:

$$A=544.000 I_y=5.1145e+05, W_y=I_y/z=1.2786e+04$$

$$I_z=3.2777e+05, W_z=I_z/y=1.0926e+04$$

$$\beta_{my}=1.00$$

$$\lambda_y=77.621, \text{查附录 D 表得: } \phi_y=0.703$$

$$N'E_y = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_y^2) = 1.6689e+05$$

$$\phi_{bz} = 1.000$$

$$\eta = 0.700$$

$$\gamma_y = 1.050$$

$$\beta_{tz} = 0.65 + 0.35 M_2 / M_1 = 1.00$$

$$f = 215.000$$

$$N / (\phi_y A_f) + \beta_{my} M_y / (\gamma_y W_y (1 - 0.8 N / N'E_y) f) + \eta \beta_{tz} M_z / (\phi_{bz} W_z f) = 0.72 \leq 1.0,$$

满足规范要求!

z 向稳定验算:

$$\text{内力: } N = -1.3916e+04, M_y = 1.7046e+06, M_z = 0.000 (\text{sLCB1, l 端})$$

$$\text{非抗震组合: } \gamma_0 = 0.90$$

受力类型: 压弯

根据规范 GB50017-17 公式 8.2.5-2:

$$\beta_{mz} = 1.00$$

$$\lambda_z = 31.777, \text{查附录 D 表得: } \phi_z = 0.930$$

$$N'E_z = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_z^2) = 9.9574e+05$$

$$\phi_{by} = 1.000$$

$$\eta = 0.700$$

$$\gamma_z = 1.050$$

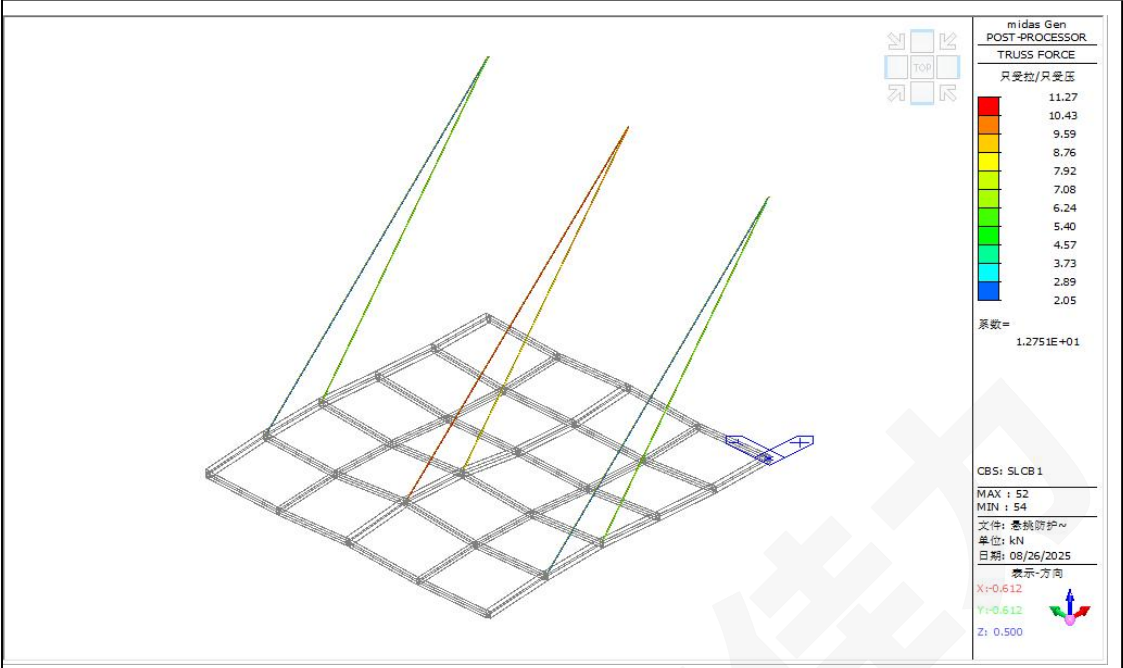
$$\beta_{ty} = 0.65 + 0.35 M_2 / M_1 = 1.00$$

$$f = 215.000$$

$$N / (\phi_z A_f) + \eta \beta_{ty} M_y / (\phi_{by} W_y f) + \beta_{mz} M_z / (\gamma_z W_z (1 - 0.8 N / N'E_z) f) = 0.51 \leq 1.0,$$

满足规范要求!

8、钢丝绳验算



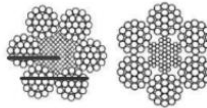
提取钢丝绳内力 N=11.27KN

上拉杆件类型	钢丝绳	钢丝绳型号	6×19(M)
钢丝绳公称抗拉强度(N/mm ²)	1570(纤维芯)	钢丝绳直径(mm)	16
钢丝绳不均匀系数 α	0.85	钢丝绳安全系数 k	9
钢丝绳绳夹型式	马鞍式	拴紧绳夹螺帽时螺栓上所受力 T(kN)	15.19
钢丝绳绳夹数量 n	2	花篮螺栓在螺纹处的有效直径 de(mm)	14
花篮螺栓抗拉强度设计值[ft](N/mm ²)	170	上拉与主梁连接形式	吊耳
吊耳板板厚 d(mm)	8	角焊缝焊角尺寸 h _f (mm)	6
角焊缝长度 l _w (mm)	100	角焊缝强度设计值 f _t [*] (N/mm ²)	160

根据《GBT20118-2017 钢丝绳通用技术条件》取最小破断力为 123KN。

GB/T 20118—2017

表 A.2 6×19M 类钢丝绳

		典型结构				钢丝绳直径范围/ mm		
6×19M-FC 6×19M-1WRC 典型结构图		钢丝绳 结构	股结构	外层钢丝数				
				总数	每股			
		6×19M	1-6/12	72	12	3~52		
钢丝绳 公称 直径/ mm	参考重量/ (kg/100 m)		钢丝绳级					
			1 570		1 770		1 960	
			钢丝绳最小破断拉力/kN					
	纤维芯	钢芯	纤维芯	钢芯	纤维芯	钢芯	纤维芯	钢芯
3	3.16	3.60	4.34	4.69	4.89	5.29	5.42	5.86
4	5.62	6.40	7.71	8.34	8.69	9.40	9.63	10.4
5	8.78	10.0	12.0	13.0	13.6	14.7	15.0	16.3
6	12.6	14.4	17.4	18.8	19.6	21.2	21.7	23.4
7	17.2	19.6	23.6	25.5	26.6	28.8	29.5	31.9
8	22.5	25.6	30.8	33.4	34.8	37.6	38.5	41.6
9	28.4	32.4	39.0	42.2	44.0	47.6	48.7	52.7
10	35.1	40.0	48.2	52.1	54.3	58.8	60.2	65.1
11	42.5	48.4	58.3	63.1	65.8	71.1	72.8	78.7
12	50.5	57.6	69.4	75.1	78.2	84.6	86.6	93.7
13	59.3	67.6	81.5	88.1	91.8	99.3	102	110
14	68.8	78.4	94.5	102	107	115	118	128
16	89.9	102	123	133	139	150	154	167
18	114	130	156	169	176	190	195	211
20	140	160	193	208	217	235	241	260
22	170	194	233	252	263	284	291	315
24	202	230	278	300	313	338	347	375
26	237	270	326	352	367	397	407	440
28	275	314	378	409	426	461	472	510
32	359	410	494	534	556	602	616	666
36	455	518	625	676	704	762	780	843
40	562	640	771	834	869	940	963	1 041
44	680	774	933	1 010	1 050	1 140	1 160	1 260
48	809	922	1 110	1 200	1 250	1 350	1 390	1 500
52	949	1 080	1 300	1 410	1 470	1 590	1 630	1 760
注 1：直径为 3 mm~7 mm 的钢丝绳采用钢丝股芯(WSC)，破断拉力用 K _s 来计算。表中给出的钢芯是独立的钢丝绳芯(IWRC)的数据。								
注 2：钢丝绳最小破断拉力总和=钢丝绳最小破断拉力×1.226(纤维芯)或 1.321(钢芯)。								

钢丝绳承载力[F_g]=α×F_g/k=0.85×123/9=11.62kN>N=11.27kN

符合要求！

n=1.667[F_g]/(2T)=1.667×11.62/(2×15.19)=1 个≤[n]=2 个

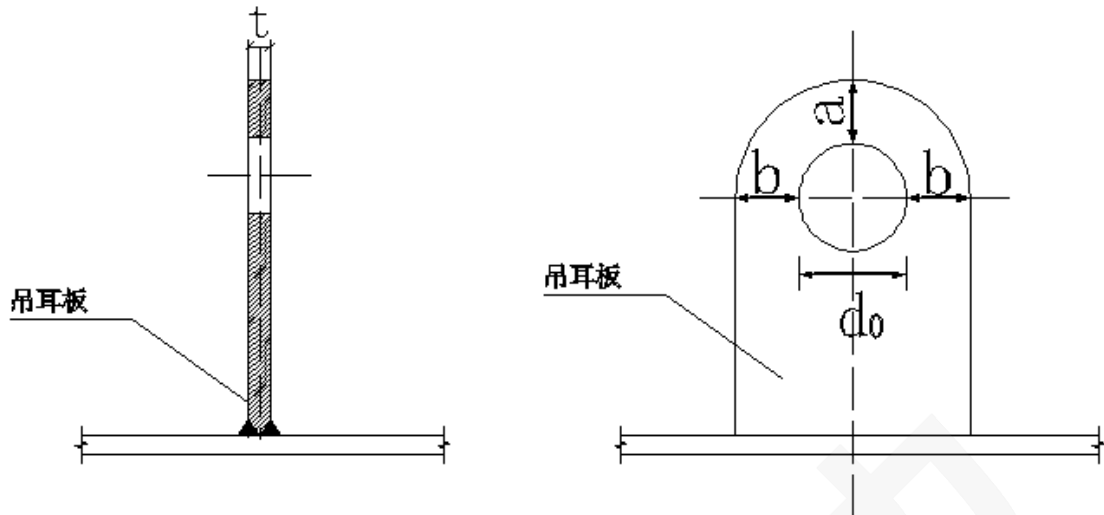
符合要求！

花篮螺栓验算：

σ=[F_g]/(π×d_c²/4)=11.62×10³/(π×14²/4)=75.52N/mm²≤[f_t]=170N/mm²

符合要求！

9、吊耳板计算



由于型钢主梁位置吊耳板排数为 1，则单个吊耳板所受荷载为

$$N_d = 15.7/1 = 15.7 \text{ kN}$$

参考 GB50017-2017，对连接耳板进行如下验算：

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 8 + 16 = 32 \text{ mm} \leq b = 38 \text{ mm}$$

满足要求！

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t + 16, b - d_0/3) = \min(2 \times 8 + 16, 38 - 24/3) = 30 \text{ mm}$$

$$\sigma = N_d / (2tb_1) = 11.27 \times 10^3 / (2 \times 8 \times 30) = 23.48 \text{ N/mm}^2 \leq f = 205 \text{ N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求！

(3) 耳板端部截面抗拉（劈开）强度验算

$$\sigma = N_d / [2t(a - 2d_0/3)] = 11.27 \times 10^3 / [2 \times 8 \times (38 - 2 \times 24/3)] = 32.01 \text{ N/mm}^2 \leq f = 205 \text{ N/mm}^2$$

mm²

耳板端部截面抗拉强度满足要求！

(4) 耳板抗剪强度验算

耳板端部抗剪截面宽度：

$$Z=[(a+d_0/2)^2-(d_0/2)^2]^{0.5}=[(38+24/2)^2-(24/2)^2]^{0.5}=48.539\text{mm}$$

$$\tau=N_d/(2tZ)=11.27\times 10^3/(2\times 8\times 48.539)=14.51\text{N/mm}^2\leq f_v=125\text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求！

10、吊耳板与型钢主梁连接焊缝验算

垂直于焊缝长度作用力（正应力）：

$$\sigma f=F_1/(0.7hflw_1)=11.27\times 10^3/(0.7\times 6\times 100)=26.83\text{N/mm}^2\leq \beta_t f_t^w=1.22\times 160=195.2\text{N/mm}^2$$

平行于焊缝长度作用力（剪应力）：

$$\tau f=V_1/(0.7hflw_1)=11.27\times 10^3/(0.7\times 6\times 100)=26.83\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

$$[(\sigma f/\beta_t f_t^w)^2+\tau f^2]^{0.5}=[(26.83/1.22)^2+26.83^2]^{0.5}=34.69\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

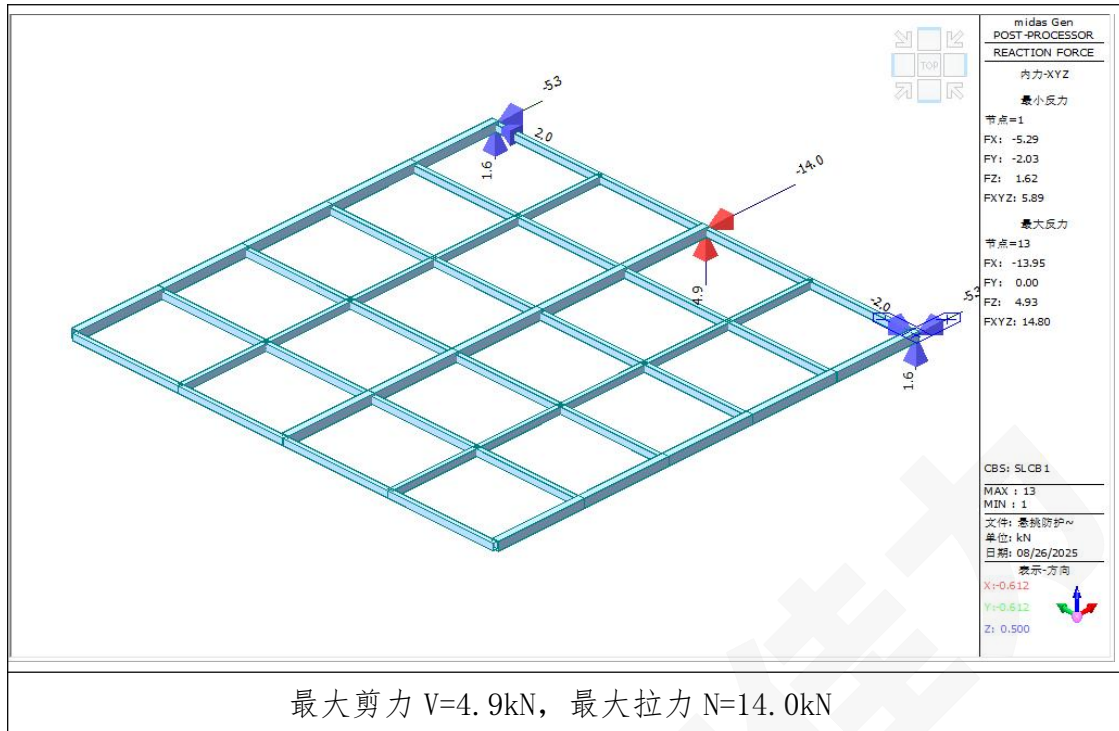
吊耳板焊缝强度满足要求！

11、悬挑主梁与结构连接节点验算

1) 计算参数

螺栓类型	承压型高强螺栓	高强螺栓的性能等级	10.9 级
竖向连接钢板强度等级	Q235	竖向连接钢板厚度 d_t (mm)	10
高强螺栓公称直径	M18	高强螺栓个数 n	2
高强螺栓的有效直径 (mm)	17.65	连接钢板承压强度设计值 f_c^b (N/mm ²)	470
高强螺栓抗剪强度设计值 f_v^b (N/mm ²)	250	高强螺栓抗拉强度设计值 f_t^b (N/mm ²)	400

2) 反力提取



3) 高强螺栓承载力计算

单个高强螺栓所受的剪力值 $N_v = V/n = 4.9/2 = 2.45\text{kN}$

单个高强螺栓所受的拉力值 $N_t = N/n = 14.0/2 = 7.0\text{kN}$

单个高强螺栓抗剪承载力设计值

$$N_v^b = n_v \pi d_e^2 f_v^b / 4 = 1 \times 3.142 \times 17.65^2 \times 250 / (4 \times 1000) = 61.167\text{kN}$$

每个高强螺栓受拉承载力设计值

$$N_t^b = \pi d_e^2 f_t^b / 4 = 3.142 \times 17.65^2 \times 400 / (4 \times 1000) = 97.868\text{kN}$$

承压承载力设计值 $N_c^b = d \times d_t \times f_c^b / 1000 = 20 \times 10 \times 470 / 1000 = 94\text{kN}$

$$[(N_v/N_v^b)^2 + (N_t/N_t^b)^2]^{0.5} = [(2.45/61.167)^2 + (7.0/97.868)^2]^{0.5} = 0.08 \leq 1$$

$$N_v = 7.0\text{kN} \leq N_c^b / 1.2 = 94 / 1.2 = 78.333\text{kN}$$

螺栓承载力满足要求。

12、钢丝绳与结构连接节点验算

1) 计算参数

螺栓类型	承压型高强螺栓	高强螺栓的性能等级	10.9 级
------	---------	-----------	--------

竖向连接钢板强度等级	Q235	竖向连接钢板厚度 d_t (mm)	10
高强螺栓公称直径	M18	高强螺栓个数 n	1
高强螺栓的有效直径 (mm)	17.65	连接钢板承压强度设计值 f_c^b (N/mm ²)	470
高强螺栓抗剪强度设计值 f_v^b (N/mm ²)	250	高强螺栓抗拉强度设计值 f_t^b (N/mm ²)	400

2) 反力提取



3) 高强螺栓承载力计算

单个高强螺栓所受的剪力值 $N_v=V/n=15.4/1=15.4\text{kN}$

单个高强螺栓所受的拉力值 $N_t=N/n=14.1/1=14.1\text{kN}$

单个高强螺栓抗剪承载力设计值

$$N_v^b = n_v \pi d_e^2 f_v^b / 4 = 1 \times 3.142 \times 17.65^2 \times 250 / (4 \times 1000) = 61.167\text{kN}$$

每个高强螺栓受拉承载力设计值

$$N_t^b = \pi d_e^2 f_t^b / 4 = 3.142 \times 17.65^2 \times 400 / (4 \times 1000) = 97.868\text{kN}$$

承压承载力设计值 $N_c^b = d \times d_t \times f_c^b / 1000 = 20 \times 10 \times 470 / 1000 = 94\text{kN}$

$$[(N_v/N_v^b)^2 + (N_t/N_t^b)^2]^{0.5} = [(15.4/61.167)^2 + (14.1/97.868)^2]^{0.5} = 0.29 \leq 1$$

$$N_v = 14.1 \text{ kN} \leq N_c^b / 1.2 = 94 / 1.2 = 78.333 \text{ kN}$$

螺栓承载力满足要求。

13、结论

该悬挑防护棚强度、刚度及稳定性均满足要求。