

# 平阳县昆鳌协同区六号路道路工程

## (道路部分计算书)

计算: 甘晨洋  
校核: 姜兴成  
审核: 杨世玉

<b>工程设计图纸出图专用章</b>	
单位名称: 泛华建设集团有限公司	
证书编号: A111002223, A211002220	
资质范围: 市政行业(燃气工程, 轨道交通工程除外) 甲级, 建筑行业建筑工程甲级, 风景园林工程设计专项甲级, 公路行业公路乙级, 环境工程水污染防治工程乙级	
有效期至2025年12月31日	
北京市规划和自然资源委员会监制	10098



泛华建设集团有限公司

2025年03月



## 目录

路面交工验收弯沉值计算 .....	1
单柱式标志结构设计计算书 .....	3
单悬臂式标志版结构设计计算 .....	10

## 路面交工验收弯沉值计算

### 一、设计弯沉值计算

当以设计弯沉值为设计指标时:

设计基准期内一个车道上的累计当量轴次: 3000000

路面设计交通等级: 轻交通

道路等级: 支路

道路等级系数 1.2      面层类型系数 1      基层类型系数 1

路面设计弯沉值 : 36.47 (0.01mm)

### 二、新建路面结构层厚度计算

道 路 等 级 : 支 路

变异水平的等级 : 中 级

可 靠 度 系 数 : 1.05

新建路面的层数 : 4

路面设计弯沉值 : 36.5 (0.01mm)

路面设计层层位 : 3

设计层最小厚度 : 150 (mm)

层位	结 构 层 材 料 名 称	厚度 (mm)	20℃抗压模量 平均值(MPa)	标准差 (MPa)
1	细粒式沥青混凝土	40	1400	50
2	粗粒式沥青混凝土	80	1000	50
3	水泥稳定碎石	?	1500	50
4	水泥稳定碎石	180	1500	50
5	新建路基		30	

按设计弯沉值计算设计层厚度 :

$$LD= 36.5 (0.01mm)$$

$$H( 3 )= 150 \text{ mm} \quad LS= 38.9 (0.01mm)$$

$$H( 3 )= 200 \text{ mm} \quad LS= 33.5 (0.01mm)$$

路面设计层厚度 :

$$H( 3 )= 170mm(\text{仅考虑弯沉})$$

通过对设计层厚度取整以及设计人员对路面厚度进一步的修改,  
最后得到路面结构设计结果如下:

细粒式沥青混凝土	40 mm
粗粒式沥青混凝土	80 mm
水泥稳定碎石	180 mm
水泥稳定碎石	180 mm

新建路基

三、交工验收弯沉值计算

层位	结构层材料名称	厚度 (mm)	20℃抗压模量 平均值(MPa)	标准差 (MPa)	综合影响系数
1	细粒式沥青混凝土	40	1400	50	1.25
2	粗粒式沥青混凝土	80	1000	50	1.25
3	水泥稳定碎石	180	1500	50	1.25
4	水泥稳定碎石	180	1500	50	1.25
5	新建路基		30		1.25

计算新建路面各结构层及路基顶面交工验收弯沉值：

第 1 层路面顶面交工验收弯沉值  $LS= 34.5 (0.01mm)$

第 2 层路面顶面交工验收弯沉值  $LS= 37.6 (0.01mm)$

第 3 层路面顶面交工验收弯沉值  $LS= 50.3 (0.01mm)$

第 4 层路面顶面交工验收弯沉值  $LS= 105.5(0.01mm)$

路基顶面交工验收弯沉值  $LS= 248.41 (0.01mm)$  (根据“公路沥青路面设计规范”公式计算)

$LS= 310.75 (0.01mm)$  (根据“公路路面基层施工技术规范”公式

计算)

## 1 设计资料

### 1.1 板面数据

#### 1)标志板 B 数据

板面形状：八边形，边长  $L=0.306(m)$ ，净空  $H=3.35(m)$

标志板材料：LF2-M 铝。单位面积重量： $5.40(kg/m^2)$

#### 2)标志板 A 数据

板面形状：圆形，直径  $D=0.8(m)$ ，净空  $H=2.5(m)$

标志板材料：LF2-M 铝。单位面积重量： $5.40(kg/m^2)$

### 1.2 立柱数据

立柱的总高度： $3.99(m)$ ，立柱外径： $89(mm)$ ，立柱壁厚： $6(mm)$

## 2 计算简图

见 Dwg 图纸

## 3 荷载计算

### 3.1 永久荷载

#### 1)标志版重量计算

标志板 B 重量： $G_1=A \cdot \rho \cdot g=0.453 \times 5.40 \times 9.80=23.949(N)$

标志板 A 重量： $G_2=A \cdot \rho \cdot g=0.503 \times 5.40 \times 9.80=26.60(N)$

式中：A----标志板面积

$\rho$  ----标志板单位面积重量

$g$ ----重力加速度，取  $9.80(m/s^2)$

则标志板总重量： $G_b=\sum G_i=50.549(N)$

#### 2)立柱重量计算

立柱总长度为  $3.99(m)$ ，使用材料：碳素钢、合金钢无缝钢管，单位长度重量： $12.282(kg/m)$

立柱重量： $G_p=L \cdot \rho \cdot g=3.99 \times 12.282 \times 9.80=480.247(N)$

式中：L----立柱的总长度

$\rho$  ----立柱单位长度重量

$g$ ----重力加速度，取  $9.80(m/s^2)$

#### 3)上部结构总重量计算

由标志上部永久荷载计算系数 1.10, 则上部结构总重量:

$$G=K \cdot (G_b+G_p)=1.10 \times (50.549+480.247)=583.876(N)$$

### 3.2 风荷载

#### 1) 标志板所受风荷载

$$\text{标志板 B: } F_{wb1} = \gamma_0 \cdot \gamma_Q \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot V^2 \right) \cdot A_1 \right] = 1.0 \times 1.4 \times \left[ (0.5 \times 1.2258 \times 1.2 \times 31.288^2) \times 0.453 \right] = 456.168 \text{ (N)}$$

$$\text{标志板 A: } F_{wb2} = \gamma_0 \cdot \gamma_Q \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot V^2 \right) \cdot A_2 \right] = 1.0 \times 1.4 \times \left[ (0.5 \times 1.2258 \times 1.2 \times 31.288^2) \times 0.503 \right] = 506.676 \text{ (N)}$$

式中:  $\gamma_0$ ----结构重要性系数, 取 1.0

$\gamma_Q$ ----可变荷载分项系数, 取 1.4

$\rho$ ----空气密度, 一般取  $1.2258 \text{ (N} \cdot \text{S}^2 \cdot \text{m}^{-4})$

$C$ ----标志板的风力系数, 取值 1.20

$V$ ----风速, 此处风速为  $31.288 \text{ (m/s}^2)$

$g$ ----重力加速度, 取  $9.80 \text{ (m/s}^2)$

则标志板所受风荷载:  $F_{wb} = \sum F_{wbi} = 962.844 \text{ (N)}$

#### 2) 立所迎风面所受风荷载:

$$F_{wp} = \gamma_0 \cdot \gamma_Q \cdot \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot V^2 \right) \cdot W \cdot H \right] = 1.0 \times 1.4 \times \left[ (0.5 \times 1.2258 \times 0.80 \times 31.288^2) \times 0.089 \times 2.55 \right] = 152.51 \text{ (N)}$$

式中:  $C$ ----立柱的风力系数, 圆管型立柱取值 0.80

$W$ ----立柱迎风面宽度, 即立柱的外径

$H$ ----立柱迎风面高度, 应扣除被标志板遮挡部分

### 4 强度验算

由立柱的外径 89(mm), 壁厚 6(mm)。

则立柱的截面积  $A = 1.565 \times 10^{-3} \text{ (m}^2)$ , 截面惯性矩  $I = 1.354 \times 10^{-6} \text{ (m}^4)$ , 截面抗弯模量  $W = 3.043 \times 10^{-5} \text{ (m}^3)$ 。

立柱根部由风荷载引起的弯矩:

$$\begin{aligned} M &= \sum F_{wbi} \cdot H_{bi} + \sum F_{wpi} \cdot H_{pi} \\ &= 456.168 \times 3.72 + 506.676 \times 2.90 \\ &\quad + 149.52 \times 1.25 + 2.99 \times 3.325 \\ &= 3362.943 \text{ (N} \cdot \text{m)} \end{aligned}$$

式中:  $F_{wb}$ ----标志板受到的风荷载

$H_b$ ----标志板形心到立柱根部的距离

$F_{wp}$ ----立柱迎风面受到的风荷载

$H_p$ ----立柱迎风面形心到立柱根部的距离

立柱根部由风荷载引起的剪力：

$$F = \sum F_{wb} + \sum F_{wp} = 456.168 + 506.676 + 149.52 + 2.99 = 1115.354 \text{ (N)}$$

式中：F<sub>wb</sub>----标志板受到的风荷载

F<sub>wp</sub>----立柱迎风面受到的风荷载

#### 4.1 最大正应力验算

立柱根部由风荷载引起的最大正应力为：

$\sigma_{\max} = M/W = 3362.943 / (3.043 \times 10^{-5}) \text{ (Pa)} = 110.502 \text{ (MPa)} < [\sigma_d] = 215.00 \text{ (MPa)}$ ，满足要求。

#### 4.2 最大剪应力验算

立柱根部由风荷载引起的最大剪应力为：

$\tau_{\max} = 2 \cdot F/A = 2 \times 1115.354 / (1.565 \times 10^{-3}) \text{ (Pa)} = 1.426 \text{ (MPa)} < [\tau_d] = 125.00 \text{ (MPa)}$ ，满足要求。

#### 4.3 危险点应力验算

对圆柱型立柱截面，通过圆心与 X-X 轴成 45° 的直线与截面中心线的交点处于复杂应力状态，正应力和剪应力均比较大，应对该点进行应力状态分析。

危险点所在的位置为：

$$x = y = (0.089 - 0.006) / 2 \cdot \sin(\pi/4) = 0.0293 \text{ (m)}$$

危险点处的正应力为：

$$\sigma = M \cdot y / I = 3362.943 \times 0.0293 / (1.354 \times 10^{-6}) = 72.869 \text{ (MPa)}$$

危险点处剪应力为：

$$\tau = F \cdot S_x / (I \cdot 2 \cdot t) = 1115.354 \times 1.461 \times 10^{-5} / (1.354 \times 10^{-6} \times 2 \times 0.006) = 1.003 \text{ (MPa)}$$

式中：S<sub>x</sub>----立柱危险点截面的静距

I----立柱截面惯性矩

根据第四强度理论：

$$\sigma_4 = (\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{1/2}$$

$= (72.869^2 + 3 \times 1.003^2)^{1/2} = 72.89 \text{ (MPa)} < [\sigma_d] = 215.00 \text{ (MPa)}$ ，满足要求。

### 5 立柱变形验算

本标志包括 2 块标志板，除最下面的一块标志板与基础之间所夹的力柱承受的荷载视作均布荷载外，其他荷载均视作作用在几何形心的集中荷载。

立柱的总高度 3.99(m)

#### 5.1 由集中荷载产生的挠度

1) 立柱顶部由标志板集中荷载产生的挠度:

$$\text{标志板 B: } f_{b1} = [\frac{P_i \cdot h_i^2}{6 \cdot E \cdot I}] \cdot (3 \cdot L - h_i) = [325.834 \times 3.72^2 / (6 \times 210 \times 10^9 \times 1.354 \times 10^{-6})] \times (3 \times 3.99 - 3.72) = 0.0218(\text{m})$$

$$\text{标志板 A: } f_{b2} = [\frac{P_i \cdot h_i^2}{6 \cdot E \cdot I}] \cdot (3 \cdot L - h_i) = [361.911 \times 2.90^2 / (6 \times 210 \times 10^9 \times 1.354 \times 10^{-6})] \times (3 \times 3.99 - 2.90) = 0.0162(\text{m})$$

则标志板集中荷载产生的挠度:  $f_b = \sum f_{bi} = 0.038(\text{m})$

式中: P----标志板受到的集中荷载标准值,  $P = F_{wb} / (\gamma_0 \cdot \gamma_Q)$

h----标志板形心到立柱根部的垂直距离

E----立柱材料的弹性模量

I----立柱横断面的惯性矩

L----立柱的总高度

2) 立柱顶部由标志牌之间立柱迎风面集中荷载产生的挠度:

$$\text{计算公式: } f_p = \sum P \cdot h^2 / (6 \cdot E \cdot I) \cdot (3 \cdot L - h) = 0.00012(\text{m})$$

式中: P----立柱在标志板之间迎风面受到的集中荷载标准值,  $P = F_{wp} / (\gamma_0 \cdot \gamma_Q)$

h----立柱在标志板之间迎风面形心到立柱根部的垂直距离

## 5.2 由均布荷载产生的挠度

最下侧标志牌下缘与基础上缘之间立柱迎风面由均布荷载产生的挠度:

$$f' = q \cdot h^4 / (8 \cdot E \cdot I) = 42.72 \times 2.50^4 / (8 \times 210 \times 10^9 \times 1.354 \times 10^{-6}) = 0.0007(\text{m})$$

式中: q----立柱迎风面均布荷载平均值,  $q = (1/2 \cdot \rho \cdot C \cdot V^2) \cdot W$

h----最下侧标志下缘与基础上缘之间的距离, 即立柱迎风面高度

## 5.3 由均布荷载产生的转角

由均布荷载导致立柱产生的转角:

$$\theta = q \cdot h^3 / (6 \cdot E \cdot I) = 42.72 \times 2.50^3 / (6 \times 210 \times 10^9 \times 1.354 \times 10^{-6}) = 0.000391(\text{rad})$$

综上: 立柱顶部总的变形挠度:

$$f = f_b + f_p + f' + \tan \theta \cdot (L_p - h) = 0.038 + 0.00012 + 0.0007 + \tan(0.000391) \times (3.99 - 2.50) = 0.0394(\text{m})$$

$f/L = 0.0394/3.99 = 0.01 < 0.01$ , 满足要求。

## 6 柱脚强度验算

### 6.1 受力情况

地脚受到的外部荷载:

$$\text{铅垂力: } G = \gamma_0 \cdot \gamma_G \cdot G = 1.0 \times 0.9 \times 583.876 = 525.488(\text{N})$$

$$\text{水平力: } F = 1115.354(\text{N})$$

式中： $\gamma G$ ----永久荷载分项系数，此处取 0.9

由风载引起的弯矩： $M=3362.943(N\cdot m)$

## 6.2 底板法兰受压区的长度 $X_n$

偏心距： $e= M/G= 3362.943/525.488= 6.40(m)$

法兰盘几何尺寸： $L=0.40(m)$ ； $B=0.40(m)$ ； $L_t=0.04(m)$

地脚螺栓拟采用 4M20 规格，受拉侧地脚螺栓数目  $n=2$ ，总的有效面积：

$$A_e = 2 \times 2.45 = 4.90(\text{cm}^2)$$

受压区的长度  $X_n$  根据下式试算求解：

$$X_n^3 + 3 \cdot (e-L/2) \cdot X_n^2 - 6 \cdot n \cdot A_e \cdot (e+L/2-L_t) \cdot (L-L_t-X_n) = 0$$

$$X_n^3 + 17.999 \cdot X_n^2 + 0.096 \cdot X_n - 0.035 = 0$$

求解该方程，得最佳值： $X_n = 0.041(m)$

## 6.3 底板法兰盘下的混凝土最大受压应力验算

混凝土最大受压应力：

$$\begin{aligned} \sigma_c &= 2 \cdot G \cdot (e + L/2 - L_t) / [B \cdot X_n \cdot (L - L_t - X_n/3)] \\ &= 2 \times 525.488 \times (6.40 + 0.40/2 - 0.04) / [0.40 \times 0.041 \times (0.40 - 0.04 - 0.041/3)] (\text{Pa}) \\ &= 1.206(\text{MPa}) < \beta_c \cdot f_{cc} = (0.80 \times 0.80 / 0.40 \times 0.40)^{0.5} \times 11.90(\text{MPa}) = 23.80(\text{MPa}), \text{ 满足要求!} \end{aligned}$$

## 6.4 地脚螺栓强度验算

受拉侧地脚螺栓的总拉力：

$$\begin{aligned} T_a &= G \cdot (e - L/2 + X_n/3) / (L - L_t - X_n/3) \\ &= 525.488 \times (6.40 - 0.40/2 + 0.041/3) / (0.40 - 0.04 - 0.041/3) (\text{N}) \\ &= 9.43(\text{KN}) < n \cdot T_0 = 2 \times 37.49 = 74.98(\text{KN}), \text{ 满足要求。} \end{aligned}$$

## 6.5 对水平剪力的校核

由法兰盘和混凝土的摩擦所产生的水平抗剪承载力为：

$$V_{fb} = k(G+T_a) = 0.40 \times (0.525+9.43) = 3.982(\text{KN}) > F = 1.115(\text{KN})$$

## 6.6 柱脚法兰盘厚度验算

法兰盘肋板数目为 4

受压侧法兰盘的支撑条件按照两相邻边支撑板考虑

自由边长  $a_2 = 0.204(m)$

固定边长  $b_2 = 0.102(m)$

$$b_2 / a_2 = 0.50$$

查表得：  $\alpha = 0.06$ ，因此，

$$M_{\max} = \alpha * \sigma * (a_2)^2 = 0.06 \times 1206003.23 \times 0.204^2 = 3021.798 (\text{N} \cdot \text{m}/\text{m})$$

法兰盘的厚度：

$$t = (6 * M_{\max} / f_{b1})^{0.5} = [6 \times 3021.798 / (210 \times 10^6)]^{0.5} (\text{m}) = 9.3 (\text{mm}) < 20 (\text{mm}),$$

满足要求。

受拉侧法兰盘的厚度：

$$t = \{6 * N_a * L_{ai} / [(D + L_{ai1} + L_{ai}) * f_{b1}]\}^{0.5}$$
$$= \{6 \times 4715.023 \times 0.271 / [(0.02 + 0.271 + 0.271) \times 210 \times 10^6]\}^{0.5} (\text{m}) = 8.1 (\text{mm}) <$$

20(mm)，满足要求。

### 6.7 地脚螺栓支撑加劲肋

由混凝土的分布反力得到的剪力：

$$V_i = \alpha r_i * L_{ri} * \sigma_c = 0.204 \times 0.102 \times 1206003.23 (\text{N}) = 25.182 (\text{KN}) > T_a/n = 9.43/2 =$$

4.715(KN)，满足要求。

地脚螺栓支撑加劲肋的高度和厚度为：

$$\text{高度 } H_{ri} = 0.18 (\text{m}), \text{ 厚度 } T_{ri} = 0.02 (\text{m})$$

剪应力为： $\tau = V_i / (H_{ri} * T_{ri}) = 25181.649 / (0.18 \times 0.02) = 6.995 (\text{MPa}) < f_v = 125.00 (\text{MPa})$ ，满足要求。

加劲肋与标志立柱的竖向连接角焊缝尺寸  $H_f = 0.006 (\text{mm})$ ，焊缝长度  $L_w = 0.154 (\text{mm})$

角焊缝的抗剪强度： $\tau = V_i / (2 * H_f * L_w) = 25181.649 / (2 \times 0.006 \times 0.154) = 12.775 (\text{MPa}) < 160 (\text{MPa})$ ，满足要求。

## 7 基础验算

上层基础宽  $W_f = 0.80 (\text{m})$ ，高  $H_f = 1.00 (\text{m})$ ，长  $L_f = 0.80 (\text{m})$ ，下层基础宽  $W_f = 1.00 (\text{m})$ ，高  $H_f = 0.10 (\text{m})$ ，长  $L_f = 1.00 (\text{m})$

基础的砼单位重量  $24.0 (\text{KN}/\text{M}^3)$ ，基底容许应力  $100.0 (\text{KPa})$

### 7.1 基底应力验算

基底所受的外荷载为：

$$\text{竖向荷载： } N = G_f + G = 17.76 + 0.584 = 18.344 (\text{KN})$$

式中： $G_f$ ----基础自重， $G_f = 24.0 \times 0.74 = 17.76 (\text{KN})$

$G$ ----上部结构自重

$$\text{水平荷载： } H = 1.115 (\text{KN})$$

$$\text{弯矩： } M = \sum F_{wbi} (H_{bi} + H_f) + \sum F_{wpi} (H_{pi} + H_f) = 4.59 (\text{KN} \cdot \text{m})$$

1)则基底应力的最大值为：

$\sigma_{\max} = N/A + M/W = 18.344/1.00 + 4.59/0.167 = 45.883(\text{kPa}) < [\sigma_f] = 100.00(\text{kPa})$ ,  
满足要求。

式中:  $W$ ----基底截面的抗弯模量,  $W = b \cdot H^2/6$

2) 基底应力的最小值为:

$$\sigma_{\min} = N/A - M/W = 18.344/1.00 - 4.59/0.167 = -9.195(\text{kPa}) < 0$$

基底出现了负应力, 负应力的分布宽度为:

$$L_x = |\sigma_{\min}| \cdot L_f / (|\sigma_{\min}| + \sigma_{\max}) = 9.195 \times 1.00 / (9.195 + 45.883) = 0.167(\text{m}) < L_f/4 = 1.00/4 = 0.25(\text{m}), \text{ 满足要求。}$$

## 7.2 基础抗倾覆稳定性验算

$$K_0 = L_f / (2 \cdot e) = 1.00 / (2 \times 0.25) = 1.998 > 1.10, \text{ 满足要求。}$$

式中:  $e$ ----基底偏心距,  $e = M/N = 4589.833/18343.876 = 0.25(\text{m})$

## 7.3 基础滑动稳定性验算

基础滑动稳定性系数:

$$K_c = \eta \cdot N/F = 0.30 \times 18343.876 / 11115.354 = 4.934 > 1.20, \text{ 满足要求。}$$

# 单悬臂式标志结构设计计算书

## 1 设计资料

### 1.1 板面数据

#### 1) 标志板 A 数据

板面形状：矩形，宽度  $W=2.5(m)$ ，高度  $h=1.0(m)$ ，净空  $H=5.5(m)$

标志板材料：LF2-M 铝。单位面积重量： $8.10(kg/m^2)$

### 1.2 横梁数据

横梁的总长度： $5.3(m)$ ，外径： $168(mm)$ ，壁厚： $8(mm)$ ，横梁数目：1

### 1.3 立柱数据

立柱的总高度： $10.0(m)$ ，立柱外径： $300(mm)$ ，立柱壁厚： $10(mm)$

## 2 计算简图

见 Dwg 图纸

## 3 荷载计算

### 3.1 永久荷载

#### 1) 标志版重量计算

标志板重量： $G_b=A \cdot \rho \cdot g=2.50 \times 8.10 \times 9.80=198.45(N)$

式中： $A$ ----标志板面积

$\rho$  ----标志板单位面积重量

$g$ ----重力加速度，取  $9.80(m/s^2)$

#### 2) 横梁重量计算

横梁数目 1，总长度为  $5.3(m)$ ，使用材料：奥氏体不锈钢无缝钢管，单位长度重量： $32.043(kg/m)$

横梁总重量： $G_h=L \cdot \rho \cdot g=5.3 \times 32.043 \times 9.80 \times 1=1664.334(N)$

式中： $L$ ----横梁的总长度

$\rho$  ----横梁单位长度重量

$g$ ----重力加速度，取  $9.80(m/s^2)$

#### 3) 立柱重量计算

立柱总长度为  $10.00(m)$ ，使用材料：碳素钢、合金钢无缝钢管，单位长度重量： $71.521(kg/m)$

立柱重量： $G_p=L \cdot \rho \cdot g=10.00 \times 71.521 \times 9.80=7009.069(N)$

式中： $L$ ----立柱的总长度

$\rho$  ----立柱单位长度重量

$g$ ----重力加速度，取  $9.80(m/s^2)$

#### 4) 上部结构总重量计算

由标志上部永久荷载计算系数 1.10, 则上部结构总重量:

$$G=K*(G_b+G_h+G_p)=1.10 \times (198.45+1664.334+7009.069)=9759.038(N)$$

### 3.2 风荷载

#### 1) 标志板所受风荷载

标志板 A 所受风荷载:

$$F_{wb} = \gamma_0 * \gamma_Q * [(1/2 * \rho * C * V^2) * A] = 1.0 \times 1.4 \times [(0.5 \times 1.2258 \times 1.2 \times 31.288^2) \times 2.50] = 2519.997(N)$$

式中:  $\gamma_0$ ----结构重要性系数, 取 1.0

$\gamma_Q$ ----可变荷载分项系数, 取 1.4

$\rho$ ----空气密度, 一般取  $1.2258(N \cdot S^2 \cdot m^{-4})$

C----标志板的风力系数, 取值 1.20

V----风速, 此处风速为  $31.288(m/s^2)$

g----重力加速度, 取  $9.80(m/s^2)$

#### 2) 横梁所迎风面所受风荷载:

$$F_{wh} = \gamma_0 * \gamma_Q * [(1/2 * \rho * C * V^2) * W * H] = 1.0 \times 1.4 \times [(0.5 \times 1.2258 \times 0.80 \times 31.288^2) \times 0.168 \times 2.35] = 265.305(N)$$

式中: C----立柱的风力系数, 圆管型取值 0.80

W----横梁迎风面宽度, 即横梁的外径

H----横梁迎风面长度, 应扣除被标志板遮挡部分

#### 3) 立柱迎风面所受风荷载:

$$F_{wp} = \gamma_0 * \gamma_Q * [(1/2 * \rho * C * V^2) * W * H] = 1.0 \times 1.4 \times [(0.5 \times 1.2258 \times 0.80 \times 31.288^2) \times 0.30 \times 10.00] = 2015.998(N)$$

式中: C----立柱的风力系数, 圆管型立柱取值 0.80

W----立柱迎风面宽度, 即立柱的外径

H----立柱迎风面高度

### 4 横梁的设计计算

横梁数目为一

单根横梁所受荷载为:

(标志牌重量)

$$\text{竖直荷载: } G_4 = \gamma_0 * \gamma_G * G_b / n = 1.0 \times 1.2 \times 198.45 / 1 = 238.14(N)$$

式中:  $\gamma_0$ ----结构重要性系数, 取 1.0

$\gamma_G$ ----永久荷载(结构自重)分项系数, 取 1.2

n----横梁数目，这里为 1

(横梁自重视为自己受到均布荷载)

均布荷载:  $\omega_1 = \gamma_0 \cdot \gamma \cdot G \cdot Gh / (n \cdot L) = 1.0 \times 1.2 \times 1664.334 / (1 \times 5.3) = 376.83(N)$

式中: L----横梁的总长度

(标志牌风荷载)

水平荷载:  $F_{wbh} = F_{wb} / n = 2519.997 / 1 = 2519.997(N)$

#### 4.1 强度验算

横梁根部由重力引起的剪力为:

$$Q_G = G_4 + \omega_1 \cdot L_h = 238.14 + 376.83 \times 4.85 = 2065.768(N)$$

式中:  $L_h$ ----横梁端部到根部的距离, 扣除与立柱连接部分的长度

由重力引起的弯矩:

$$\begin{aligned} M_G &= \sum G_b \cdot L_b + \omega_1 \cdot L_h^2 / 2 \\ &= 198.45 \times 3.60 + 376.83 \times 4.85^2 / 2 \\ &= 5146.417(N \cdot M) \end{aligned}$$

式中:  $G_b$ ----每根横梁所承担的标志板重量

$L_b$ ----标志板形心到横梁根部的间距

横梁根部由风荷载引起的剪力:

$$Q_w = F_{wbh} + F_{wh} = 2519.997 + 265.305 = 2785.303(N)$$

式中:  $F_{wbh}$ ----单根横梁所承担的标志板所传来的风荷载

$F_{wh}$ ----单根横梁直接承受的风荷载

横梁根部由风荷载引起的弯矩:

$$\begin{aligned} M_w &= \sum F_{wbi} \cdot L_{wbi} + \sum F_{whi} \cdot L_{whi} \\ &= 2519.997 \times 3.60 + 282.24 \times 1.10 \\ &= 9383.724(N \cdot M) \end{aligned}$$

横梁规格为  $\phi 168 \times 8$ , 截面面积  $A = 4.021 \times 10^{-3}(m^2)$ , 截面惯性矩  $I = 1.29 \times 10^{-5}(m^4)$ , 截面抗弯模量  $W = 1.536 \times 10^{-4}(m^3)$

横梁根部所受到的合成剪力为:  $Q_h = (Q_G^2 + Q_w^2)^{1/2} = (2065.768^2 + 2785.303^2)^{1/2} = 3467.752(N)$

合成弯矩:  $M_h = (M_G^2 + M_w^2)^{1/2} = (5146.417^2 + 9383.724^2)^{1/2} = 10702.331(N \cdot M)$

##### 1) 最大正应力验算

横梁根部的最大正应力为:

$$\sigma_{\max} = M_h / W = 10702.331 / (1.536 \times 10^{-4}) = 69.689(MPa) < [\sigma_d] = 215(MPa), \text{ 满足要}$$

求。

## 2)最大剪应力验算

横梁根部的最大剪应力为:

$\tau_{\max} = 2 \cdot Q/A = 2 \times 3467.752 / (4.021 \times 10^{-3}) = 1.725(\text{MPa}) < [\tau_d] = 125(\text{MPa})$ , 满足要求。

## 3)危险点应力验算

根据第四强度理论,  $\sigma$ 、 $\tau$  近似采用最大值即:

$\sigma_4 = (\sigma_{\max}^2 + 3 \times \tau_{\max}^2)^{1/2} = (69.689^2 + 3 \times 1.725^2)^{1/2} = 69.753(\text{MPa}) < [\sigma_d] = 215(\text{MPa})$ , 满足要求。

## 4.2 变形验算

横梁端部的垂直挠度:

$$\begin{aligned} f_y &= \sum G_b \cdot l_b^2 \cdot (3L_h - l_b) / (\gamma_0 \cdot \gamma_G \cdot 6 \cdot E \cdot I) + \omega_1 \cdot L_h^4 / (\gamma_0 \cdot \gamma_G \cdot 8 \cdot E \cdot I) \\ &= 238.14 \times 3.60^2 \times (3 \times 4.85 - 3.60) / (1.0 \times 1.2 \times 6 \times 210.00 \times 10^9 \times 1.29 \times 10^{-5}) \\ &\quad + 376.83 \times 4.85^4 / (1.0 \times 1.2 \times 8 \times 210.00 \times 10^9 \times 1.29 \times 10^{-5}) \\ &= 9.75(\text{mm}) \end{aligned}$$

式中:  $G_b$ ----标志板自重传递给单根横梁的荷载

$l_b$ ----当前标志板形心到横梁根部的间距

水平挠度:

$$\begin{aligned} f_x &= \sum F_{wb} \cdot l_b^2 \cdot (3L_h - l_b) / (\gamma_0 \cdot \gamma_G \cdot 6 \cdot E \cdot I) + \omega_2 \cdot L^2 \cdot L^3 \cdot (3L_h - l_b) / (\gamma_0 \cdot \gamma_G \cdot 6 \cdot E \cdot I) \\ &= 2519.997 \times 3.60^2 \times (3 \times 4.85 - 3.60) / (1.0 \times 1.2 \times 6 \times 210.00 \times 10^9 \times 1.29 \times 10^{-5}) \\ &\quad + 112.896 \times 2.35^3 \times (3 \times 4.85 - 2.35) / (1.0 \times 1.2 \times 6 \times 210.00 \times 10^9 \times 1.29 \times 10^{-5}) \\ &= 19.251(\text{mm}) \end{aligned}$$

合成挠度:

$$f = (f_x^2 + f_y^2)^{1/2} = (19.251^2 + 9.75^2)^{1/2} = 21.579(\text{mm})$$

$f/L_h = 0.021579/4.85 = 0.0044 < 0.01$ , 满足要求。

## 5 立柱的设计计算

立柱根部受到两个方向的力和三个方向的力矩的作用, 竖直方向的重力、水平方向的风荷载、横梁和标志板重力引起的弯矩、风荷载引起的弯矩、横梁和标志板风荷载引起的扭矩。

垂直荷载:  $N = \gamma_0 \cdot \gamma_G \cdot G = 1.00 \times 1.20 \times 9759.038 = 11710.846(\text{N})$

水平荷载:  $H = F_{wb} + F_{wh} + F_{wp} = 2519.997 + 265.305 + 2015.998 = 4801.30(N)$

立柱根部由永久荷载引起的弯矩:

$$M_G = M_{Gh} \cdot n = 5146.417 \times 1 = 5146.417(N \cdot m)$$

式中:  $M_{Gh}$ ----横梁由于重力而产生的弯矩

$n$ ----横梁数目, 这里为 1

由风荷载引起的弯矩:

$$M_w = \sum F_{wb} \cdot H_b + \sum F_{wh} \cdot H_h + F_{wp} \cdot H_p / 2 = 15119.984 + 1591.832 + 10079.989 = 26791.805(N \cdot m)$$

合成弯矩

$$M = (M_G^2 + M_w^2)^{1/2} = (5146.417^2 + 26791.805^2)^{1/2} = 27281.613(N \cdot m)$$

由风荷载引起的扭矩:

$$M_t = n \cdot M_{wh} = 1 \times 9383.724 = 9383.724(N \cdot m)$$

式中:  $M_{wh}$ ----横梁由于风荷载而产生的弯矩

立柱规格为  $\phi 300 \times 10$ , 截面积为  $A = 9.111 \times 10^{-3}(m^2)$ , 截面惯性矩为  $I = 9.589 \times 10^{-5}(m^4)$ , 抗弯截面模量为  $W = 6.393 \times 10^{-4}(m^3)$ , 截面回转半径  $i = 0.103(m)$ , 极惯性矩为  $I_p = 1.918 \times 10^{-4}(m^4)$

立柱一端固定, 另一端自由, 长度因数  $\mu = 2$ 。作为受压直杆时, 其柔度为:

$$\lambda = \mu \cdot H_p / i = 2 \times 10.00 / 0.103 = 195, \text{查表, 得稳定系数 } \phi = 0.209$$

## 5.1 强度验算

### 1) 最大正应力验算

轴向荷载引起的压应力:

$$\sigma_c = N/A = 11710.846 / (9.111 \times 10^{-3})(Pa) = 1.285(MPa)$$

由弯矩引起的压应力:

$$\sigma_w = M/W = 27281.613 / (6.393 \times 10^{-4})(Pa) = 42.677(MPa)$$

组合应力:  $\sigma_{max} = \sigma_c + \sigma_w = 1.285 + 42.677 = 43.962(MPa)$

$$\sigma_c / (\phi \cdot \sigma_d) + \sigma_w / \sigma_d = 1.285 / (0.209 \times 215) + 42.677 / 215 = 0.227 < 1, \text{满足要求。}$$

### 2) 最大剪应力验算

水平荷载引起的剪力:

$$\tau_{Hmax} = 2 \cdot H/A = 2 \times 4801.30 / (9.111 \times 10^{-3})(Pa) = 1.054(MPa)$$

由扭矩引起的剪力:

$$\tau_{tmax} = M_t \cdot D / (2 \cdot I_p) = 9383.724 \times 0.30 / (2 \times 1.918 \times 10^{-4})(Pa) = 7.34(MPa)$$

合成剪力:  $\tau_{max} = \tau_{Hmax} + \tau_{tmax} = 1.054 + 7.34 = 8.394(MPa) < [\tau_d] = 125.00(MPa)$ , 满足要

求。

### 3) 危险点应力验算

最大正应力位置点处，由扭矩产生的剪应力亦为最大，即

$$\sigma = \sigma_{\max} = 43.962(\text{MPa}), \quad \tau = \tau_{\max} = 8.394(\text{MPa})$$

根据第四强度理论:

$$\sigma_4 = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = (43.962^2 + 3 \times 8.394^2)^{1/2} = 46.304(\text{MPa}) < [\sigma_d] = 215(\text{MPa}), \text{ 满足要求。}$$

## 5.2 变形验算

立柱顶部的变形包括，风荷载引起的纵向挠度、标志牌和横梁自重引起的横向挠度、扭矩引起的转角产生的位移。

风荷载引起的纵向挠度:

$$\begin{aligned} f_p &= (F_{wb1} + F_{wh1}) \cdot h^2 \cdot (3h - h_1) / (\gamma_0 \cdot \gamma_Q \cdot 6 \cdot E \cdot I) + F_{wp1} \cdot h^3 / (\gamma_0 \cdot \gamma_Q \cdot 8 \cdot E \cdot I) \\ &= (2519.997 + 265.305) \times 6.00^2 \times (3 \times 10.00 - 6.00) / (1.00 \times 1.40 \times 6 \times 210 \times 10^9 \times 9.589 \times 10^{-5}) \\ &\quad + 2015.998 \times 10.00^3 / (1.00 \times 1.40 \times 8 \times 210 \times 10^9 \times 9.589 \times 10^{-5}) \\ &= 0.0232(\text{m}) \end{aligned}$$

$$f_p/D = 0.0232/10.00 = 0.002 < 0.01, \text{ 满足要求。}$$

立柱顶部由扭矩标准值产生的扭转角为:

$$\theta = M_t \cdot h / (\gamma_0 \cdot \gamma_Q \cdot G \cdot I_p) = 9383.724 \times 10.00 / (1.00 \times 1.40) \times 79 \times 10^9 \times 1.918 \times 10^{-4} = 0.0044(\text{rad})$$

式中:  $G$ ----切变模量, 这里为 79(GPa)

该标志结构左上点处水平位移最大, 由横梁水平位移、立柱水平位移及由于立柱扭转而使横梁产生的水平位移三部分组成。该点总的水平位移为:

$$f = f_x + f_p + \theta \cdot l_1 = 0.019 + 0.0232 + 0.0044 \times 5.00 = 0.065(\text{m})$$

该点距路面高度为 6.50(m)

$$f/h = 0.065/6.50 = 0.01 < 0.017, \text{ 满足要求。}$$

由结构自重而产生的转角为:

$$\theta = M_y \cdot h^2 / (\gamma_0 \cdot \gamma_G \cdot E \cdot I) = 5146.417 \times 6.00 / (1.00 \times 1.20 \times 210 \times 10^9 \times 9.589 \times 10^{-5}) = 0.0013(\text{rad})$$

单根横梁由此引起的垂直位移为:

$$f_y' = \theta \cdot l_1 = 0.0013 \times 4.85 = 0.0062(\text{m})$$

横梁的垂直总位移为:

$$f_h = f_y + f_y' = 0.01 + 0.0062 = 0.016 \text{ (m)}$$

该挠度可以作为设置横梁预拱度的依据。

## 6 立柱和横梁的连接

连接螺栓采用六角螺栓 4M30，查表，每个螺栓受拉承载力设计值  $[N_t] = 85.83 \text{ (KN)}$ ，受剪承载力设计值  $[N_v] = 122.24 \text{ (KN)}$

螺栓群处所受的外力为：合成剪力  $Q = 3.468 \text{ (KN)}$ ，合成弯矩  $M = 10.702 \text{ (KN}\cdot\text{M)}$

每个螺栓所承受的剪力为： $N_v = Q/n = 3.468/4 = 0.867 \text{ (KN)}$

以横梁外壁与 M 方向平行的切线为旋转轴，旋转轴与竖直方向的夹角：

$$\alpha = \arctan(MG/M_w) = \arctan(5146.42/9383.72) = 0.502 \text{ (rad)} = 28.74^\circ$$

则各螺栓距旋转轴的距离分别为：

$$\text{螺栓 1: } y_1 = 0.168/2 + 0.10 \times \sin(0.502 - 1 \times 0.7854) = 0.056 \text{ (m)}$$

$$\text{螺栓 2: } y_2 = 0.168/2 + 0.10 \times \sin(0.502 + 1 \times 0.7854) = 0.18 \text{ (m)}$$

$$\text{螺栓 3: } y_3 = 0.168/2 + 0.10 \times \sin(0.502 + 3 \times 0.7854) = 0.112 \text{ (m)}$$

$$\text{螺栓 4: } y_4 = 0.168/2 + 0.10 \times \sin(0.502 + 5 \times 0.7854) = -0.012 \text{ (m)}$$

螺栓 2 对旋转轴的距离最远，各螺栓拉力对旋转轴的力矩之和为：

$$M_b = N_2 \times \sum y_i^2 / y_2$$

$$\text{其中: } \sum y_i^2 = 0.0481 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\sum y_i = 0.348 \text{ (m)}$$

受压区对旋转轴产生的力矩为：

$$M_c = \int \sigma_c \times (2 \times (R^2 - r^2)^{1/2}) \times (y - r) dy$$

式中： $\sigma_c$ ----法兰受压区距中性轴 y 处压应力

R----法兰半径，这里为 0.20(m)

r----横梁截面半径，这里为 0.084(m)

压应力合力绝对值：

$$N_c = \int \sigma_c \times (2 \times (R^2 - r^2)^{1/2}) dy$$

$$\text{又 } \sigma_c / \sigma_{c\max} = (y - r) / (R - r)$$

根据法兰的平衡条件： $M_b + M_c = M$ ， $N_c = \sum N_i$ ，求解得：

$$N_2 = 31.306 \text{ (KN)}$$

$$\sigma_{c\max} = 2.875 \text{ (MPa)}$$

### 6.1 螺栓强度验算

$((N_v/[N_v])^2 + (N_{\max}/[N_t])^2)^{1/2} = ((0.867/122.24)^2 + (31.306/85.83)^2)^{1/2} = 0.365 < 1$ ，满足要求。

悬臂法兰盘的厚度是 30mm，则单个螺栓的承压承载力设计值：

$$N_c = 0.03 \times 0.03 \times 400 \times 10^3 = 360(\text{KN}), \quad N_v = 0.867(\text{KN}) < N_c, \text{ 满足要求。}$$

## 6.2 法兰盘的确定

受压侧受力最大的法兰盘区隔为三边支撑板：

$$\text{自由边长度：} a_2 = (0.40 - 0.168) \times \sin(\pi/4) = 0.164(\text{m})$$

$$\text{固定边长度：} b_2 = (0.40 - 0.168)/2 = 0.116(\text{m})$$

$b_2/a_2 = 0.116/0.164 = 0.707$ ，查表， $\alpha = 0.088$ ，因此该区隔内最大弯矩为：

$$M_{\max} = \alpha * \sigma_{\text{cmax}} * a_2^2 = 0.088 \times 2.875 \times 0.164^2 = 6.786(\text{KNM})$$

法兰盘的厚度：

$$t = (6 * M_{\max} / f)^{1/2} = [6 \times 6785.508 / (215 \times 10^6)]^{1/2} = 13.76(\text{mm}) < t = 30(\text{mm}), \text{ 满足要求。}$$

受拉侧法兰需要的厚度：

$$t = \{6 * N_{\max} * L_{\text{ai}} / [(D + 2 * L_{\text{ai}}) * f]\}^{1/2} = \{6 \times 31306 \times 0.016 / [(0.03 + 2 \times 0.016) \times 215 \times 10^6]\}^{1/2} = 15.02(\text{mm}) < t = 30(\text{mm}), \text{ 满足要求。}$$

## 6.3 加劲肋的确定

由受压区法兰盘的分布反力得到的剪力：

$$V_i = a_{Ri} * l_{Ri} * \sigma_{\text{cmax}} = 0.164 \times 0.116 \times 2.875 \times 10^6(\text{N}) = 54.703(\text{KN})$$

螺栓拉力产生的剪力为： $V_2 = N_2 = 31.306(\text{KN})$

加劲肋的高度和厚度分别为： $h_{Ri} = 0.20(\text{m})$ ， $t_{Ri} = 0.016(\text{m})$ ，则剪应力为：

$$\tau_R = V_i / (h_{Ri} * t_{Ri}) = 54703.5 / (0.20 \times 0.016) = 17.095(\text{MPa})$$

设加劲肋与横梁的竖向连接焊缝的焊脚尺寸  $h_f = 0.008(\text{m})$ ，焊缝计算长度： $l_w = 0.20(\text{m})$ ，则角焊缝的抗剪强度：

$$\tau_f = V_i / (2 * 0.7 * h_e * l_w) = 54703.5 / (2 \times 0.7 \times 0.008 \times 0.20) = 19.079(\text{MPa}) < 160(\text{MPa}), \text{ 满足要求。}$$

## 7 柱脚强度验算

### 7.1 受力情况

地脚受到的外部荷载：

$$\text{铅垂力：} G = \gamma_0 * \gamma_G * G = 1.0 \times 0.9 \times 9759.038 = 8783.135(\text{N})$$

$$\text{水平力：} F = 4801.30(\text{N})$$

式中： $\gamma_G$ ----永久荷载分项系数，此处取 0.9

$$\text{合成弯矩：} M = 27281.613(\text{N} * \text{m})$$

$$\text{扭矩：} M_t = 9383.724(\text{N} * \text{m})$$

## 7.2 底板法兰受压区的长度 $X_n$

偏心距:  $e = M/G = 27281.613/8783.135 = 3.106(m)$

法兰盘几何尺寸:  $L=0.65(m)$ ;  $B=0.65(m)$ ;  $L_t=0.06(m)$

地脚螺栓拟采用 12M30 规格, 受拉侧地脚螺栓数目  $n=2$ , 总的有效面积:

$$A_e = 2 \times 5.61 = 11.22(\text{cm}^2)$$

受压区的长度  $X_n$  根据下式试算求解:

$$X_n^3 + 3 \cdot (e - L/2) \cdot X_n^2 - 6 \cdot n \cdot A_e \cdot (e + L/2 - L_t) \cdot (L - L_t - X_n) = 0$$

$$X_n^3 + 7.368 \cdot X_n^2 + 0.07 \cdot X_n - 0.041 = 0$$

求解该方程, 得最佳值:  $X_n = 0.07(m)$

## 7.3 底板法兰盘下的混凝土最大受压应力验算

混凝土最大受压应力:

$$\sigma_c = 2 \cdot G \cdot (e + L/2 - L_t) / [B \cdot X_n \cdot (L - L_t - X_n/3)]$$

$$= 2 \times 8783.135 \times (3.106 + 0.65/2 - 0.06) / [0.65 \times 0.07 \times (0.65 - 0.06 - 0.07/3)](\text{Pa})$$

$$= 2.301(\text{MPa}) < \beta_c \cdot f_{cc} = (2.00 \times 2.50 / 0.65 \times 0.65)^{0.5} \times 11.90(\text{MPa}) = 40.937(\text{MPa}), \text{ 满足要求!}$$

## 7.4 地脚螺栓强度验算

受拉侧地脚螺栓的总拉力:

$$T_a = G \cdot (e - L/2 + X_n/3) / (L - L_t - X_n/3)$$

$$= 8783.135 \times (3.106 - 0.65/2 + 0.07/3) / (0.65 - 0.06 - 0.07/3)(\text{N})$$

$$= 43.465(\text{KN}) < n \cdot T_0 = 2 \times 85.83 = 171.66(\text{KN}), \text{ 满足要求。}$$

## 7.5 对水平剪力的校核

由法兰盘和混凝土的摩擦所产生的水平抗剪承载力为:

$$V_{fb} = k(G + T_a) = 0.40 \times (8.783 + 43.465) = 20.899(\text{KN}) > F = 4.801(\text{KN})$$

## 7.6 柱脚法兰盘厚度验算

法兰盘肋板数目为 6

对于三边支承板:

自由边长  $a_2 = 0.35(m)$ , 固定边长  $b_2 = 0.20(m)$

$$b_2 / a_2 = 0.571, \text{ 查表得: } \alpha = 0.071, \text{ 因此,}$$

$$M_1 = \alpha \cdot \sigma_c \cdot (a_2)^2 = 0.071 \times 2300638.389 \times 0.35^2 = 20009.802(\text{N} \cdot \text{m}/\text{m})$$

对于相邻支承板:

自由边长  $a_2 = 0.35(m)$ , 固定边长  $b_2 = 0.303(m)$

$b_2 / a_2 = 0.866$ , 查表得:  $\alpha = 0.102$ , 因此,

$$M_2 = \alpha * \sigma_c * (a_2)^2 = 0.102 \times 2300638.389 \times 0.35^2 = 28825.961 (N \cdot m/m)$$

取  $M_{max} = \max(M_1, M_2) = \max(20009.802, 28825.961) = 28825.961 (N \cdot m/m)$

法兰盘的厚度:

$$t = (6 * M_{max} / f_{b1})^{0.5} = [6 \times 28825.961 / (210 \times 10^6)]^{0.5} (m) = 28.7 (mm) < 30 (mm),$$

满足要求。

受拉侧法兰盘的厚度:

$$t = \{6 * N_a * L_{ai} / [(D + L_{ai1} + L_{ai}) * f_{b1}]\}^{0.5}$$

$$= \{6 \times 21732.259 \times 0.29 / [(0.03 + 0.29 + 0.29) \times 210 \times 10^6]\}^{0.5} (m) = 17.2 (mm) <$$

30(mm), 满足要求。

## 7.7 地脚螺栓支撑加劲肋

由混凝土的分布反力得到的剪力:

$$V_i = \alpha r_i * L_{ri} * \sigma_c = 0.35 \times 0.20 \times 2300638.389 (N) = 161.045 (KN) > T_a/n =$$

43.465/2 = 21.732 (KN), 满足要求。

地脚螺栓支撑加劲肋的高度和厚度为:

高度  $H_{ri} = 0.20 (m)$ , 厚度  $T_{ri} = 0.016 (m)$

剪应力为:  $\tau = V_i / (H_{ri} * T_{ri}) = 161044.687 / (0.20 \times 0.016) = 50.326 (MPa) < f_v = 125.00 (MPa)$ ,

满足要求。

加劲肋与标志立柱的竖向连接角焊缝尺寸  $H_f = 0.013 (mm)$ , 焊缝长度  $L_w = 0.32 (mm)$

角焊缝的抗剪强度:  $\tau = V_i / (2 * H_f * L_w) = 161044.687 / (2 \times 0.013 \times 0.32) = 19.659 (MPa) <$

160 (MPa), 满足要求。

## 8 基础验算

基础宽  $W_f = 2.00 (m)$ , 高  $H_f = 2.10 (m)$ , 长  $L_f = 2.50 (m)$ ,

基础的砼单位重量  $24.0 (KN/M^3)$ , 基底容许应力  $150.0 (KPa)$

### 8.1 基底应力验算

基底所受的外荷载为:

竖向荷载:  $N = G_f + G = 252.00 + 9.759 = 261.759 (KN)$

式中:  $G_f$ ----基础自重,  $G_f = 24.0 \times 10.5 = 252.0 (KN)$

$G$ ----上部结构自重

水平荷载:  $H = 4.801 (KN)$

弯矩:  $M = \sum F_{wbi} (H_{bi} + H_f) + \sum F_{wpi} (H_{pi} + H_f) = 34.726 (KN \cdot m)$

1) 则基底应力的最大值为:

$\sigma_{\max} = N/A + M/W = 261.759/5.00 + 34.726/2.083 = 69.02(\text{kPa}) < [\sigma_f] = 150.00(\text{kPa})$ ,  
满足要求。

式中:  $W$ ----基底截面的抗弯模量,  $W = b \cdot H^2/6$

2) 基底应力的最小值为:

$$\sigma_{\min} = N/A - M/W = 261.759/5.00 - 34.726/2.083 = 35.684(\text{kPa}) > 0, \text{ 满足要求。}$$

## 8.2 基础抗倾覆稳定性验算

$$K_0 = Lf/(2 \cdot e) = 2.50/(2 \times 0.133) = 9.422 > 1.10, \text{ 满足要求。}$$

式中:  $e$ ----基底偏心距,  $e = M/N = 34725.562/261759.038 = 0.133(\text{m})$

## 8.3 基础滑动稳定性验算

基础滑动稳定性系数:

$$K_c = \eta \cdot N/F = 0.30 \times 261759.038/4801.30 = 16.356 > 1.20, \text{ 满足要求。}$$