

下游矮塔第 1 道计算书

计算依据:

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	徐工 XGT8040-25	塔身桁架结构类型	方钢管
塔机计算高度 H(m)	98.65	塔身宽度 B(m)	2.5
起重臂长度 l_1 (m)	45	平衡臂长度 l_2 (m)	24.9
起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	1.56	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1498
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	3750.3	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)	2935.5(反向)

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	3.212

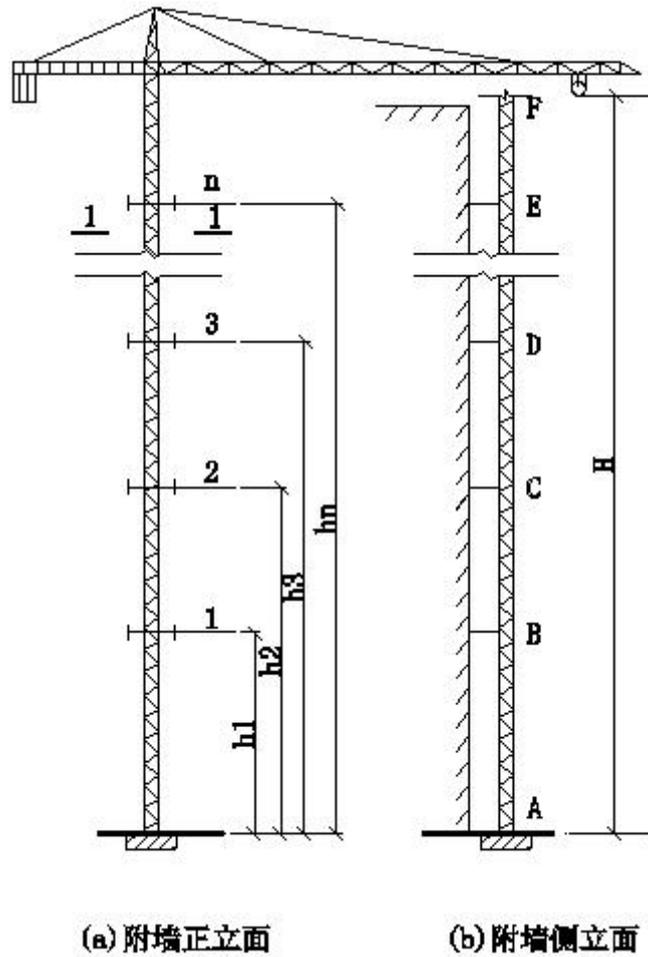
二、风荷载及附着参数

附着次数 N	1		
附着点 1 到塔机的横向距离 a_1 (m)	2.448	点 1 到塔机的竖向距离 b_1 (m)	9.299
附着点 2 到塔机的横向距离 a_2 (m)	3.993	点 2 到塔机的竖向距离 b_2 (m)	6.906
附着点 3 到塔机的横向距离 a_3 (m)	2.751	点 3 到塔机的竖向距离 b_3 (m)	7.441
附着点 4 到塔机的横向距离 a_4 (m)	1.111	点 4 到塔机的竖向距离 b_4 (m)	10.075
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	33.6	33.6	1.24	1.95	1.95	1.587	1.628	0.645	1.157

悬臂端	98.65	65.05	1.65	1.95	1.95	1.568	1.614	0.848	1.527
-----	-------	-------	------	------	------	-------	-------	-------	-------

附图如下:



[塔机附着立面图](#)

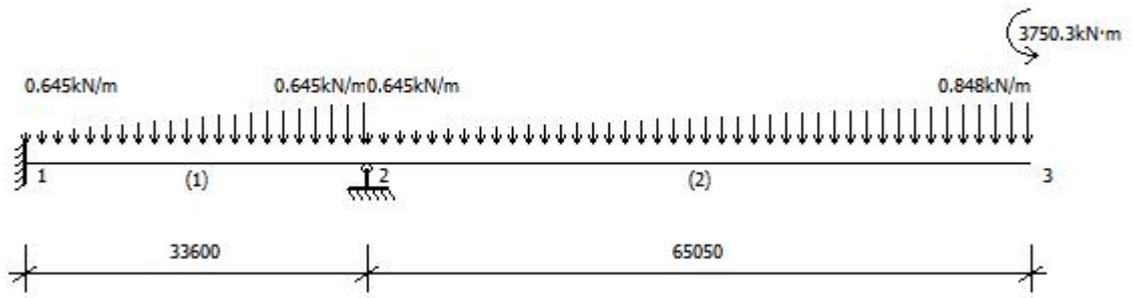
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

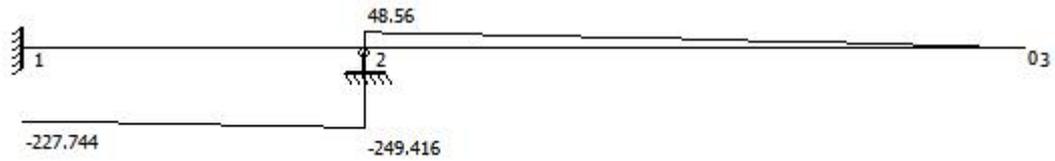
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

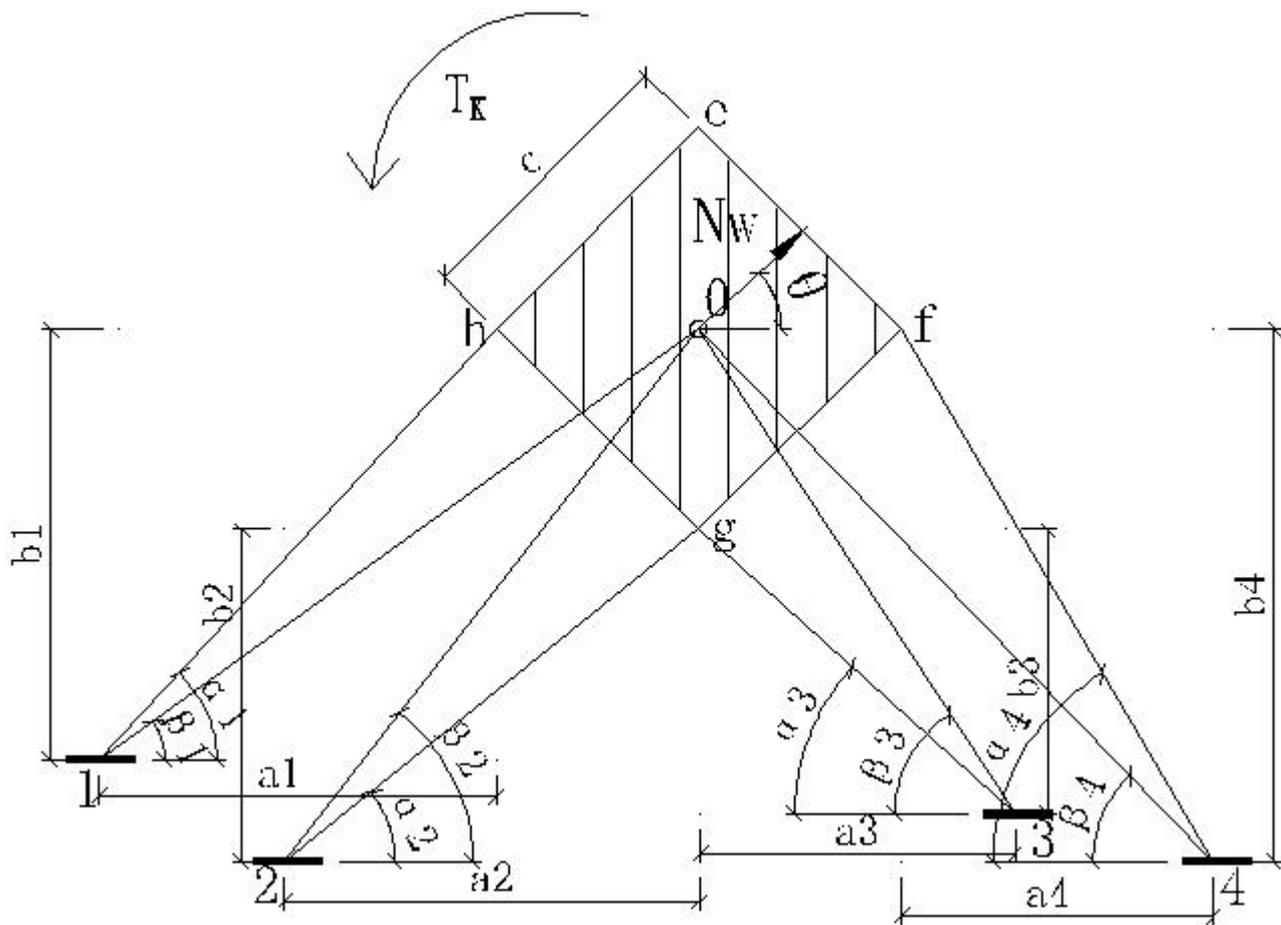
得： $R_E=297.976\text{kN}$

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。

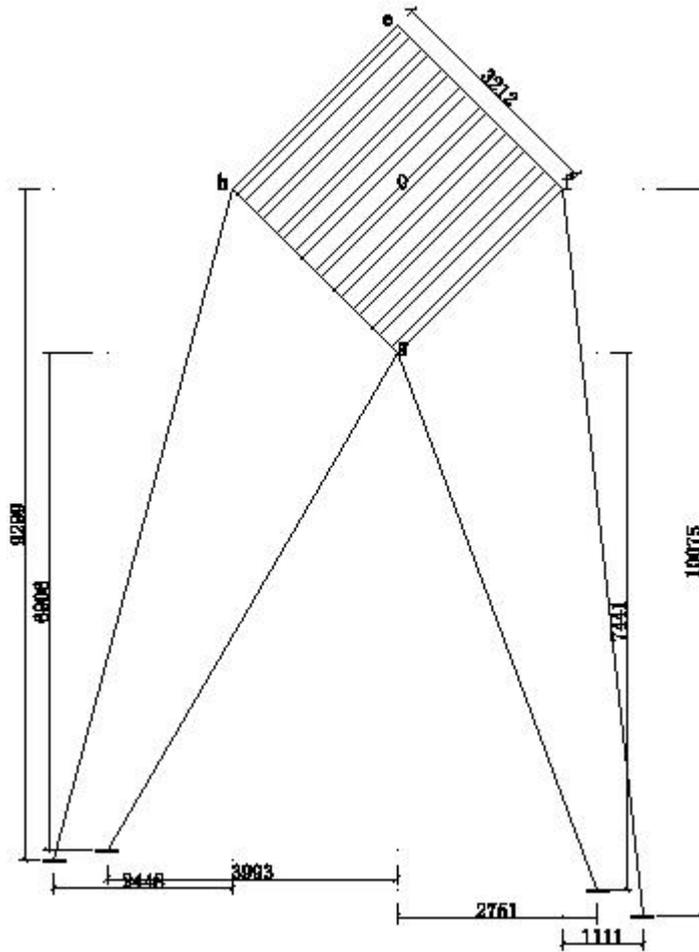
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=421.402\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 75.251^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 59.964^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 69.71^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 83.707^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 63.092^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 66.486^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 74.185^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 71.443^\circ$$

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

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

$X_1=1$ 时，各杆件轴力计算：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

各杆轴力计算公式如下：

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

(1) 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：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 443.973 \text{ kN}, \quad T_2 = 154.753 \text{ kN}, \quad T_3 = 522.801 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 610.61 \text{ kN}, \quad T_3 = 611.448 \text{ kN}, \quad T_4 = 520.76 \text{ kN}$$

(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：

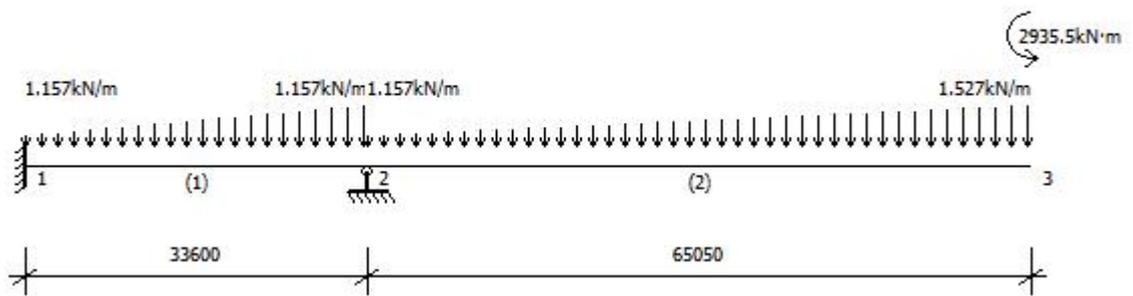
最大轴压力 $T_1=0\text{kN}$, $T_2=610.609\text{kN}$, $T_3=611.448\text{kN}$, $T_4=520.76\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=443.974\text{kN}$, $T_2=154.755\text{kN}$, $T_3=522.801\text{kN}$, $T_4=0\text{kN}$

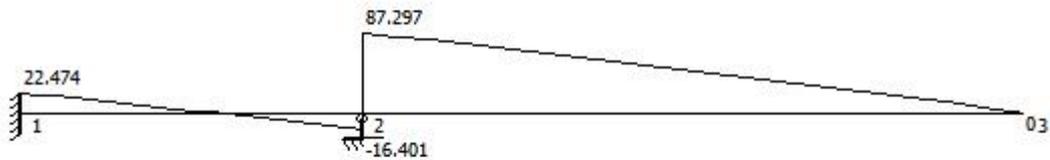
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

得: $R_E=103.698\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座 2 处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=103.698\text{kN}$ 。

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:

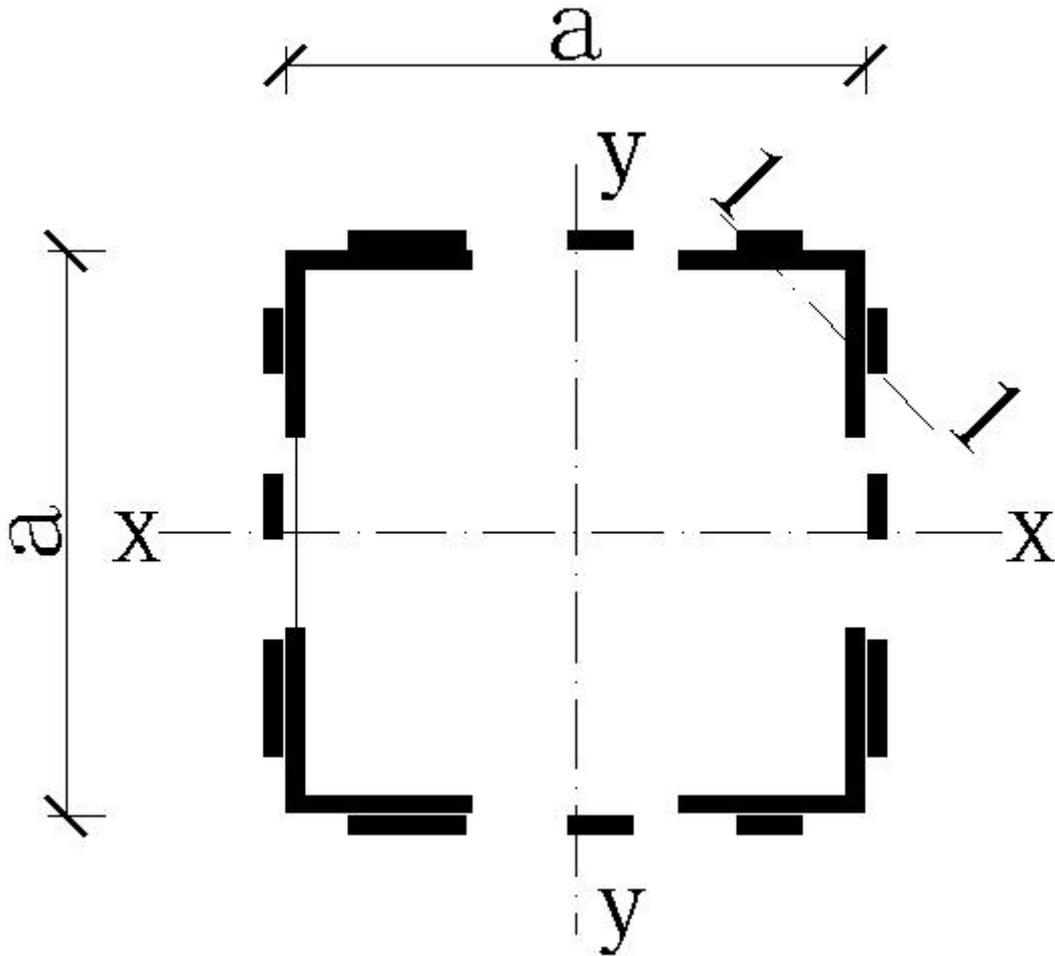
最大轴压力 $T_1=48.387\text{kN}$, $T_2=94.17\text{kN}$, $T_3=139.558\text{kN}$, $T_4=48.444\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=48.387\text{kN}$, $T_2=94.17\text{kN}$, $T_3=139.557\text{kN}$, $T_4=48.444\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

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

附图如下:



塔机附着格构柱截面

1、杆件轴心受拉强度验算

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

$$\sigma=N/A=611448/7704=79.368\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=9615.826\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

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

$$\text{整个构件长细比: } \lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=961.583/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=55.17$$

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

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

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和：

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

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(55.17^2+40\times 7704/960)^{0.5}=58.006$$

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_{01\max}=58.006\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.818$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$$\lambda_{02\max}=49.151\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.86$$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$$\lambda_{03\max}=48.915\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.861$$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$$\lambda_{04\max}=60.852\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.803$$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1Af)=443974/(0.818\times 7704\times 210)=0.335\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2Af)=610610/(0.86\times 7704\times 210)=0.439\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3Af)=611448/(0.861\times 7704\times 210)=0.439\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 4 轴心受压稳定验算：

$$N_4/(\varphi_4Af)=520760/(0.803\times 7704\times 210)=0.401\leq 1$$

满足要求!

3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1=20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 58.006=40.604$$

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{02\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{03\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 60.852=42.596$$

满足要求!

4、缀件验算

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

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

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

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

斜缀条轴向压力值:

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

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

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

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

等边角钢计算稳定性系数:

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

缀条稳定验算:

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

满足要求!

需要焊缝长度:

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

满足要求!

六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q355	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)	290

1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1=N_1\sin\alpha_1=443.974\times\sin 75.251^\circ=429.346\text{kN}, V_1=N_1\cos\alpha_1=443.974\times\cos 75.251^\circ=113.$$

027kN;

$F_2=N_2\sin\alpha_2=610.61\times\sin59.964^\circ=528.611\text{kN}$, $V_2=N_2\cos\alpha_2=610.61\times\cos59.964^\circ=305.6$
39kN;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=611.448\times\sin69.71^\circ=573.508\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=611.448\times\cos69.71^\circ=212.0$
31kN;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=520.76\times\sin83.707^\circ=517.622\text{kN}$, $V_4=N_4\cos\alpha_4=520.76\times\cos83.707^\circ=57.08$
kN;

2、螺栓承载力计算

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

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

(1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$$X_{\max}=S/2=290/2=145\text{mm}$$

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

$$\sum X^2 = 3 \times [(290/2)^2 + (290/2 - 1 \times 290/2)^2 + (290/2 - 2 \times 290/2)^2] = 126150\text{mm}^2$$

附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 113.027 \times 0.15 \times 145 / 126.15 = 19.487\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 429.346 / (3 \times 3) + 19.487 = 67.192\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 113.027 / (3 \times 3) = 12.559\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 12.559 / 143.775 + 67.192 / 284 = 0.324 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=305.639\times 0.15\times 145/126.15=52.696\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=528.611/(3\times 3)+52.696=111.431\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=305.639/(3\times 3)=33.96\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=33.96/143.775+111.431/284=0.629\leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=212.031\times 0.15\times 145/126.15=36.557\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=573.508/(3\times 3)+36.557=100.28\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=212.031/(3\times 3)=23.559\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=23.559/143.775+100.28/284=0.517\leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L\cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=57.08\times 0.15\times 145/126.15=9.841\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=517.622/(3\times 3)+9.841=67.355\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 57.08 / (3 \times 3) = 6.342 \text{ kN}$$

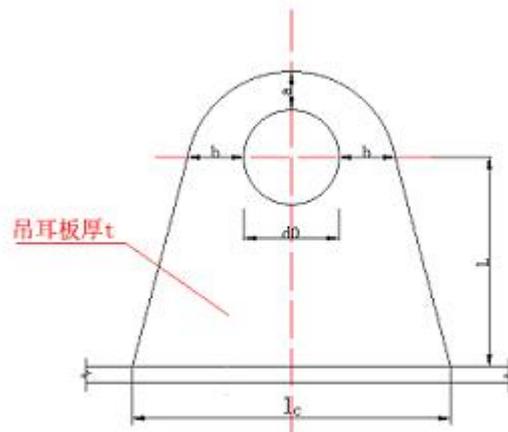
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 6.342 / 143.775 + 67.355 / 284 = 0.281 \leq 1$$

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):	85
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	100	吊孔直径 d ₀ (mm)	75
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm ²)	295	吊耳板抗剪强度设计值 f _v (N/mm ²)	170
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 305.724 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 85 \text{ mm}$$

满足要求!

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 100 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

计算宽度: $b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20 + 16, 85 - 75/3) = 56\text{mm}$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 305.724 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 136.484 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

(3) 耳板端部截面抗拉(劈开)强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 305.724 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (100 - 2 \times 75/3)] = 152.862 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(100+75/2)^2 - (75/2)^2]^{0.5} = 132.288 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 305.724 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 132.288) = 57.776 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	75	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 611.448 \text{kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 611.448 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 75^2 / 4) = 69.202 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	20
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_f^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	380

(1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(443.974\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=23.318\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(113.027\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=5.936\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(113.027\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=15.714\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(23.318+15.714)}{1.22}^2+5.936^2]^{0.5}=32.539\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(610.61\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=32.07\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(305.639\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=16.052\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(305.639\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=42.492\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(32.07+42.492)}{1.22}^2+16.052^2]^{0.5}=63.189\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(611.448\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=32.114\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(212.031\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=11.136\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(212.031\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=29.478\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^{0.5}=[\frac{(32.114+29.478)}{1.22}+11.136]^{0.5}=51.699\text{N/mm}^2\leq f_r^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附着点 4:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(520.76\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=27.351\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(57.08\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=2.998\text{N/mm}^2$$

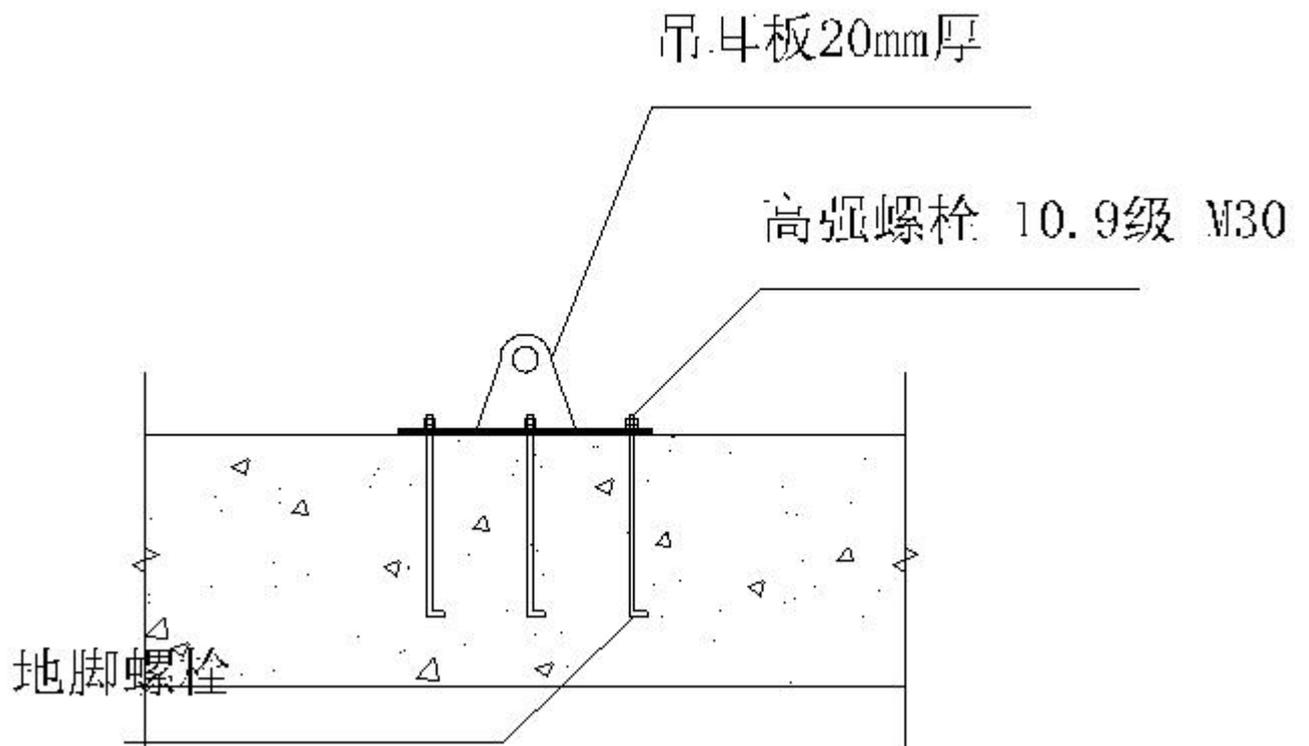
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(57.08\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=7.936\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

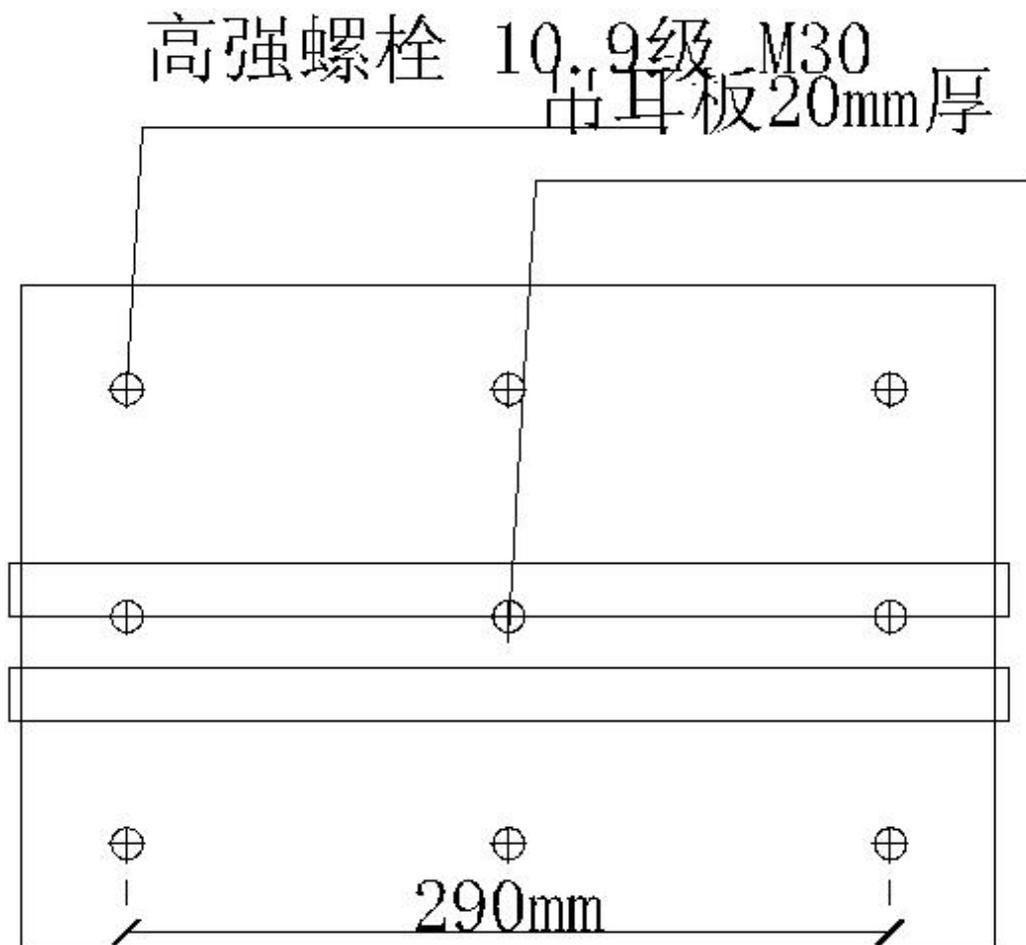
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^{0.5}=[\frac{(27.351+7.936)}{1.22}+2.998]^{0.5}=29.079\text{N/mm}^2\leq f_r^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附图如下:



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

下游矮塔第 2 道计算书

计算依据:

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	徐工 XGT8040-25	塔身桁架结构类型	方钢管
塔机计算高度 H(m)	98.65	塔身宽度 B(m)	2.5
起重臂长度 l_1 (m)	45	平衡臂长度 l_2 (m)	24.9
起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	1.56	工作状态时扭矩标准值 T_{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1498
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M_k (kN·m)	3750.3	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)	2935.5(反向)

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	3.212

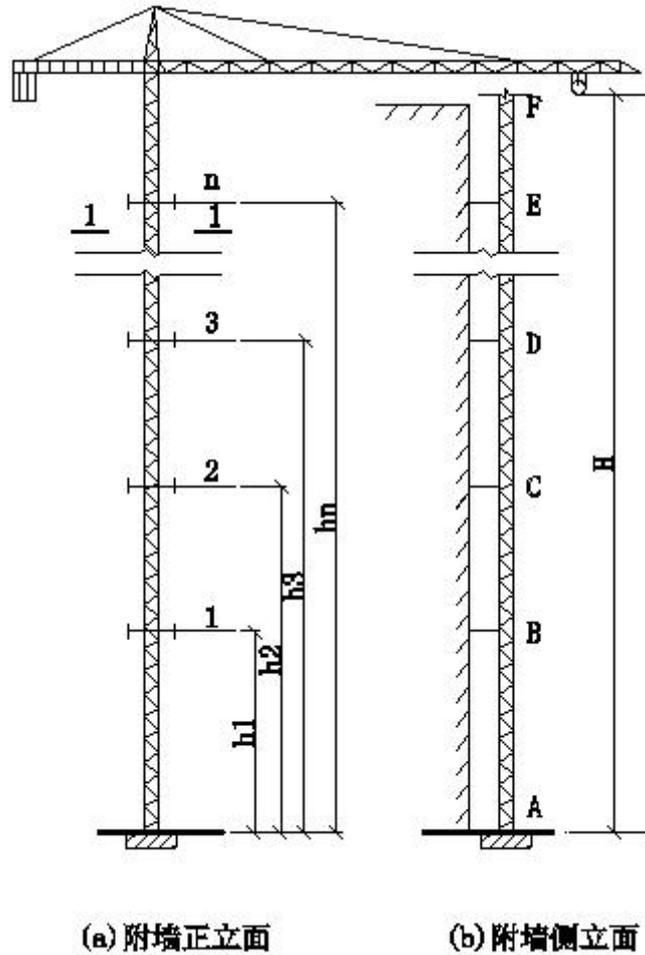
二、风荷载及附着参数

附着次数 N	2		
附着点 1 到塔机的横向距离 a_1 (m)	1.325	点 1 到塔机的竖向距离 b_1 (m)	6.635
附着点 2 到塔机的横向距离 a_2 (m)	2.145	点 2 到塔机的竖向距离 b_2 (m)	3.392
附着点 3 到塔机的横向距离 a_3 (m)	2.076	点 3 到塔机的竖向距离 b_3 (m)	6.425
附着点 4 到塔机的横向距离 a_4 (m)	0.674	点 4 到塔机的竖向距离 b_4 (m)	9.193
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	33.6	33.6	1.24	1.95	1.95	1.587	1.628	0.645	1.157

第2次附着	51.45	17.85	1.341	1.95	1.95	1.588	1.624	0.698	1.249
悬臂端	98.65	47.2	1.65	1.95	1.95	1.568	1.614	0.848	1.527

附图如下:



塔机附着立面图

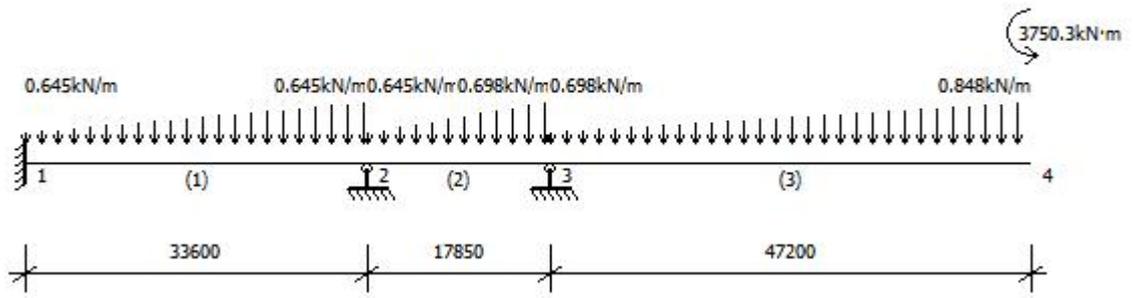
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

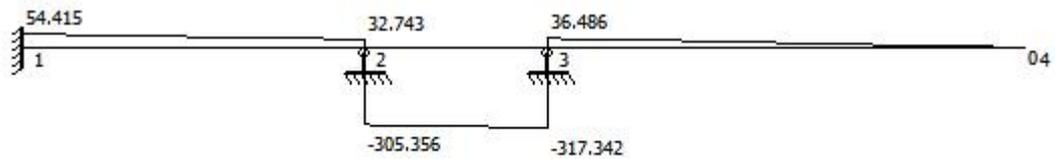
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

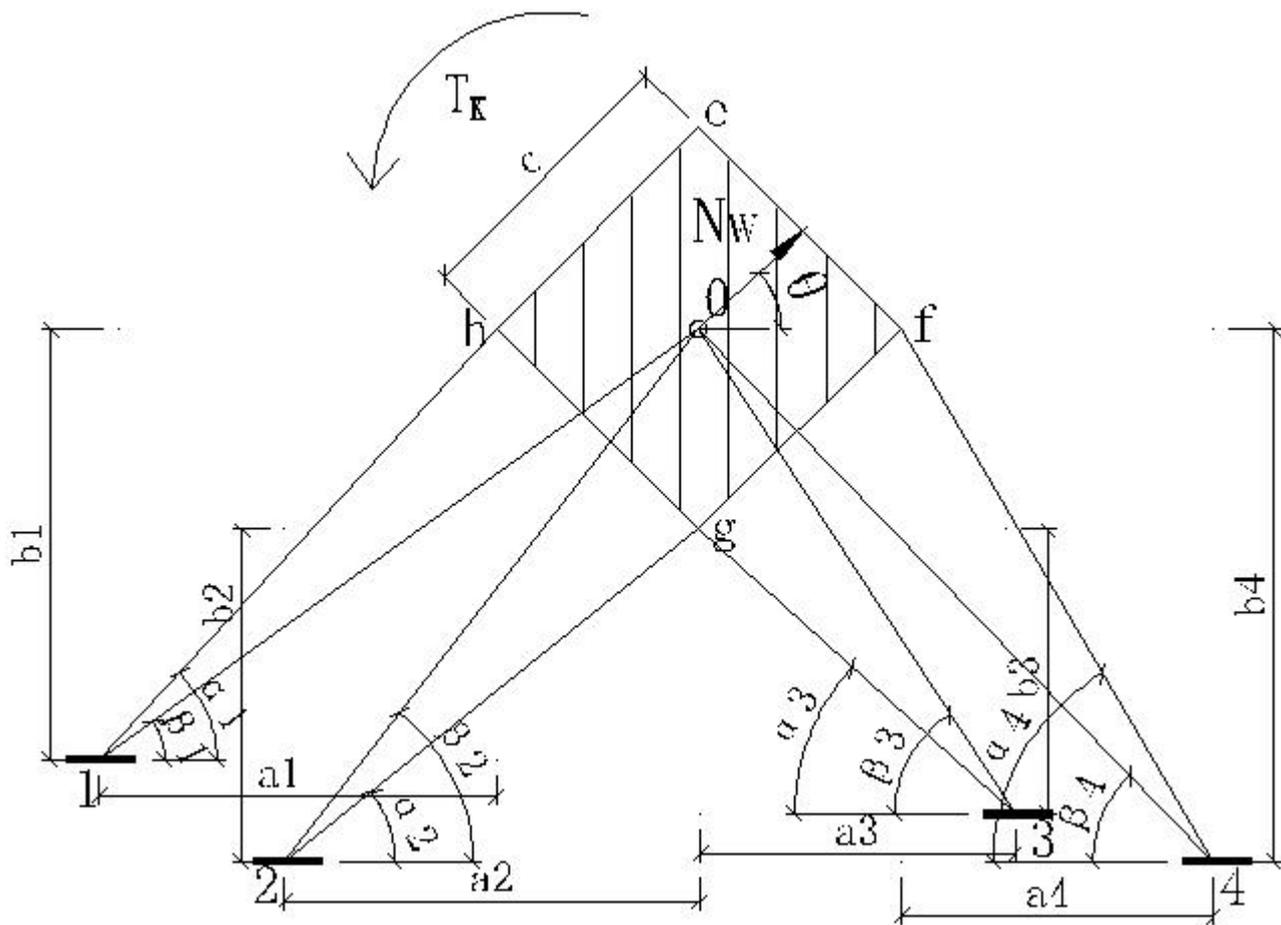
得： $R_E=353.827\text{kN}$

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。

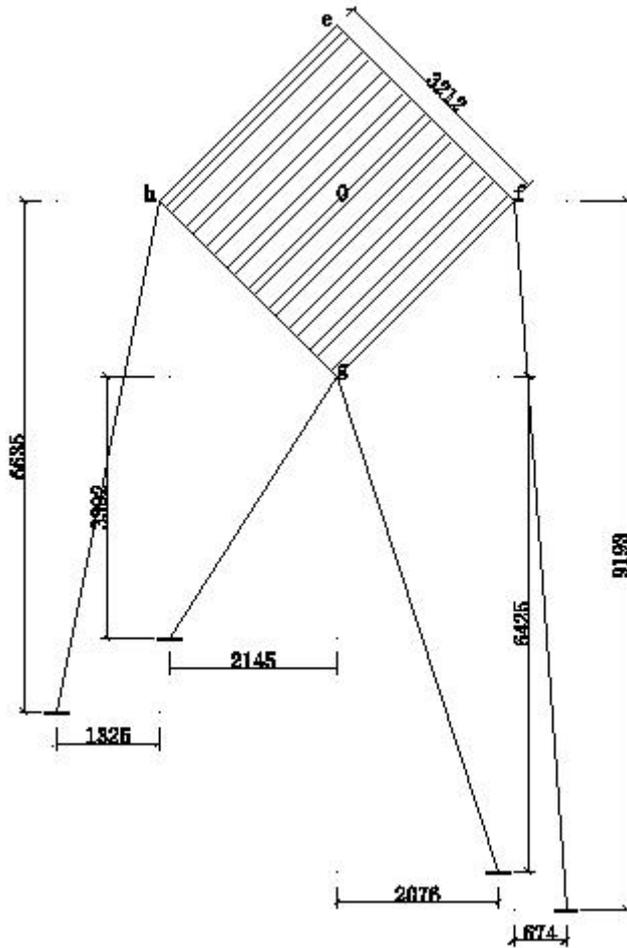
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=500.387\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 78.707^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 57.692^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 72.094^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 85.807^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 61.542^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 69.255^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 76.573^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 72.236^\circ$$

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

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

$X_1=1$ 时，各杆件轴力计算：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

各杆轴力计算公式如下：

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

(1) 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：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 506.048 \text{ kN}, \quad T_2 = 285.276 \text{ kN}, \quad T_3 = 573.801 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 716.048 \text{ kN}, \quad T_3 = 806.645 \text{ kN}, \quad T_4 = 561.667 \text{ kN}$$

(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：

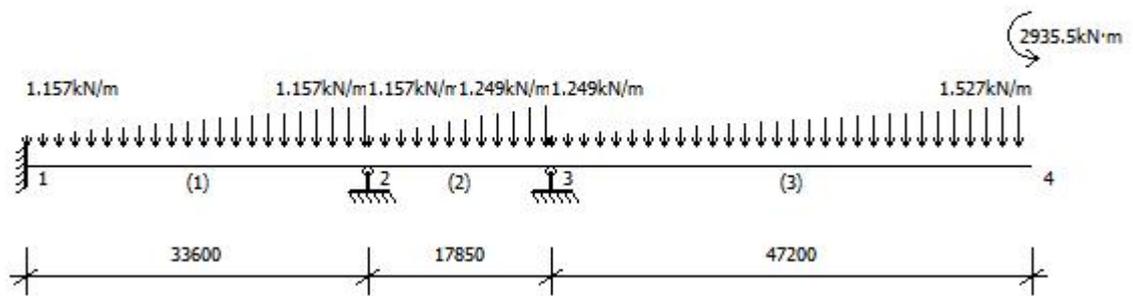
最大轴压力 $T_1=0\text{kN}$, $T_2=716.048\text{kN}$, $T_3=806.644\text{kN}$, $T_4=561.666\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=506.048\text{kN}$, $T_2=285.276\text{kN}$, $T_3=573.802\text{kN}$, $T_4=0\text{kN}$

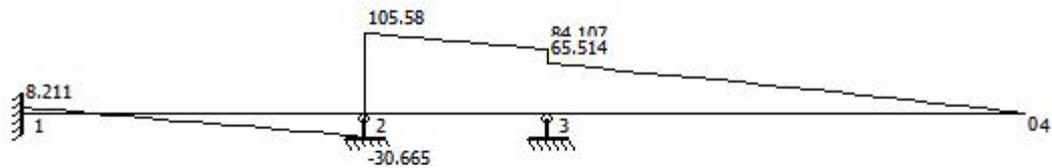
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

得: $R_E=136.245\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座 3 处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=136.245\text{kN}$ 。

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:

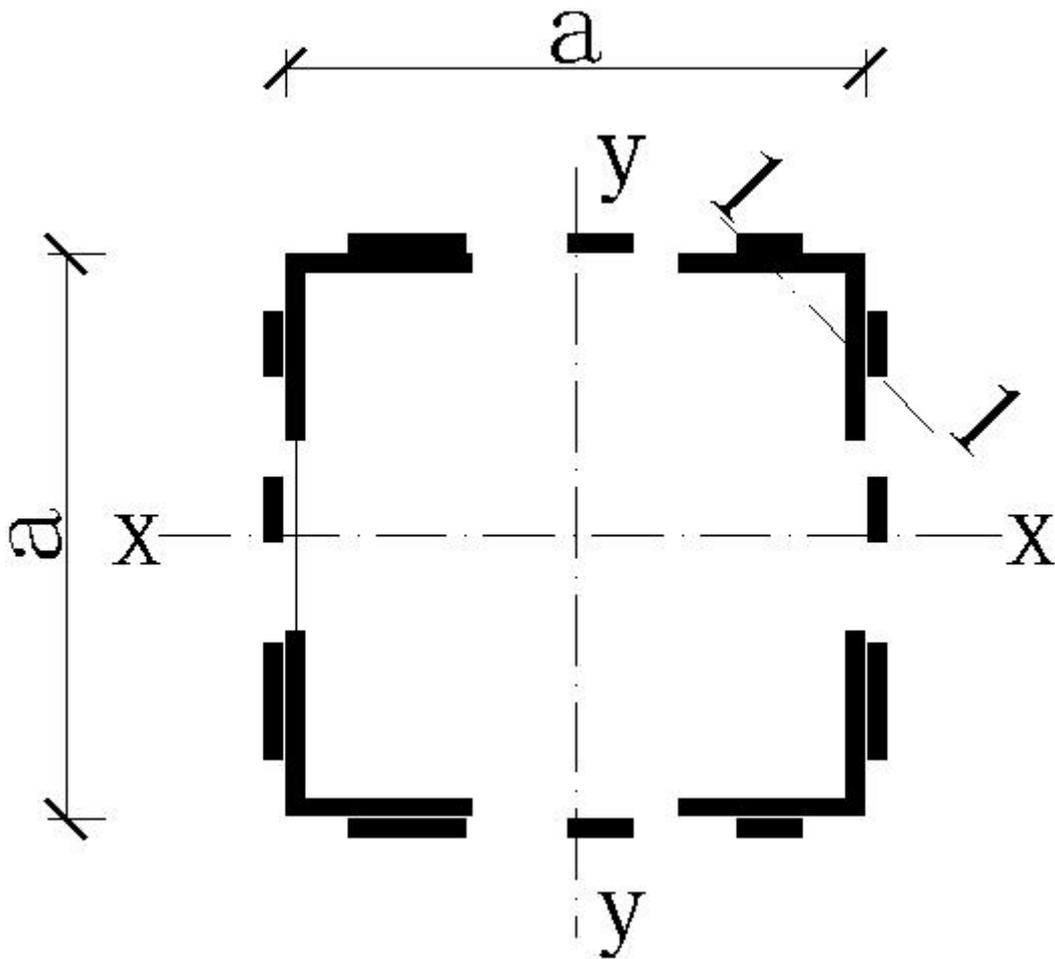
最大轴压力 $T_1=56.545\text{kN}$, $T_2=136.32\text{kN}$, $T_3=187.934\text{kN}$, $T_4=74.461\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=56.546\text{kN}$, $T_2=136.32\text{kN}$, $T_3=187.933\text{kN}$, $T_4=74.462\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

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

附图如下:



塔机附着格构柱截面

1、杆件轴心受拉强度验算

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

$$\sigma=N/A=806644/7704=104.705\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=6766.007\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

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

$$\text{整个构件长细比: } \lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=676.601/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=38.819$$

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

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

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和：

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

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(38.819^2+40\times 7704/960)^{0.5}=42.754$$

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_{01\max}=42.754\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.888$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$$\lambda_{02\max}=29.175\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.939$$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$$\lambda_{03\max}=42.681\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.888$$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$$\lambda_{04\max}=55.838\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.829$$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1Af)=506048/(0.888\times 7704\times 210)=0.352\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2Af)=716048/(0.939\times 7704\times 210)=0.471\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3Af)=806645/(0.888\times 7704\times 210)=0.561\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 4 轴心受压稳定验算：

$$N_4/(\varphi_4Af)=561667/(0.829\times 7704\times 210)=0.419\leq 1$$

满足要求!

3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{01\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{02\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{03\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 55.838=39.087$$

满足要求!

4、缀件验算

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

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

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

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

斜缀条轴向压力值:

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

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

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

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

等边角钢计算稳定性系数:

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

缀条稳定验算:

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

满足要求!

需要焊缝长度:

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

满足要求!

六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q355	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)	290

1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1=N_1\sin\alpha_1=506.048\times\sin 78.707^\circ=496.25\text{kN}, V_1=N_1\cos\alpha_1=506.048\times\cos 78.707^\circ=99.1$$

kN;

$F_2=N_2\sin\alpha_2=716.048\times\sin57.692^\circ=605.194\text{kN}$, $V_2=N_2\cos\alpha_2=716.048\times\cos57.692^\circ=382.707\text{kN}$;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=806.645\times\sin72.094^\circ=767.572\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=806.645\times\cos72.094^\circ=248.012\text{kN}$;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=561.667\times\sin85.807^\circ=560.163\text{kN}$, $V_4=N_4\cos\alpha_4=561.667\times\cos85.807^\circ=41.069\text{kN}$;

2、螺栓承载力计算

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

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

(1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$X_{\max}=S/2=290/2=145\text{mm}$

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

$\sum X^2=3\times[(290/2)^2+(290/2-1\times290/2)^2+(290/2-2\times290/2)^2]=126150\text{mm}^2$

附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum X^2=99.1\times0.15\times145/126.15=17.086\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=496.25/(3\times3)+17.086=72.225\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$N_v=V_1/mn=99.1/(3\times3)=11.011\text{kN}$

验算单个螺栓承载力:

$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=11.011/143.775+72.225/284=0.331\leq 1$

螺栓承载力满足要求。

附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=382.707 \times 0.15 \times 145/126.15=65.984\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=605.194/(3 \times 3)+65.984=133.228\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=382.707/(3 \times 3)=42.523\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=42.523/143.775+133.228/284=0.765 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=248.012 \times 0.15 \times 145/126.15=42.761\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=767.572/(3 \times 3)+42.761=128.047\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=248.012/(3 \times 3)=27.557\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=27.557/143.775+128.047/284=0.643 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=41.069 \times 0.15 \times 145/126.15=7.081\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=560.163/(3 \times 3)+7.081=69.321\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 41.069 / (3 \times 3) = 4.563 \text{ kN}$$

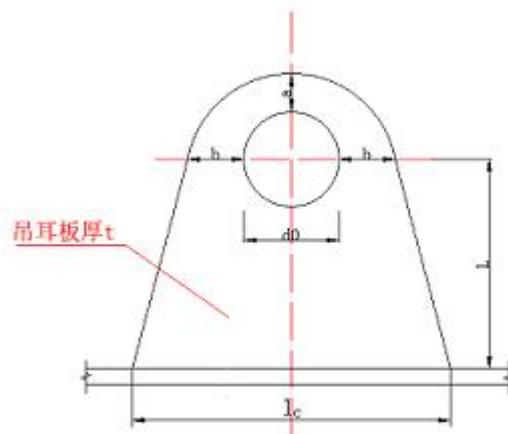
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 4.563 / 143.775 + 69.321 / 284 = 0.276 \leq 1$$

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):	85
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	100	吊孔直径 d ₀ (mm)	75
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm ²)	295	吊耳板抗剪强度设计值 f _v (N/mm ²)	170
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 403.322 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 85 \text{ mm}$$

满足要求!

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 100 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

计算宽度: $b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20 + 16, 85 - 75/3) = 56\text{mm}$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 403.322 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 180.055 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

(3) 耳板端部截面抗拉(劈开)强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 403.322 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (100 - 2 \times 75/3)] = 201.661 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(100+75/2)^2 - (75/2)^2]^{0.5} = 132.288 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 403.322 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 132.288) = 76.221 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	75	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 806.645 \text{kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 806.645 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 75^2 / 4) = 91.294 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	20
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_f^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	380

(1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(506.048\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=26.578\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(99.1\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=5.205\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(99.1\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=13.778\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(26.578+13.778)}{1.22}]^2+5.205^2]^{0.5}=33.486\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(716.048\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=37.608\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(382.707\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=20.1\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(382.707\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=53.206\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(37.608+53.206)}{1.22}]^2+20.1^2]^{0.5}=77.104\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(806.645\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=42.366\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(248.012\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=13.026\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(248.012\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=34.48\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2)^{0.5}=[\frac{(42.366+34.48)}{1.22}]^2+13.026^2)^{0.5}=64.321\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附着点 4:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(561.667\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=29.499\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(41.069\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=2.157\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(41.069\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=5.71\text{N/mm}^2$$

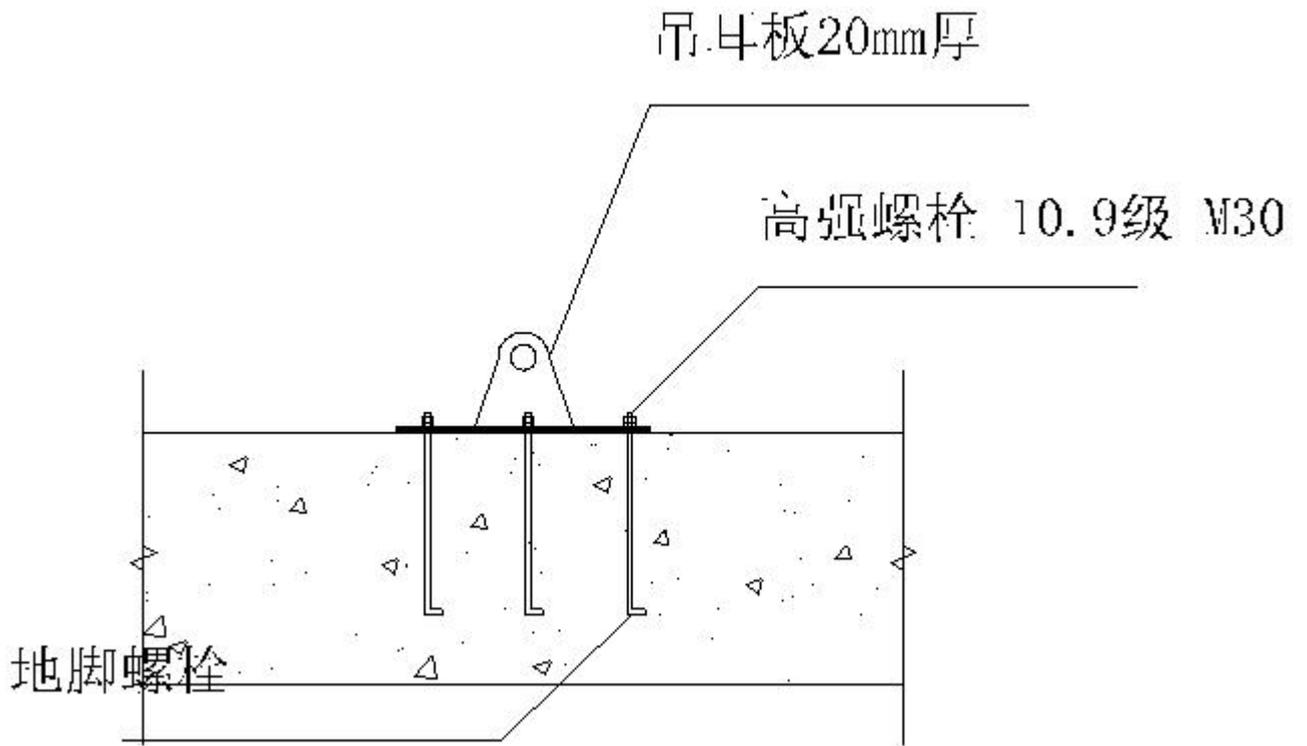
连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2)^{0.5}=[\frac{(29.499+5.71)}{1.22}]^2+2.157^2)^{0.5}=28.94\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

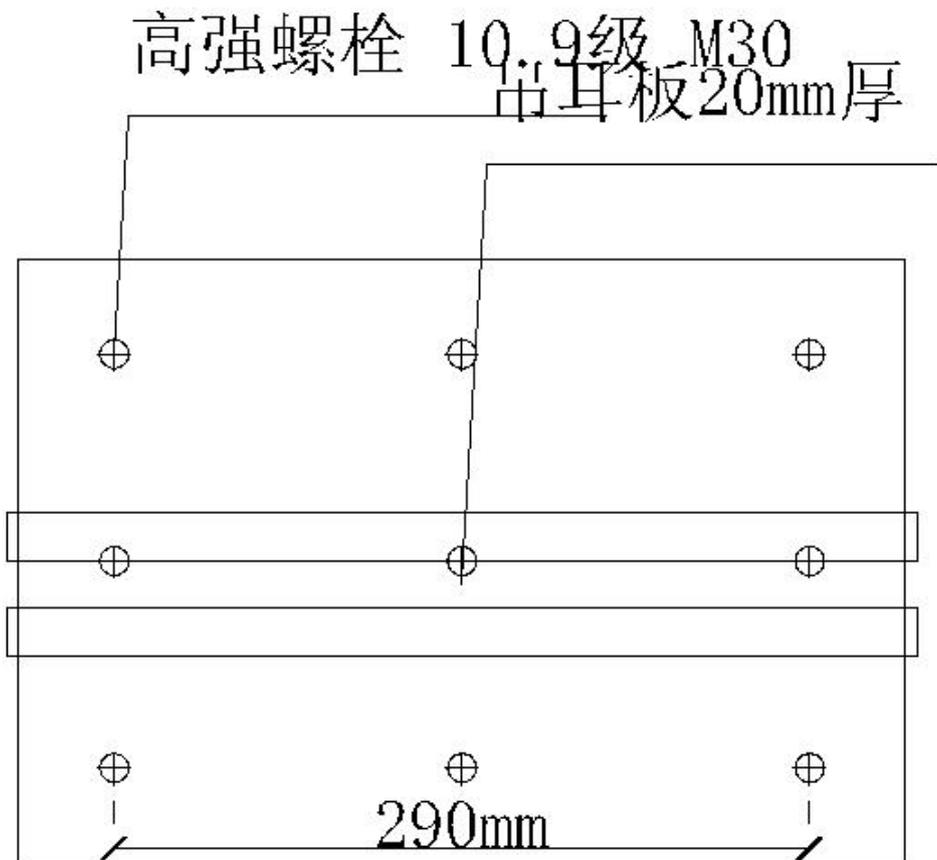
2

附着点 4: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附图如下:



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

下游矮塔第 3 道计算书

计算依据:

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	徐工 XGT8040-25	塔身桁架结构类型	方钢管
塔机计算高度 H(m)	116.5	塔身宽度 B(m)	2.5
起重臂长度 l ₁ (m)	45	平衡臂长度 l ₂ (m)	24.9
起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	1.56	工作状态时扭矩标准值 T _{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1498
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M _k (kN·m)	3750.3	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)	2935.5(反向)

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	3.212

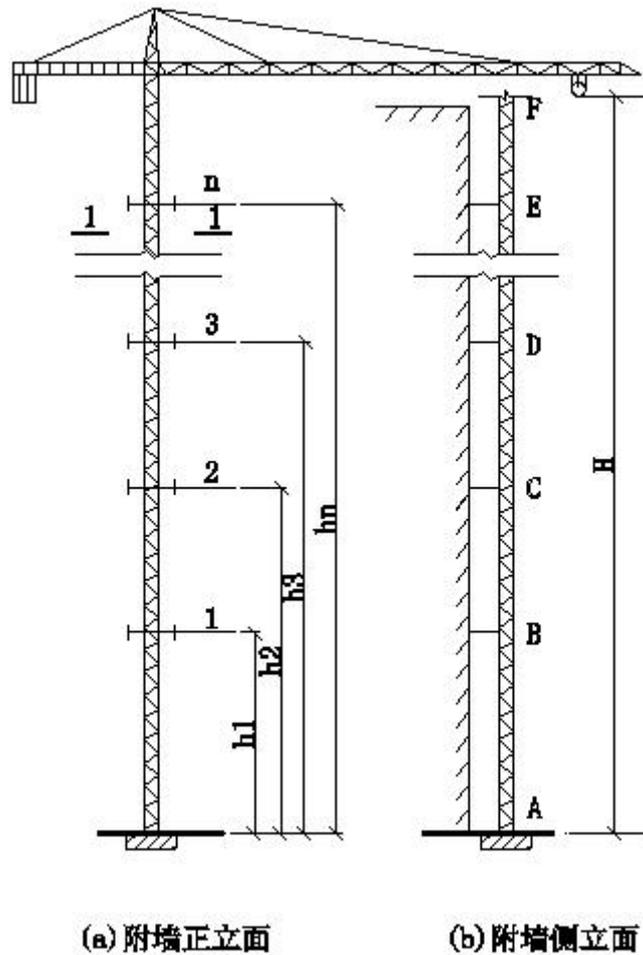
二、风荷载及附着参数

附着次数 N	3		
附着点 1 到塔机的横向距离 a ₁ (m)	2.673	点 1 到塔机的竖向距离 b ₁ (m)	9.102
附着点 2 到塔机的横向距离 a ₂ (m)	4.206	点 2 到塔机的竖向距离 b ₂ (m)	6.709
附着点 3 到塔机的横向距离 a ₃ (m)	2.14	点 3 到塔机的竖向距离 b ₃ (m)	7.372
附着点 4 到塔机的横向距离 a ₄ (m)	0.648	点 4 到塔机的竖向距离 b ₄ (m)	10.006
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	33.6	33.6	1.24	1.95	1.95	1.587	1.628	0.645	1.157

第2次附着	51.45	17.85	1.341	1.95	1.95	1.588	1.624	0.698	1.249
第3次附着	69.3	17.85	1.469	1.95	1.95	1.579	1.621	0.76	1.365
悬臂端	116.5	47.2	1.707	1.95	1.95	1.567	1.611	0.876	1.577

附图如下:



塔机附着立面图

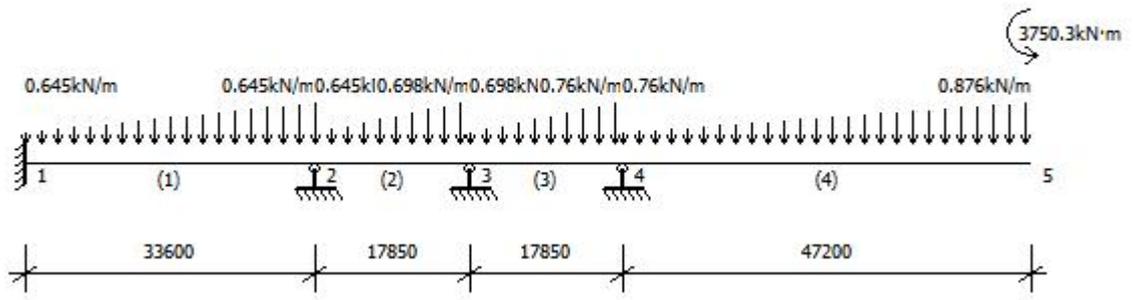
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

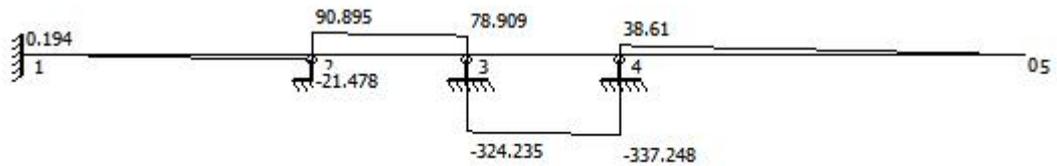
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

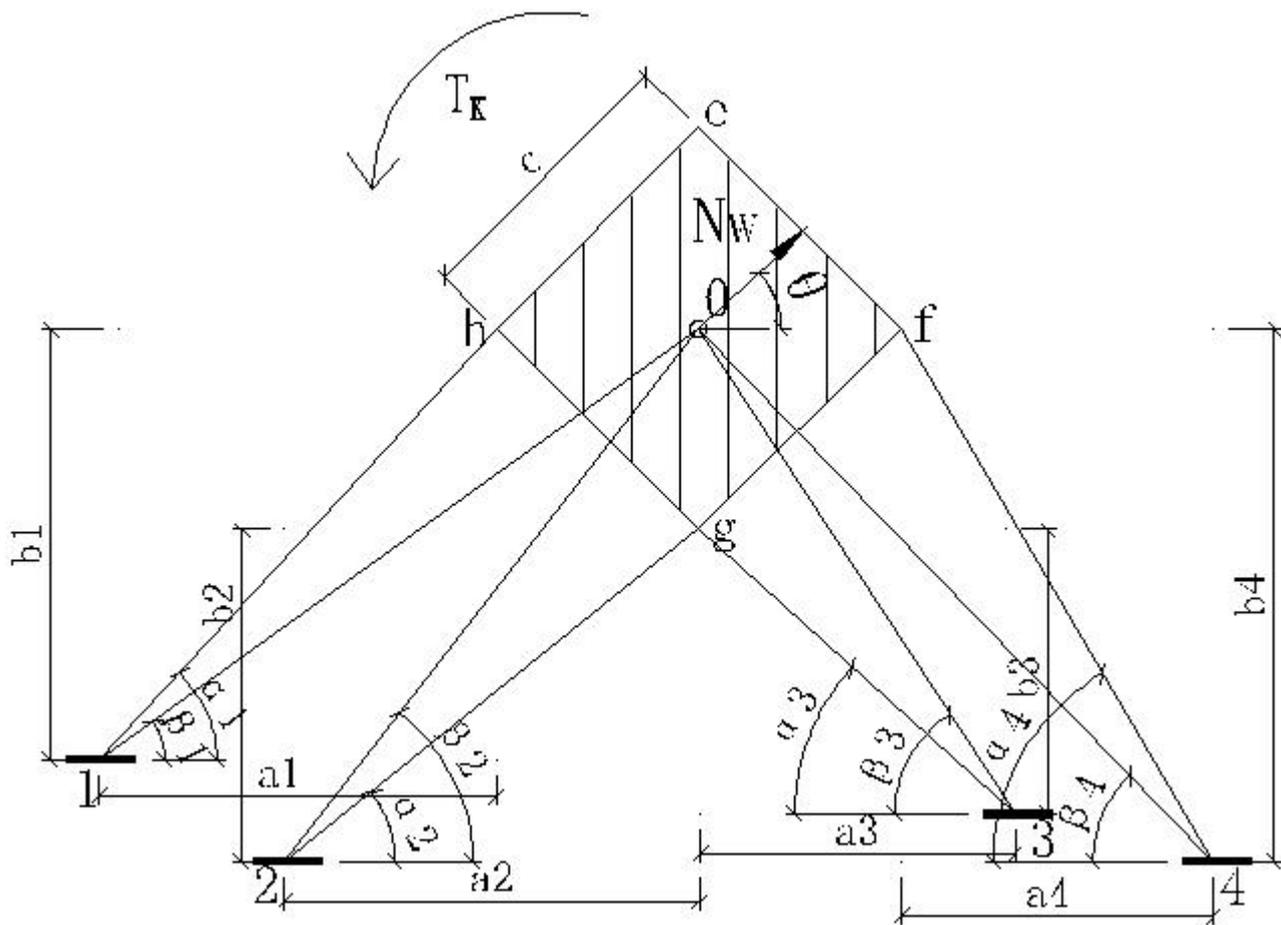
得: $R_E=403.144\text{kN}$

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。

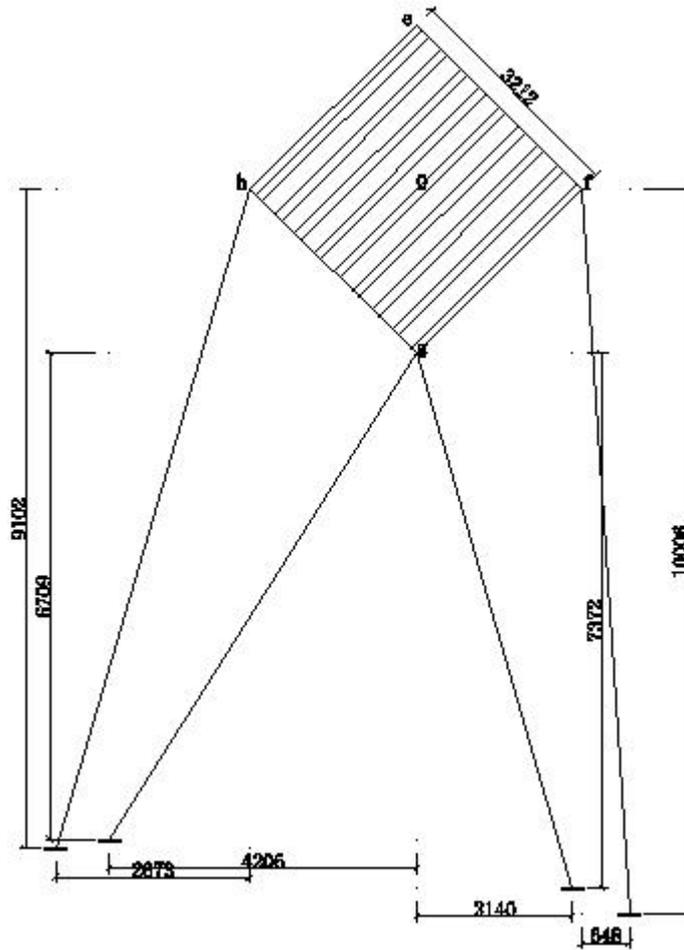
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=570.132\text{kN}$ 。

计算简图:



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 73.634^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 57.916^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 73.813^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 86.295^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 61.489^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 64.903^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 77.488^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 73.736^\circ$$

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

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

$X_1=1$ 时，各杆件轴力计算：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

各杆轴力计算公式如下：

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

(1) 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：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 544.193 \text{ kN}, \quad T_2 = 331.277 \text{ kN}, \quad T_3 = 748.057 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 28.027 \text{ kN}, \quad T_2 = 755.769 \text{ kN}, \quad T_3 = 890.614 \text{ kN}, \quad T_4 = 561.19 \text{ kN}$$

(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：

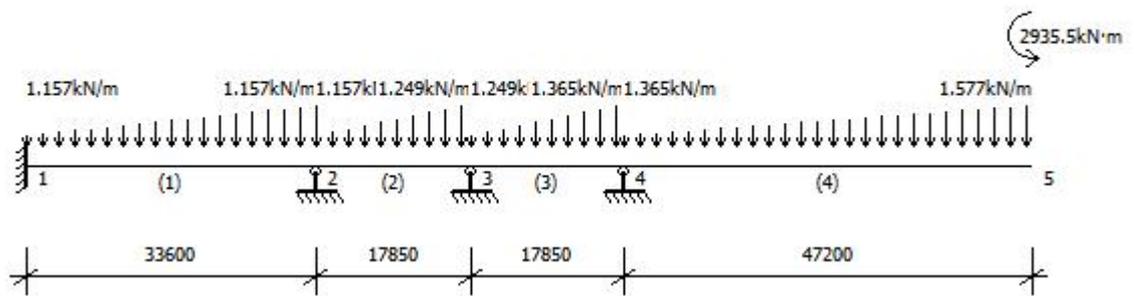
最大轴压力 $T_1=28.028\text{kN}$, $T_2=755.77\text{kN}$, $T_3=890.616\text{kN}$, $T_4=561.19\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=544.193\text{kN}$, $T_2=331.276\text{kN}$, $T_3=748.055\text{kN}$, $T_4=0\text{kN}$

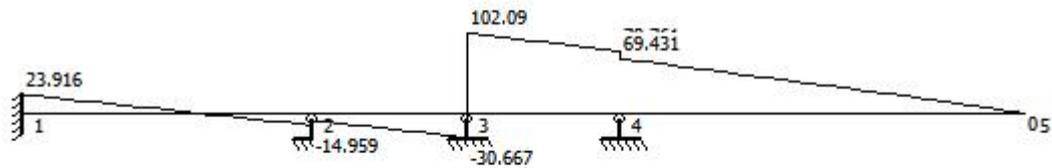
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

得: $R_E=132.758\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座 4 处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=132.758\text{kN}$ 。

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:

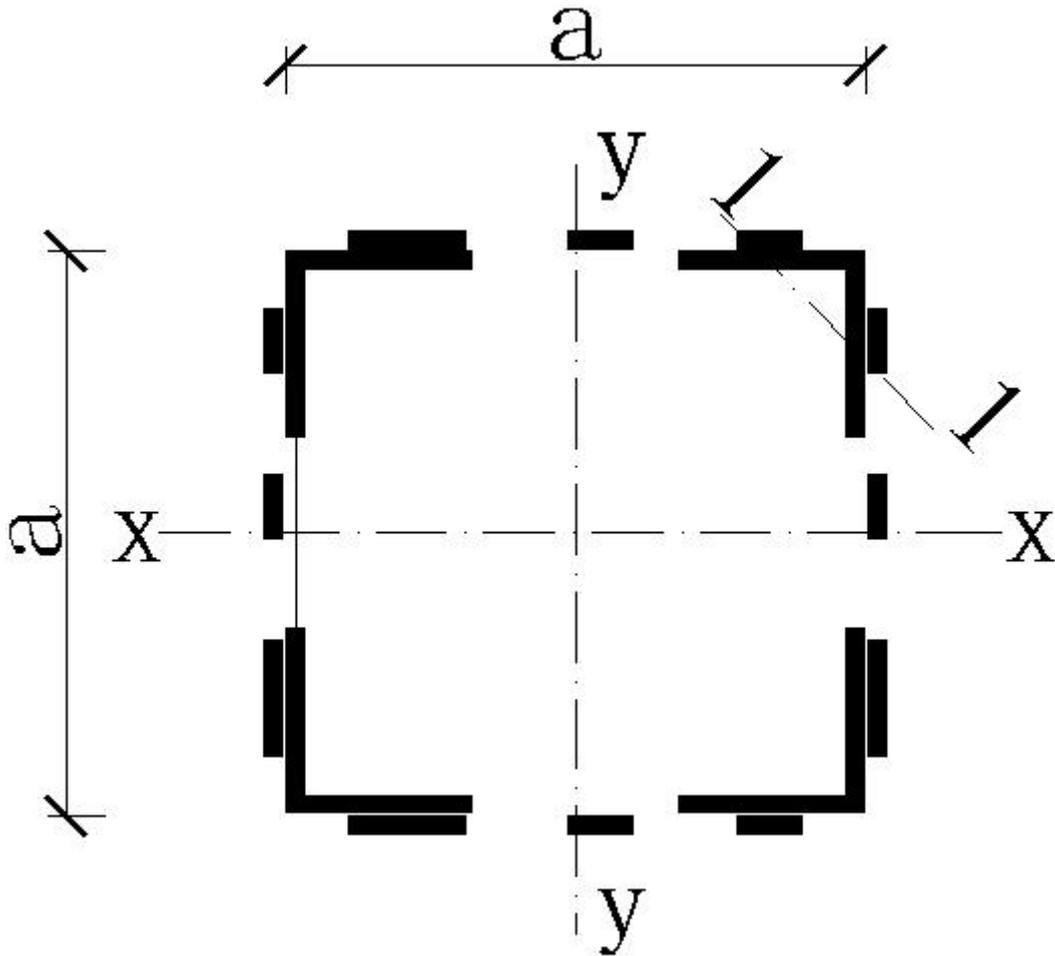
最大轴压力 $T_1=66.622\text{kN}$, $T_2=126.562\text{kN}$, $T_3=190.787\text{kN}$, $T_4=56.327\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=66.622\text{kN}$, $T_2=126.562\text{kN}$, $T_3=190.786\text{kN}$, $T_4=56.328\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

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

附图如下:



塔机附着格构柱截面

1、杆件轴心受拉强度验算

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

$$\sigma=N/A=890616/7704=115.604\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=9486.376\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

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

$$\text{整个构件长细比: } \lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=948.638/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=54.427$$

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

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

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和：

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

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(54.427^2+40\times 7704/960)^{0.5}=57.3$$

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_{01\max}=57.3\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.821$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$$\lambda_{02\max}=48.836\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.862$$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$$\lambda_{03\max}=47.547\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.867$$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$$\lambda_{04\max}=60.254\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.806$$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1Af)=544193/(0.821\times 7704\times 210)=0.41\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2Af)=755769/(0.862\times 7704\times 210)=0.542\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3Af)=890614/(0.867\times 7704\times 210)=0.635\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 4 轴心受压稳定验算：

$$N_4/(\varphi_4Af)=561190/(0.806\times 7704\times 210)=0.43\leq 1$$

满足要求!

3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1=20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 57.3=40.11$$

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{02\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{03\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 60.254=42.178$$

满足要求!

4、缀件验算

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

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

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

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

斜缀条轴向压力值:

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

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

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

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

等边角钢计算稳定性系数:

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

缀条稳定验算:

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

满足要求!

需要焊缝长度:

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

满足要求!

六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q355	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)	290

1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1=N_1\sin\alpha_1=544.193\times\sin 73.634^\circ=522.143\text{kN}, V_1=N_1\cos\alpha_1=544.193\times\cos 73.634^\circ=153.$$

339kN;

$F_2=N_2\sin\alpha_2=755.769\times\sin57.916^\circ=640.338\text{kN}$, $V_2=N_2\cos\alpha_2=755.769\times\cos57.916^\circ=401.44\text{kN}$;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=890.614\times\sin73.813^\circ=855.306\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=890.614\times\cos73.813^\circ=248.285\text{kN}$;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=561.19\times\sin86.295^\circ=560.017\text{kN}$, $V_4=N_4\cos\alpha_4=561.19\times\cos86.295^\circ=36.267\text{kN}$;

2、螺栓承载力计算

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

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

(1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$X_{\max}=S/2=290/2=145\text{mm}$

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

$\sum X^2=3\times[(290/2)^2+(290/2-1\times290/2)^2+(290/2-2\times290/2)^2]=126150\text{mm}^2$

附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum X^2=153.339\times0.15\times145/126.15=26.438\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=522.143/(3\times3)+26.438=84.454\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$N_v=V_1/mn=153.339/(3\times3)=17.038\text{kN}$

验算单个螺栓承载力:

$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=17.038/143.775+84.454/284=0.416\leq 1$

螺栓承载力满足要求。

附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=401.44 \times 0.15 \times 145/126.15=69.214\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=640.338/(3 \times 3)+69.214=140.363\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=401.44/(3 \times 3)=44.604\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=44.604/143.775+140.363/284=0.804 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=248.285 \times 0.15 \times 145/126.15=42.808\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=855.306/(3 \times 3)+42.808=137.842\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=248.285/(3 \times 3)=27.587\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=27.587/143.775+137.842/284=0.677 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=36.267 \times 0.15 \times 145/126.15=6.253\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=560.017/(3 \times 3)+6.253=68.477\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 36.267 / (3 \times 3) = 4.03 \text{ kN}$$

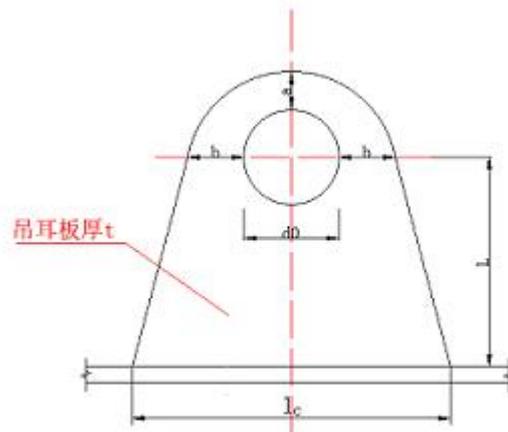
验算单个螺栓承载力：

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 4.03 / 143.775 + 68.477 / 284 = 0.269 \leq 1$$

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):	85
顺受力方向，吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	100	吊孔直径 d ₀ (mm)	75
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm ²)	295	吊耳板抗剪强度设计值 f _v (N/mm ²)	170
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017，对连接耳板进行如下验算：

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 445.307 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 85 \text{ mm}$$

满足要求！

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 100 \text{ mm}$$

满足要求！

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

计算宽度: $b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20 + 16, 85 - 75/3) = 56\text{mm}$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 445.307 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 198.798 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

(3) 耳板端部截面抗拉 (劈开) 强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 445.307 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (100 - 2 \times 75/3)] = 222.654 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(100+75/2)^2 - (75/2)^2]^{0.5} = 132.288 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 445.307 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 132.288) = 84.155 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	75	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 890.614 \text{kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 890.614 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 75^2 / 4) = 100.797 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	20
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_f^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	380

(1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(544.193\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=28.582\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(153.339\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=8.053\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(153.339\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=21.318\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(28.582+21.318)}{1.22}^2+8.053^2]^{0.5}=41.687\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(755.769\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=39.694\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(401.44\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=21.084\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(401.44\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=55.811\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(39.694+55.811)}{1.22}^2+21.084^2]^{0.5}=81.072\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(890.614\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=46.776\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(248.285\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=13.04\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(248.285\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=34.518\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^2]^{0.5}=[\frac{(46.776+34.518)}{1.22}+13.04]^2]^{0.5}=67.898\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附着点 4:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(561.19\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=29.474\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(36.267\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=1.905\text{N/mm}^2$$

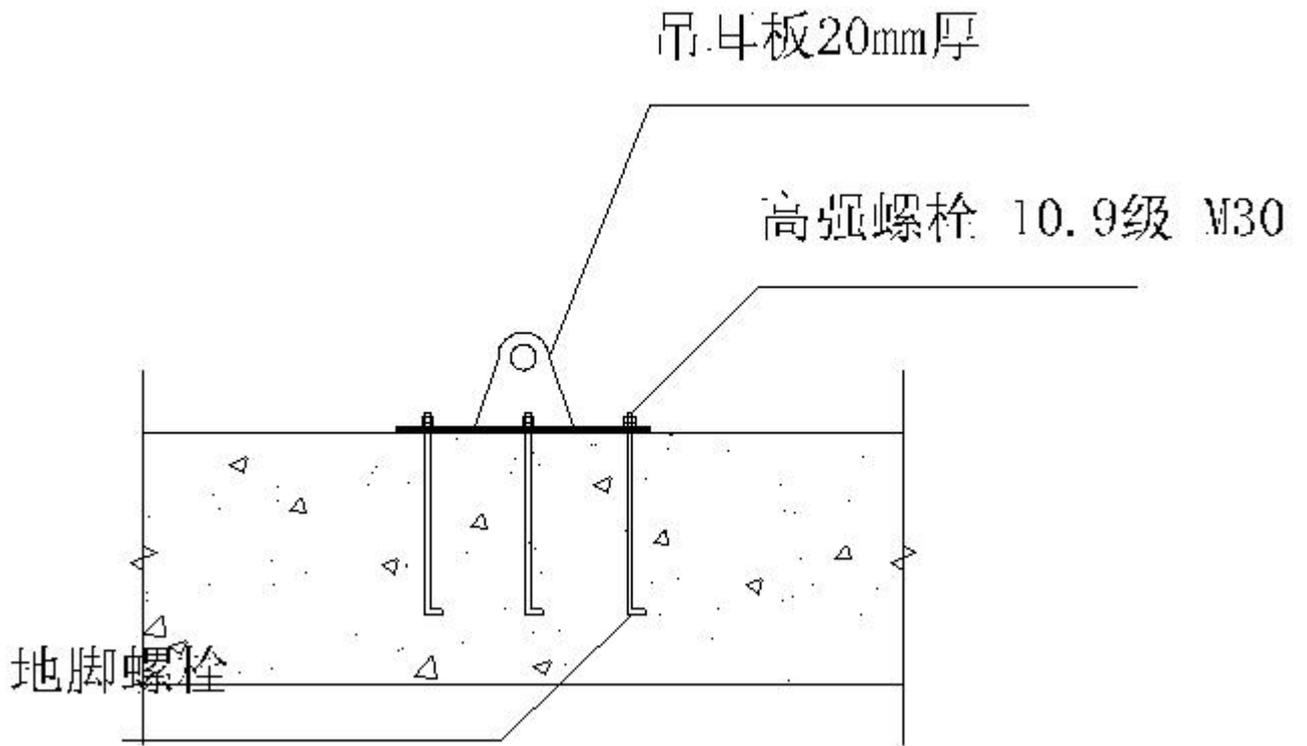
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(36.267\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=5.042\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

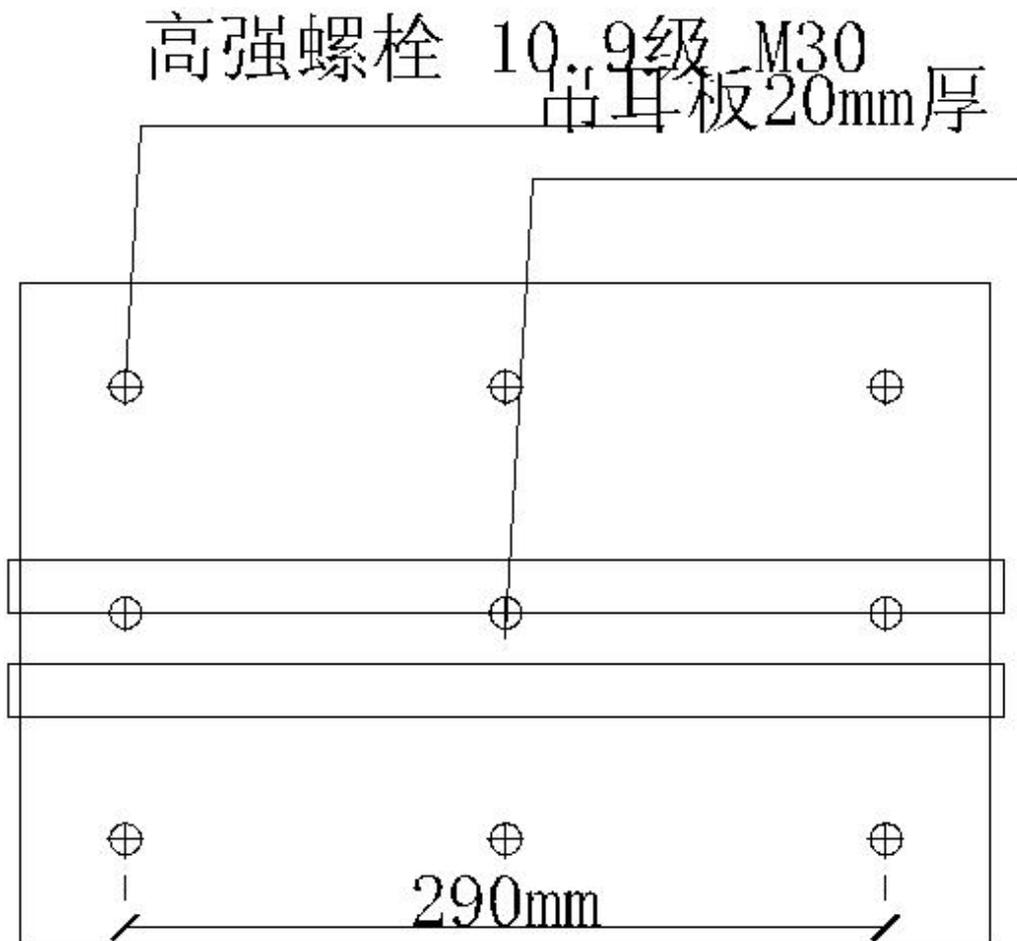
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_V]^2]^{0.5}=[\frac{(29.474+5.042)}{1.22}+1.905]^2]^{0.5}=28.356\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附图如下:



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

下游矮塔第 4 道计算书

计算依据:

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	徐工 XGT8040-25	塔身桁架结构类型	方钢管
塔机计算高度 H(m)	134.35	塔身宽度 B(m)	2.5
起重臂长度 l ₁ (m)	45	平衡臂长度 l ₂ (m)	24.9
起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	1.56	工作状态时扭矩标准值 T _{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1498
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M _k (kN·m)	3750.3	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)	2935.5(反向)

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	3.212

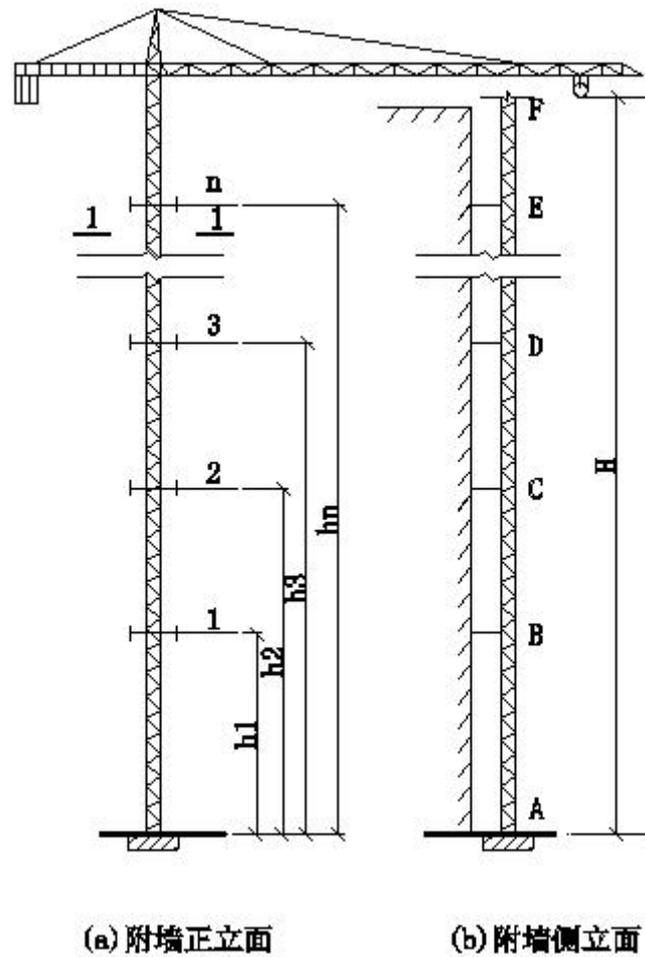
二、风荷载及附着参数

附着次数 N	4		
附着点 1 到塔机的横向距离 a ₁ (m)	2.622	点 1 到塔机的竖向距离 b ₁ (m)	11.04
附着点 2 到塔机的横向距离 a ₂ (m)	4.19	点 2 到塔机的竖向距离 b ₂ (m)	8.652
附着点 3 到塔机的横向距离 a ₃ (m)	2.776	点 3 到塔机的竖向距离 b ₃ (m)	8.161
附着点 4 到塔机的横向距离 a ₄ (m)	1.313	点 4 到塔机的竖向距离 b ₄ (m)	10.795
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	33.6	33.6	1.24	1.95	1.95	1.587	1.628	0.645	1.157

第2次附着	51.45	17.85	1.341	1.95	1.95	1.588	1.624	0.698	1.249
第3次附着	69.3	17.85	1.469	1.95	1.95	1.579	1.621	0.76	1.365
第4次附着	87.15	17.85	1.576	1.95	1.95	1.573	1.619	0.812	1.463
悬臂端	134.35	47.2	1.784	1.95	1.95	1.558	1.602	0.911	1.638

附图如下:



塔机附着立面图

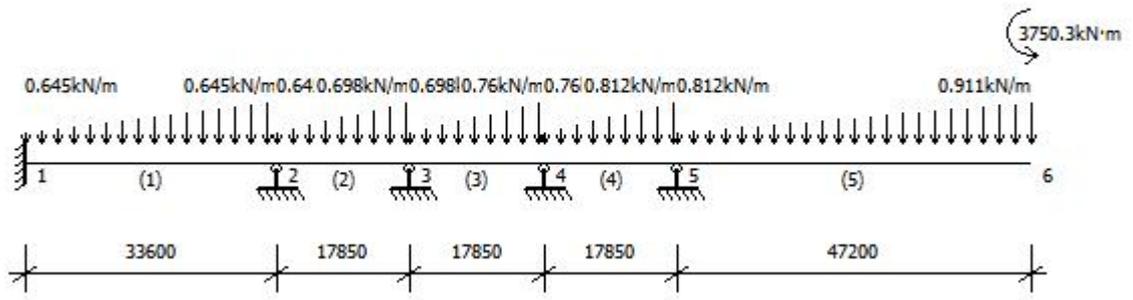
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

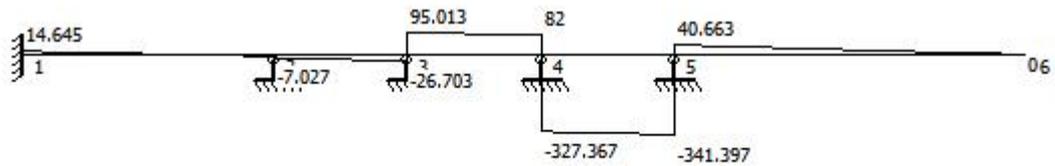
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

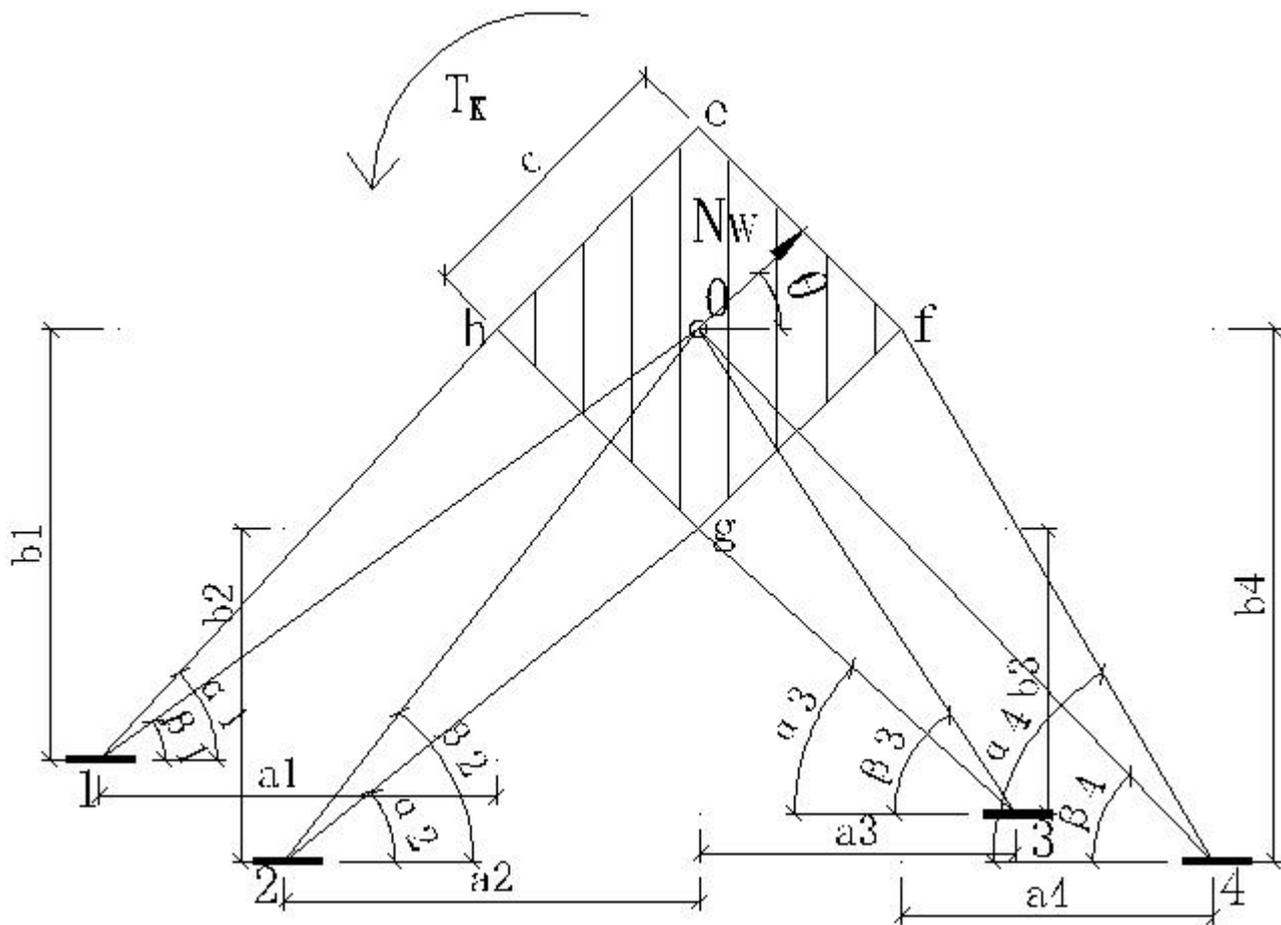
得： $R_E=409.367\text{kN}$

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。

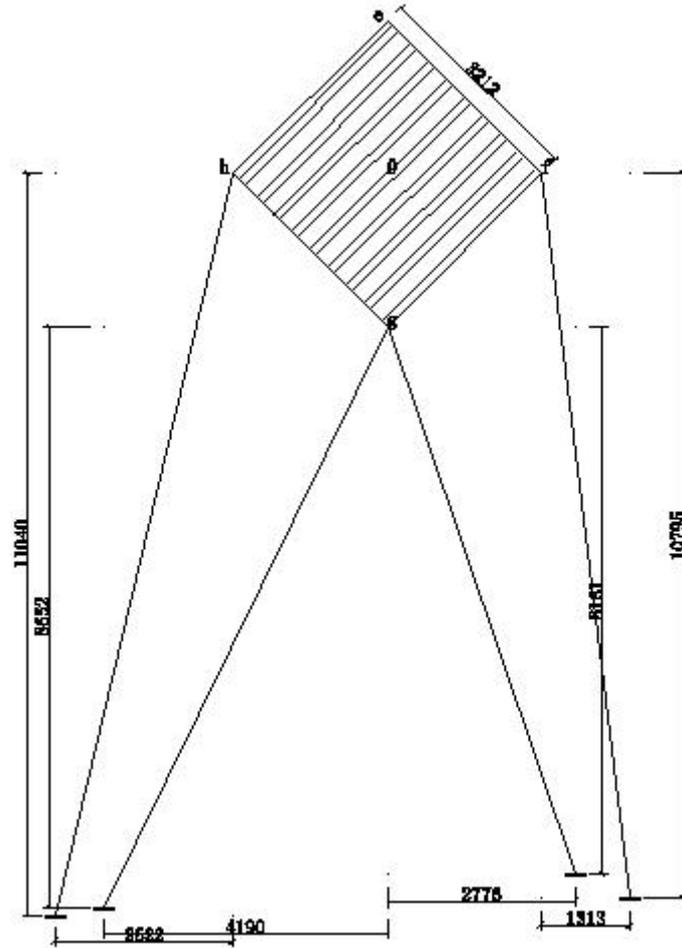
3、附墙杆内力计算

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 $N_w=2^{0.5}R_E=578.932\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 76.64^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 64.16^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 71.214^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 83.065^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 66.096^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 69.014^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 75.099^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 71.632^\circ$$

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

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

$X_1=1$ 时，各杆件轴力计算：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

各杆轴力计算公式如下：

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

(1) 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：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 502.818 \text{ kN}, \quad T_2 = 353.472 \text{ kN}, \quad T_3 = 817.203 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 38.457 \text{ kN}, \quad T_2 = 816.218 \text{ kN}, \quad T_3 = 855.346 \text{ kN}, \quad T_4 = 612.086 \text{ kN}$$

(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：

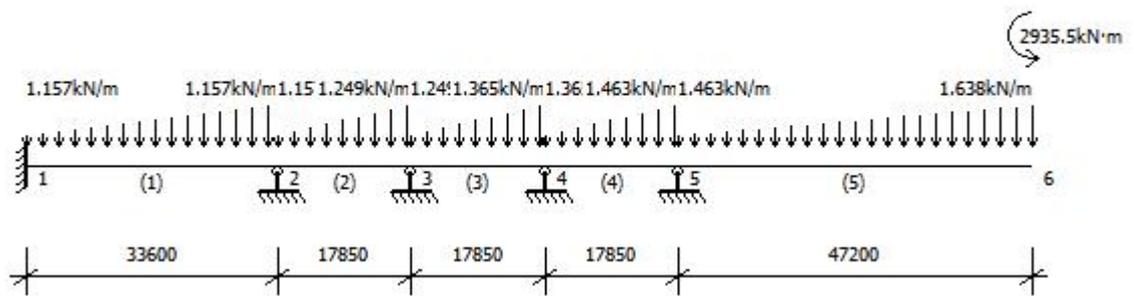
最大轴压力 $T_1=38.457\text{kN}$, $T_2=816.22\text{kN}$, $T_3=855.345\text{kN}$, $T_4=612.085\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=502.818\text{kN}$, $T_2=353.471\text{kN}$, $T_3=817.204\text{kN}$, $T_4=0\text{kN}$

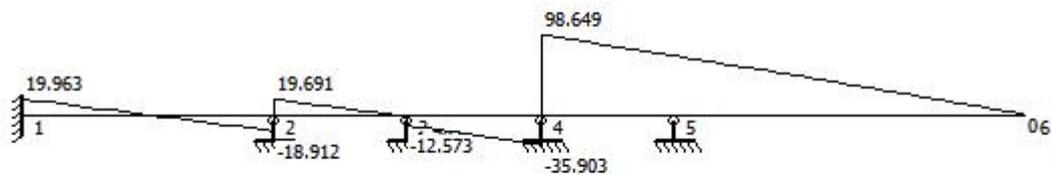
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

得: $R_E=134.552\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座 5 处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=134.552\text{kN}$ 。

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:

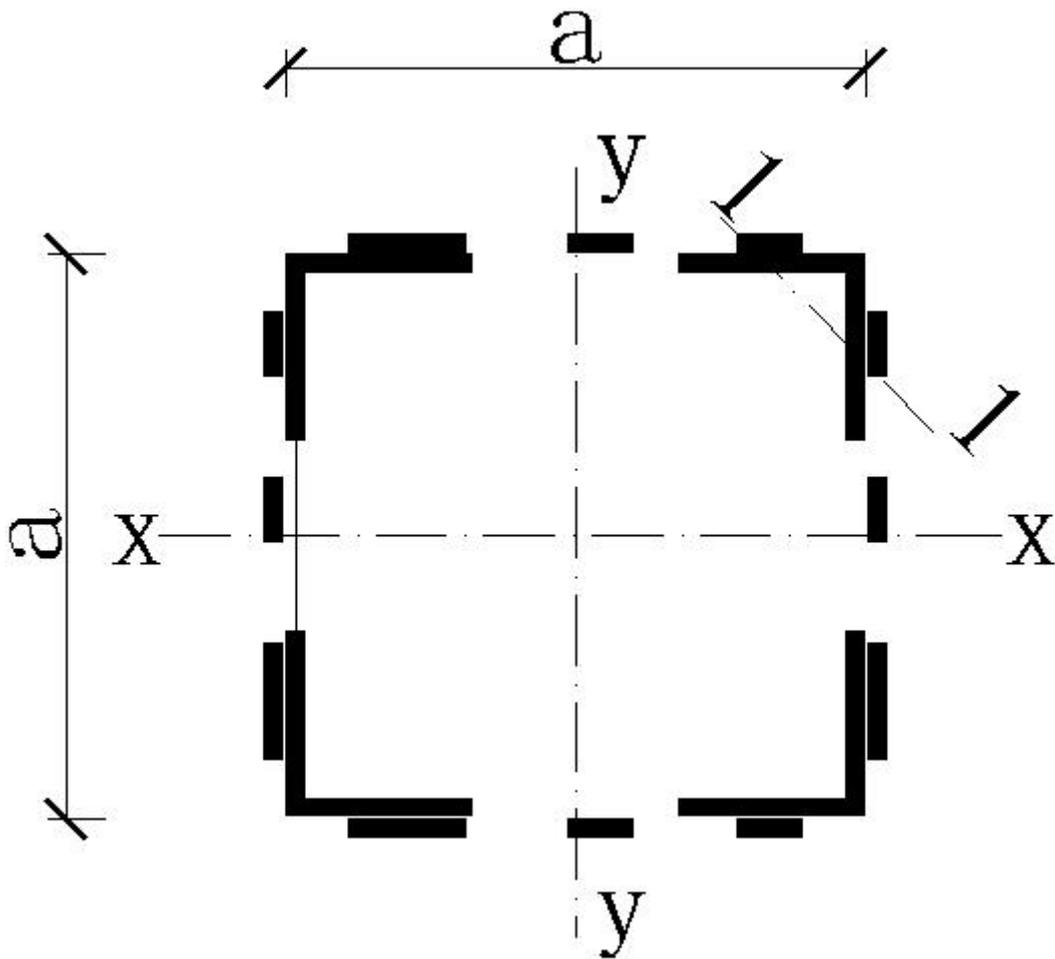
最大轴压力 $T_1=62.9\text{kN}$, $T_2=135.926\text{kN}$, $T_3=194.361\text{kN}$, $T_4=62.977\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=62.901\text{kN}$, $T_2=135.926\text{kN}$, $T_3=194.362\text{kN}$, $T_4=62.977\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

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

附图如下:



塔机附着格构柱截面

1、杆件轴心受拉强度验算

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

$$\sigma=N/A=855345/7704=111.026\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=11347.091\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

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

整个构件长细比:

$$\lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=1134.709/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=65.103$$

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

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

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面面积之和：

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

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(65.103^2+40\times 7704/960)^{0.5}=67.523$$

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_{01\max}=67.523\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.765$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$$\lambda_{02\max}=57.992\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.818$$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$$\lambda_{03\max}=52.603\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.844$$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$$\lambda_{04\max}=64.913\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.78$$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1Af)=502818/(0.765\times 7704\times 210)=0.406\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2Af)=816218/(0.818\times 7704\times 210)=0.617\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3Af)=855346/(0.844\times 7704\times 210)=0.626\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 4 轴心受压稳定验算：

$$N_4/(\varphi_4 Af)=612086/(0.78 \times 7704 \times 210)=0.485 \leq 1$$

满足要求!

3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1=20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 67.523=47.266$$

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2=20.408 \leq 0.7\lambda_{02\max}=0.7 \times 57.992=40.594$$

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_3=20.408 \leq 0.7\lambda_{03\max}=0.7 \times 52.603=36.822$$

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 64.913=45.439$$

满足要求!

4、缀件验算

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

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

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

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

斜缀条轴向压力值:

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

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

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

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

等边角钢计算稳定性系数:

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

缀条稳定验算:

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

满足要求!

需要焊缝长度:

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

满足要求!

六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q355	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)	290

1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 502.818 \times \sin 76.64^\circ = 489.21 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 502.818 \times \cos 76.64^\circ = 116.18 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 816.218 \times \sin 64.16^\circ = 734.608 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 816.218 \times \cos 64.16^\circ = 355.7 \text{ kN};$$

$F_3=N_3\sin\alpha_3=855.346\times\sin 71.214^\circ=809.78\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=855.346\times\cos 71.214^\circ=275.45\text{kN}$;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=612.086\times\sin 83.065^\circ=607.608\text{kN}$, $V_4=N_4\cos\alpha_4=612.086\times\cos 83.065^\circ=73.904\text{kN}$;

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

$X_{\max}=S/2=290/2=145\text{mm}$

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

$\sum x^2=3\times[(290/2)^2+(290/2-1\times 290/2)^2+(290/2-2\times 290/2)^2]=126150\text{mm}^2$

附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum x^2=116.187\times 0.15\times 145/126.15=20.032\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=489.21/(3\times 3)+20.032=74.389\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$N_v=V_1/mn=116.187/(3\times 3)=12.91\text{kN}$

验算单个螺栓承载力:

$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=12.91/143.775+74.389/284=0.352\leq 1$

螺栓承载力满足要求。

附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=355.757 \times 0.15 \times 145/126.15=61.337\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=734.608/(3 \times 3)+61.337=142.96\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=355.757/(3 \times 3)=39.529\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=39.529/143.775+142.96/284=0.778 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=275.45 \times 0.15 \times 145/126.15=47.491\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=809.78/(3 \times 3)+47.491=137.467\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=275.45/(3 \times 3)=30.606\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=30.606/143.775+137.467/284=0.697 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=73.904 \times 0.15 \times 145/126.15=12.742\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=607.608/(3 \times 3)+12.742=80.254\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_4/mn=73.904/(3 \times 3)=8.212\text{kN}$$

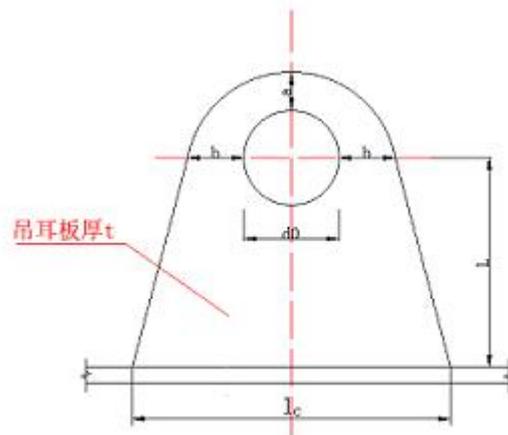
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=8.212/143.775+80.254/284=0.34 \leq 1$$

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):	85
顺受力方向，吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	100	吊孔直径 d ₀ (mm)	75
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm ²)	295	吊耳板抗剪强度设计值 f _v (N/mm ²)	170
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

[单吊耳板](#)

参考 GB50017-2017，对连接耳板进行如下验算：

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 427.673 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 85 \text{ mm}$$

满足要求！

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 100 \text{ mm}$$

满足要求！

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t + 16, b - d_0 / 3) = \min(2 \times 20 + 16, 85 - 75 / 3) = 56 \text{ mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 427.673 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 190.925 \text{ N/mm}^2 \leq f = 295 \text{ N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求！

(3) 耳板端部截面抗拉（劈开）强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a - 2d_0/3)] = 427.673 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (100 - 2 \times 75/3)] = 213.837 \text{ N/mm}^2 \leq f = 295 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a + d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(100 + 75/2)^2 - (75/2)^2]^{0.5} = 132.288 \text{ mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 427.673 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 132.288) = 80.822 \text{ N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{ N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求！

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	75	销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	566
-----------------	----	--	-----

参考 GB50017-2017，对销轴进行如下验算：

由附墙杆内力计算章节可知，作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 855.346 \text{ kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 855.346 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 75^2 / 4) = 96.805 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{ N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求！

5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 h_f (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 (mm)	380

(1) 单吊耳板位置焊缝验算：

附着点 1：

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(502.818\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=26.409\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(116.187\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=6.102\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(116.187\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=16.153\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(26.409+16.153)}{1.22}^2+6.102^2]^{0.5}=35.417\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(816.218\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=42.869\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(355.757\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=18.685\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(355.757\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=49.46\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(42.869+49.46)}{1.22}^2+18.685^2]^{0.5}=77.952\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(855.346\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=44.924\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(275.45\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=14.467\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(275.45\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=38.295\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(44.924+38.295)}{1.22}]^2+14.467^2]^{0.5}=69.73\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附着点 4：

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(N_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(612.086\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=32.147\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(73.904\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=3.881\text{N/mm}^2$$

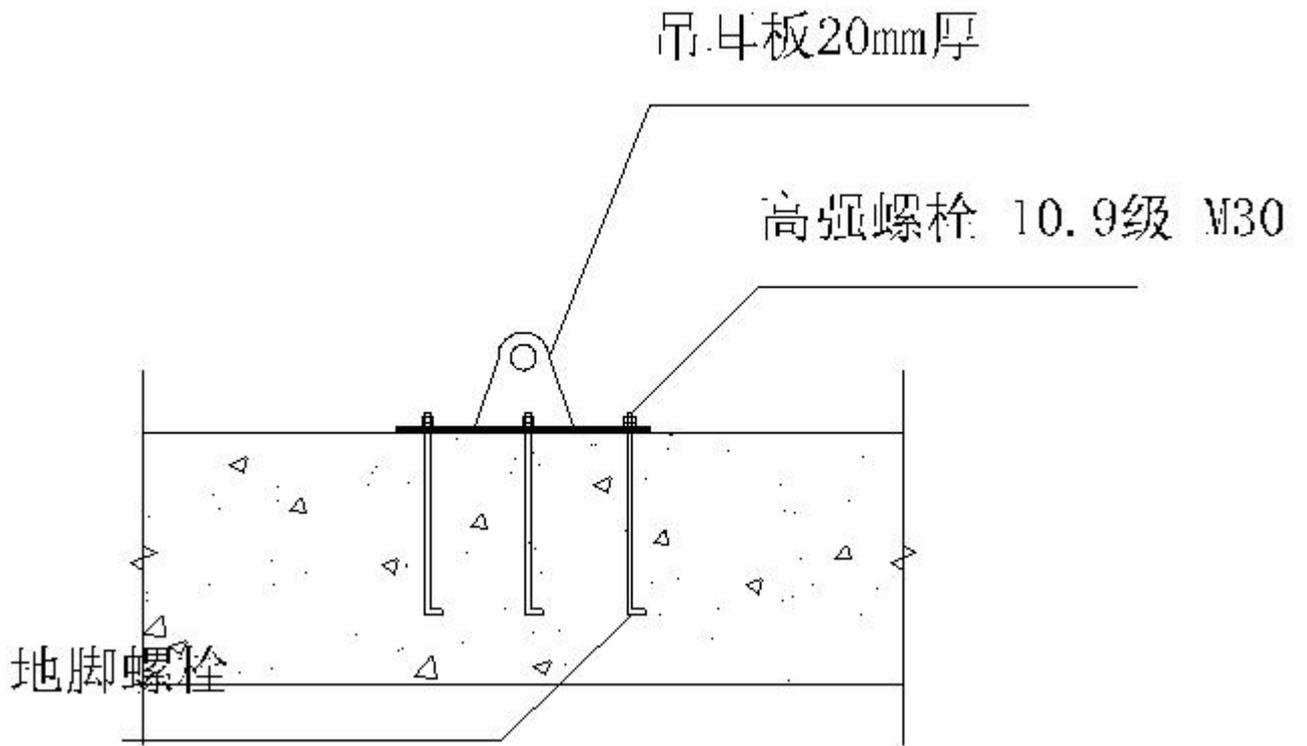
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(73.904\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=10.275\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

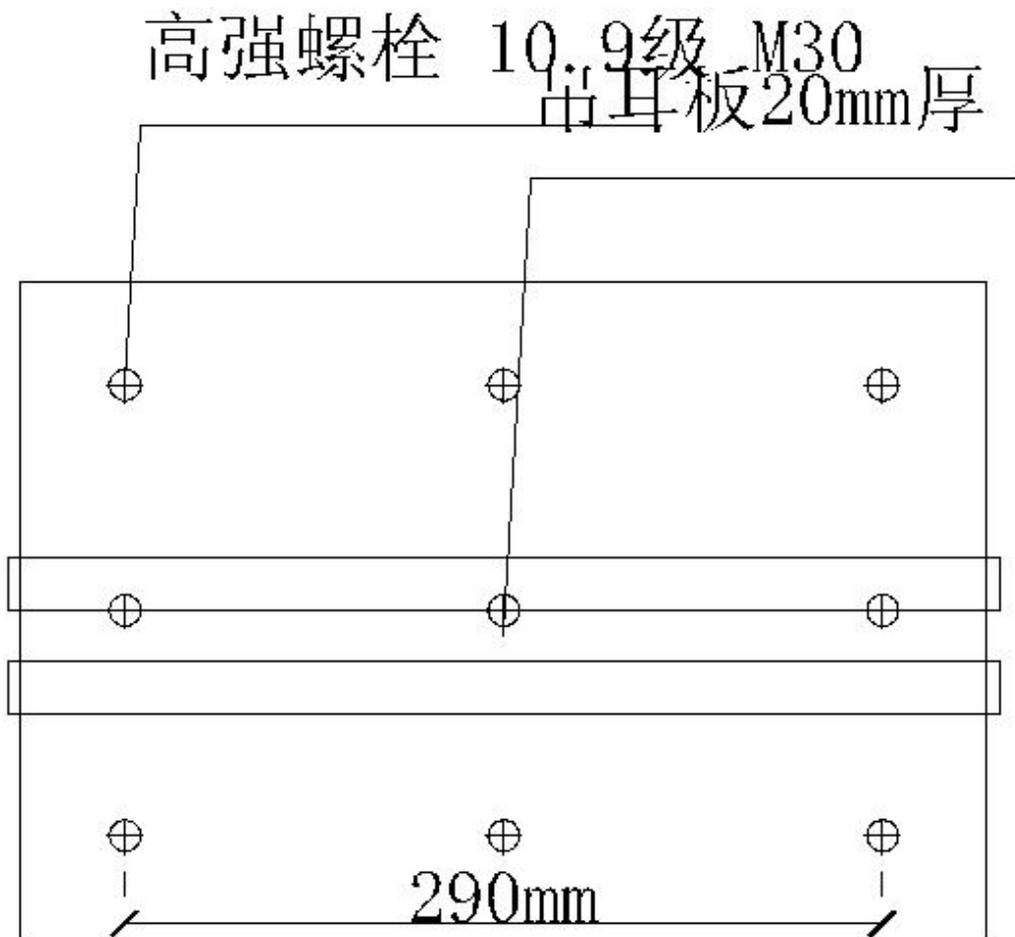
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(32.147+10.275)}{1.22}]^2+3.881^2]^{0.5}=34.988\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

下游矮塔第 5 道计算书

计算依据:

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	徐工 XGT8040-25	塔身桁架结构类型	方钢管
塔机计算高度 H(m)	152.2	塔身宽度 B(m)	2.5
起重臂长度 l ₁ (m)	45	平衡臂长度 l ₂ (m)	24.9
起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	1.56	工作状态时扭矩标准值 T _{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1498
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M _k (kN·m)	3750.3	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)	2935.5(反向)

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	3.212

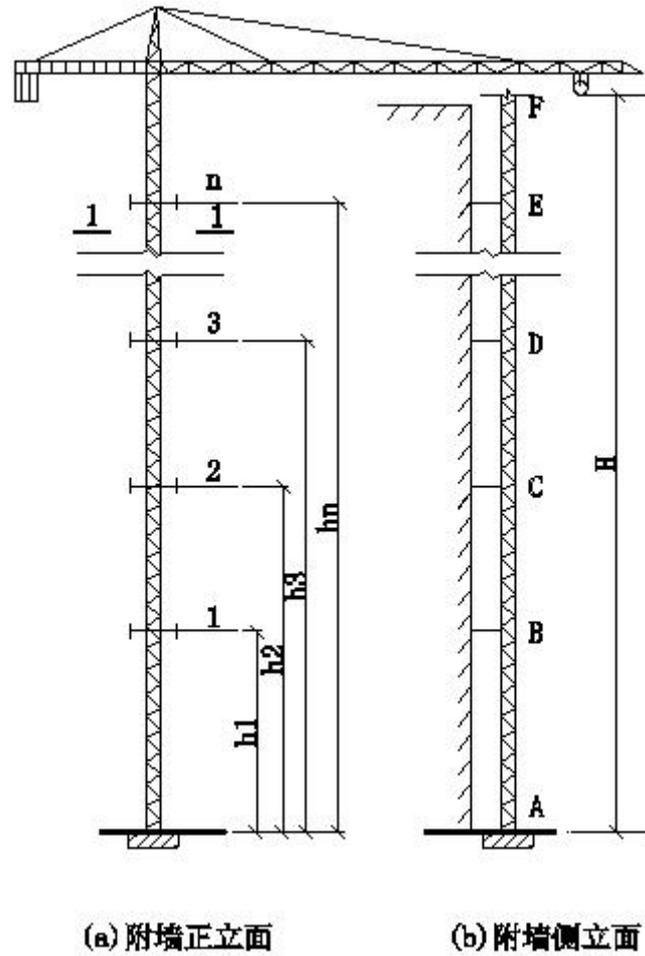
二、风荷载及附着参数

附着次数 N	5		
附着点 1 到塔机的横向距离 a ₁ (m)	1.716	点 1 到塔机的竖向距离 b ₁ (m)	12.01
附着点 2 到塔机的横向距离 a ₂ (m)	3.319	点 2 到塔机的竖向距离 b ₂ (m)	9.617
附着点 3 到塔机的横向距离 a ₃ (m)	3.413	点 3 到塔机的竖向距离 b ₃ (m)	8.95
附着点 4 到塔机的横向距离 a ₄ (m)	1.973	点 4 到塔机的竖向距离 b ₄ (m)	11.584
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	33.6	33.6	1.24	1.95	1.95	1.587	1.628	0.645	1.157

第2次附着	51.45	17.85	1.341	1.95	1.95	1.588	1.624	0.698	1.249
第3次附着	69.3	17.85	1.469	1.95	1.95	1.579	1.621	0.76	1.365
第4次附着	87.15	17.85	1.576	1.95	1.95	1.573	1.619	0.812	1.463
第5次附着	105	17.85	1.669	1.95	1.95	1.567	1.613	0.857	1.543
悬臂端	152.2	47.2	1.855	1.95	1.95	1.548	1.589	0.941	1.69

附图如下:



塔机附着立面图

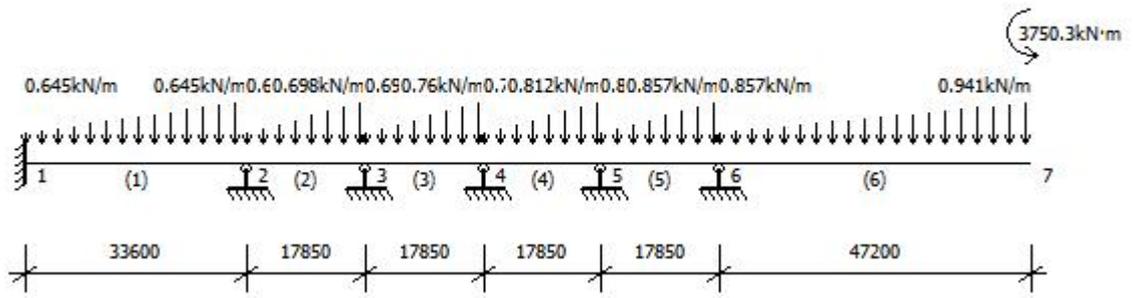
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

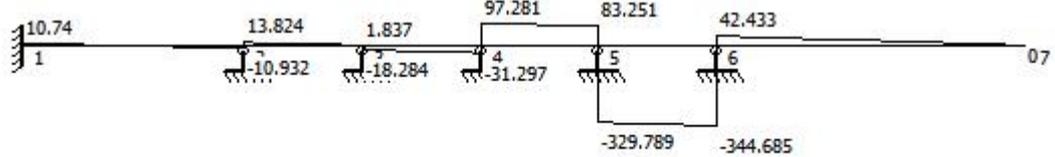
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

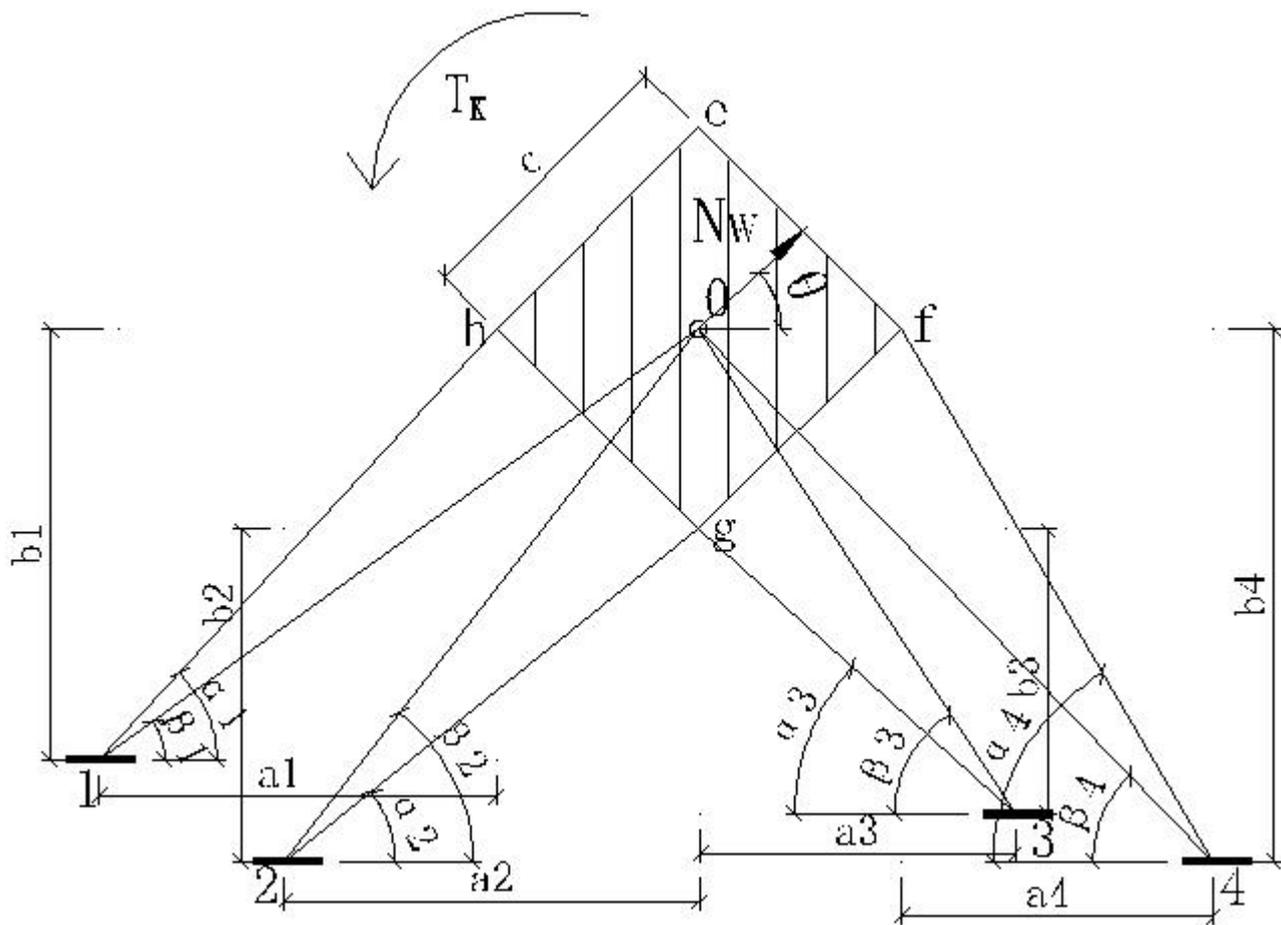
得： $R_E=413.04\text{kN}$

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

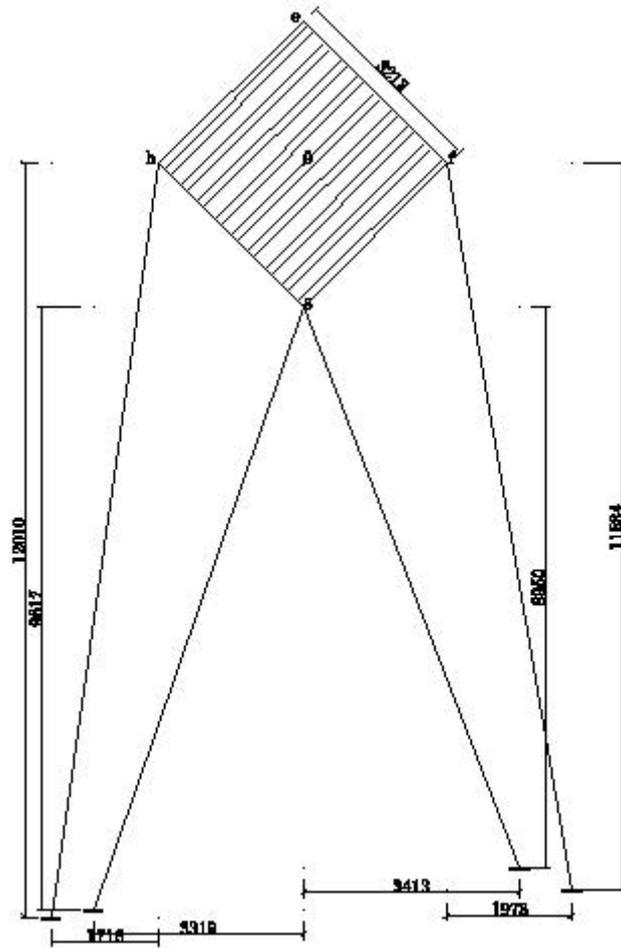
3、附墙杆内力计算

支座 6 处锚固环的截面扭矩 T_k （考虑塔机产生的扭矩由支座 6 处的附墙杆承担），水平内力 $N_w=2^{0.5}R_E=584.127\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 81.869^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 70.96^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 69.126^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 80.334^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 71.634^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 74.401^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 73.083^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 69.878^\circ$$

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

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

$X_1=1$ 时，各杆件轴力计算：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

各杆轴力计算公式如下：

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

(1) 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：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 458.376 \text{ kN}, \quad T_2 = 417.446 \text{ kN}, \quad T_3 = 886.869 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 2.083 \text{ kN}, \quad T_2 = 931.888 \text{ kN}, \quad T_3 = 849.789 \text{ kN}, \quad T_4 = 676.208 \text{ kN}$$

(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：

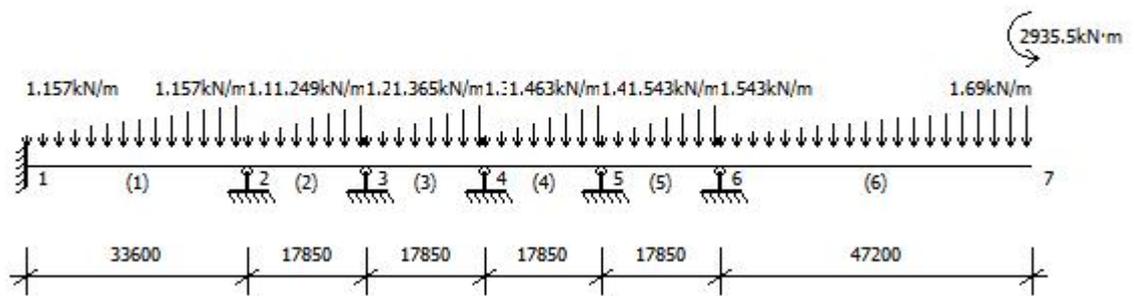
最大轴压力 $T_1=2.083\text{kN}$, $T_2=931.89\text{kN}$, $T_3=849.791\text{kN}$, $T_4=676.206\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=458.376\text{kN}$, $T_2=417.445\text{kN}$, $T_3=886.867\text{kN}$, $T_4=0\text{kN}$

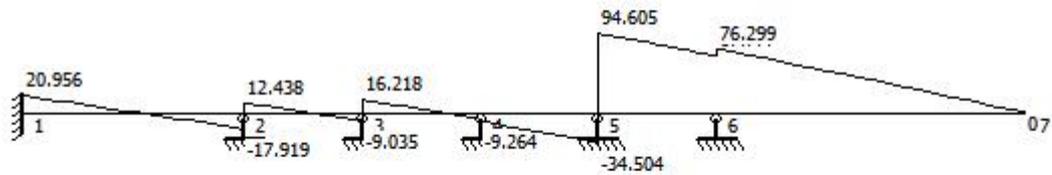
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

得: $R_E=129.11\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座 6 处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=129.11\text{kN}$ 。

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:

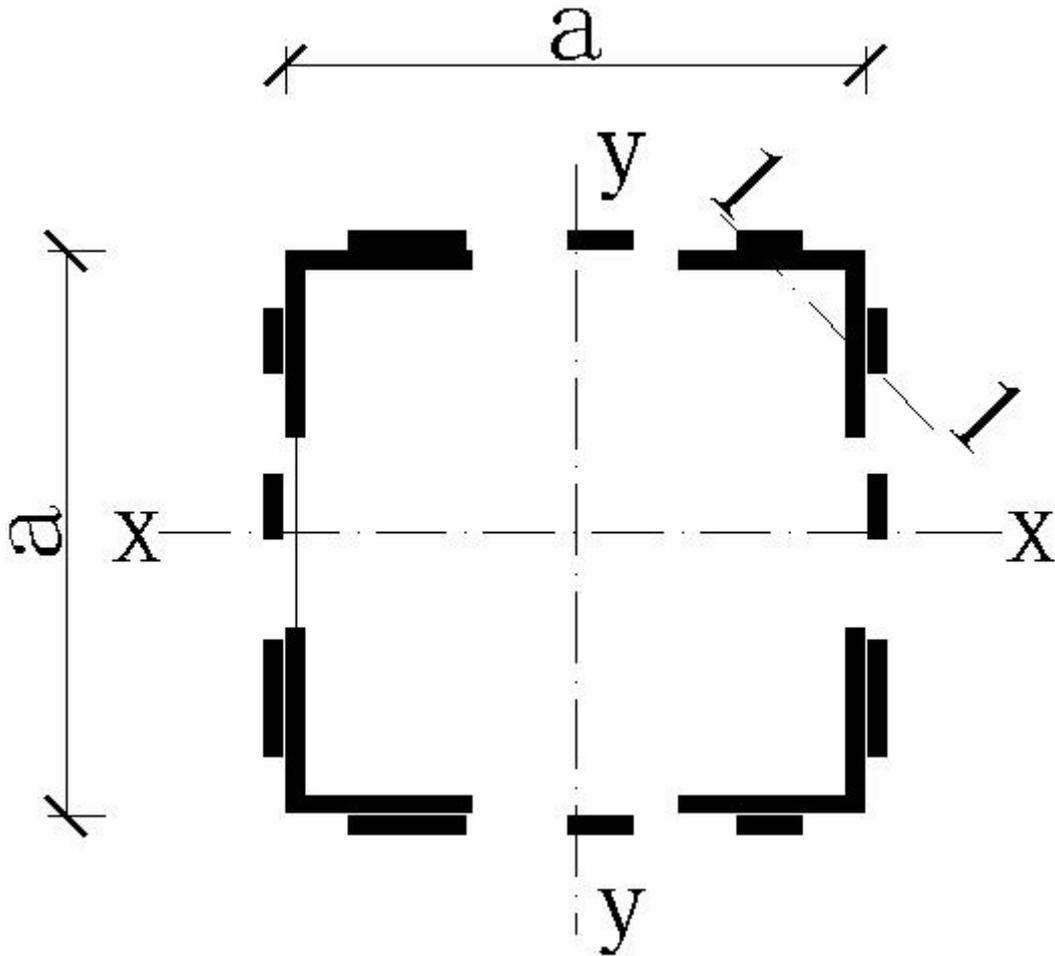
最大轴压力 $T_1=50.887\text{kN}$, $T_2=149.123\text{kN}$, $T_3=191.928\text{kN}$, $T_4=72.518\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=50.888\text{kN}$, $T_2=149.122\text{kN}$, $T_3=191.928\text{kN}$, $T_4=72.518\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

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

附图如下:



塔机附着格构柱截面

1、杆件轴心受拉强度验算

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

$$\sigma=N/A=931890/7704=120.962\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=12131.972\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

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

整个构件长细比:

$$\lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=1213.197/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=69.606$$

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

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

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和：

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

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(69.606^2+40\times 7704/960)^{0.5}=71.875$$

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_{01\max}=71.875\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.739$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$$\lambda_{02\max}=61.058\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.802$$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$$\lambda_{03\max}=57.804\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.819$$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$$\lambda_{04\max}=69.759\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.752$$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1Af)=458376/(0.739\times 7704\times 210)=0.383\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2Af)=931888/(0.802\times 7704\times 210)=0.718\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3Af)=886867/(0.819\times 7704\times 210)=0.669\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 4 轴心受压稳定验算：

$$N_4/(\varphi_4 Af)=676208/(0.752 \times 7704 \times 210)=0.556 \leq 1$$

满足要求!

3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1=20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 71.875=50.312$$

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2=20.408 \leq 0.7\lambda_{02\max}=0.7 \times 61.058=42.741$$

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_3=20.408 \leq 0.7\lambda_{03\max}=0.7 \times 57.804=40.463$$

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 69.759=48.831$$

满足要求!

4、缀件验算

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

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

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

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

斜缀条轴向压力值:

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

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

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

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

等边角钢计算稳定性系数:

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

缀条稳定验算:

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

满足要求!

需要焊缝长度:

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

满足要求!

六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q355	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)	290

1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 458.376 \times \sin 81.869^\circ = 453.768 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 458.376 \times \cos 81.869^\circ = 64.835 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 931.888 \times \sin 70.96^\circ = 880.903 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 931.888 \times \cos 70.96^\circ = 304.015 \text{ kN};$$

$F_3=N_3\sin\alpha_3=886.867\times\sin 69.126^\circ=828.659\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=886.867\times\cos 69.126^\circ=316.002\text{kN}$;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=676.208\times\sin 80.334^\circ=666.608\text{kN}$, $V_4=N_4\cos\alpha_4=676.208\times\cos 80.334^\circ=113.537\text{kN}$;

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

$X_{\max}=S/2=290/2=145\text{mm}$

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

$\sum X^2=3\times[(290/2)^2+(290/2-1\times 290/2)^2+(290/2-2\times 290/2)^2]=126150\text{mm}^2$

附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum X^2=64.835\times 0.15\times 145/126.15=11.178\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=453.768/(3\times 3)+11.178=61.597\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$N_v=V_1/mn=64.835/(3\times 3)=7.204\text{kN}$

验算单个螺栓承载力:

$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=7.204/143.775+61.597/284=0.267\leq 1$

螺栓承载力满足要求。

附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=304.015 \times 0.15 \times 145/126.15=52.416\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=880.903/(3 \times 3)+52.416=150.294\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=304.015/(3 \times 3)=33.779\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=33.779/143.775+150.294/284=0.764 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=316.002 \times 0.15 \times 145/126.15=54.483\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=828.659/(3 \times 3)+54.483=146.556\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=316.002/(3 \times 3)=35.111\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=35.111/143.775+146.556/284=0.76 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=113.537 \times 0.15 \times 145/126.15=19.575\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=666.608/(3 \times 3)+19.575=93.643\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_4/mn=113.537/(3 \times 3)=12.615\text{kN}$$

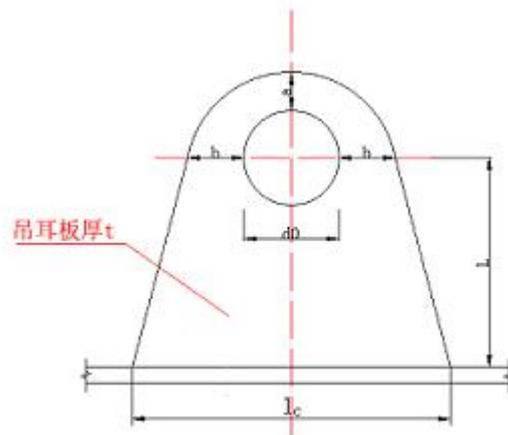
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=12.615/143.775+93.643/284=0.417 \leq 1$$

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):	85
顺受力方向，吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	100	吊孔直径 d ₀ (mm)	75
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm ²)	295	吊耳板抗剪强度设计值 f _v (N/mm ²)	170
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

[单吊耳板](#)

参考 GB50017-2017，对连接耳板进行如下验算：

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 465.944 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 85 \text{ mm}$$

满足要求！

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 100 \text{ mm}$$

满足要求！

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t + 16, b - d_0 / 3) = \min(2 \times 20 + 16, 85 - 75 / 3) = 56 \text{ mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 465.944 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 208.011 \text{ N/mm}^2 \leq f = 295 \text{ N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求！

(3) 耳板端部截面抗拉（劈开）强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a - 2d_0/3)] = 465.944 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (100 - 2 \times 75/3)] = 232.972 \text{ N/mm}^2 \leq f = 295 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a + d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(100 + 75/2)^2 - (75/2)^2]^{0.5} = 132.288 \text{ mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 465.944 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 132.288) = 88.055 \text{ N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{ N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求！

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	75	销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	566
-----------------	----	--	-----

参考 GB50017-2017，对销轴进行如下验算：

由附墙杆内力计算章节可知，作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 931.888 \text{ kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 931.888 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 75^2 / 4) = 105.468 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{ N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求！

5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 h_f (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 (mm)	380

(1) 单吊耳板位置焊缝验算：

附着点 1：

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(458.376\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=24.074\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(64.835\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=3.405\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(64.835\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=9.014\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(24.074+9.014)}{1.22}^2+3.405^2]^{0.5}=27.334\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(931.888\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=48.944\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(304.015\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=15.967\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(304.015\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=42.266\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(48.944+42.266)}{1.22}^2+15.967^2]^{0.5}=76.448\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(886.867\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=46.579\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(316.002\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=16.597\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(316.002\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=43.932\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(46.579+43.932)}{1.22}^2+16.597^2]^{0.5}=76.023\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附着点 4：

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(N_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(676.208\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=35.515\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(113.537\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=5.963\text{N/mm}^2$$

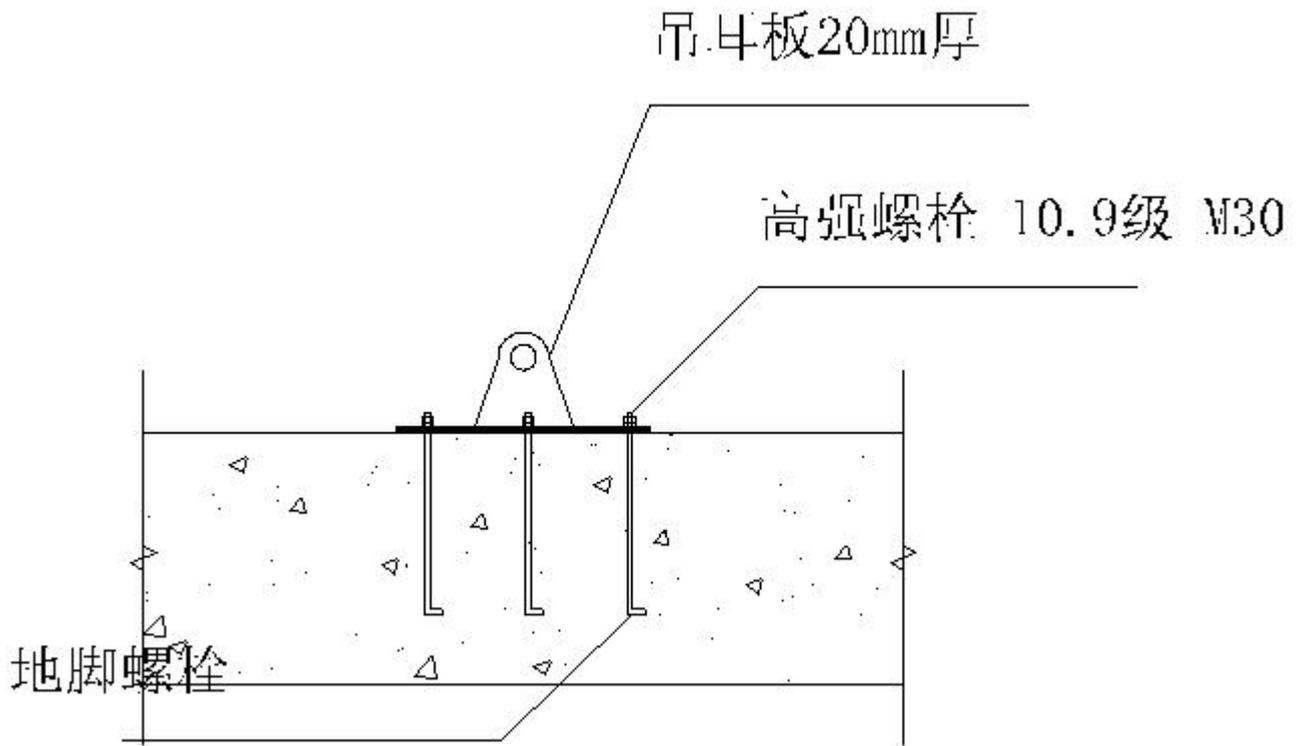
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(113.537\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=15.785\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

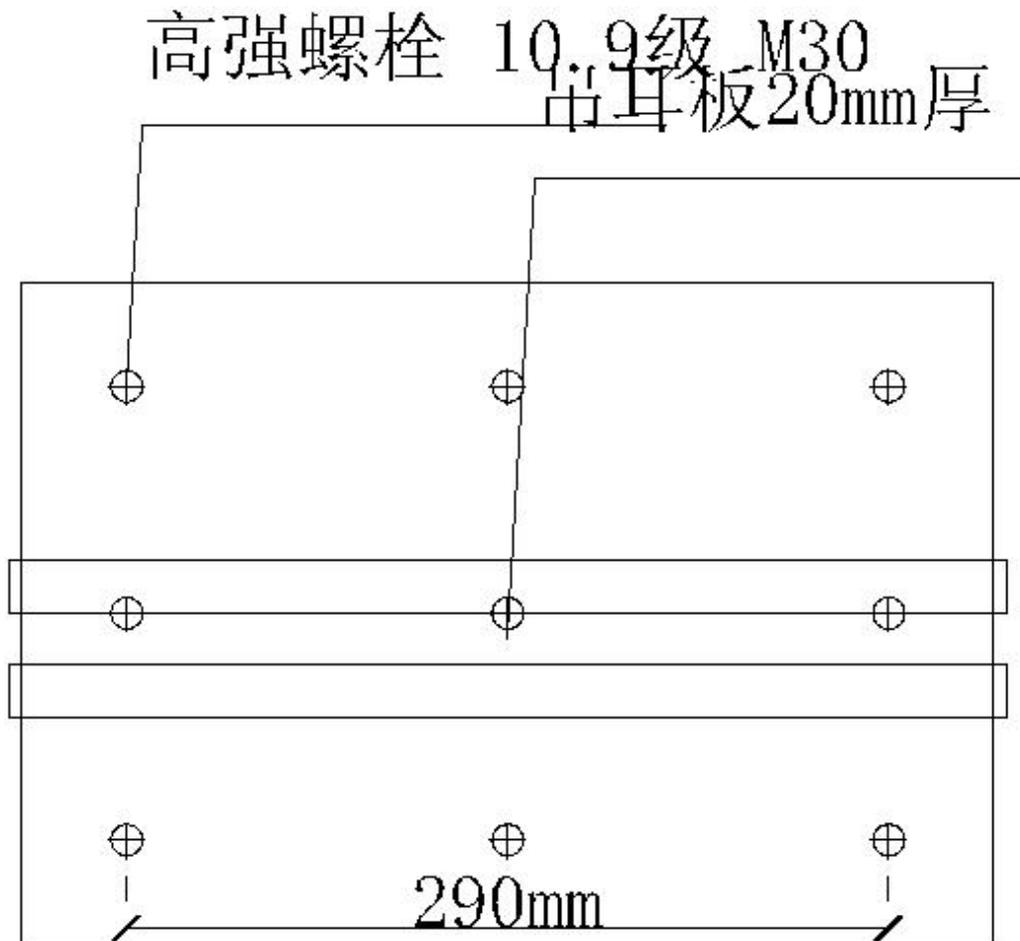
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(35.515+15.785)}{1.22}^2+5.963^2]^{0.5}=42.47\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

下游矮塔第 6 道计算书

计算依据:

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	徐工 XGT8040-25	塔身桁架结构类型	方钢管
塔机计算高度 H(m)	170.05	塔身宽度 B(m)	2.5
起重臂长度 l ₁ (m)	45	平衡臂长度 l ₂ (m)	24.9
起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	1.56	工作状态时扭矩标准值 T _{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1498
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M _k (kN·m)	3750.3	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)	2935.5(反向)

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	3.212

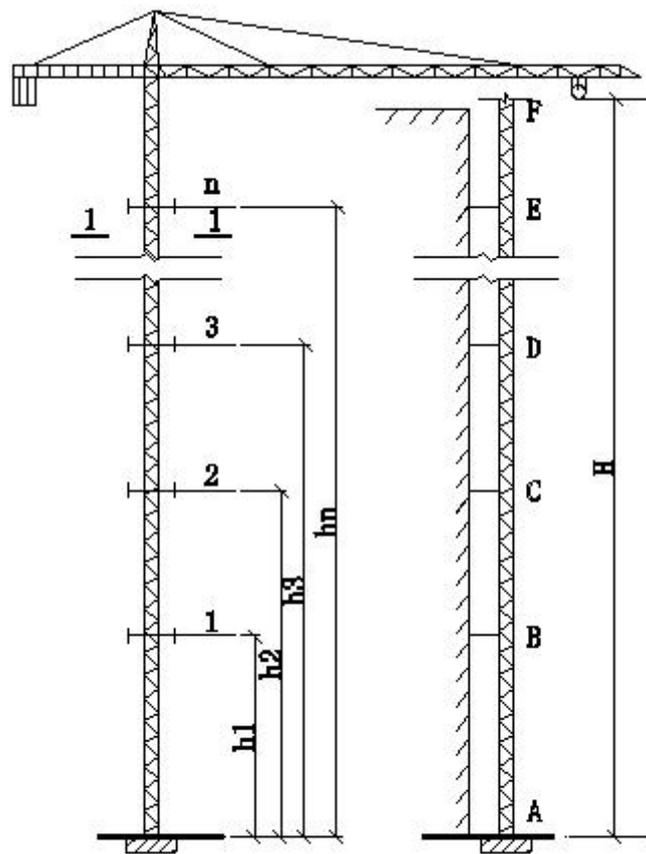
二、风荷载及附着参数

附着次数 N	6		
附着点 1 到塔机的横向距离 a ₁ (m)	0.724	点 1 到塔机的竖向距离 b ₁ (m)	12.877
附着点 2 到塔机的横向距离 a ₂ (m)	2.357	点 2 到塔机的竖向距离 b ₂ (m)	10.485
附着点 3 到塔机的横向距离 a ₃ (m)	4.05	点 3 到塔机的竖向距离 b ₃ (m)	9.74
附着点 4 到塔机的横向距离 a ₄ (m)	2.63	点 4 到塔机的竖向距离 b ₄ (m)	12.373
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	33.6	33.6	1.24	1.95	1.95	1.587	1.628	0.645	1.157

第2次附着	51.45	17.85	1.341	1.95	1.95	1.588	1.624	0.698	1.249
第3次附着	69.3	17.85	1.469	1.95	1.95	1.579	1.621	0.76	1.365
第4次附着	87.15	17.85	1.576	1.95	1.95	1.573	1.619	0.812	1.463
第5次附着	105	17.85	1.669	1.95	1.95	1.567	1.613	0.857	1.543
第6次附着	122.85	17.85	1.751	1.95	1.95	1.565	1.61	0.898	1.616
悬臂端	170.05	47.2	1.92	1.95	1.95	1.548	1.589	0.974	1.749

附图如下:



(a) 附墙正立面

(b) 附墙侧立面

塔机附着立面图

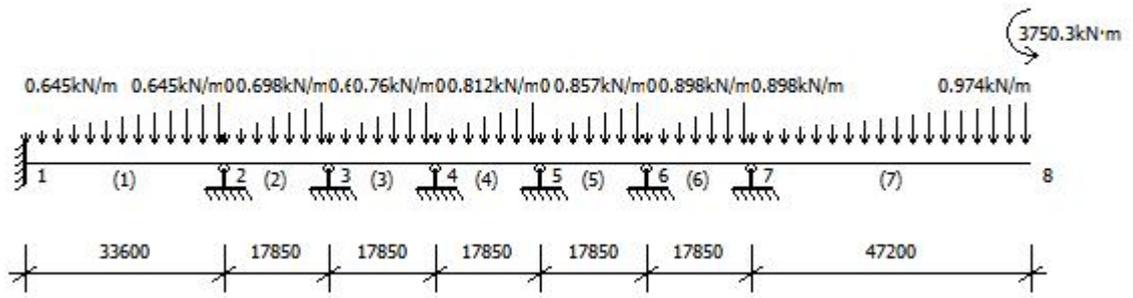
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

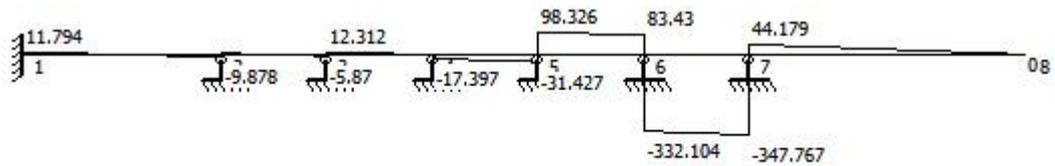
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

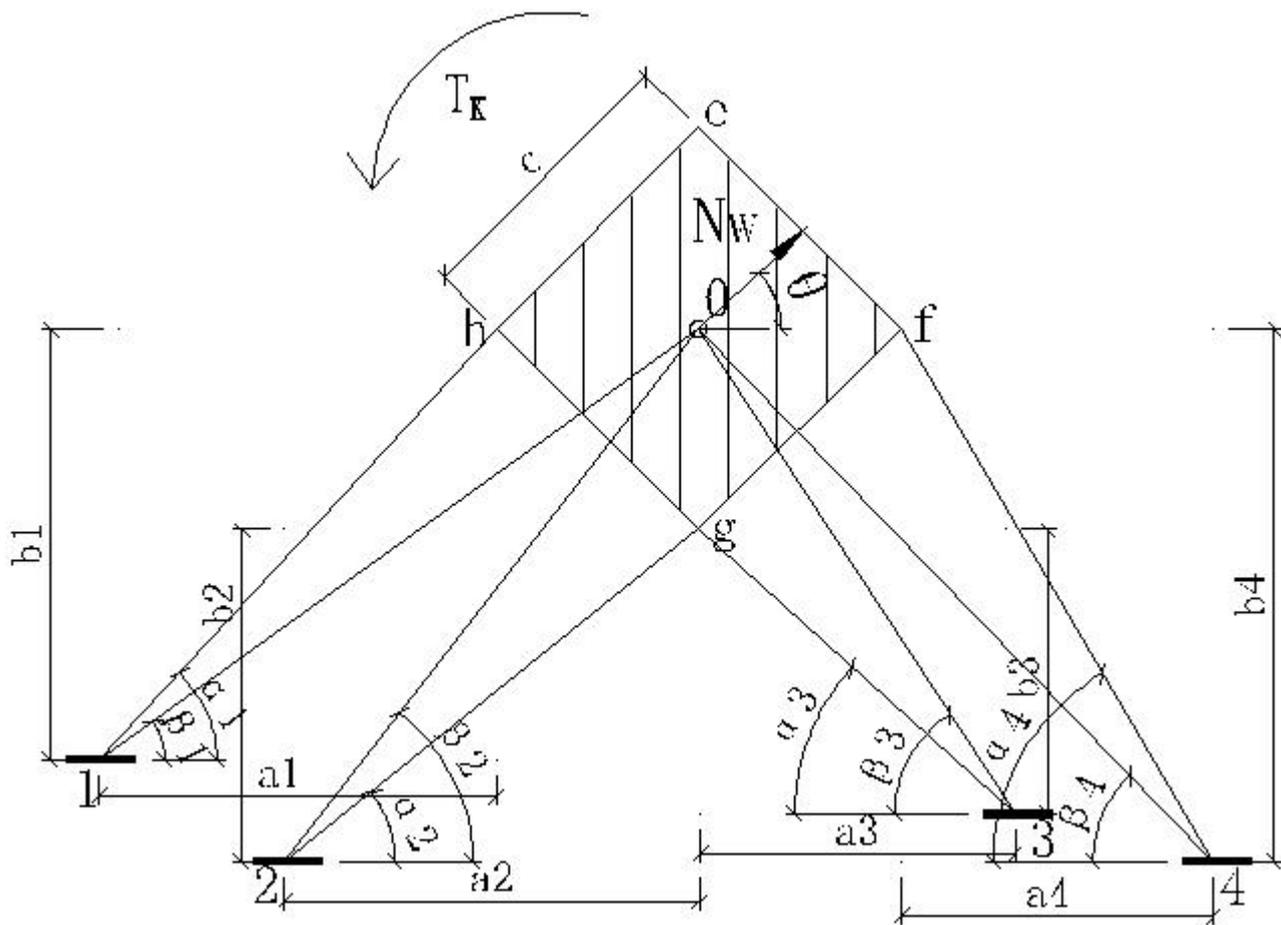
得： $R_E=415.534\text{kN}$

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 7 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。

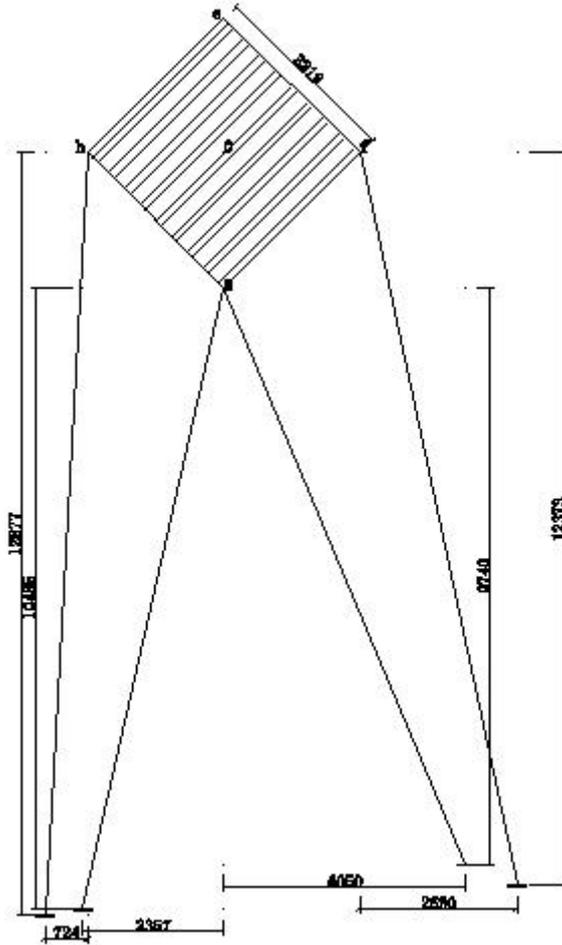
3、附墙杆内力计算

支座 7 处锚固环的截面扭矩 T_k （考虑塔机产生的扭矩由支座 7 处的附墙杆承担），水平内力 $N_w=2^{0.5}R_E=587.654\text{kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 86.782^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 77.331^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 67.422^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 78^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 76.906^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 79.531^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 71.367^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 68.39^\circ$$

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

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

$X_1=1$ 时，各杆件轴力计算：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

各杆轴力计算公式如下：

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

(1) 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：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 412.997 \text{ kN}, \quad T_2 = 494.44 \text{ kN}, \quad T_3 = 974.797 \text{ kN}, \quad T_4 = 26.623 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 0 \text{ kN}, \quad T_2 = 1073.573 \text{ kN}, \quad T_3 = 854.061 \text{ kN}, \quad T_4 = 733.8 \text{ kN}$$

(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：

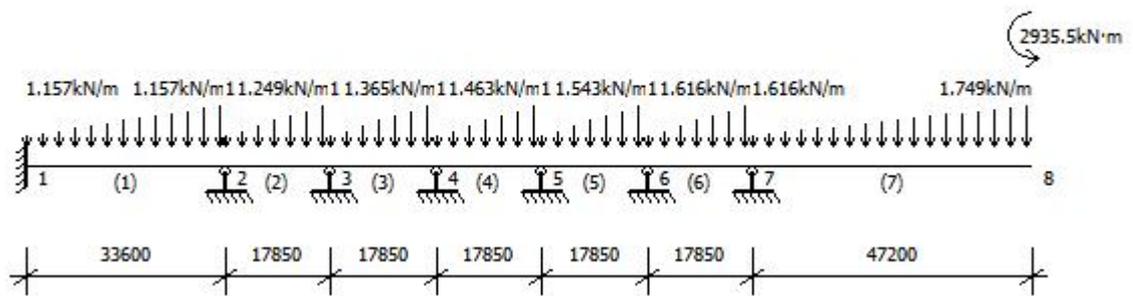
最大轴压力 $T_1=0\text{kN}$, $T_2=1073.576\text{kN}$, $T_3=854.063\text{kN}$, $T_4=733.801\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=412.997\text{kN}$, $T_2=494.437\text{kN}$, $T_3=974.795\text{kN}$, $T_4=26.622\text{kN}$

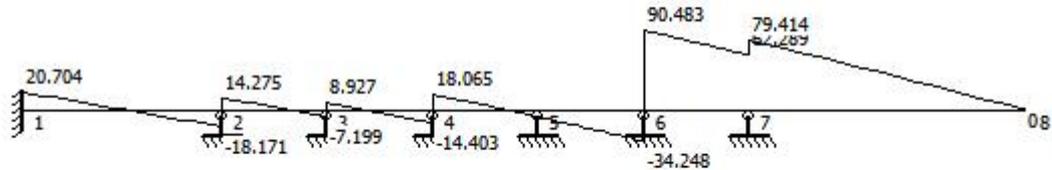
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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: $R_E=124.731\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座 7 处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=124.731\text{kN}$ 。

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:

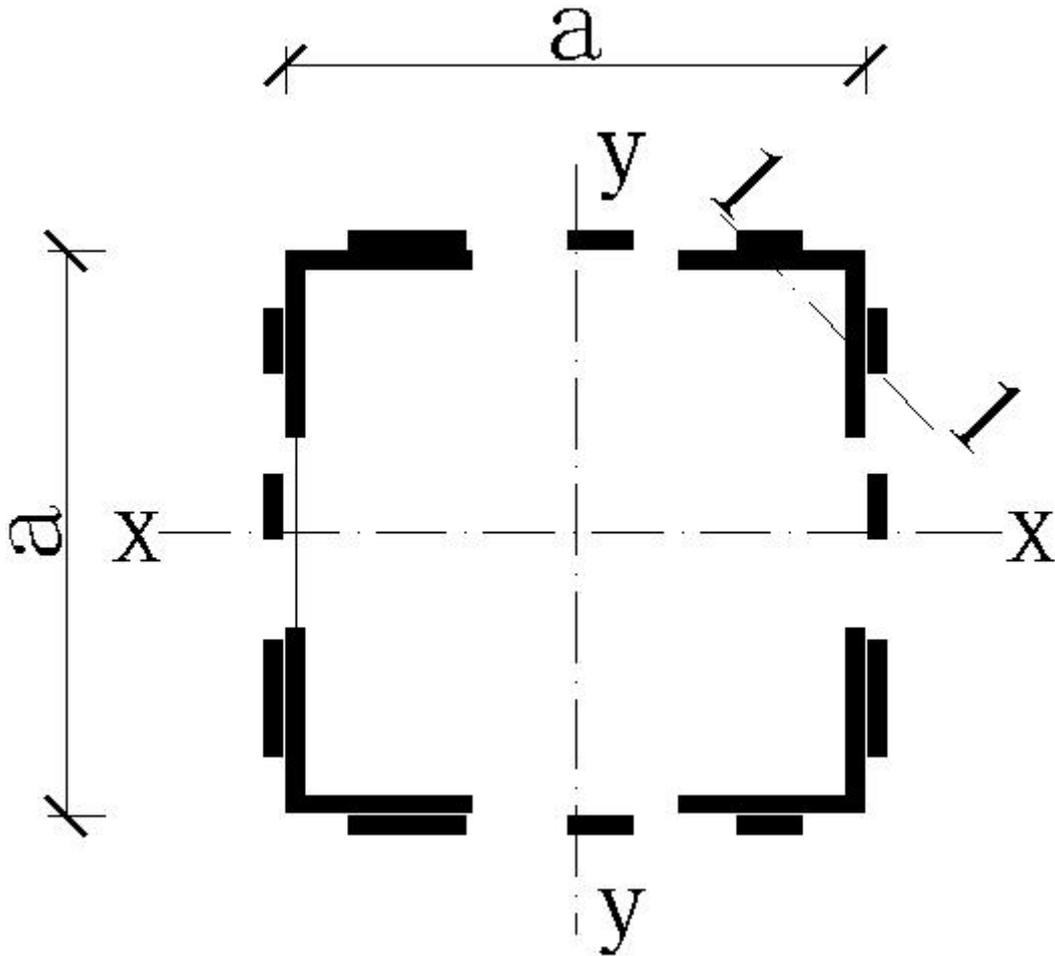
最大轴压力 $T_1=39.334\text{kN}$, $T_2=166.408\text{kN}$, $T_3=194.09\text{kN}$, $T_4=80.701\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=39.333\text{kN}$, $T_2=166.408\text{kN}$, $T_3=194.09\text{kN}$, $T_4=80.701\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

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

附图如下:



塔机附着格构柱截面

1、杆件轴心受拉强度验算

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

$$\sigma=N/A=1073576/7704=139.353\text{N/mm}^2\leq[f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=12897.337\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

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

整个构件长细比:

$$\lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=1289.734/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=73.997$$

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

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

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和：

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

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(73.997^2+40\times 7704/960)^{0.5}=76.135$$

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_{01\max}=76.135\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.713$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$$\lambda_{02\max}=64.208\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.784$$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$$\lambda_{03\max}=63.117\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.79$$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$$\lambda_{04\max}=74.754\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.722$$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1Af)=412997/(0.713\times 7704\times 210)=0.358\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2Af)=1073573/(0.784\times 7704\times 210)=0.846\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3Af)=974795/(0.79\times 7704\times 210)=0.763\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 4 轴心受压稳定验算：

$$N_4/(\varphi_4 Af)=733800/(0.722 \times 7704 \times 210)=0.628 \leq 1$$

满足要求!

3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1=20.408 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 76.135=53.295$$

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2=20.408 \leq 0.7\lambda_{02\max}=0.7 \times 64.208=44.946$$

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_3=20.408 \leq 0.7\lambda_{03\max}=0.7 \times 63.117=44.182$$

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=20.408 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 74.754=52.328$$

满足要求!

4、缀件验算

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

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

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

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

斜缀条轴向压力值:

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

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

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

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

等边角钢计算稳定性系数:

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

缀条稳定验算:

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

满足要求!

需要焊缝长度:

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

满足要求!

六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q355	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)	290

1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1 = N_1 \sin \alpha_1 = 412.997 \times \sin 86.782^\circ = 412.346 \text{ kN}, V_1 = N_1 \cos \alpha_1 = 412.997 \times \cos 86.782^\circ = 23.184 \text{ kN};$$

$$F_2 = N_2 \sin \alpha_2 = 1073.573 \times \sin 77.331^\circ = 1047.434 \text{ kN}, V_2 = N_2 \cos \alpha_2 = 1073.573 \times \cos 77.331^\circ = 235.46 \text{ kN};$$

$F_3=N_3\sin\alpha_3=974.795\times\sin67.422^\circ=900.084\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=974.795\times\cos67.422^\circ=374.265\text{kN}$;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=733.8\times\sin78^\circ=717.764\text{kN}$, $V_4=N_4\cos\alpha_4=733.8\times\cos78^\circ=152.568\text{kN}$;

2、螺栓承载力计算

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

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

(1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$X_{\max}=S/2=290/2=145\text{mm}$

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

$\sum X^2=3\times[(290/2)^2+(290/2-1\times290/2)^2+(290/2-2\times290/2)^2]=126150\text{mm}^2$

附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum X^2=23.184\times0.15\times145/126.15=3.997\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=412.346/(3\times3)+3.997=49.813\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$N_v=V_1/mn=23.184/(3\times3)=2.576\text{kN}$

验算单个螺栓承载力:

$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=2.576/143.775+49.813/284=0.193\leq 1$

螺栓承载力满足要求。

附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}}=(V_2L\cdot X_{\max})/\sum X^2=235.46\times0.15\times145/126.15=40.597\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_2/mn + N_{\text{附加}} = 1047.434/(3 \times 3) + 40.597 = 156.979 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_2/mn = 235.46/(3 \times 3) = 26.162 \text{ kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b + N_t/N_t^b = 26.162/143.775 + 156.979/284 = 0.735 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 3:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_3 L \cdot X_{\text{max}}) / \Sigma x^2 = 374.265 \times 0.15 \times 145 / 126.15 = 64.528 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_3/mn + N_{\text{附加}} = 900.084/(3 \times 3) + 64.528 = 164.537 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_3/mn = 374.265/(3 \times 3) = 41.585 \text{ kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b + N_t/N_t^b = 41.585/143.775 + 164.537/284 = 0.869 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_4 L \cdot X_{\text{max}}) / \Sigma x^2 = 152.568 \times 0.15 \times 145 / 126.15 = 26.305 \text{ kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_4/mn + N_{\text{附加}} = 717.764/(3 \times 3) + 26.305 = 106.057 \text{ kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4/mn = 152.568/(3 \times 3) = 16.952 \text{ kN}$$

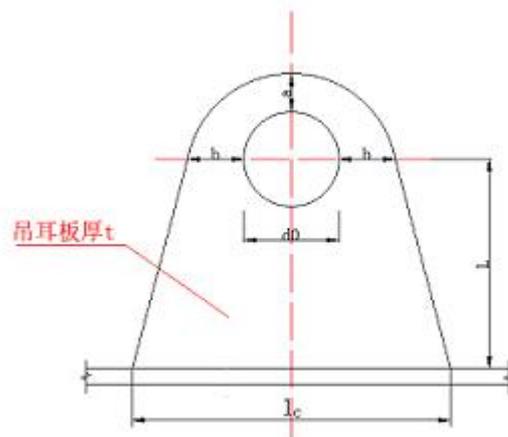
验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b + N_t/N_t^b = 16.952/143.775 + 106.057/284 = 0.491 \leq 1$$

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):	85
顺受力方向，吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	100	吊孔直径 d ₀ (mm)	75
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm ²)	295	吊耳板抗剪强度设计值 f _v (N/mm ²)	170
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

[单吊耳板](#)

参考 GB50017-2017，对连接耳板进行如下验算：

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 536.787 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 85 \text{ mm}$$

满足要求！

$$4B_e/3 = 4 \times 56/3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 100 \text{ mm}$$

满足要求！

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t + 16, b - d_0/3) = \min(2 \times 20 + 16, 85 - 75/3) = 56 \text{ mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 536.787 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 239.637 \text{ N/mm}^2 \leq f = 295 \text{ N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求！

(3) 耳板端部截面抗拉（劈开）强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a - 2d_0/3)] = 536.787 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (100 - 2 \times 75/3)] = 268.393 \text{ N/mm}^2 \leq f = 295 \text{ N/mm}^2$$

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：

$$Z = [(a + d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(100 + 75/2)^2 - (75/2)^2]^{0.5} = 132.288 \text{ mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 536.787 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 132.288) = 101.443 \text{ N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{ N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求！

4、销轴计算

销轴直径 d_1 (mm)	75	销轴材料抗剪强度 f_{v1}^b (N/mm ²)	566
-----------------	----	--	-----

参考 GB50017-2017，对销轴进行如下验算：

由附墙杆内力计算章节可知，作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 1073.573 \text{ kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 1073.573 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 75^2 / 4) = 121.504 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{ N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求！

5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 h_f (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 (mm)	380

(1) 单吊耳板位置焊缝验算：

附着点 1：

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(412.997\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=21.691\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(23.184\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=1.218\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(23.184\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=3.223\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(21.691+3.223)}{1.22}+1.218^2]^{0.5}=20.458\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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：

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(1073.573\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=56.385\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(235.46\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=12.367\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(235.46\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=32.735\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(56.385+32.735)}{1.22}+12.367^2]^{0.5}=74.089\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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：

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(974.795\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=51.197\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(374.265\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=19.657\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(374.265\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=52.033\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(51.197+52.033)}{1.22}]^2+19.657^2]^{0.5}=86.868\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3：连接钢板焊缝强度满足要求！

附着点 4：

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为：

$$\sigma_N=(N_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(733.8\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=38.54\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(152.568\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=8.013\text{N/mm}^2$$

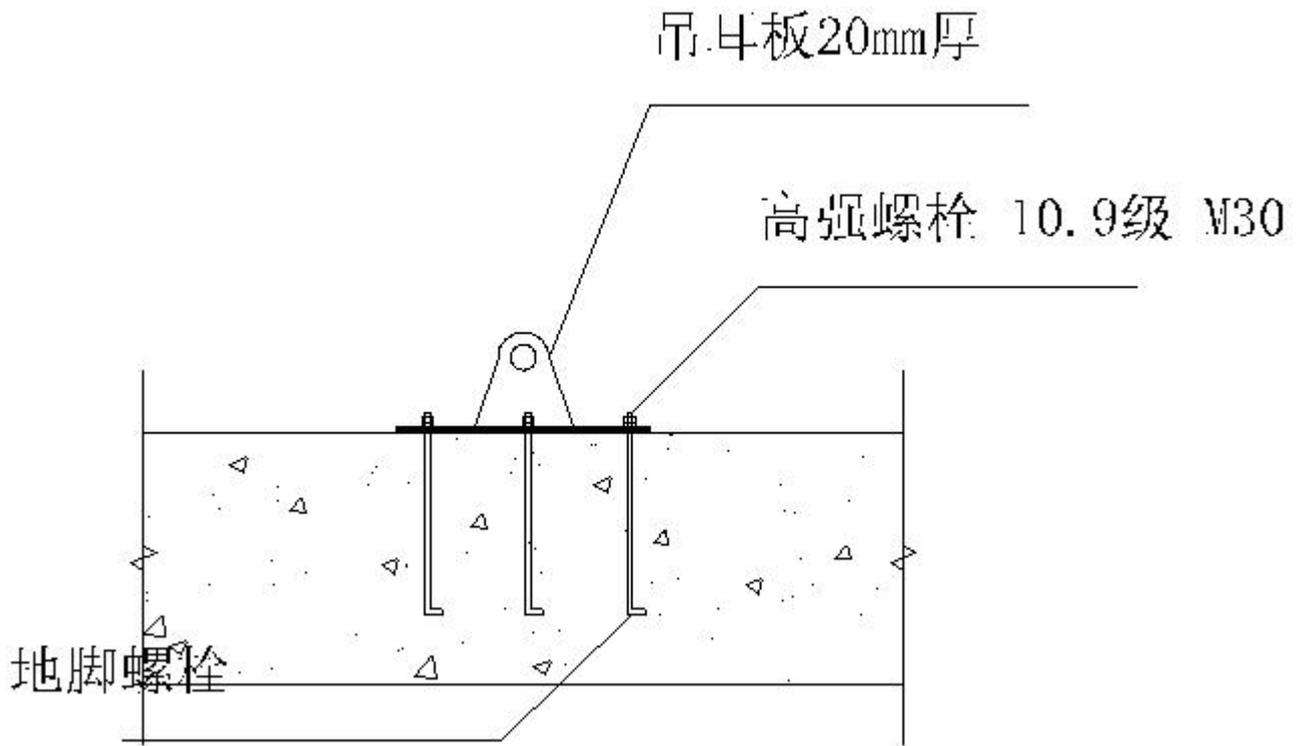
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(152.568\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=21.211\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算：

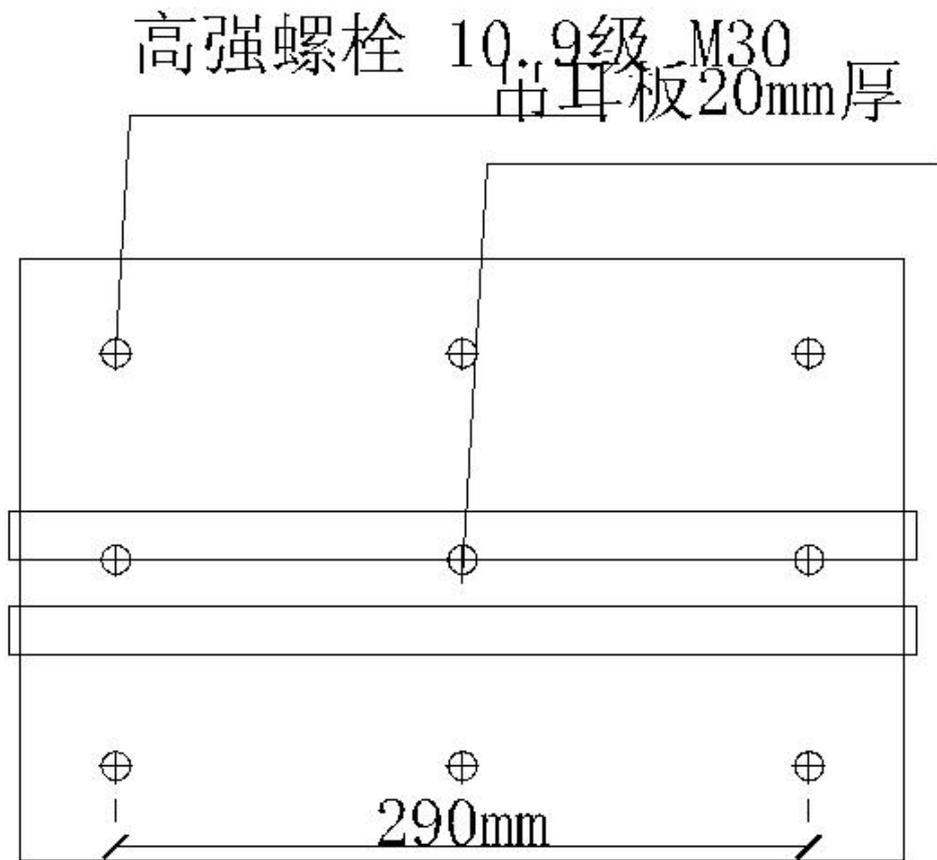
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(38.54+21.211)}{1.22}]^2+8.013^2]^{0.5}=49.627\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4：连接钢板焊缝强度满足要求！

附图如下：



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

下游矮塔第 7 道计算书

计算依据:

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	徐工 XGT8040-25	塔身桁架结构类型	方钢管
塔机计算高度 H(m)	187.9	塔身宽度 B(m)	2.5
起重臂长度 l ₁ (m)	45	平衡臂长度 l ₂ (m)	24.9
起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	1.56	工作状态时扭矩标准值 T _{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1498
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M _k (kN·m)	3750.3	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)	2935.5(反向)

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	3.212

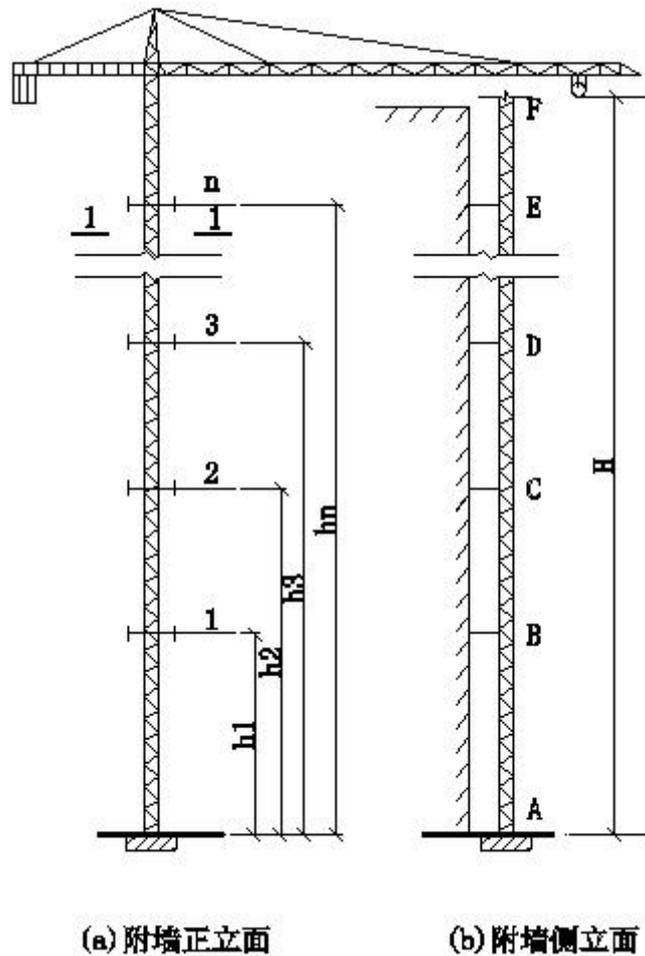
二、风荷载及附着参数

附着次数 N	7		
附着点 1 到塔机的横向距离 a ₁ (m)	0.274	点 1 到塔机的竖向距离 b ₁ (m)	13.271
附着点 2 到塔机的横向距离 a ₂ (m)	2.25	点 2 到塔机的竖向距离 b ₂ (m)	10.878
附着点 3 到塔机的横向距离 a ₃ (m)	2.616	点 3 到塔机的竖向距离 b ₃ (m)	4.519
附着点 4 到塔机的横向距离 a ₄ (m)	0.876	点 4 到塔机的竖向距离 b ₄ (m)	6.28
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	33.6	33.6	1.24	1.95	1.95	1.587	1.628	0.645	1.157

第2次附着	51.45	17.85	1.341	1.95	1.95	1.588	1.624	0.698	1.249
第3次附着	69.3	17.85	1.469	1.95	1.95	1.579	1.621	0.76	1.365
第4次附着	87.15	17.85	1.576	1.95	1.95	1.573	1.619	0.812	1.463
第5次附着	105	17.85	1.669	1.95	1.95	1.567	1.613	0.857	1.543
第6次附着	122.85	17.85	1.751	1.95	1.95	1.565	1.61	0.898	1.616
第7次附着	140.7	17.85	1.824	1.95	1.95	1.553	1.597	0.928	1.67
悬臂端	187.9	47.2	1.98	1.95	1.95	1.545	1.589	1.002	1.804

附图如下:



塔机附着立面图

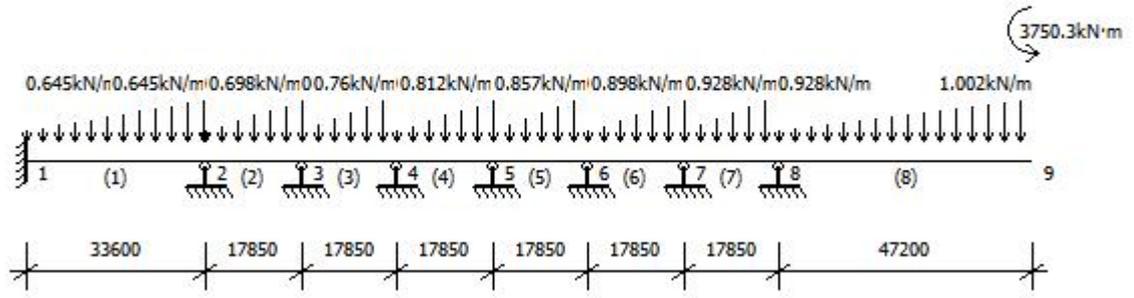
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

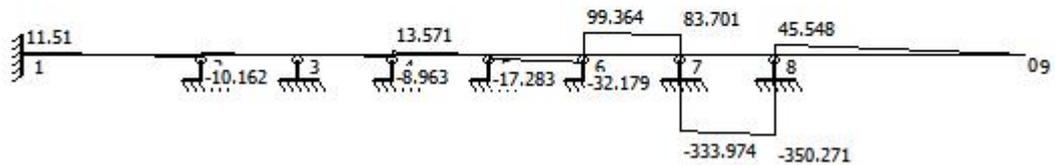
回转惯性力及风荷载产出的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

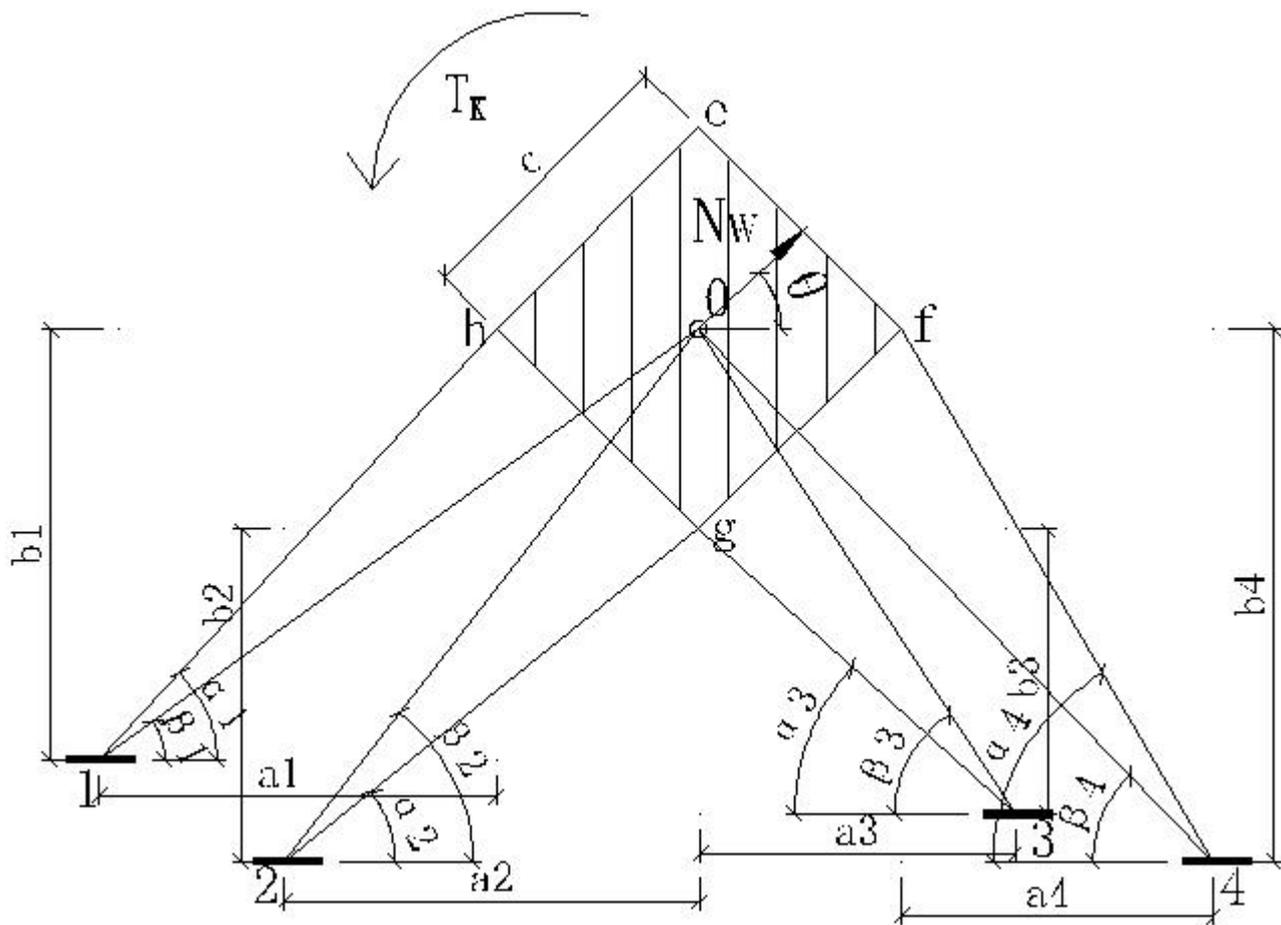
得: $R_E=417.675\text{kN}$

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8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。

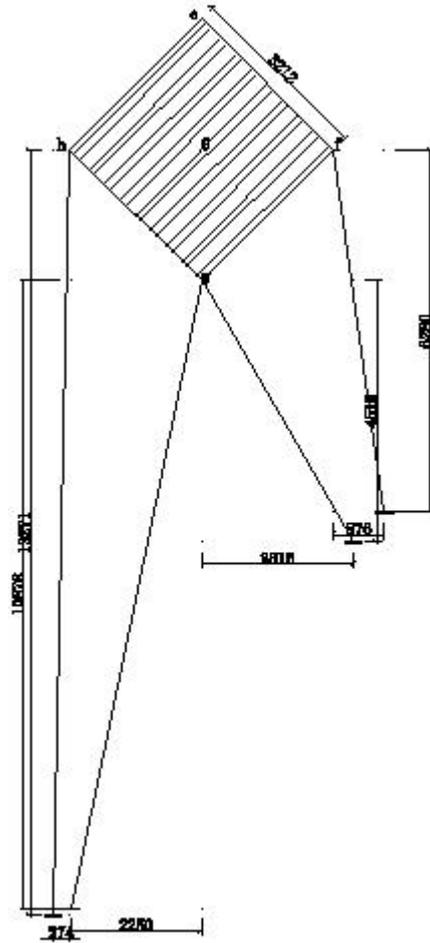
3、附墙杆内力计算

支座8处锚固环的截面扭矩 T_k (考虑塔机产生的扭矩由支座8处的附墙杆承担),水平内力 $N_w=2^{0.5}R_E=590.682\text{kN}$ 。

计算简图:



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 88.817^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 78.314^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 59.934^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 82.059^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 79.143^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 80.29^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 68.93^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 63.382^\circ$$

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

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

$X_1=1$ 时，各杆件轴力计算：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

各杆轴力计算公式如下：

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

(1) 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：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 406.656 \text{ kN}, \quad T_2 = 452.777 \text{ kN}, \quad T_3 = 946.428 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 161.542 \text{ kN}, \quad T_2 = 813.687 \text{ kN}, \quad T_3 = 822.136 \text{ kN}, \quad T_4 = 804.012 \text{ kN}$$

(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：

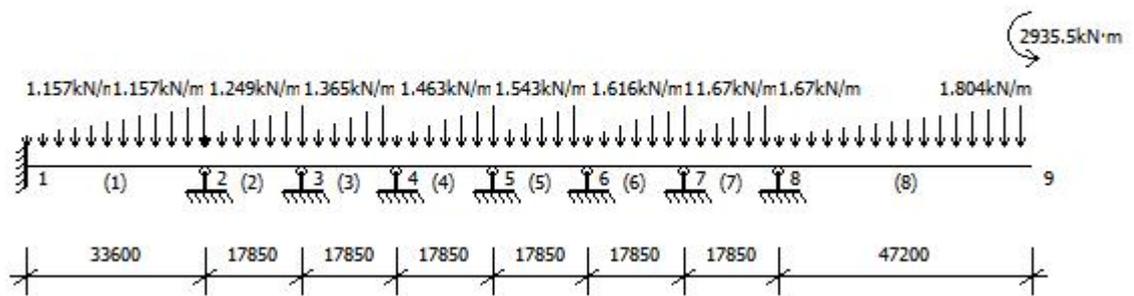
最大轴压力 $T_1=161.542\text{kN}$, $T_2=813.687\text{kN}$, $T_3=822.134\text{kN}$, $T_4=804.01\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=406.657\text{kN}$, $T_2=452.776\text{kN}$, $T_3=946.429\text{kN}$, $T_4=0\text{kN}$

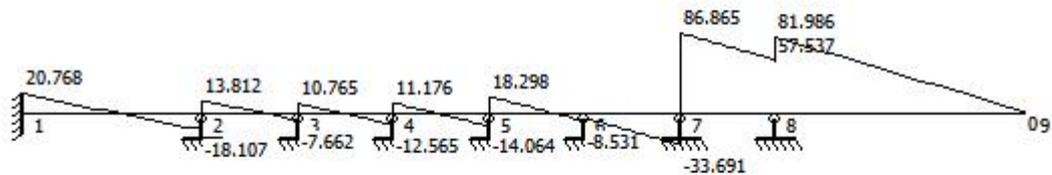
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

得: $R_E=120.556\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座 8 处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=120.556\text{kN}$ 。

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:

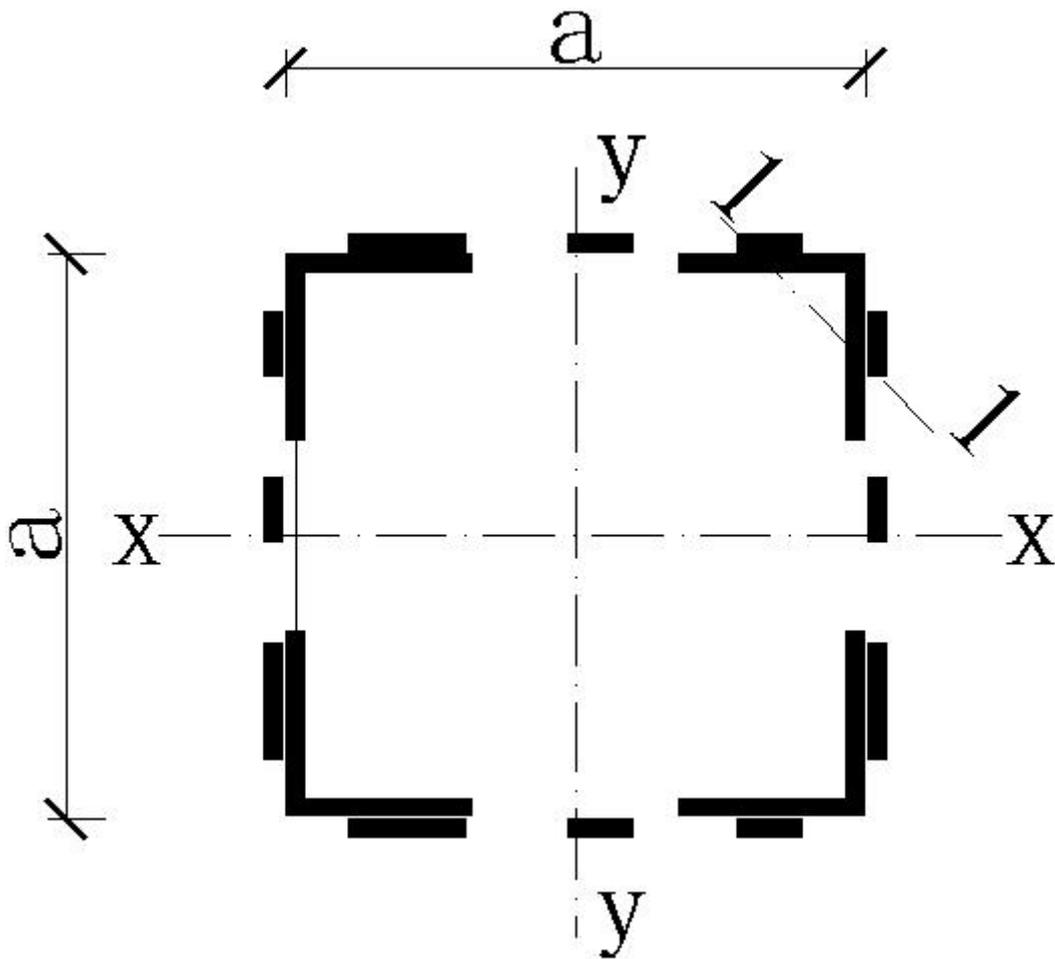
最大轴压力 $T_1=57.983\text{kN}$, $T_2=129.24\text{kN}$, $T_3=180.479\text{kN}$, $T_4=67.456\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=57.984\text{kN}$, $T_2=129.241\text{kN}$, $T_3=180.479\text{kN}$, $T_4=67.456\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

格构柱参数			
格构柱截面类型	四肢	格构柱缀件形式	缀条
缀件间净距 $l_{01}(\text{mm})$	400	格构柱截面边长 $a(\text{mm})$	400
格构柱分肢参数			
格构柱分肢材料	L100X10	分肢材料截面积 $A_0(\text{cm}^2)$	19.26
分肢对最小刚度轴的回转半径 $i_{y0}(\text{cm})$	1.96	分肢平行于对称轴惯性矩 $I_0(\text{cm}^4)$	179.51
分肢形心轴距分肢外边缘距离 $Z_0(\text{cm})$	2.84	分肢材料强度设计值 $f_y(\text{N}/\text{mm}^2)$	235
分肢材料抗拉、压强度设计值 $f(\text{N}/\text{mm}^2)$	210		
格构柱缀件参数			
缀条材料	L50X5	缀条最小回转半径 $i_{\text{nim}}(\text{cm})$	0.98
缀条截面积 $A_2(\text{cm}^2)$	4.8		
角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	10	焊缝计算长度 $l_f(\text{mm})$	250
焊缝强度设计值 $f_{\text{fw}}(\text{N}/\text{mm}^2)$	160		

附图如下:



塔机附着格构柱截面

1、杆件轴心受拉强度验算

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

$$\sigma=N/A=946428/7704=122.849\text{N/mm}^2\leq [f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=13273.828\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

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

整个构件长细比:

$$\lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=1327.383/(23403.67/(4\times 19.26))^{0.5}=76.157$$

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

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

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和：

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

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(76.157^2+40\times 7704/960)^{0.5}=78.236$$

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_{01\max}=78.236\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.699$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$$\lambda_{02\max}=66.203\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.773$$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$$\lambda_{03\max}=34.907\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.918$$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$$\lambda_{04\max}=40.552\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.896$$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1Af)=406657/(0.699\times 7704\times 210)=0.36\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2Af)=813687/(0.773\times 7704\times 210)=0.651\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3Af)=946429/(0.918\times 7704\times 210)=0.637\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 4 轴心受压稳定验算：

$$N_4/(\varphi_4 A f) = 804012 / (0.896 \times 7704 \times 210) = 0.555 \leq 1$$

满足要求!

3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1 = 20.408 \leq 0.7 \lambda_{01\max} = 0.7 \times 78.236 = 54.765$$

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2 = 20.408 \leq 0.7 \lambda_{02\max} = 0.7 \times 66.203 = 46.342$$

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{03\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

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

当 $\lambda_{04\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

4、缀件验算

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

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

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

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

斜缀条轴向压力值:

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

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

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

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

等边角钢计算稳定性系数:

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

缀条稳定验算:

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

满足要求!

需要焊缝长度:

$$\Sigma l_w=N_0/(0.7h_f\times 0.85f_f^w)=14.325\times 10^3/(0.7\times 10\times 0.85\times 160)=15\text{mm}\leq l_f=250\text{mm}$$

满足要求!

六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q355	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)	290

1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1=N_1\sin\alpha_1=406.657\times\sin 88.817^\circ=406.57\text{kN}, V_1=N_1\cos\alpha_1=406.657\times\cos 88.817^\circ=8.39$$

4kN;

$F_2=N_2\sin\alpha_2=813.687\times\sin78.314^\circ=796.82\text{kN}$, $V_2=N_2\cos\alpha_2=813.687\times\cos78.314^\circ=164.814\text{kN}$;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=946.429\times\sin59.934^\circ=819.085\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=946.429\times\cos59.934^\circ=474.16\text{kN}$;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=804.012\times\sin82.059^\circ=796.302\text{kN}$, $V_4=N_4\cos\alpha_4=804.012\times\cos82.059^\circ=111.077\text{kN}$;

2、螺栓承载力计算

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

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

(1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$$X_{\max}=S/2=290/2=145\text{mm}$$

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

$$\sum X^2 = 3 \times [(290/2)^2 + (290/2 - 1 \times 290/2)^2 + (290/2 - 2 \times 290/2)^2] = 126150\text{mm}^2$$

附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}} = (V_1 L \cdot X_{\max}) / \sum X^2 = 8.394 \times 0.15 \times 145 / 126.15 = 1.447\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t = F_1 / mn + N_{\text{附加}} = 406.57 / (3 \times 3) + 1.447 = 46.621\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_1 / mn = 8.394 / (3 \times 3) = 0.933\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 0.933 / 143.775 + 46.621 / 284 = 0.171 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=164.814 \times 0.15 \times 145/126.15=28.416\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=796.82/(3 \times 3)+28.416=116.952\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=164.814/(3 \times 3)=18.313\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=18.313/143.775+116.952/284=0.539 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=474.16 \times 0.15 \times 145/126.15=81.752\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=819.085/(3 \times 3)+81.752=172.761\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=474.16/(3 \times 3)=52.684\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=52.684/143.775+172.761/284=0.975 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=111.077 \times 0.15 \times 145/126.15=19.151\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=796.302/(3 \times 3)+19.151=107.629\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 111.077 / (3 \times 3) = 12.342 \text{ kN}$$

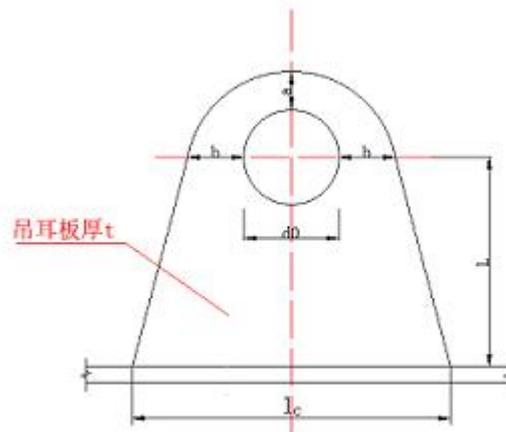
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 12.342 / 143.775 + 107.629 / 284 = 0.465 \leq 1$$

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):	85
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	95	吊孔直径 d ₀ (mm)	75
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm ²)	295	吊耳板抗剪强度设计值 f _v (N/mm ²)	170
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 473.214 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 85 \text{ mm}$$

满足要求!

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 95 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

$$\text{计算宽度: } b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20 + 16, 85 - 75/3) = 56\text{mm}$$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 473.214 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 211.256 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

(3) 耳板端部截面抗拉（劈开）强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 473.214 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (95 - 2 \times 75/3)] = 262.897 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(95+75/2)^2 - (75/2)^2]^{0.5} = 127.083\text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 473.214 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 127.083) = 93.092 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	75	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017，对销轴进行如下验算：

由附墙杆内力计算章节可知，作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 946.429 \text{kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 946.429 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 75^2 / 4) = 107.114 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	15
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_f^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	380

(1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(406.657\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)]=27.664\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(8.394\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)]=0.571\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(8.394\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)^2/6]=1.468\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(27.664+1.468)}{1.22}]^2+0.571^2]^{0.5}=23.886\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(813.687\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)]=55.353\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(164.814\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)]=11.212\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(164.814\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)^2/6]=28.83\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(55.353+28.83)}{1.22}]^2+11.212^2]^{0.5}=69.907\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

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:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(946.429\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)]=64.383\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(474.16\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)]=32.256\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(474.16\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)^2/6]=82.943\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(64.383+82.943)}{1.22}]^2+32.256^2]^{0.5}=124.993\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附着点 4:

连接钢板吊耳板排数为 2, 则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(804.012\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)]=54.695\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(111.077\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)]=7.556\text{N/mm}^2$$

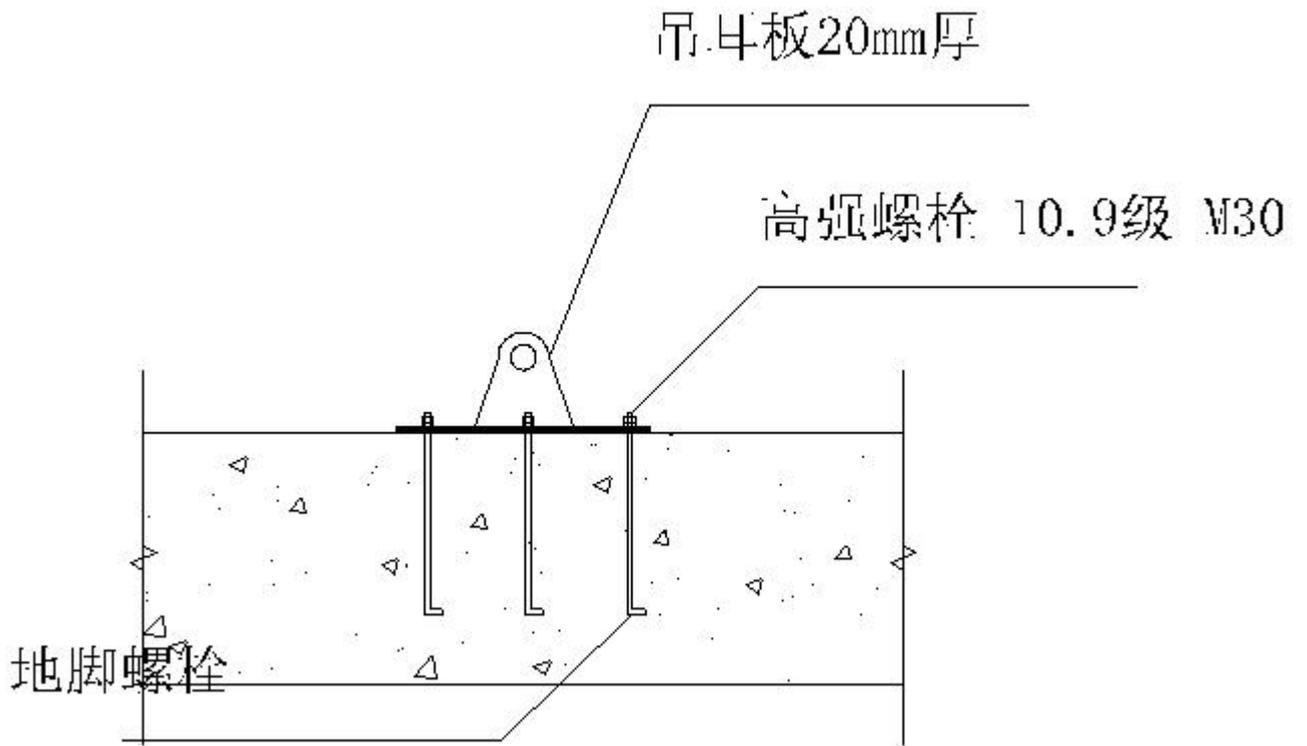
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(111.077\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 15\times (380-2\times 15)^2/6]=19.43\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

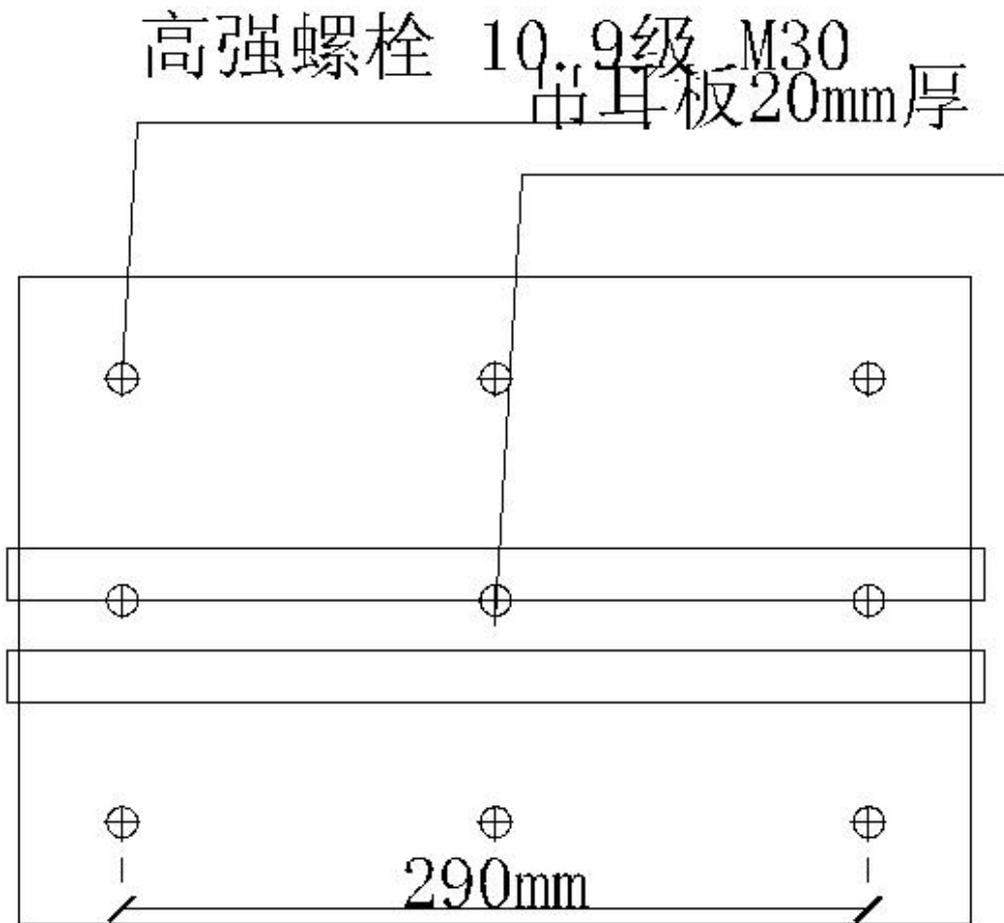
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_v^2]^{0.5}=[\frac{(54.695+19.43)}{1.22}]^2+7.556^2]^{0.5}=61.226\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附图如下:



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板

下游矮塔第 8 道计算书

计算依据:

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

一、塔机附着杆参数

塔机型号	徐工 XGT8040-25	塔身桁架结构类型	方钢管
塔机计算高度 H(m)	205.75	塔身宽度 B(m)	2.5
起重臂长度 l ₁ (m)	45	平衡臂长度 l ₂ (m)	24.9
起重臂与平衡臂截面计算高度 h(m)	1.56	工作状态时扭矩标准值 T _{k1} (包含风荷载扭矩)(kN·m)	1498
工作状态下不平衡自重引起的倾覆力矩标准值 M _k (kN·m)	3750.3	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)	2935.5(反向)

附着杆数	四杆附着	附墙杆类型	V类
附墙杆截面类型	格构柱	塔身锚固环边长 C(m)	3.212

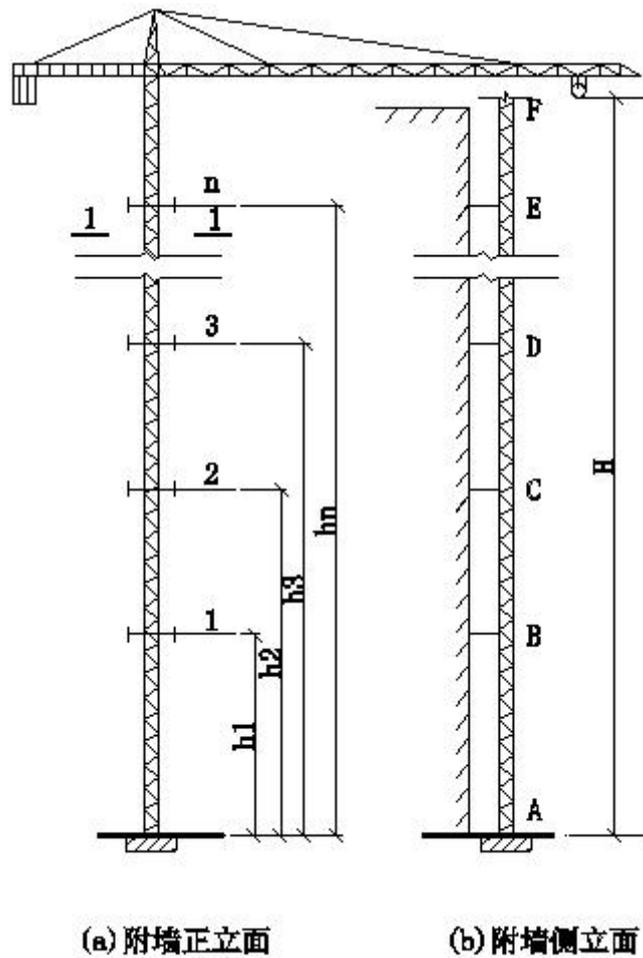
二、风荷载及附着参数

附着次数 N	8		
附着点 1 到塔机的横向距离 a ₁ (m)	0.274	点 1 到塔机的竖向距离 b ₁ (m)	13.271
附着点 2 到塔机的横向距离 a ₂ (m)	2.25	点 2 到塔机的竖向距离 b ₂ (m)	10.878
附着点 3 到塔机的横向距离 a ₃ (m)	2.616	点 3 到塔机的竖向距离 b ₃ (m)	4.519
附着点 4 到塔机的横向距离 a ₄ (m)	0.876	点 4 到塔机的竖向距离 b ₄ (m)	6.28
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	33.6	33.6	1.24	1.95	1.95	1.587	1.628	0.645	1.157

第 2 次附着	51.45	17.85	1.341	1.95	1.95	1.588	1.624	0.698	1.249
第 3 次附着	69.3	17.85	1.469	1.95	1.95	1.579	1.621	0.76	1.365
第 4 次附着	87.15	17.85	1.576	1.95	1.95	1.573	1.619	0.812	1.463
第 5 次附着	105	17.85	1.669	1.95	1.95	1.567	1.613	0.857	1.543
第 6 次附着	122.85	17.85	1.751	1.95	1.95	1.565	1.61	0.898	1.616
第 7 次附着	140.7	17.85	1.824	1.95	1.95	1.553	1.597	0.928	1.67
第 8 次附着	158.55	17.85	1.891	1.95	1.95	1.548	1.589	0.959	1.723
悬臂端	205.75	47.2	2.037	1.95	1.95	1.541	1.589	1.028	1.856

附图如下:



塔机附着立面图

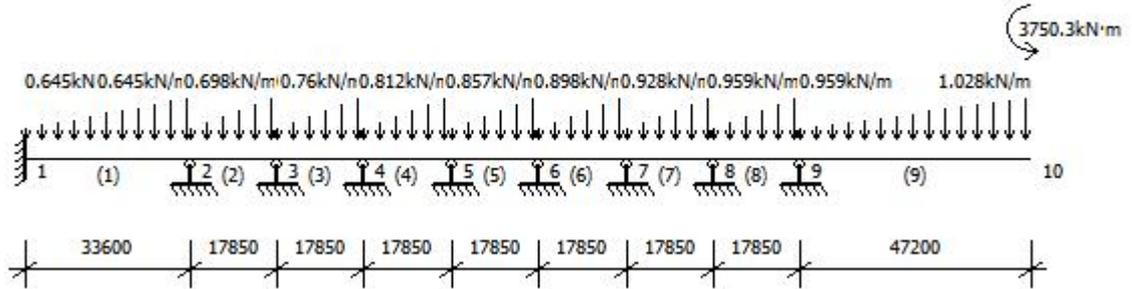
三、工作状态下附墙杆内力计算

1、扭矩组合标准值 T_k

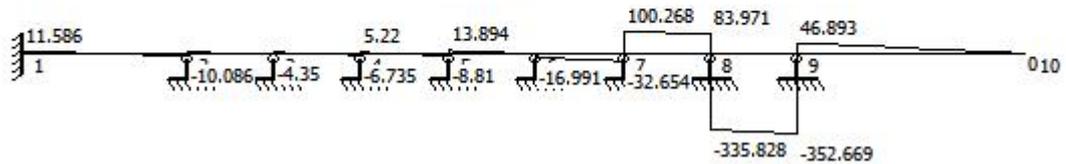
回转惯性力及风荷载产生的扭矩标准值:

$$T_k = T_{k1} = 1498 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

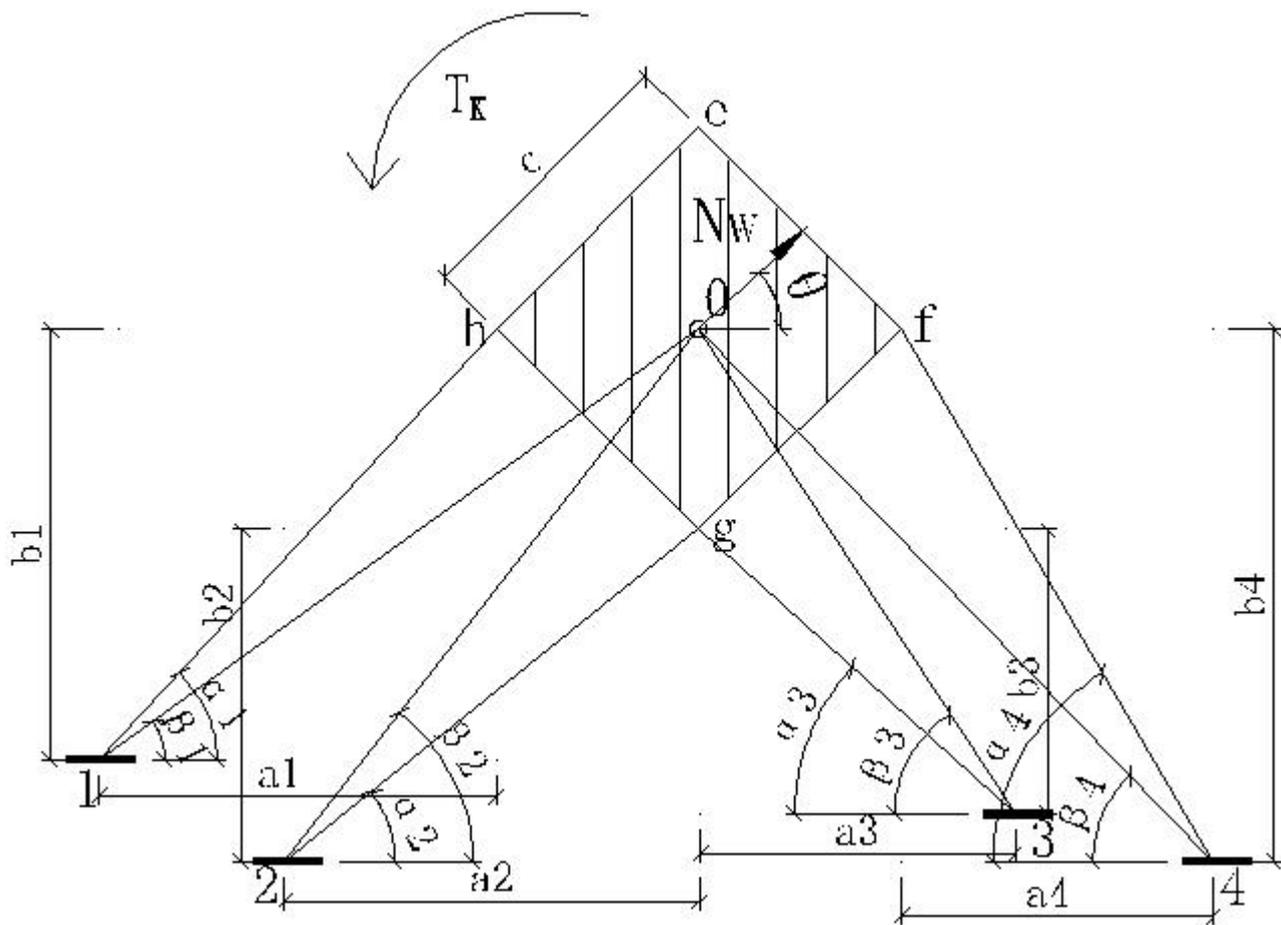
得： $R_E = 419.799 \text{ kN}$

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 9 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。

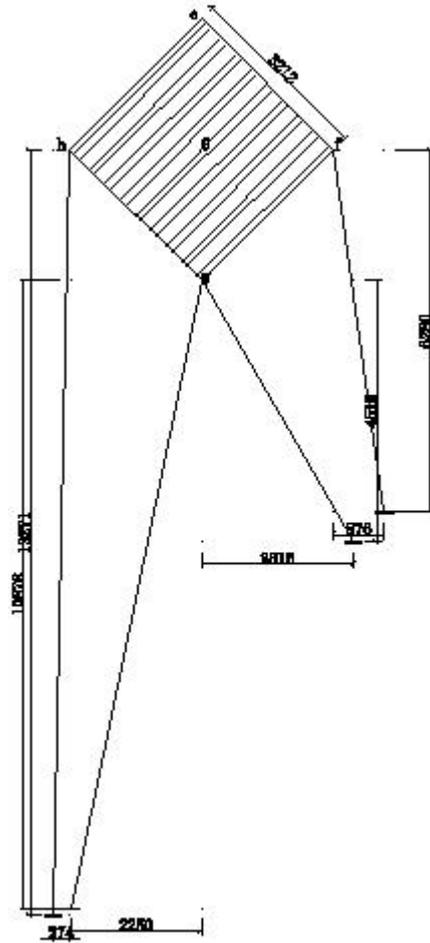
3、附墙杆内力计算

支座 9 处锚固环的截面扭矩 T_k （考虑塔机产生的扭矩由支座 9 处的附墙杆承担），水平内力 $N_w = 2^{0.5} R_E = 593.685 \text{ kN}$ 。

计算简图：



塔机附着示意图



塔机附着平面图

$$\alpha_1 = \arctan(b_1/a_1) = 88.817^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2/a_2) = 78.314^\circ$$

$$\alpha_3 = \arctan(b_3/a_3) = 59.934^\circ$$

$$\alpha_4 = \arctan(b_4/a_4) = 82.059^\circ$$

$$\beta_1 = \arctan(b_1/(a_1 + 2^{0.5}c/2)) = 79.143^\circ$$

$$\beta_2 = \arctan((b_2 + 2^{0.5}c/2)/a_2) = 80.29^\circ$$

$$\beta_3 = \arctan((b_3 + 2^{0.5}c/2)/a_3) = 68.93^\circ$$

$$\beta_4 = \arctan(b_4/(a_4 + 2^{0.5}c/2)) = 63.382^\circ$$

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

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

$X_1=1$ 时，各杆件轴力计算：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

各杆轴力计算公式如下：

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

(1) 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：

$$\text{最大轴压力 } T_1 = 408.101 \text{ kN}, \quad T_2 = 455.995 \text{ kN}, \quad T_3 = 950.924 \text{ kN}, \quad T_4 = 0 \text{ kN}$$

$$\text{最大轴拉力 } T_1 = 162.987 \text{ kN}, \quad T_2 = 816.906 \text{ kN}, \quad T_3 = 826.632 \text{ kN}, \quad T_4 = 805.692 \text{ kN}$$

(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：

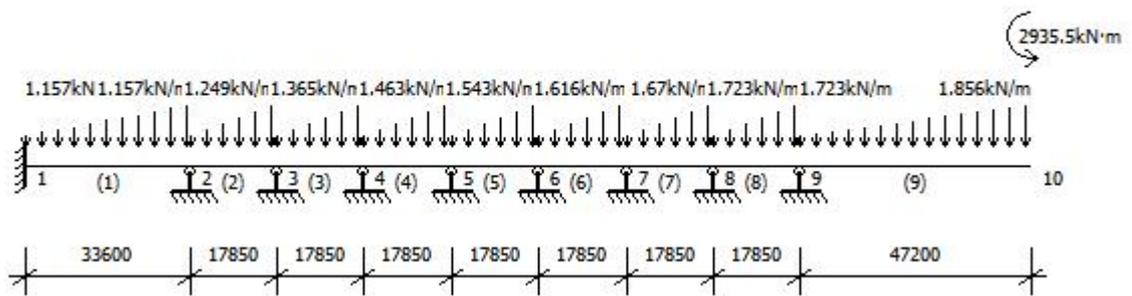
最大轴压力 $T_1=162.987\text{kN}$, $T_2=816.906\text{kN}$, $T_3=826.63\text{kN}$, $T_4=805.691\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=408.101\text{kN}$, $T_2=455.995\text{kN}$, $T_3=950.925\text{kN}$, $T_4=0\text{kN}$

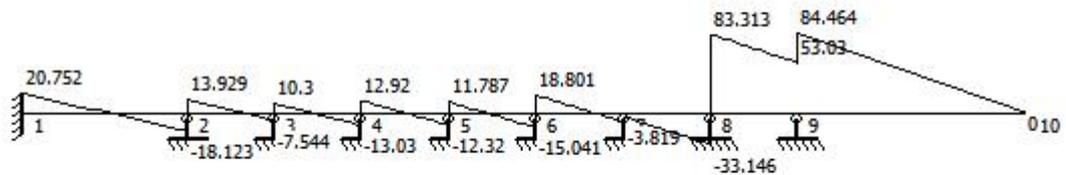
四、非工作状态下附墙杆内力计算

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

1、附着支座反力计算



计算简图



剪力图

得: $R_E=116.459\text{kN}$

2、附墙杆内力计算

支座 9 处锚固环的水平内力 $N_w=R_E=116.459\text{kN}$ 。

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:

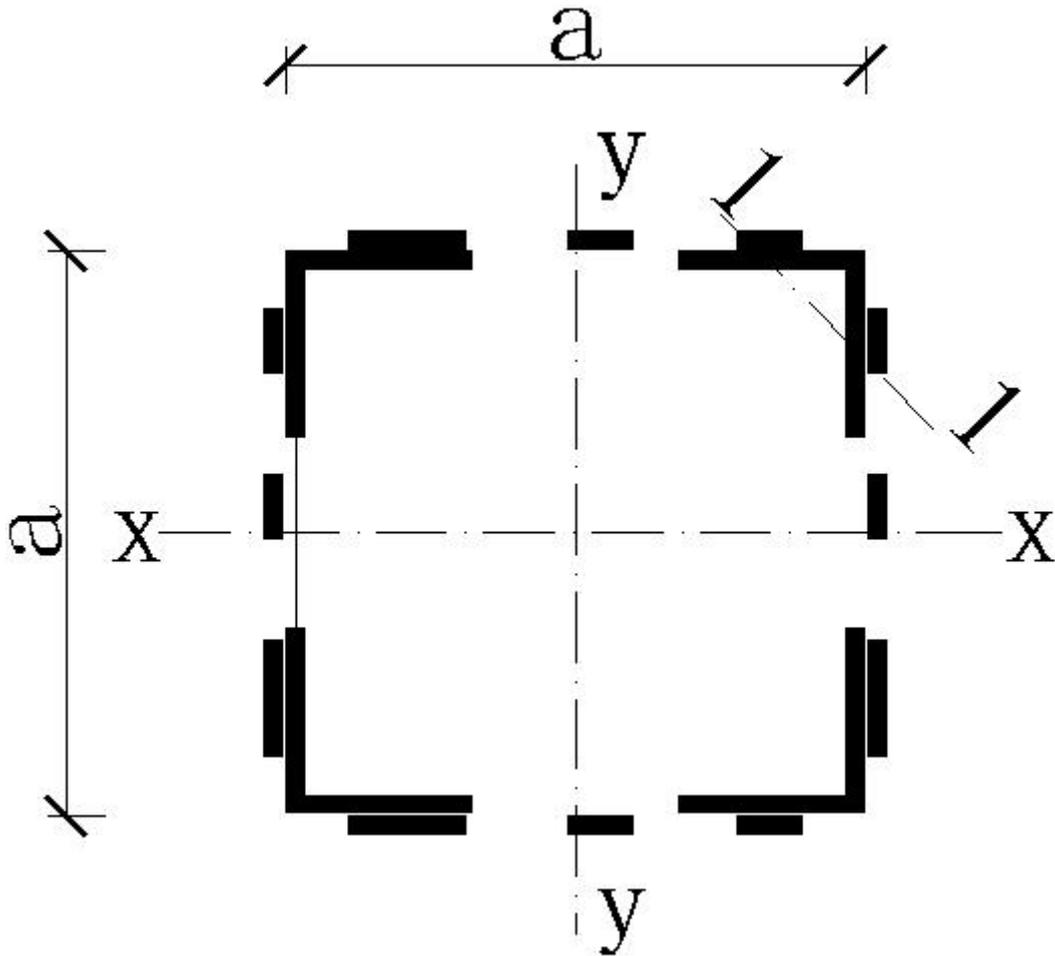
最大轴压力 $T_1=56.013\text{kN}$, $T_2=124.848\text{kN}$, $T_3=174.345\text{kN}$, $T_4=65.164\text{kN}$

最大轴拉力 $T_1=56.013\text{kN}$, $T_2=124.848\text{kN}$, $T_3=174.346\text{kN}$, $T_4=65.164\text{kN}$

五、附墙杆强度验算

格构柱参数			
格构柱截面类型	四肢	格构柱缀件形式	缀条
缀件间净距 $l_{01}(\text{mm})$	400	格构柱截面边长 $a(\text{mm})$	400
格构柱分肢参数			
格构柱分肢材料	L110X10	分肢材料截面积 $A_0(\text{cm}^2)$	21.26
分肢对最小刚度轴的回转半径 $i_{y0}(\text{cm})$	2.17	分肢平行于对称轴惯性矩 $I_0(\text{cm}^4)$	242
分肢形心轴距分肢外边缘距离 $Z_0(\text{cm})$	3.09	分肢材料强度设计值 $f_y(\text{N}/\text{mm}^2)$	235
分肢材料抗拉、压强度设计值 $f(\text{N}/\text{mm}^2)$	210		
格构柱缀件参数			
缀条材料	L50X5	缀条最小回转半径 $i_{\text{nim}}(\text{cm})$	0.98
缀条截面积 $A_2(\text{cm}^2)$	4.8		
角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	10	焊缝计算长度 $l_f(\text{mm})$	250
焊缝强度设计值 $f_{\text{fw}}(\text{N}/\text{mm}^2)$	160		

附图如下:



塔机附着格构柱截面

1、杆件轴心受拉强度验算

$$A=4A_0=4\times 21.26\times 100=8504\text{mm}^2$$

$$\sigma=N/A=950924/8504=111.821\text{N/mm}^2\leq[f]=210\text{N/mm}^2$$

满足要求!

2、格构式钢柱换算长细比验算

$$\text{杆件 1 的计算长度: } L_0=(a_1^2+b_1^2)^{0.5}=13273.828\text{mm}$$

整个格构柱截面对 X、Y 轴惯性矩:

$$I_x=4[I_0+A_0(a/2-Z_0)^2]=4\times[242+21.26\times(40/2-3.09)^2]=25285.026\text{cm}^4$$

整个构件长细比:

$$\lambda_x=\lambda_y=L_0/(I_x/(4A_0))^{0.5}=1327.383/(25285.026/(4\times 21.26))^{0.5}=76.98$$

$$\text{分肢长细比: } \lambda_1=l_{01}/i_{y0}=40/2.17=18.433$$

分肢毛截面积之和： $A=4A_0=4\times 21.26\times 100=8504\text{mm}^2$

构件截面中垂直于 X 轴的各斜缀条的毛截面积之和：

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

格构式钢柱绕两主轴的换算长细比：

$$\lambda_{0\max}=(\lambda_x^2+40A/A_{1x})^{0.5}=(76.98^2+40\times 8504/960)^{0.5}=79.248$$

附墙杆 1 长细比：

$$\lambda_{01\max}=79.248\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_1=0.693$$

满足要求！

附墙杆 2 长细比：

$$\lambda_{02\max}=67.115\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_2=0.768$$

满足要求！

附墙杆 3 长细比：

$$\lambda_{03\max}=35.656\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_3=0.915$$

满足要求！

附墙杆 4 长细比：

$$\lambda_{04\max}=41.311\leq[\lambda]=120, \text{查规范表得: } \varphi_4=0.893$$

满足要求！

附墙杆 1 轴心受压稳定验算：

$$N_1/(\varphi_1Af)=408101/(0.693\times 8504\times 210)=0.33\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 2 轴心受压稳定验算：

$$N_2/(\varphi_2Af)=816906/(0.768\times 8504\times 210)=0.596\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 3 轴心受压稳定验算：

$$N_3/(\varphi_3Af)=950925/(0.915\times 8504\times 210)=0.582\leq 1$$

满足要求！

附墙杆 4 轴心受压稳定验算：

$$N_4/(\varphi_4 Af)=805692/(0.893 \times 8504 \times 210)=0.505 \leq 1$$

满足要求!

3、格构式钢柱分肢的长细比验算

附墙杆 1 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_1=18.433 \leq 0.7\lambda_{01\max}=0.7 \times 79.248=55.474$$

满足要求!

附墙杆 2 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_2=18.433 \leq 0.7\lambda_{02\max}=0.7 \times 67.115=46.98$$

满足要求!

附墙杆 3 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_3=18.433 \leq 0.7\lambda_{03\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{03\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

附墙杆 4 钢柱分肢的长细比:

$$\lambda_4=18.433 \leq 0.7\lambda_{04\max}=0.7 \times 50=35$$

当 $\lambda_{04\max}$ 小于 50 时取 50

满足要求!

4、缀件验算

$$\begin{aligned} \text{缀件所受剪力: } V &= Af(f_y/235)^{0.5}/85=8504 \times 210.00 \times 10^{-3} \\ &\times (235.00/235)^{0.5}/85=21.01\text{kN} \end{aligned}$$

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

$$\text{作用在一侧缀板上的弯矩: } M_0=Vl_1/4=21.01 \times 0.45/4=2.364\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{分肢型钢形心轴之间距离: } b_1=a-2Z_0=0.4-2 \times 0.0309=0.338\text{m}$$

斜缀条轴向压力值:

$$N_0=V/(2\cos\alpha)=V/(2a/(a^2+l_1^2)^{0.5})=21.01/(2 \times 0.4/(0.4^2+0.45^2)^{0.5})=15.812\text{kN}$$

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

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

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

等边角钢计算稳定性系数:

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

缀条稳定验算:

$$N_0/(\varphi\eta A_z f)=15.812\times 10^3/(0.802\times 0.692\times 4.80\times 10^2\times 215)=0.276\leq 1$$

满足要求!

需要焊缝长度:

$$\Sigma l_w=N_0/(0.7h_f\times 0.85f_f^w)=15.812\times 10^3/(0.7\times 10\times 0.85\times 160)=17\text{mm}\leq l_f=250\text{mm}$$

满足要求!

六、附着杆与结构连接节点验算

附着杆与建筑物连接方式	铰接	连接钢板厚度 dt(mm)	25
连接钢板强度等级	Q355	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)	290

1、附着点荷载计算

各附着杆传给连接节点荷载如下:

$$F_1=N_1\sin\alpha_1=408.101\times\sin 88.817^\circ=408.014\text{kN}, V_1=N_1\cos\alpha_1=408.101\times\cos 88.817^\circ=8.424\text{kN};$$

$F_2=N_2\sin\alpha_2=816.906\times\sin78.314^\circ=799.973\text{kN}$, $V_2=N_2\cos\alpha_2=816.906\times\cos78.314^\circ=165.466\text{kN}$;

$F_3=N_3\sin\alpha_3=950.925\times\sin59.934^\circ=822.976\text{kN}$, $V_3=N_3\cos\alpha_3=950.925\times\cos59.934^\circ=476.412\text{kN}$;

$F_4=N_4\sin\alpha_4=805.692\times\sin82.059^\circ=797.966\text{kN}$, $V_4=N_4\cos\alpha_4=805.692\times\cos82.059^\circ=111.309\text{kN}$;

2、螺栓承载力计算

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

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

(1) 单吊耳板位置螺栓承载力计算:

经分析判断, 计算弯矩对螺栓产生的附加轴力时, 按小偏心进行计算

$X_{\max}=S/2=290/2=145\text{mm}$

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

$\sum X^2=3\times[(290/2)^2+(290/2-1\times290/2)^2+(290/2-2\times290/2)^2]=126150\text{mm}^2$

附着点 1:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$N_{\text{附加}}=(V_1L\cdot X_{\max})/\sum X^2=8.424\times0.15\times145/126.15=1.452\text{kN}$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$N_t=F_1/mn+N_{\text{附加}}=408.014/(3\times3)+1.452=46.787\text{kN}$

计算单个螺栓的最大剪力:

$N_v=V_1/mn=8.424/(3\times3)=0.936\text{kN}$

验算单个螺栓承载力:

$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=0.936/143.775+46.787/284=0.171\leq 1$

螺栓承载力满足要求。

附着点 2:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_2L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=165.466 \times 0.15 \times 145/126.15=28.529\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_2/mn+N_{\text{附加}}=799.973/(3 \times 3)+28.529=117.415\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_2/mn=165.466/(3 \times 3)=18.385\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=18.385/143.775+117.415/284=0.541 \leq 1$$

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:

$$N_{\text{附加}}=(V_3L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=476.412 \times 0.15 \times 145/126.15=82.14\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_3/mn+N_{\text{附加}}=822.976/(3 \times 3)+82.14=173.582\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v=V_3/mn=476.412/(3 \times 3)=52.935\text{kN}$$

验算单个螺栓承载力:

$$N_v/N_v^b+N_t/N_t^b=52.935/143.775+173.582/284=0.979 \leq 1$$

螺栓承载力满足要求。

附着点 4:

计算弯矩对单个螺栓的最大附加轴力:

$$N_{\text{附加}}=(V_4L \cdot X_{\text{max}})/\Sigma x^2=111.309 \times 0.15 \times 145/126.15=19.191\text{kN}$$

计算考虑附加轴力后单个螺栓的最大拉力:

$$N_t=F_4/mn+N_{\text{附加}}=797.966/(3 \times 3)+19.191=107.854\text{kN}$$

计算单个螺栓的最大剪力:

$$N_v = V_4 / mn = 111.309 / (3 \times 3) = 12.368 \text{ kN}$$

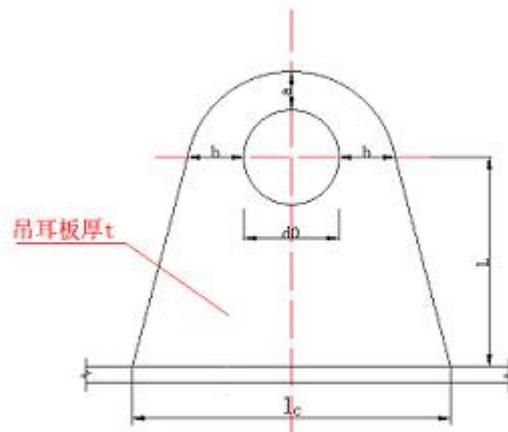
验算单个螺栓承载力:

$$N_v / N_v^b + N_t / N_t^b = 12.368 / 143.775 + 107.854 / 284 = 0.466 \leq 1$$

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):	85
顺受力方向, 吊孔边距板边缘最小距离 a(mm):	100	吊孔直径 d ₀ (mm)	75
吊耳板抗拉强度设计值 f(N/mm ²)	295	吊耳板抗剪强度设计值 f _v (N/mm ²)	170
连接板耳板排数	2		



单吊耳板

单吊耳板

参考 GB50017-2017, 对连接耳板进行如下验算:

$$N_s = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} / 2 = 475.462 \text{ kN}$$

(1) 耳板构造要求

$$B_e = 2t + 16 = 2 \times 20 + 16 = 56 \text{ mm} \leq b = 85 \text{ mm}$$

满足要求!

$$4B_e / 3 = 4 \times 56 / 3 = 74.667 \text{ mm} \leq a = 100 \text{ mm}$$

满足要求!

(2) 耳板孔净截面处的抗拉强度验算

计算宽度: $b_1 = \min(2t+16, b-d_0/3) = \min(2 \times 20+16, 85-75/3) = 56\text{mm}$

$$\sigma = N_s / (2tb_1) = 475.462 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 56) = 212.26 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

耳板孔净截面处抗拉强度满足要求!

(3) 耳板端部截面抗拉(劈开)强度验算

$$\sigma = N_s / [2t(a-2d_0/3)] = 475.462 \times 10^3 / [2 \times 20 \times (100 - 2 \times 75/3)] = 237.731 \text{N/mm}^2 \leq f = 295 \text{N/mm}^2$$

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:

$$Z = [(a+d_0/2)^2 - (d_0/2)^2]^{0.5} = [(100+75/2)^2 - (75/2)^2]^{0.5} = 132.288 \text{mm}$$

$$\tau = N_s / (2tZ) = 475.462 \times 10^3 / (2 \times 20 \times 132.288) = 89.854 \text{N/mm}^2 \leq f_v = 170 \text{N/mm}^2$$

耳板抗剪强度满足要求!

4、销轴计算

销轴直径 $d_1(\text{mm})$	75	销轴材料抗剪强度 $f_{v1}^b(\text{N/mm}^2)$	566
-----------------------	----	------------------------------------	-----

参考 GB50017-2017, 对销轴进行如下验算:

由附墙杆内力计算章节可知, 作用于销轴截面的最大剪力

$$F = \max \{N_1, N_2, N_3, N_4\} = 950.925 \text{kN}$$

(1) 销轴抗剪强度

$$\tau_b = F / (n_v \pi d_1^2 / 4) = 950.925 \times 10^3 / (2 \times 3.142 \times 75^2 / 4) = 107.623 \text{N/mm}^2 \leq f_{v1}^b = 566 \text{N/mm}^2$$

销轴抗剪强度满足要求!

5、连接钢板焊缝计算

连接钢板角焊缝焊脚尺寸 $h_f(\text{mm})$	20
连接钢板角焊缝强度设计值 $f_f^w(\text{N/mm}^2)$	160
连接板耳板排数	2
单吊耳板底部宽度 $l_c(\text{mm})$	380

(1) 单吊耳板位置焊缝验算:

附着点 1:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(408.101\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=21.434\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_1/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(8.424\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=0.442\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_1L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(8.424\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=1.171\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(21.434+1.171)}{1.22}]^2+0.442^2]^{0.5}=18.534\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/m}^2$$

附着点 1: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附着点 2:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(816.906\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=42.905\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_2/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(165.466\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=8.69\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_2L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(165.466\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=23.004\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2]^{0.5}=[\frac{(42.905+23.004)}{1.22}]^2+8.69^2]^{0.5}=54.718\text{N/mm}^2\leq f_t^w=160\text{N/m}^2$$

附着点 2: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附着点 3:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(950.925\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=49.944\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_3/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(476.412\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=25.022\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_M=M/W=(V_3L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(476.412\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=66.234\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2)^{0.5}=[\frac{(49.944+66.234)}{1.22}]^2+25.022^2)^{0.5}=98.46\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 3: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附着点 4:

连接钢板吊耳板排数为 2，则

计算连接钢板与吊耳板连接位置焊缝应力为:

$$\sigma_N=(N_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(805.692\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=42.316\text{N/mm}^2$$

$$\tau_V=(V_4/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)]=(111.309\times 10^3/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)]=5.846\text{N/mm}^2$$

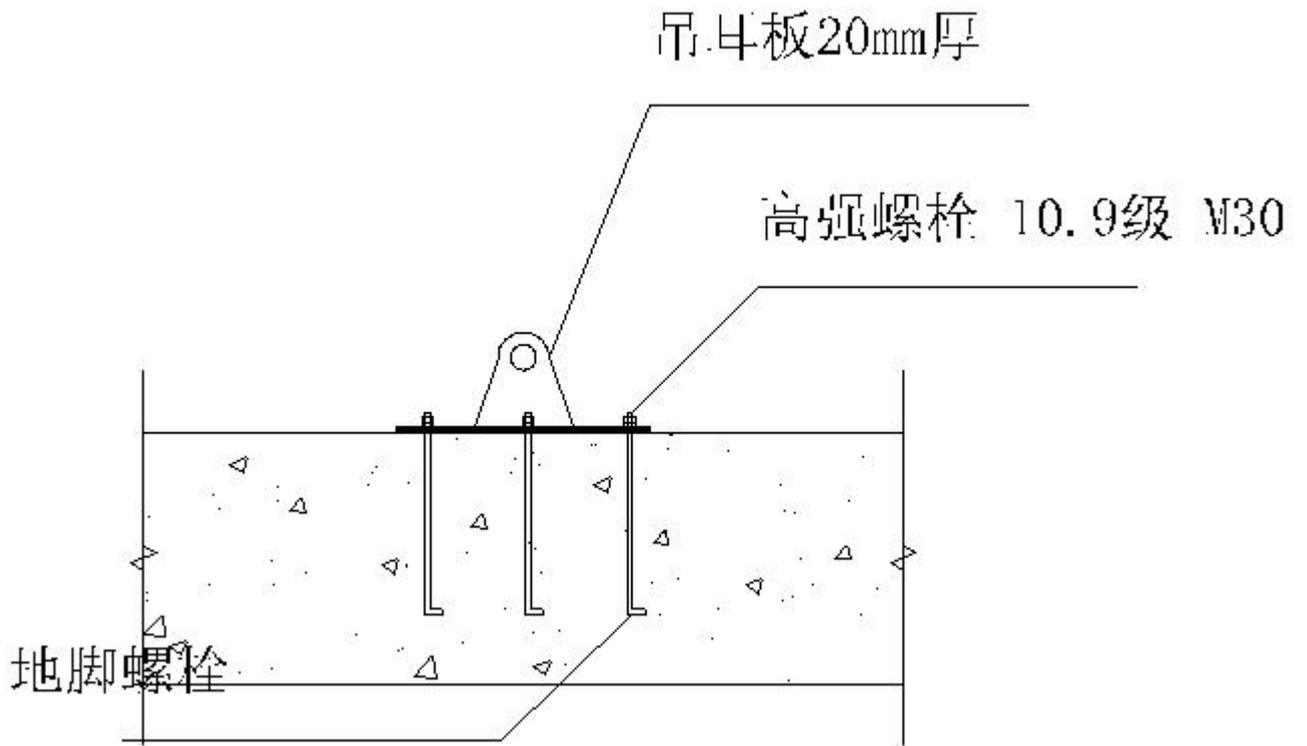
$$\sigma_M=M/W=(V_4L/2)/[2\times 0.7h_f(l_c-2h_f)^2/6]=(111.309\times 10^3\times 150/2)/[2\times 0.7\times 20\times (380-2\times 20)^2/6]=15.475\text{N/mm}^2$$

连接钢板与吊耳板连接位置焊缝的应力验算:

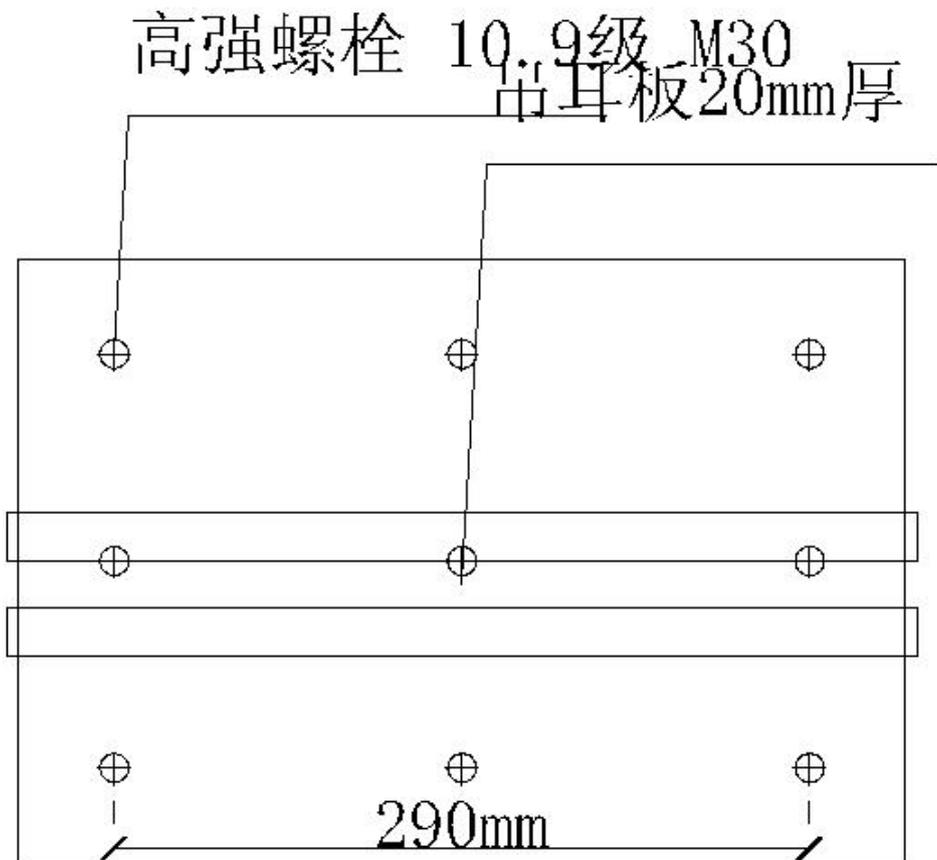
$$[\frac{(\sigma_N+\sigma_M)}{\beta_f}]^2+\tau_V^2)^{0.5}=[\frac{(42.316+15.475)}{1.22}]^2+5.846^2)^{0.5}=47.729\text{N/mm}^2\leq f_f^w=160\text{N/mm}^2$$

附着点 4: 连接钢板焊缝强度满足要求!

附图如下:



塔机附着节点详图-单吊耳板



塔机附着节点剖面图-单吊耳板