

梧州-玉林-钦州公路（苍梧至容县段）№2合同段

苍容浔江大桥塔吊附墙计算书

重庆钱桥建筑设备租赁有限公司

二〇二三年三月

梧州-玉林-钦州公路（苍梧至容县段）№2合同段
苍容浔江大桥塔吊附墙计算书

设计：_____

复核：_____

审核：_____

重庆钱桥建筑设备租赁有限公司

二〇二三年三月

6#、8#边塔塔机第1道附着验算计算书

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	H7535	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度H(m)	72.15	塔身宽度B(m)	2
起重臂长度 l_1 (m)	57	平衡臂长度 l_2 (m)	21.5
起重臂与平衡臂截面计算高度h(m)	1.4	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1073
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	2749.5	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)	192.5

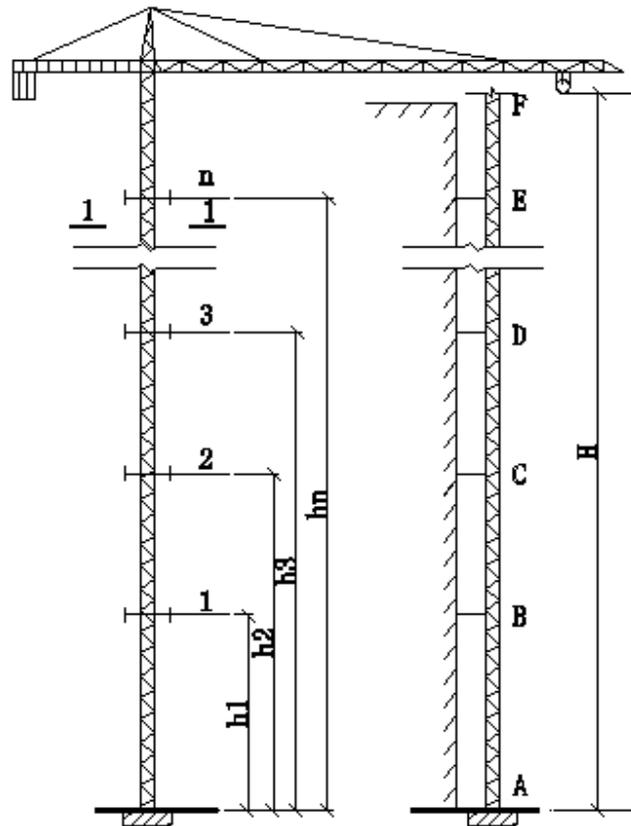
附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	III类
附墙杆截面类型	钢管	附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426 \times 8$
塔身锚固环边长C(m)	2.6		

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)	4.35	点1到塔机的竖向距离 b_1 (m)	14.6
附着点2到塔机的横向距离 a_2 (m)	6.58	点2到塔机的竖向距离 b_2 (m)	14.4
附着点3到塔机的横向距离 a_3 (m)	4.57	点3到塔机的竖向距离 b_3 (m)	14.61
工作状态基本风压 ω_0 (kN/m ²)	0.2	非工作状态基本风压 ω_0' (kN/m ²)	0.35
塔身前后片桁架的平均充实率 α_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 μ_z	工作状态风荷载体型系数 μ_s	非工作状态风荷载体型系数 μ_s'	工作状态风振系数 β_z	非工作状态风振系数 β_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	31.65	31.65	0.798	1.95	1.95	1.787	1.833	0.374	0.671
悬臂端	72.15	40.5	1.016	1.95	1.95	1.729	1.775	0.46	0.827

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

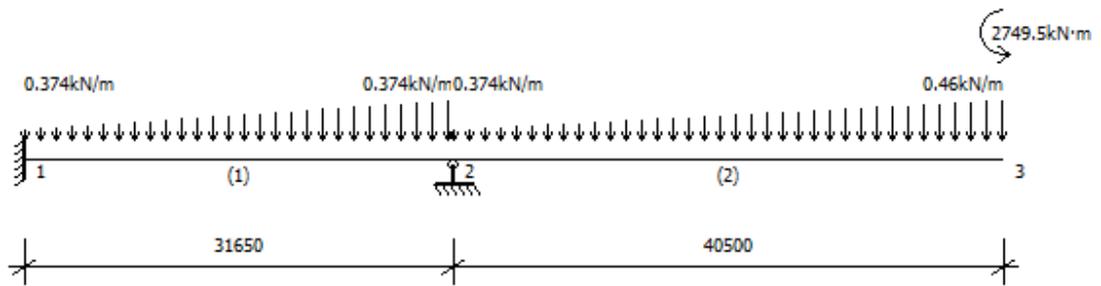
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

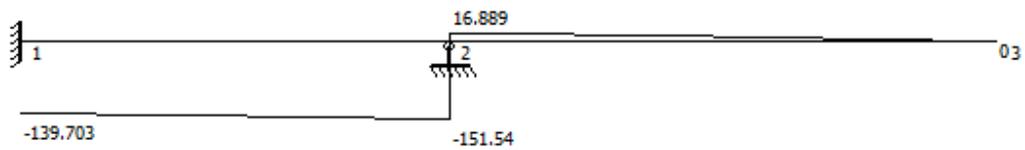
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 1073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

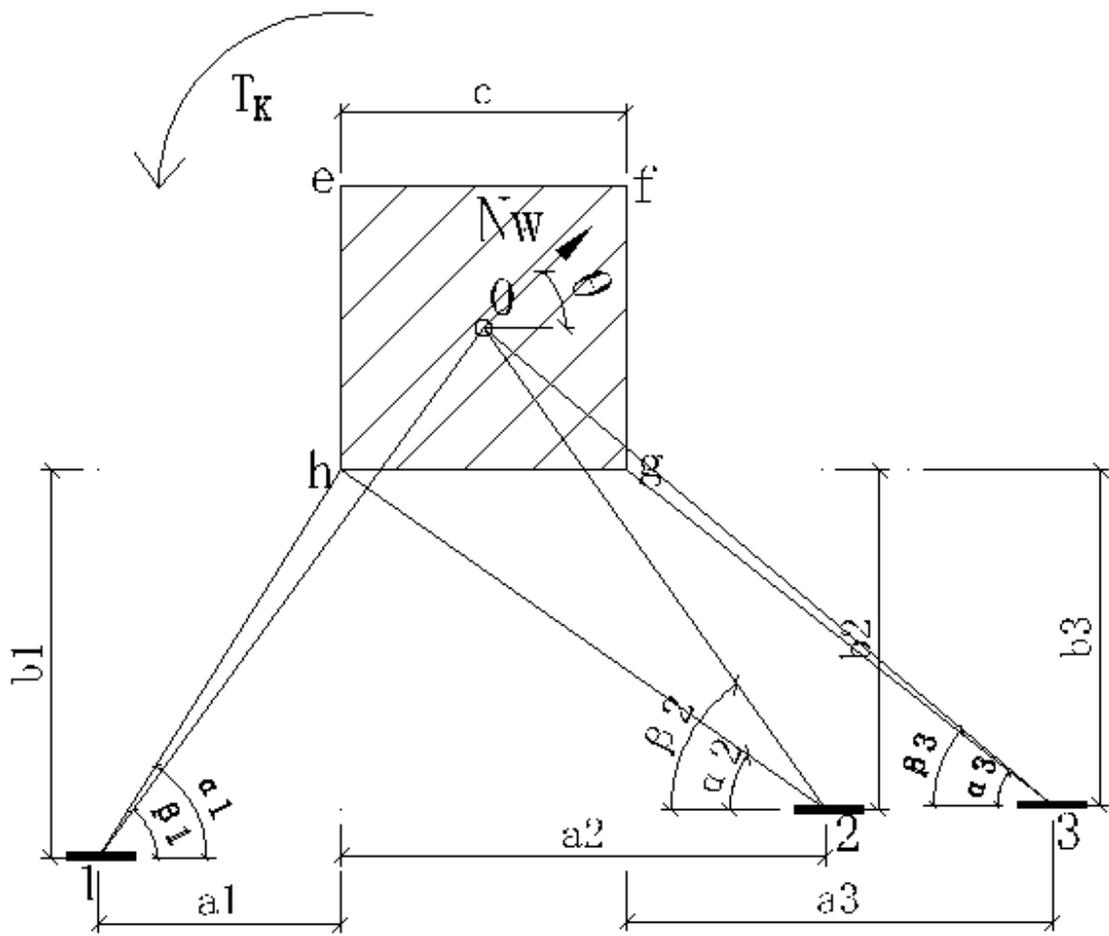
得： $R_E=168.429\text{kN}$

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。

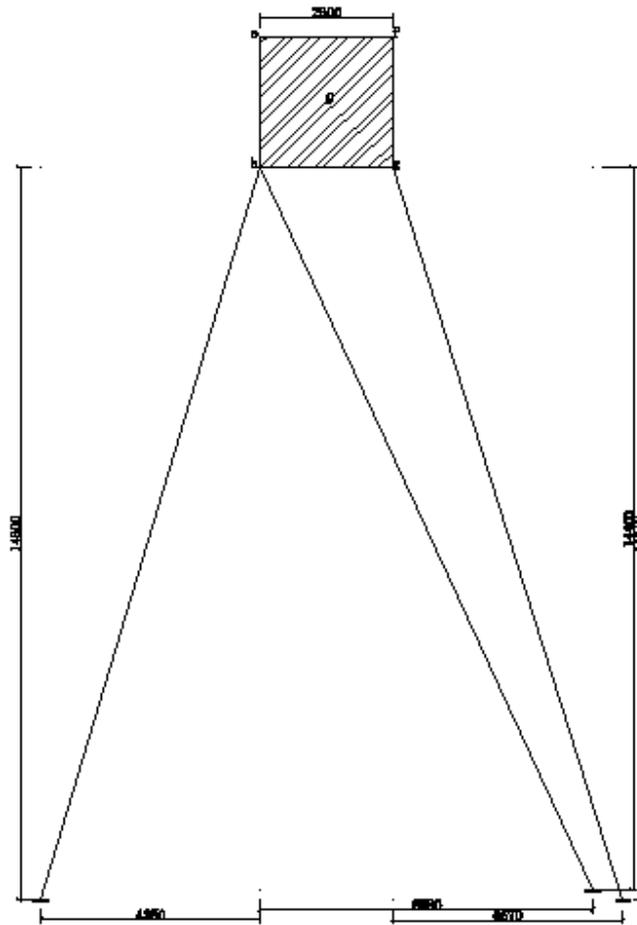
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=238.195\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 73.409^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 65.442^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 72.63^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 70.438^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 71.412^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 69.748^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_0 = 0$$

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

$$k = 0$$

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + T_2 \times \sin \alpha_2 \times c + N_w \times \cos \theta \times c / 2 + N_w \times \sin \theta \times c / 2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_h = 0$$

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

(1) θ 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 $T_1=462.42\text{kN}$, $T_2=612.052\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=296.346\text{kN}$, $T_2=0\text{kN}$, $T_3=608.995\text{kN}$

(2) θ 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:

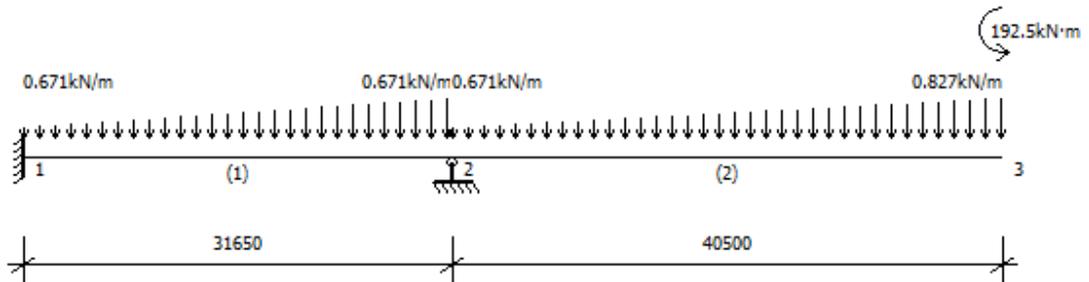
最大轴压力 $T_1=296.344\text{kN}$, $T_2=0\text{kN}$, $T_3=608.995\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=462.422\text{kN}$, $T_2=612.052\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

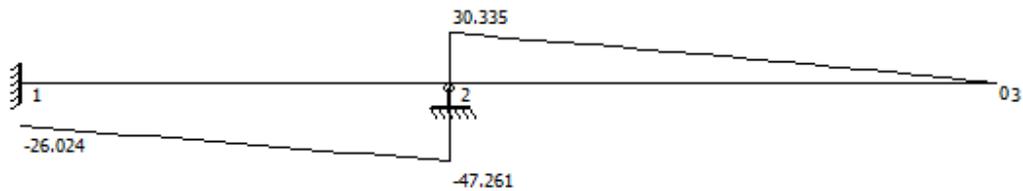
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

得： $R_E=77.595\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座2处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=77.595\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组 $T_k=0$ ， θ 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 $T_1=123.588\text{kN}$ ， $T_2=80.089\text{kN}$ ， $T_3=57.5\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=123.589\text{kN}$ ， $T_2=80.088\text{kN}$ ， $T_3=57.5\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426 \times 8$	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	10505.486
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	147.812	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

$$\sigma = N/A = 612052/10505.486 = 58.26 \text{N}/\text{mm}^2 \leq [f] = 205 \text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求!

2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆1长细比：

$$\lambda_1 = L_0/i = (a_1^2 + b_1^2)^{0.5}/i = (4350^2 + 14600^2)^{0.5}/147.812 = 103.065 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1 = 0.535$$

满足要求!

附墙杆2长细比：

$$\lambda_2 = L_0/i = (a_2^2 + b_2^2)^{0.5}/i = (6580^2 + 14400^2)^{0.5}/147.812 = 107.11 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2 = 0.51$$

满足要求!

附墙杆3长细比：

$$\lambda_3 = L_0/i = (a_3^2 + b_3^2)^{0.5}/i = (4570^2 + 14610^2)^{0.5}/147.812 = 103.564 \leq [\lambda] = 120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_3 = 0.532$$

满足要求!

附墙杆1轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1 A f) = 462422 / (0.535 \times 10505.486 \times 205) = 0.401 \leq 1$$

满足要求！

附墙杆2轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2 A f) = 612052 / (0.51 \times 10505.486 \times 205) = 0.557 \leq 1$$

满足要求！

附墙杆3轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3 A f) = 608995 / (0.532 \times 10505.486 \times 205) = 0.532 \leq 1$$

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nf	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	3
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：

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 462.422 \times \sin 73.409^\circ = 443.17 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 462.422 \times \cos 73.409^\circ = 132.04 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 612.052 \times \sin 65.442^\circ = 556.687 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 612.052 \times \cos 65.442^\circ = 254.37 \text{ kN};$$

$F_3=N_3\sin\alpha_3=608.995\times\sin 72.63^\circ=581.224\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=608.995\times\cos 72.63^\circ=181.807\text{kN}$;

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

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

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

$\sum x^2=3\times[(300/2)^2+(300/2-1\times 300/2)^2+(300/2-2\times 300/2)^2]=135000\text{mm}^2$

附着点1：

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力：

$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum x^2=132.04\times 0.15\times 150/135=22.007\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力：

$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=443.17/(3\times 3)+22.007=71.248\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力：

$N_v=V_1/mn=132.04/(3\times 3)=14.671\text{kN}$

验算单个螺栓承载力：

$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=14.671/143.775+71.248/284=0.353\leq 1$

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：

$N_{\text{附加}}=(V_2L\cdot X_{\max})/\sum x^2=254.375\times 0.15\times 150/135=42.396\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力：

$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=556.687/(3\times 3)+42.396=104.25\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 254.375 / (3 \times 3) = 28.264 \text{ kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 28.264 / 143.775 + 104.25 / 284 = 0.564 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_3 L \cdot X_{\text{max}}) / \sum x^2 = 181.807 \times 0.15 \times 150 / 135 = 30.301 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_3 / mn + N_{\text{附加}} = 581.224 / (3 \times 3) + 30.301 = 94.881 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_3 / mn = 181.807 / (3 \times 3) = 20.201 \text{ kN}$$

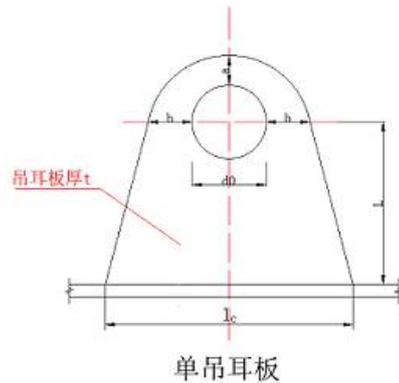
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 20.201 / 143.775 + 94.881 / 284 = 0.475 \leq 1$$

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):	100
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	110	吊孔直径d ₀ (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值f(N/mm ²)	205	吊耳板抗剪强度设计值f _v (N/mm ²)	120
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

参考GB50017-2017，对连接耳板进行如下验算：

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3\} / 2 = 306.026 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 100 \text{ mm}$$

满足要求!

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 110 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t + 16, b - d_0 / 3) = \min(2 \times 20 + 16, 100 - 60 / 3) = 56 \text{ mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 306.026 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 136.619 \text{ N/mm}^2 \leq f = 205 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\sigma = N_s / [2t(a - 2d_0 / 3)] =$$

$$306.026 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (110 - 2 \times 60 / 3)] = 109.295 \text{ N/mm}^2 \leq f = 205 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a + d_0 / 2)^2 - (d_0 / 2)^2]^{0.5} = [(110 + 60 / 2)^2 - (60 / 2)^2]^{0.5} = 136.748 \text{ mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 306.026 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 136.748) = 55.947 \text{ N/mm}^2 \leq f_v = 120 \text{ N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	60
销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	346

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

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3\} = 612.052 \text{ kN}$$

(2) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 612.052 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 108.235 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 346 \text{ N/mm}^2$$

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 (mm)	20
连接钢板角焊缝强度设计值 f_f^w (N/mm ²)	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 l_c (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:

$$\sigma_N = (N_1 / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (462.422 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 26.637 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_V = (V_1 / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (132.04 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 7.606 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M / W = (V_1 L / 2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (132.04 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2 / 6] = 22.082 \text{ N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [((26.637 + 22.082)/1.22)^2 + 7.606^2]^{0.5} = 40.651 \text{ N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

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：

$$\sigma_N = (N_2/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (612.052 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 35.256 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_2/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (254.375 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 14.653 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_2 L/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (254.375 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2 / 6]$$

$$= 42.541 \text{ N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [((35.256 + 42.541)/1.22)^2 + 14.653^2]^{0.5} = 65.43 \text{ N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

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：

$$\sigma_N = (N_3/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (608.995 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 35.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_3/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (181.807 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 10.473 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_3 L/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (181.807 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2 / 6]$$

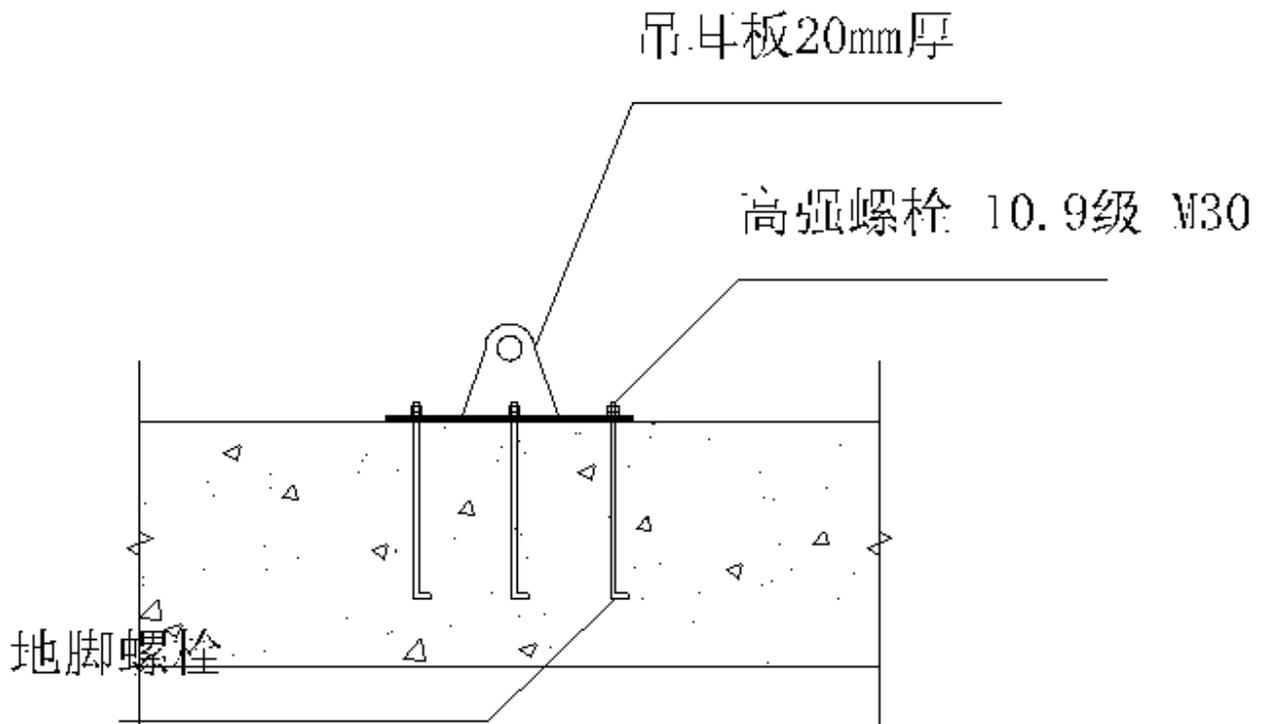
$$= 30.405 \text{ N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

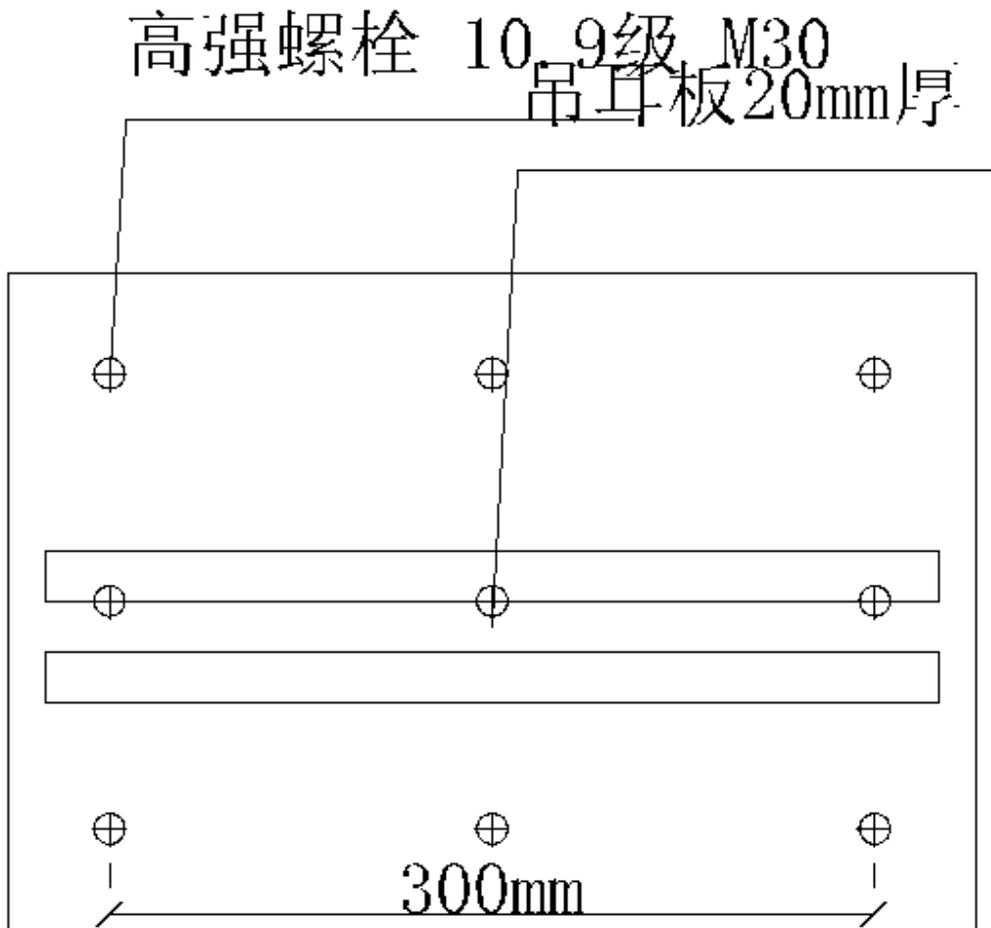
$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [((35.08 + 30.405)/1.22)^2 + 10.473^2]^{0.5} = 54.688 \text{ N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

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

5、预埋件计算

根据预埋件最不利的状态进行控制分析，在工作状态求得的最大轴拉力 $T_1=935.696\text{kN}$ 。 $\alpha_1=77.872^\circ$

以剪力 $V=T_1\cos\alpha_1=196.59\text{kN}$ ， $N=914.81$ ， $M=0$ 进行设计，

根据《混凝土结构设计规范（2015年版）》（GB 50010-2010） 9.7.2-1、9.7.2-2：

$$A_s \geq \frac{V}{\alpha_r \alpha_v f_y} + \frac{N}{0.8 \alpha_b f_y} + \frac{M}{1.3 \alpha_r \alpha_b f_y z}$$

$$A_s \geq \frac{N}{0.8 \alpha_b f_y} + \frac{M}{0.4 \alpha_r \alpha_b f_y z}$$

其中： α_r 为锚板层数的影响系数，取1.0

α_b 为锚板弯曲变形的折减系数, $\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d} = 1.0$, $d=40\text{mm}$, $t=25\text{mm}$

α_v 为锚筋的受剪承载力系数, $\alpha_v = (4 - 0.08d) \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} = 0.212$, f_y 为钢筋抗拉强

度设计值, 取 360N/mm^2 , f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, 取 25.3N/mm^2

A 为锚板面积, $A=192500 \text{ mm}^2$

由上式可知, $A_s \geq 5752\text{mm}^2$, 而预埋件为 6 根直径 $\phi 40$ 材料 HRB400 的钢筋, 其作用面积 $A_s=7539\text{mm}^2 > 5752\text{mm}^2$, 预埋件满足设计和规范要求。

根据《混凝土结构设计规范 (2015 年版)》(GB 50010-2010) 8.3 条计算直锚筋的锚固长度:

$$\text{直锚筋基本长度: } l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d = 0.14 \times \frac{360}{1.96} \times 40 = 1029\text{mm}$$

$$\text{受拉筋锚固长度: } l_a = \zeta_a l_{ab} = 1.1 \times 1029 = 1132\text{mm}$$

此处锚筋的锚固长度取 1200mm 。

6#、8#边塔塔机第2道附着验算计算书

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	H7535	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度H(m)	90.15	塔身宽度B(m)	2
起重臂长度l ₁ (m)	57	平衡臂长度l ₂ (m)	21.5
起重臂与平衡臂截面计算高度h(m)	1.4	工作状态时扭矩标准值T _{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1073
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值M _k (kN·m)	2749.5	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)	192.5

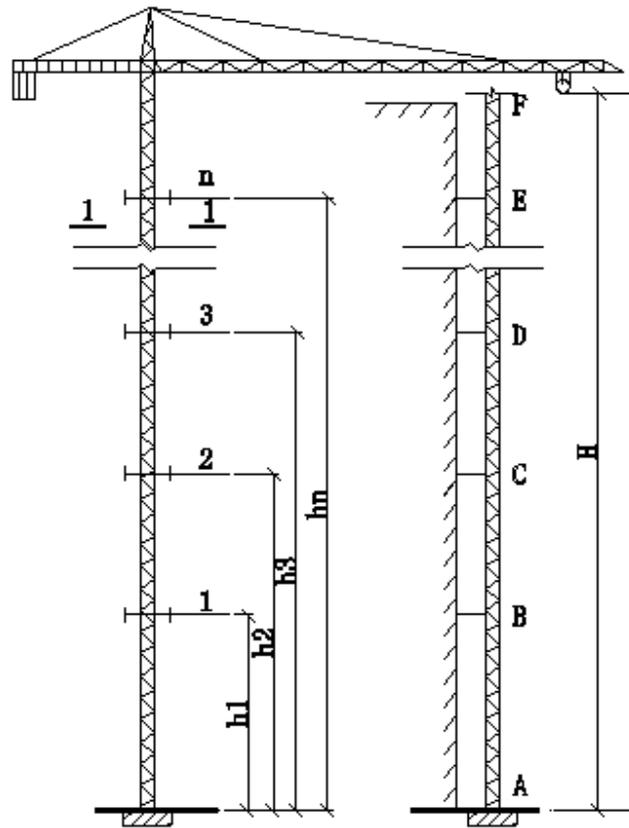
附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	III类
附墙杆截面类型	钢管	附墙杆钢管规格(mm)	Φ426×8
塔身锚固环边长C(m)	2.6		

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 ₁ (m)	4.08	点1到塔机的竖向距离b ₁ (m)	15
附着点2到塔机的横向距离a ₂ (m)	6.36	点2到塔机的竖向距离b ₂ (m)	14.8
附着点3到塔机的横向距离a ₃ (m)	4.34	点3到塔机的竖向距离b ₃ (m)	15.04
工作状态基本风压ω ₀ (kN/m ²)	0.2	非工作状态基本风压ω _{0'} (kN/m ²)	0.35
塔身前后片桁架的平均充实率α 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μ _z	工作状态风荷载体型系数μ _s	非工作状态风荷载体型系数μ _{s'}	工作状态风振系数β _z	非工作状态风振系数β _{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	31.65	31.65	0.798	1.95	1.95	1.787	1.833	0.374	0.671
第2次附着	49.65	18	0.902	1.95	1.95	1.76	1.812	0.416	0.75
悬臂端	90.15	40.5	1.109	1.95	1.95	1.705	1.756	0.496	0.893

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

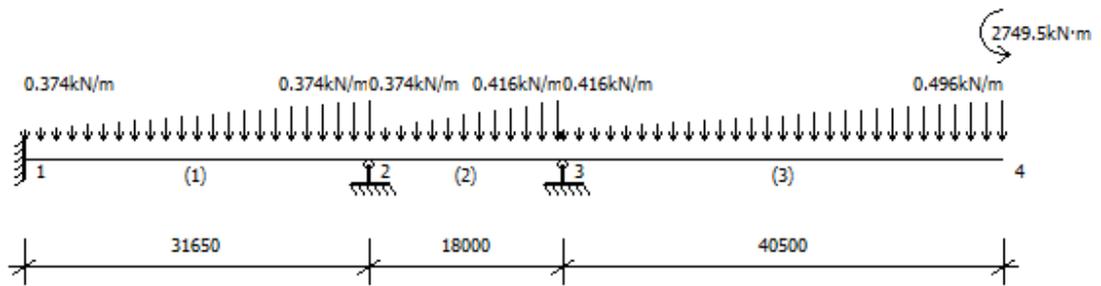
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

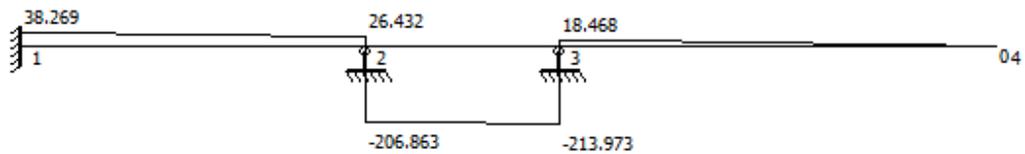
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 1073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

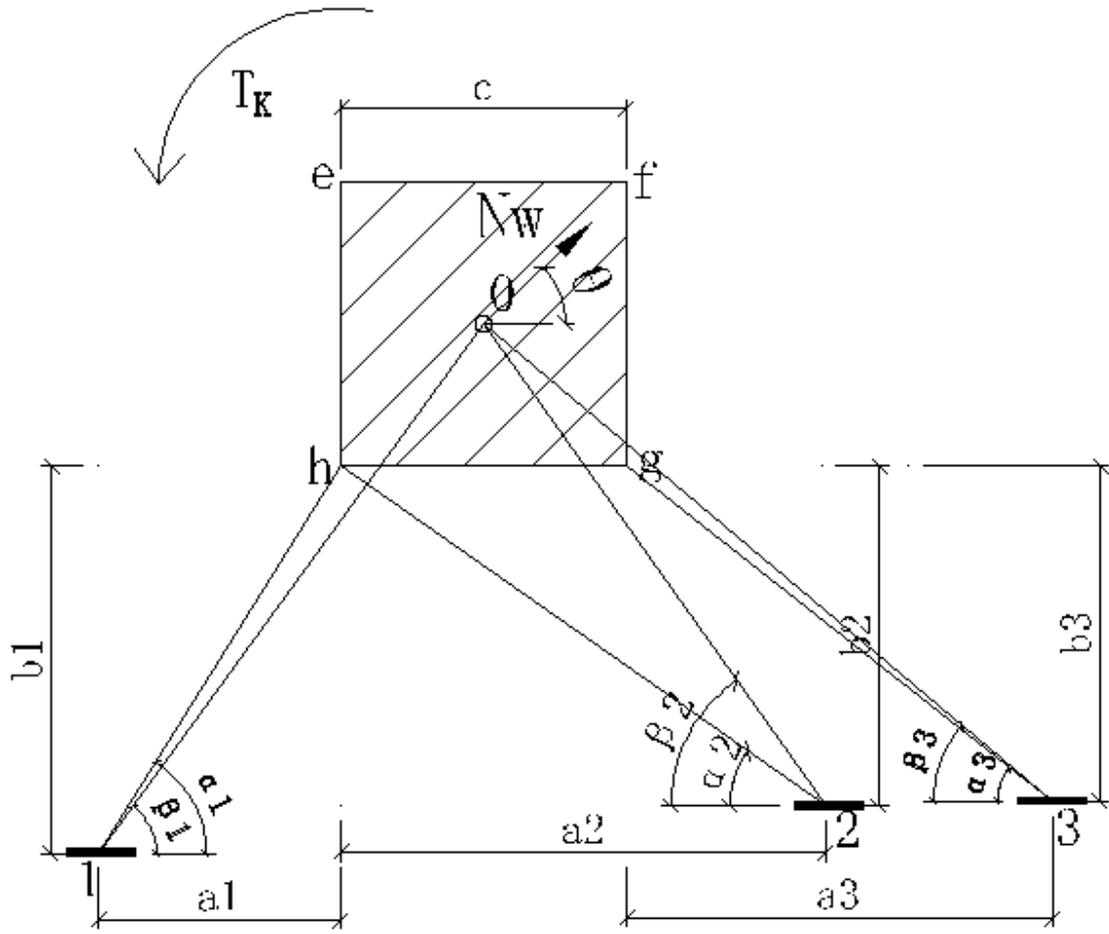
得： $R_E=233.295\text{kN}$

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。

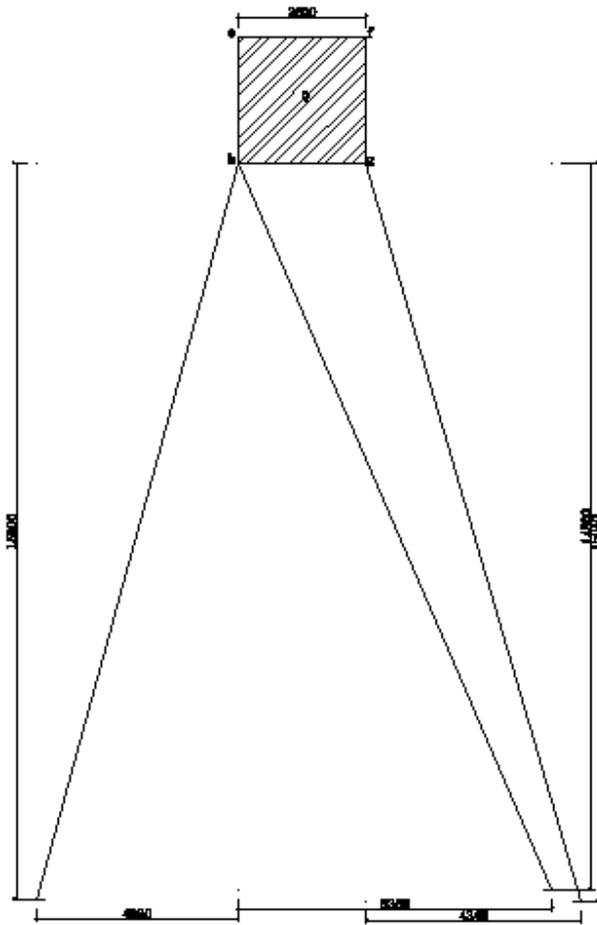
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=329.929\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 74.784^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 66.745^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 73.904^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 71.734^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 72.553^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 70.957^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_O = 0$$

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

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + T_2 \times \sin \alpha_2 \times c + N_w \times \cos \theta \times c/2 + N_w \times \sin \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_h=0$$

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

(1) θ 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 $T_1=640.516\text{kN}$, $T_2=728.821\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=465.171\text{kN}$, $T_2=14.688\text{kN}$, $T_3=672.365\text{kN}$

(2) θ 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:

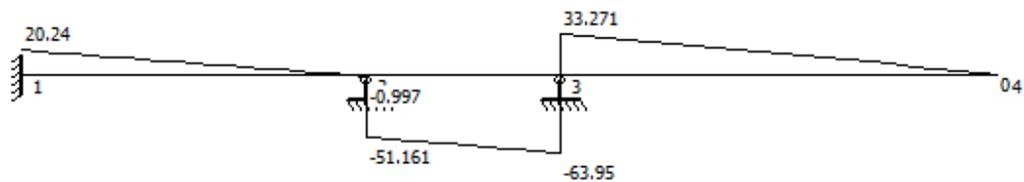
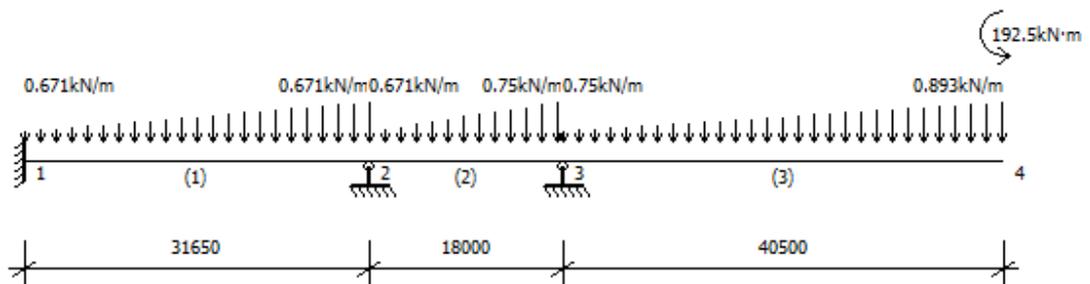
最大轴压力 $T_1=465.173\text{kN}$, $T_2=14.687\text{kN}$, $T_3=672.365\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=640.514\text{kN}$, $T_2=728.822\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

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



得： $R_E=97.22\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座3处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=97.22\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组 $T_k=0$ ， θ 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 $T_1=162.906\text{kN}$ ， $T_2=109.544\text{kN}$ ， $T_3=71.552\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=162.906\text{kN}$ ， $T_2=109.545\text{kN}$ ， $T_3=71.552\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426\times 8$	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	10505.486
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	147.812	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

$$\sigma=N/A=728821/10505.486=69.375\text{N}/\text{mm}^2\leq [f]=205\text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求！

2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆1长细比：

$$\lambda_1=L_0/i=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}/i=(4080^2+15000^2)^{0.5}/147.812=105.167\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1=0.522$$

满足要求！

附墙杆2长细比：

$$\lambda_2=L_0/i=(a_2^2+b_2^2)^{0.5}/i=(6360^2+14800^2)^{0.5}/147.812=108.981\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2=0.499$$

满足要求！

附墙杆3长细比：

$$\lambda_3=L_0/i=(a_3^2+b_3^2)^{0.5}/i=(4340^2+15040^2)^{0.5}/147.812=105.903\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_3=0.518$$

满足要求！

附墙杆1轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1 A f)=640514/(0.522\times 10505.486\times 205)=0.57\leq 1$$

满足要求!

附墙杆2轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f) = 728822 / (0.499 \times 10505.486 \times 205) = 0.678 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆3轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f) = 672365 / (0.518 \times 10505.486 \times 205) = 0.603 \leq 1$$

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	3
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:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 640.514 \times \sin 74.784^\circ = 618.059 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 640.514 \times \cos 74.784^\circ = 168.112 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 728.822 \times \sin 66.745^\circ = 669.612 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 728.822 \times \cos 66.745^\circ = 287.752 \text{ kN};$$

$$F_3 = N_3 \sin \alpha_3 = 672.365 \times \sin 73.904^\circ = 646.007 \text{ kN}, V_3 = N_3 \cos \alpha_3 = 672.365 \times \cos 73.904^\circ = 186.414 \text{ kN};$$

2、螺栓承载力计算

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

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

(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

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

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

$$\sum X^2 = 3 \times [(300/2)^2 + (300/2 - 1 \times 300/2)^2 + (300/2 - 2 \times 300/2)^2] = 135000\text{mm}^2$$

附着点1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 168.112 \times 0.15 \times 150 / 135 = 28.019\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 618.059 / (3 \times 3) + 28.019 = 96.692\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 168.112 / (3 \times 3) = 18.679\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 18.679 / 143.775 + 96.692 / 284 = 0.47 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 287.752 \times 0.15 \times 150 / 135 = 47.959\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 669.612 / (3 \times 3) + 47.959 = 122.36\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 287.752 / (3 \times 3) = 31.972\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 31.972 / 143.775 + 122.36 / 284 = 0.653 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=186.414 \times 0.15 \times 150/135=31.069\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=646.007/(3 \times 3)+31.069=102.848\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=186.414/(3 \times 3)=20.713\text{kN}$$

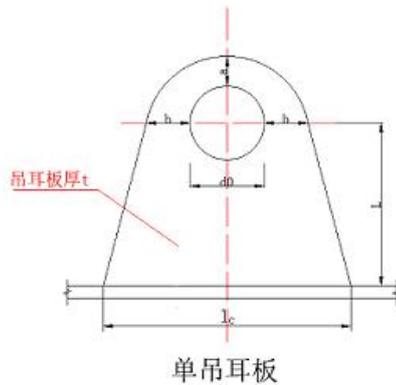
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=20.713/143.775+102.848/284=0.506 \leq 1$$

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):	100
顺受力方向,吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	110	吊孔直径d ₀ (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值f(N/mm ²)	205	吊耳板抗剪强度设计值f _v (N/mm ²)	120
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

参考GB50017-2017,对连接耳板进行如下验算:

$$N_s=\max\{N_1,N_2,N_3\}/2=364.411\text{kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e=2t+16=2 \times 20+16=56\text{mm} \leq b=100\text{mm}$$

满足要求!

$$4B_0/3 = 4 \times 56/3 = 74.667 \text{mm} \leq a = 110 \text{mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 100-60/3) = 56 \text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 364.411 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 162.683 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 364.411 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (110-2 \times 60/3)] = 130.147 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(110+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 136.748 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 364.411 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 136.748) = 66.621 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 120 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	60
销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	346

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

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3\} = 728.822 \text{kN}$$

(2) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 728.822 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 128.884 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 346 \text{N/mm}^2$$

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 (mm)	20
连接钢板角焊缝强度设计值 f_t^w (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:

$$\sigma_N = (N_1/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (640.514 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 36.896 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_1/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (168.112 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 9.684 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_1 L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)^2/6] = (168.112 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2/6] = 28.114 \text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [\frac{(36.896 + 28.114)}{1.22}]^2 + 9.684^2]^{0.5} = 54.16 \text{N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N = (N_2/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (728.822 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 41.983 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_2/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (287.752 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 16.576 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_2 L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)^2/6] = (287.752 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2/6] = 48.123 \text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [\frac{(41.983 + 48.123)}{1.22}]^2 + 16.576^2]^{0.5} = 75.695 \text{N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(672.365\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=38.731\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(186.414\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=10.738\text{N/mm}^2$$

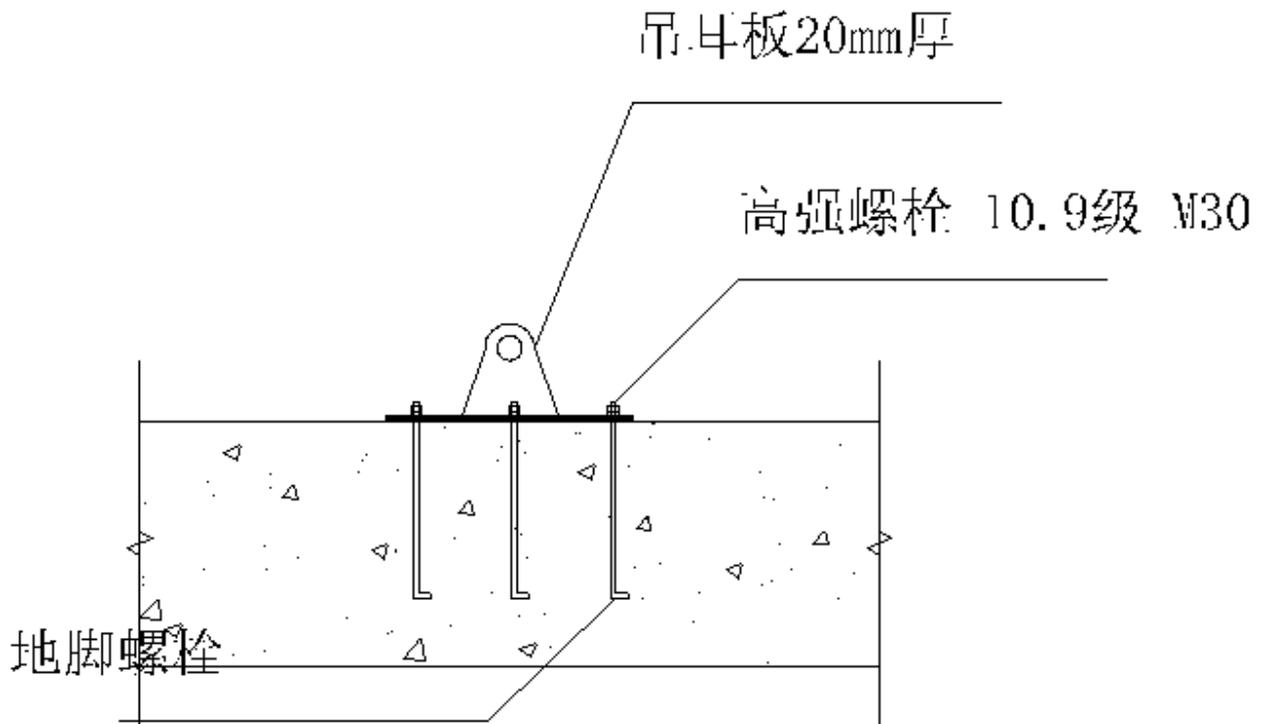
$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(186.414\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=31.175\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^2+\tau_V^2)^{0.5}=[\frac{(38.731+31.175)}{1.22}+10.738]^2+10.738^2)^{0.5}=58.297\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

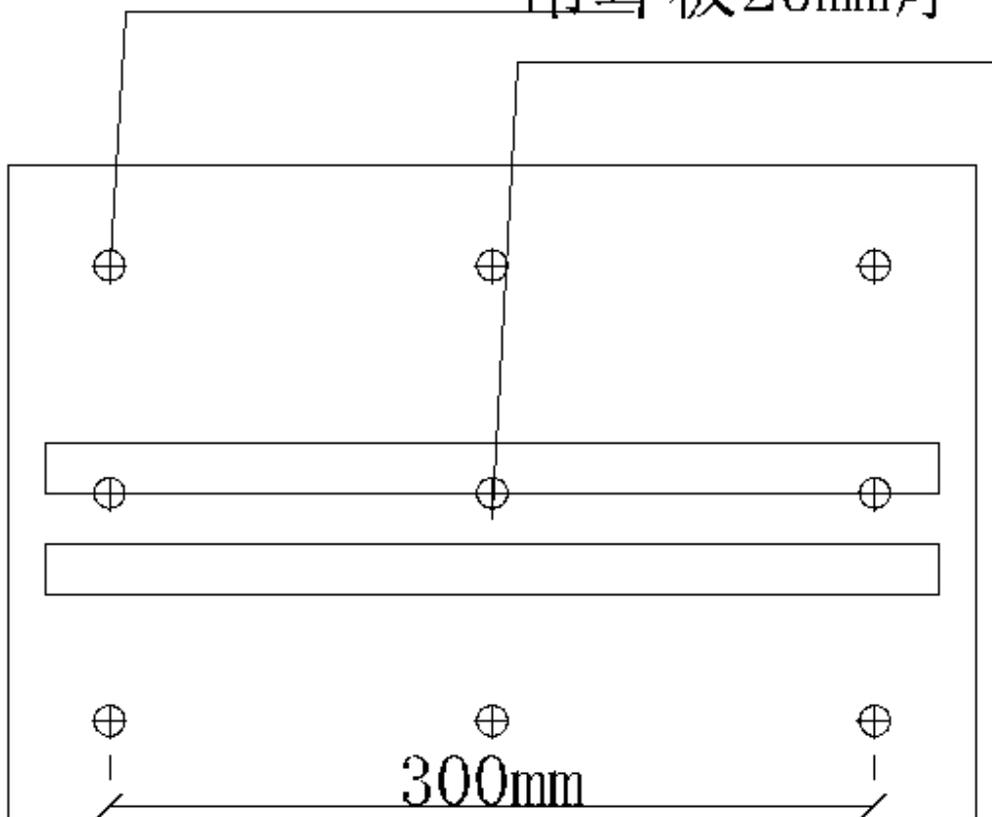
附着点3: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附图如下:



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

6#、8#边塔塔机第3道附着验算计算书

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	H7535	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度H(m)	108.15	塔身宽度B(m)	2
起重臂长度 l_1 (m)	57	平衡臂长度 l_2 (m)	21.5
起重臂与平衡臂截面计算高度h(m)	1.4	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1073
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	2749.5	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)	192.5

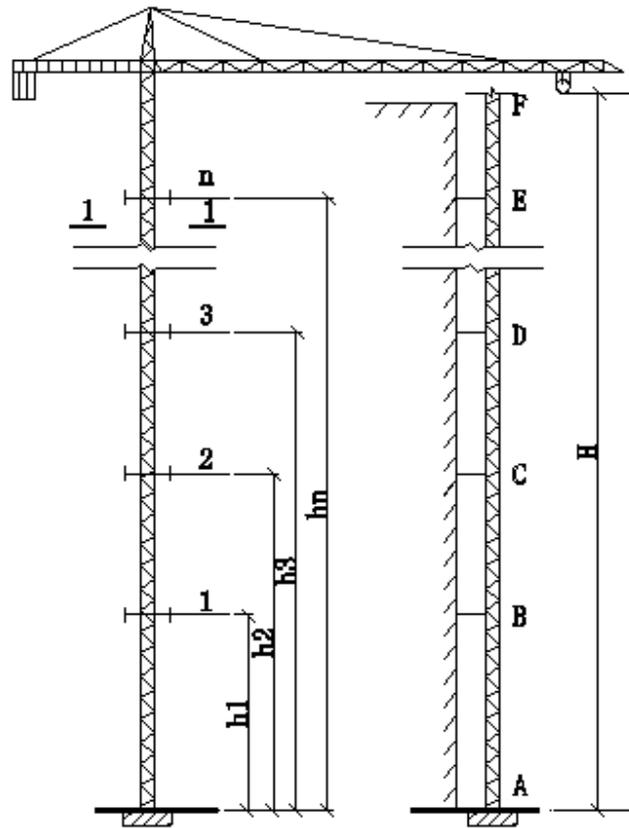
附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	III类
附墙杆截面类型	钢管	附墙杆钢管规格(mm)	Φ426×8
塔身锚固环边长C(m)	2.6		

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_1 (m)	3.12	点1到塔机的竖向距离 b_1 (m)	14.72
附着点2到塔机的横向距离 a_2 (m)	5.75	点2到塔机的竖向距离 b_2 (m)	14.8
附着点3到塔机的横向距离 a_3 (m)	3.74	点3到塔机的竖向距离 b_3 (m)	15.04
工作状态基本风压 ω_0 (kN/m ²)	0.2	非工作状态基本风压 ω_0' (kN/m ²)	0.35
塔身前后片桁架的平均充实率 α_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 μ_z	工作状态风荷载体型系数 μ_s	非工作状态风荷载体型系数 μ_s'	工作状态风振系数 β_z	非工作状态风振系数 β_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	31.65	31.65	0.798	1.95	1.95	1.787	1.833	0.374	0.671
第2次附着	49.65	18	0.902	1.95	1.95	1.76	1.812	0.416	0.75
第3次附着	67.65	18	1.005	1.95	1.95	1.737	1.783	0.458	0.822
悬臂端	108.15	40.5	1.195	1.95	1.95	1.696	1.75	0.531	0.959

附图如下：



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

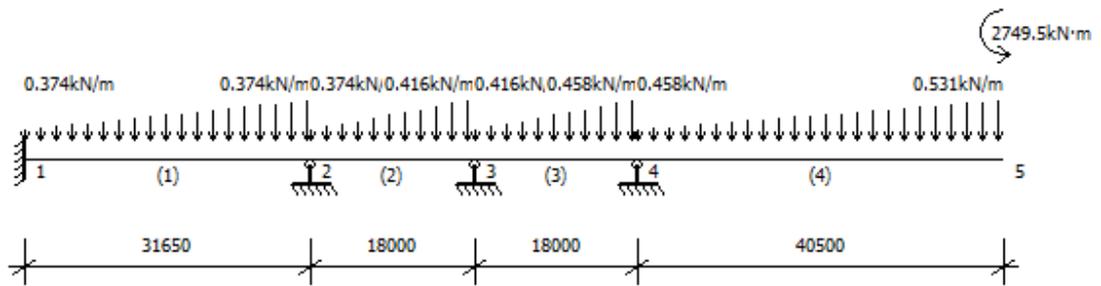
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

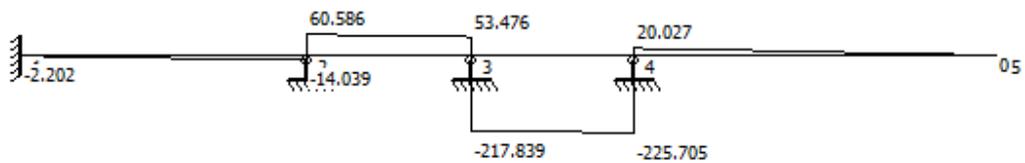
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 1073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

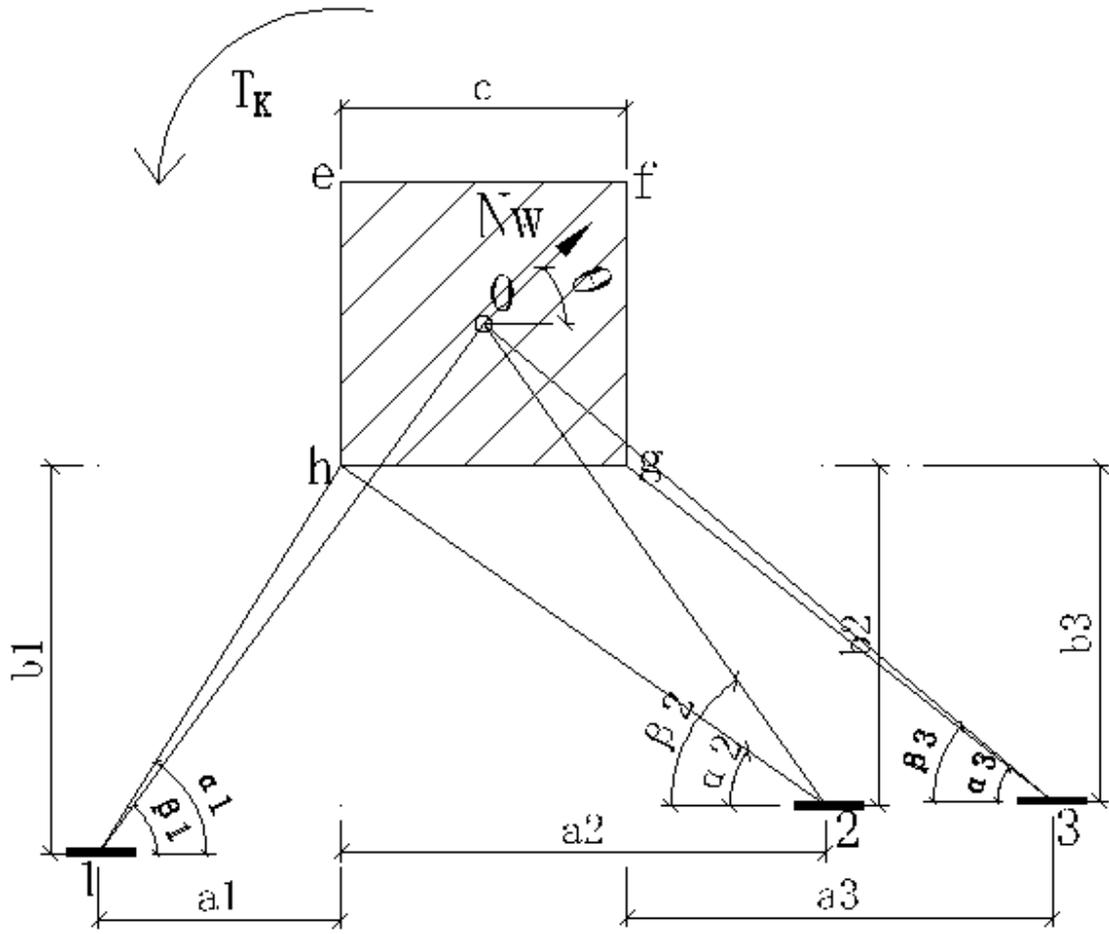
得： $R_E=271.314\text{kN}$

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。

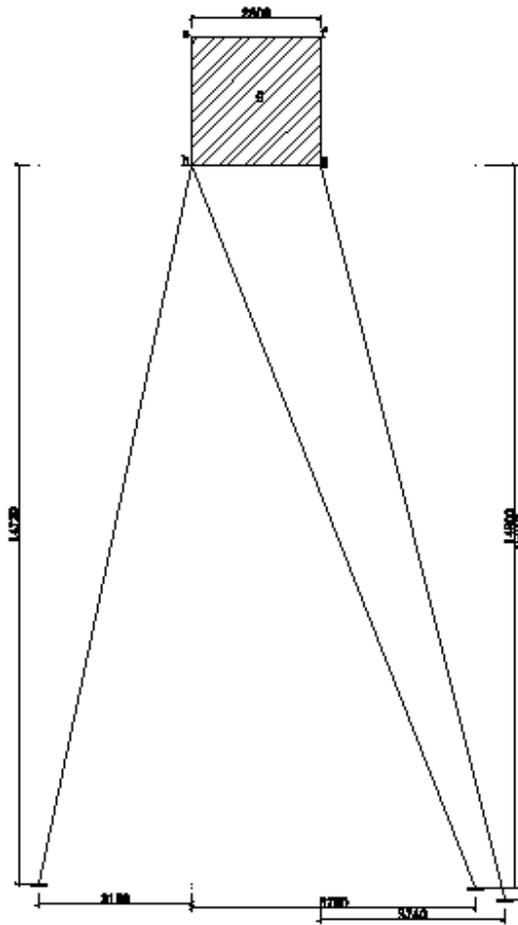
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=383.696\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 78.033^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 68.768^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 76.035^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 74.576^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 74.549^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 72.858^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_O = 0$$

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

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + T_2 \times \sin \alpha_2 \times c + N_w \times \cos \theta \times c/2 + N_w \times \sin \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_h=0$$

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

(1) θ 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 $T_1=815.729\text{kN}$, $T_2=867.019\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=631.073\text{kN}$, $T_2=175.427\text{kN}$, $T_3=704.881\text{kN}$

(2) θ 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:

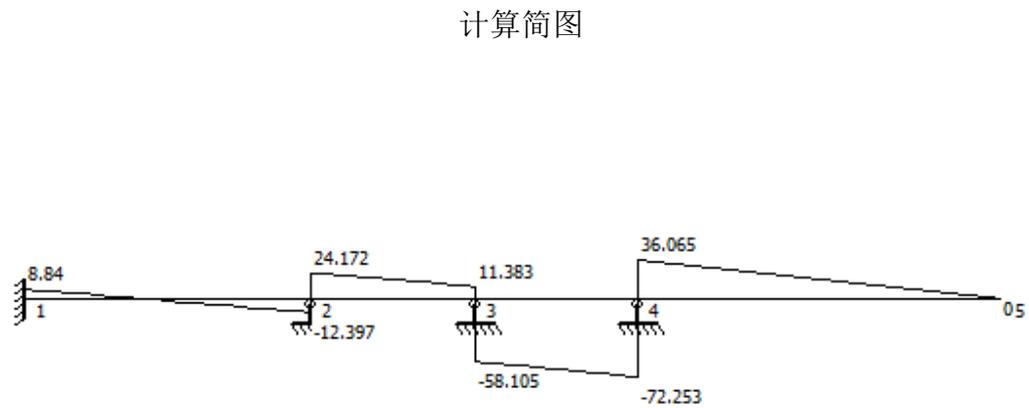
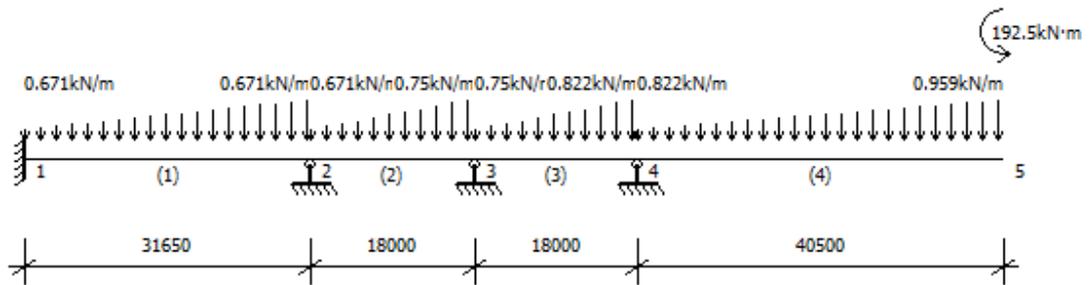
最大轴压力 $T_1=631.075\text{kN}$, $T_2=175.425\text{kN}$, $T_3=704.881\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=815.727\text{kN}$, $T_2=867.021\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

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



剪力图

得： $R_E=108.318\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座4处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=108.318\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组 $T_k=0$ ， θ 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 $T_1=204.217\text{kN}$ ， $T_2=147.142\text{kN}$ ， $T_3=78.93\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=204.217\text{kN}$ ， $T_2=147.142\text{kN}$ ， $T_3=78.93\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426\times 8$	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	10505.486
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	147.812	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

$$\sigma=N/A=867019/10505.486=82.53\text{N}/\text{mm}^2\leq [f]=205\text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求！

2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆1长细比：

$$\lambda_1=L_0/i=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}/i=(3120^2+14720^2)^{0.5}/147.812=101.798\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1=0.543$$

满足要求！

附墙杆2长细比：

$$\lambda_2=L_0/i=(a_2^2+b_2^2)^{0.5}/i=(5750^2+14800^2)^{0.5}/147.812=107.418\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2=0.508$$

满足要求！

附墙杆3长细比：

$$\lambda_3=L_0/i=(a_3^2+b_3^2)^{0.5}/i=(3740^2+15040^2)^{0.5}/147.812=104.85\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi$$

$$_3=0.524$$

满足要求！

附墙杆1轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1 A f)=815727/(0.543\times 10505.486\times 205)=0.698\leq 1$$

满足要求!

附墙杆2轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f) = 867021 / (0.508 \times 10505.486 \times 205) = 0.792 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆3轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f) = 704881 / (0.524 \times 10505.486 \times 205) = 0.625 \leq 1$$

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	3
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:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 815.727 \times \sin 78.033^\circ = 797.999 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 815.727 \times \cos 78.033^\circ = 169.141 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 867.021 \times \sin 68.768^\circ = 808.17 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 867.021 \times \cos 68.768^\circ = 313.985 \text{ kN};$$

$$F_3 = N_3 \sin \alpha_3 = 704.881 \times \sin 76.035^\circ = 684.049 \text{ kN}, V_3 = N_3 \cos \alpha_3 = 704.881 \times \cos 76.035^\circ = 170.102 \text{ kN};$$

2、螺栓承载力计算

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

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

(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

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

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

$$\sum X^2 = 3 \times [(300/2)^2 + (300/2 - 1 \times 300/2)^2 + (300/2 - 2 \times 300/2)^2] = 135000\text{mm}^2$$

附着点1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 169.141 \times 0.15 \times 150 / 135 = 28.19\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 797.999 / (3 \times 3) + 28.19 = 116.857\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 169.141 / (3 \times 3) = 18.793\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 18.793 / 143.775 + 116.857 / 284 = 0.542 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 313.985 \times 0.15 \times 150 / 135 = 52.331\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 808.17 / (3 \times 3) + 52.331 = 142.128\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 313.985 / (3 \times 3) = 34.887\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 34.887 / 143.775 + 142.128 / 284 = 0.743 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=170.102 \times 0.15 \times 150/135=28.35\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=684.049/(3 \times 3)+28.35=104.355\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=170.102/(3 \times 3)=18.9\text{kN}$$

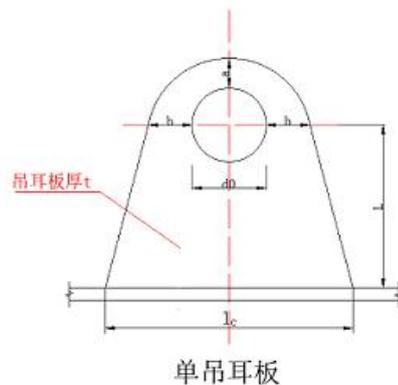
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=18.9/143.775+104.355/284=0.499 \leq 1$$

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):	100
顺受力方向,吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	110	吊孔直径d ₀ (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值f(N/mm ²)	205	吊耳板抗剪强度设计值f _v (N/mm ²)	120
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

参考GB50017-2017,对连接耳板进行如下验算:

$$N_s=\max\{N_1,N_2,N_3\}/2=433.51\text{kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e=2t+16=2 \times 20+16=56\text{mm} \leq b=100\text{mm}$$

满足要求!

$$4B_0/3 = 4 \times 56/3 = 74.667 \text{mm} \leq a = 110 \text{mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 100-60/3) = 56 \text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 433.51 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 193.531 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 433.51 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (110-2 \times 60/3)] = 154.825 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(110+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 136.748 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 433.51 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 136.748) = 79.254 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 120 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	60
销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	346

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

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3\} = 867.021 \text{kN}$$

(2) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 867.021 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 153.323 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 346 \text{N/mm}^2$$

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 (mm)	20
连接钢板角焊缝强度设计值 f_t^w (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:

$$\sigma_N = (N_1/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (815.727 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 46.989 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_V = (V_1/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (169.141 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 9.743 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_1 L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)^2/6] = (169.141 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2/6] = 28.287 \text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_V^2]^{0.5} = [\frac{(46.989 + 28.287)}{1.22}]^2 + 9.743^2]^{0.5} = 62.466 \text{N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N = (N_2/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (867.021 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 49.944 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_V = (V_2/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (313.985 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 18.087 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_2 L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)^2/6] = (313.985 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2/6] = 52.51 \text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_V^2]^{0.5} = [\frac{(49.944 + 52.51)}{1.22}]^2 + 18.087^2]^{0.5} = 85.904 \text{N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(704.881\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=40.604\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(170.102\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=9.799\text{N/mm}^2$$

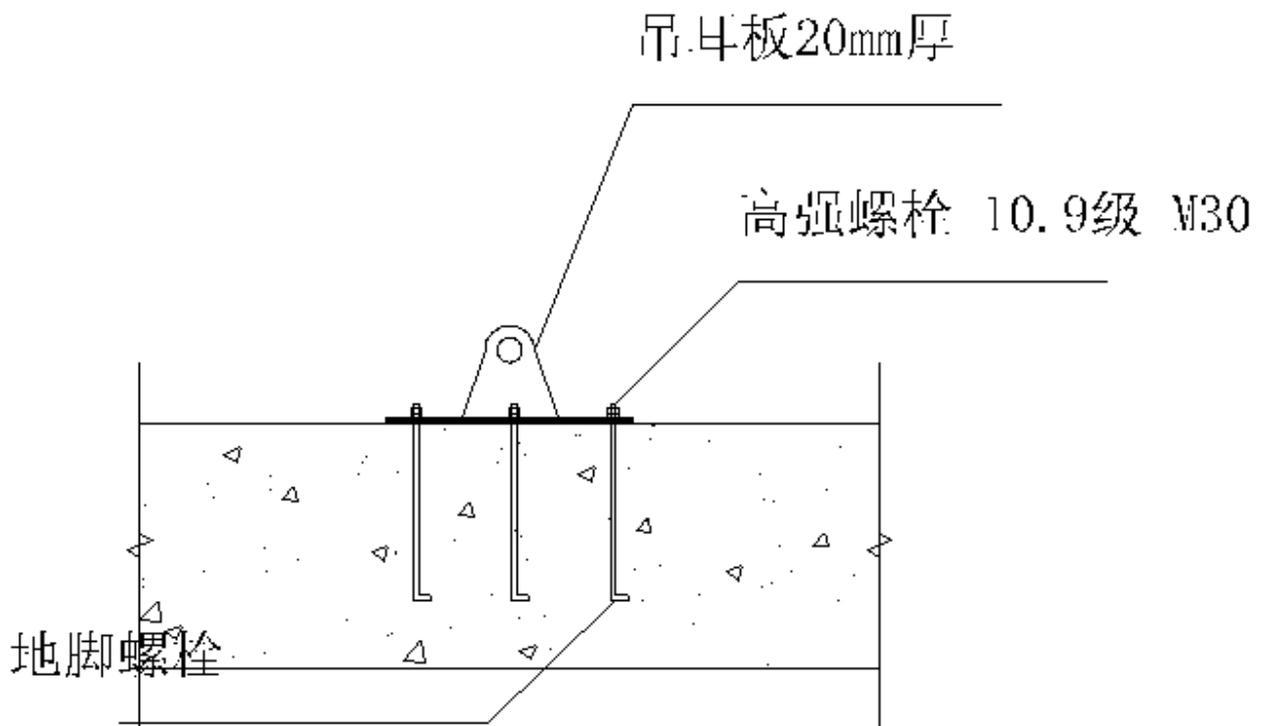
$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(170.102\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=28.447\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(40.604+28.447)}{1.22}+9.799^2]^{0.5}=57.441\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

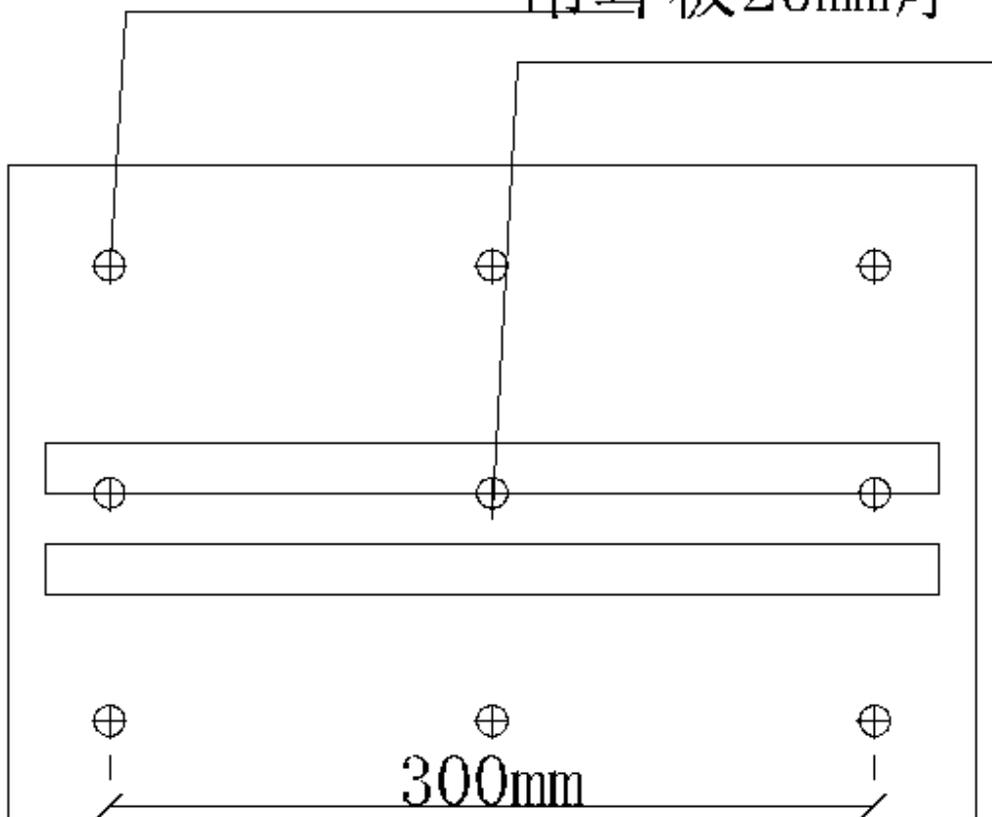
附着点3: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附图如下:



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

6#、8#边塔塔机第4道附着验算计算书

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	H7535	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度H(m)	114.15	塔身宽度B(m)	2
起重臂长度 l_1 (m)	57	平衡臂长度 l_2 (m)	21.5
起重臂与平衡臂截面计算高度h(m)	1.4	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1073
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	2749.5	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)	192.5

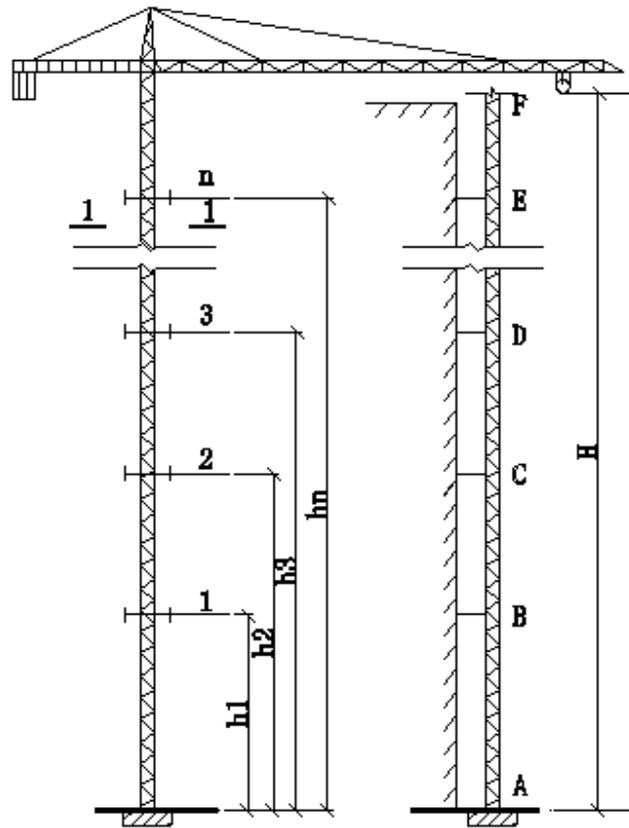
附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	III类
附墙杆截面类型	钢管	附墙杆钢管规格(mm)	Φ426×8
塔身锚固环边长C(m)	2.6		

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_1 (m)	3.28	点1到塔机的竖向距离 b_1 (m)	15.264
附着点2到塔机的横向距离 a_2 (m)	4.99	点2到塔机的竖向距离 b_2 (m)	14.62
附着点3到塔机的横向距离 a_3 (m)	3.2	点3到塔机的竖向距离 b_3 (m)	15.16
工作状态基本风压 ω_0 (kN/m ²)	0.2	非工作状态基本风压 ω_0' (kN/m ²)	0.35
塔身前后片桁架的平均充实率 α_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 μ_z	工作状态风荷载体型系数 μ_s	非工作状态风荷载体型系数 μ_s'	工作状态风振系数 β_z	非工作状态风振系数 β_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	31.65	31.65	0.798	1.95	1.95	1.787	1.833	0.374	0.671
第2次附着	49.65	18	0.902	1.95	1.95	1.76	1.812	0.416	0.75
第3次附着	67.65	18	1.005	1.95	1.95	1.737	1.783	0.458	0.822
第4次附着	82.65	15	1.084	1.95	1.95	1.71	1.761	0.486	0.876
悬臂端	114.15	31.5	1.221	1.95	1.95	1.691	1.748	0.541	0.979

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

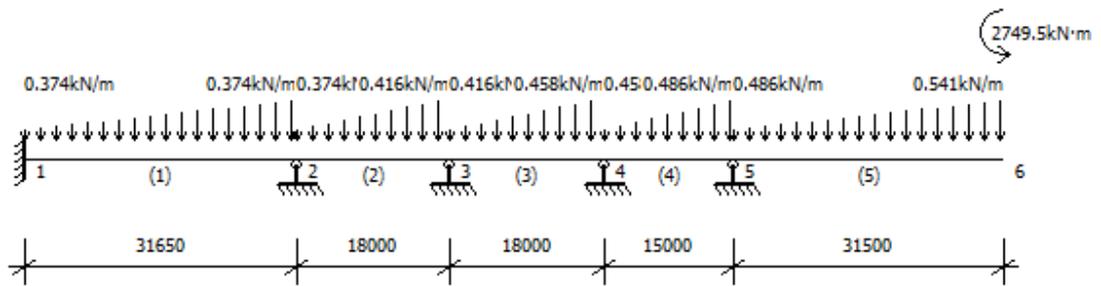
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

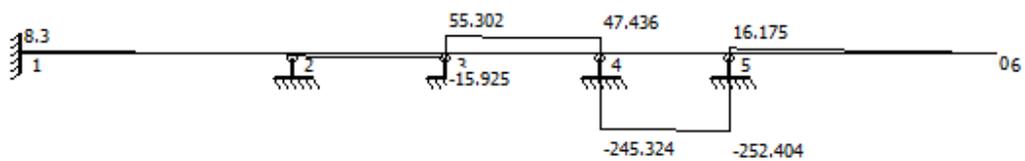
回转惯性力及风荷载产出的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 1073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

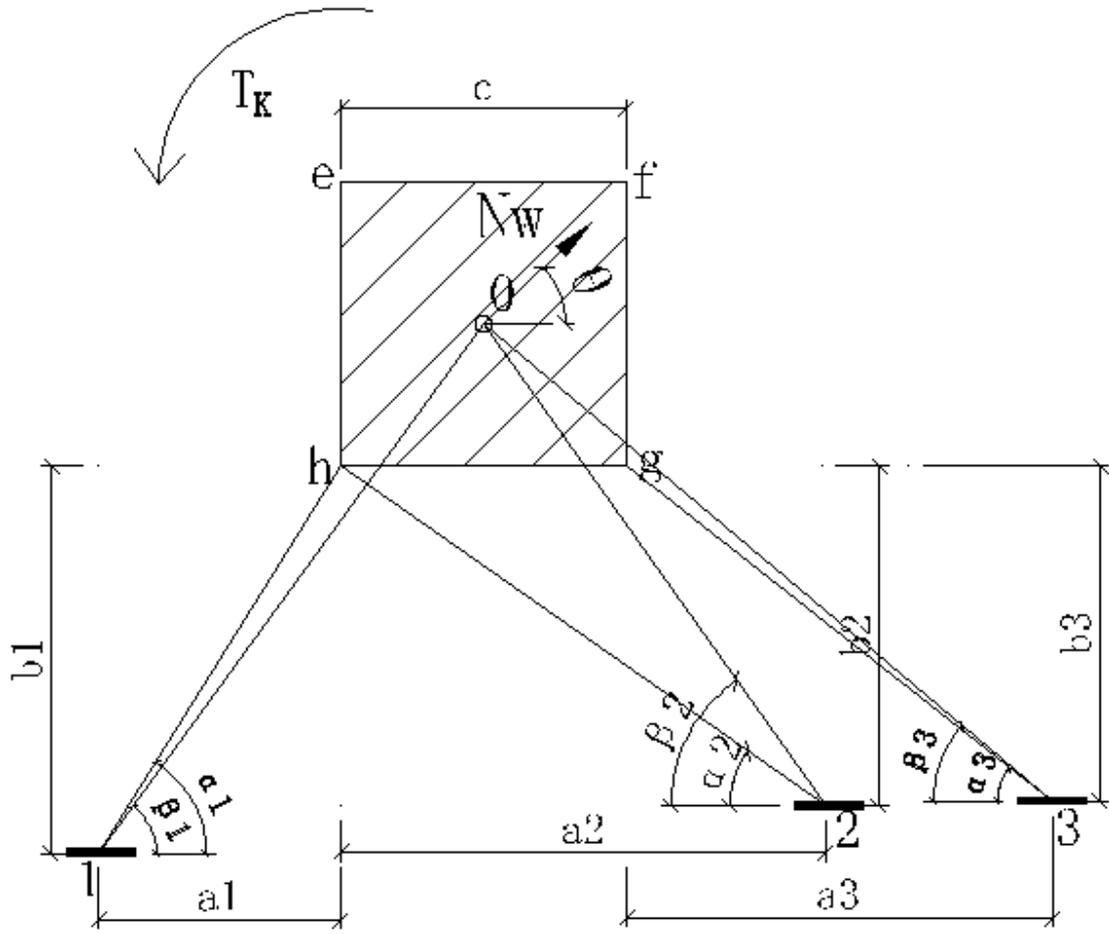
得： $R_E=292.76\text{kN}$

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。

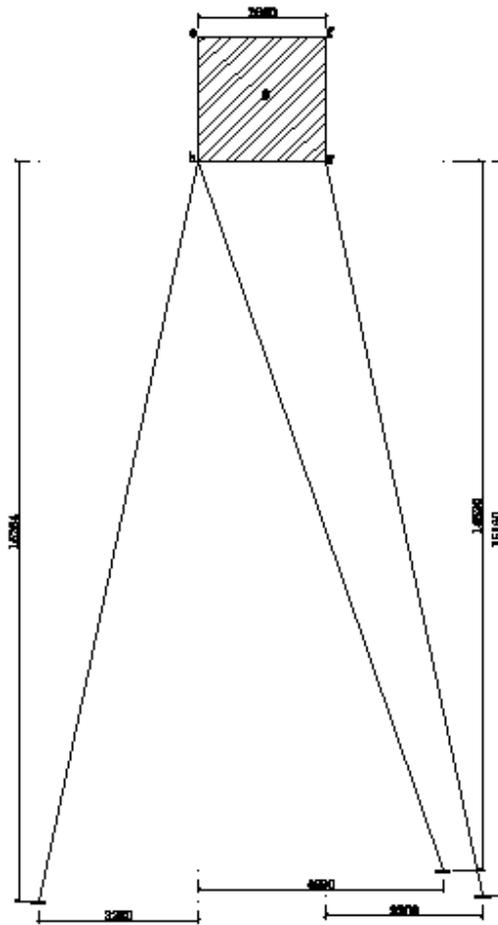
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=414.025\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 77.872^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 71.155^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 78.081^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 74.544^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 76.95^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 74.71^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_O = 0$$

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

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + T_2 \times \sin \alpha_2 \times c + N_w \times \cos \theta \times c/2 + N_w \times \sin \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_h=0$$

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

(1) θ 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 $T_1=935.699\text{kN}$, $T_2=954.109\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=740.248\text{kN}$, $T_2=283.985\text{kN}$, $T_3=720.981\text{kN}$

(2) θ 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:

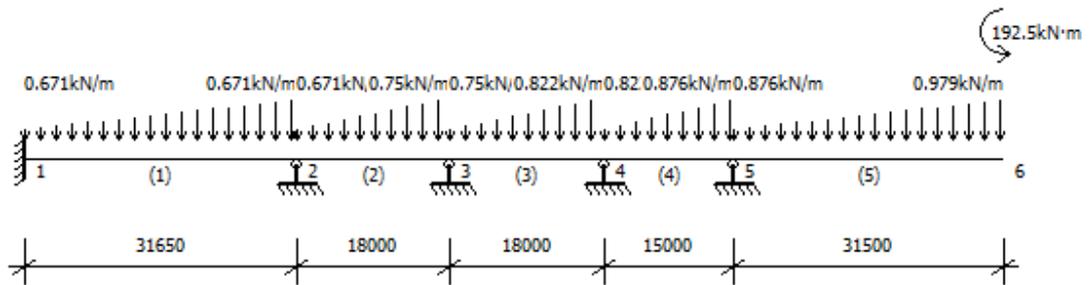
最大轴压力 $T_1=740.251\text{kN}$, $T_2=283.986\text{kN}$, $T_3=720.981\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=935.696\text{kN}$, $T_2=954.108\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

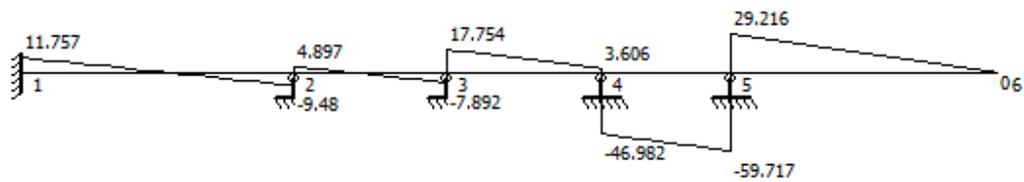
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

得： $R_E=88.933\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座5处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=88.933\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组 $T_k=0$ ， θ 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 $T_1=179.998\text{kN}$ ， $T_2=132.972\text{kN}$ ， $T_3=64.269\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=179.997\text{kN}$ ， $T_2=132.972\text{kN}$ ， $T_3=64.269\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426\times 8$	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	10505.486
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	147.812	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

$$\sigma=N/A=954109/10505.486=90.82\text{N}/\text{mm}^2\leq [f]=205\text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求！

2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆1长细比：

$$\lambda_1=L_0/i=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}/i=(3280^2+15264^2)^{0.5}/147.812=105.624\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1=0.519$$

满足要求！

附墙杆2长细比：

$$\lambda_2=L_0/i=(a_2^2+b_2^2)^{0.5}/i=(4990^2+14620^2)^{0.5}/147.812=104.512\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2=0.526$$

满足要求！

附墙杆3长细比：

$$\lambda_3=L_0/i=(a_3^2+b_3^2)^{0.5}/i=(3200^2+15160^2)^{0.5}/147.812=104.823\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_3=0.524$$

满足要求！

附墙杆1轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1 A f)=935696/(0.519\times 10505.486\times 205)=0.837\leq 1$$

满足要求!

附墙杆2轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f) = 954108 / (0.526 \times 10505.486 \times 205) = 0.842 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆3轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f) = 720981 / (0.524 \times 10505.486 \times 205) = 0.639 \leq 1$$

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	3
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:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 935.696 \times \sin 77.872^\circ = 914.813 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 935.696 \times \cos 77.872^\circ = 196.579 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 954.108 \times \sin 71.155^\circ = 902.961 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 954.108 \times \cos 71.155^\circ = 308.193 \text{ kN};$$

$$F_3 = N_3 \sin \alpha_3 = 720.981 \times \sin 78.081^\circ = 705.437 \text{ kN}, V_3 = N_3 \cos \alpha_3 = 720.981 \times \cos 78.081^\circ = 148.905 \text{ kN};$$

2、螺栓承载力计算

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

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

(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

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

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

$$\sum x^2 = 3 \times [(300/2)^2 + (300/2 - 1 \times 300/2)^2 + (300/2 - 2 \times 300/2)^2] = 135000\text{mm}^2$$

附着点1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum x^2 = 196.579 \times 0.15 \times 150 / 135 = 32.763\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 914.813 / (3 \times 3) + 32.763 = 134.409\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 196.579 / (3 \times 3) = 21.842\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 21.842 / 143.775 + 134.409 / 284 = 0.625 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\max}) / \sum x^2 = 308.193 \times 0.15 \times 150 / 135 = 51.365\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 902.961 / (3 \times 3) + 51.365 = 151.694\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 308.193 / (3 \times 3) = 34.244\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 34.244 / 143.775 + 151.694 / 284 = 0.772 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=148.905 \times 0.15 \times 150/135=24.817\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=705.437/(3 \times 3)+24.817=103.199\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=148.905/(3 \times 3)=16.545\text{kN}$$

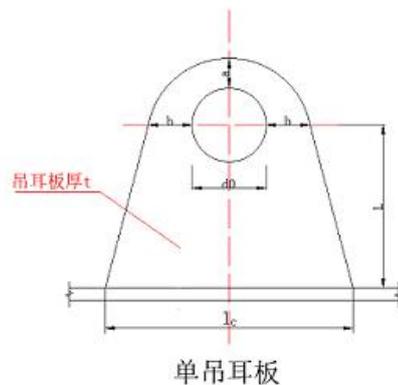
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=16.545/143.775+103.199/284=0.478 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

3、吊耳板计算

吊耳板厚t(mm)	25	吊耳板两侧边缘与吊孔边缘净距 b(mm):	100
顺受力方向,吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	110	吊孔直径d ₀ (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值f(N/mm ²)	205	吊耳板抗剪强度设计值f _v (N/mm ²)	120
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

参考GB50017-2017,对连接耳板进行如下验算:

$$N_s=\max\{N_1,N_2,N_3\}/2=477.054\text{kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e=2t+16=2 \times 25+16=66\text{mm} \leq b=100\text{mm}$$

满足要求!

$$4B_0/3 = 4 \times 66/3 = 88\text{mm} \leq a = 110\text{mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 25+16, 100-60/3) = 66\text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 477.054 \times 10^3 / (2 \times 25 \times 66) = 144.562\text{N/mm}^2 \leq f = 205\text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 477.054 \times 10^3 / [2 \times 25 \times (110-2 \times 60/3)] = 136.301\text{N/mm}^2 \leq f = 205\text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(110+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 136.748\text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 477.054 \times 10^3 / (2 \times 25 \times 136.748) = 69.771\text{N/mm}^2 \leq f_v = 120\text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	60
销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	346

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

$$F = \max\{N_1, N_2, N_3\} = 954.108\text{kN}$$

(2) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 954.108 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 168.723\text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 346\text{N/mm}^2$$

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 (mm)	20
连接钢板角焊缝强度设计值 f_t^w (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:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(935.696\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=53.9\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(196.579\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=11.324\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(196.579\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=32.875\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^2]^0.5=[\frac{(53.9+32.875)}{1.22}+11.324]^2]^0.5=72.023\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(954.108\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=54.96\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(308.193\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=17.753\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(308.193\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=51.541\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^2]^0.5=[\frac{(54.96+51.541)}{1.22}+17.753]^2]^0.5=89.083\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(720.981\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times$$

$$20)] = 41.531 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_3/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)] = (148.905 \times 10^3 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 8.577 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_3 L/2) / [2 \times 0.7 h_f (l_c - 2h_f)^2 / 6] = (148.905 \times 10^3 \times 150 / 2) / [2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2 / 6] = 24.902 \text{ N/mm}^2$$

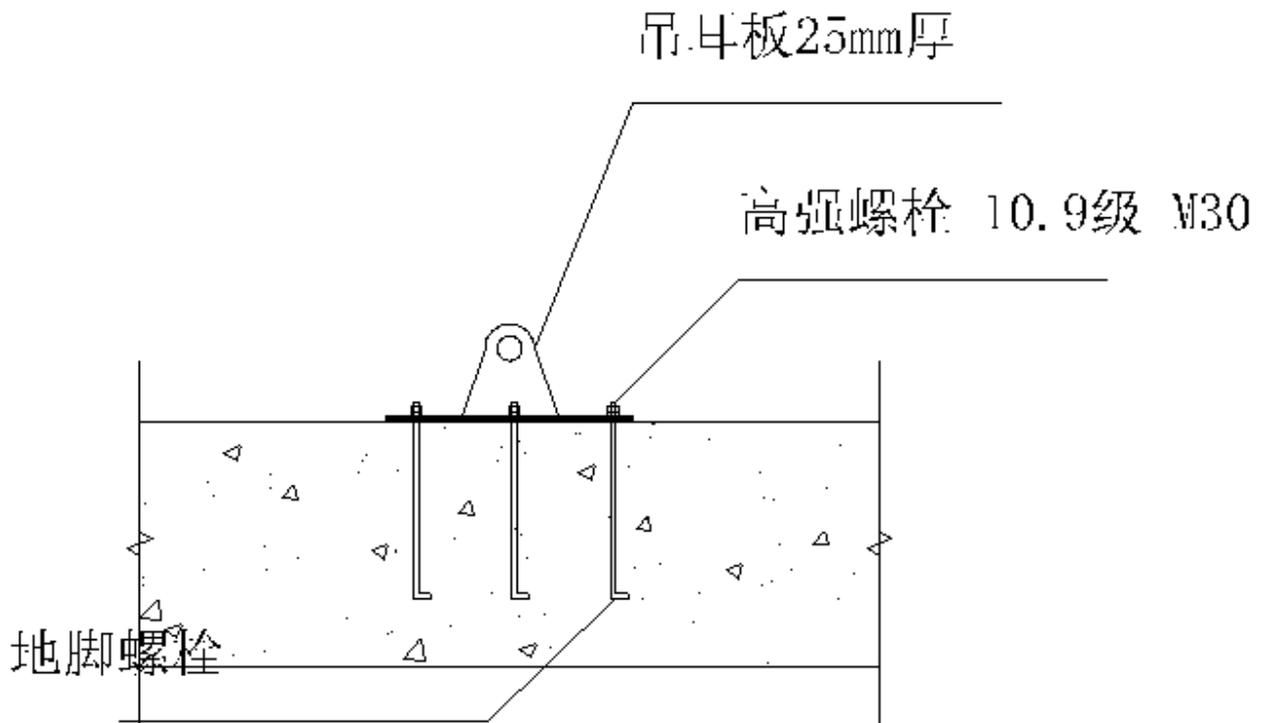
连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f} + \tau_v]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [(\frac{41.531 + 24.902}{1.22})^2 + 8.577^2]^{0.5} = 55.125 \text{ N/mm}^2 \leq$$

$$f_t^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

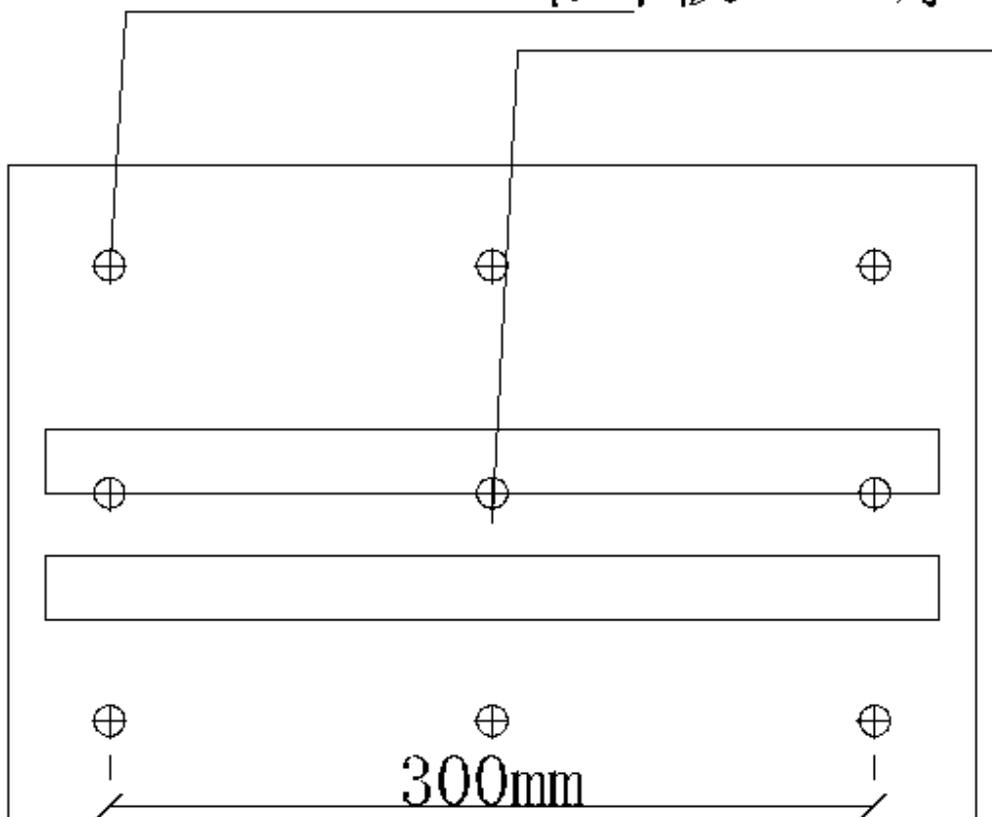
附着点3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板

高强螺栓 10.9级 M30
吊耳板 25mm厚



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

7#中塔塔机第1道附着验算计算书

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	H7535	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度H(m)	69.88	塔身宽度B(m)	2
起重臂长度 l_1 (m)	57	平衡臂长度 l_2 (m)	21.5
起重臂与平衡臂截面计算高度h(m)	1.4	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1073
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	2749.5	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)	192.5

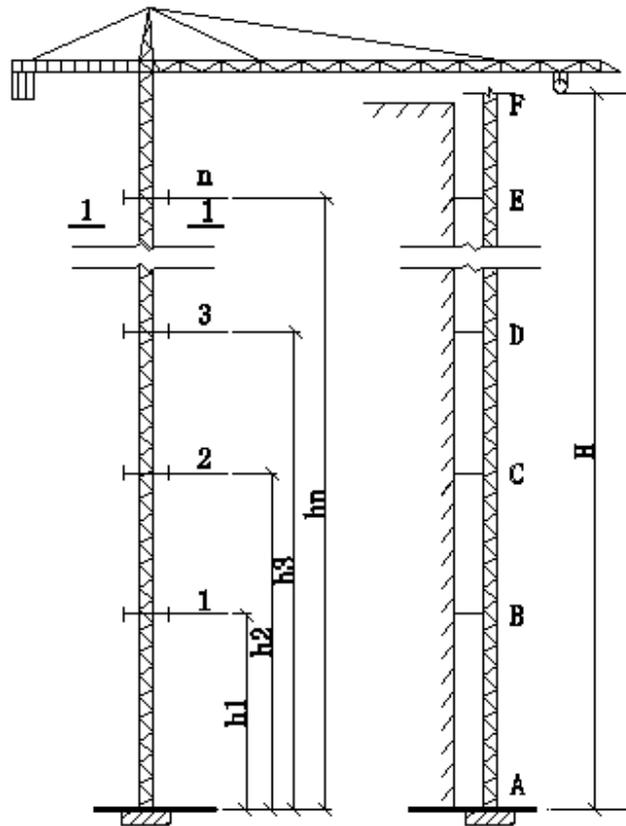
附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	III类
附墙杆截面类型	钢管	附墙杆钢管规格(mm)	Φ426×8
塔身锚固环边长C(m)	2.6		

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)	4.25	点1到塔机的竖向距离 b_1 (m)	14.31
附着点2到塔机的横向距离 a_2 (m)	6.44	点2到塔机的竖向距离 b_2 (m)	14.09
附着点3到塔机的横向距离 a_3 (m)	4.43	点3到塔机的竖向距离 b_3 (m)	14.31
工作状态基本风压 ω_0 (kN/m ²)	0.2	非工作状态基本风压 ω_0' (kN/m ²)	0.35
塔身前后片桁架的平均充实率 α_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 μ_z	工作状态风荷载体型系数 μ_s	非工作状态风荷载体型系数 μ_s'	工作状态风振系数 β_z	非工作状态风振系数 β_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	29.38	29.38	0.755	1.95	1.95	1.79	1.836	0.354	0.636
悬臂端	69.88	40.5	1.011	1.95	1.95	1.733	1.779	0.459	0.825

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

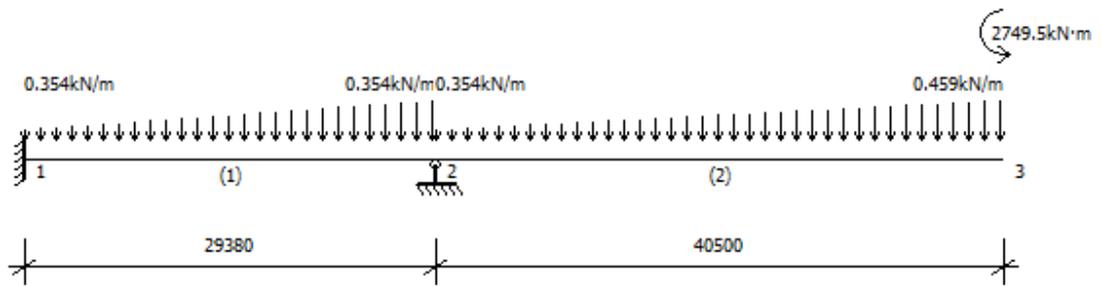
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

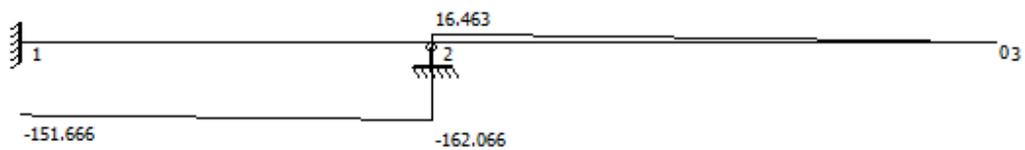
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 1073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

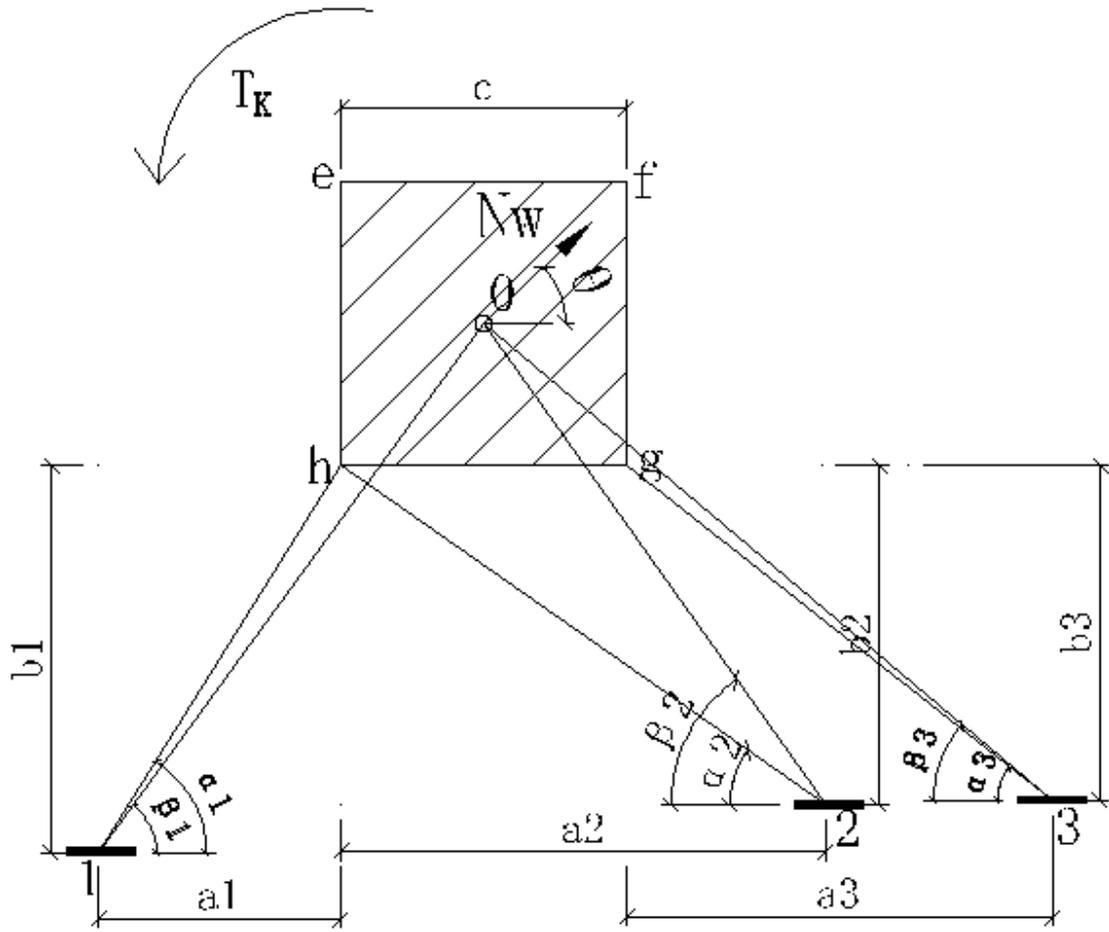
得： $R_E=178.53\text{kN}$

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。

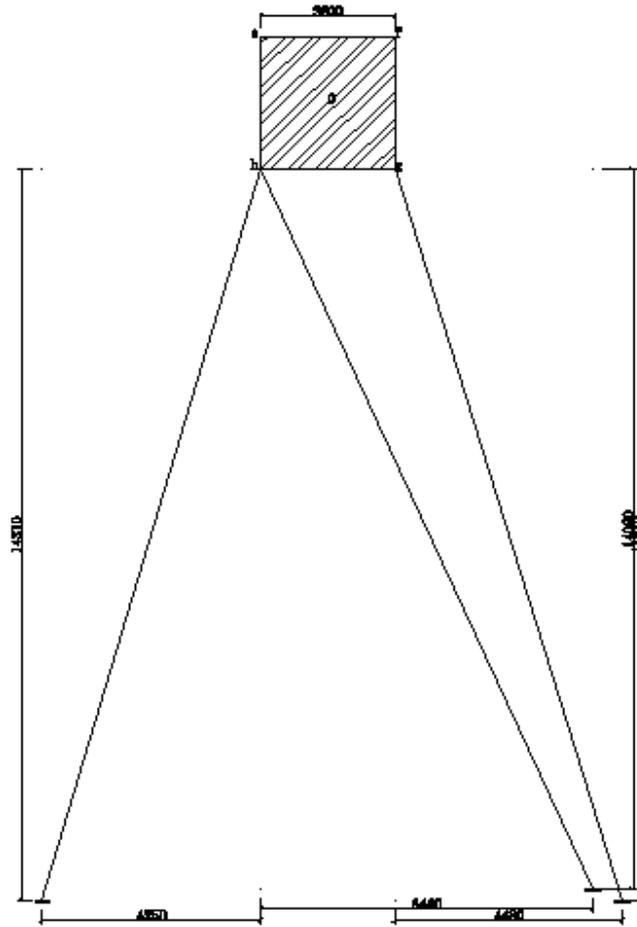
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=252.48\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 73.459^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 65.437^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 72.799^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 70.428^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 71.532^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 69.843^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_O = 0$$

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

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + T_2 \times \sin \alpha_2 \times c + N_w \times \cos \theta \times c/2 + N_w \times \sin \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_h=0$$

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

(1) θ 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 $T_1=482.879\text{kN}$, $T_2=627.528\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=319.843\text{kN}$, $T_2=0\text{kN}$, $T_3=618.832\text{kN}$

(2) θ 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:

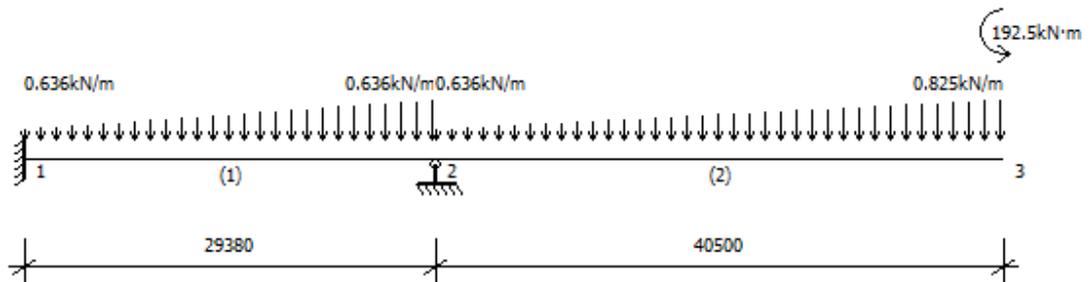
最大轴压力 $T_1=319.842\text{kN}$, $T_2=0\text{kN}$, $T_3=618.832\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=482.88\text{kN}$, $T_2=627.528\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

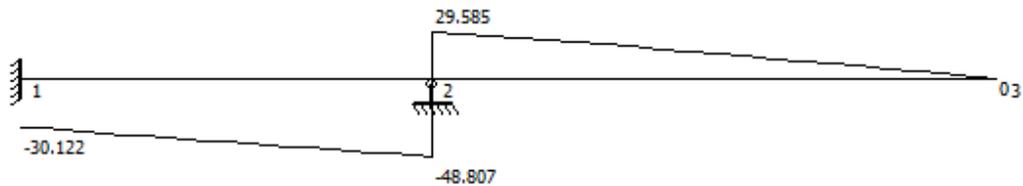
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

得： $R_E=78.393\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座2处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=78.393\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组 $T_k=0$ ， θ 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 $T_1=124.619\text{kN}$ ， $T_2=80.643\text{kN}$ ， $T_3=58.021\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=124.619\text{kN}$ ， $T_2=80.642\text{kN}$ ， $T_3=58.021\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426\times 8$	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	10505.486
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	147.812	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

$$\sigma=N/A=627528/10505.486=59.733\text{N}/\text{mm}^2\leq [f]=205\text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求！

2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆1长细比：

$$\lambda_1=L_0/i=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}/i=(4250^2+14310^2)^{0.5}/147.812=100.992\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1=0.549$$

满足要求！

附墙杆2长细比：

$$\lambda_2=L_0/i=(a_2^2+b_2^2)^{0.5}/i=(6440^2+14090^2)^{0.5}/147.812=104.809\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2=0.524$$

满足要求！

附墙杆3长细比：

$$\lambda_3=L_0/i=(a_3^2+b_3^2)^{0.5}/i=(4430^2+14310^2)^{0.5}/147.812=101.345\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_3=0.546$$

满足要求！

附墙杆1轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1 A f)=482880/(0.549\times 10505.486\times 205)=0.408\leq 1$$

满足要求!

附墙杆2轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f) = 627528 / (0.524 \times 10505.486 \times 205) = 0.556 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆3轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f) = 618832 / (0.546 \times 10505.486 \times 205) = 0.526 \leq 1$$

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	3
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:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 482.88 \times \sin 73.459^\circ = 462.896 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 482.88 \times \cos 73.459^\circ = 137.478 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 627.528 \times \sin 65.437^\circ = 570.738 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 627.528 \times \cos 65.437^\circ = 260.863 \text{ kN};$$

$$F_3 = N_3 \sin \alpha_3 = 618.832 \times \sin 72.799^\circ = 591.153 \text{ kN}, V_3 = N_3 \cos \alpha_3 = 618.832 \times \cos 72.799^\circ = 183.005 \text{ kN};$$

2、螺栓承载力计算

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

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

(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

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

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

$$\sum X^2 = 3 \times [(300/2)^2 + (300/2 - 1 \times 300/2)^2 + (300/2 - 2 \times 300/2)^2] = 135000\text{mm}^2$$

附着点1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 137.478 \times 0.15 \times 150 / 135 = 22.913\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 462.896 / (3 \times 3) + 22.913 = 74.346\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 137.478 / (3 \times 3) = 15.275\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 15.275 / 143.775 + 74.346 / 284 = 0.368 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 260.863 \times 0.15 \times 150 / 135 = 43.477\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 570.738 / (3 \times 3) + 43.477 = 106.892\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 260.863 / (3 \times 3) = 28.985\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 28.985 / 143.775 + 106.892 / 284 = 0.578 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=183.005 \times 0.15 \times 150/135=30.501\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=591.153/(3 \times 3)+30.501=96.185\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=183.005/(3 \times 3)=20.334\text{kN}$$

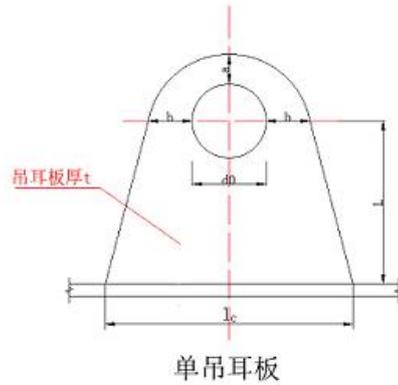
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=20.334/143.775+96.185/284=0.48 \leq 1$$

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):	100
顺受力方向,吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	110	吊孔直径d ₀ (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值f(N/mm ²)	205	吊耳板抗剪强度设计值f _v (N/mm ²)	120
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

参考GB50017-2017,对连接耳板进行如下验算:

$$N_s=\max\{N_1,N_2,N_3\}/2=313.764\text{kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e=2t+16=2 \times 20+16=56\text{mm} \leq b=100\text{mm}$$

满足要求!

$$4B_0/3 = 4 \times 56/3 = 74.667 \text{mm} \leq a = 110 \text{mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 100-60/3) = 56 \text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 313.764 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 140.073 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 313.764 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (110-2 \times 60/3)] = 112.059 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(110+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 136.748 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 313.764 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 136.748) = 57.362 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 120 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	60
销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	346

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

$$F = \max\{N_1, N_2, N_3\} = 627.528 \text{kN}$$

(2) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 627.528 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 110.971 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 346 \text{N/mm}^2$$

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 (mm)	20
连接钢板角焊缝强度设计值 f_f^w (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:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(482.88\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=27.816\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(137.478\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=7.919\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(137.478\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=22.991\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(27.816+22.991)}{1.22}^2+7.919^2]^{0.5}=42.391\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(627.528\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=36.148\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(260.863\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=15.027\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(260.863\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=43.626\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(36.148+43.626)}{1.22}^2+15.027^2]^{0.5}=67.093\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(618.832\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=35.647\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(183.005\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=10.542\text{N/mm}^2$$

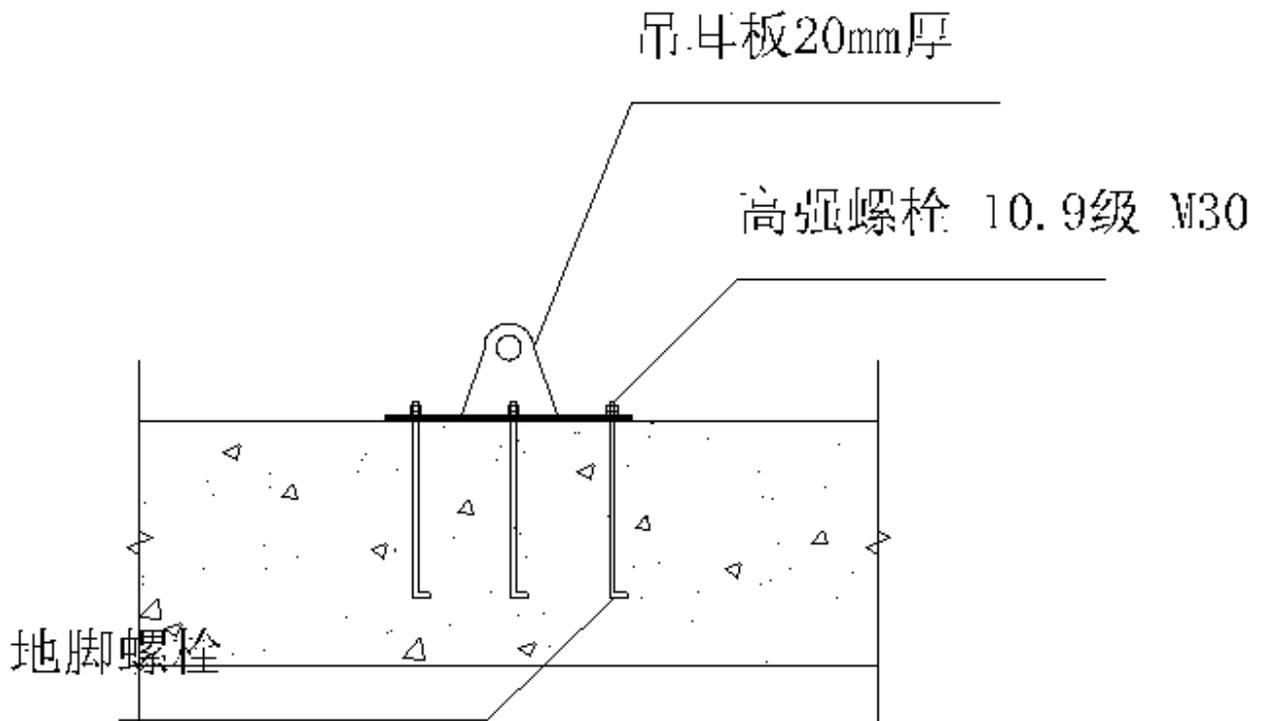
$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(183.005\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=30.605\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2)^{0.5}=[\frac{(35.647+30.605)}{1.22}]^2+10.542^2)^{0.5}=55.319\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

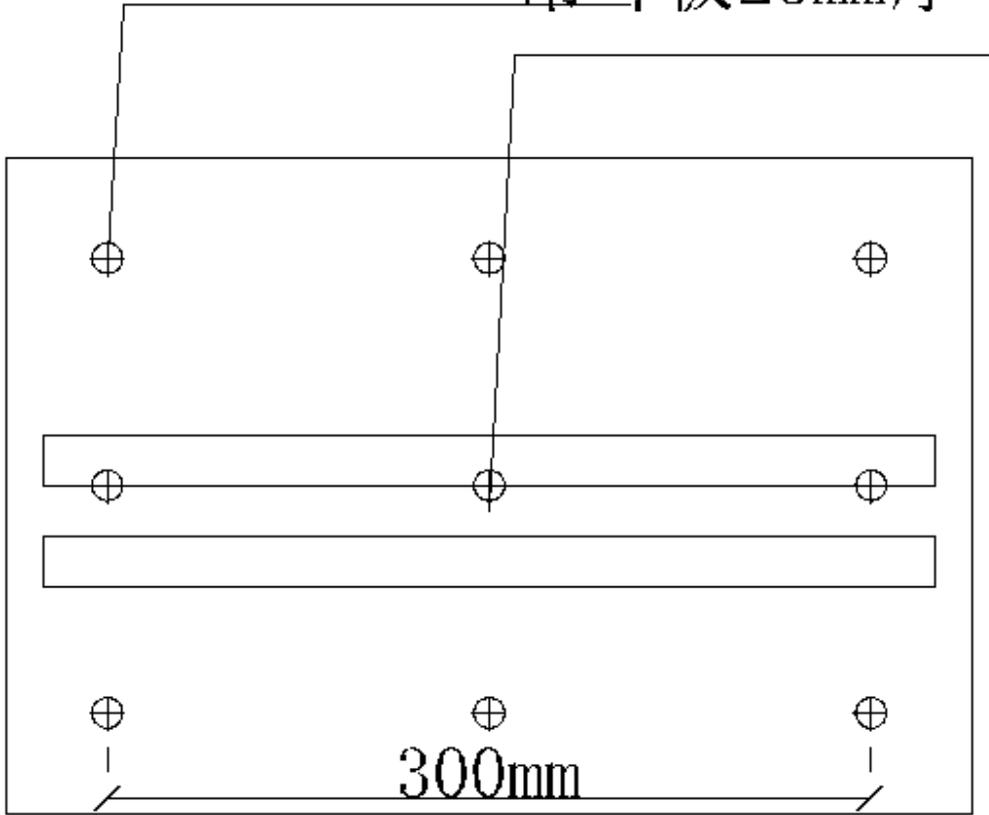
附着点3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



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

7#中塔塔机第2道附着验算计算书

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	H7535	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度H(m)	87.88	塔身宽度B(m)	2
起重臂长度 l_1 (m)	57	平衡臂长度 l_2 (m)	21.5
起重臂与平衡臂截面计算高度h(m)	1.4	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1073
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	2749.5	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)	192.5

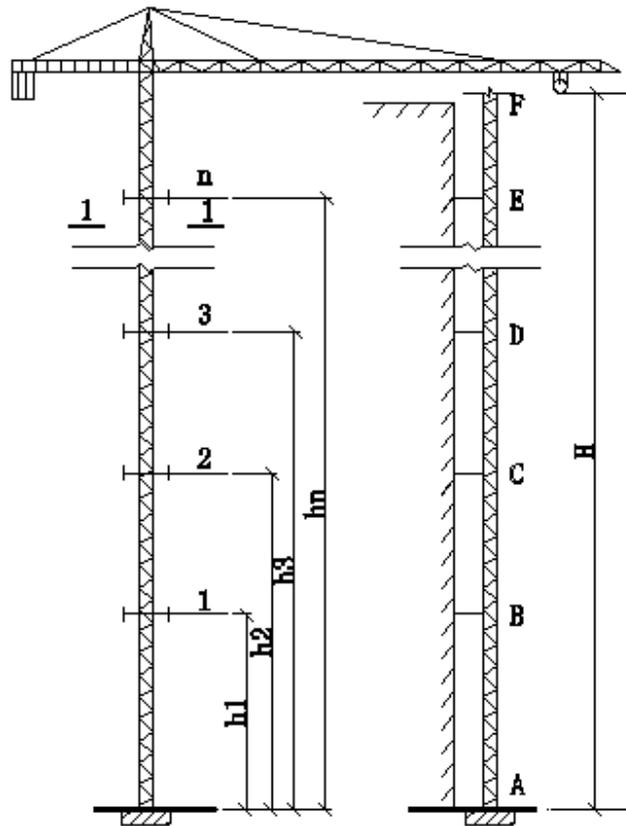
附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	III类
附墙杆截面类型	钢管	附墙杆钢管规格(mm)	Φ426×8
塔身锚固环边长C(m)	2.6		

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_1 (m)	4.13	点1到塔机的竖向距离 b_1 (m)	14.98
附着点2到塔机的横向距离 a_2 (m)	6.46	点2到塔机的竖向距离 b_2 (m)	14.82
附着点3到塔机的横向距离 a_3 (m)	4.43	点3到塔机的竖向距离 b_3 (m)	15.08
工作状态基本风压 ω_0 (kN/m ²)	0.2	非工作状态基本风压 ω_0' (kN/m ²)	0.35
塔身前后片桁架的平均充实率 α_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 μ_z	工作状态风荷载体型系数 μ_s	非工作状态风荷载体型系数 μ_s'	工作状态风振系数 β_z	非工作状态风振系数 β_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	29.38	29.38	0.755	1.95	1.95	1.79	1.836	0.354	0.636
第2次附着	47.38	18	0.864	1.95	1.95	1.763	1.813	0.399	0.718
悬臂端	87.88	40.5	1.104	1.95	1.95	1.706	1.757	0.494	0.89

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

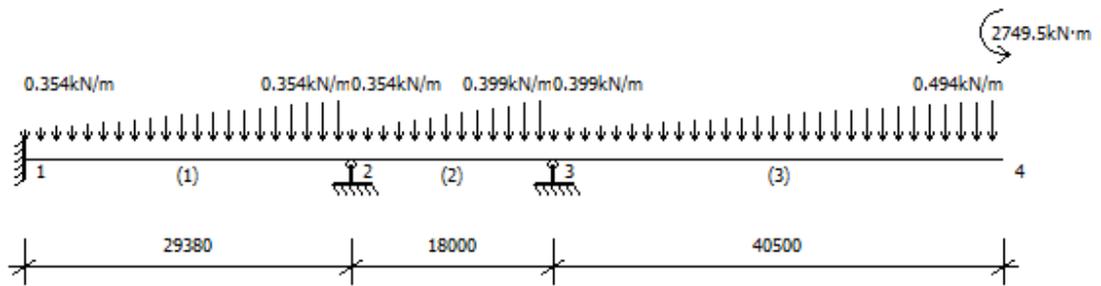
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

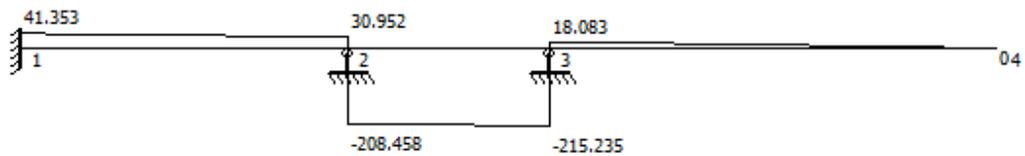
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 1073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

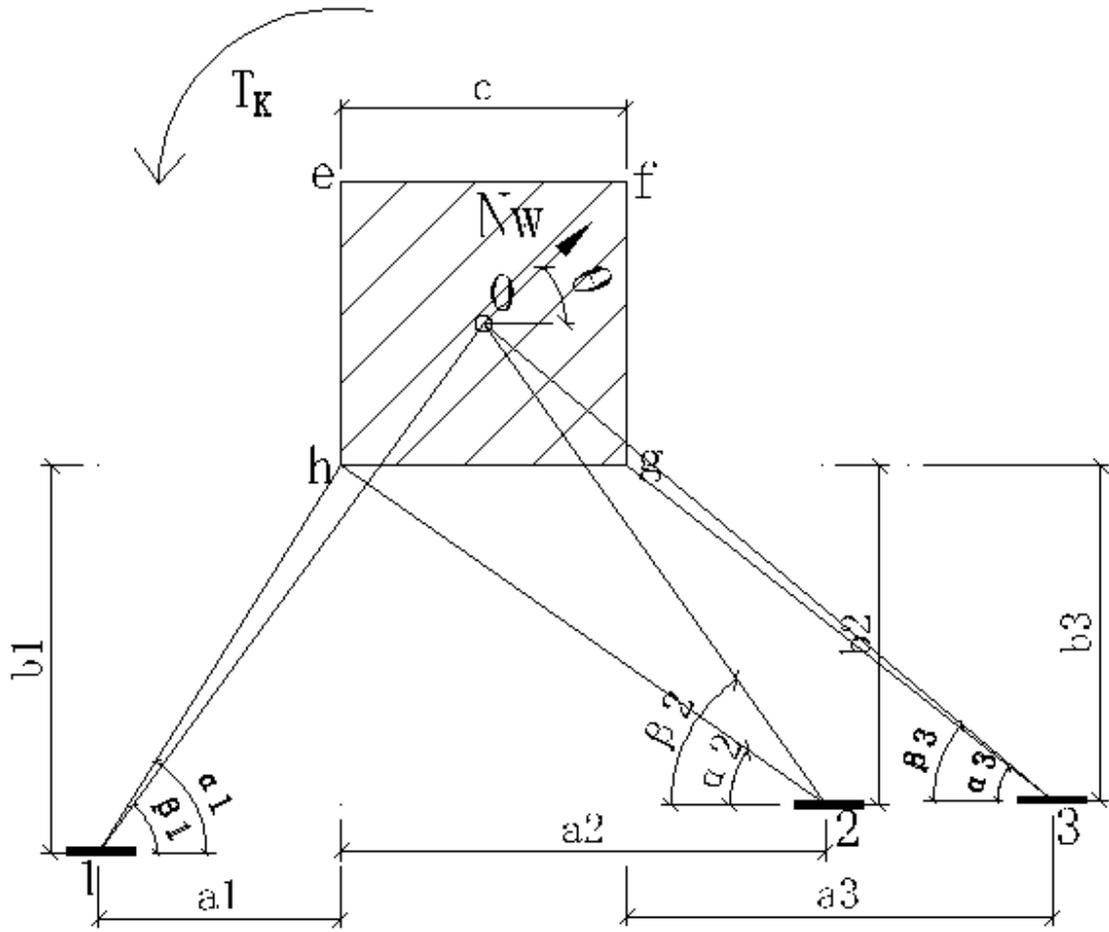
得： $R_E=239.41\text{kN}$

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。

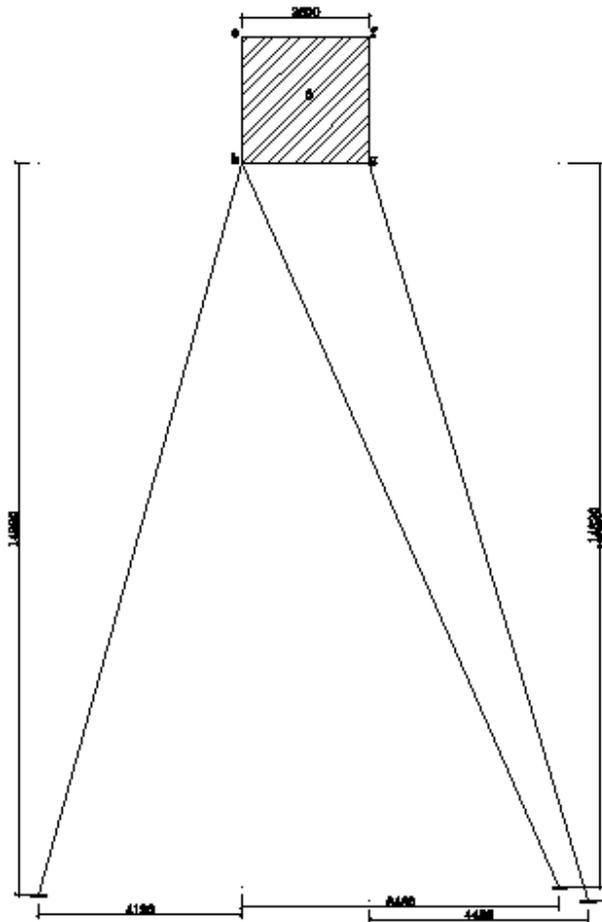
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=338.577\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 74.586^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 66.448^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 73.629^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 71.554^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 72.25^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 70.719^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_O = 0$$

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

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + T_2 \times \sin \alpha_2 \times c + N_w \times \cos \theta \times c/2 + N_w \times \sin \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_h=0$$

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

(1) θ 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 $T_1=645.243\text{kN}$, $T_2=728.729\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=469.8\text{kN}$, $T_2=12.682\text{kN}$, $T_3=679.545\text{kN}$

(2) θ 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:

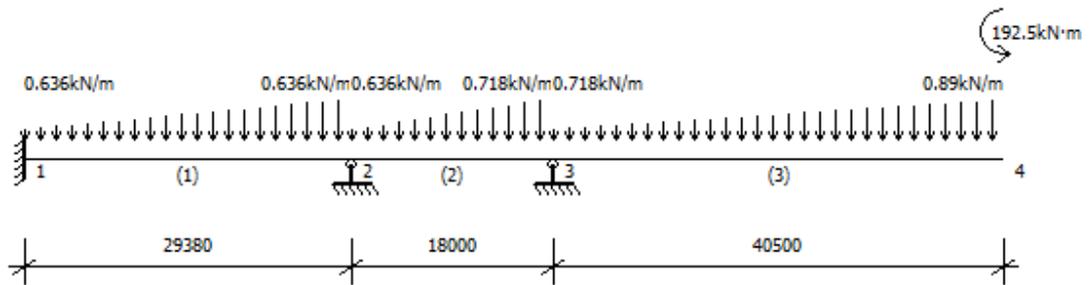
最大轴压力 $T_1=469.801\text{kN}$, $T_2=12.681\text{kN}$, $T_3=679.545\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=645.241\text{kN}$, $T_2=728.73\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

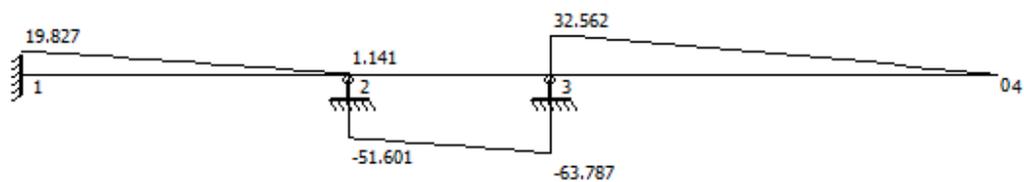
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

得： $R_E=96.349\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座3处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=96.349\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组 $T_k=0$ ， θ 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 $T_1=158.654\text{kN}$ ， $T_2=105.492\text{kN}$ ， $T_3=70.996\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=158.653\text{kN}$ ， $T_2=105.492\text{kN}$ ， $T_3=70.996\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426\times 8$	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	10505.486
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	147.812	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

$$\sigma=N/A=728729/10505.486=69.367\text{N}/\text{mm}^2\leq [f]=205\text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求！

2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆1长细比：

$$\lambda_1=L_0/i=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}/i=(4130^2+14980^2)^{0.5}/147.812=105.126\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1=0.522$$

满足要求！

附墙杆2长细比：

$$\lambda_2=L_0/i=(a_2^2+b_2^2)^{0.5}/i=(6460^2+14820^2)^{0.5}/147.812=109.374\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2=0.497$$

满足要求！

附墙杆3长细比：

$$\lambda_3=L_0/i=(a_3^2+b_3^2)^{0.5}/i=(4430^2+15080^2)^{0.5}/147.812=106.333\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_3=0.515$$

满足要求！

附墙杆1轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1 A f)=645241/(0.522\times 10505.486\times 205)=0.574\leq 1$$

满足要求!

附墙杆2轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f) = 728730 / (0.497 \times 10505.486 \times 205) = 0.681 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆3轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f) = 679545 / (0.515 \times 10505.486 \times 205) = 0.613 \leq 1$$

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	3
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:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 645.241 \times \sin 74.586^\circ = 622.033 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 645.241 \times \cos 74.586^\circ = 171.495 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 728.73 \times \sin 66.448^\circ = 668.024 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 728.73 \times \cos 66.448^\circ = 291.19 \text{ kN};$$

$$F_3 = N_3 \sin \alpha_3 = 679.545 \times \sin 73.629^\circ = 651.994 \text{ kN}, V_3 = N_3 \cos \alpha_3 = 679.545 \times \cos 73.629^\circ = 191.534 \text{ kN};$$

2、螺栓承载力计算

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

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

(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

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

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

$$\sum x^2 = 3 \times [(300/2)^2 + (300/2 - 1 \times 300/2)^2 + (300/2 - 2 \times 300/2)^2] = 135000\text{mm}^2$$

附着点1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum x^2 = 171.495 \times 0.15 \times 150 / 135 = 28.583\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 622.033 / (3 \times 3) + 28.583 = 97.698\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 171.495 / (3 \times 3) = 19.055\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 19.055 / 143.775 + 97.698 / 284 = 0.477 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\max}) / \sum x^2 = 291.19 \times 0.15 \times 150 / 135 = 48.532\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 668.024 / (3 \times 3) + 48.532 = 122.757\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 291.19 / (3 \times 3) = 32.354\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 32.354 / 143.775 + 122.757 / 284 = 0.657 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=191.534 \times 0.15 \times 150/135=31.922\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=651.994/(3 \times 3)+31.922=104.366\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=191.534/(3 \times 3)=21.282\text{kN}$$

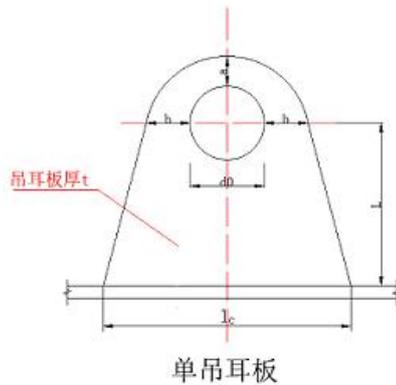
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=21.282/143.775+104.366/284=0.516 \leq 1$$

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):	100
顺受力方向,吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	110	吊孔直径d ₀ (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值f(N/mm ²)	205	吊耳板抗剪强度设计值f _v (N/mm ²)	120
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

参考GB50017-2017,对连接耳板进行如下验算:

$$N_s=\max\{N_1,N_2,N_3\}/2=364.365\text{kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e=2t+16=2 \times 20+16=56\text{mm} \leq b=100\text{mm}$$

满足要求!

$$4B_0/3 = 4 \times 56/3 = 74.667 \text{mm} \leq a = 110 \text{mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 100-60/3) = 56 \text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 364.365 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 162.663 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 364.365 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (110-2 \times 60/3)] = 130.13 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(110+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 136.748 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 364.365 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 136.748) = 66.612 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 120 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	60
销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	346

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

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3\} = 728.73 \text{kN}$$

(2) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 728.73 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 128.868 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 346 \text{N/mm}^2$$

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 (mm)	20
连接钢板角焊缝强度设计值 f_f^w (N/mm ²)	160

连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 l_c (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:

$$\sigma_N = (N_1/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (645.241 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 37.168 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_1/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (171.495 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 9.879 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_1 L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)^2/6] = (171.495 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2/6] = 28.68 \text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [\frac{(37.168 + 28.68)}{1.22}]^2 + 9.879^2]^{0.5} = 54.87 \text{N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N = (N_2/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (728.73 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 41.978 \text{N/mm}^2$$

$$\tau_v = (V_2/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)] = (291.19 \times 10^3/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)] = 16.774 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M = M/W = (V_2 L/2)/[2 \times 0.7h_f(l_c - 2h_f)^2/6] = (291.19 \times 10^3 \times 150/2)/[2 \times 0.7 \times 20 \times (350 - 2 \times 20)^2/6] = 48.698 \text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N + \sigma_M)}{\beta_f}]^2 + \tau_v^2]^{0.5} = [\frac{(41.978 + 48.698)}{1.22}]^2 + 16.774^2]^{0.5} = 76.194 \text{N/mm}^2 \leq f_f^w = 160 \text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(679.545\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=39.144\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(191.534\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=11.033\text{N/mm}^2$$

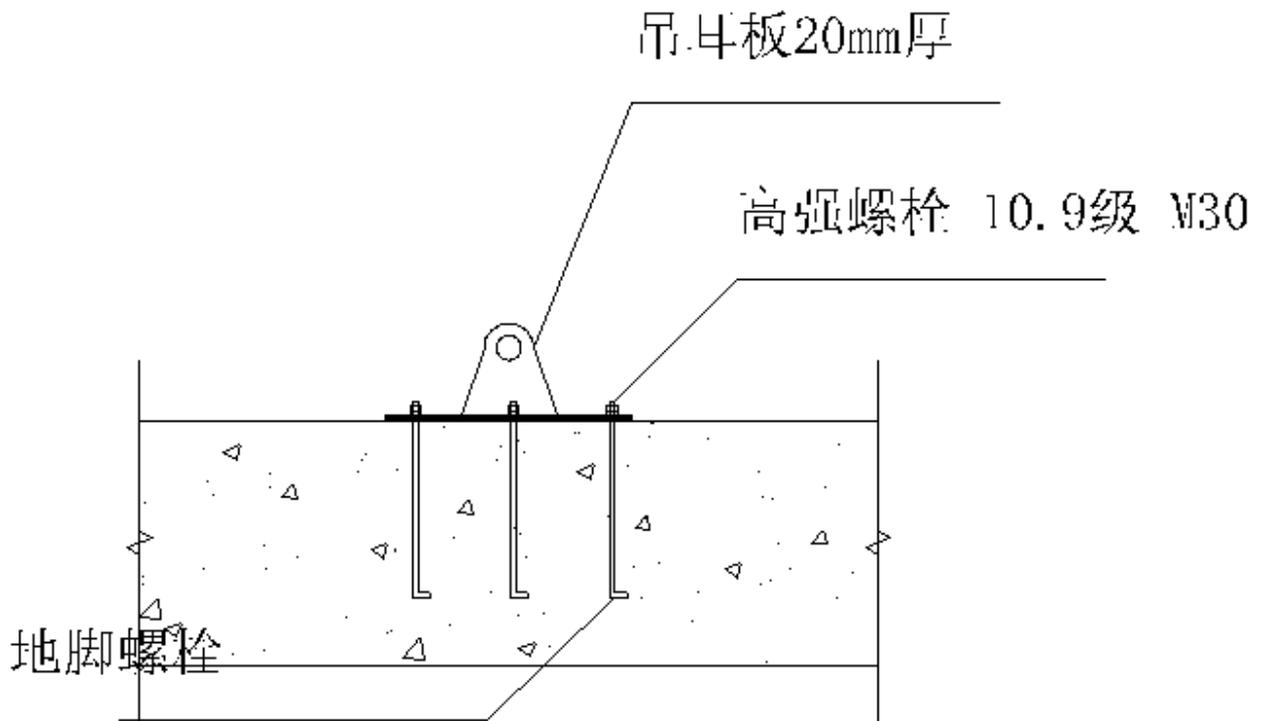
$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(191.534\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=32.031\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2)^{0.5}=[\frac{(39.144+32.031)}{1.22}]^2+11.033^2)^{0.5}=59.374\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

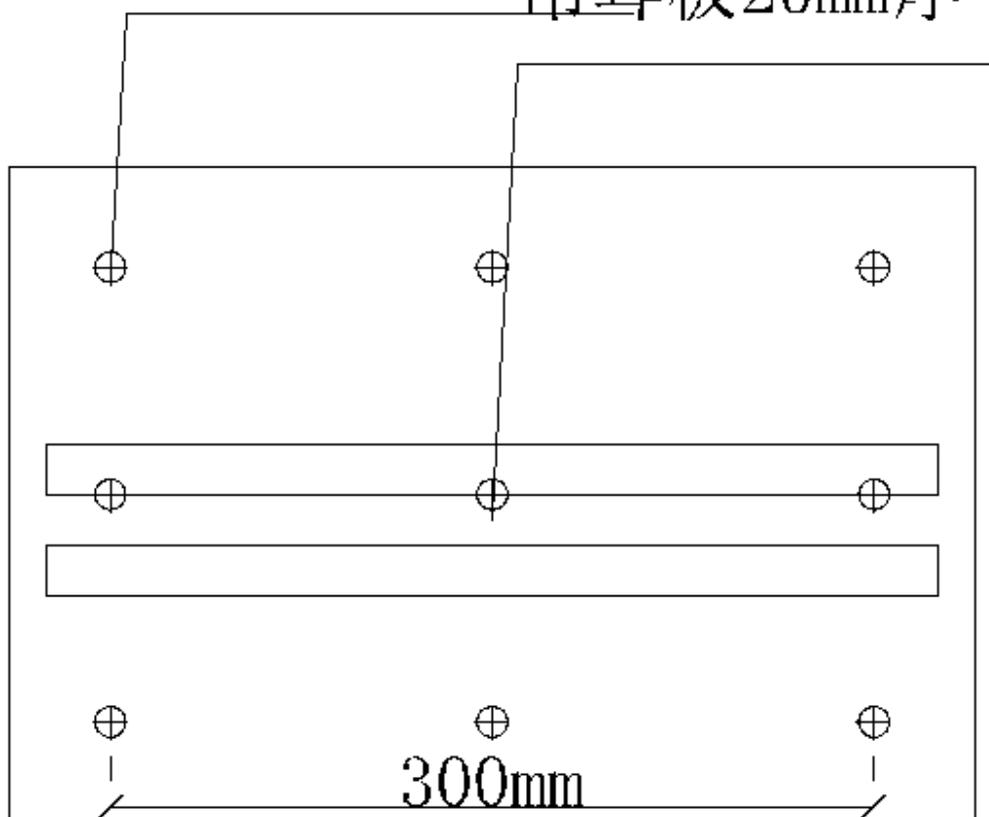
附着点3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



[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

7#中塔塔机第3道附着验算计算书

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	H7535	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度H(m)	105.88	塔身宽度B(m)	2
起重臂长度 l_1 (m)	57	平衡臂长度 l_2 (m)	21.5
起重臂与平衡臂截面计算高度h(m)	1.4	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1073
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	2749.5	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)	192.5

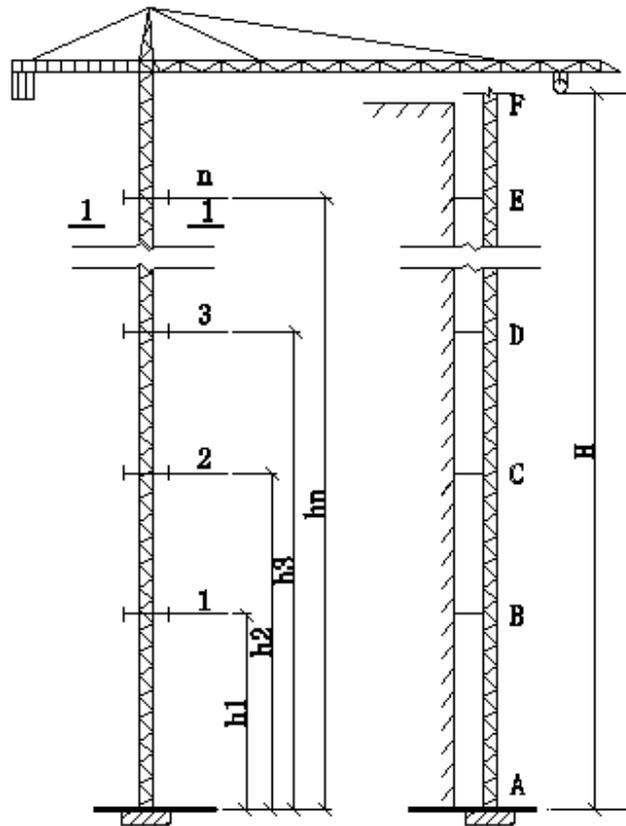
附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	III类
附墙杆截面类型	钢管	附墙杆钢管规格(mm)	Φ426×8
塔身锚固环边长C(m)	2.6		

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_1 (m)	3.52	点1到塔机的竖向距离 b_1 (m)	15
附着点2到塔机的横向距离 a_2 (m)	5.77	点2到塔机的竖向距离 b_2 (m)	14.82
附着点3到塔机的横向距离 a_3 (m)	3.74	点3到塔机的竖向距离 b_3 (m)	15.08
工作状态基本风压 ω_0 (kN/m ²)	0.2	非工作状态基本风压 ω_0' (kN/m ²)	0.35
塔身前后片桁架的平均充实率 α_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 μ_z	工作状态风荷载体型系数 μ_s	非工作状态风荷载体型系数 μ_s'	工作状态风振系数 β_z	非工作状态风振系数 β_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	29.38	29.38	0.755	1.95	1.95	1.79	1.836	0.354	0.636
第2次附着	47.38	18	0.864	1.95	1.95	1.763	1.813	0.399	0.718
第3次附着	65.38	18	0.972	1.95	1.95	1.74	1.787	0.443	0.797
悬臂端	105.88	40.5	1.19	1.95	1.95	1.699	1.75	0.53	0.955

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

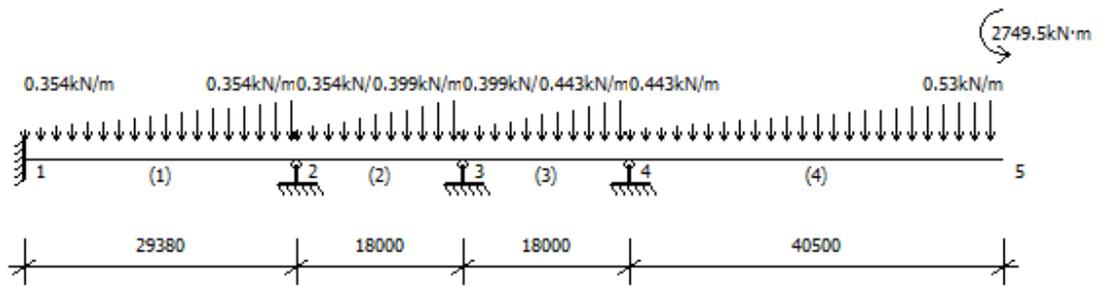
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

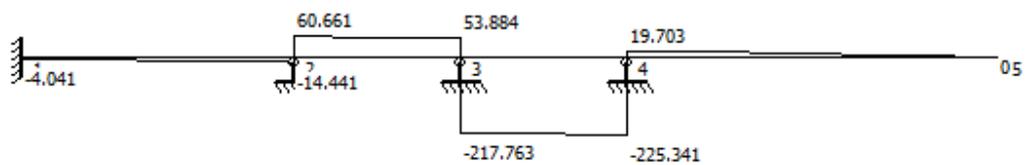
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 1073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

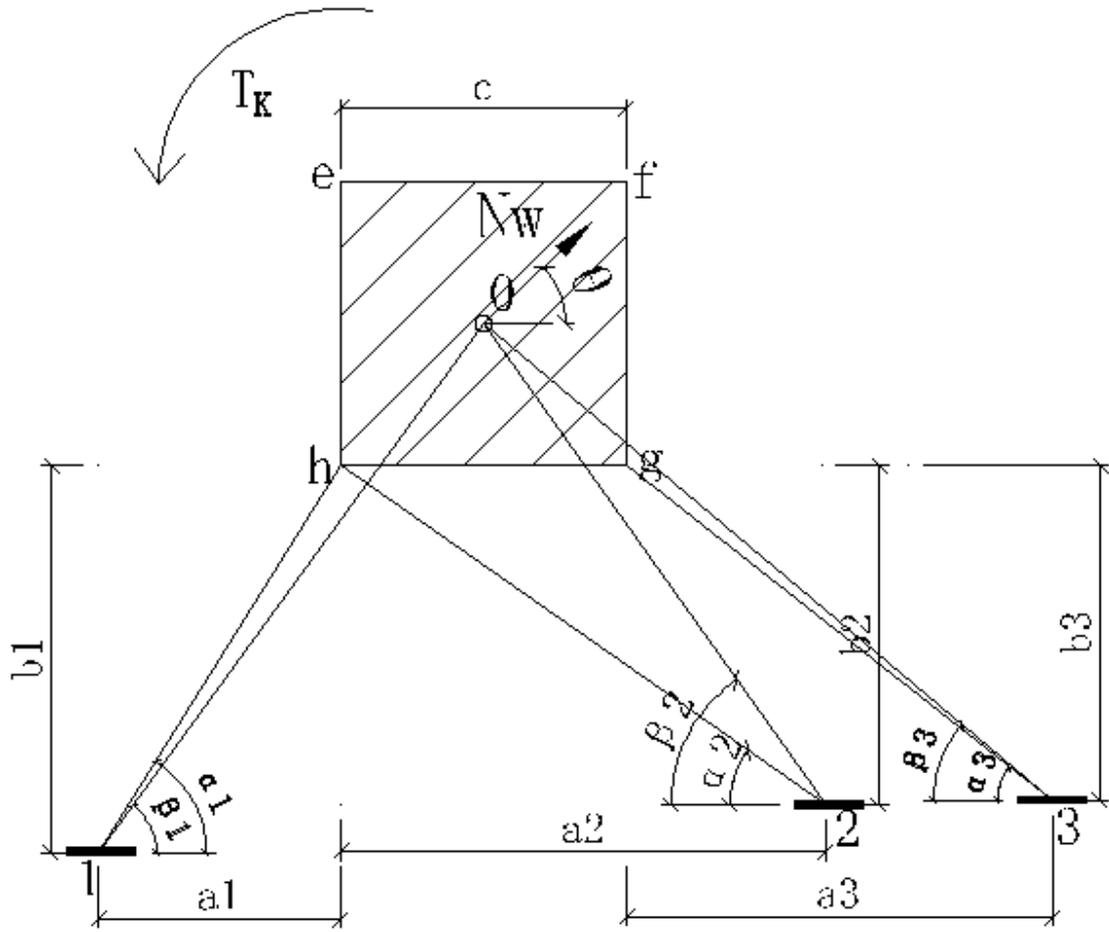
得： $R_E=271.647\text{kN}$

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。

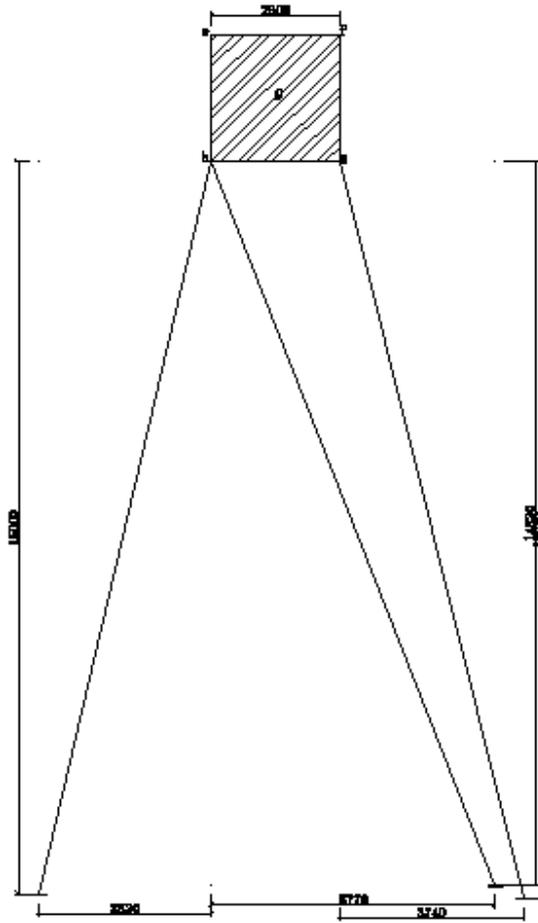
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=384.167\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 76.794^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 68.727^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 76.071^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 73.527^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 74.502^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 72.897^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_O = 0$$

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

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + T_2 \times \sin \alpha_2 \times c + N_w \times \cos \theta \times c/2 + N_w \times \sin \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_h=0$$

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

(1) θ 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 $T_1=812.624\text{kN}$, $T_2=852.343\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=618.353\text{kN}$, $T_2=169.592\text{kN}$, $T_3=704.945\text{kN}$

(2) θ 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:

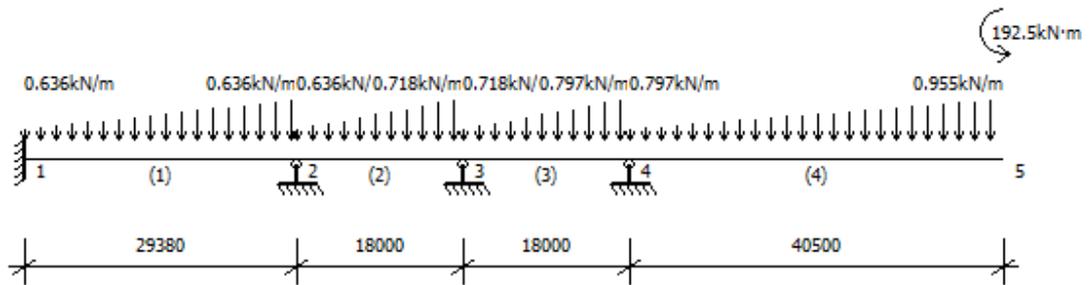
最大轴压力 $T_1=618.354\text{kN}$, $T_2=169.593\text{kN}$, $T_3=704.945\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=812.622\text{kN}$, $T_2=852.342\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

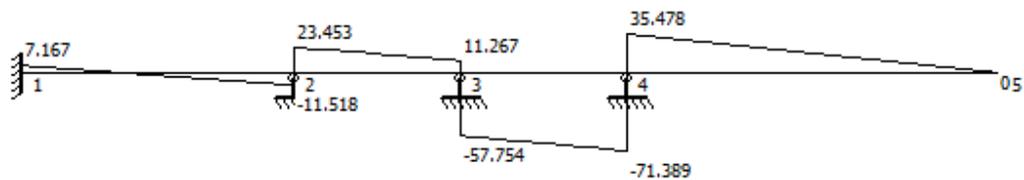
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

得： $R_E=106.867\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座4处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=106.867\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组 $T_k=0$ ， θ 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 $T_1=199.034\text{kN}$ ， $T_2=142.14\text{kN}$ ， $T_3=77.842\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=199.033\text{kN}$ ， $T_2=142.14\text{kN}$ ， $T_3=77.842\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426\times 8$	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	10505.486
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	147.812	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

$$\sigma=N/A=852343/10505.486=81.133\text{N}/\text{mm}^2\leq [f]=205\text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求！

2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆1长细比：

$$\lambda_1=L_0/i=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}/i=(3520^2+15000^2)^{0.5}/147.812=104.237\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1=0.528$$

满足要求！

附墙杆2长细比：

$$\lambda_2=L_0/i=(a_2^2+b_2^2)^{0.5}/i=(5770^2+14820^2)^{0.5}/147.812=107.594\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2=0.507$$

满足要求！

附墙杆3长细比：

$$\lambda_3=L_0/i=(a_3^2+b_3^2)^{0.5}/i=(3740^2+15080^2)^{0.5}/147.812=105.112\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_3=0.523$$

满足要求！

附墙杆1轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1 A f)=812622/(0.528\times 10505.486\times 205)=0.715\leq 1$$

满足要求!

附墙杆2轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f) = 852342 / (0.507 \times 10505.486 \times 205) = 0.781 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆3轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f) = 704945 / (0.523 \times 10505.486 \times 205) = 0.626 \leq 1$$

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	3
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:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 812.622 \times \sin 76.794^\circ = 791.131 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 812.622 \times \cos 76.794^\circ = 185.652 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 852.342 \times \sin 68.727^\circ = 794.266 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 852.342 \times \cos 68.727^\circ = 309.239 \text{ kN};$$

$$F_3 = N_3 \sin \alpha_3 = 704.945 \times \sin 76.071^\circ = 684.216 \text{ kN}, V_3 = N_3 \cos \alpha_3 = 704.945 \times \cos 76.071^\circ = 169.693 \text{ kN};$$

2、螺栓承载力计算

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

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

(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

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

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

$$\sum X^2 = 3 \times [(300/2)^2 + (300/2 - 1 \times 300/2)^2 + (300/2 - 2 \times 300/2)^2] = 135000\text{mm}^2$$

附着点1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 185.652 \times 0.15 \times 150 / 135 = 30.942\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 791.131 / (3 \times 3) + 30.942 = 118.845\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 185.652 / (3 \times 3) = 20.628\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 20.628 / 143.775 + 118.845 / 284 = 0.562 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 309.239 \times 0.15 \times 150 / 135 = 51.54\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 794.266 / (3 \times 3) + 51.54 = 139.792\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 309.239 / (3 \times 3) = 34.36\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 34.36 / 143.775 + 139.792 / 284 = 0.731 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=169.693 \times 0.15 \times 150/135=28.282\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=684.216/(3 \times 3)+28.282=104.306\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=169.693/(3 \times 3)=18.855\text{kN}$$

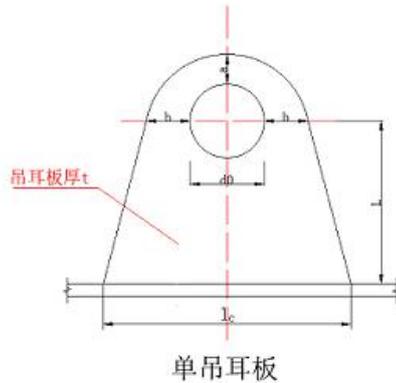
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=18.855/143.775+104.306/284=0.498 \leq 1$$

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):	100
顺受力方向,吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	110	吊孔直径d ₀ (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值f(N/mm ²)	205	吊耳板抗剪强度设计值f _v (N/mm ²)	120
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

参考GB50017-2017,对连接耳板进行如下验算:

$$N_s=\max\{N_1,N_2,N_3\}/2=426.171\text{kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e=2t+16=2 \times 20+16=56\text{mm} \leq b=100\text{mm}$$

满足要求!

$$4B_0/3 = 4 \times 56/3 = 74.667 \text{mm} \leq a = 110 \text{mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 100-60/3) = 56 \text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 426.171 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 190.255 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 426.171 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (110-2 \times 60/3)] = 152.204 \text{N/mm}^2 \leq f = 205 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(110+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 136.748 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 426.171 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 136.748) = 77.912 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 120 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	60
销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	346

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

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3\} = 852.342 \text{kN}$$

(2) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 852.342 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 150.727 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 346 \text{N/mm}^2$$

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 (mm)	20
连接钢板角焊缝强度设计值 f_t^w (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:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(812.622\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=46.81\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(185.652\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=10.694\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(185.652\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=31.048\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(46.81+31.048)}{1.22}+10.694^2]^{0.5}=64.708\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(852.342\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=49.098\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(309.239\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=17.813\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(309.239\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=51.716\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(49.098+51.716)}{1.22}+17.813^2]^{0.5}=84.533\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(704.945\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=40.607\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(169.693\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=9.775\text{N/mm}^2$$

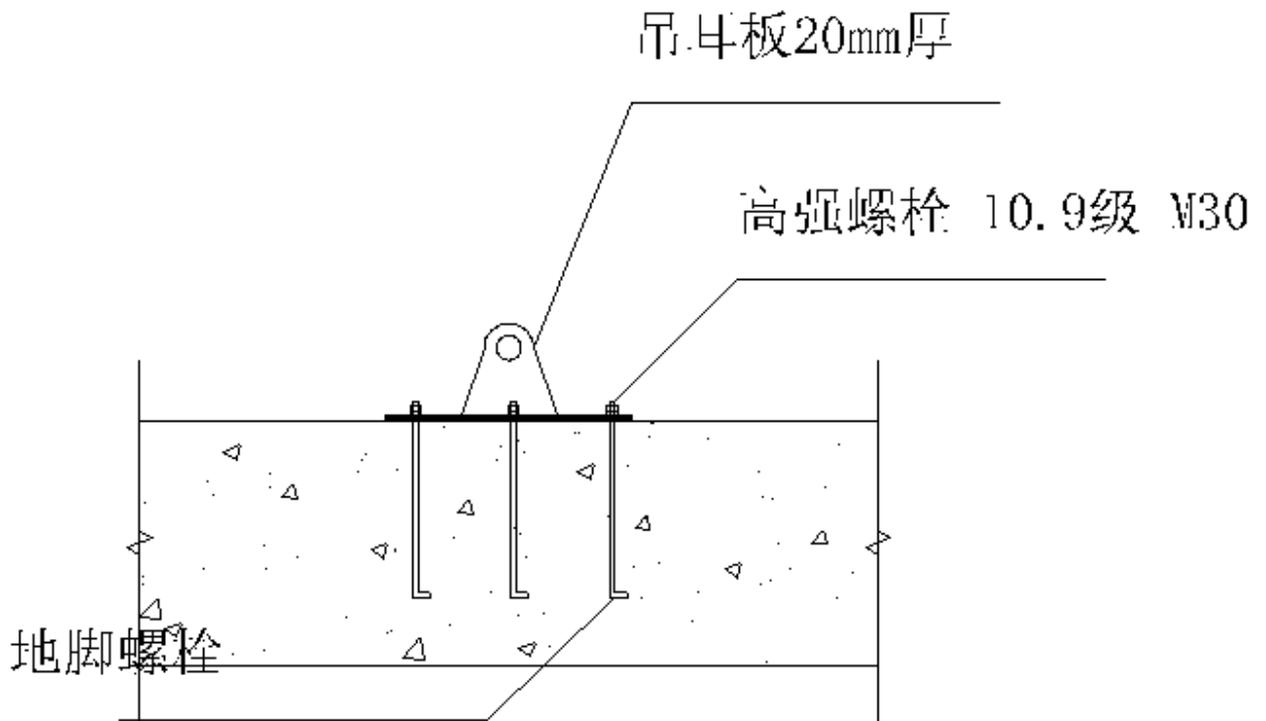
$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(169.693\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=28.379\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2)^{0.5}=[\frac{(40.607+28.379)}{1.22}]^2+9.775^2)^{0.5}=57.385\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

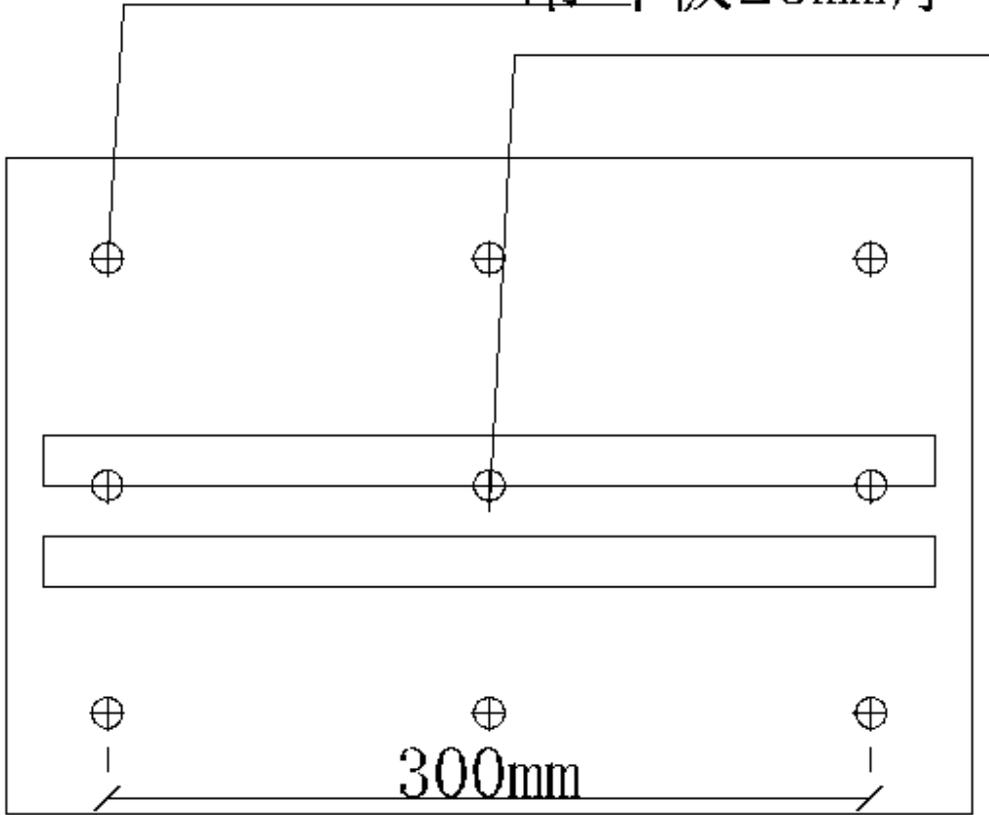
附着点3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



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

7#中塔塔机第4道附着验算计算书

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	H7535	塔身桁架结构类型	角钢
塔机计算高度H(m)	111.88	塔身宽度B(m)	2
起重臂长度 l_1 (m)	57	平衡臂长度 l_2 (m)	21.5
起重臂与平衡臂截面计算高度h(m)	1.4	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1073
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	2749.5	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)	192.5

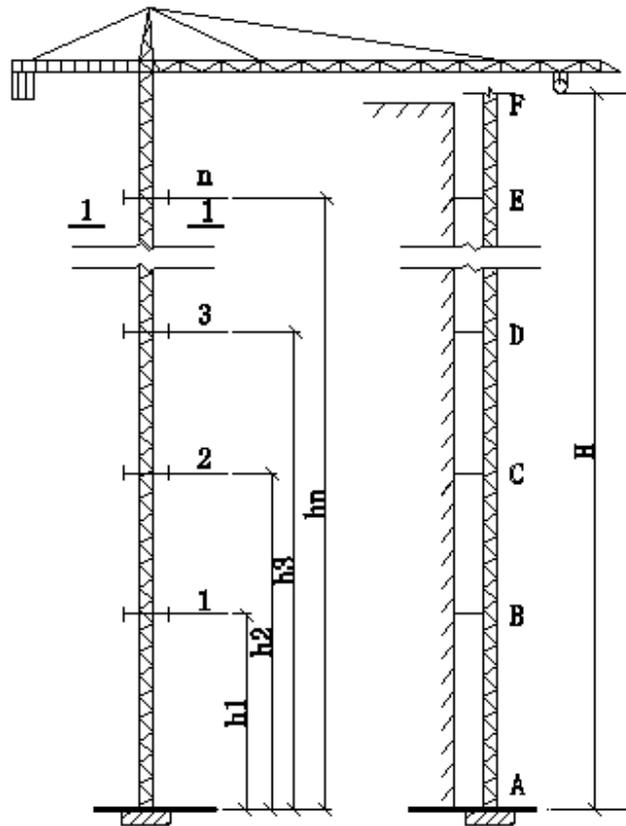
附着杆数	三杆附着	附墙杆类型	III类
附墙杆截面类型	钢管	附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426 \times 8$
塔身锚固环边长C(m)	2.6		

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_1 (m)	3.288	点1到塔机的竖向距离 b_1 (m)	15.26
附着点2到塔机的横向距离 a_2 (m)	4.99	点2到塔机的竖向距离 b_2 (m)	14.65
附着点3到塔机的横向距离 a_3 (m)	3.2	点3到塔机的竖向距离 b_3 (m)	15.16
工作状态基本风压 ω_0 (kN/m ²)	0.2	非工作状态基本风压 ω_0' (kN/m ²)	0.35
塔身前后片桁架的平均充实率 α_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 μ_z	工作状态风荷载体型系数 μ_s	非工作状态风荷载体型系数 μ_s'	工作状态风振系数 β_z	非工作状态风振系数 β_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	29.38	29.38	0.755	1.95	1.95	1.79	1.836	0.354	0.636
第2次附着	47.38	18	0.864	1.95	1.95	1.763	1.813	0.399	0.718
第3次附着	65.38	18	0.972	1.95	1.95	1.74	1.787	0.443	0.797
第4次附着	80.38	15	1.054	1.95	1.95	1.711	1.763	0.473	0.852
悬臂端	111.88	31.5	1.217	1.95	1.95	1.694	1.75	0.54	0.977

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

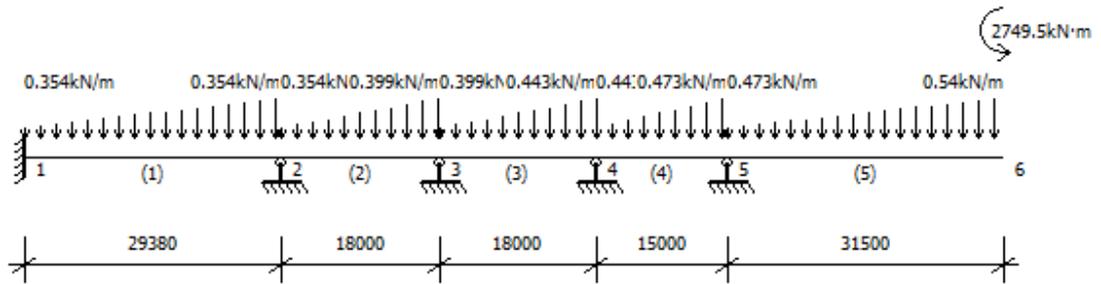
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

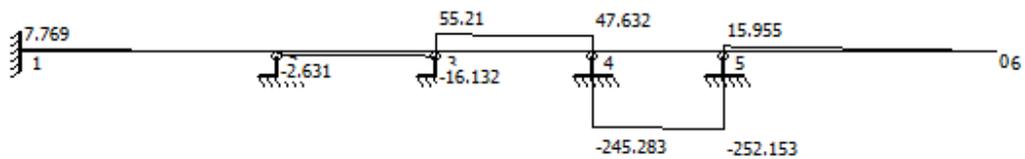
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值：

$$T_k = T_{k1} = 1073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

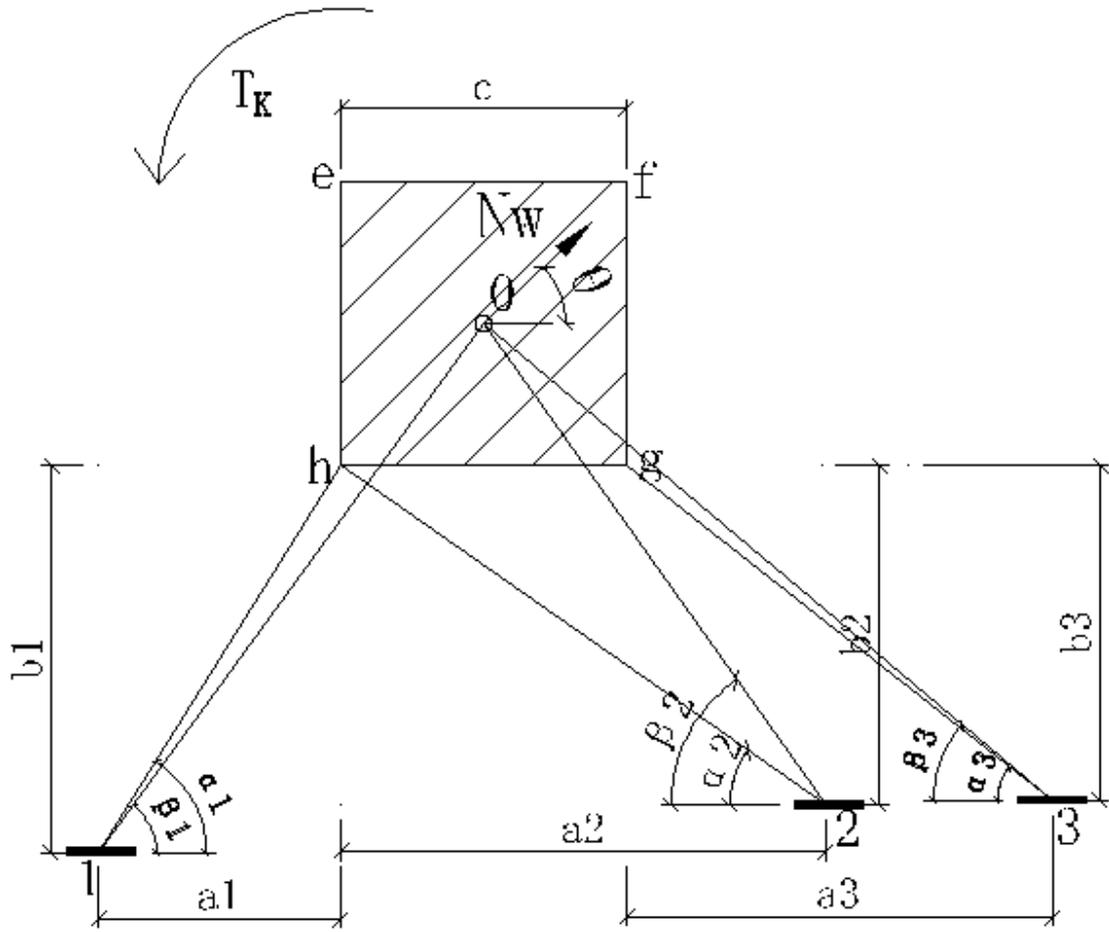
得： $R_E=292.916\text{kN}$

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。

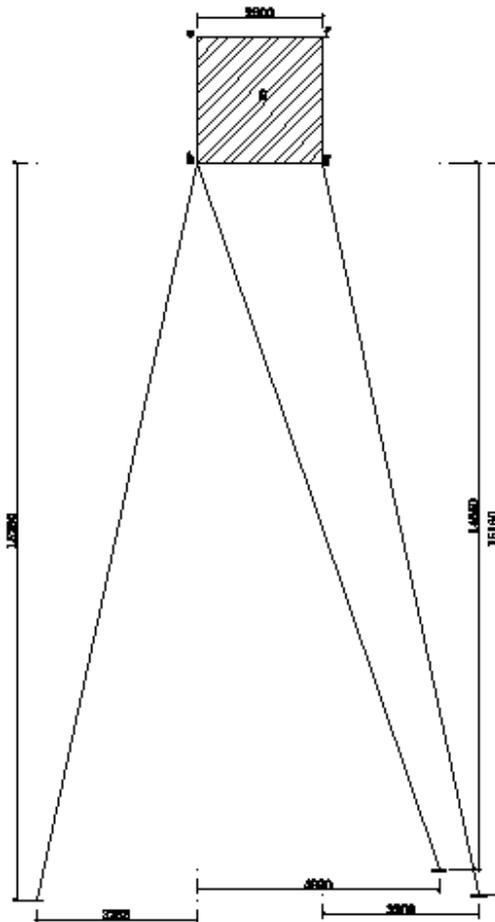
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=414.246\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 77.841^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 71.19^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 78.081^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan((b_1+c/2)/(a_1+c/2)) = 74.514^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2+c/2)/(a_2-c/2)) = 76.974^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3+c/2)/(a_3+c/2)) = 74.71^\circ$$

各杆件轴力计算：

$$\Sigma M_O = 0$$

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

$$\Sigma M_g = 0$$

$$T_1 \times \sin \alpha_1 \times c + T_2 \times \sin \alpha_2 \times c + N_w \times \cos \theta \times c/2 + N_w \times \sin \theta \times c/2 - T_k = 0$$

$$\Sigma M_H=0$$

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

(1) θ 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 $T_1=926.855\text{kN}$, $T_2=954.815\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=740.514\text{kN}$, $T_2=275.28\text{kN}$, $T_3=721.141\text{kN}$

(2) θ 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:

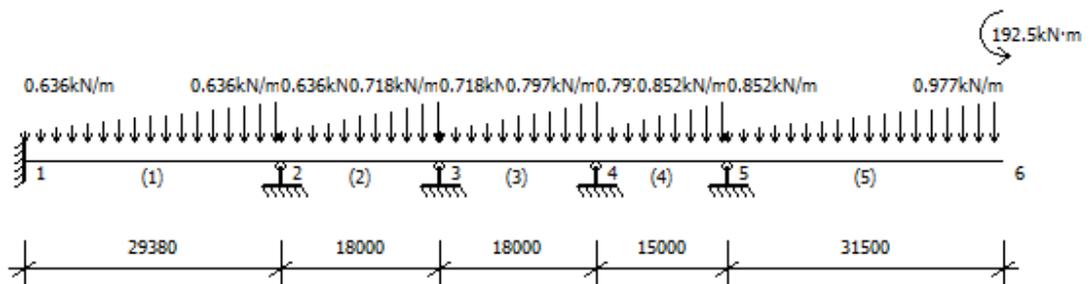
最大轴压力 $T_1=740.517\text{kN}$, $T_2=275.283\text{kN}$, $T_3=721.141\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=926.852\text{kN}$, $T_2=954.812\text{kN}$, $T_3=0\text{kN}$

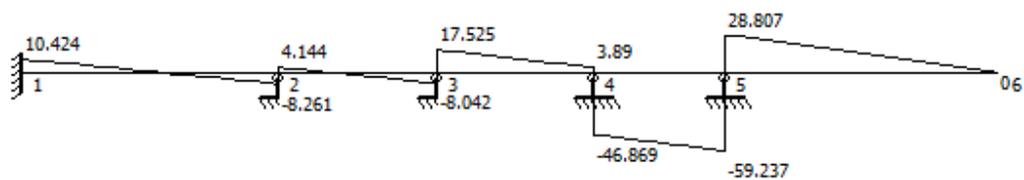
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

得： $R_E=88.044\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座5处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=88.044\text{kN}$ 。

根据工作状态方程组 $T_k=0$ ， θ 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 $T_1=177.192\text{kN}$ ， $T_2=130.722\text{kN}$ ， $T_3=63.627\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=177.191\text{kN}$ ， $T_2=130.723\text{kN}$ ， $T_3=63.627\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

附墙杆钢管规格(mm)	$\Phi 426\times 8$	附墙杆截面面积 $A(\text{mm}^2)$	10505.486
附墙杆截面回转半径 $i(\text{mm})$	147.812	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

$$\sigma=N/A=954815/10505.486=90.887\text{N}/\text{mm}^2\leq [f]=205\text{N}/\text{mm}^2$$

满足要求！

2、杆件轴心受压强度验算

附墙杆1长细比：

$$\lambda_1=L_0/i=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}/i=(3288^2+15260^2)^{0.5}/147.812=105.609\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_1=0.519$$

满足要求！

附墙杆2长细比：

$$\lambda_2=L_0/i=(a_2^2+b_2^2)^{0.5}/i=(4990^2+14650^2)^{0.5}/147.812=104.704\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_2=0.525$$

满足要求！

附墙杆3长细比：

$$\lambda_3=L_0/i=(a_3^2+b_3^2)^{0.5}/i=(3200^2+15160^2)^{0.5}/147.812=104.823\leq [\lambda]=120, \text{查规范表得:}$$

$$\varphi_3=0.524$$

满足要求！

附墙杆1轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1 A f)=926852/(0.519\times 10505.486\times 205)=0.829\leq 1$$

满足要求!

附墙杆2轴心受压稳定验算:

$$N_2/(\varphi_2 A_f) = 954812 / (0.525 \times 10505.486 \times 205) = 0.844 \leq 1$$

满足要求!

附墙杆3轴心受压稳定验算:

$$N_3/(\varphi_3 A_f) = 721141 / (0.524 \times 10505.486 \times 205) = 0.639 \leq 1$$

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	3
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:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 926.852 \times \sin 77.841^\circ = 906.059 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 926.852 \times \cos 77.841^\circ = 195.224 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 954.812 \times \sin 71.19^\circ = 903.821 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 954.812 \times \cos 71.19^\circ = 307.854 \text{ kN};$$

$$F_3 = N_3 \sin \alpha_3 = 721.141 \times \sin 78.081^\circ = 705.593 \text{ kN}, V_3 = N_3 \cos \alpha_3 = 721.141 \times \cos 78.081^\circ = 148.938 \text{ kN};$$

2、螺栓承载力计算

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

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

(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

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

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

$$\sum x^2 = 3 \times [(300/2)^2 + (300/2 - 1 \times 300/2)^2 + (300/2 - 2 \times 300/2)^2] = 135000\text{mm}^2$$

附着点1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum x^2 = 195.224 \times 0.15 \times 150 / 135 = 32.537\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 906.059 / (3 \times 3) + 32.537 = 133.21\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 195.224 / (3 \times 3) = 21.692\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 21.692 / 143.775 + 133.21 / 284 = 0.62 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}} = (V_2 L \cdot X_{\max}) / \sum x^2 = 307.854 \times 0.15 \times 150 / 135 = 51.309\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2 / mn + N_{\text{附加}} = 903.821 / (3 \times 3) + 51.309 = 151.734\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2 / mn = 307.854 / (3 \times 3) = 34.206\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 34.206 / 143.775 + 151.734 / 284 = 0.772 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=148.938 \times 0.15 \times 150/135=24.823\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=705.593/(3 \times 3)+24.823=103.222\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=148.938/(3 \times 3)=16.549\text{kN}$$

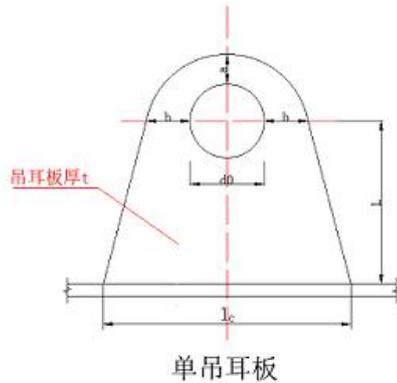
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=16.549/143.775+103.222/284=0.479 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

3、吊耳板计算

吊耳板厚t(mm)	25	吊耳板两侧边缘与吊孔边缘净距 b(mm):	100
顺受力方向,吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	110	吊孔直径d ₀ (mm)	60
吊耳板抗拉强度设计值f(N/mm ²)	205	吊耳板抗剪强度设计值f _v (N/mm ²)	120
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

参考GB50017-2017,对连接耳板进行如下验算:

$$N_s=\max\{N_1,N_2,N_3\}/2=477.406\text{kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e=2t+16=2 \times 25+16=66\text{mm} \leq b=100\text{mm}$$

满足要求!

$$4B_0/3 = 4 \times 66/3 = 88\text{mm} \leq a = 110\text{mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 25+16, 100-60/3) = 66\text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 477.406 \times 10^3 / (2 \times 25 \times 66) = 144.668\text{N/mm}^2 \leq f = 205\text{N/mm}^2$$

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

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 477.406 \times 10^3 / [2 \times 25 \times (110-2 \times 60/3)] = 136.402\text{N/mm}^2 \leq f = 205\text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(110+60/2)^2 - (60/2)^2]^{0.5} = 136.748\text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 477.406 \times 10^3 / (2 \times 25 \times 136.748) = 69.823\text{N/mm}^2 \leq f_v = 120\text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	60
销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	346

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

$$F = \max\{N_1, N_2, N_3\} = 954.812\text{kN}$$

(2) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 954.812 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 60^2 / 4) = 168.848\text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 346\text{N/mm}^2$$

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 (mm)	20
连接钢板角焊缝强度设计值 f_f^w (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:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(926.852\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=53.39\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(195.224\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=11.246\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(195.224\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=32.649\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(53.39+32.649)}{1.22}+11.246^2]^{0.5}=71.415\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(954.812\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=55.001\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(307.854\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=17.734\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(307.854\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=51.484\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(55.001+51.484)}{1.22}+17.734^2]^{0.5}=89.066\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(721.141\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=41.54\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(148.938\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)]=8.579\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(148.938\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (350-2\times 20)^2/6]=24.908\text{N/mm}^2$$

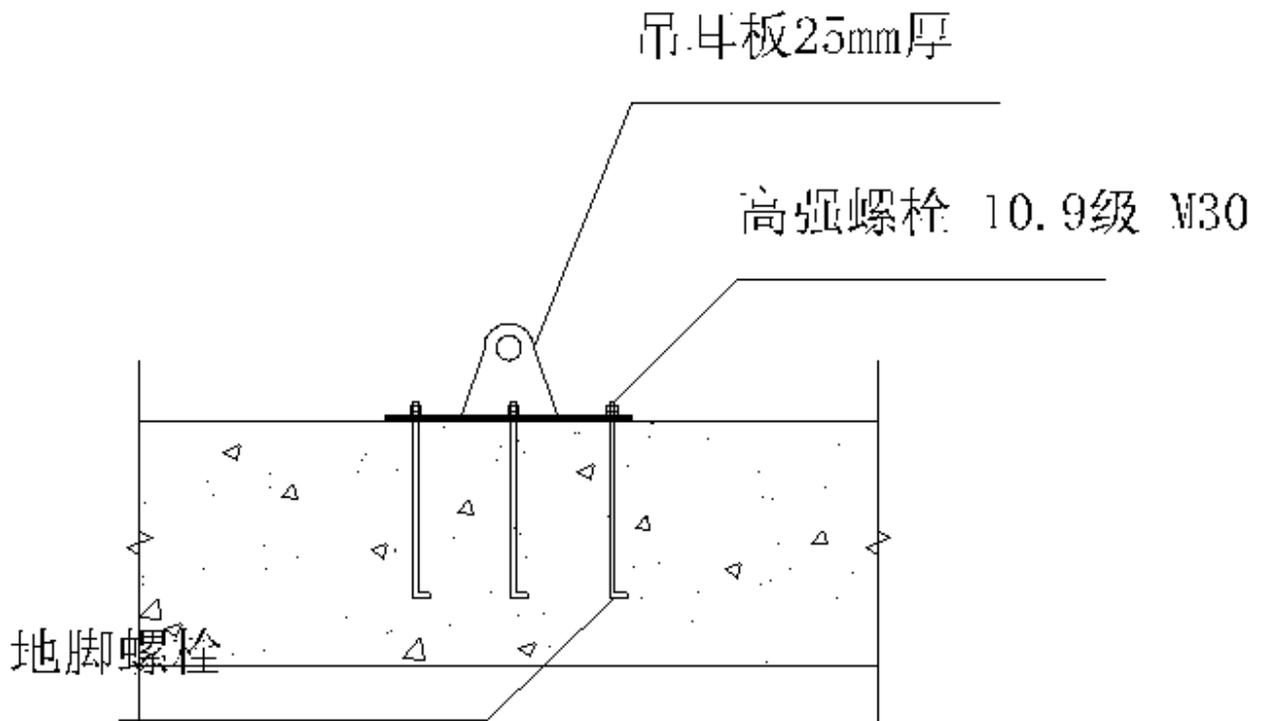
连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v]^2]^{0.5}=[\frac{(41.54+24.908)}{1.22}+8.579]^2]^{0.5}=55.137\text{N/mm}^2\leq$$

$$f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

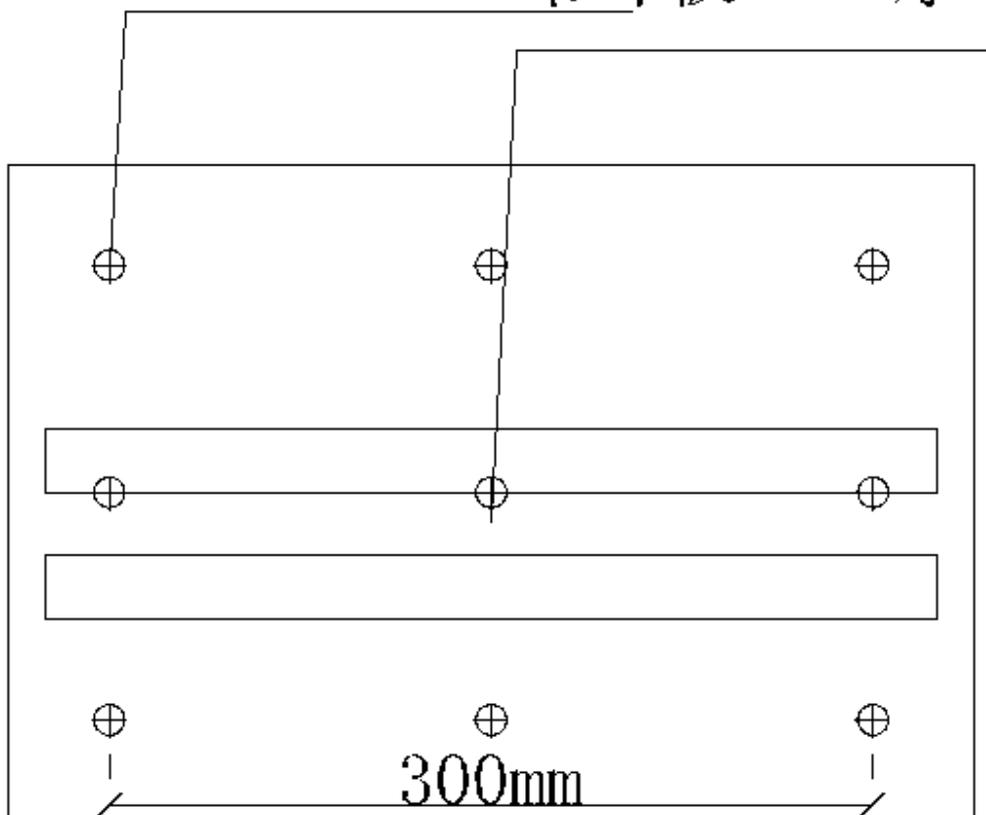
附着点3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板

高强螺栓 10.9级 M30
吊耳板 25mm厚



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

塔吊附着预埋件计算

根据预埋件最不利的状态进行控制分析，在工作状态求得的最大轴拉力 $T_1=935.696\text{kN}$ 。 $\alpha_1=77.872^\circ$

以剪力 $V=T_1\cos\alpha_1=196.59\text{kN}$ ， $N=914.81$ ， $M=0$ 进行设计，

根据《混凝土结构设计规范（2015年版）》（GB 50010-2010）9.7.2-1、9.7.2-2：

$$A_s \geq \frac{V}{\alpha_r \alpha_v f_y} + \frac{N}{0.8 \alpha_b f_y} + \frac{M}{1.3 \alpha_r \alpha_b f_y z}$$
$$A_s \geq \frac{N}{0.8 \alpha_b f_y} + \frac{M}{0.4 \alpha_r \alpha_b f_y z}$$

其中： α_r 为锚板层数的影响系数，取1.0

α_b 为锚板弯曲变形的折减系数， $\alpha_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d} = 1.0$ ， $d=40\text{mm}$ ， $t=25\text{mm}$

α_v 为锚筋的受剪承载力系数， $\alpha_v = (4 - 0.08d) \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} = 0.212$ ， f_y 为钢筋抗拉强度

设计值，取 360N/mm^2 ， f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值，取 25.3N/mm^2

A 为锚板面积， $A=192500\text{mm}^2$

由上式可知， $A_s \geq 5752\text{mm}^2$ ，而预埋件为6根直径 $\Phi 40$ 材料 HRB400 的钢筋，其作用面积 $A_s=7539\text{mm}^2 > 5752\text{mm}^2$ ，预埋件满足设计和规范要求。

根据《混凝土结构设计规范（2015年版）》（GB 50010-2010）8.3 条计算直锚筋的锚固长度：

$$\text{直锚筋基本长度： } l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d = 0.14 \times \frac{360}{1.96} \times 40 = 1029\text{mm}$$

$$\text{受拉筋锚固长度： } l_a = \zeta_a l_{ab} = 1.1 \times 1029 = 1132\text{mm}$$

此处锚筋的锚固长度取 1200mm 。