

# E 匝道 6 墩 XGT7026-12S1 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	XGT7026-12S1	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度 H(m)	72	塔身宽度 B(m)	2
起重臂长度 $l_1$ (m)	45	荷载确定方式	按说明书倾覆力矩简化换算
平衡臂长度 $l_2$ (m)	16.72	起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	2.18
工作状态时扭矩标准值 $T_{k1}$ (包含风荷载扭矩)(kN·m)	585	工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 $M_k$ (kN·m)	2551
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)	946		

附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	IV类
附墙杆截面类型	方钢管	塔身锚固环边长 C(m)	2.41

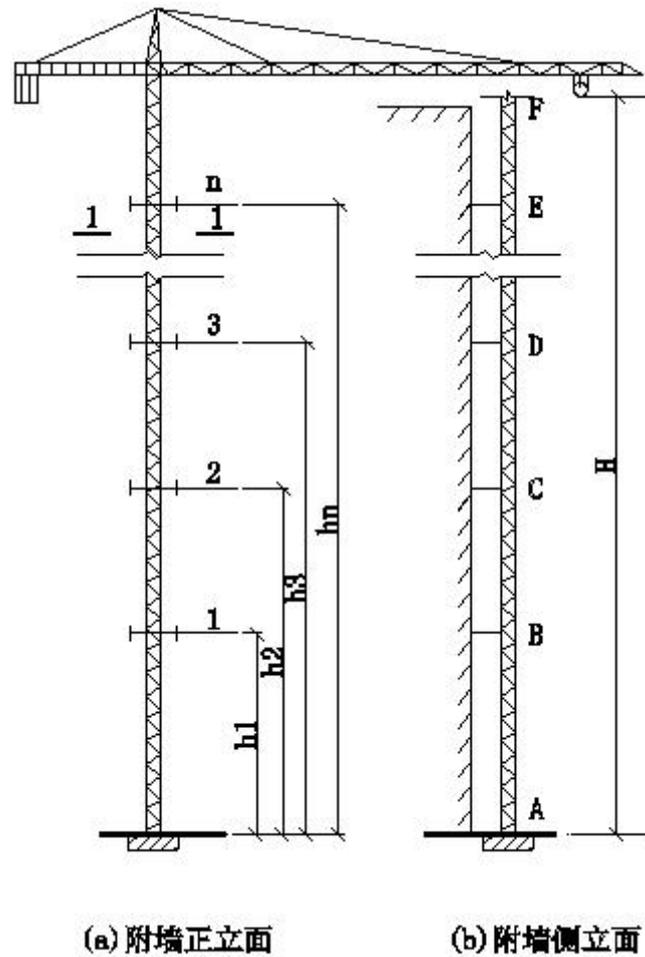
## 二、风荷载及附着参数

附着次数 N	1		
附着点 1 到塔机的横向距离 $a_1$ (m)	1.66	点 1 到塔机的竖向距离 $b_1$ (m)	3.57
附着点 2 到塔机的横向距离 $a_2$ (m)	3.57	点 2 到塔机的竖向距离 $b_2$ (m)	3.72
附着点 3 到塔机的横向距离 $a_3$ (m)	1.66	点 3 到塔机的竖向距离 $b_3$ (m)	3.57
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> )	1.1
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值 $q_{sk}$	非工作状态风压等效均布线荷载标准值 $q_{sk}'$
---------	-----------------	--------------------	--------------------	---------------------	-----------------------	--------------------	----------------------	---------------------------	-----------------------------

第1次附着	39.51	39.51	1.561	1.95	1.95	1.489	1.585	0.761	3.566
悬臂端	72	32.49	1.757	1.95	1.95	1.502	1.614	0.865	4.088

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 $T_k$

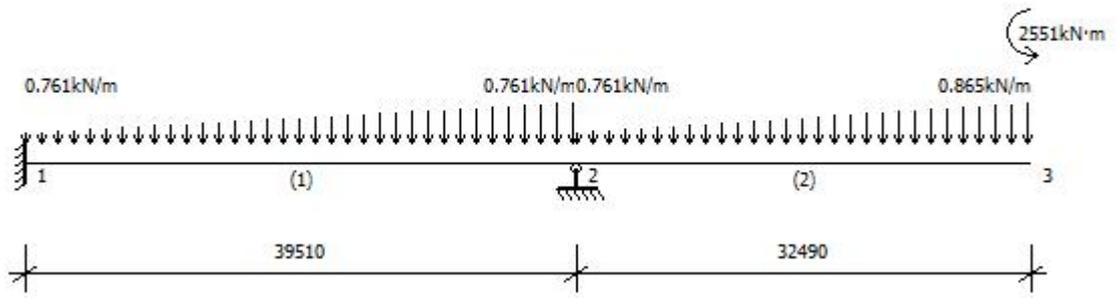
回转惯性力及风荷载产出的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 585 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

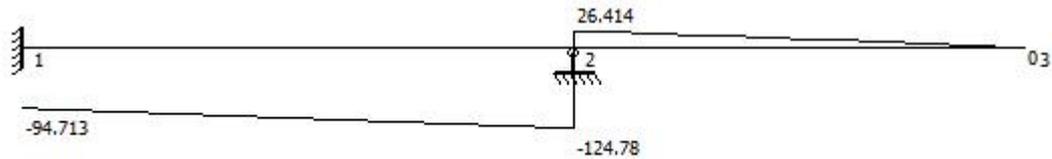
回转惯性力及风荷载产出的扭矩设计值：

$$T_k = 1.5 \times T_{k1} = 877.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### 2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

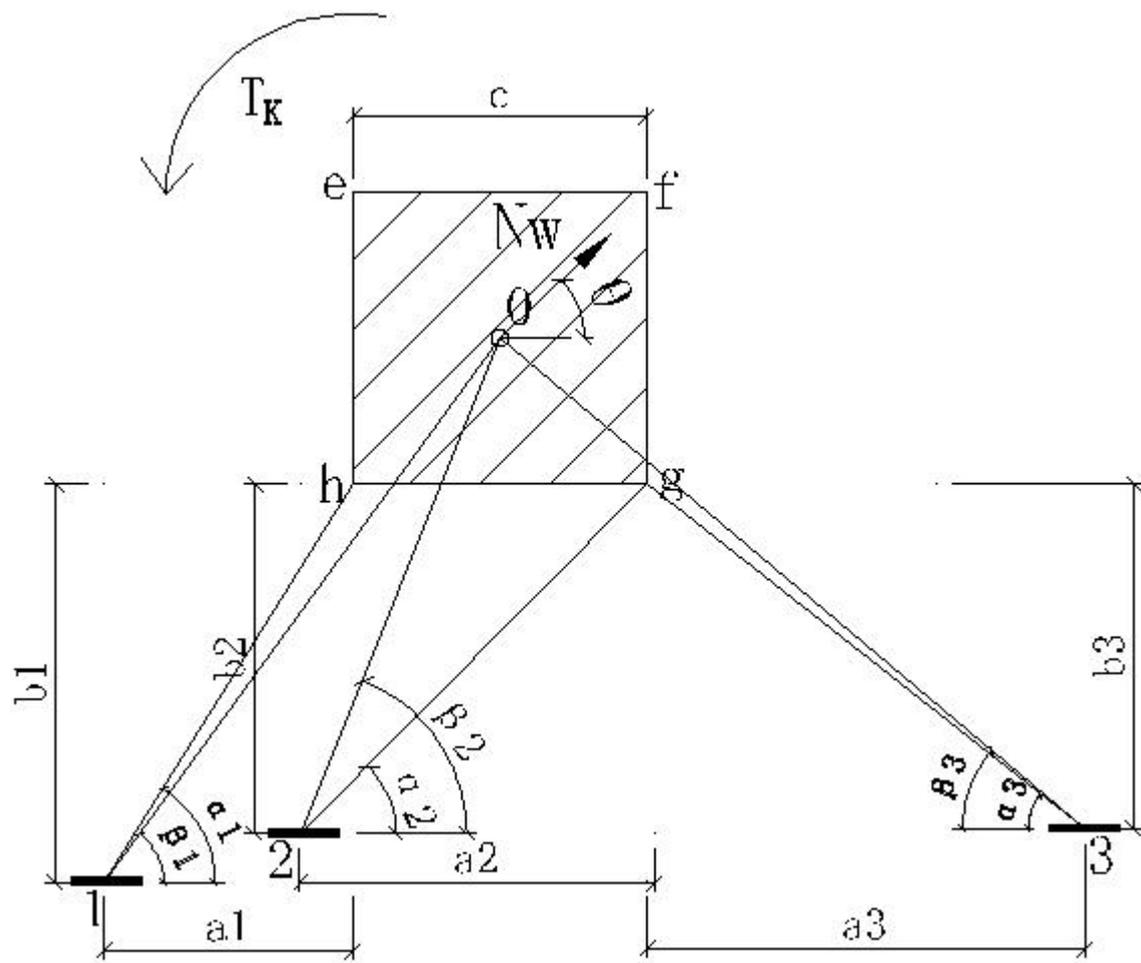
支座反力标准值得： $R_E=151.194\text{kN}$

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。

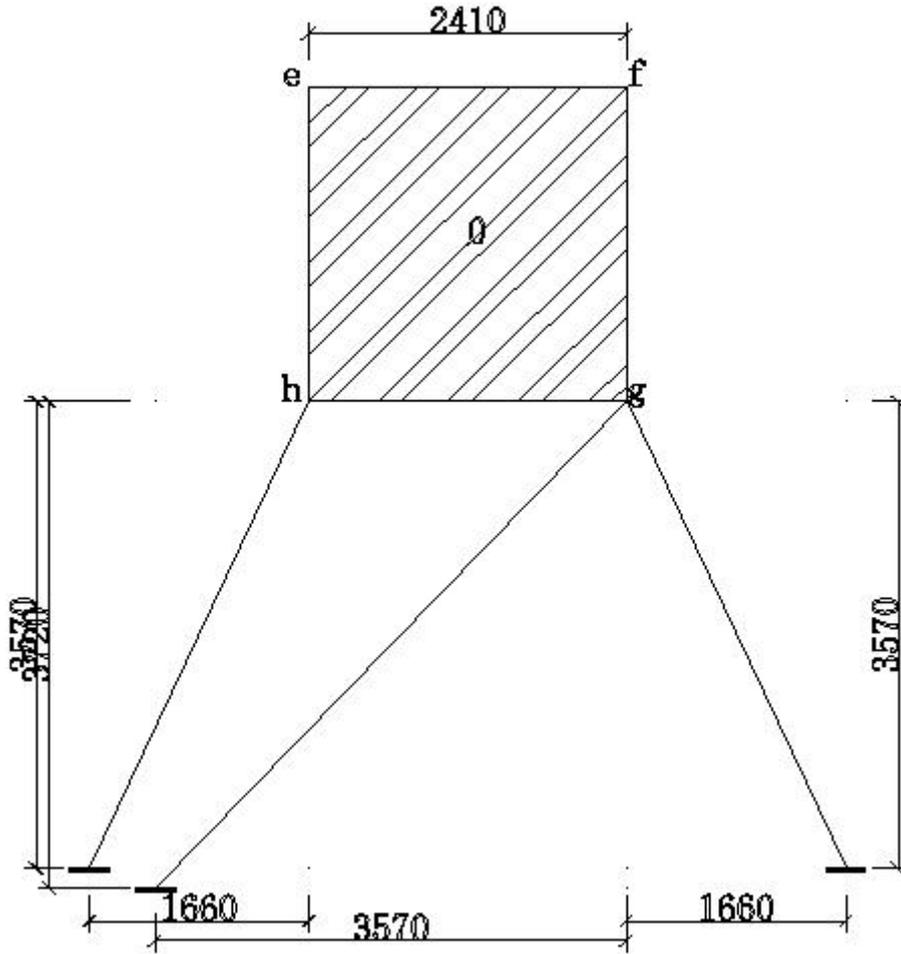
### 3、附墙杆内力计算

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  $N_w=1.5\times R_E=226.791\text{kN}$

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 65.062^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 46.179^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 65.062^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 59.036^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 64.35^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 59.036^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_O = 0$$

$$T_1 \times \sin(\alpha_1 - \beta_1) \times (b_1 + c/2) / \sin \beta_1 + T_2 \times \sin(\alpha_2 - \beta_2) \times (b_2 + c/2) / \sin \beta_2 - T_3 \times \sin(\alpha_3 - \beta_3) \times (b_3 + c/2) / \sin \beta_3 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_h = 0$$

$$-T_2 \times \sin \alpha_2 \times c - T_3 \times \sin \alpha_3 \times c + N_w \times \cos \theta \times c / 2 - N_w \times \sin \theta \times c / 2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + N_w \times \sin \theta \times c / 2 + N_w \times \cos \theta \times c / 2 - T_k = 0$$

(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:

最大轴压力  $T_1=578.481\text{kN}$ ,  $T_2=0\text{kN}$ ,  $T_3=112.626\text{kN}$

最大轴拉力  $T_1=0\text{kN}$ ,  $T_2=447.359\text{kN}$ ,  $T_3=392.867\text{kN}$

(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:

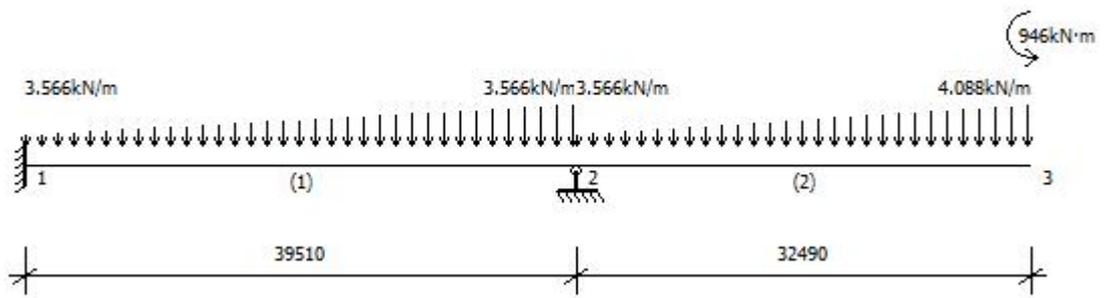
最大轴压力  $T_1=0\text{kN}$ ,  $T_2=447.359\text{kN}$ ,  $T_3=392.867\text{kN}$

最大轴拉力  $T_1=578.481\text{kN}$ ,  $T_2=0\text{kN}$ ,  $T_3=112.626\text{kN}$

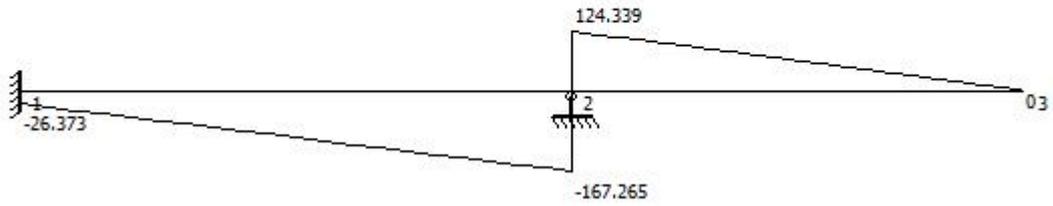
#### 四、非工作状态下附墙杆内力计算

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：  $R_E=291.605\text{kN}$

## 2、附墙杆内力计算

支座 2 处锚固环的水平内力  $N_w=1.5\times R_E=437.408\text{kN}$ 。

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  $T_1=341.143\text{kN}$ ， $T_2=229.158\text{kN}$ ， $T_3=487.468\text{kN}$

最大轴拉力  $T_1=341.143\text{kN}$ ， $T_2=229.158\text{kN}$ ， $T_3=487.467\text{kN}$

## 五、附墙杆强度验算

附墙杆型钢型号	□200×200×10	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	7256.64
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	76.5	附墙杆强度设计值 $[f](\text{N}/\text{mm}^2)$	205
附墙杆允许长细比 $[\lambda]$	120		

### 1、杆件轴心受拉强度验算

$$\sigma=N/A=578481/7256.64=79.717\text{N}/\text{mm}^2\leq [f]=205\text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求！

### 2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_1=L_0/i=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}/i=(1660^2+3570^2)^{0.5}/76.5=51.465\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1=0.85$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比:

$$\lambda_2=L_0/i=(a_2^2+b_2^2)^{0.5}/i=(3570^2+3720^2)^{0.5}/76.5=67.397\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2=0.766$$

满足要求!

附墙杆 3 长细比:

$$\lambda_3=L_0/i=(a_3^2+b_3^2)^{0.5}/i=(1660^2+3570^2)^{0.5}/76.5=51.465\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_3=0.85$$

满足要求!

附墙杆 1 轴心受压稳定验算:

$$N_1/(\varphi_1Af)=578481/(0.85\times 7256.64\times 205)=0.457\leq 1$$

满足要求!

附墙杆 2 轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2Af)=447359/(0.766\times 7256.64\times 205)=0.393\leq 1$$

满足要求!

附墙杆 3 轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3Af)=487467/(0.85\times 7256.64\times 205)=0.386\leq 1$$

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 nr	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	3	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)	300
--------------------	---	--------------------------------	-----

### 1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下：

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 578.481 \times \sin 65.062^\circ = 524.547 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 578.481 \times \cos 65.062^\circ = 243.907 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 447.359 \times \sin 46.179^\circ = 322.771 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 447.359 \times \cos 46.179^\circ = 309.756 \text{ kN};$$

$$F_3 = N_3 \sin \alpha_3 = 487.467 \times \sin 65.062^\circ = 442.019 \text{ kN}, V_3 = N_3 \cos \alpha_3 = 487.467 \times \cos 65.062^\circ = 205.532 \text{ kN};$$

### 2、螺栓承载力计算

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

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

$$X_{\max} = S/2 = 300/2 = 150 \text{ mm}$$

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

$$\sum X^2 = 2 \times [(300/2)^2 + (300/2 - 1 \times 300/2)^2 + (300/2 - 2 \times 300/2)^2] = 90000 \text{ mm}^2$$

#### 附着点 1：

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力：

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 243.907 \times 0.15 \times 150 / 90 = 60.977 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力：

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 524.547 / (2 \times 3) + 60.977 = 148.402 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 243.907 / (2 \times 3) = 40.651 \text{ kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 40.651 / 143.775 + 148.402 / 284 = 0.805 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\text{max}}) / \Sigma x^2 = 309.756 \times 0.15 \times 150 / 90 = 77.439 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 322.771 / (2 \times 3) + 77.439 = 131.234 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 309.756 / (2 \times 3) = 51.626 \text{ kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 51.626 / 143.775 + 131.234 / 284 = 0.821 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_3 L \cdot X_{\text{max}}) / \Sigma x^2 = 205.532 \times 0.15 \times 150 / 90 = 51.383 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_3 / mn + N_{\text{附加}} = 442.019 / (2 \times 3) + 51.383 = 125.053 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_3 / mn = 205.532 / (2 \times 3) = 34.255 \text{ kN}$$

验算单个螺栓承载力:

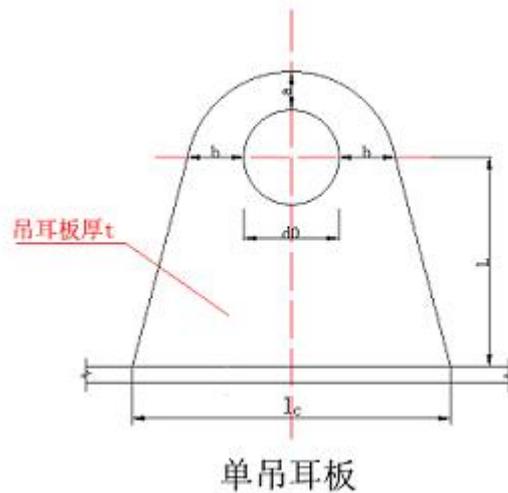
$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 34.255 / 143.775 + 125.053 / 284 = 0.679 \leq 1$$

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	80
------------	----	----------------	----

		b(mm):	
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> )	205	吊耳板抗剪强度设计值 f <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	120
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：

$$N_s = \max\{N_1, N_2, N_3\} / 2 = 289.24 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

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

满足要求！

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

满足要求！

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

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

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 289.24 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 129.125 \text{ N/mm}^2 \leq f = 205 \text{ N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求！

(3) 耳板端部截面抗拉（劈开）强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 289.24 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (80 - 2 \times 60/3)] = 180.775 \text{ N/mm}^2 \leq f = 205 \text{ N/mm}^2$$

耳板端部截面抗拉强度满足要求！

(4) 耳板抗剪强度验算

耳板端部抗剪截面宽度:

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

$$\tau = N_s / (2tZ) = 289.24 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 105.83) = 68.327 \text{ N/mm}^2 \leq f_v = 120 \text{ N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求！

(5) 与轴销连接的耳板承压强度验算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	60	吊耳板承压强度设计值 $(\text{N/mm}^2)$	320
-----------------------	----	------------------------------	-----

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3\} / 2 = 289.24 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = F / (d_1 t) = 289.24 \times 10^3 / (60 \times 20) = 241.034 \text{ N/mm}^2 \leq 320 \text{ N/mm}^2$$

与轴销连接的耳板承压强度满足要求！

#### 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

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3\} = 578.481 \text{ kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

根据吊耳板排数可得，销轴抗剪面数  $n_v = 3$

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 578.481 \times 10^3 / (3 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 68.199 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{ N/mm}^2$$

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 $h_f(\text{mm})$	12
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_t^w(\text{N/mm}^2)$	125
连接板耳板排数	2

单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	380
---------------------------	-----

**(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:

$$\sigma_N = (F_1/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (524.547 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)] = 43.853 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_V = (V_1/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (243.907 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)] = 20.391 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_1 L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)^2/6] = (243.907 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)^2/6] = 51.55 \text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_V^2)^{0.5} = [(\frac{43.853 + 51.55}{1.22})^2 + 20.391^2]^{0.5} = 80.814 \text{N/mm}^2 \leq f_t^w = 125 \text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N = (F_2/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (322.771 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)] = 26.984 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_V = (V_2/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (309.756 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)] = 25.896 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_2 L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)^2/6] = (309.756 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)^2/6] = 65.467 \text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [((26.984 + 65.467)/1.22)^2 + 25.896^2]^{0.5} = 80.082 \text{ N/mm}^2 \leq f_t^w = 125 \text{ N/mm}^2$$

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：

$$\sigma_N = (F_3/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (442.019 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)] = 36.953 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_3/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (205.532 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)] = 17.183 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_3 L / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (205.532 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 12 \times (380 - 2 \times 12)^2 / 6] = 43.439 \text{ N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

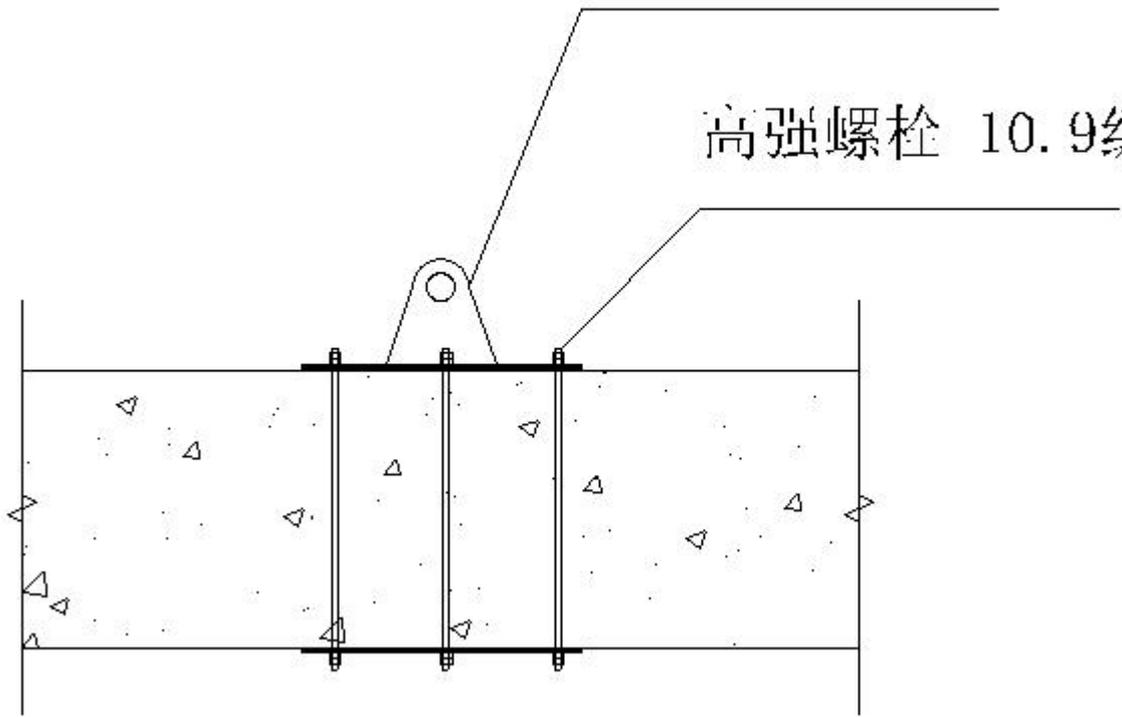
$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [((36.953 + 43.439)/1.22)^2 + 17.183^2]^{0.5} = 68.099 \text{ N/mm}^2 \leq f_t^w = 125 \text{ N/mm}^2$$

附着点 3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：

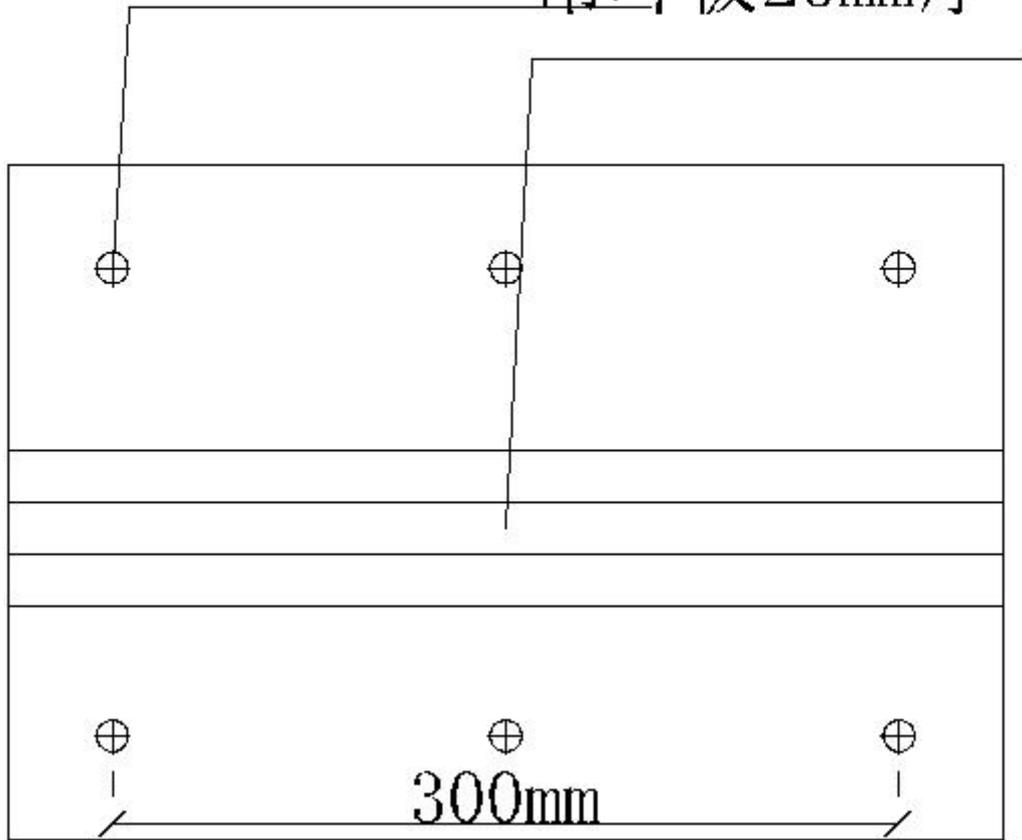
吊耳板20mm厚

高强螺栓 10.9级 M30



[塔机附着节点详图-单吊耳板](#)

高强螺栓 10.9级 M30  
吊耳板20mm厚



塔机附着节点剖面图-单吊耳板