

# XGT360-20S1 塔机第一道附着计算书

计算依据:

- 1、《塔式起重机混凝土基础工程技术标准》JGJ/T187-2019
- 2、《钢结构设计标准》GB50017-2017
- 3、《钢结构通用规范》GB 55006-2021

## 一、塔机附着杆参数

塔机型号	XGT360-20S1	塔身桁架结构类型	型钢
塔机计算高度 H(m)	98	塔身宽度 B(m)	2
起重臂长度 $l_1$ (m)	45	荷载确定方式	按构件不平衡自重计算
平衡臂长度 $l_2$ (m)	16.5	起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	2.35
工作状态时扭矩标准值 $T_{k1}$ (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1787	工作状态不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 $M_k$ (kN·m)	2819
非工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 $M_k'$ (kN·m)	2215		

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	2.34

## 二、风荷载及附着参数

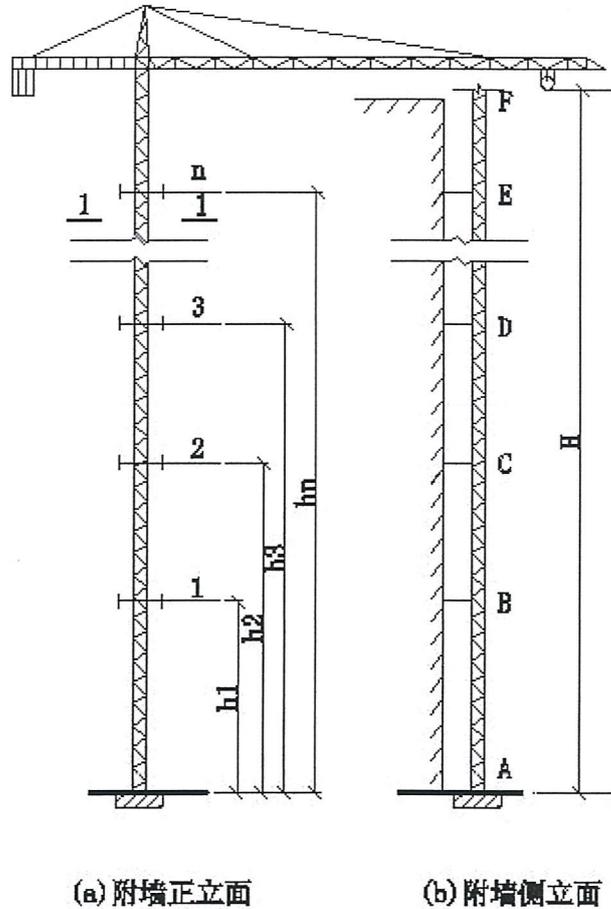
附着次数 N	1		
附着点 1 到塔机的横向距离 $a_1$ (m)	0.119	点 1 到塔机的竖向距离 $b_1$ (m)	7.788
附着点 2 到塔机的横向距离 $a_2$ (m)	1.327	点 2 到塔机的竖向距离 $b_2$ (m)	5.866
附着点 3 到塔机的横向距离 $a_3$ (m)	2.844	点 3 到塔机的竖向距离 $b_3$ (m)	4.014
附着点 4 到塔机的横向距离 $a_4$ (m)	1.652	点 4 到塔机的竖向距离 $b_4$ (m)	5.904
工作状态基本风压 $\omega_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	0.25	非工作状态基本风压 $\omega_0'$ (kN/m <sup>2</sup> )	1.2
塔身前后片桁架的平均充实率 $\alpha_0$	0.35		



第 N 次附着	附着点高度 $h_1$ (m)	附着点净高 $h_{01}$ (m)	风压等效高度变化系数 $\mu_z$	工作状态风荷载体型系数 $\mu_s$	非工作状态风荷载体型系数 $\mu_s'$	工作状态风振系数 $\beta_z$	非工作状态风振系数 $\beta_z'$	工作状态风压等效均布线荷载标准	非工作状态风压等效均布线荷载标准
---------	-----------------	--------------------	--------------------	---------------------	-----------------------	--------------------	----------------------	-----------------	------------------

								值 $q_{sk}$	准值 $q_{sk}'$
第1次附着	50	50	1.613	1.95	1.95	1.497	1.61	0.791	4.084
悬臂端	98	48	1.892	1.95	1.95	1.506	1.629	0.933	4.846

附图如下:



塔机附着立面图

### 三、工作状态下附墙杆内力计算

#### 1、扭矩组合值 $T_k$

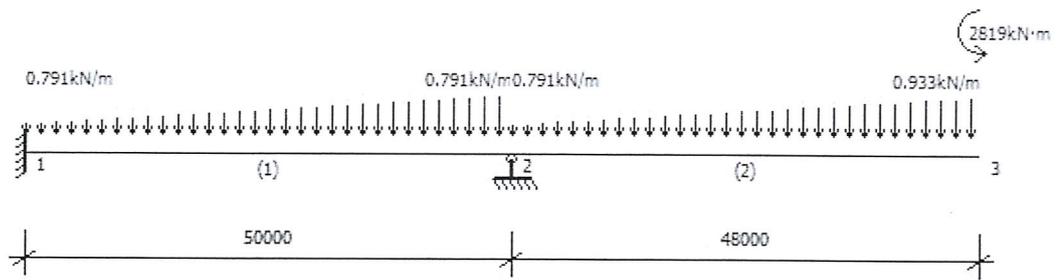
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1787 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

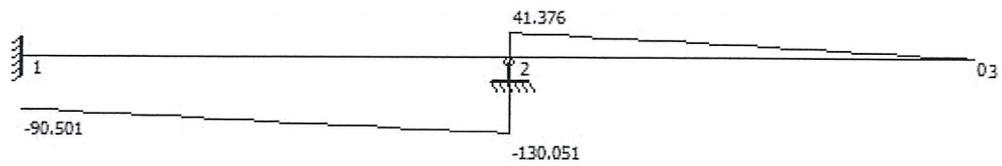
回转惯性力及风荷载产生的扭矩设计值:

$$T_k = 1.5 \times T_{k1} = 2680.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### 2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

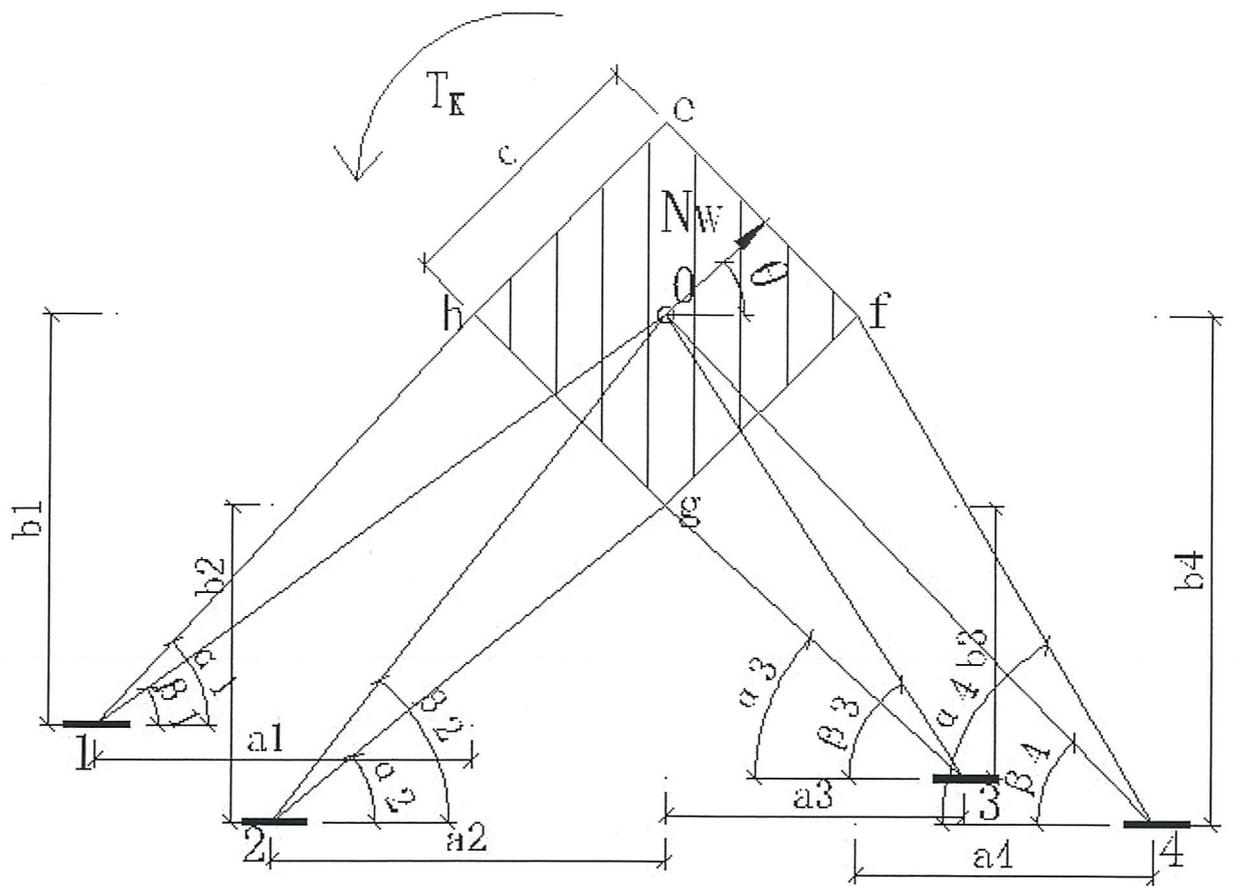
支座反力标准值得： $R_E=171.427\text{kN}$

在工作状态下，塔机起重臂位置的不确定性以及风向的随机性，在计算支座 2 处锚固环截面内力时需考虑塔身承受双向的风荷载和倾覆力矩及扭矩。

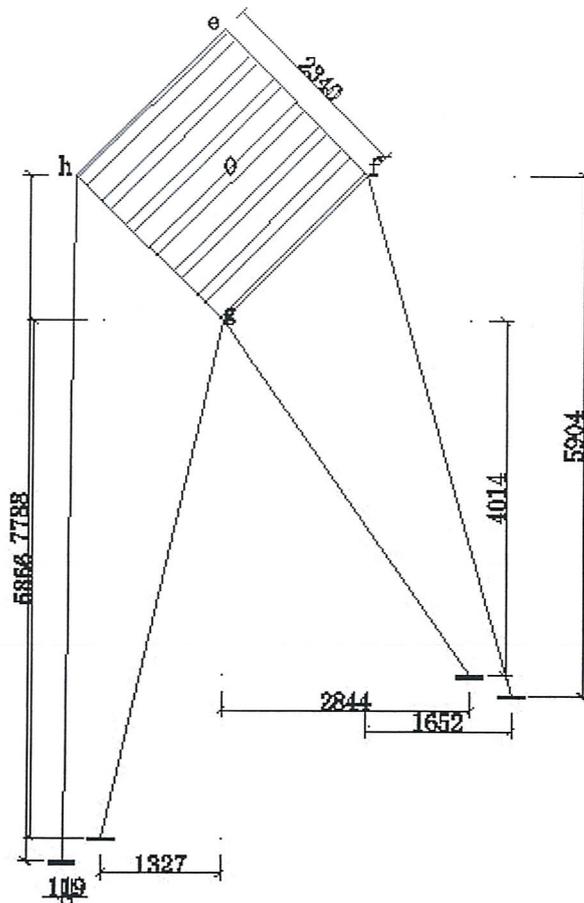
### 3、附墙杆内力计算

支座 2 处锚固环的截面扭矩  $T_k$ （考虑塔机产生的扭矩由支座 2 处的附墙杆承担），水平内力  $N_w=1.5 \times R_E=257.14\text{kN}$

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 89.125^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 77.253^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 54.682^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 74.368^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 77.17^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 79.993^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 63.357^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 60.748^\circ$$

四杆附着属于一次超静定结构，用力法计算，切断 T<sub>4</sub> 杆并代以相应多余未知力 X<sub>1</sub>=1。

$$\delta_{11} \times X_1 + \Delta_{1p} = 0$$

$X_1=1$  时, 各杆件轴力计算:

$$T_{11} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times b_1 / \sin \beta_1 + T_{21} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + 2^{0.5}c/2) / \sin \beta_2 - T_{31} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + 2^{0.5}c/2) / \sin \beta_3 - 1 \times \sin(\alpha_4 - \beta_4) \times b_4 / \sin \beta_4 = 0$$

$$T_{21} \times \sin \alpha_2 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{21} \times \cos \alpha_2 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{31} \times \sin \alpha_3 \times (2^{0.5} \times c/2) - T_{31} \times \cos \alpha_3 \times (2^{0.5} \times c/2) + 1 \times \sin \alpha_4 \times (2^{0.5} \times c/2) = 0$$

$$T_{11} \times \sin \alpha_1 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{11} \times \cos \alpha_1 \times (2^{0.5} \times c/2) - 1 \times \sin \alpha_4 \times (2^{0.5} \times c/2) - 1 \times \cos \alpha_4 \times (2^{0.5} \times c/2) = 0$$

当  $N_w$ 、 $T_k$  同时存在时,  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 各杆件轴力计算:

$$T_{1p} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times b_1 / \sin \beta_1 + T_{2p} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + 2^{0.5}c/2) / \sin \beta_2 - T_{3p} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + 2^{0.5}c/2) / \sin \beta_3 - T_k = 0$$

$$T_{2p} \times \sin \alpha_2 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{2p} \times \cos \alpha_2 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{3p} \times \sin \alpha_3 \times (2^{0.5} \times c/2) - T_{3p} \times \cos \alpha_3 \times (2^{0.5} \times c/2) + N_w \times \sin \theta \times (2^{0.5} \times c/2) + T_k = 0$$

$$T_{1p} \times \sin \alpha_1 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{1p} \times \cos \alpha_1 \times (2^{0.5} \times c/2) + N_w \times \cos \theta \times (2^{0.5} \times c/2) - T_k = 0$$

$$\delta_{11} = \Sigma(T_i^2 L / (EA)) = T_{11}^2 (a_1 / \cos \alpha_1) / (EA) + T_{21}^2 (a_2 / \cos \alpha_2) / (EA) + T_{31}^2 (a_3 / \cos \alpha_3) / (EA) + 1^2 (a_4 / \cos \alpha_4) / (EA)$$

$$\Delta_{1p} = \Sigma(T_i \times T_p L / (EA)) = T_{11} \times T_{1p} (a_1 / \cos \alpha_1) / (EA) + T_{21} \times T_{2p} (a_2 / \cos \alpha_2) / (EA) + T_{31} \times T_{3p} (a_3 / \cos \alpha_3) / (EA)$$

$$X_1 = -\Delta_{1p} / \delta_{11}$$

各杆轴力计算公式如下:

$$T_1 = T_{11} \times X_1 + T_{1p}, \quad T_2 = T_{21} \times X_1 + T_{2p}, \quad T_3 = T_{31} \times X_1 + T_{3p}, \quad T_4 = X_1$$

(1)  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 当  $T_k$  按图上方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力:

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 521.446 \text{ kN}, \quad T_2 = 0 \text{ kN}, \quad T_3 = 523.477 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 874.896 \text{ kN}, \quad T_3 = 87.769 \text{ kN}, \quad T_4 = 1117.317 \text{ kN}$$

(2)  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 当  $T_k$  按图上反方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力:

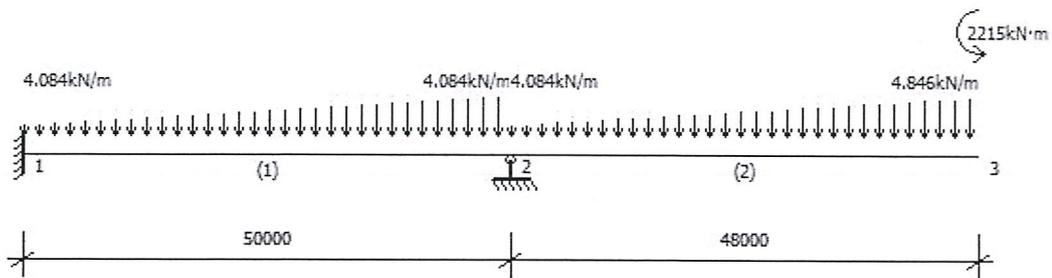
最大轴压力  $T_1=0\text{kN}$ ,  $T_2=874.894\text{kN}$ ,  $T_3=87.768\text{kN}$ ,  $T_4=1117.317\text{kN}$

最大轴拉力  $T_1=521.446\text{kN}$ ,  $T_2=0\text{kN}$ ,  $T_3=523.477\text{kN}$ ,  $T_4=0\text{kN}$

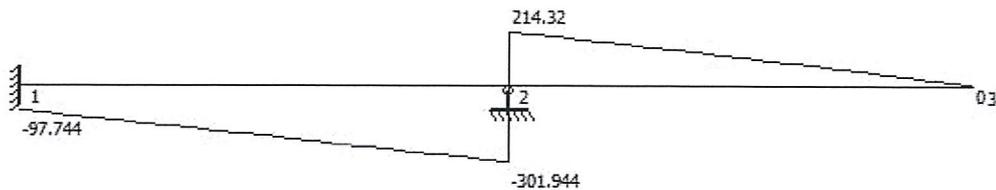
#### 四、非工作状态下附墙杆内力计算

此工况下塔机回转机构的制动器完全松开，起重臂能随风转动，故不计风荷载产生的扭转力矩。

##### 1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

支座反力标准值得:  $R_E=516.264\text{kN}$

##### 2、附墙杆内力计算

支座 2 处锚固环的水平内力  $N_w=1.5 \times R_E=774.396\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组  $T_k=0$ ,  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 求解各杆最大轴拉力和轴压力:

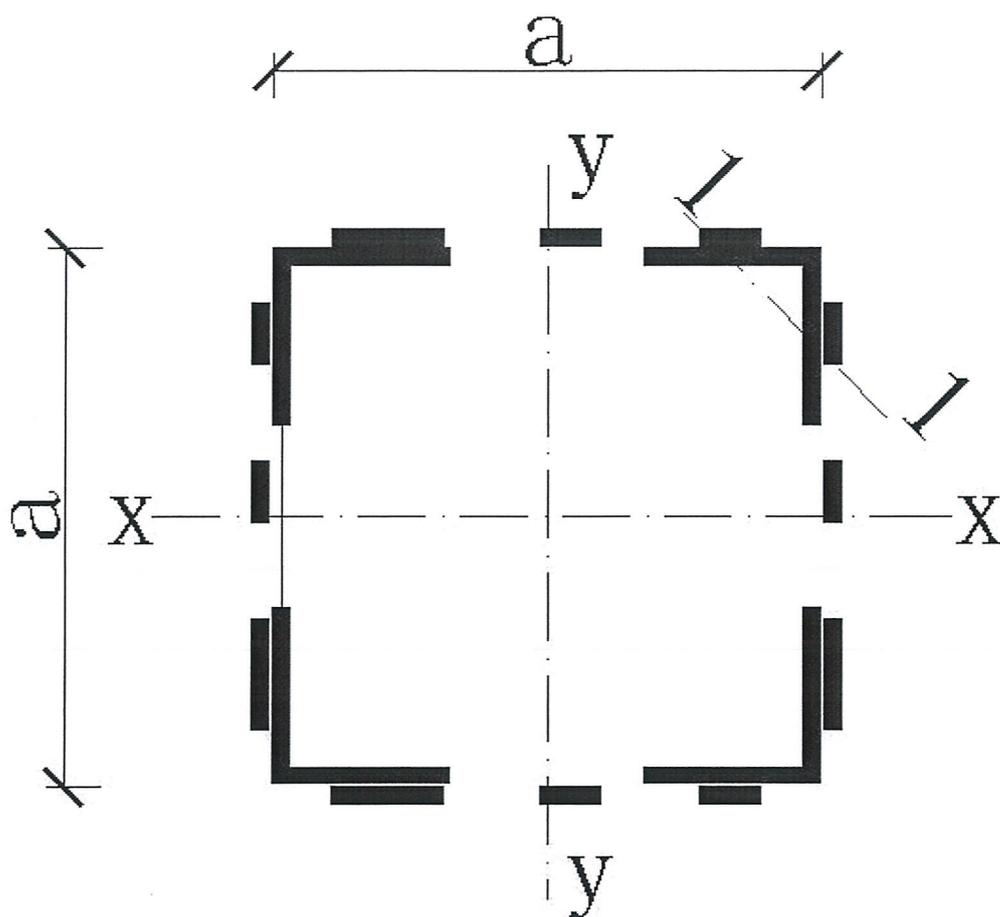
最大轴压力  $T_1=268.784\text{kN}$ ,  $T_2=748.186\text{kN}$ ,  $T_3=920.402\text{kN}$ ,  $T_4=478.98\text{kN}$

最大轴拉力  $T_1=268.785\text{kN}$ ,  $T_2=748.189\text{kN}$ ,  $T_3=920.405\text{kN}$ ,  $T_4=478.979\text{kN}$

### 五、附墙杆强度验算

格构柱参数			
格构柱截面类型	四肢	格构柱缀件形式	缀条
缀件间净距 $l_{01}(\text{mm})$	400	格构柱截面边长 $a(\text{mm})$	400
格构柱分肢参数			
格构柱分肢材料	L100X10	分肢材料截面积 $A_0(\text{cm}^2)$	19.26
分肢对最小刚度轴的回转半径 $i_{y0}(\text{cm})$	1.96	分肢平行于对称轴惯性矩 $I_0(\text{cm}^4)$	179.51
分肢形心轴距分肢外边缘距离 $Z_0(\text{cm})$	2.84	分肢材料强度设计值 $f_y(\text{N}/\text{mm}^2)$	235
分肢材料抗拉、压强度设计值 $f(\text{N}/\text{mm}^2)$	210		
格构柱缀件参数			
缀条材料	L50X5	缀条最小回转半径 $i_{\text{nim}}(\text{cm})$	0.98
缀条截面积 $A_2(\text{cm}^2)$	4.8		
角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	6	焊缝计算长度 $l_f(\text{mm})$	200
焊缝强度设计值 $f_{\text{fw}}(\text{N}/\text{mm}^2)$	160		

附图如下:



塔机附着格构柱截面

### 1、杆件轴心受拉强度验算

$$A=4A_0=4\times 19.26\times 100=7704\text{mm}^2$$

$$\sigma=N/A=1117317/7704=145.031\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

### 2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=7788.909\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

$$I_x=4[I_0+A_0(a/2-Z_0)^2]=4\times [179.51+19.26\times (40/2-2.84)^2]=23403.67\text{cm}^4$$

$$\text{整个构件长细比: } \lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=778.891/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=44.688$$

$$\text{分肢长细比: } \lambda_1=l_{01}/i_{y0}=40/1.96=20.408$$

$$\text{分肢毛截面积之和: } A=4A_0=4\times 19.26\times 100=7704\text{mm}^2$$

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和:

$$A_{1x}=2A_z=2\times 480=960\text{mm}^2$$

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比:

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(44.688^2+40\times 7704/960)^{0.5}=48.146$$

附墙杆 1 长细比:

$$\lambda_{01\max}=48.146\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.865$$

满足要求!

附墙杆 2 长细比:

$$\lambda_{02\max}=38.88\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.903$$

满足要求!

附墙杆 3 长细比:

$$\lambda_{03\max}=33.431\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.924$$

满足要求!

附墙杆 4 长细比:

$$\lambda_{04\max}=39.475\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.901$$

满足要求!

附墙杆 1 轴心受压稳定验算:

$$N_1/(\varphi_1 A f)=521446/(0.865\times 7704\times 210)=0.373\leq 1$$

满足要求!

附墙杆 2 轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A f)=874896/(0.903\times 7704\times 210)=0.599\leq 1$$

满足要求!

附墙杆 3 轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A f)=920405/(0.924\times 7704\times 210)=0.616\leq 1$$

满足要求!

附墙杆 4 轴心受压稳定验算:

$$N_4/(\varphi_4 A f)=1117317/(0.901\times 7704\times 210)=0.767\leq 1$$

满足要求!

### 3、格构式钢柱分枝的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分枝的长细比:

$$\lambda_1=20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{01\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分枝的长细比:

$$\lambda_2=20.408 \leq 0.7\lambda_{02\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{02\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分枝的长细比:

$$\lambda_3=20.408 \leq 0.7\lambda_{03\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{03\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分枝的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{04\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

### 4、缀件验算

$$\begin{aligned} \text{缀件所受剪力: } V &= Af(f_y/235)^{0.5}/85 = 7704 \times 210.00 \times 10^{-3} \\ &\times (235.00/235)^{0.5}/85 = 19.033 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{格构柱相邻缀板轴线距离: } l_1 = l_{01} + 5 = 40.00 + 5 = 45 \text{ cm}$$

$$\text{作用在一侧缀板上的弯矩: } M_0 = V l_1 / 4 = 19.033 \times 0.45 / 4 = 2.141 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{分肢型钢形心轴之间距离: } b_1 = a - 2Z_0 = 0.4 - 2 \times 0.0284 = 0.343 \text{ m}$$

斜缀条轴向压力值:

$$N_0 = V / (2 \cos \alpha) = V / (2a / (a^2 + l_1^2)^{0.5}) = 19.033 / (2 \times 0.4 / (0.4^2 + 0.45^2)^{0.5}) = 14.325 \text{ kN}$$

$$\text{缀条计算长度: } l_t = (a^2 + l_1^2)^{0.5} = (400.00^2 + 450^2)^{0.5} = 602.08 \text{ mm}$$

缀条长细比:  $\lambda=l_t/i_{\min}=60.208/0.98=61.437\leq 80$

查表《钢结构设计标准》GB50017-2017 附录 D: b 类截面轴心受压构件的稳定系数:  $\varphi=0.802$

等边角钢计算稳定性系数:

$$\eta=\min(0.6+0.0015\lambda, 1.0)=\min(0.6+0.0015\times 61.437, 1.0)=0.692$$

缀条稳定验算:

$$N_0/(\varphi\eta A_z f)=14.325\times 10^3/(0.802\times 0.692\times 4.80\times 10^2\times 215)=0.25\leq 1$$

满足要求!

需要焊缝长度:

$$\Sigma l_w=N_0/(0.7h_f\times 0.85f_f^w)=14.325\times 10^3/(0.7\times 6\times 0.85\times 160)=25\text{mm}\leq l_f=200\text{mm}$$

满足要求!

## 六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q235	建筑物混凝土强度等级	C35
连接板固定方式	锚固螺栓	连接板耳板排数	2
锚固螺栓类型	摩擦型高强螺栓	高强螺栓的性能等级	10.9 级
摩擦面抗滑移系数 u	0.45	高强螺栓公称直径	M30
一个高强螺栓的预拉力 P(kN)	355	高强螺栓传力摩擦面数目 n <sub>f</sub>	1
单吊耳板吊耳孔中心至连接钢板高度 L(mm)	150	单吊耳板连接钢板垂直方向螺栓排数 m	2
单吊耳板连接钢板水平方向螺栓排数 n	5	单吊耳板连接钢板水平方向最外侧螺栓两端中心线距离 S(mm)	450

### 1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1=N_1\sin\alpha_1=521.446\times\sin 89.125^\circ=521.385\text{kN}, V_1=N_1\cos\alpha_1=521.446\times\cos 89.125^\circ=7.967\text{kN};$$

$F_2=N_2\sin\alpha_2=874.896\times\sin77.253^\circ=853.334\text{kN}$ ,  $V_2=N_2\cos\alpha_2=874.896\times\cos77.253^\circ=193.04\text{kN}$ ;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=920.405\times\sin54.682^\circ=751.007\text{kN}$ ,  $V_3=N_3\cos\alpha_3=920.405\times\cos54.682^\circ=532.103\text{kN}$ ;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=1117.317\times\sin74.368^\circ=1075.989\text{kN}$ ,  $V_4=N_4\cos\alpha_4=1117.317\times\cos74.368^\circ=301.073\text{kN}$ ;

## 2、螺栓承载力计算

单个高强螺栓抗剪承载力设计值  $N_v^b=0.9k_n\mu P=0.9\times1\times1\times0.45\times355=143.775\text{kN}$

单个高强螺栓受拉承载力设计值  $N_t^b=0.8P=0.8\times355=284\text{kN}$

### (1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$$X_{\max}=S/2=450/2=225\text{mm}$$

$$\sum X^2 = \sum_{i=1}^n m [S/2 - (i-1)S/(n-1)]^2$$

$$\sum X^2 = 2 \times [(450/2)^2 + (450/2 - 1 \times 450/4)^2 + (450/2 - 2 \times 450/4)^2 + (450/2 - 3 \times 450/4)^2 + (450/2 - 4 \times 450/4)^2] = 253125\text{mm}^2$$

#### 附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 7.967 \times 0.15 \times 225 / 253.125 = 1.062\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 521.385 / (2 \times 5) + 1.062 = 53.201\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 7.967 / (2 \times 5) = 0.797\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=0.797/143.775+53.201/284=0.193\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=193.04\times 0.15\times 225/253.125=25.739\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=853.334/(2\times 5)+25.739=111.072\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=193.04/(2\times 5)=19.304\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=19.304/143.775+111.072/284=0.525\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 3:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=532.103\times 0.15\times 225/253.125=70.947\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=751.007/(2\times 5)+70.947=146.048\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=532.103/(2\times 5)=53.21\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=53.21/143.775+146.048/284=0.884\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=301.073\times 0.15\times 225/253.125=40.143\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=1075.989/(2\times 5)+40.143=147.742\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 301.073 / (2 \times 5) = 30.107 \text{ kN}$$

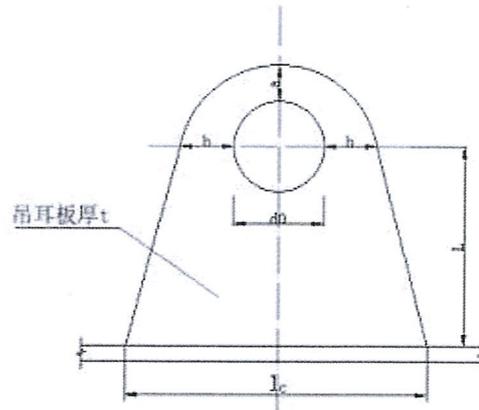
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 30.107 / 143.775 + 147.742 / 284 = 0.73 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

### 3、吊耳板计算

吊耳板厚 t(mm)	20	吊耳板两侧边缘与吊孔边缘净距 b(mm):	80
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	80	吊孔直径 d <sub>0</sub> (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm <sup>2</sup> )	295	吊耳板抗剪强度设计值 f <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	170
连接板耳板排数	2	附墙杆端部耳板排数	2



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 558.659 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 80 \text{ mm}$$

满足要求!

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 80 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 80-60/3) = 56\text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 558.659 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 249.401 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

(3) 耳板抗剪强度验算

耳板端部抗剪截面宽度:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(80+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 105.83\text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 558.659 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 105.83) = 131.971 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

#### 4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	60	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max\{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 1117.317 \text{kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

根据吊耳板排数可得, 销轴抗剪面数  $n_v = 3$

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 1117.317 \times 10^3 / (3 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 131.723 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

#### 5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	30
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_f^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	350

(1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(521.385\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=21.403\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(7.967\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=0.327\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(7.967\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=1.015\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^2]^0.5=[\frac{(21.403+1.015)}{1.22}+0.327]^2]^0.5=18.378\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 1: 连接钢板焊缝强度满足要求!

**附着点 2:**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(853.334\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=35.03\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(193.04\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=7.924\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(193.04\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=24.593\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^2]^0.5=[\frac{(35.03+24.593)}{1.22}+7.924]^2]^0.5=49.51\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 2: 连接钢板焊缝强度满足要求!

**附着点 3:**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(751.007\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=30.83\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_3/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(532.103 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)]=21.843\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(532.103 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)^2/6]=67.79\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v]^{0.5}=[\frac{(30.83+67.79)}{1.22}+21.843^2]^{0.5}=83.735\text{N/mm}^2 \leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3：连接钢板焊缝强度满足要求！

**附着点 4：**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(F_4/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(1075.989 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)]=44.17\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_4/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(301.073 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)]=12.359\text{N/mm}^2$$

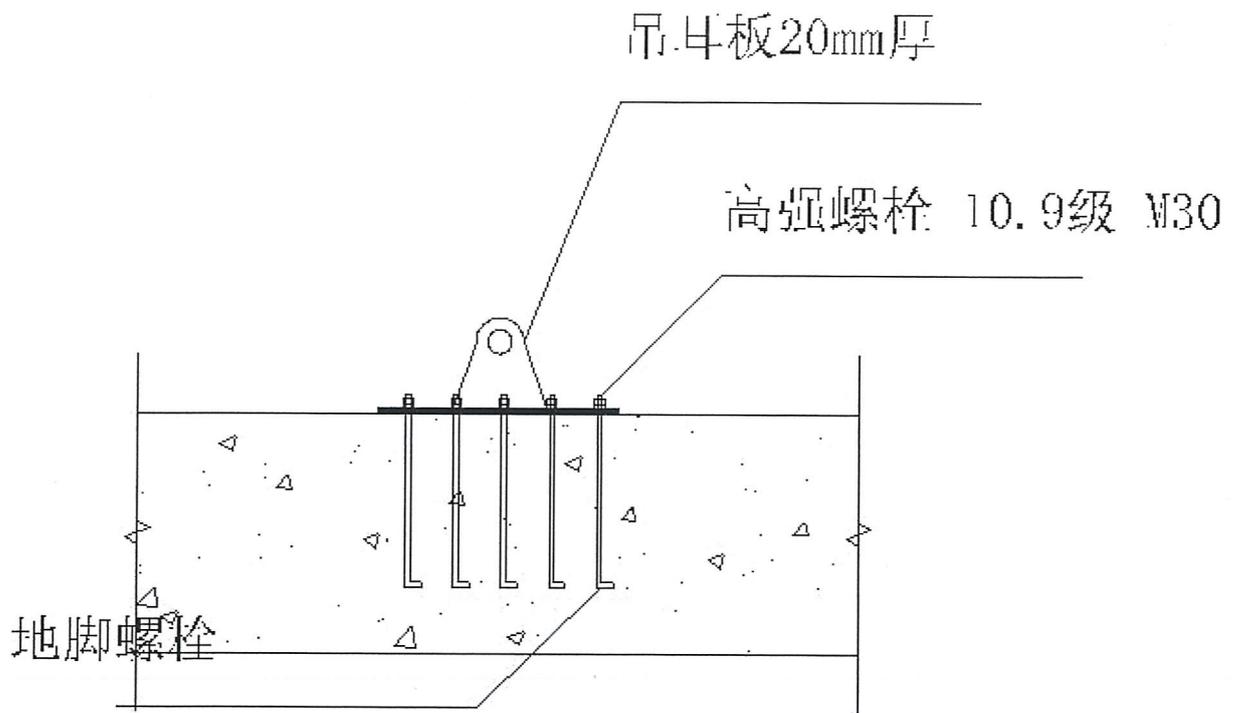
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(301.073 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)^2/6]=38.356\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

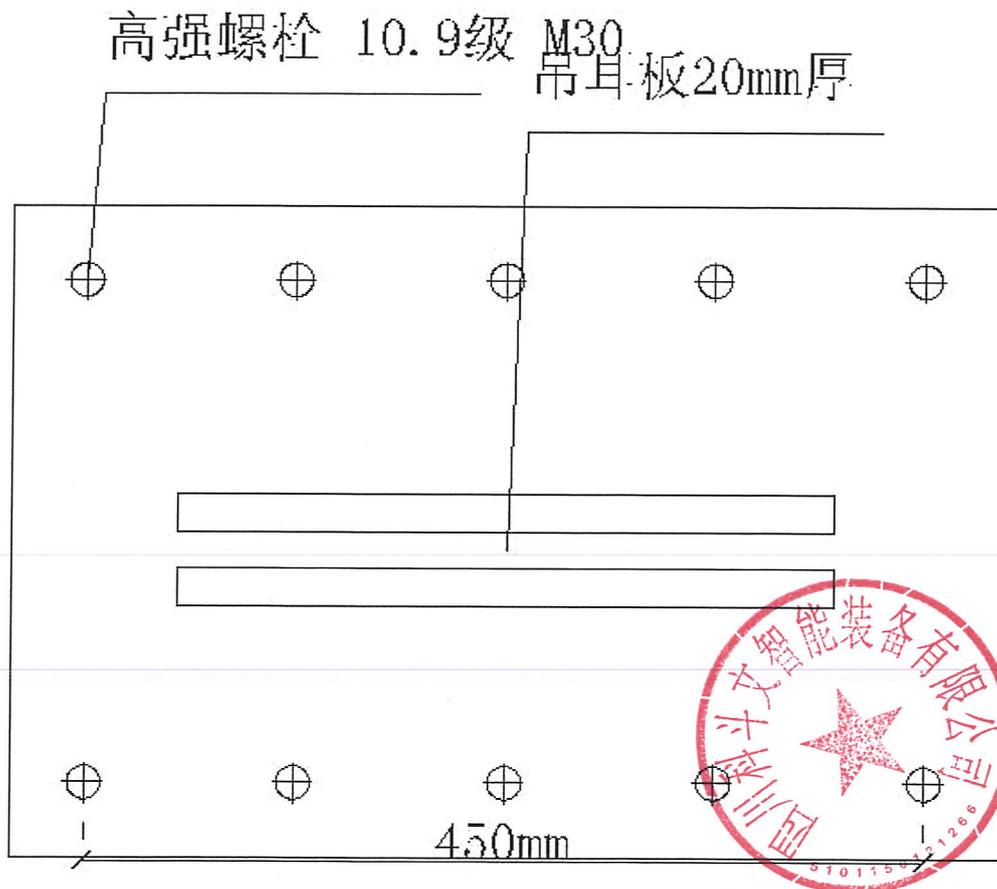
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v]^{0.5}=[\frac{(44.17+38.356)}{1.22}+12.359^2]^{0.5}=68.764\text{N/mm}^2 \leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

# XGT360-20S1 塔机第二道附着计算书

计算依据:

- 1、《塔式起重机混凝土基础工程技术标准》JGJ/T187-2019
- 2、《钢结构设计标准》GB50017-2017
- 3、《钢结构通用规范》GB 55006-2021

## 一、塔机附着杆参数

塔机型号	XGT360-20S1	塔身桁架结构类型	型钢
塔机计算高度 H(m)	125	塔身宽度 B(m)	2
起重臂长度 l <sub>1</sub> (m)	45	荷载确定方式	按构件不平衡自重计算
平衡臂长度 l <sub>2</sub> (m)	16.5	起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	2.35
工作状态时扭矩标准值 T <sub>k1</sub> (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1787	工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M <sub>k</sub> (kN·m)	2819
非工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M <sub>k'</sub> (kN·m)	2215		

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	2.34

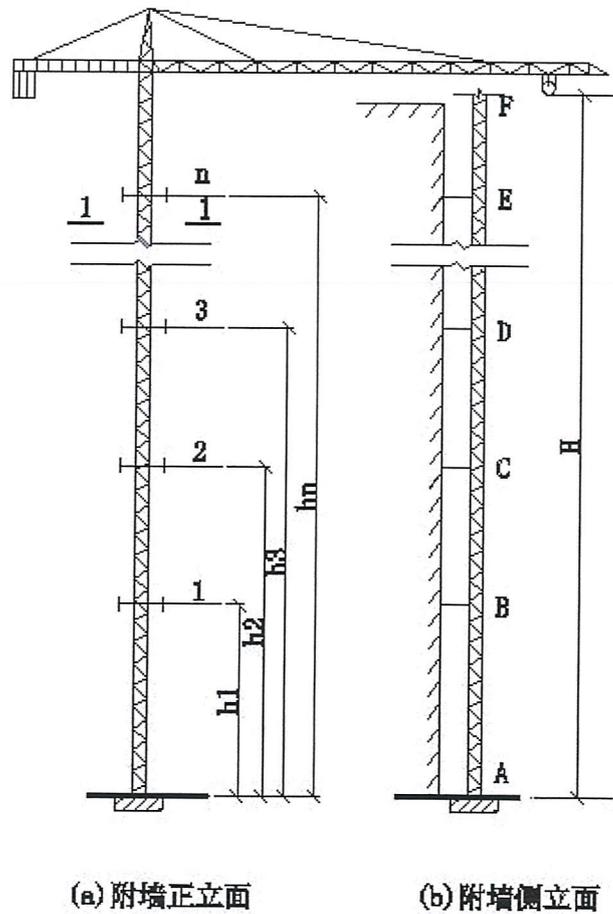
## 二、风荷载及附着参数

附着次数 N	2		
附着点 1 到塔机的横向距离 a <sub>1</sub> (m)	0.231	点 1 到塔机的竖向距离 b <sub>1</sub> (m)	9.208
附着点 2 到塔机的横向距离 a <sub>2</sub> (m)	0.978	点 2 到塔机的竖向距离 b <sub>2</sub> (m)	7.285
附着点 3 到塔机的横向距离 a <sub>3</sub> (m)	3.609	点 3 到塔机的竖向距离 b <sub>3</sub> (m)	4.997
附着点 4 到塔机的横向距离 a <sub>4</sub> (m)	2.417	点 4 到塔机的竖向距离 b <sub>4</sub> (m)	6.887
工作状态基本风压 ω <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	0.25	非工作状态基本风压 ω <sub>0'</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	1.2
塔身前后片桁架的平均充实率 α <sub>0</sub>	0.35		

第 N 次附着	附着点高度 h <sub>1</sub> (m)	附着点净高 h <sub>01</sub> (m)	风压等效高度变化系数 μ <sub>z</sub>	工作状态风荷载体型系数 μ <sub>s</sub>	非工作状态风荷载体型系数 μ <sub>s'</sub>	工作状态风振系数 β <sub>z</sub>	非工作状态风振系数 β <sub>z'</sub>	工作状态风压等效均布线荷载标准	非工作状态风压等效均布线荷载标准
---------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------	------------------

								值 $q_{sk}$	准值 $q_{sk}'$
第1次附着	50	50	1.613	1.95	1.95	1.497	1.61	0.791	4.084
第2次附着	77	27	1.785	1.95	1.95	1.502	1.621	0.878	4.55
悬臂端	125	48	2.002	1.95	1.95	1.51	1.635	0.99	5.147

附图如下:



塔机附着立面图

### 三、工作状态下附墙杆内力计算

#### 1、扭矩组合值 $T_k$

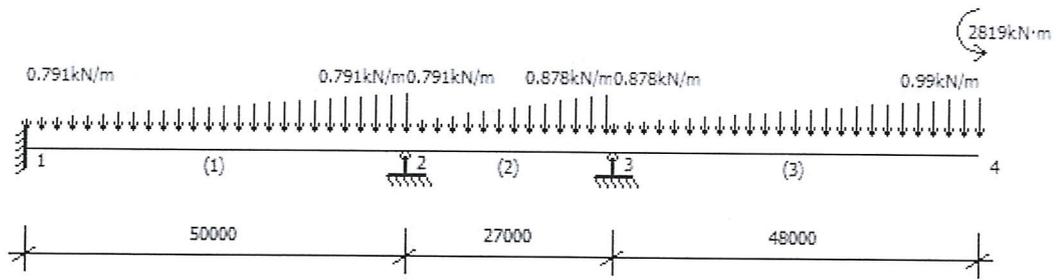
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1787 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

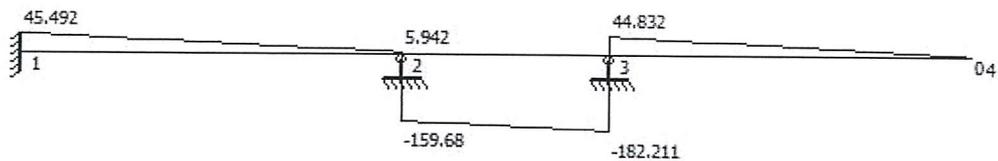
回转惯性力及风荷载产生的扭矩设计值:

$$T_k = 1.5 \times T_{k1} = 2680.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### 2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

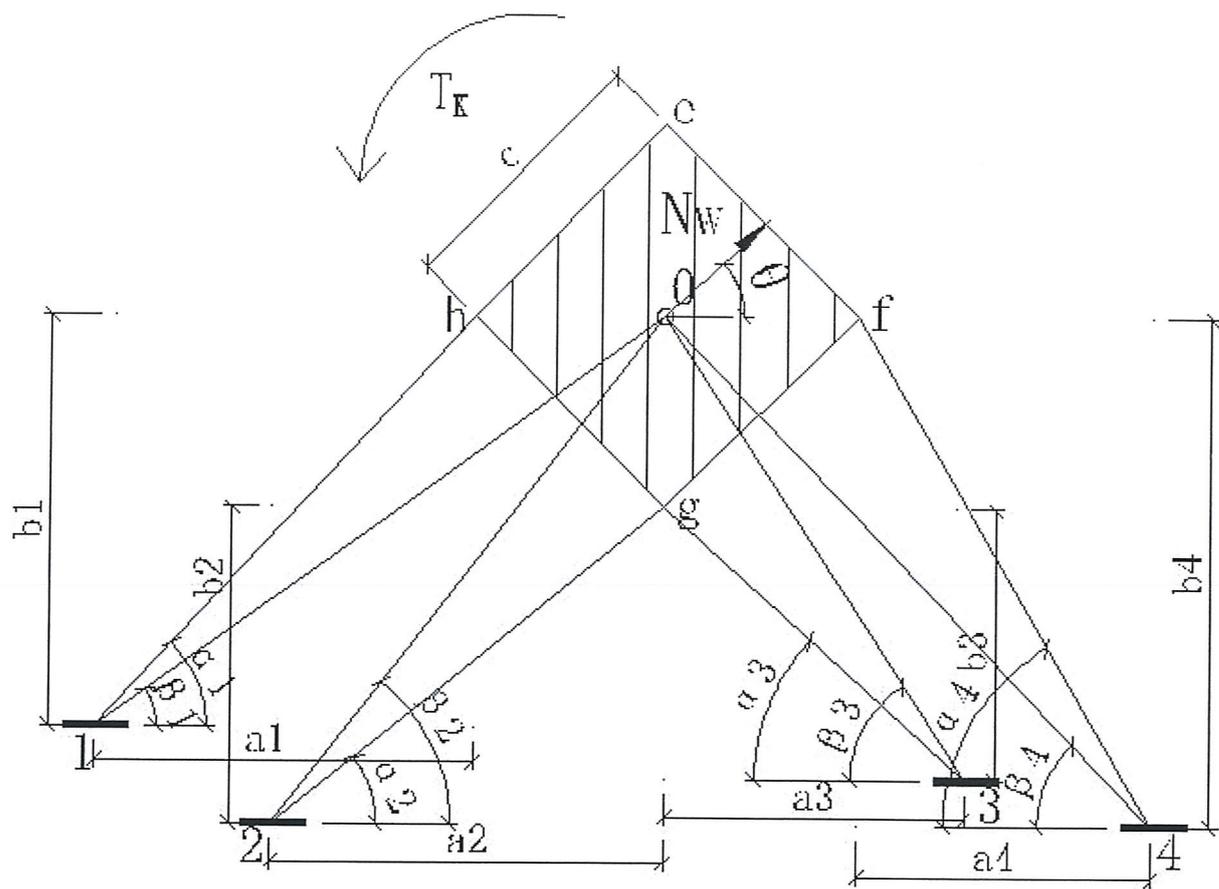
支座反力标准值得： $R_E=227.043\text{kN}$

在工作状态下，塔机起重臂位置的不确定性以及风向的随机性，在计算支座3处锚固环截面内力时需考虑塔身承受双向的风荷载和倾覆力矩及扭矩。

### 3、附墙杆内力计算

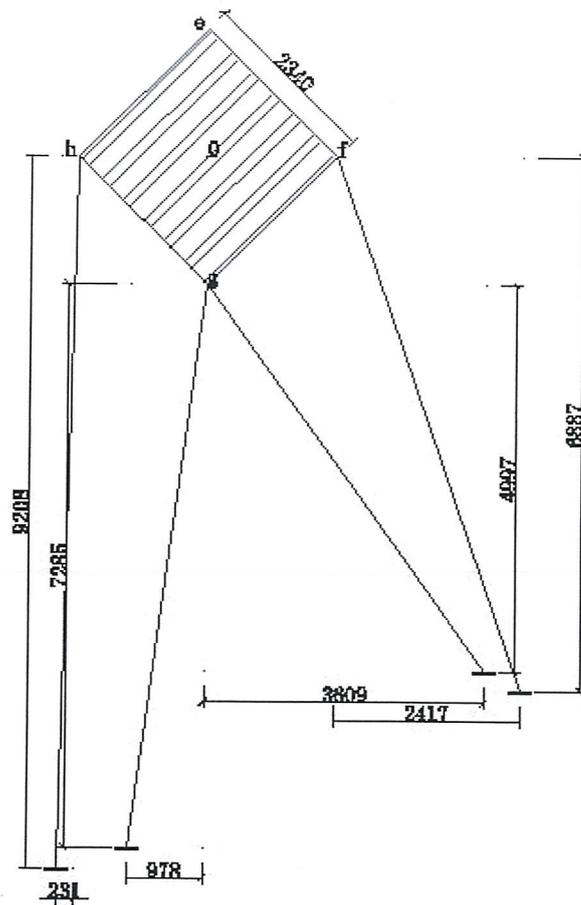
支座3处锚固环的截面扭矩  $T_k$ （考虑塔机产生的扭矩由支座3处的附墙杆承担），水平内力  $N_w=1.5 \times R_E=340.565\text{kN}$

计算简图：



塔机附着示意图

1. 塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 88.563^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 82.354^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 54.162^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 70.661^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 78.427^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 83.757^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 61.517^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 59.408^\circ$$

四杆附着属于一次超静定结构，用力法计算，切断 T<sub>4</sub> 杆并代以相应多余未知力 X<sub>1</sub>=1。

$$\delta_{11} \times X_1 + \Delta_{1p} = 0$$

$X_1=1$  时, 各杆件轴力计算:

$$T_{11} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times b_1 / \sin \beta_1 + T_{21} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + 2^{0.5}c/2) / \sin \beta_2 - T_{31} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + 2^{0.5}c/2) / \sin \beta_3 - 1 \times \sin(\alpha_4 - \beta_4) \times b_4 / \sin \beta_4 = 0$$

$$T_{21} \times \sin \alpha_2 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{21} \times \cos \alpha_2 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{31} \times \sin \alpha_3 \times (2^{0.5} \times c/2) - T_{31} \times \cos \alpha_3 \times (2^{0.5} \times c/2) + 1 \times \sin \alpha_4 \times (2^{0.5} \times c/2) = 0$$

$$T_{11} \times \sin \alpha_1 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{11} \times \cos \alpha_1 \times (2^{0.5} \times c/2) - 1 \times \sin \alpha_4 \times (2^{0.5} \times c/2) - 1 \times \cos \alpha_4 \times (2^{0.5} \times c/2) = 0$$

当  $N_w$ 、 $T_k$  同时存在时,  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 各杆件轴力计算:

$$T_{1p} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times b_1 / \sin \beta_1 + T_{2p} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + 2^{0.5}c/2) / \sin \beta_2 - T_{3p} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + 2^{0.5}c/2) / \sin \beta_3 - T_k = 0$$

$$T_{2p} \times \sin \alpha_2 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{2p} \times \cos \alpha_2 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{3p} \times \sin \alpha_3 \times (2^{0.5} \times c/2) - T_{3p} \times \cos \alpha_3 \times (2^{0.5} \times c/2) + N_w \times \sin \theta \times (2^{0.5} \times c/2) + T_k = 0$$

$$T_{1p} \times \sin \alpha_1 \times (2^{0.5} \times c/2) + T_{1p} \times \cos \alpha_1 \times (2^{0.5} \times c/2) + N_w \times \cos \theta \times (2^{0.5} \times c/2) - T_k = 0$$

$$\delta_{11} = \Sigma(T_i^2 L / (EA)) = T_{11}^2 (a_1 / \cos \alpha_1) / (EA) + T_{21}^2 (a_2 / \cos \alpha_2) / (EA) + T_{31}^2 (a_3 / \cos \alpha_3) / (EA) + 1^2 (a_4 / \cos \alpha_4) / (EA)$$

$$\Delta_{1p} = \Sigma(T_i \times T_p L / (EA)) = T_{11} \times T_{1p} (a_1 / \cos \alpha_1) / (EA) + T_{21} \times T_{2p} (a_2 / \cos \alpha_2) / (EA) + T_{31} \times T_{3p} (a_3 / \cos \alpha_3) / (EA)$$

$$X_1 = -\Delta_{1p} / \delta_{11}$$

各杆轴力计算公式如下:

$$T_1 = T_{11} \times X_1 + T_{1p}, \quad T_2 = T_{21} \times X_1 + T_{2p}, \quad T_3 = T_{31} \times X_1 + T_{3p}, \quad T_4 = X_1$$

(1)  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 当  $T_k$  按图上方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力:

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 527.812 \text{ kN}, \quad T_2 = 0 \text{ kN}, \quad T_3 = 794.3 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 1075.318 \text{ kN}, \quad T_3 = 25.666 \text{ kN}, \quad T_4 = 1147.452 \text{ kN}$$

(2)  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 当  $T_k$  按图上反方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力:

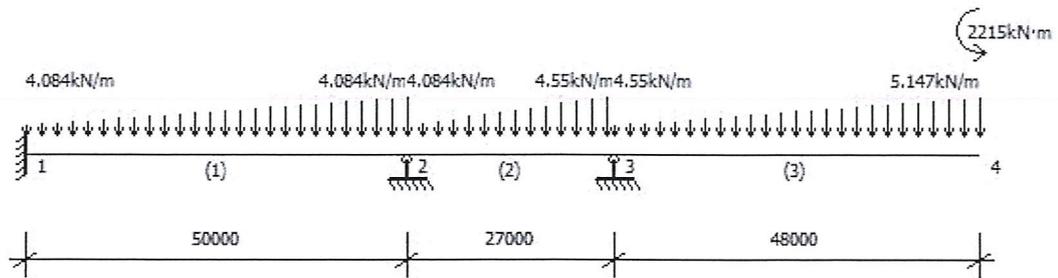
最大轴压力  $T_1=0\text{kN}$ ,  $T_2=1075.317\text{kN}$ ,  $T_3=25.664\text{kN}$ ,  $T_4=1147.452\text{kN}$

最大轴拉力  $T_1=527.813\text{kN}$ ,  $T_2=0\text{kN}$ ,  $T_3=794.3\text{kN}$ ,  $T_4=0\text{kN}$

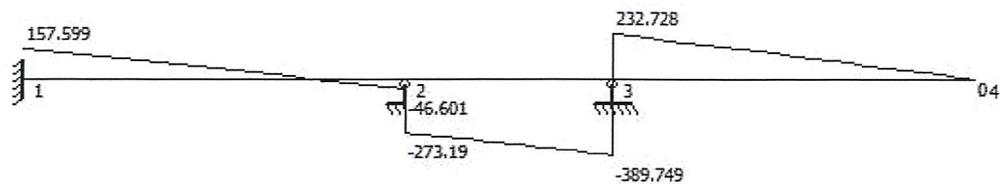
#### 四、非工作状态下附墙杆内力计算

此工况下塔机回转机构的制动器完全松开，起重臂能随风转动，故不计风荷载产生的扭转力矩。

##### 1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

支座反力标准值得:  $R_E=622.477\text{kN}$

##### 2、附墙杆内力计算

支座 3 处锚固环的水平内力  $N_w=1.5 \times R_E=933.716\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组  $T_k=0$ ,  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 求解各杆最大轴拉力和轴压力:

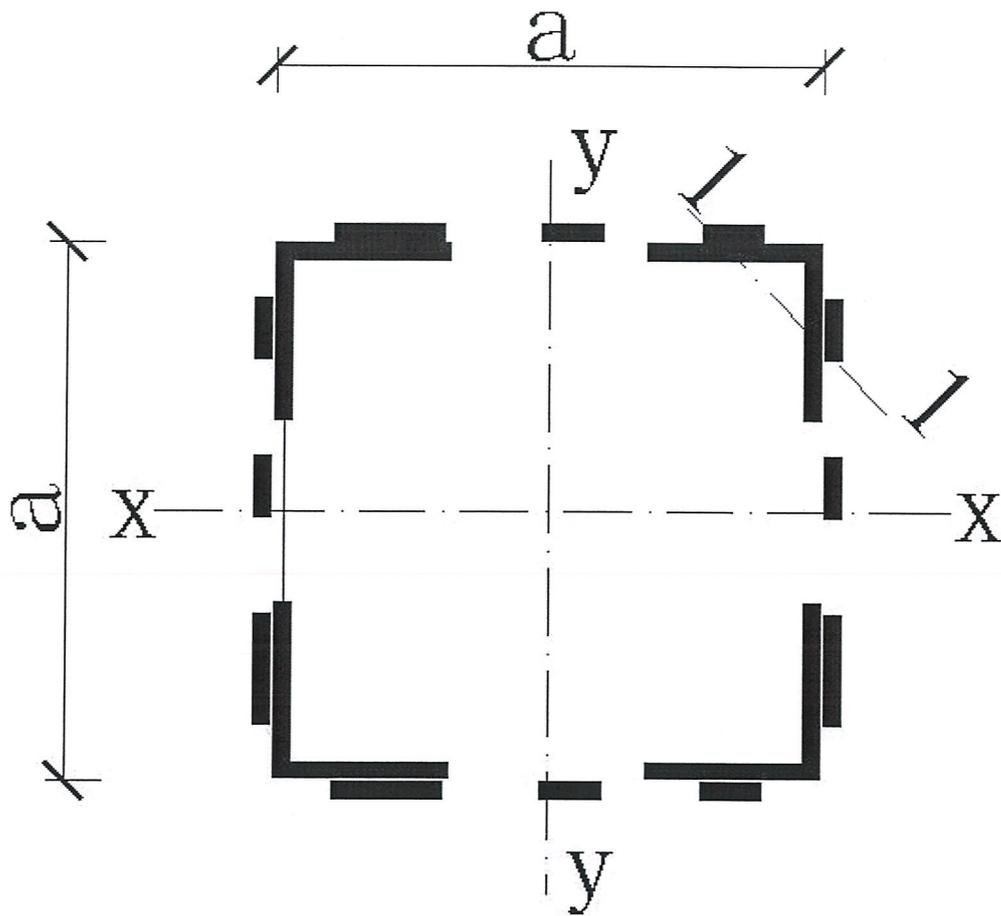
最大轴压力  $T_1=325.421\text{kN}$ ,  $T_2=952.648\text{kN}$ ,  $T_3=1124.036\text{kN}$ ,  $T_4=564.343\text{kN}$

最大轴拉力  $T_1=325.421\text{kN}$ ,  $T_2=952.65\text{kN}$ ,  $T_3=1124.039\text{kN}$ ,  $T_4=564.343\text{kN}$

### 五、附墙杆强度验算

格构柱参数			
格构柱截面类型	四肢	格构柱缀件形式	缀条
缀件间净距 $l_{01}(\text{mm})$	400	格构柱截面边长 $a(\text{mm})$	400
格构柱分肢参数			
格构柱分肢材料	L100X10	分肢材料截面积 $A_0(\text{cm}^2)$	19.26
分肢对最小刚度轴的回转半径 $i_{y0}(\text{cm})$	1.96	分肢平行于对称轴惯性矩 $I_0(\text{cm}^4)$	179.51
分肢形心轴距分肢外边缘距离 $Z_0(\text{cm})$	2.84	分肢材料强度设计值 $f_y(\text{N}/\text{mm}^2)$	235
分肢材料抗拉、压强度设计值 $f(\text{N}/\text{mm}^2)$	210		
格构柱缀件参数			
缀条材料	L50X5	缀条最小回转半径 $i_{\text{nim}}(\text{cm})$	0.98
缀条截面积 $A_z(\text{cm}^2)$	4.8		
角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	6	焊缝计算长度 $l_f(\text{mm})$	200
焊缝强度设计值 $f_{\text{fw}}(\text{N}/\text{mm}^2)$	160		

附图如下:



塔机附着格构柱截面

### 1、杆件轴心受拉强度验算

$$A=4A_0=4\times 19.26\times 100=7704\text{mm}^2$$

$$\sigma=N/A=1147452/7704=148.942\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

### 2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=9210.897\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

$$I_x=4[I_0+A_0(a/2-Z_0)^2]=4\times [179.51+19.26\times (40/2-2.84)^2]=23403.67\text{cm}^4$$

$$\text{整个构件长细比: } \lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=921.09/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=52.847$$

$$\text{分肢长细比: } \lambda_1=l_{01}/i_{y0}=40/1.96=20.408$$

$$\text{分肢毛截面积之和: } A=4A_0=4\times 19.26\times 100=7704\text{mm}^2$$

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和:

$$A_{1x}=2A_2=2\times 480=960\text{mm}^2$$

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比:

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(52.847^2+40\times 7704/960)^{0.5}=55.801$$

附墙杆 1 长细比:

$$\lambda_{01\max}=55.801\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.829$$

满足要求!

附墙杆 2 长细比:

$$\lambda_{02\max}=45.82\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.875$$

满足要求!

附墙杆 3 长细比:

$$\lambda_{03\max}=39.644\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.9$$

满足要求!

附墙杆 4 长细比:

$$\lambda_{04\max}=45.548\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.876$$

满足要求!

附墙杆 1 轴心受压稳定验算:

$$N_1/(\varphi_1 A_f)=527813/(0.829\times 7704\times 210)=0.394\leq 1$$

满足要求!

附墙杆 2 轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f)=1075318/(0.875\times 7704\times 210)=0.76\leq 1$$

满足要求!

附墙杆 3 轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f)=1124039/(0.9\times 7704\times 210)=0.772\leq 1$$

满足要求!

附墙杆 4 轴心受压稳定验算:

$$N_4/(\varphi_4 A_f)=1147452/(0.876\times 7704\times 210)=0.81\leq 1$$

满足要求!

### 3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1 = 20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max} = 0.7 \times 55.801 = 39.061$$

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2 = 20.408 \leq 0.7\lambda_{02\max} = 0.7 \times 50 = 35$$

当 $\lambda_{02\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_3 = 20.408 \leq 0.7\lambda_{03\max} = 0.7 \times 50 = 35$$

当 $\lambda_{03\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4 = 20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max} = 0.7 \times 50 = 35$$

当 $\lambda_{04\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

### 4、缀件验算

$$\begin{aligned} \text{缀件所受剪力: } V &= Af(f_y/235)^{0.5}/85 = 7704 \times 210.00 \times 10^{-3} \\ &\times (235.00/235)^{0.5}/85 = 19.033 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{格构柱相邻缀板轴线距离: } l_1 = l_{01} + 5 = 40.00 + 5 = 45 \text{ cm}$$

$$\text{作用在一侧缀板上的弯矩: } M_0 = Vl_1/4 = 19.033 \times 0.45/4 = 2.141 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{分肢型钢形心轴之间距离: } b_1 = a - 2Z_0 = 0.4 - 2 \times 0.0284 = 0.343 \text{ m}$$

斜缀条轴向压力值:

$$N_0 = V/(2\cos\alpha) = V/(2a/(a^2 + l_1^2)^{0.5}) = 19.033/(2 \times 0.4/(0.4^2 + 0.45^2)^{0.5}) = 14.325 \text{ kN}$$

$$\text{缀条计算长度: } l_t = (a^2 + l_1^2)^{0.5} = (400.00^2 + 450^2)^{0.5} = 602.08 \text{ mm}$$

$$\text{缀条长细比: } \lambda = l_t/i_{\min} = 602.08/0.98 = 61.437 \leq 80$$

查表《钢结构设计标准》GB50017-2017 附录 D: b 类截面轴心受压构件的稳定系数:  $\varphi=0.802$

等边角钢计算稳定性系数:

$$\eta=\min(0.6+0.0015\lambda, 1.0)=\min(0.6+0.0015\times 61.437, 1.0)=0.692$$

缀条稳定验算:

$$N_0/(\varphi\eta A_z f)=14.325\times 10^3/(0.802\times 0.692\times 4.80\times 10^2\times 215)=0.25\leq 1$$

满足要求!

需要焊缝长度:

$$\Sigma l_w=N_0/(0.7h_f\times 0.85f_f^w)=14.325\times 10^3/(0.7\times 6\times 0.85\times 160)=25\text{mm}\leq l_f=200\text{mm}$$

满足要求!

## 六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q235	建筑物混凝土强度等级	C35
连接板固定方式	锚固螺栓	连接板耳板排数	2
锚固螺栓类型	摩擦型高强螺栓	高强螺栓的性能等级	10.9 级
摩擦面抗滑移系数 $\mu$	0.45	高强螺栓公称直径	M30
一个高强螺栓的预拉力 P(kN)	355	高强螺栓传力摩擦面数目 $n_f$	1
单吊耳板吊耳孔中心至连接钢板高度 L(mm)	150	单吊耳板连接钢板垂直方向螺栓排数 m	2
单吊耳板连接钢板水平方向螺栓排数 n	5	单吊耳板连接钢板水平方向最外侧螺栓两端中心线距离 S(mm)	600

### 1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1=N_1\sin\alpha_1=527.813\times\sin 88.563^\circ=527.647\text{kN}, V_1=N_1\cos\alpha_1=527.813\times\cos 88.563^\circ=13.237\text{kN};$$

$$F_2=N_2\sin\alpha_2=1075.318\times\sin 82.354^\circ=1065.757\text{kN}, V_2=N_2\cos\alpha_2=1075.318\times\cos 82.354^\circ=143.076\text{kN};$$

$$F_3=N_3\sin\alpha_3=1124.039\times\sin 54.162^\circ=911.23\text{kN}, V_3=N_3\cos\alpha_3=1124.039\times\cos 54.162^\circ=658.121\text{kN};$$

$$F_4=N_4\sin\alpha_4=1147.452\times\sin 70.661^\circ=1082.711\text{kN}, V_4=N_4\cos\alpha_4=1147.452\times\cos 70.661^\circ=379.978\text{kN};$$

## 2、螺栓承载力计算

单个高强螺栓抗剪承载力设计值  $N_v^b=0.9k_n\mu P=0.9\times 1\times 1\times 0.45\times 355=143.775\text{kN}$

单个高强螺栓受拉承载力设计值  $N_t^b=0.8P=0.8\times 355=284\text{kN}$

### (1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$$X_{\max}=S/2=600/2=300\text{mm}$$

$$\sum x^2=\sum_{i=1}^n m[S/2-(i-1)S/(n-1)]^2$$

$$\sum x^2=2\times[(600/2)^2+(600/2-1\times 600/4)^2+(600/2-2\times 600/4)^2+(600/2-3\times 600/4)^2+(600/2-4\times 600/4)^2]=450000\text{mm}^2$$

#### 附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum x^2=13.237\times 0.15\times 300/450=1.324\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=527.647/(2\times 5)+1.324=54.089\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_1/mn=13.237/(2\times 5)=1.324\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=1.324/143.775+54.089/284=0.2\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=143.076\times 0.15\times 300/450=14.308\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=1065.757/(2\times 5)+14.308=120.884\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=143.076/(2\times 5)=14.308\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=14.308/143.775+120.884/284=0.525\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 3:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=658.121\times 0.15\times 300/450=65.812\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=911.23/(2\times 5)+65.812=136.935\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=658.121/(2\times 5)=65.812\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=65.812/143.775+136.935/284=0.93> 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=379.978\times 0.15\times 300/450=37.998\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=1082.711/(2\times 5)+37.998=146.269\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 379.978 / (2 \times 5) = 37.998 \text{ kN}$$

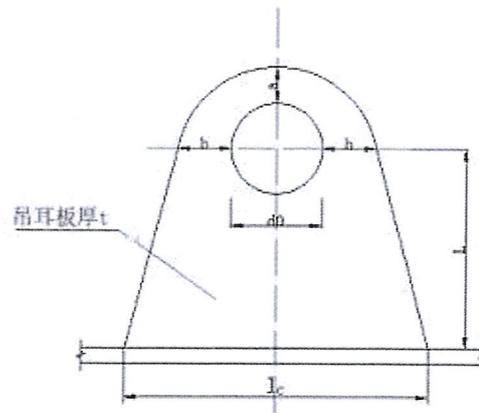
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 37.998 / 143.775 + 146.269 / 284 = 0.779 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

### 3、吊耳板计算

吊耳板厚 t(mm)	20	吊耳板两侧边缘与吊孔边缘净距 b(mm):	80
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	80	吊孔直径 d <sub>0</sub> (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm <sup>2</sup> )	295	吊耳板抗剪强度设计值 f <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	170
连接板耳板排数	2	附墙杆端部耳板排数	2



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_S = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 573.726 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 80 \text{ mm}$$

满足要求!

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 80 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 80-60/3) = 56\text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 573.726 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 256.128 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

(3) 耳板抗剪强度验算

耳板端部抗剪截面宽度:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(80+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 105.83\text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 573.726 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 105.83) = 135.53 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

#### 4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	60	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max\{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 1147.452 \text{kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

根据吊耳板排数可得, 销轴抗剪面数  $n_v=3$

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 1147.452 \times 10^3 / (3 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 135.276 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

#### 5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	30
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_t^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	350

(1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(527.647\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=21.66\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(13.237\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=0.543\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(13.237\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=1.686\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(21.66+1.686)}{1.22}^2+0.543^2]^{0.5}=19.144\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/m}^2$$

附着点 1: 连接钢板焊缝强度满足要求!

**附着点 2:**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(1065.757\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=43.75\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(143.076\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=5.873\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(143.076\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=18.228\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(43.75+18.228)}{1.22}^2+5.873^2]^{0.5}=51.14\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/m}^2$$

附着点 2: 连接钢板焊缝强度满足要求!

**附着点 3:**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(911.23\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=37.407\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_3/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(658.121 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)]=27.016\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(658.121 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)^2/6]=83.844\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(37.407+83.844)}{1.22}]^2+27.016^2]^{0.5}=102.992\text{N/mm}^2 \leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3: 连接钢板焊缝强度满足要求!

**附着点 4:**

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_4/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(1082.711 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)]=44.446\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_4/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(379.978 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)]=15.598\text{N/mm}^2$$

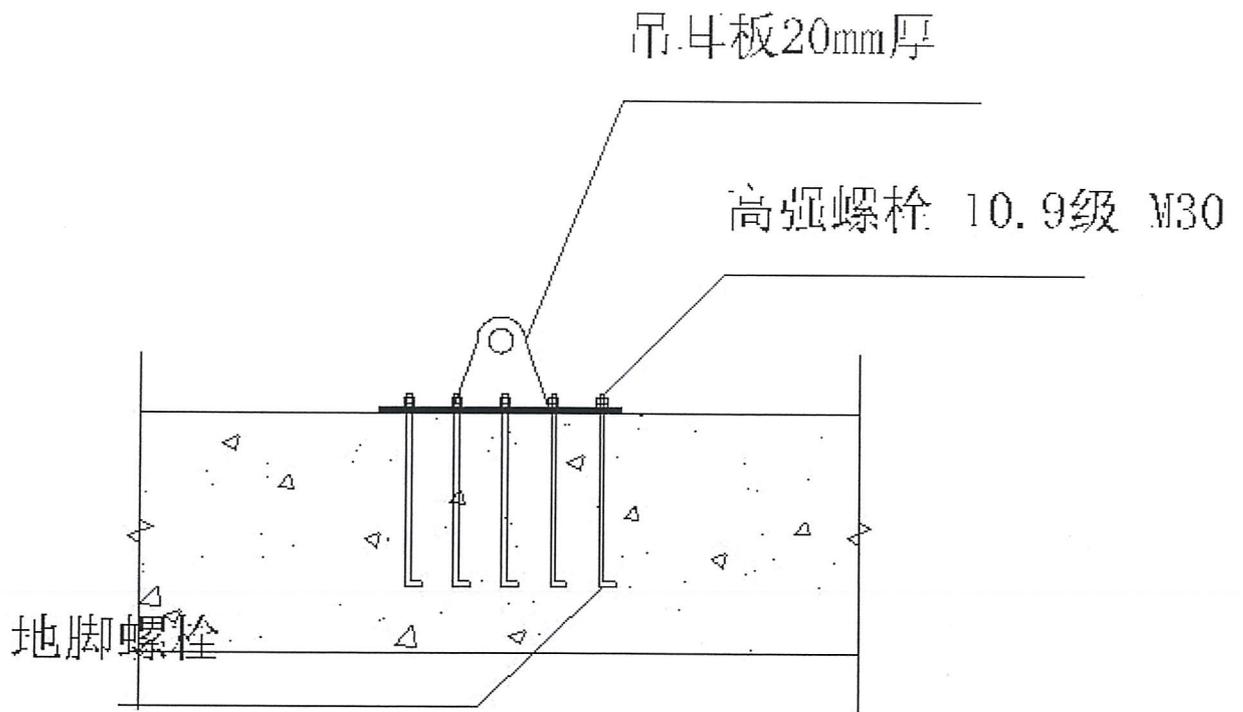
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(379.978 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 30 \times (350-2 \times 30)^2/6]=48.409\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

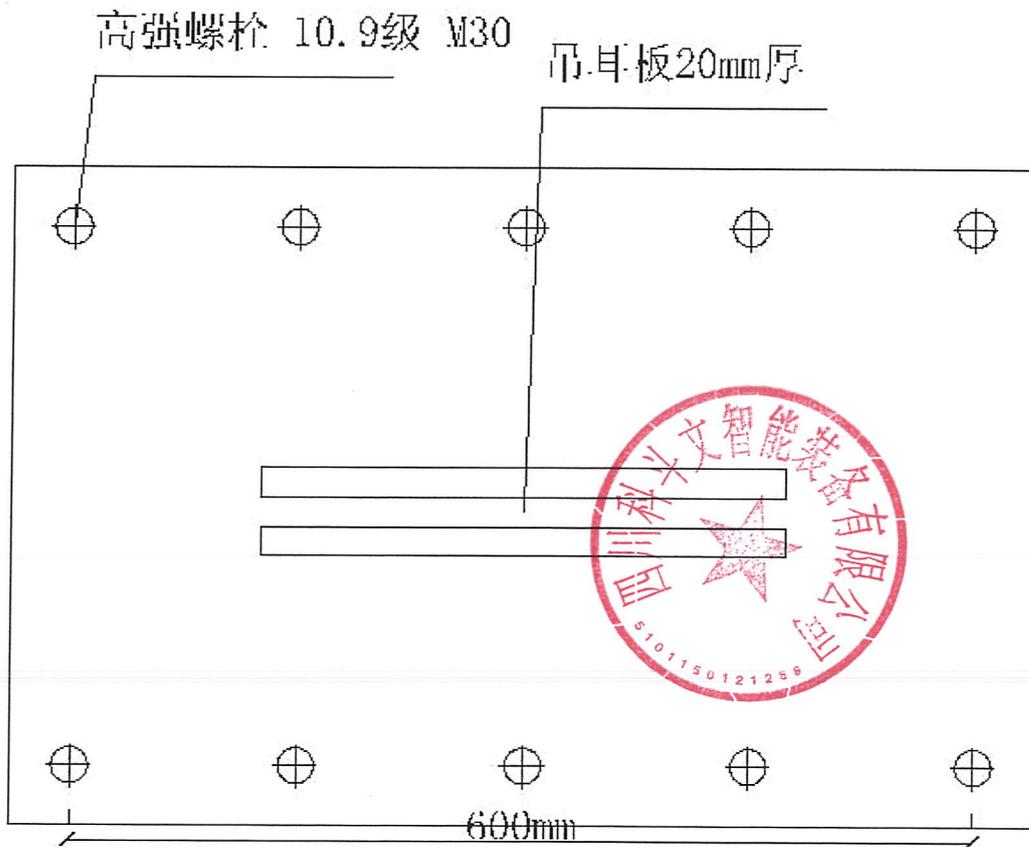
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(44.446+48.409)}{1.22}]^2+15.598^2]^{0.5}=77.693\text{N/mm}^2 \leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附图如下:



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

# XGT360-20S1 塔机第三道附着计算书

计算依据:

- 1、《塔式起重机混凝土基础工程技术标准》JGJ/T187-2019
- 2、《钢结构设计标准》GB50017-2017
- 3、《钢结构通用规范》GB 55006-2021

## 一、塔机附着杆参数

塔机型号	XGT360-20S1	塔身桁架结构类型	型钢
塔机计算高度 H(m)	155	塔身宽度 B(m)	2
起重臂长度 l <sub>1</sub> (m)	45	荷载确定方式	按构件不平衡自重计算
平衡臂长度 l <sub>2</sub> (m)	16.5	起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	2.35
工作状态时扭矩标准值 T <sub>k1</sub> (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1787	工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M <sub>k</sub> (kN·m)	2819
非工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M <sub>k'</sub> (kN·m)	2215		

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	VII类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	2.34

## 二、风荷载及附着参数

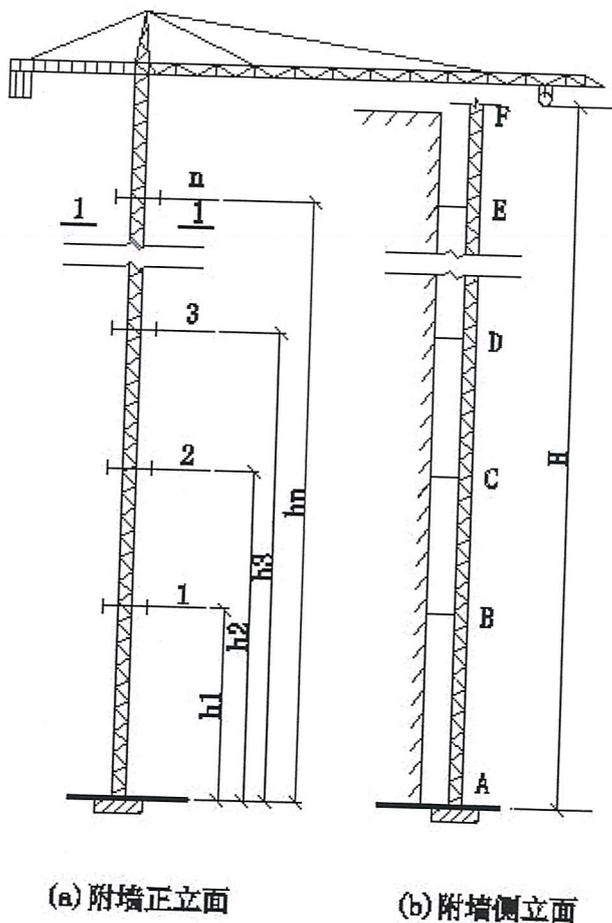
附着次数 N	3		
附着点 1 到塔机的横向距离 a <sub>1</sub> (m)	0.145	点 1 到塔机的竖向距离 b <sub>1</sub> (m)	4.506
附着点 2 到塔机的横向距离 a <sub>2</sub> (m)	2.05	点 2 到塔机的竖向距离 b <sub>2</sub> (m)	4.795
附着点 3 到塔机的横向距离 a <sub>3</sub> (m)	4.041	点 3 到塔机的竖向距离 b <sub>3</sub> (m)	7.207
附着点 4 到塔机的横向距离 a <sub>4</sub> (m)	4.563	点 4 到塔机的竖向距离 b <sub>4</sub> (m)	9.549
工作状态基本风压 ω <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	0.25	非工作状态基本风压 ω <sub>0'</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	1
塔身前后片桁架的平均充实率 α <sub>0</sub>	0.35		

第 N 次附着	附着点高度 h <sub>1</sub> (m)	附着点净高 h <sub>01</sub> (m)	风压等效高度变化系数 μ <sub>z</sub>	工作状态风荷载体型系数 μ <sub>s</sub>	非工作状态风荷载体型系数 μ <sub>s'</sub>	工作状态风振系数 β <sub>z</sub>	非工作状态风振系数 β <sub>z'</sub>	工作状态风压等效均布线荷载标准	非工作状态风压等效均布线荷载标准
---------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------	------------------



								值 $q_{sk}$	准值 $q_{sk}'$
第 1 次附着	50	50	1.613	1.95	1.95	1.497	1.595	0.791	3.371
第 2 次附着	77	27	1.785	1.95	1.95	1.502	1.606	0.878	3.757
第 3 次附着	107	30	1.931	1.95	1.95	1.507	1.615	0.953	4.087
悬臂端	155	48	2.107	1.95	1.95	1.502	1.616	1.037	4.462

附图如下:



塔机附着立面图

### 三、工作状态下附墙杆内力计算

#### 1、扭矩组合值 $T_k$

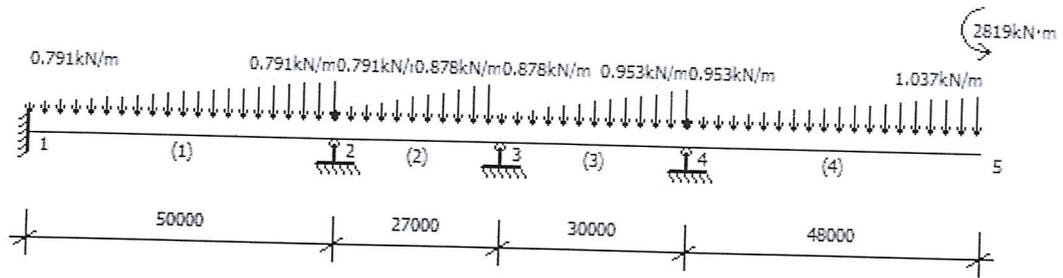
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1787 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

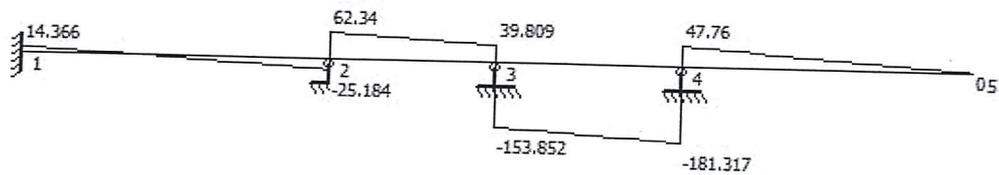
回转惯性力及风荷载产生的扭矩设计值:

$$T_k = 1.5 \times T_{k1} = 2680.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## 2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

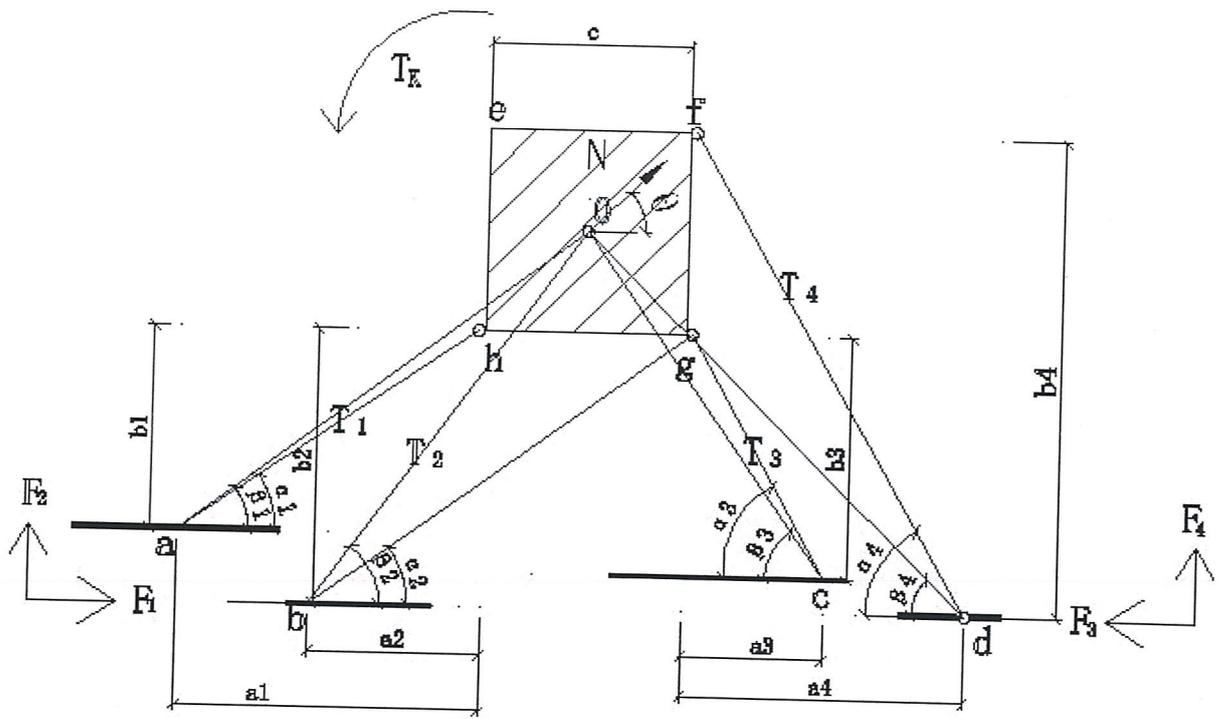
支座反力标准值得： $R_E=229.077\text{kN}$

在工作状态下，塔机起重臂位置的不确定性以及风向的随机性，在计算支座 4 处锚固环截面内力时需考虑塔身承受双向的风荷载和倾覆力矩及扭矩。

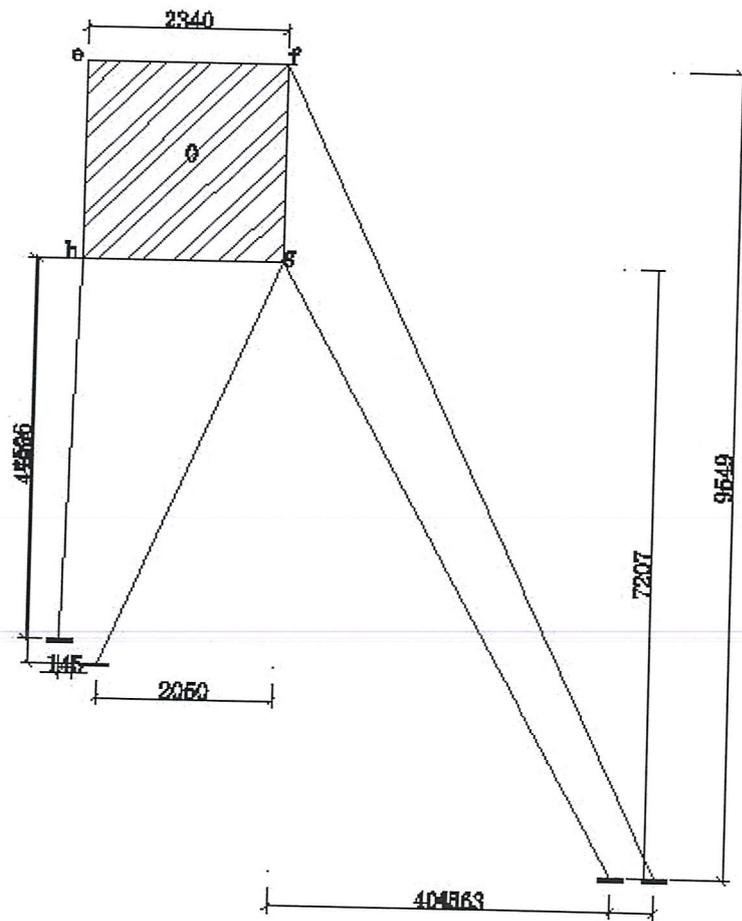
## 3、附墙杆内力计算

支座 4 处锚固环的截面扭矩  $T_k$ （考虑塔机产生的扭矩由支座 4 处的附墙杆承担），水平内力  $N_w=1.5 \times R_E=343.615\text{kN}$

计算简图：



塔机附着示意图



### 塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 88.157^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 66.852^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 60.72^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 64.459^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 76.956^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 81.608^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 58.116^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan((b_4-c/2)/(a_4+c/2)) = 55.62^\circ$$

四杆附着属于一次超静定结构，用力法计算，切断  $T_4$  杆并代以相应多余未知力  $X_1=1$ 。

$$\delta_{11} \times X_1 + \Delta_{1p} = 0$$

$X_1=1$  时，各杆件轴力计算：

$$T_{11} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times (b_1 + c/2) / \sin \beta_1 + T_{21} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + c/2) / \sin \beta_2 - T_{31} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + c/2) / \sin \beta_3 - 1 \times \sin(\alpha_4 - \beta_4) \times (a_4 + c/2) / \cos \beta_4 = 0$$

$$T_{21} \times \sin \alpha_2 \times c + T_{31} \times \sin \alpha_3 \times c + 1 \times \cos \alpha_4 \times c + 1 \times \sin \alpha_4 \times c = 0$$

$$T_{11} \times \sin \alpha_1 \times c - 1 \times \cos \alpha_4 \times c = 0$$

当  $N_w$ 、 $T_k$  同时存在时， $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环，各杆件轴力计算：

$$T_{1p} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times (b_1 + c/2) / \sin \beta_1 + T_{2p} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + c/2) / \sin \beta_2 - T_{3p} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + c/2) / \sin \beta_3 - T_k = 0$$

$$T_{2p} \times \sin \alpha_2 \times c + T_{3p} \times \sin \alpha_3 \times c + N_w \times \sin \theta \times c/2 - N_w \times \cos \theta \times c/2 + T_k = 0$$

$$T_{1p} \times \sin \alpha_1 \times c + N_w \times \sin \theta \times c/2 + N_w \times \cos \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\delta_{11} = \Sigma(T_i^2 L / (EA)) = T_{11}^2 (a_1 / \cos \alpha_1) / (EA) + T_{21}^2 (a_2 / \cos \alpha_2) / (EA) + T_{31}^2 (a_3 / \cos \alpha_3) / (EA) + 1^2 (a_4 / \cos \alpha_4) / (EA)$$

$$\Delta_{1p} = \Sigma(T_i \times T_p L / (EA)) = T_{11} \times T_{1p} (a_1 / \cos \alpha_1) / (EA) + T_{21} \times T_{2p} (a_2 / \cos \alpha_2) / (EA) + T_{31} \times T_{3p} (a_3 / \cos \alpha_3) / (EA)$$

$$X_1 = -\Delta_{1p} / \delta_{11}$$

各杆轴力计算公式如下：

$$T_1 = T_{11} \times X_1 + T_{1p}, \quad T_2 = T_{21} \times X_1 + T_{2p}, \quad T_3 = T_{31} \times X_1 + T_{3p}, \quad T_4 = X_1$$

(1)  $\theta$ 由  $0 \sim 360^\circ$  循环，当  $T_k$  按图上方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 1297.853 \text{ kN}, \quad T_2 = 0 \text{ kN}, \quad T_3 = 0 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 374.347 \text{ kN}, \quad T_3 = 1054.253 \text{ kN}, \quad T_4 = 407.943 \text{ kN}$$

(2)  $\theta$ 由  $0 \sim 360^\circ$  循环，当  $T_k$  按图上反方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力：

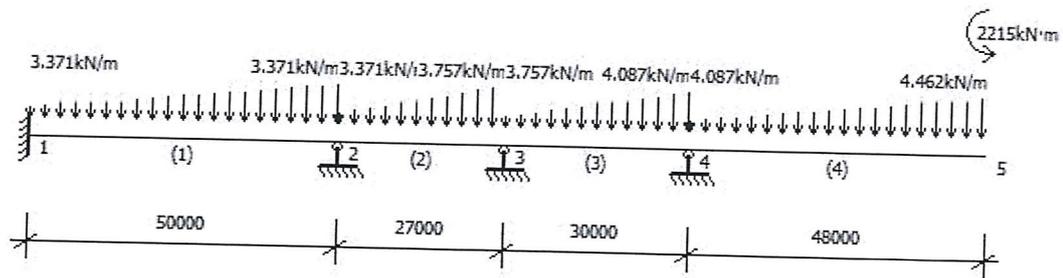
$$\text{最大轴压力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 374.345 \text{ kN}, \quad T_3 = 1054.254 \text{ kN}, \quad T_4 = 407.944 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 1297.853 \text{ kN}, \quad T_2 = 0 \text{ kN}, \quad T_3 = 0 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

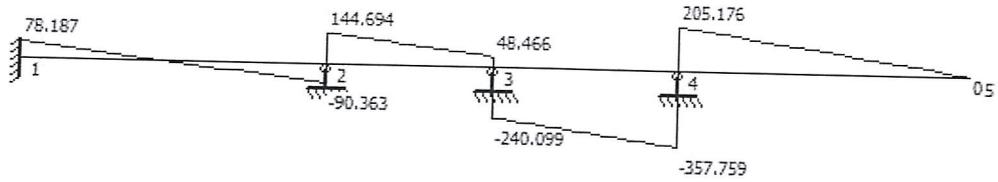
#### 四、非工作状态下附墙杆内力计算

此工况下塔机回转机构的制动器完全松开，起重臂能随风转动，故不计风荷载产生的扭转力矩。

##### 1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

支座反力标准值得:  $R_E=562.935\text{kN}$

## 2、附墙杆内力计算

支座 4 处锚固环的水平内力  $N_w=1.5 \times R_E=844.402\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组  $T_k=0$ ,  $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 求解各杆最大轴拉力和轴压力:

最大轴压力  $T_1=691.357\text{kN}$ ,  $T_2=296.401\text{kN}$ ,  $T_3=1149.722\text{kN}$ ,  $T_4=264.197\text{kN}$

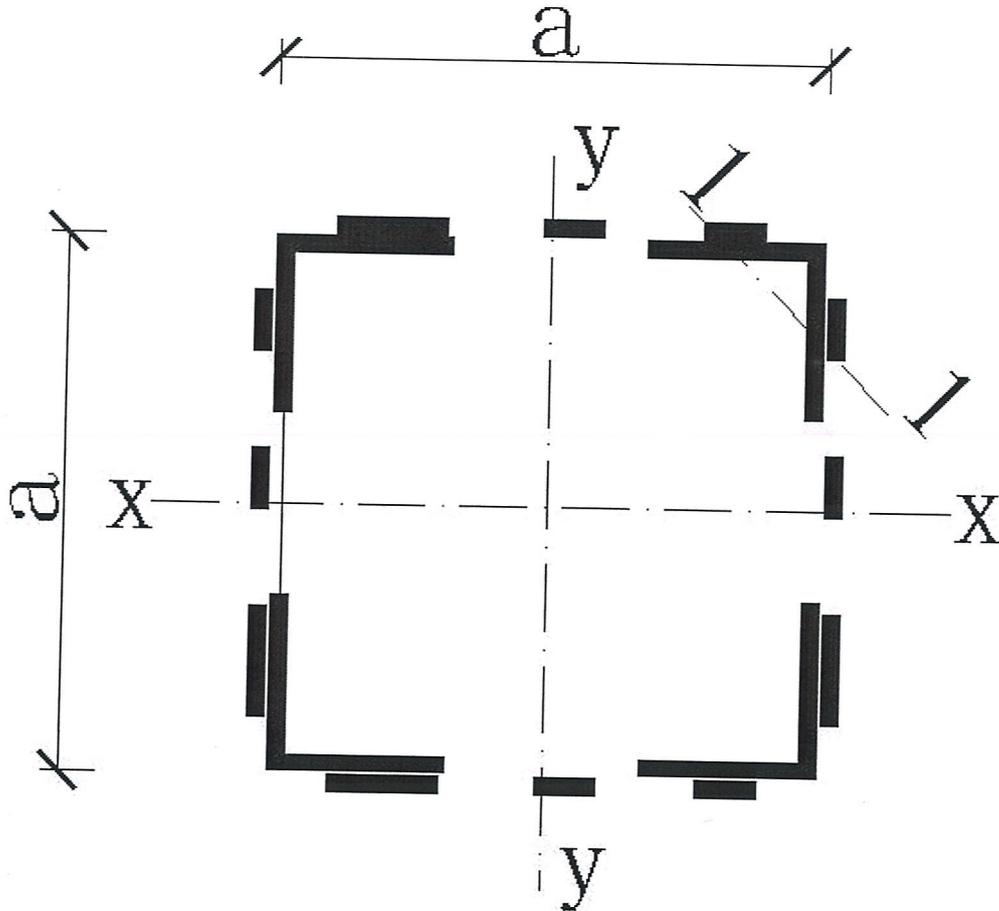
最大轴拉力  $T_1=691.359\text{kN}$ ,  $T_2=296.402\text{kN}$ ,  $T_3=1149.719\text{kN}$ ,  $T_4=264.196\text{kN}$

## 五、附墙杆强度验算

格构柱参数			
格构柱截面类型	四肢	格构柱缀件形式	缀条
缀件间净距 $l_{01}(\text{mm})$	400	格构柱截面边长 $a(\text{mm})$	400
格构柱分肢参数			
格构柱分肢材料	L100X10	分肢材料截面积 $A_0(\text{cm}^2)$	19.26
分肢对最小刚度轴的回转半径 $i_{y0}(\text{cm})$	1.96	分肢平行于对称轴惯性矩 $I_0(\text{cm}^4)$	179.51
分肢形心轴距分肢外边缘距离 $Z_0(\text{cm})$	2.84	分肢材料强度设计值 $f_y(\text{N}/\text{mm}^2)$	235
分肢材料抗拉、压强度设计值 $f(\text{N}/\text{mm}^2)$	210		
格构柱缀件参数			
缀条材料	L50X5	缀条最小回转半径 $i_{\text{nim}}(\text{cm})$	0.98
缀条截面积 $A_z(\text{cm}^2)$	4.8		
角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	6	焊缝计算长度 $l_f(\text{mm})$	200

焊缝强度设计值 $f_w(N/mm^2)$	160		
-----------------------	-----	--	--

附图如下:



塔机附着格构柱截面

### 1、杆件轴心受拉强度验算

$$A=4A_0=4\times 19.26\times 100=7704\text{mm}^2$$

$$\sigma=N/A=1297853/7704=168.465\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

### 2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=4508.332\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

$$I_x=4[I_0+A_0(a/2-Z_0)^2]=4\times [179.51+19.26\times (40/2-2.84)^2]=23403.67\text{cm}^4$$

$$\text{整个构件长细比: } \lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=450.833/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=25.866$$

分肢长细比:  $\lambda_1 = I_{01}/i_{y0} = 40/1.96 = 20.408$

分肢毛截面面积之和:  $A = 4A_0 = 4 \times 19.26 \times 100 = 7704 \text{mm}^2$

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面面积之和:

$$A_{1x} = 2A_z = 2 \times 480 = 960 \text{mm}^2$$

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比:

$$\lambda_{0\max} = (\lambda_x^2 + 40A/A_{1x})^{0.5} = (25.866^2 + 40 \times 7704/960)^{0.5} = 31.465$$

附墙杆 1 长细比:

$$\lambda_{01\max} = 31.465 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得: } \varphi_1 = 0.931$$

满足要求!

附墙杆 2 长细比:

$$\lambda_{02\max} = 34.874 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得: } \varphi_2 = 0.918$$

满足要求!

附墙杆 3 长细比:

$$\lambda_{03\max} = 50.679 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得: } \varphi_3 = 0.853$$

满足要求!

附墙杆 4 长细比:

$$\lambda_{04\max} = 63.308 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得: } \varphi_4 = 0.789$$

满足要求!

附墙杆 1 轴心受压稳定验算:

$$N_1/(\varphi_1 A f) = 1297853/(0.931 \times 7704 \times 210) = 0.862 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆 2 轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A f) = 374347/(0.918 \times 7704 \times 210) = 0.252 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆 3 轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A f) = 1149719/(0.853 \times 7704 \times 210) = 0.833 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆 4 轴心受压稳定验算:

$$N_4/(\varphi_4 Af)=407943/(0.789 \times 7704 \times 210)=0.32 \leq 1$$

满足要求!

### 3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1=20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{01\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2=20.408 \leq 0.7\lambda_{02\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{02\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_3=20.408 \leq 0.7\lambda_{03\max}=0.7 \times 50.679=35.475$$

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 63.308=44.316$$

满足要求!

### 4、缀件验算

$$\begin{aligned} \text{缀件所受剪力: } V &= Af(f_y/235)^{0.5}/85 = 7704 \times 210.00 \times 10^{-3} \\ &\times (235.00/235)^{0.5}/85 = 19.033 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{格构柱相邻缀板轴线距离: } l_1 = l_{01} + 5 = 40.00 + 5 = 45 \text{ cm}$$

$$\text{作用在一侧缀板上的弯矩: } M_0 = Vl_1/4 = 19.033 \times 0.45/4 = 2.141 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{分肢型钢形心轴之间距离: } b_1 = a - 2Z_0 = 0.4 - 2 \times 0.0284 = 0.343 \text{ m}$$

斜缀条轴向压力值:

$$N_0 = V/(2\cos\alpha) = V/(2a/(a^2+l_1^2)^{0.5}) = 19.033/(2 \times 0.4/(0.4^2+0.45^2)^{0.5}) = 14.325 \text{ kN}$$

$$\text{缀条计算长度: } l_t = (a^2+l_1^2)^{0.5} = (400.00^2+450^2)^{0.5} = 602.08 \text{ mm}$$

缀条长细比:  $\lambda=l_t/i_{\min}=60.208/0.98=61.437\leq 80$

查表《钢结构设计标准》GB50017-2017 附录 D: b 类截面轴心受压构件的稳定系数:  $\varphi=0.802$

等边角钢计算稳定性系数:

$\eta=\min(0.6+0.0015\lambda, 1.0)=\min(0.6+0.0015\times 61.437, 1.0)=0.692$

缀条稳定验算:

$N_0/(\varphi\eta A_z f)=14.325\times 10^3/(0.802\times 0.692\times 4.80\times 10^2\times 215)=0.25\leq 1$

满足要求!

需要焊缝长度:

$\Sigma l_w=N_0/(0.7h_f\times 0.85f_f^w)=14.325\times 10^3/(0.7\times 6\times 0.85\times 160)=25\text{mm}\leq l_f=200\text{mm}$

满足要求!

## 六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q235	建筑物混凝土强度等级	C35
连接板固定方式	锚固螺栓	连接板耳板排数	2
锚固螺栓类型	摩擦型高强螺栓	高强螺栓的性能等级	10.9 级
摩擦面抗滑移系数 u	0.45	高强螺栓公称直径	M30
一个高强螺栓的预拉力 P(kN)	355	高强螺栓传力摩擦面数目 n <sub>f</sub>	1
单吊耳板吊耳孔中心至连接钢板高度 L(mm)	150	单吊耳板连接钢板垂直方向螺栓排数 m	2
单吊耳板连接钢板水平方向螺栓排数 n	5	单吊耳板连接钢板水平方向最外侧螺栓两端中心线距离 S(mm)	600

### 1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$F_1=N_1\sin\alpha_1=1297.853\times \sin 88.157^\circ=1297.182\text{kN}$ ,  $V_1=N_1\cos\alpha_1=1297.853\times \cos 88.157^\circ=41.742\text{kN}$ ;

$F_2=N_2\sin\alpha_2=374.347\times\sin66.852^\circ=344.209\text{kN}$ ,  $V_2=N_2\cos\alpha_2=374.347\times\cos66.852^\circ=147.159\text{kN}$ ;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=1149.719\times\sin60.72^\circ=1002.835\text{kN}$ ,  $V_3=N_3\cos\alpha_3=1149.719\times\cos60.72^\circ=562.295\text{kN}$ ;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=407.943\times\sin64.459^\circ=368.078\text{kN}$ ,  $V_4=N_4\cos\alpha_4=407.943\times\cos64.459^\circ=175.886\text{kN}$ ;

## 2、螺栓承载力计算

单个高强螺栓抗剪承载力设计值  $N_v^b=0.9k_n\mu P=0.9\times1\times1\times0.45\times355=143.775\text{kN}$

单个高强螺栓受拉承载力设计值  $N_t^b=0.8P=0.8\times355=284\text{kN}$

### (1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$$X_{\max}=S/2=600/2=300\text{mm}$$

$$\sum X^2 = \sum_{i=1}^n m [S/2 - (i-1)S/(n-1)]^2$$

$$\sum X^2 = 2 \times [(600/2)^2 + (600/2 - 1 \times 600/4)^2 + (600/2 - 2 \times 600/4)^2 + (600/2 - 3 \times 600/4)^2 + (600/2 - 4 \times 600/4)^2] = 450000\text{mm}^2$$

#### 附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 41.742 \times 0.15 \times 300 / 450 = 4.174\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 1297.182 / (2 \times 5) + 4.174 = 133.892\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 41.742 / (2 \times 5) = 4.174\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b + N_t/N_t^b = 4.174/143.775 + 133.892/284 = 0.5 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\text{max}}) / \Sigma X^2 = 147.159 \times 0.15 \times 300 / 450 = 14.716 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 344.209 / (2 \times 5) + 14.716 = 49.137 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 147.159 / (2 \times 5) = 14.716 \text{ kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b + N_t/N_t^b = 14.716/143.775 + 49.137/284 = 0.275 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 3:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_3 L \cdot X_{\text{max}}) / \Sigma X^2 = 562.295 \times 0.15 \times 300 / 450 = 56.229 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_3 / mn + N_{\text{附加}} = 1002.835 / (2 \times 5) + 56.229 = 156.513 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_3 / mn = 562.295 / (2 \times 5) = 56.229 \text{ kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b + N_t/N_t^b = 56.229/143.775 + 156.513/284 = 0.942 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_4 L \cdot X_{\text{max}}) / \Sigma X^2 = 175.886 \times 0.15 \times 300 / 450 = 17.589 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_4 / mn + N_{\text{附加}} = 368.078 / (2 \times 5) + 17.589 = 54.397 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 175.886 / (2 \times 5) = 17.589 \text{ kN}$$

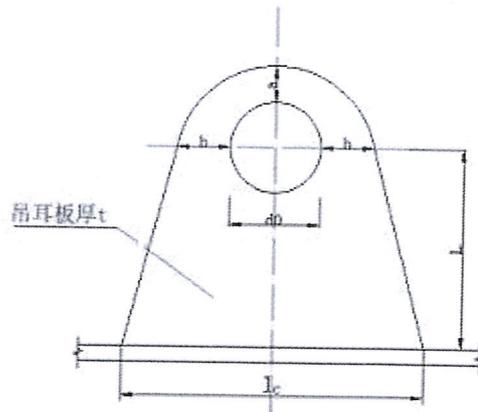
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 17.589 / 143.775 + 54.397 / 284 = 0.314 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

### 3、吊耳板计算

吊耳板厚 t(mm)	20	吊耳板两侧边缘与吊孔边缘净距 b(mm):	80
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	80	吊孔直径 d <sub>0</sub> (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm <sup>2</sup> )	295	吊耳板抗剪强度设计值 f <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	170
连接板耳板排数	2	附墙杆端部耳板排数	2



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 648.927 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 80 \text{ mm}$$

满足要求!

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 80 \text{ mm}$$

5 14

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 80-60/3) = 56\text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 648.927 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 289.699 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

(3) 耳板抗剪强度验算

耳板端部抗剪截面宽度:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(80+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 105.83\text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 648.927 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 105.83) = 153.295 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

#### 4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	60	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 1297.853 \text{kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

根据吊耳板排数可得, 销轴抗剪面数  $n_v = 3$

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 1297.853 \times 10^3 / (3 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 153.007 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

#### 5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	30
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_t^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	350

(1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(F_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(1297.182\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=53.25\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(41.742\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=1.714\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(41.742\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=5.318\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(53.25+5.318)}{1.22}]^2+1.714^2]^{0.5}=48.037\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/m}^2$$

附着点 1：连接钢板焊缝强度满足要求！

**附着点 2：**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(F_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(344.209\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=14.13\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(147.159\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=6.041\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(147.159\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=18.748\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(14.13+18.748)}{1.22}]^2+6.041^2]^{0.5}=27.618\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/m}^2$$

附着点 2：连接钢板焊缝强度满足要求！

**附着点 3：**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(F_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(1002.835\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=41.167\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(562.295\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=23.083\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(562.295\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=71.636\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^{0.5}=[\frac{(41.167+71.636)}{1.22}+23.083]^{0.5}=95.299\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3：连接钢板焊缝强度满足要求！

**附着点 4：**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(F_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(368.078\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=15.11\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(175.886\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=7.22\text{N/mm}^2$$

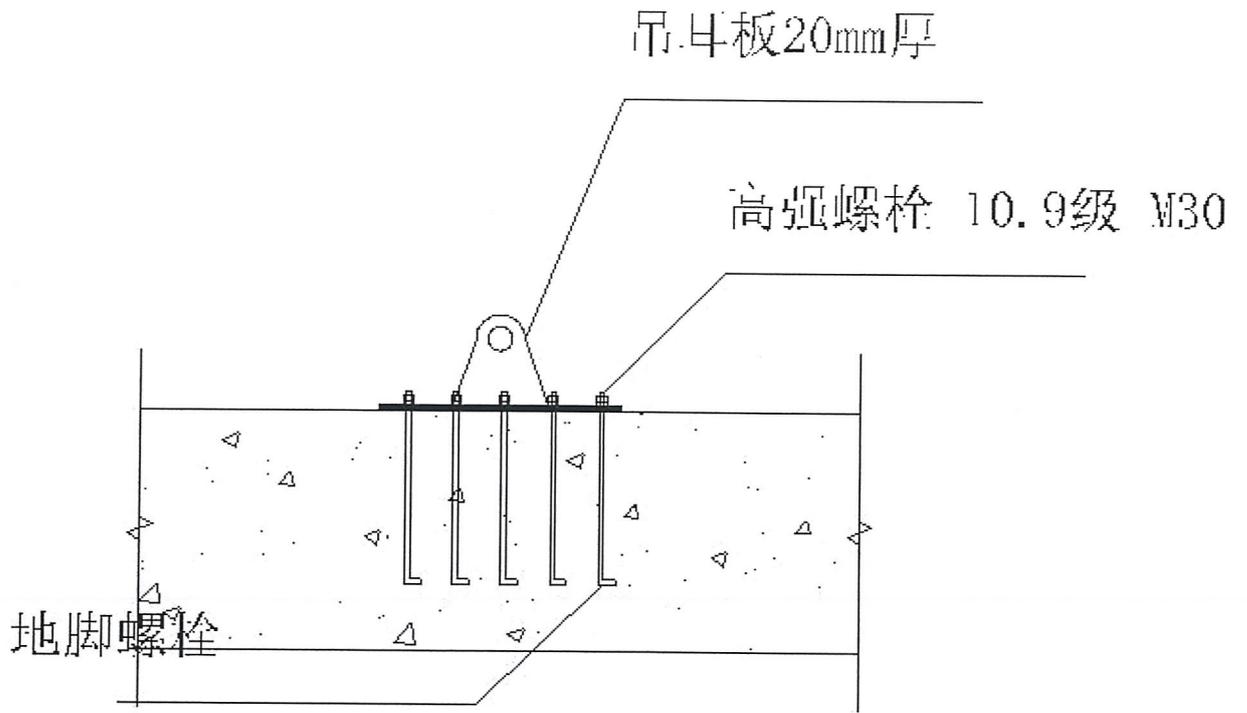
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(175.886\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=22.408\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

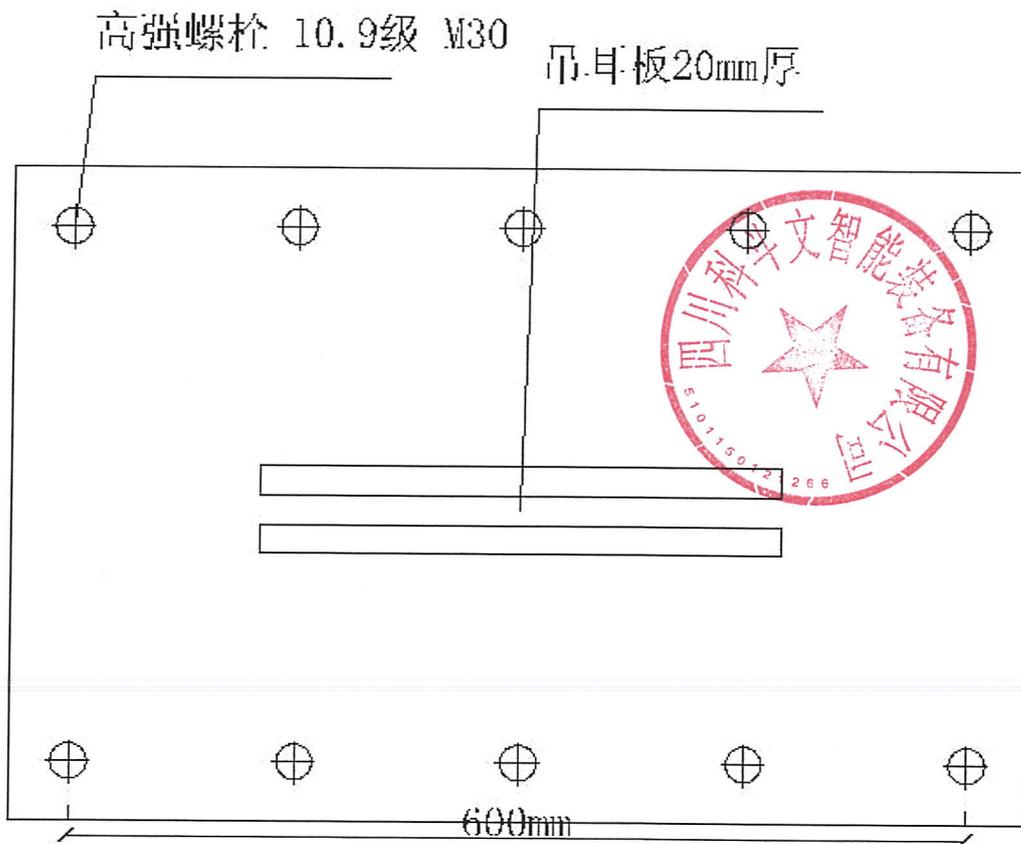
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^{0.5}=[\frac{(15.11+22.408)}{1.22}+7.22]^{0.5}=31.589\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

# XGT360-20S1 塔机第四道附着计算书

计算依据:

- 1、《塔式起重机混凝土基础工程技术标准》JGJ/T187-2019
- 2、《钢结构设计标准》GB50017-2017
- 3、《钢结构通用规范》GB 55006-2021

## 一、塔机附着杆参数

塔机型号	XGT360-20S1	塔身桁架结构类型	型钢
塔机计算高度 H(m)	185	塔身宽度 B(m)	2
起重臂长度 l <sub>1</sub> (m)	45	荷载确定方式	按构件不平衡自重计算
平衡臂长度 l <sub>2</sub> (m)	16.5	起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	2.35
工作状态时扭矩标准值 T <sub>k1</sub> (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1787	工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M <sub>k</sub> (kN·m)	2819
非工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M <sub>k'</sub> (kN·m)	2215		

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	VII类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	2.34

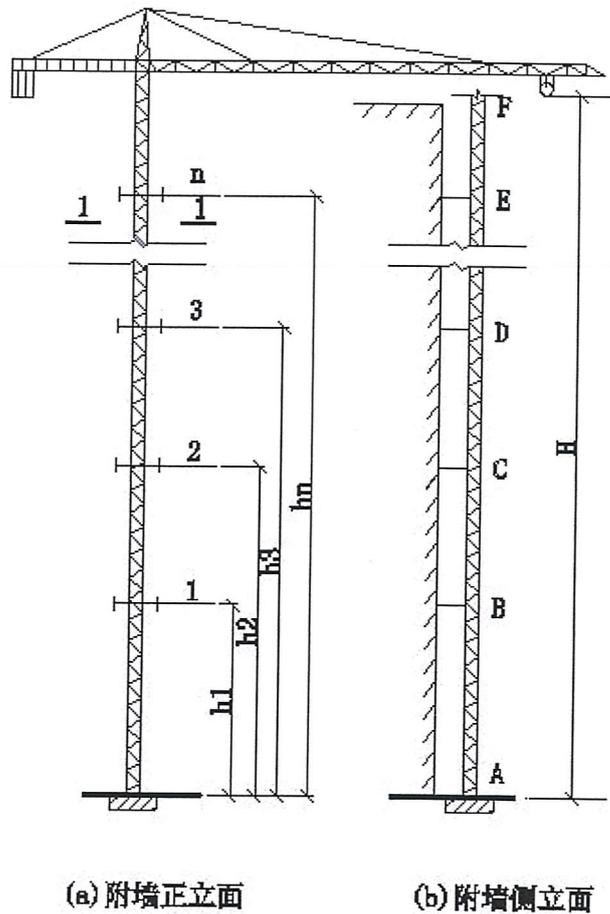
## 二、风荷载及附着参数

附着次数 N	4		
附着点 1 到塔机的横向距离 a <sub>1</sub> (m)	0.543	点 1 到塔机的竖向距离 b <sub>1</sub> (m)	5.806
附着点 2 到塔机的横向距离 a <sub>2</sub> (m)	2.448	点 2 到塔机的竖向距离 b <sub>2</sub> (m)	6.069
附着点 3 到塔机的横向距离 a <sub>3</sub> (m)	3.834	点 3 到塔机的竖向距离 b <sub>3</sub> (m)	8.565
附着点 4 到塔机的横向距离 a <sub>4</sub> (m)	4.356	点 4 到塔机的竖向距离 b <sub>4</sub> (m)	10.908
工作状态基本风压 ω <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	0.25	非工作状态基本风压 ω <sub>0'</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	1
塔身前后片桁架的平均充实率 α <sub>0</sub>	0.35		

第 N 次附着	附着点高度 h <sub>1</sub> (m)	附着点净高 h <sub>01</sub> (m)	风压等效高度变化系数 μ <sub>z</sub>	工作状态风荷载体型系数 μ <sub>s</sub>	非工作状态风荷载体型系数 μ <sub>s'</sub>	工作状态风振系数 β <sub>z</sub>	非工作状态风振系数 β <sub>z'</sub>	工作状态风压等效均布线荷载标准	非工作状态风压等效均布线荷载标准
---------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------	------------------

								值 $q_{sk}$	准值 $q_{sk}'$
第 1 次附着	50	50	1.613	1.95	1.95	1.497	1.595	0.791	3.371
第 2 次附着	77	27	1.785	1.95	1.95	1.502	1.606	0.878	3.757
第 3 次附着	107	30	1.931	1.95	1.95	1.507	1.615	0.953	4.087
第 4 次附着	137	30	2.045	1.95	1.95	1.507	1.617	1.01	4.333
悬臂端	185	48	2.198	1.95	1.95	1.5	1.613	1.08	4.646

附图如下:



塔机附着立面图

### 三、工作状态下附墙杆内力计算

#### 1、扭矩组合值 $T_k$

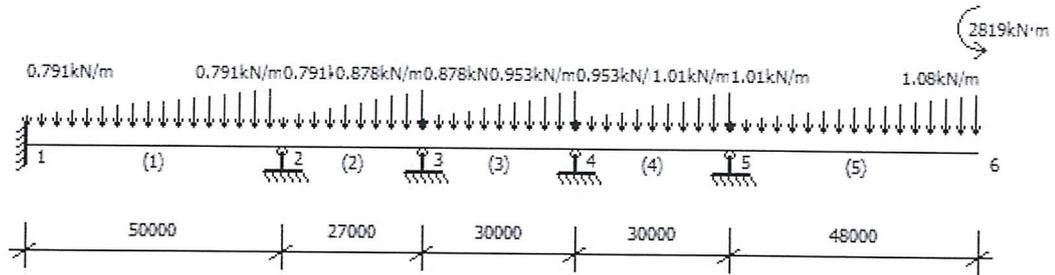
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1787 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

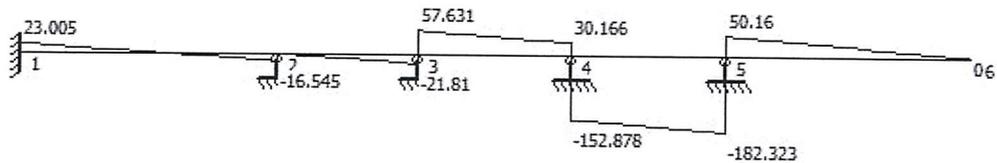
回转惯性力及风荷载产生的扭矩设计值:

$$T_k = 1.5 \times T_{k1} = 2680.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## 2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

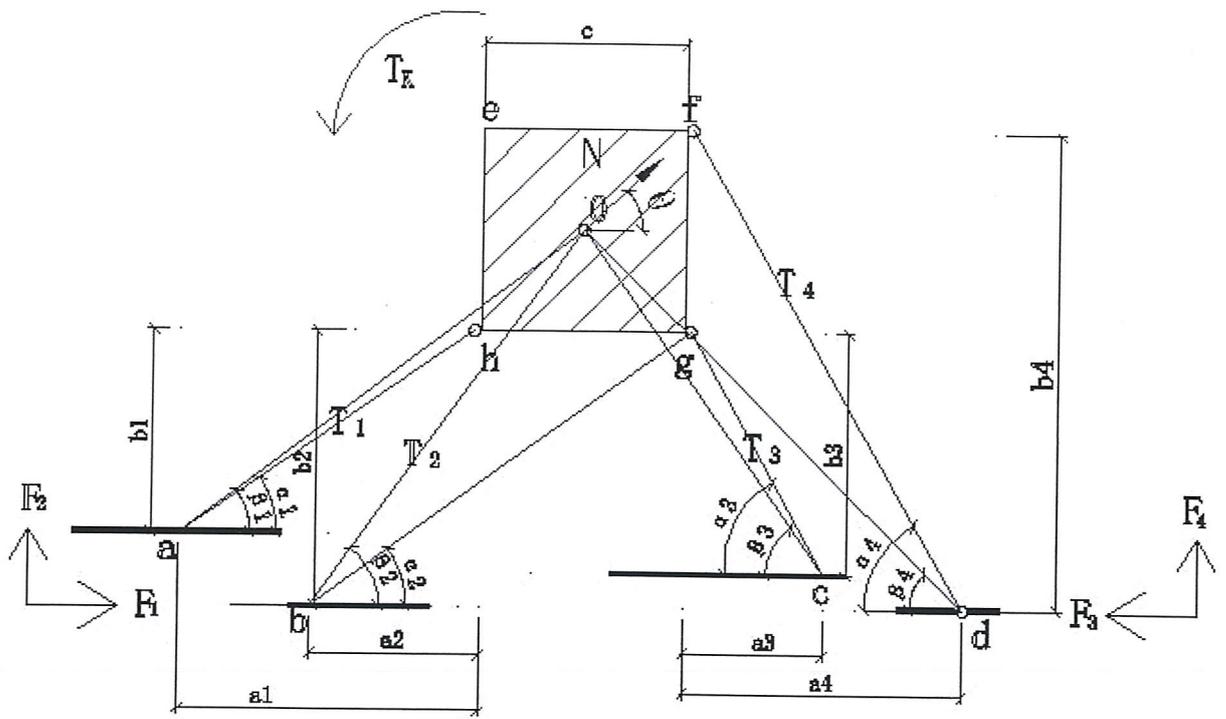
支座反力标准值得： $R_E = 232.483 \text{ kN}$

在工作状态下，塔机起重臂位置的不确定性以及风向的随机性，在计算支座5处锚固环截面内力时需考虑塔身承受双向的风荷载和倾覆力矩及扭矩。

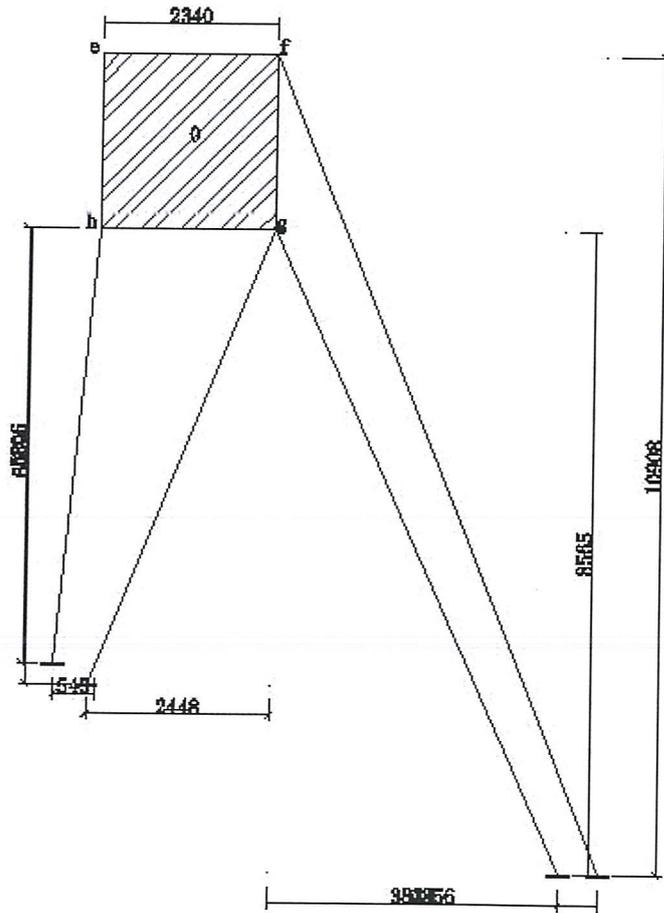
## 3、附墙杆内力计算

支座5处锚固环的截面扭矩  $T_k$ （考虑塔机产生的扭矩由支座5处的附墙杆承担），水平内力  $N_w = 1.5 \times R_E = 348.725 \text{ kN}$

计算简图：



塔机附着示意图



### 塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 84.657^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 68.033^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 65.885^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 68.231^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 76.204^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 79.988^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 62.796^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan((b_4-c/2)/(a_4+c/2)) = 60.426^\circ$$

四杆附着属于一次超静定结构，用力法计算，切断  $T_4$  杆并代以相应多余未知力  $X_1=1$ 。

$$\delta_{11} \times X_1 + \Delta_{1p} = 0$$

$X_1=1$  时，各杆件轴力计算：

$$T_{11} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times (b_1 + c/2) / \sin \beta_1 + T_{21} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + c/2) / \sin \beta_2 - T_{31} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + c/2) / \sin \beta_3 - 1 \times \sin(\alpha_4 - \beta_4) \times (a_4 + c/2) / \cos \beta_4 = 0$$

$$T_{21} \times \sin \alpha_2 \times c + T_{31} \times \sin \alpha_3 \times c + 1 \times \cos \alpha_4 \times c + 1 \times \sin \alpha_4 \times c = 0$$

$$T_{11} \times \sin \alpha_1 \times c - 1 \times \cos \alpha_4 \times c = 0$$

当  $N_w$ 、 $T_k$  同时存在时， $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环，各杆件轴力计算：

$$T_{1p} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times (b_1 + c/2) / \sin \beta_1 + T_{2p} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + c/2) / \sin \beta_2 - T_{3p} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + c/2) / \sin \beta_3 - T_k = 0$$

$$T_{2p} \times \sin \alpha_2 \times c + T_{3p} \times \sin \alpha_3 \times c + N_w \times \sin \theta \times c/2 - N_w \times \cos \theta \times c/2 + T_k = 0$$

$$T_{1p} \times \sin \alpha_1 \times c + N_w \times \sin \theta \times c/2 + N_w \times \cos \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\delta_{11} = \Sigma(T_1^2 L / (EA)) = T_{11}^2 (a_1 / \cos \alpha_1) / (EA) + T_{21}^2 (a_2 / \cos \alpha_2) / (EA) + T_{31}^2 (a_3 / \cos \alpha_3) / (EA) + 1^2 (a_4 / \cos \alpha_4) / (EA)$$

$$\Delta_{1p} = \Sigma(T_1 \times T_p L / (EA)) = T_{11} \times T_{1p} (a_1 / \cos \alpha_1) / (EA) + T_{21} \times T_{2p} (a_2 / \cos \alpha_2) / (EA) + T_{31} \times T_{3p} (a_3 / \cos \alpha_3) / (EA)$$

$$X_1 = -\Delta_{1p} / \delta_{11}$$

各杆轴力计算公式如下：

$$T_1 = T_{11} \times X_1 + T_{1p}, \quad T_2 = T_{21} \times X_1 + T_{2p}, \quad T_3 = T_{31} \times X_1 + T_{3p}, \quad T_4 = X_1$$

(1)  $\theta$ 由  $0 \sim 360^\circ$  循环，当  $T_k$  按图上方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 1370.484 \text{ kN}, \quad T_2 = 0 \text{ kN}, \quad T_3 = 0 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 439.007 \text{ kN}, \quad T_3 = 1019.506 \text{ kN}, \quad T_4 = 358.487 \text{ kN}$$

(2)  $\theta$ 由  $0 \sim 360^\circ$  循环，当  $T_k$  按图上反方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力：

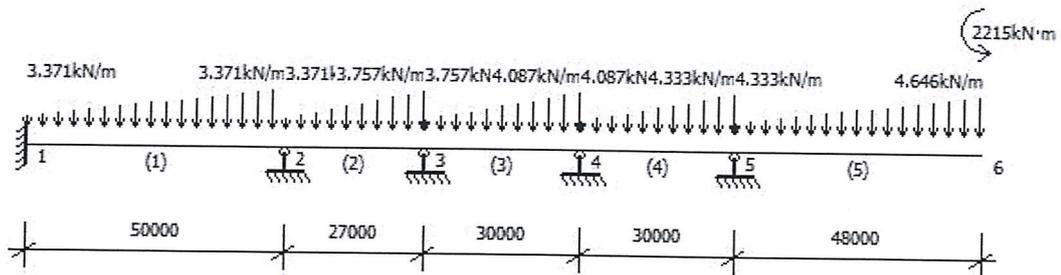
$$\text{最大轴压力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 439.007 \text{ kN}, \quad T_3 = 1019.506 \text{ kN}, \quad T_4 = 358.486 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 1370.484 \text{ kN}, \quad T_2 = 0 \text{ kN}, \quad T_3 = 0 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

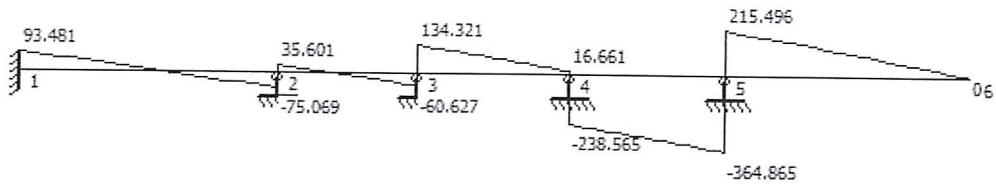
#### 四、非工作状态下附墙杆内力计算

此工况下塔机回转机构的制动器完全松开，起重臂能随风转动，故不计风荷载产生的扭转力矩。

##### 1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

支座反力标准值得： $R_E=580.361\text{kN}$

## 2、附墙杆内力计算

支座 5 处锚固环的水平内力  $N_w=1.5\times R_E=870.542\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组  $T_k=0$ ， $\theta$  由  $0\sim 360^\circ$  循环，求解各杆最大轴拉力和轴压力：

最大轴压力  $T_1=731.7\text{kN}$ ， $T_2=237.529\text{kN}$ ， $T_3=980.072\text{kN}$ ， $T_4=406.002\text{kN}$

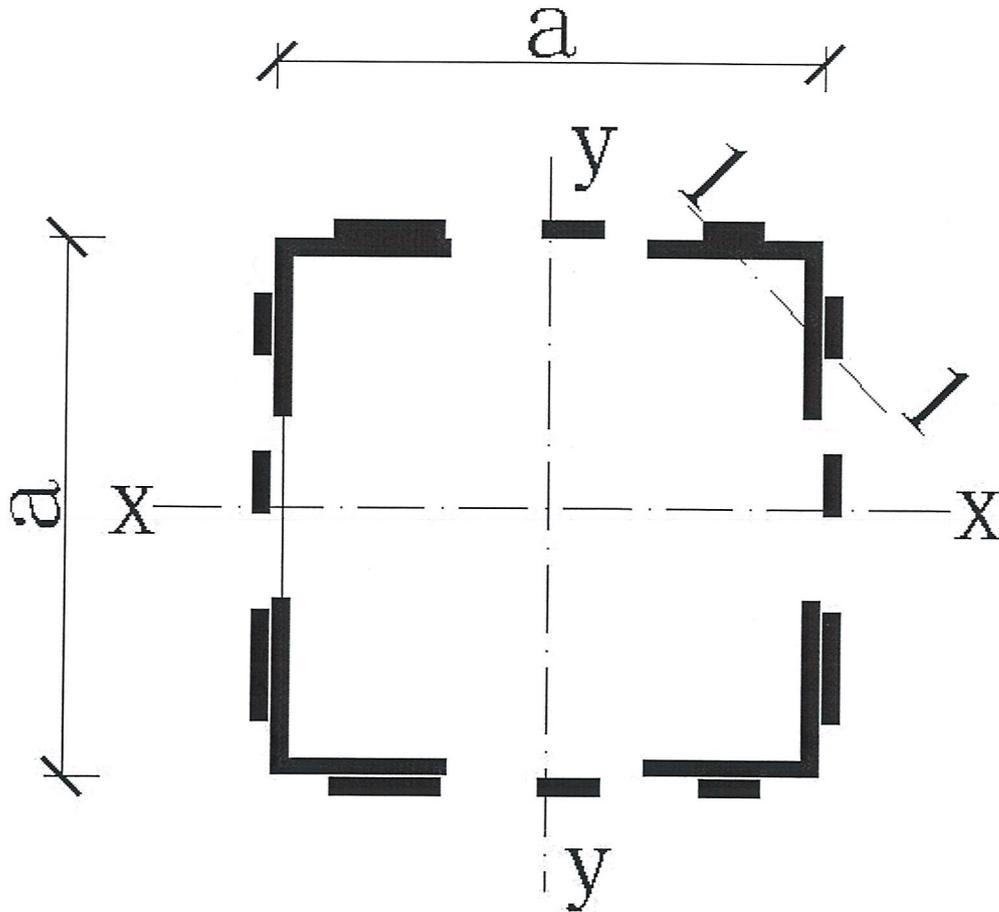
最大轴拉力  $T_1=731.698\text{kN}$ ， $T_2=237.528\text{kN}$ ， $T_3=980.073\text{kN}$ ， $T_4=406.002\text{kN}$

## 五、附墙杆强度验算

格构柱参数			
格构柱截面类型	四肢	格构柱缀件形式	缀条
缀件间净距 $l_{01}(\text{mm})$	400	格构柱截面边长 $a(\text{mm})$	400
格构柱分肢参数			
格构柱分肢材料	L100X10	分肢材料截面积 $A_0(\text{cm}^2)$	19.26
分肢对最小刚度轴的回转半径 $i_{y0}(\text{cm})$	1.96	分肢平行于对称轴惯性矩 $I_0(\text{cm}^4)$	179.51
分肢形心轴距分肢外边缘距离 $Z_0(\text{cm})$	2.84	分肢材料强度设计值 $f_y(\text{N}/\text{mm}^2)$	235
分肢材料抗拉、压强度设计值 $f(\text{N}/\text{mm}^2)$	210		
格构柱缀件参数			
缀条材料	L50X5	缀条最小回转半径 $i_{\text{nim}}(\text{cm})$	0.98
缀条截面积 $A_z(\text{cm}^2)$	4.8		
角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	6	焊缝计算长度 $l_f(\text{mm})$	200

焊缝强度设计值 $f_{fw}(N/mm^2)$	160		
--------------------------	-----	--	--

附图如下:



塔机附着格构柱截面

### 1、杆件轴心受拉强度验算

$$A=4A_0=4\times 19.26\times 100=7704\text{mm}^2$$

$$\sigma=N/A=1370484/7704=177.893\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

### 2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=5831.336\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

$$I_x=4[I_0+A_0(a/2-Z_0)^2]=4\times [179.51+19.26\times (40/2-2.84)^2]=23403.67\text{cm}^4$$

$$\text{整个构件长细比: } \lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=583.134/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=33.457$$

分枝长细比： $\lambda_1=l_{01}/i_{y0}=40/1.96=20.408$

分枝毛截面积之和： $A=4A_0=4\times 19.26\times 100=7704\text{mm}^2$

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和：

$A_{1x}=2A_2=2\times 480=960\text{mm}^2$

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(33.457^2+40\times 7704/960)^{0.5}=37.952$

附墙杆 1 长细比：

$\lambda_{01\max}=37.952\leq[\lambda]=120$ ，查规范表得： $\varphi_1=0.907$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$\lambda_{02\max}=41.602\leq[\lambda]=120$ ，查规范表得： $\varphi_2=0.892$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$\lambda_{03\max}=56.743\leq[\lambda]=120$ ，查规范表得： $\varphi_3=0.824$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$\lambda_{04\max}=69.73\leq[\lambda]=120$ ，查规范表得： $\varphi_4=0.752$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$N_1/(\varphi_1Af)=1370484/(0.907\times 7704\times 210)=0.934\leq 1$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$N_2/(\varphi_2Af)=439007/(0.892\times 7704\times 210)=0.304\leq 1$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$N_3/(\varphi_3Af)=1019506/(0.824\times 7704\times 210)=0.765\leq 1$

满足要求！



附墙杆 4 轴心受压稳定验算:

$$N_4/(\varphi_4 A f) = 406002 / (0.752 \times 7704 \times 210) = 0.334 \leq 1$$

满足要求!

### 3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1 = 20.408 \leq 0.7 \lambda_{01\max} = 0.7 \times 50 = 35$$

当  $\lambda_{01\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2 = 20.408 \leq 0.7 \lambda_{02\max} = 0.7 \times 50 = 35$$

当  $\lambda_{02\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_3 = 20.408 \leq 0.7 \lambda_{03\max} = 0.7 \times 56.743 = 39.72$$

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4 = 20.408 \leq 0.7 \lambda_{04\max} = 0.7 \times 69.73 = 48.811$$

满足要求!

### 4、缀件验算

$$\begin{aligned} \text{缀件所受剪力: } V &= A f (f_y / 235)^{0.5} / 85 = 7704 \times 210.00 \times 10^{-3} \\ &\times (235.00 / 235)^{0.5} / 85 = 19.033 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{格构柱相邻缀板轴线距离: } l_1 = l_{01} + 5 = 40.00 + 5 = 45 \text{ cm}$$

$$\text{作用在一侧缀板上的弯矩: } M_0 = V l_1 / 4 = 19.033 \times 0.45 / 4 = 2.141 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{分肢型钢形心轴之间距离: } b_1 = a - 2Z_0 = 0.4 - 2 \times 0.0284 = 0.343 \text{ m}$$

斜缀条轴向压力值:

$$N_0 = V / (2 \cos \alpha) = V / (2a / (a^2 + l_1^2)^{0.5}) = 19.033 / (2 \times 0.4 / (0.4^2 + 0.45^2)^{0.5}) = 14.325 \text{ kN}$$

$$\text{缀条计算长度: } l_r = (a^2 + l_1^2)^{0.5} = (400.00^2 + 450^2)^{0.5} = 602.08 \text{ mm}$$

缀条长细比:  $\lambda=l_t/i_{\min}=60.208/0.98=61.437\leq 80$

查表《钢结构设计标准》GB50017-2017 附录 D: b 类截面轴心受压构件的稳定系数:  $\varphi=0.802$

等边角钢计算稳定性系数:

$$\eta=\min(0.6+0.0015\lambda, 1.0)=\min(0.6+0.0015\times 61.437, 1.0)=0.692$$

缀条稳定验算:

$$N_0/(\varphi\eta A_z f)=14.325\times 10^3/(0.802\times 0.692\times 4.80\times 10^2\times 215)=0.25\leq 1$$

满足要求!

需要焊缝长度:

$$\Sigma l_w=N_0/(0.7h_f\times 0.85f_f^w)=14.325\times 10^3/(0.7\times 6\times 0.85\times 160)=25\text{mm}\leq l_f=200\text{mm}$$

满足要求!

## 六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q235	建筑物混凝土强度等级	C35
连接板固定方式	锚固螺栓	连接板耳板排数	2
锚固螺栓类型	摩擦型高强螺栓	高强螺栓的性能等级	10.9 级
摩擦面抗滑移系数 u	0.45	高强螺栓公称直径	M30
一个高强螺栓的预拉力 P(kN)	355	高强螺栓传力摩擦面数目 n <sub>f</sub>	1
单吊耳板吊耳孔中心至连接钢板高度 L(mm)	150	单吊耳板连接钢板垂直方向螺栓排数 m	2
单吊耳板连接钢板水平方向螺栓排数 n	5	单吊耳板连接钢板水平方向最外侧螺栓两端中心线距离 S(mm)	600

### 1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1=N_1\sin\alpha_1=1370.484\times\sin 84.657^\circ=1364.529\text{kN}, V_1=N_1\cos\alpha_1=1370.484\times\cos 84.657^\circ=127.616\text{kN};$$

$F_2=N_2\sin\alpha_2=439.007\times\sin68.033^\circ=407.134\text{kN}$ ,  $V_2=N_2\cos\alpha_2=439.007\times\cos68.033^\circ=164.222\text{kN}$ ;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=1019.506\times\sin65.885^\circ=930.531\text{kN}$ ,  $V_3=N_3\cos\alpha_3=1019.506\times\cos65.885^\circ=416.539\text{kN}$ ;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=406.002\times\sin68.231^\circ=377.049\text{kN}$ ,  $V_4=N_4\cos\alpha_4=406.002\times\cos68.231^\circ=150.571\text{kN}$ ;

## 2、螺栓承载力计算

单个高强螺栓抗剪承载力设计值  $N_v^b=0.9k_n\mu P=0.9\times1\times1\times0.45\times355=143.775\text{kN}$

单个高强螺栓受拉承载力设计值  $N_t^b=0.8P=0.8\times355=284\text{kN}$

### (1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$X_{\max}=S/2=600/2=300\text{mm}$

$$\sum X^2 = \sum_{i=1}^n m [S/2 - (i-1)S/(n-1)]^2$$

$\sum X^2 = 2 \times [(600/2)^2 + (600/2 - 1 \times 600/4)^2 + (600/2 - 2 \times 600/4)^2 + (600/2 - 3 \times 600/4)^2 + (600/2 - 4 \times 600/4)^2] = 450000\text{mm}^2$

#### 附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 127.616 \times 0.15 \times 300 / 450 = 12.762\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 1364.529 / (2 \times 5) + 12.762 = 149.215\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$N_v = V_1 / mn = 127.616 / (2 \times 5) = 12.762\text{kN}$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=12.762/143.775+149.215/284=0.614\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma X^2=164.222\times 0.15\times 300/450=16.422\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=407.134/(2\times 5)+16.422=57.135\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=164.222/(2\times 5)=16.422\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=16.422/143.775+57.135/284=0.315\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 3:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma X^2=416.539\times 0.15\times 300/450=41.654\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=930.531/(2\times 5)+41.654=134.707\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=416.539/(2\times 5)=41.654\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=41.654/143.775+134.707/284=0.764\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma X^2=150.571\times 0.15\times 300/450=15.057\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=377.049/(2\times 5)+15.057=52.762\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 150.571 / (2 \times 5) = 15.057 \text{ kN}$$

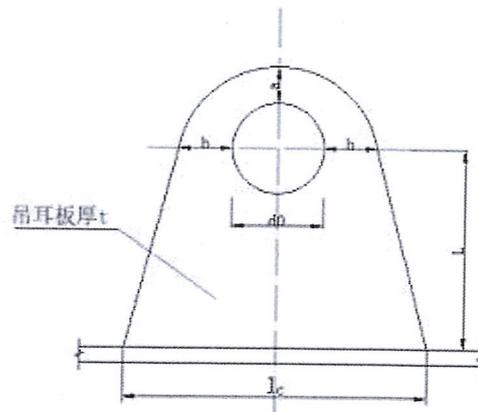
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 15.057 / 143.775 + 52.762 / 284 = 0.291 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

### 3、吊耳板计算

吊耳板厚 t(mm)	26	吊耳板两侧边缘与吊孔边缘净距 b(mm):	80
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	80	吊孔直径 d <sub>0</sub> (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm <sup>2</sup> )	295	吊耳板抗剪强度设计值 f <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	170
连接板耳板排数	2	附墙杆端部耳板排数	2



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 685.242 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 26 + 16 = 68 \text{ mm} \leq b = 80 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

计算宽度:  $b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 26+16, 80-60/3) = 60\text{mm}$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 685.242 \times 10^3 / (2 \times 26 \times 60) = 219.629 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

### (3) 耳板抗剪强度验算

耳板端部抗剪截面宽度:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(80+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 105.83\text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 685.242 \times 10^3 / (2 \times 26 \times 105.83) = 124.518 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

## 4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	60	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max\{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 1370.484 \text{kN}$$

### (1) 销轴抗剪强度

根据吊耳板排数可得, 销轴抗剪面数  $n_v = 3$

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 1370.484 \times 10^3 / (3 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 161.57 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

## 5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	30
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_f^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	350

### (1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(1364.529\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=56.015\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(127.616\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=5.239\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(127.616\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=16.258\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(56.015+16.258)}{1.22}^2+5.239^2]^{0.5}=59.471\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 1: 连接钢板焊缝强度满足要求!

**附着点 2:**

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(407.134\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=16.713\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(164.222\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=6.741\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(164.222\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=20.922\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(16.713+20.922)}{1.22}^2+6.741^2]^{0.5}=31.576\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 2: 连接钢板焊缝强度满足要求!

**附着点 3:**

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(930.531\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=38.199\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_3/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (416.539 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)] = 17.099 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_3 L / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (416.539 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)^2 / 6] = 53.067 \text{ N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f} + \tau_v]^2]^{0.5} = [(\frac{38.199 + 53.067}{1.22})^2 + 17.099^2]^{0.5} = 76.737 \text{ N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

附着点 3：连接钢板焊缝强度满足要求！

**附着点 4：**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N = (F_4 / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (377.049 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)] = 15.478 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_4 / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (150.571 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)] = 6.181 \text{ N/mm}^2$$

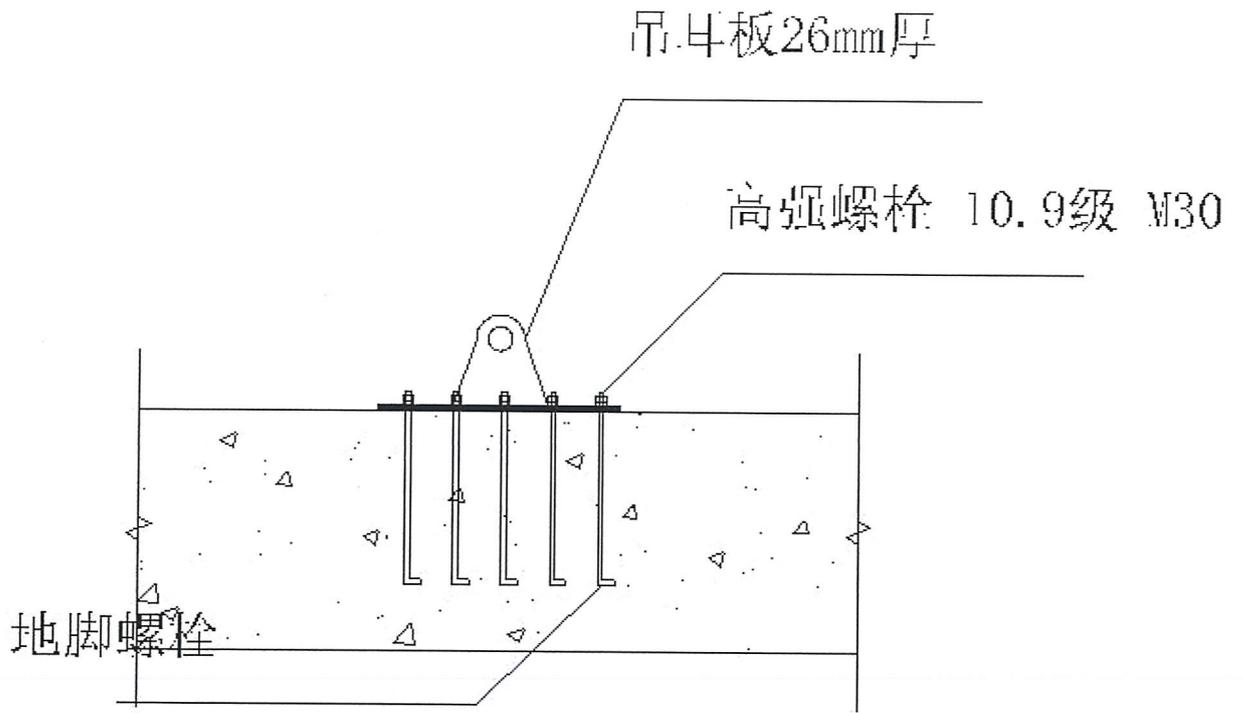
$$\sigma_M = M/W = (V_4 L / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (150.571 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)^2 / 6] = 19.183 \text{ N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

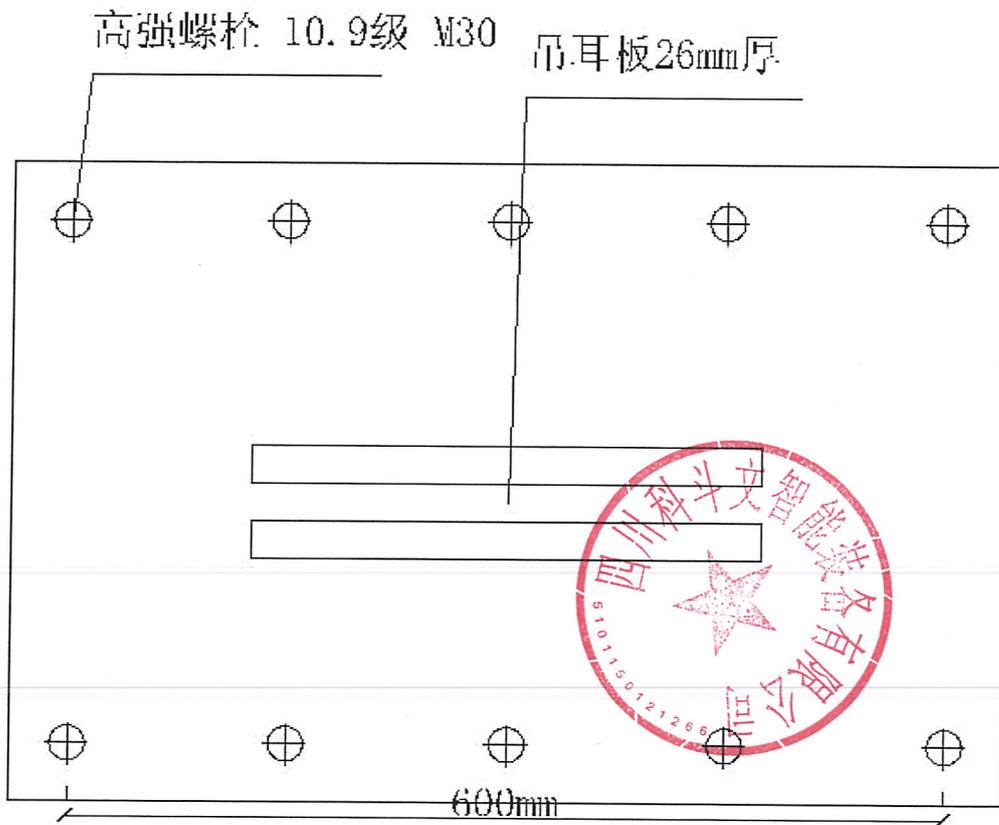
$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f} + \tau_v]^2]^{0.5} = [(\frac{15.478 + 19.183}{1.22})^2 + 6.181^2]^{0.5} = 29.075 \text{ N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

附着点 4：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

# XGT360-20S1 塔机第五道附着计算书

计算依据:

- 1、《塔式起重机混凝土基础工程技术标准》JGJ/T187-2019
- 2、《钢结构设计标准》GB50017-2017
- 3、《钢结构通用规范》GB 55006-2021

## 一、塔机附着杆参数

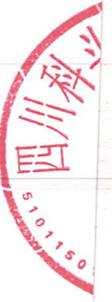
塔机型号	XGT360-20S1	塔身桁架结构类型	型钢
塔机计算高度 H(m)	210	塔身宽度 B(m)	2
起重臂长度 l <sub>1</sub> (m)	45	荷载确定方式	按构件不平衡自重计算
平衡臂长度 l <sub>2</sub> (m)	16.5	起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	2.35
工作状态时扭矩标准值 T <sub>k1</sub> (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1787	工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M <sub>k</sub> (kN·m)	2819
非工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M <sub>k'</sub> (kN·m)	2215		

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	VII类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	2.34

## 二、风荷载及附着参数

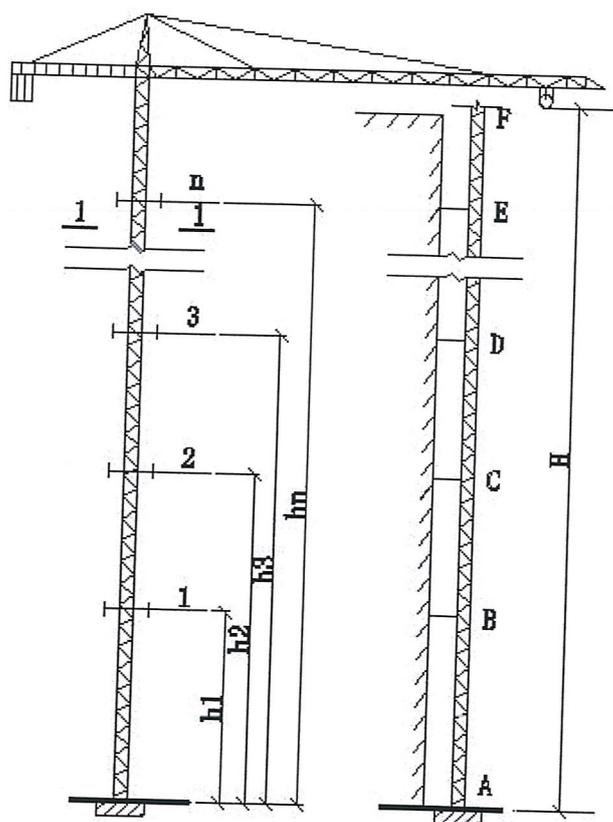
附着次数 N	5		
附着点 1 到塔机的横向距离 a <sub>1</sub> (m)	0.94	点 1 到塔机的竖向距离 b <sub>1</sub> (m)	7.106
附着点 2 到塔机的横向距离 a <sub>2</sub> (m)	2.846	点 2 到塔机的竖向距离 b <sub>2</sub> (m)	7.396
附着点 3 到塔机的横向距离 a <sub>3</sub> (m)	3.437	点 3 到塔机的竖向距离 b <sub>3</sub> (m)	9.866
附着点 4 到塔机的横向距离 a <sub>4</sub> (m)	3.959	点 4 到塔机的竖向距离 b <sub>4</sub> (m)	12.208
工作状态基本风压 ω <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	0.25	非工作状态基本风压 ω <sub>0'</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	1
塔身前后片桁架的平均充实率 α <sub>0</sub>	0.35		

第 N 次附着	附着点高度 h <sub>1</sub> (m)	附着点净高 h <sub>01</sub> (m)	风压等效高度变化系数 μ <sub>z</sub>	工作状态风荷载体型系数 μ <sub>s</sub>	非工作状态风荷载体型系数 μ <sub>s'</sub>	工作状态风振系数 β <sub>z</sub>	非工作状态风振系数 β <sub>z'</sub>	工作状态风压等效均布线荷载标准	非工作状态风压等效均布线荷载标准
---------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------	------------------



								值 $q_{sk}$	准值 $q_{sk}'$
第 1 次附着	50	50	1.613	1.95	1.95	1.497	1.595	0.791	3.371
第 2 次附着	77	27	1.785	1.95	1.95	1.502	1.606	0.878	3.757
第 3 次附着	107	30	1.931	1.95	1.95	1.507	1.615	0.953	4.087
第 4 次附着	137	30	2.045	1.95	1.95	1.507	1.617	1.01	4.333
第 5 次附着	167	30	2.144	1.95	1.95	1.502	1.616	1.055	4.54
悬臂端	210	43	2.266	1.95	1.95	1.495	1.606	1.11	4.769

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

### 三、工作状态下附墙杆内力计算

#### 1、扭矩组合值 $T_k$

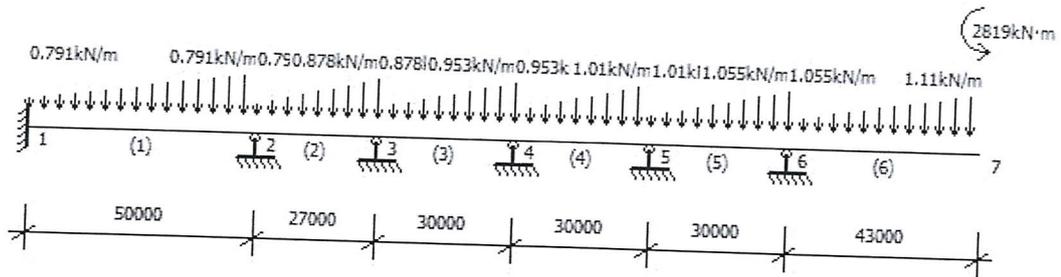
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1787 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

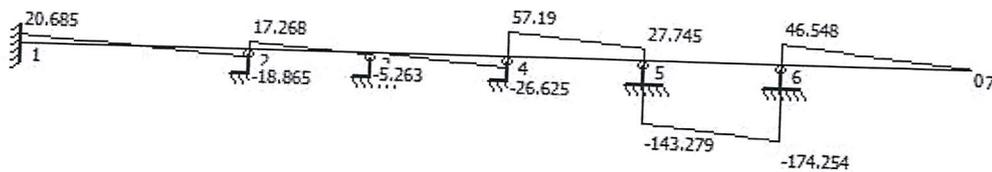
回转惯性力及风荷载产生的扭矩设计值:

$$T_k = 1.5 \times T_{kl} = 2680.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## 2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

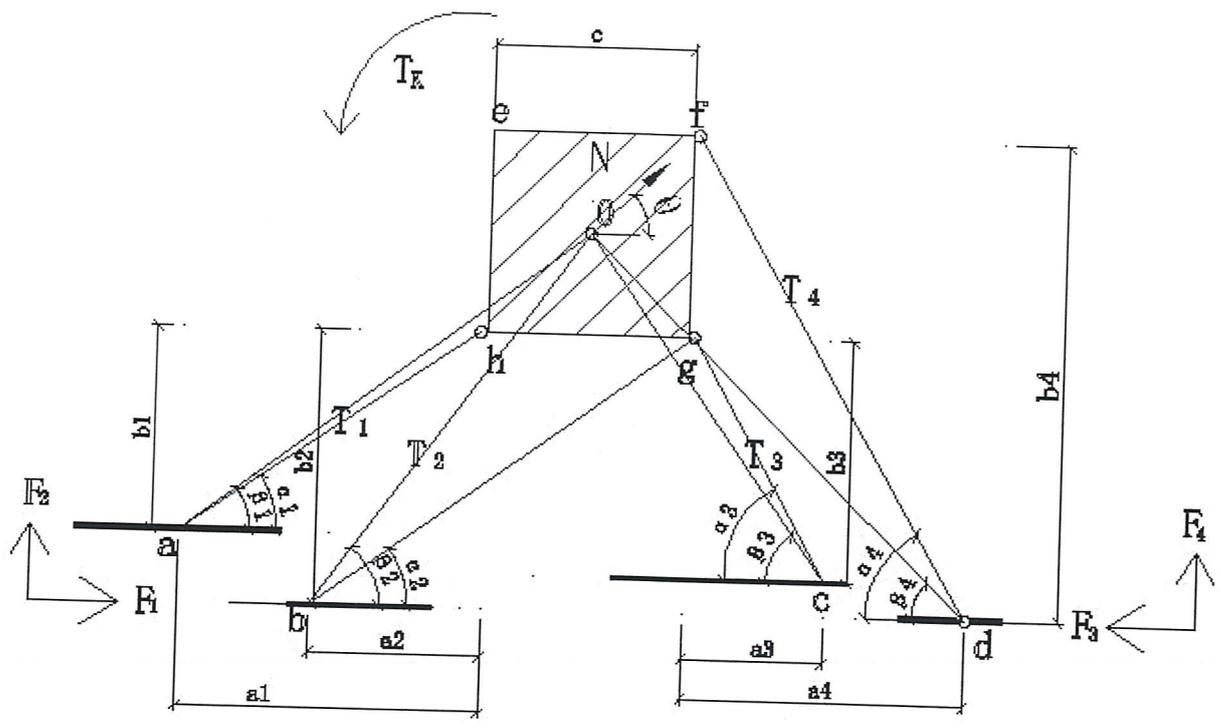
支座反力标准值得:  $R_E = 220.802 \text{ kN}$

在工作状态下,塔机起重臂位置的不确定性以及风向的随机性,在计算支座6处锚固环截面内力时需考虑塔身承受双向的风荷载和倾覆力矩及扭矩。

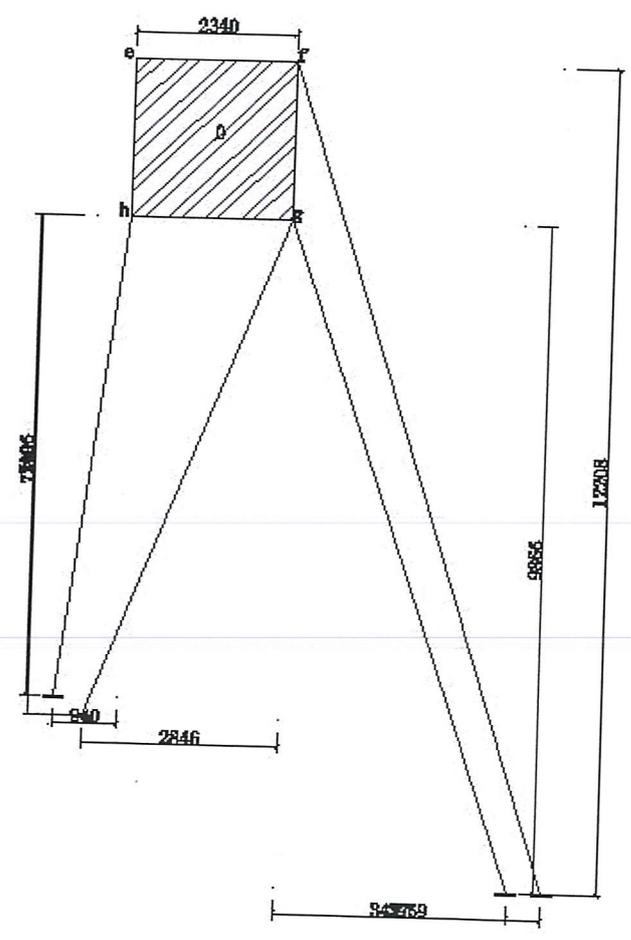
## 3、附墙杆内力计算

支座6处锚固环的截面扭矩  $T_k$  (考虑塔机产生的扭矩由支座6处的附墙杆承担), 水平内力  $N_w = 1.5 \times R_E = 331.203 \text{ kN}$

计算简图:



塔机附着示意图



文  
28  
24

### 塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 82.465^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 68.953^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 70.793^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 72.032^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 75.697^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 78.93^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 67.342^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan((b_4-c/2)/(a_4+c/2)) = 65.077^\circ$$

四杆附着属于一次超静定结构，用力法计算，切断  $T_4$  杆并代以相应多余未知力  $X_1=1$ 。

$$\delta_{11} \times X_1 + \Delta_{1p} = 0$$

$X_1=1$  时，各杆件轴力计算：

$$T_{11} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times (b_1 + c/2) / \sin\beta_1 + T_{21} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + c/2) / \sin\beta_2 - T_{31} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + c/2) / \sin\beta_3 - 1 \times \sin(\alpha_4 - \beta_4) \times (a_4 + c/2) / \cos\beta_4 = 0$$

$$T_{21} \times \sin\alpha_2 \times c + T_{31} \times \sin\alpha_3 \times c + 1 \times \cos\alpha_4 \times c + 1 \times \sin\alpha_4 \times c = 0$$

$$T_{11} \times \sin\alpha_1 \times c - 1 \times \cos\alpha_4 \times c = 0$$

当  $N_w$ 、 $T_k$  同时存在时， $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环，各杆件轴力计算：

$$T_{1p} \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times (b_1 + c/2) / \sin\beta_1 + T_{2p} \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + c/2) / \sin\beta_2 - T_{3p} \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + c/2) / \sin\beta_3 - T_k = 0$$

$$T_{2p} \times \sin\alpha_2 \times c + T_{3p} \times \sin\alpha_3 \times c + N_w \times \sin\theta \times c/2 - N_w \times \cos\theta \times c/2 + T_k = 0$$

$$T_{1p} \times \sin\alpha_1 \times c + N_w \times \sin\theta \times c/2 + N_w \times \cos\theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\delta_{11} = \Sigma(T_i^2 L / (EA)) = T_{11}^2 (a_1 / \cos\alpha_1) / (EA) + T_{21}^2 (a_2 / \cos\alpha_2) / (EA) + T_{31}^2 (a_3 / \cos\alpha_3) / (EA) + 1^2 (a_4 / \cos\alpha_4) / (EA)$$

$$\Delta_{1p} = \Sigma(T_i \times T_p L / (EA)) = T_{11} \times T_{1p} (a_1 / \cos\alpha_1) / (EA) + T_{21} \times T_{2p} (a_2 / \cos\alpha_2) / (EA) + T_{31} \times T_{3p} (a_3 / \cos\alpha_3) / (EA)$$

$$X_1 = -\Delta_{1p}/\delta_{11}$$

各杆轴力计算公式如下:

$$T_1 = T_{11} \times X_1 + T_{1p}, \quad T_2 = T_{21} \times X_1 + T_{2p}, \quad T_3 = T_{31} \times X_1 + T_{3p}, \quad T_4 = X_1$$

(1)  $\theta$ 由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 当  $T_k$  按图上方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力:

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 1389.046 \text{ kN}, \quad T_2 = 0 \text{ kN}, \quad T_3 = 0 \text{ kN}, \quad T_4 = 36.222 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 573.173 \text{ kN}, \quad T_3 = 919.579 \text{ kN}, \quad T_4 = 262.441 \text{ kN}$$

(2)  $\theta$ 由  $0 \sim 360^\circ$  循环, 当  $T_k$  按图上反方向设置时求解各杆最大轴拉力和轴压力:

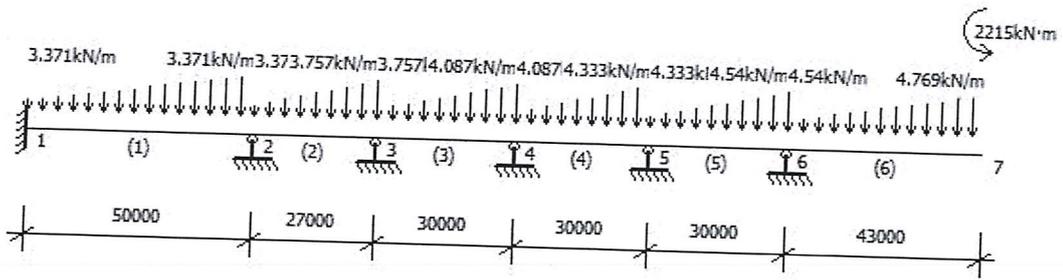
$$\text{最大轴压力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 573.174 \text{ kN}, \quad T_3 = 919.579 \text{ kN}, \quad T_4 = 262.441 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 1389.047 \text{ kN}, \quad T_2 = 0 \text{ kN}, \quad T_3 = 0 \text{ kN}, \quad T_4 = 36.222 \text{ kN}$$

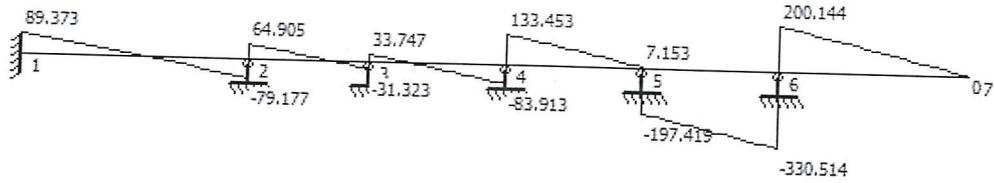
#### 四、非工作状态下附墙杆内力计算

此工况下塔机回转机构的制动器完全松开, 起重臂能随风转动, 故不计风荷载产生的扭转力矩。

##### 1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

支座反力标准值得： $R_E=530.658\text{kN}$

## 2、附墙杆内力计算

支座 6 处锚固环的水平内力  $N_w=1.5 \times R_E=795.987\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组  $T_k=0$ ， $\theta$  由  $0 \sim 360^\circ$  循环，求解各杆最大轴拉力和轴压力：

最大轴压力  $T_1=646.096\text{kN}$ ， $T_2=332.529\text{kN}$ ， $T_3=690.496\text{kN}$ ， $T_4=358.892\text{kN}$

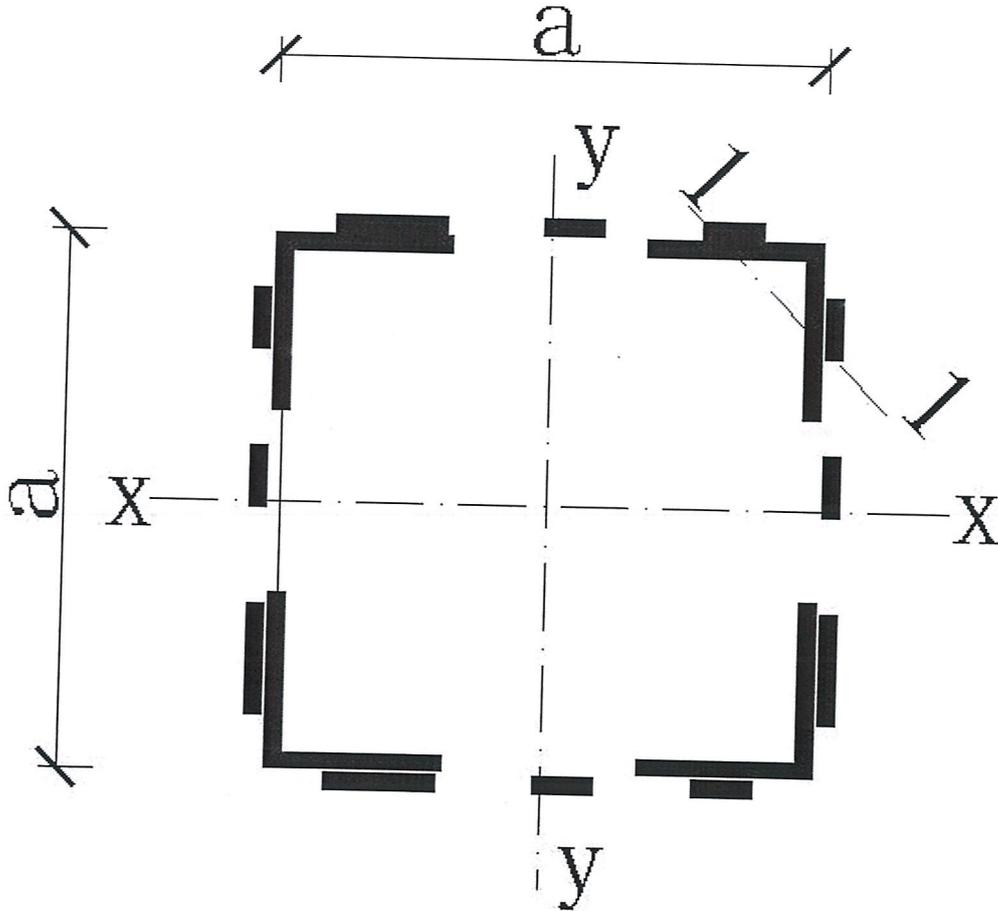
最大轴拉力  $T_1=646.1\text{kN}$ ， $T_2=332.528\text{kN}$ ， $T_3=690.499\text{kN}$ ， $T_4=358.893\text{kN}$

## 五、附墙杆强度验算

格构柱参数			
格构柱截面类型	四肢	格构柱缀件形式	缀条
缀件间净距 $l_{01}(\text{mm})$	400	格构柱截面边长 $a(\text{mm})$	400
格构柱分肢参数			
格构柱分肢材料	L100X10	分肢材料截面积 $A_0(\text{cm}^2)$	19.26
分肢对最小刚度轴的回转半径 $i_{y0}(\text{cm})$	1.96	分肢平行于对称轴惯性矩 $I_0(\text{cm}^4)$	179.51
分肢形心轴距分肢外边缘距离 $Z_0(\text{cm})$	2.84	分肢材料强度设计值 $f_y(\text{N}/\text{mm}^2)$	235
分肢材料抗拉、压强度设计值 $f(\text{N}/\text{mm}^2)$	210		
格构柱缀件参数			
缀条材料	L50X5	缀条最小回转半径 $i_{\text{nim}}(\text{cm})$	0.98
缀条截面积 $A_2(\text{cm}^2)$	4.8		
角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	6	焊缝计算长度 $l_f(\text{mm})$	200

焊缝强度设计值 $f_w(N/mm^2)$	160		
-----------------------	-----	--	--

附图如下:



塔机附着格构柱截面

### 1、杆件轴心受拉强度验算

$$A=4A_0=4\times 19.26\times 100=7704\text{mm}^2$$

$$\sigma=N/A=1389046/7704=180.302\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

### 2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=7167.903\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

$$I_x=4[I_0+A_0(a/2-Z_0)^2]=4\times [179.51+19.26\times (40/2-2.84)^2]=23403.67\text{cm}^4$$

$$\text{整个构件长细比: } \lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=716.79/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=41.125$$

分肢长细比:  $\lambda_1 = l_{01}/i_{y0} = 40/1.96 = 20.408$

分肢毛截面面积之和:  $A = 4A_0 = 4 \times 19.26 \times 100 = 7704 \text{mm}^2$

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面面积之和:

$$A_{1x} = 2A_z = 2 \times 480 = 960 \text{mm}^2$$

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比:

$$\lambda_{0\max} = (\lambda_x^2 + 40A/A_{1x})^{0.5} = (41.125^2 + 40 \times 7704/960)^{0.5} = 44.858$$

附墙杆 1 长细比:

$$\lambda_{01\max} = 44.858 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得: } \varphi_1 = 0.879$$

满足要求!

附墙杆 2 长细比:

$$\lambda_{02\max} = 48.87 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得: } \varphi_2 = 0.861$$

满足要求!

附墙杆 3 长细比:

$$\lambda_{03\max} = 62.562 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得: } \varphi_3 = 0.794$$

满足要求!

附墙杆 4 长细比:

$$\lambda_{04\max} = 75.781 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得: } \varphi_4 = 0.715$$

满足要求!

附墙杆 1 轴心受压稳定验算:

$$N_1/(\varphi_1 A_f) = 1389047/(0.879 \times 7704 \times 210) = 0.977 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆 2 轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f) = 573173/(0.861 \times 7704 \times 210) = 0.411 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆 3 轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f) = 919579/(0.794 \times 7704 \times 210) = 0.716 \leq 1$$

满足要求!



附墙杆 4 轴心受压稳定验算:

$$N_4/(\varphi_4 Af)=358893/(0.715 \times 7704 \times 210)=0.31 \leq 1$$

满足要求!

### 3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1=20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{01\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2=20.408 \leq 0.7\lambda_{02\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{02\max}$  小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_3=20.408 \leq 0.7\lambda_{03\max}=0.7 \times 62.562=43.793$$

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 75.781=53.047$$

满足要求!

### 4、缀件验算

$$\begin{aligned} \text{缀件所受剪力: } V &= Af(f_y/235)^{0.5}/85 = 7704 \times 210.00 \times 10^{-3} \\ &\times (235.00/235)^{0.5}/85 = 19.033 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{格构柱相邻缀板轴线距离: } l_1 = l_{01} + 5 = 40.00 + 5 = 45 \text{ cm}$$

$$\text{作用在一侧缀板上的弯矩: } M_0 = V l_1 / 4 = 19.033 \times 0.45 / 4 = 2.141 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{分肢型钢形心轴之间距离: } b_1 = a - 2Z_0 = 0.4 - 2 \times 0.0284 = 0.343 \text{ m}$$

斜缀条轴向压力值:

$$N_0 = V / (2 \cos \alpha) = V / (2a / (a^2 + l_1^2)^{0.5}) = 19.033 / (2 \times 0.4 / (0.4^2 + 0.45^2)^{0.5}) = 14.325 \text{ kN}$$

$$\text{缀条计算长度: } l_t = (a^2 + l_1^2)^{0.5} = (400.00^2 + 450^2)^{0.5} = 602.08 \text{ mm}$$

缀条长细比:  $\lambda = l_1/i_{\min} = 60.208/0.98 = 61.437 \leq 80$

查表《钢结构设计标准》GB50017-2017 附录 D: b 类截面轴心受压构件的稳定系数:  $\varphi = 0.802$

等边角钢计算稳定性系数:

$\eta = \min(0.6 + 0.0015\lambda, 1.0) = \min(0.6 + 0.0015 \times 61.437, 1.0) = 0.692$

缀条稳定验算:

$N_0/(\varphi\eta A_z f) = 14.325 \times 10^3 / (0.802 \times 0.692 \times 4.80 \times 10^2 \times 215) = 0.25 \leq 1$

满足要求!

需要焊缝长度:

$\Sigma l_w = N_0 / (0.7 h_f \times 0.85 f_f^w) = 14.325 \times 10^3 / (0.7 \times 6 \times 0.85 \times 160) = 25 \text{ mm} \leq l_f = 200 \text{ mm}$

满足要求!

## 六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q235	建筑物混凝土强度等级	C35
连接板固定方式	锚固螺栓	连接板耳板排数	2
锚固螺栓类型	摩擦型高强螺栓	高强螺栓的性能等级	10.9 级
摩擦面抗滑移系数 u	0.45	高强螺栓公称直径	M30
一个高强螺栓的预拉力 P(kN)	355	高强螺栓传力摩擦面数目 n <sub>f</sub>	1
单吊耳板吊耳孔中心至连接钢板高度 L(mm)	150	单吊耳板连接钢板垂直方向螺栓排数 m	2
单吊耳板连接钢板水平方向螺栓排数 n	5	单吊耳板连接钢板水平方向最外侧螺栓两端中心线距离 S(mm)	600

### 1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 1389.047 \times \sin 82.465^\circ = 1377.051 \text{ kN}$ ,  $V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 1389.047 \times \cos 82.465^\circ = 182.16 \text{ kN}$ ;

$F_2=N_2\sin\alpha_2=573.173\times\sin68.953^\circ=534.935\text{kN}$ ,  $V_2=N_2\cos\alpha_2=573.173\times\cos68.953^\circ=205.844\text{kN}$ ;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=919.579\times\sin70.793^\circ=868.393\text{kN}$ ,  $V_3=N_3\cos\alpha_3=919.579\times\cos70.793^\circ=302.521\text{kN}$ ;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=358.893\times\sin72.032^\circ=341.39\text{kN}$ ,  $V_4=N_4\cos\alpha_4=358.893\times\cos72.032^\circ=110.711\text{kN}$ ;

## 2、螺栓承载力计算

单个高强螺栓抗剪承载力设计值  $N_v^b=0.9k_n\mu P=0.9\times1\times1\times0.45\times355=143.775\text{kN}$

单个高强螺栓受拉承载力设计值  $N_t^b=0.8P=0.8\times355=284\text{kN}$

### (1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$X_{\max}=S/2=600/2=300\text{mm}$

$$\sum x^2 = \sum_{i=1}^n m[S/2 - (i-1)S/(n-1)]^2$$

$\sum x^2=2\times[(600/2)^2+(600/2-1\times600/4)^2+(600/2-2\times600/4)^2+(600/2-3\times600/4)^2+(600/2-4\times600/4)^2]=450000\text{mm}^2$

#### 附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum x^2=182.16\times0.15\times300/450=18.216\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=1377.051/(2\times5)+18.216=155.921\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$N_v=V_1/mn=182.16/(2\times5)=18.216\text{kN}$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=18.216/143.775+155.921/284=0.676\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma X^2=205.844\times 0.15\times 300/450=20.584\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=534.935/(2\times 5)+20.584=74.077\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=205.844/(2\times 5)=20.584\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=20.584/143.775+74.077/284=0.404\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 3:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma X^2=302.521\times 0.15\times 300/450=30.252\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=868.393/(2\times 5)+30.252=117.091\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=302.521/(2\times 5)=30.252\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=30.252/143.775+117.091/284=0.623\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

#### 附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma X^2=110.711\times 0.15\times 300/450=11.071\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=341.39/(2\times 5)+11.071=45.21\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 110.711 / (2 \times 5) = 11.071 \text{ kN}$$

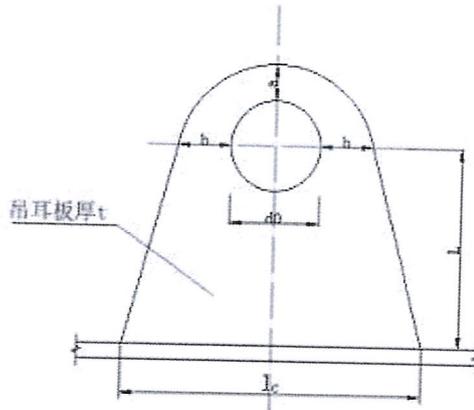
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 11.071 / 143.775 + 45.21 / 284 = 0.236 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

### 3、吊耳板计算

吊耳板厚 t(mm)	26	吊耳板两侧边缘与吊孔边缘净距 b(mm):	80
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	80	吊孔直径 d <sub>0</sub> (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm <sup>2</sup> )	295	吊耳板抗剪强度设计值 f <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	170
连接板耳板排数	2	附墙杆端部耳板排数	2



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 694.524 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 26 + 16 = 68 \text{ mm} \leq b = 80 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

计算宽度:  $b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 26+16, 80-60/3) = 60\text{mm}$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 694.524 \times 10^3 / (2 \times 26 \times 60) = 222.604 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

### (3) 耳板抗剪强度验算

耳板端部抗剪截面宽度:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(80+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 105.83\text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 694.524 \times 10^3 / (2 \times 26 \times 105.83) = 126.204 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

## 4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	60	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max\{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 1389.047 \text{kN}$$

### (1) 销轴抗剪强度

根据吊耳板排数可得, 销轴抗剪面数  $n_v = 3$

$$\tau_n = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 1389.047 \times 10^3 / (3 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 163.758 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

## 5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	30
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_f^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	350

### (1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(F_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(1377.051\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=56.529\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(182.16\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=7.478\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(182.16\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=23.207\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(56.529+23.207)}{1.22}+7.478^2]^{0.5}=65.784\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 1：连接钢板焊缝强度满足要求！

**附着点 2：**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(F_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(534.935\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=21.96\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(205.844\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=8.45\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(205.844\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)^2/6]=26.224\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(21.96+26.224)}{1.22}+8.45^2]^{0.5}=40.389\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 2：连接钢板焊缝强度满足要求！

**附着点 3：**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(F_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(868.393\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 30\times (350-2\times 30)]=35.648\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_3/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (302.521 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)] = 12.419 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_3 L / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (302.521 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)^2 / 6] = 38.541 \text{ N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [\frac{(35.648 + 38.541)}{1.22}]^2 + 12.419^2]^{0.5} = 62.066 \text{ N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

附着点 3：连接钢板焊缝强度满足要求！

**附着点 4：**

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N = (F_4/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (341.39 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)] = 14.014 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_4/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (110.711 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)] = 4.545 \text{ N/mm}^2$$

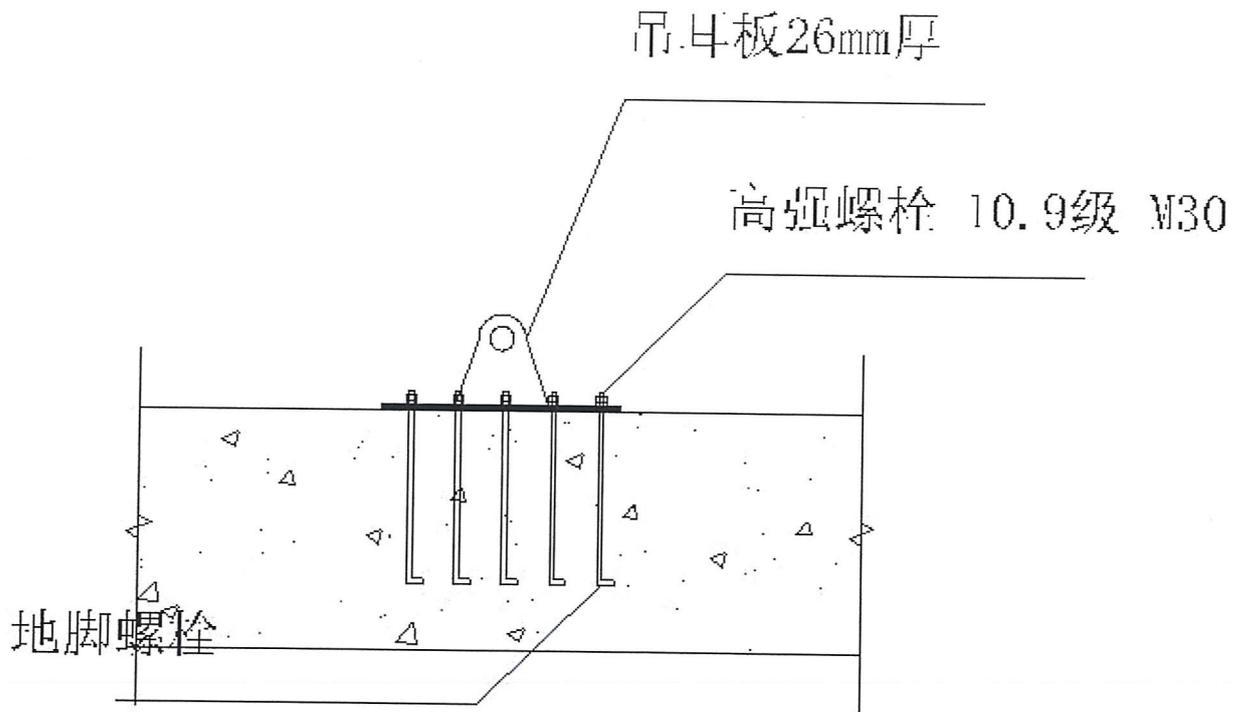
$$\sigma_M = M/W = (V_4 L / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (110.711 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 30 \times (350 - 2 \times 30)^2 / 6] = 14.105 \text{ N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

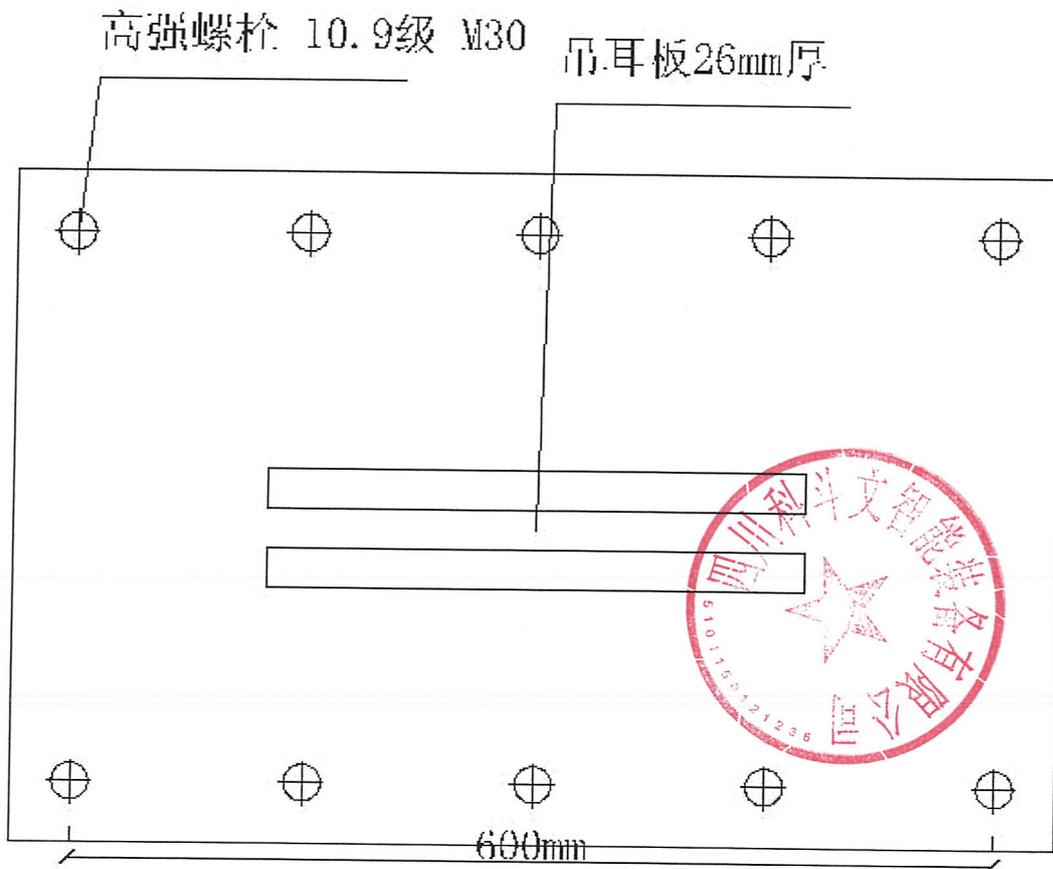
$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [\frac{(14.014 + 14.105)}{1.22}]^2 + 4.545^2]^{0.5} = 23.492 \text{ N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

附着点 4：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板