

## 《钢结构》课程设计评分表

姓名		学号		专业年级	
设计题目					
评价内容	具 体 要 求		分值	单项得分	
计算说明书 质量	设计内容完整，计算结果准确， 配图符合要求，有独立思考分 析实际问题的能力		40		
图纸质量	图纸表达内容完整，，构图合 理，比例恰当，图线清晰，尺 寸标注正确，文字规整，大小 得当，总体符合制图规范		50		
工作态度	按时到课，态度认真，学习刻 苦，按时完成规定任务		10		
考察级别			总分		

授课教师签字：

年    月    日

2023 年 春 季学期中国海洋大学全日制本科

## 《钢结构课程设计》任务书

专业年级: 土木工程 2020 级 任课教师: 徐晓天

### 一、课程设计参考选题

上承式 21 米跨梯形角钢屋架设计

### 二、课程设计要求

#### 1、设计资料

某单跨双坡封闭式厂房, 位于山东省青岛市西海岸新区, 厂房长 120m, 跨度为 21 米, 不设天窗, 厂房内设 2 台 A5 级 20 吨桥式吊车, 拟采用上承式梯形角钢屋架, 屋面坡度  $i=1/18$ , 屋面采用长尺压型钢板, 柱距 12m, 钢材 Q235B, 屋架铰接于钢柱柱顶, 跨中设置一道隅撑, 屋架下弦距地面 10m, 檩条采用高频焊接薄壁 H 型钢, 地面粗糙度 A 类, 建筑物抗震设防类别丙类, 抗震设防烈度 7 度, 排架产生柱顶推力 100 KN。压型钢板自重  $0.15\text{KN/m}^2$ ; 檩条自重  $0.15\text{KN/m}^2$  (水平投影面); 屋架及支撑自重 (水平投影面) 可按  $0.2 \text{ KN/m}^2$  估计; 不考虑积灰荷载。

#### 2、设计要求

依据《建筑抗震设计规范》GB50011-2010、《建筑结构荷载规范》GB50009-2012《钢结构设计标准》GB50017-2017 等现行规范进行如下工作:

##### (1) 完成计算说明书。

确定屋架杆件几何尺寸, 并画出示意图;

设计屋盖支撑系统, 并画出屋面结构布置图;

荷载统计与内力计算;

内力组合, 并完成杆件内力组合表;

根据控制内力进行杆件截面设计计算, 并完成屋架杆件内力及断面表;

进行节点设计计算, 完成腹杆与节点板连接焊缝表, 至少完成 5 个节点设计

计算, 即上弦一般节点、下弦一般节点、屋脊拼接节点、下弦跨中拼接节点、支

座节点, 画出计算辅助节点示意图;

##### (2) 绘制施工图。

主要包括:

几何尺寸及内力图索引图;

屋架详图(半榀);

屋架剖面图(至少 3 个);

材料表;

附注

#### 3、格式要求:

- (1) 设计计算说明书一份, A4 纸张, 封面、任务书、评分表打印, 文字及配图可自主选择手书或打印;
- (2) 施工图一份, 比例自主, A2 纸张铅笔手绘或 A3 纸张打印;
- (3) 装订叠放顺序为封面、评分表、任务书、计算说明书、图纸, 左侧装订, 无需胶装。

#### 4、主要参考资料

- [1] 陈绍蕃、顾强. 钢结构基础. 北京: 中国建筑工业出版社. 2018. 12 (ISBN: 987-7-112-22743-3)
- [2] 陈绍蕃、郭成喜. 房屋建筑钢结构设计. 北京: 中国建筑工业出版社. 2018. 12 (ISBN: 987-7-112-22742-6)
- [3] 钢结构设计手册编辑委员会. 钢结构设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社. 2019. 2 (ISBN: 978-7-112-22675-7)

BY Husi-OUC

# 计算说明书

1. 设计资料 .....	1
2. 屋架形式及几何尺寸 .....	1
3. 屋盖支撑布置 .....	1
4. 荷载及内力计算 .....	2
4.1 永久荷载（对水平投影面） .....	2
4.2 可变荷载（对水平投影面） .....	2
4.3 风荷载 .....	3
4.4 排架柱柱顶剪力 .....	4
5. 内力组合及截面选择 .....	4
5.1 内力组合 .....	4
5.2 截面选择 .....	4
6. 节点设计 .....	11
6.1 腹杆与节点板的连接焊缝 .....	11
6.2 节点设计 .....	12
6.2.1 支座节点“a” .....	12
6.2.2 下弦节点“c” .....	14
6.2.3 上弦节点“d” .....	16
6.2.4 上弦屋脊处拼接节点“h” .....	18
6.2.5 下弦拼接节点“i” .....	19

## 1. 设计资料

某单跨双坡封闭式厂房，位于山东省青岛市西海岸新区，厂房长 120m，跨度为 21 米，不设天窗，厂房内设 2 台 A5 级 20 吨桥式吊车，拟采用上承式梯形角钢屋架，屋面坡度  $i = \frac{1}{18}$  ( $\alpha = 3.1798^\circ$ )，屋面采用长尺压型钢板，柱距 12m，钢材 Q235B，屋架铰接于钢柱柱顶，跨中设置一道隅撑，屋架下弦距地面 10m，檩条采用高频焊接薄壁 H 型钢，地面粗糙度 A 类，建筑物抗震设防类别丙类，抗震设防烈度 7 度，排架产生柱顶推力 100 kN。压型钢板自重  $0.15 \text{ kN/m}^2$ ；檩条自重  $0.15 \text{ kN/m}^2$ （水平投影面）；屋架及支撑自重（水平投影面）可按  $0.2 \text{ kN/m}^2$  估计；不考虑积灰荷载。

## 2. 屋架形式及几何尺寸

屋架计算跨度  $L_0 = 21000 - 2 \times 150 = 20700 \text{ mm}$ ；

梯形屋架的跨中高度取其跨度的  $\frac{1}{10}$ ，即  $H = 21000 \times \frac{1}{10} = 2100 \text{ mm}$ ；

屋面坡度  $i = \frac{1}{18}$ ，则屋架端部高度  $H_0 = 2100 - 10500 \times \frac{1}{18} = 1516.7 \text{ mm}$ ，取  $H_0 = 1520 \text{ mm}$ ；

腹杆体系采用上弦间长为 3.5m 的人字式，屋架几何尺寸及腹杆布置见下图。

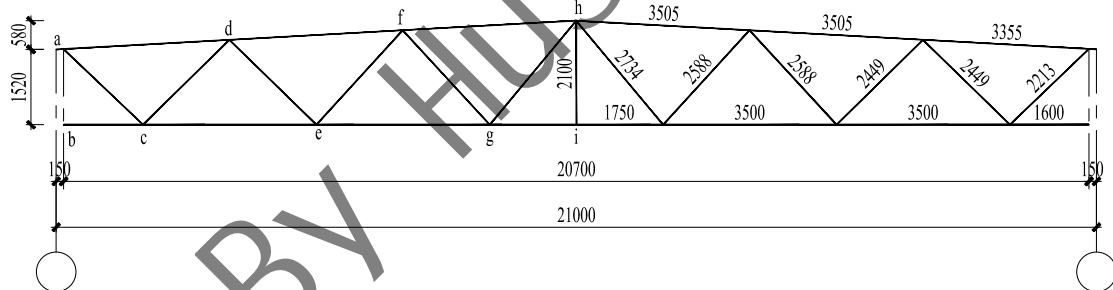


图 2-1 屋架形式及几何尺寸

## 3. 屋盖支撑布置

依据《钢结构设计标准》(GB50017-2017) 表 3.3.5，知围护结构为金属压型钢板的房屋纵向温度区段最大长度为 250m，横向温度区段最大长度为 150m，设计厂房均满足此要求，故不需要设置伸缩缝。

依据《建筑抗震设计规范》(GB50012-2010) 和钢结构设计手册，上弦横向水平支撑布置在温度区段两端第一柱间屋架上弦平面内，且每隔 60m 增设一道。檩条可充当屋架上弦水平系杆，故在沿柱列的屋架上弦端节间设置纵向水平支撑，同时设置檩条间距为 4m 横向水平系杆，以保证檩条的侧向稳定。由于选择的屋架是上承式梯型屋架，且檩条端部设置的隅撑能保证屋架下弦的侧向稳定，故屋架下弦平面内不设置支撑体系。

梯型屋架跨度  $L$  不大于  $30m$ ，故垂直支撑仅在屋架跨中和两端各设置一道，且与上弦横向水平支撑布置在同一柱间。对于系杆，在屋架下弦端部节点处和屋架下弦跨中各通长设置一道系杆。屋面结构布置图如下图所示。

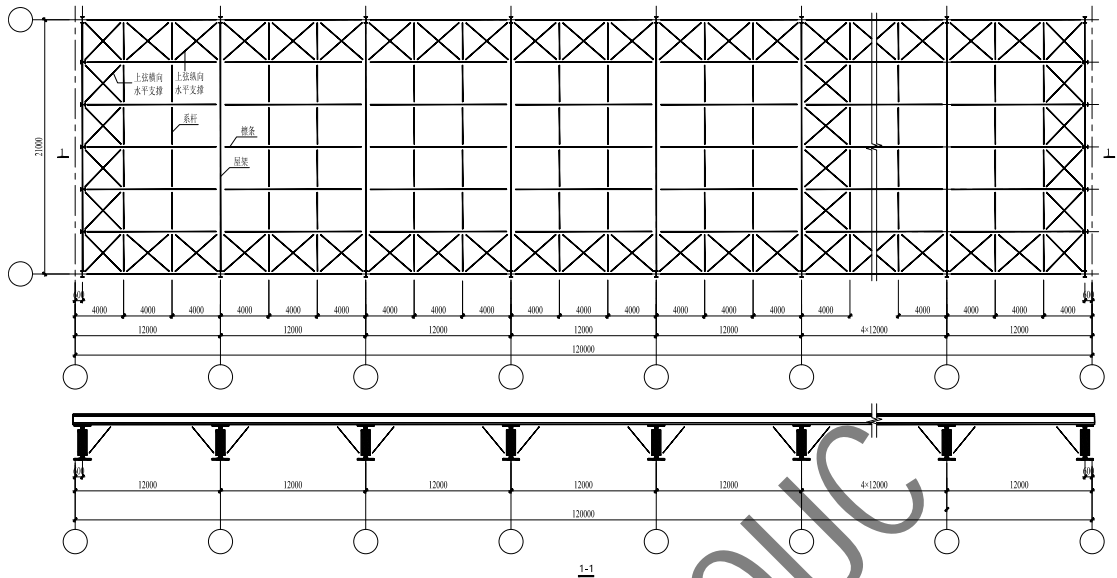


图 3-1 屋面结构平面布置图

## 4. 荷载及内力计算

### 4.1 永久荷载（对水平投影面）

压型钢板	$0.15 / \cos(3.1798^\circ) = 0.15 \text{ KN/m}^2$
檩条自重	$0.15 \text{ KN/m}^2$
屋架及支撑自重	$0.2 \text{ KN/m}^2$
合计	$0.50 \text{ KN/m}^2$

由檩条传给屋架上弦的节点恒载：

$$G = 0.5 \times 3.5 \times 12 = 21.00 \text{ KN}$$

节点恒载图如下图所示。

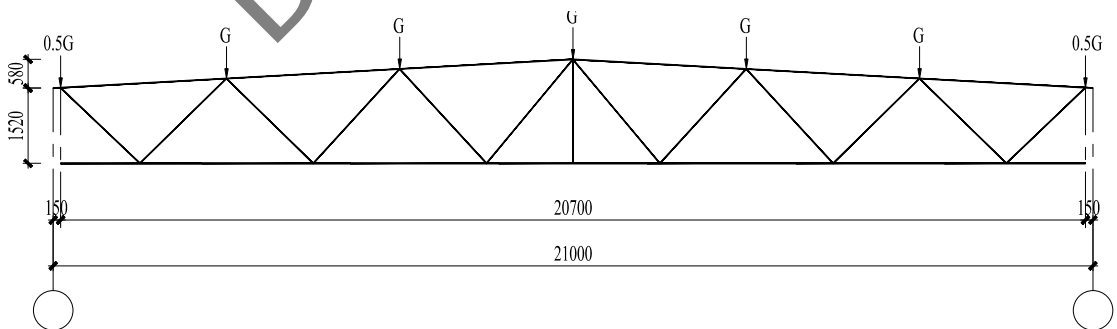


图 4-1 恒载计算简图

### 4.2 可变荷载（对水平投影面）

#### (1) 屋面活荷载

本例屋架仅有一个可变荷载（无积灰荷载）且受荷面积超过  $60m^2$ ，故屋面均布活荷载取  $0.30 \text{ KN/m}^2$ 。

## (2) 雪荷载

查《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)附录 E, 知山东省青岛市基本雪压  $s_0 = 0.2 \text{ KN/m}^2$ , 由于  $\alpha = 3.1798^\circ < 25^\circ$ , 故屋面积雪分布系数  $\mu_r = 1.0$ , 雪荷载标准值  $s_k = \mu_r s_0 = 0.2 \text{ KN/m}^2$ 。

雪荷载不与屋面活荷载同时组合, 仅考虑两者中的较大值, 故对水平投影面的可变荷载取  $0.3 \text{ KN/m}^2$ 。

由檩条传给屋架上弦的节点活载:

$$Q = 0.3 \times 3.5 \times 12 = 12.60 \text{ KN}$$

节点活载图如下图所示。

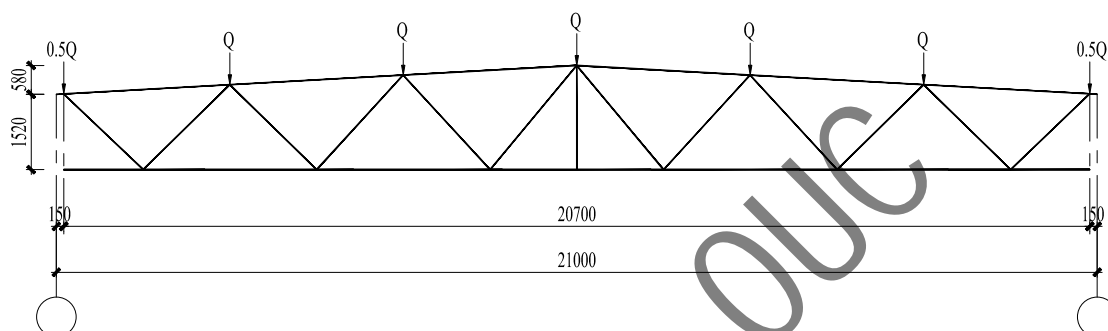


图 4-2 全跨活载计算简图

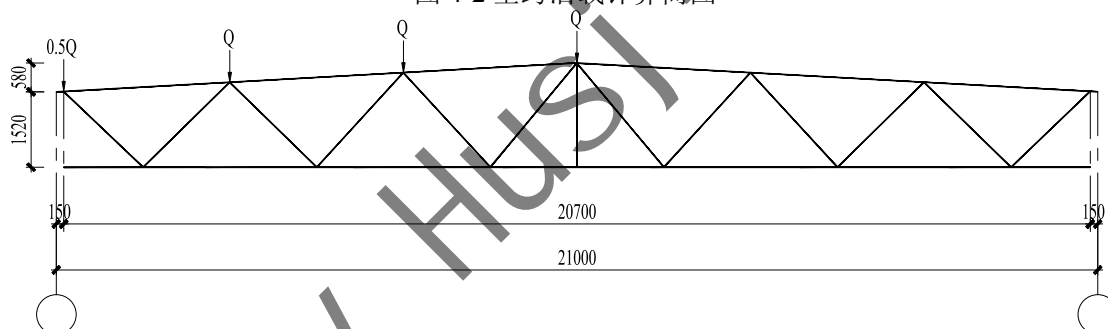


图 4-3 左半跨活载计算简图

## 4.3 风荷载

本设计地面粗糙度为 A 类, 按屋架檐口距室外地坪的距离  $z$  确定风压高度变化系数  $\mu_z$ ,  $z = 10 + 1.52 = 11.52 \text{ m}$ ,  $\mu_z = \frac{11.52 - 10}{15 - 10} \times (1.52 - 1.38) + 1.38 = 1.423$ 。

风压体型系数: 背风面  $\mu_s = -0.5$ , 迎风面  $\mu_s = -0.6$ 。

风振系数  $\beta_z = 1.0$ , 风压标准值:  $w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0$ , 查《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)附录 E, 知山东省青岛市基本风压  $w_0 = 0.6 \text{ KN/m}^2$ 。

迎风面:  $w_1 = 1.0 \times (-0.6) \times 1.423 \times 0.6 = -0.512 \text{ KN/m}^2$ , 垂直于屋面, 为风吸力。

背风面:  $w_2 = 1.0 \times (-0.5) \times 1.423 \times 0.6 = -0.4269 \text{ KN/m}^2$ , 垂直于屋面, 为风吸力;

由檩条传给屋架的上弦节点风荷载标准值：

$$W_1 = -0.512 \times 3.505 \times 12 = -21.53 \text{ KN}$$

$$W_2 = -0.4269 \times 3.505 \times 12 = -17.96 \text{ KN}$$

风荷载计算简图（以左风工况为例）如下图所示。

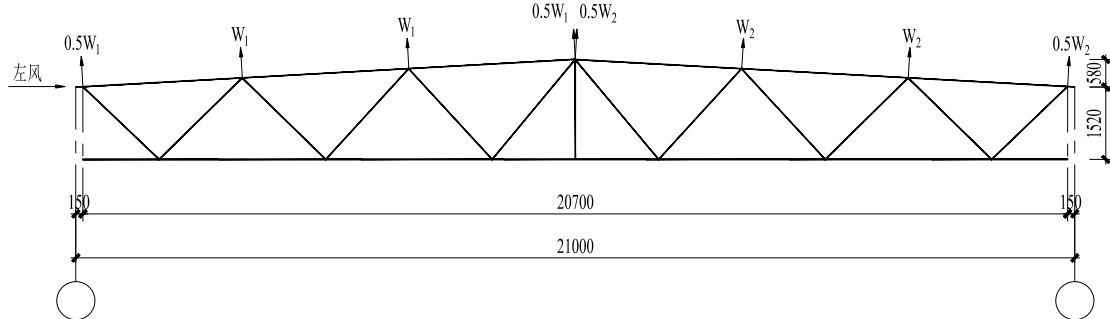


图 4-4 左风计算简图

#### 4.4 排架柱柱顶剪力

排架计算结果，柱顶水平推力  $T = 100 \text{ KN}$ ，分为从左向右的推力（左推力）和从右向左的推力（右推力）。

计算简图（以左推力工况为例）如下图所示。

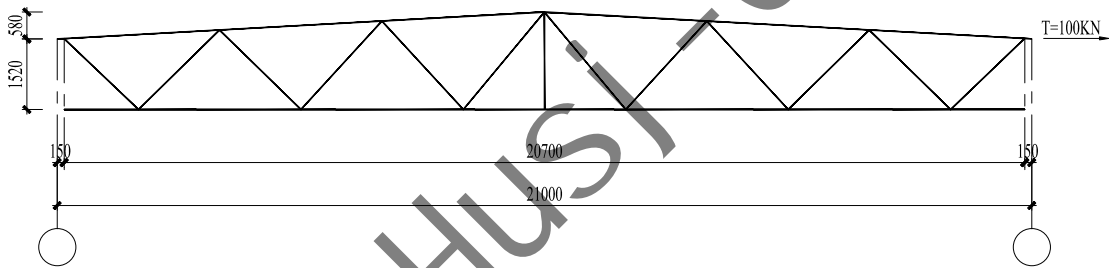


图 4-5 左柱顶推力计算简图

### 5. 内力组合及截面选择

#### 5.1 内力组合

内力组合表见表 5-1。

其中：

1. 负风压组合中，恒载对结构有利，分项系数取 1.0；
2. 杆件受拉为正，受压为负。

#### 5.2 截面选择

根据计算结果，腹杆最大内力  $N_{\max} = 180.22 \text{ KN}$ ，查《钢结构设计手册》13.7 节表 13.7-2，选用中间节点板厚度为  $t = 8 \text{ mm}$ ，支座节点板厚度为  $t = 10 \text{ mm}$ 。

（1）上弦

上弦杆全长采用相同截面，最大内力  $N_{\max} = -411.74 \text{ KN}$ ，

$l_{ox} = l_{oy} = 3505 \text{ mm}$ ，选用  $2\text{L } 160 \times 100 \times 12$ ，短肢相并， $i_x = 2.82 \text{ cm}$ ，

$i_y = 7.67 \text{ cm}$ ， $A = 60.2 \text{ cm}^2$ 。



$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = \frac{3505}{28.2} = 124.3 < [\lambda] = 150$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{3505}{76.7} = 45.7 < [\lambda] = 150$$

根据《钢结构设计标准》(GB50017-2017)第 7.2.2 条,双角钢组合 T 形截面构件绕对称轴的长细比应按换算长细比。依《钢结构设计手册》表 11.2-15,有

$$\lambda_z = 3.7 \frac{b_1}{t} = 3.7 \times \frac{160}{12} = 49.33$$

$$\lambda_y < \lambda_z$$

故

$$\lambda_{yz} = \lambda_z \left[ 1 + 0.06 \left( \frac{\lambda_y}{\lambda_z} \right)^2 \right] = 49.33 \left[ 1 + 0.06 \times \left( \frac{45.7}{49.33} \right)^2 \right] = 51.87$$

(后接第 10 页)

表 5-1 内力组合表

杆件名称	杆件编号	恒载内力标准值 (KN)	活载内力标准值 (KN)	左半跨活载内力标准值 (KN)	右半跨活载内力标准值 (KN)	左风 (KN)	右风 (KN)	左推力 $T$ (KN)	右推力 $T$ (KN)
上弦杆	a-d	-52.12	-31.28	-41.85	-20.70	55.87	52.64	94.68	-94.68
	d-f	-128.00	-76.81	-98.76	-58.92	139.52	131.21	84.55	-84.55
	f-h	-152.43	-91.47	-107.88	-89.75	169.52	163.32	76.38	-76.38
下弦杆	b-c	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	c-e	102.82	61.70	82.55	40.83	-110.39	-101.48	10.80	-10.80
	e-g	150.25	90.17	113.03	75.00	-163.19	-153.38	19.87	-19.87
	g-i	153.97	92.40	102.90	102.90	-170.40	-165.81	27.24	-27.24
斜腹杆	a-c	71.96	43.18	57.78	28.58	-77.27	-71.03	7.56	-7.56
	c-d	-71.05	-42.64	-57.05	-28.21	76.29	70.13	-7.46	7.46
	d-e	34.97	20.98	22.47	25.18	-38.92	-38.26	6.69	-6.69
	e-f	-33.20	-19.92	-21.33	-23.91	36.95	36.32	-6.35	6.35
	f-g	2.88	1.73	-7.86	21.63	-5.59	-9.63	5.71	-5.71
	g-h	-2.76	-1.66	7.53	-20.74	5.36	9.24	-5.47	5.47
竖腹杆	h-i	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(续表)

内力组合						最不利内力	
1.3 恒+1.5 活+左 推力 T	1.3 恒+1.5 活+右 推力 T	1.3 恒+1.5 左半 跨活荷载	1.3 恒+1.5 右半 跨活荷载	1.0 恒+1.5 左风	1.0 恒+1.5 右风	压力	拉力
-20.00	-209.36	-130.53	-98.81	31.69	26.84	<b>-209.36</b>	31.69
-197.07	-366.17	-314.54	-254.78	81.28	68.82	<b>-366.17</b>	81.28
-258.98	-411.74	-359.98	-332.78	101.85	92.55	<b>-411.74</b>	101.85
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>	0.00
237.02	215.42	257.49	194.91	-62.77	-49.40	-62.77	<b>257.49</b>
350.45	310.71	364.87	307.83	-94.54	-79.82	-94.54	<b>364.87</b>
366.00	311.52	354.51	354.51	-101.63	-94.75	-101.63	<b>366.00</b>
165.88	150.76	180.22	136.42	-43.95	-34.59	-43.95	<b>180.22</b>
-163.79	-148.87	-177.94	-134.68	43.39	34.15	<b>-163.79</b>	43.39
83.62	70.24	79.17	83.23	-23.41	-22.42	-23.41	<b>83.62</b>
-79.39	-66.69	-75.16	-79.03	22.23	21.28	<b>-79.93</b>	22.23
12.05	0.63	-8.05	36.19	-5.51	-11.57	-11.57	<b>36.19</b>
-11.55	-0.61	7.71	-34.70	5.28	11.10	<b>-34.70</b>	11.10
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>	0.00

表 5-2 21m 屋架杆件内力及断面表

杆件名称	杆件号	内力设计值 $N$ (KN)	计算长度 (mm)		选用截面	截面积 $A$ (cm <sup>2</sup> )	回转半径 (cm)		长细比				容许长细比 $[\lambda]$	稳定系数 $\varphi_{\min}$	计算应力 (N/mm <sup>2</sup> )
			$l_{ox}$	$l_{oy}$			$i_x$	$i_y$	$\lambda_x$	$\lambda_y$	$\lambda_z$	$\lambda_{yz}$			
上弦杆	a-d	-209.36	3505	3505	2L 160×100×12	60.2	2.82	7.67	124.3	45.7	49.33	51.87	150	0.4145	165
	d-f	-366.17													
	f-h	-411.74													
下弦杆	b-c	0.00	3500	10350	2L 100×80×8	27.8	2.37	4.66	147.7	222.1			250		131.2
	c-e	257.49													
	e-g	364.87													
斜腹杆	g-i	366.00	1750	10350	2L 100×80×8	27.8	2.37	4.66	73.8	222.1			250		131.7
	a-c	180.22	2213	2213	2L 70×6	16.32	2.15	3.19	102.9	69.4			250		110.4
	c-d	-163.79	1959.2	2449	2L 80×8	24.6	2.44	3.62	80.3	67.7	39	71.3	150	0.6859	97.1
	d-e	83.62	1959.2	2449	2L 50×6	11.38	1.52	2.40	128.9	102			250		73.5
	e-f	-79.93	2070.4	2588	2L 50×6	11.38	1.52	2.40	136.2	107.8	32.5	109.4	150	0.3602	195.0
	f-g	36.19	2070.4	2588	2L 50×6	11.38	1.52	2.40	136.2	107.8			250		31.8
竖腹杆	g-h	-34.70	2187.2	2734	2L 50×6	11.38	1.52	2.40	143.9	113.9	32.5	115.4	150	0.3294	92.6
	h-i	0.00	1890	1890	2L 50×5	9.6	2.76	1.92	68.48	98.44			150	0.5640	0

表 5-3 GWJ21 腹杆与节点板连接焊缝

杆件名称	杆件编号	杆件内力 (KN)	截面规格	肢背焊脚尺寸 $h_{f1}(mm)$	肢背焊缝长度 $l_1(mm)$	肢尖焊脚尺寸 $h_{f2}(mm)$	肢尖焊缝长度 $l_2(mm)$
斜腹杆	a-c	180.22	2L 70×6	5	140	5	100
	c-d	-163.79	2L 80×8	7	100	7	100
	d-e	83.62	2L 50×6	5	80	5	80
	e-f	-79.93	2L 50×6	5	80	5	80
	f-g	36.19	2L 50×6	5	80	5	80
	g-h	-34.70	2L 50×6	5	80	5	80
竖腹杆	h-i	0.00	2L 50×5	5	80	5	80

注：

1. 表中  $l_1$ 、 $l_2$  为焊缝实际长度，已包含  $2h_f$  在内；
2. 焊缝有效长度满足  $l_w \geq \max\{8h_f, 40mm\}$ 。

(接第 5 页)

$$\lambda_x > \lambda_{yz}$$

查《钢标》表 7.2.1-1, 知此类截面分类为 b 类, 由  $\lambda_x$  查《钢标》附录 D.0.2, 得  $\varphi_x = 0.4145$ 。同时,  $t = 12\text{mm} < 16\text{mm}$ , 取  $f = 215\text{N/mm}^2$ , 故

$$\frac{N}{\varphi_x A} = \frac{411.74 \times 10^3}{0.4145 \times 60.2 \times 10^2} = 165\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

满足要求。

(2) 下弦

下弦杆亦全长采用相同截面, 最大内力  $N_{\max} = 364.87\text{KN}$ ,  $l_{ox} = 3500\text{mm}$ ,  $l_{oy} = 10350\text{mm}$ , 选用  $2\text{L } 100 \times 80 \times 8$ , 短肢相并,  $i_x = 2.37\text{cm}$ ,  $i_y = 4.66\text{cm}$ ,  $A = A_n = 27.8\text{cm}^2$ 。根据《钢标》第 7.4.7-4 条“受拉构件在永久荷载与风荷载组合下受压时, 其长细比不宜超过 250”, 故  $[\lambda] = 250$ 。

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = \frac{3500}{2.37} = 147.7 < [\lambda] = 250$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{10350}{4.66} = 222.1 < [\lambda] = 250$$

强度验算:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{364.87 \times 10^3}{27.8 \times 10^2} = 131.2\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

满足要求。

(3) 腹杆

① 支座斜腹杆 a-c:  $N = 180.22\text{KN}$ ,  $l_{ox} = l_{oy} = 2213\text{mm}$ , 选用  $2\text{L } 70 \times 6$ ,  $i_x = 2.15\text{cm}$ ,  $i_y = 3.19\text{cm}$ ,  $A = A_n = 16.32\text{cm}^2$ 。

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = \frac{2213}{2.15} = 102.9 < [\lambda] = 250$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{2213}{3.19} = 69.4 < [\lambda] = 250$$

强度验算:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{180.22 \times 10^3}{16.32 \times 10^2} = 110.4\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

满足要求。

② 斜腹杆 c-d:  $N = -163.79\text{KN}$ ,  $l_{ox} = 0.8l = 0.8 \times 2449 = 1959.2\text{mm}$ ,  $l_{oy} = 2449\text{mm}$ , 选用  $2\text{L } 80 \times 8$ ,  $i_x = 2.44\text{cm}$ ,  $i_y = 3.62\text{cm}$ ,  $A = 24.6\text{cm}^2$ 。

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = \frac{1959.2}{2.44} = 80.3 < [\lambda] = 250$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{2449}{36.2} = 67.7 < [\lambda] = 250$$

$$\lambda_z = 3.9 \frac{b_1}{t} = 3.9 \times \frac{80}{8} = 39$$

$$\lambda_y \geq \lambda_z$$

故

$$\lambda_{yz} = \lambda_y \left[ 1 + 0.16 \left( \frac{\lambda_z}{\lambda_y} \right)^2 \right] = 67.7 \times \left[ 1 + 0.16 \times \left( \frac{39}{67.7} \right)^2 \right] = 71.3$$

$$\lambda_x > \lambda_{yz}$$

由  $\lambda_x$  查《钢标》附录 D.0.2, 得  $\varphi_x = 0.6859$ 。同时,  $t = 8\text{mm} < 16\text{mm}$ , 取  $f = 215\text{N/mm}^2$ , 故

$$\frac{N}{\varphi_x A} = \frac{163.79 \times 10^3}{0.6859 \times 24.6 \times 10^2} = 97.1\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

满足要求。

③斜腹杆 d-e:  $N = 83.62\text{KN}$ ,  $l_{ox} = 0.8 \times 2449 = 1959.2\text{mm}$ ,  $l_{oy} = 2449\text{mm}$ , 选用  $2\text{L} 50 \times 6$ ,  $i_x = 1.52\text{cm}$ ,  $i_y = 2.40\text{cm}$ ,  $A = A_n = 11.38\text{cm}^2$ 。

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = \frac{1959.2}{1.52} = 128.9 < [\lambda] = 250$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{2449}{2.4} = 102 < [\lambda] = 250$$

强度验算:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{83.62 \times 10^3}{11.38 \times 10^2} = 73.5\text{N/mm}^2 < f = 215\text{N/mm}^2$$

满足要求。

④竖腹杆 h-i: 无内力, 用于连接隅撑, 减小下弦平面外计算长度, 按长细比控制选择截面, 截面形式采用双角钢十字形,  $l_o = 0.9l = 0.9 \times 2100 = 1890\text{mm}$ 。

$$i_{\min} = \frac{l_o}{[\lambda]} = \frac{189}{150} = 1.26\text{cm}$$

选用  $2\text{L} 50 \times 5$ ,  $i_{\min} = 1.92\text{cm} > 1.26\text{cm}$ , 满足要求。

其余杆件计算同上述步骤, 略去过程, 其结果见表 5-2。

## 6. 节点设计

### 6.1 腹杆与节点板的连接焊缝

腹杆与节点板的连接焊缝均采侧面角焊缝, 肢背、肢尖焊缝长度由下两式计算 (具体计算过程见节点设计):

$$l_{w1} = \frac{k_1 N}{n \times 0.7 h_{f1} f_f^w}$$

$$l_{w2} = \frac{k_2 N}{n \times 0.7 h_{f2} f_f^w}$$

所得焊缝有效长度需满足最小尺寸要求，即

$$l_w \geq \max \{8h_f, 40\text{mm}\}$$

焊缝实际长度  $l = l_w + 2h_f$ ，所得结果如表 5-3 所示。

根据所汇交腹杆端部的焊缝设计长度在大样图中放样确定节点板的尺寸，然后根据相关公式验算弦杆焊缝、节点板拉剪破坏和稳定性。

## 6.2 节点设计

### 6.2.1 支座节点 “a”

支座反力  $R = 1.3 \times 3 \times P + 1.5 \times 3 \times Q = 1.3 \times 3 \times 21 + 1.5 \times 3 \times 12.6 = 138.6\text{KN}$ ，支座加劲肋厚度与支座节点板相同。

#### (1) 支座底板计算

因屋架支承于钢柱柱顶，按构造确定底板尺寸大小。采用 M24 锚栓，孔径为 26mm，锚栓垫板大小  $100 \times 100 \times 20$ ，底板厚度按构造取 20mm，底板尺寸为  $320 \times 320 \times 20$ 。

#### (2) 上弦杆和支座节点板的连接焊缝

根据支座斜腹杆 (a-c) 的内力  $N = 180.22\text{KN}$ ，肢背、肢尖焊脚尺寸均取  $h_f = 5\text{mm}$  (满足  $1.5\sqrt{t_1} \leq h_f \leq 1.2t_2$ ，肢尖焊脚尺寸满足  $h_f = t - (1-2)\text{mm}$ ，下同)，则肢背、肢尖焊缝有效长度为

$$l_{w1} = \frac{k_1 N}{n \times 0.7 h_{f1} f_f^w} = \frac{0.7 \times 180.22 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 160} = 112.6\text{mm}$$

$$l_{w2} = \frac{k_2 N}{n \times 0.7 h_{f1} f_f^w} = \frac{0.3 \times 180.22 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 160} = 48.27\text{mm}$$

杆端焊缝按肢背  $5 \times 140$ ，肢尖  $5 \times 100$  放样，所得大样图如下图所示。

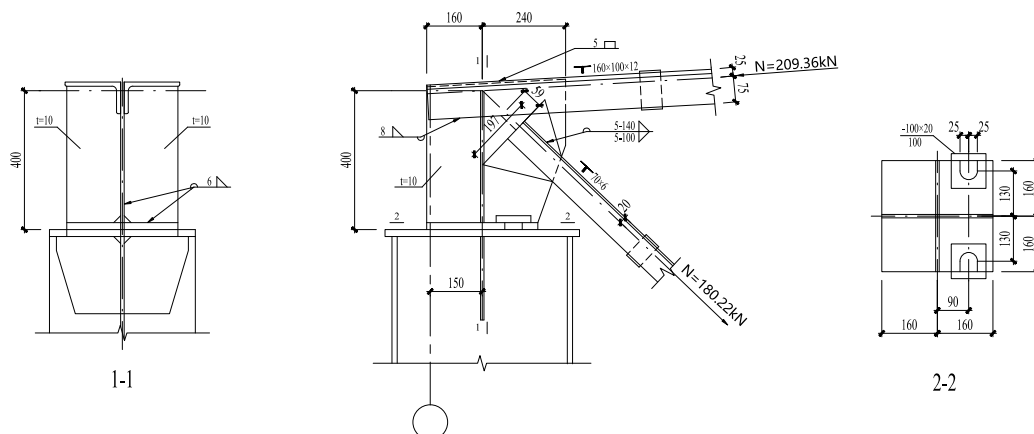


图 6-1 支座节点大样图



为方便檩条安装，节点板与上弦角钢肢背的连接焊缝采用塞焊。作用在节点上的屋面集中荷载  $F = 0.5 \times (1.3 \times 21 + 1.5 \times 12.6) = 23.1 \text{KN}$ 。焊脚尺寸

$$h_{f1} = \frac{t}{2} = 5 \text{mm}, \quad l_{w1} = (160 + 240) - 2h_f = 400 - 10 = 390 \text{mm}, \quad \text{故}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F}{2 \times 0.7 \times h_{f1} l_{w1}} = \frac{23.1 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 390} = 8.46 \text{N/mm}^2 \ll 0.8 \beta_f f_f^w \\ &= 0.8 \times 1.22 \times 160 = 156.16 \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

节点板与上弦角钢肢尖采用双面角焊缝连接，承担上弦内力差  $\Delta N$ 。肢尖焊脚尺寸  $h_{f2} = 8 \text{mm}$ ，焊缝有效长度  $l_{w2} = (160 + 240) - 2 \times 8 = 384 \text{mm}$ ，上弦内力差  $\Delta N = 209.36 \text{KN}$ ， $e = 75 \text{mm}$ ， $M = \Delta N \times e = 209.36 \times 0.075 = 15.702 \text{KN} \cdot \text{m}$ 。故

$$\begin{aligned} \tau_f &= \frac{\Delta N}{2 \times 0.7 h_{f2} l_{w2}} = \frac{209.36 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 8 \times 384} = 48.68 \text{N/mm}^2 \\ \sigma_f &= \frac{6M}{2 \times 0.7 h_{f2} l_{w2}^2} = \frac{6 \times 15.702 \times 10^6}{2 \times 0.7 \times 8 \times 384^2} = 57.05 \text{N/mm}^2 \\ \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} &= \sqrt{\left(\frac{57.05}{1.22}\right)^2 + 48.68^2} = 67.5 \text{N/mm}^2 < f_f^w = 160 \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

满足要求。

(3) 加劲肋与节点板的连接焊缝

一个加劲肋的连接焊缝所承受的内力：

$$V = \frac{R}{4} = \frac{138.6}{4} = 34.65 \text{KN}$$

$$M = V \times \frac{b_0}{2} = 34.65 \times \frac{160 - 5}{2} \times 10^{-3} = 2.69 \text{KN} \cdot \text{m}$$

支座高度为  $425 \text{mm}$ ，加劲肋高度  $393 \text{mm}$ ，尺寸为  $-393 \times 155 \times 10$ ，加劲板切角尺寸  $20/20$ ，采用  $h_f = 6 \text{mm}$ ，焊缝有效长度  $l_w = 393 - 2 \times 20 - 2 \times 6 = 341 \text{mm}$ ，则

$$\begin{aligned} &\sqrt{\left(\frac{V}{2 \times 0.7 h_f l_w}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2 \times 0.7 h_f l_w^2 \beta_f}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{34.65 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 6 \times 341}\right)^2 + \left(\frac{6 \times 2.69 \times 10^6}{2 \times 0.7 \times 6 \times 341^2 \times 1.22}\right)^2} \\ &= 18.16 \text{N/mm}^2 < f_f^w = 160 \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

满足要求。

(4) 节点板、加劲肋与底板的连接焊缝

焊缝高度  $h_f = 6 \text{mm}$ ，实际焊缝总长度：

$$\begin{aligned}\sum l_w &= 2 \times (320 - 2h_f) + 4 \times (160 - 5 - 20 - 2h_f) \\ &= 2 \times 308 + 4 \times 123 \\ &= 1108 \text{ mm}\end{aligned}$$

则

$$\begin{aligned}\sigma_f &= \frac{R}{0.7h_f \sum l_w} \\ &= \frac{138.6 \times 10^3}{0.7 \times 6 \times 1108} = 29.78 \text{ N/mm}^2 < \beta_f f_f^w = 1.22 \times 160 = 195.2 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

满足要求。

(5) 验算节点板拉剪破坏和稳定性

此节点板为单腹杆的节点板，a-c 杆为拉杆，拉剪破坏按下式验算：

$$\sigma = \frac{N}{b_e t} \leq f$$

其中， $N = 180.22 \text{ KN}$ ，通过作图得  $b_e = 197 \text{ mm}$ ，节点板板厚  $t = 10 \text{ mm}$ ，故

$$\sigma = \frac{N}{b_e t} = \frac{180.22 \times 10^3}{197 \times 10} = 91.48 \text{ N/mm}^2 \leq f = 215 \text{ N/mm}^2$$

此节点板无竖腹杆，拉杆 a-c 在负风压组合下可能变号，压力  $N = 43.95 \text{ KN}$ 。

若考虑节点板的稳定性， $\frac{c}{t} = \frac{59}{10} = 5.9 \leq 10$ ， $b_e = 197 \text{ mm}$ ，节点板的稳定承载能力为：

$$0.8b_e t f = 0.8 \times 197 \times 10 \times 215 = 338.84 \text{ KN} \gg N = 43.95 \text{ KN}$$

节点板的自由边长度  $\frac{l_f}{t} < 60$ ，满足要求。

### 6.2.2 下弦节点 “c”

(1) 下弦杆与节点板的连接焊缝

此节点连接的斜腹杆为 a-c、c-d，c-d 杆的肢背、肢尖的焊脚尺寸为  $h_f = 7 \text{ mm}$ 。a-c 杆焊缝计算同 6.2.1，肢背  $5 \times 140$ ，肢尖  $5 \times 100$ 。同理计算 c-d 杆，c-d 杆焊缝按肢背  $7 \times 100$ ，肢尖  $7 \times 100$  放样，按此放样的节点板尺寸见下图。

$$\begin{aligned}l_{w1} &= \frac{k_1 N}{n \times 0.7 h_{f1} f_f^w} = \frac{0.7 \times 163.79 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 7 \times 160} = 73.12 \text{ mm} \\ l_{w2} &= \frac{k_2 N}{n \times 0.7 h_{f1} f_f^w} = \frac{0.3 \times 163.79 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 7 \times 160} = 31.34 \text{ mm}\end{aligned}$$

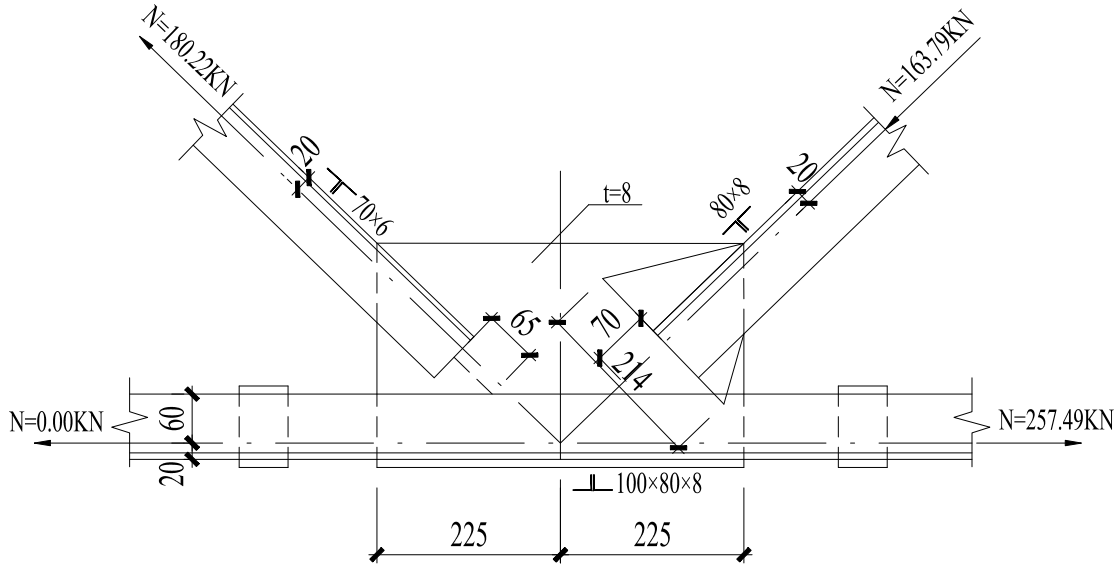


图 6-2 下弦“c”节点大样图-1

验算下弦杆与节点板连接焊缝， $\Delta N = 257.49 \text{ kN}$ ，肢背、肢尖角焊缝焊脚尺寸均采用  $h_{f1} = h_{f2} = 7 \text{ mm}$ ，焊缝有效长度  $l_{w1} = l_{w2} = 450 - 2 \times 7 = 436 \text{ mm}$ 。

肢背焊缝计算：

$$\tau_{f1} = \frac{k_1 \Delta N}{2 \times 0.7 \times h_{f1} l_{w1}} = \frac{0.75 \times 257.49 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 7 \times 436} = 45.2 \text{ N/mm}^2 < f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

肢尖焊缝计算：

$$\tau_{f2} = \frac{k_2 \Delta N}{2 \times 0.7 \times h_{f2} l_{w2}} = \frac{0.25 \times 257.49 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 7 \times 436} = 15.07 \text{ N/mm}^2 < f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

(2) 验算节点板的拉剪破坏和稳定性

拉剪破坏按下式验算：

$$\frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} \leq f$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cos^2(\alpha_i)}}$$

对杆 a-c，拉力  $N = 180.22 \text{ kN}$  作用下， $\alpha_1 = 43.69^\circ$ ， $\alpha_2 = 90^\circ$ ， $\alpha_3 = 46.31^\circ$ ，  
(见图 6-3)  $l_1 = 70 \text{ mm}$ ， $l_2 = 70 \text{ mm}$ ， $l_3 = 115 \text{ mm}$ ， $\eta_1 = 0.699$ ， $\eta_2 = 1$ ，  
 $\eta_3 = 0.715$ 。

故

$$\frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} = \frac{180.22 \times 10^3}{0.699 \times 70 \times 8 + 1 \times 70 \times 8 + 0.715 \times 115 \times 8}$$

$$= 112.00 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

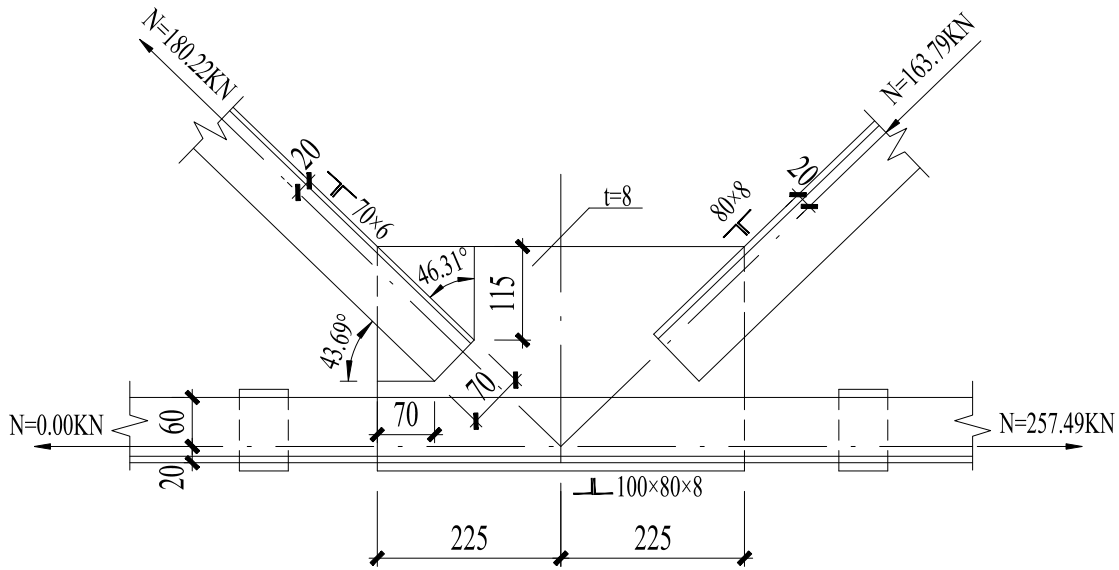


图 6-3 下弦“c”节点大样图-2

对于杆 c-d, 压力  $N = 163.79 \text{ kN}$ ,  $b_e = 214 \text{ mm}$  (见图 6-2), 验算节点板的承压能力:

$$\sigma = \frac{N}{b_e t} = \frac{163.79 \times 10^3}{214 \times 8} = 95.67 \text{ N/mm}^2 \leq f = 215 \text{ N/mm}^2$$

在负风压组合下, 杆 c-d 由压杆变为拉杆,  $N = 43.39 \text{ kN}$ , 此值较小, 故不再验算其拉剪破坏。

此节点板无竖腹杆, 对于压杆 c-d, 压力  $N = 163.79 \text{ kN}$ ,  $\frac{c}{t} = \frac{70}{8} < 10$ , 节点板的稳定承载力为:

$$0.8b_e f = 0.8 \times 214 \times 8 \times 215 = 294.46 \text{ kN} > N = 163.79 \text{ kN}$$

对于拉杆 a-c 可能变号的问题, 变号后内力较小, 由 6.2.1 中计算可见, 其对节点板的稳定性影响较小, 压杆变号验算拉剪亦同, 故后续对于拉杆和压杆变号不再做进一步验算。

节点板的自由边长  $\frac{l_f}{t} = \frac{450}{8} < 60$ , 满足要求。

### 6.2.3 上弦节点“d”

#### (1) 上弦杆与节点板的连接焊缝

此节点连接的斜腹杆为 c-d、d-e, d-e 杆的肢背、肢尖的焊脚尺寸为  $h_f = 5 \text{ mm}$ 。同理计算 d-e 杆, d-e 杆的焊缝长度按构造要求确定, 按肢背  $5 \times 80$ , 肢尖  $5 \times 80$  放样, 按此放样的节点板尺寸见下图。

$$l_{w1} = \frac{k_1 N}{n \times 0.7 h_{f1} f_f^w} = \frac{0.7 \times 83.62 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 160} = 52.26 \text{ mm}$$

$$l_{w2} = \frac{k_2 N}{n \times 0.7 h_{f1} f_f^w} = \frac{0.3 \times 83.62 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 5 \times 160} = 22.4 \text{ mm}$$

节点板与上弦角钢肢背的连接焊缝采用塞焊。作用在节点上的屋面集中荷

$$\sigma = \frac{F}{2 \times 0.7 \times h_{f1} l_{w1}} = \frac{46.2 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 4 \times 412} = 20.02 \text{ N/mm}^2 \ll 0.8 \beta_f f_f^w$$

$$= 0.8 \times 1.22 \times 160 = 156.16 \text{ N/mm}^2$$
$$\Delta N = -366.17 + 209.36 = -156.81 \text{ KN}, \quad e = 75 \text{ mm}。$$
$$\begin{aligned}\tau_f &= \frac{\Delta N}{2 \times 0.7 h_{f2} l_{w2}} = \frac{156.81 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 6 \times 408} = 45.75 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_f &= \frac{6M}{2 \times 0.7 h_{f2} l_{w2}^2} = \frac{6 \times 11.76 \times 10^6}{2 \times 0.7 \times 6 \times 408^2} = 50.46 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2} + \tau_f^2 = \sqrt{\left(\frac{50.46}{1.22}\right)^2} + 45.75^2 = 61.67 \text{ N/mm}^2 < f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

对压杆 c-d,  $N=163.79KN$ ,  $b_e=179mm$ , 验算节点板的承压能力:

对拉杆 d-e,  $N = 83.62 \text{ kN}$ ,  $\alpha_1 = 42.45^\circ$ ,  $\alpha_2 = 90^\circ$ ,  $\alpha_3 = 47.55^\circ$ ,

17

故

$$\frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} = \frac{163.79 \times 10^3}{0.692 \times 109 \times 8 + 1 \times 50 \times 8 + 0.723 \times 63 \times 8}$$

$$= 119.75 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

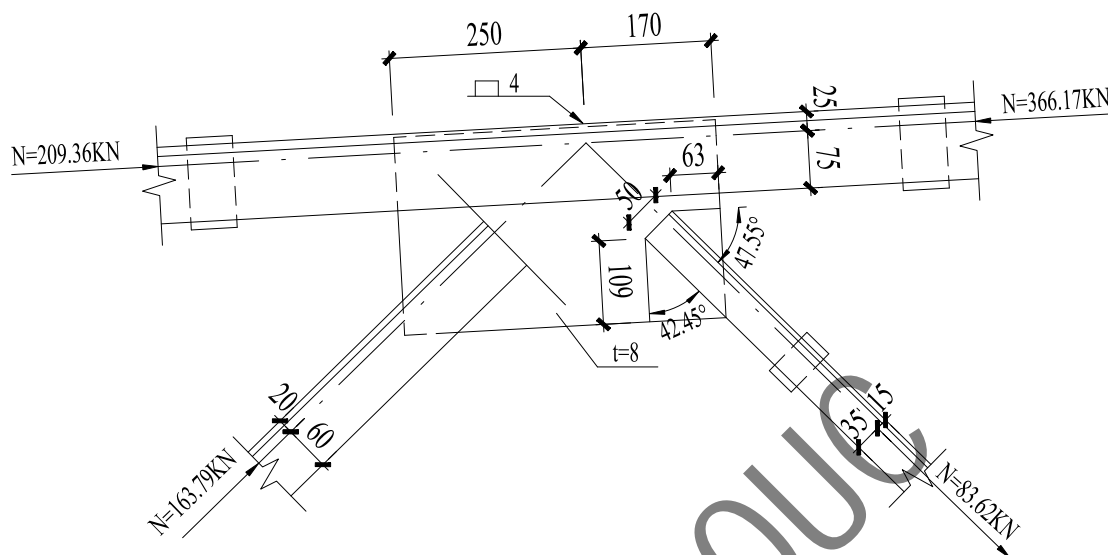


图 6-5 上弦“d”节点大样图-2

此节点板无竖腹杆，对于压杆 c-d， $N = 163.79 \text{ kN}$ ， $\frac{c}{t} = \frac{76}{8} < 10$ ，节点板的稳定承载能力：

$$0.8b_e t f = 0.8 \times 179 \times 8 \times 215 = 246.304 \text{ kN} > N = 163.79 \text{ kN}$$

节点板的自由边长度  $\frac{l_f}{t} = \frac{350}{8} < 60$ ，满足要求。

#### 6.2.4 上弦屋脊处拼接节点“h”

(1) 上弦杆与节点板的连接焊缝

对于腹杆 g-h 和 h-i，同理计算，均按肢背  $5 \times 80$ ，肢尖  $5 \times 80$  放样确定节点板尺寸，如下图所示。

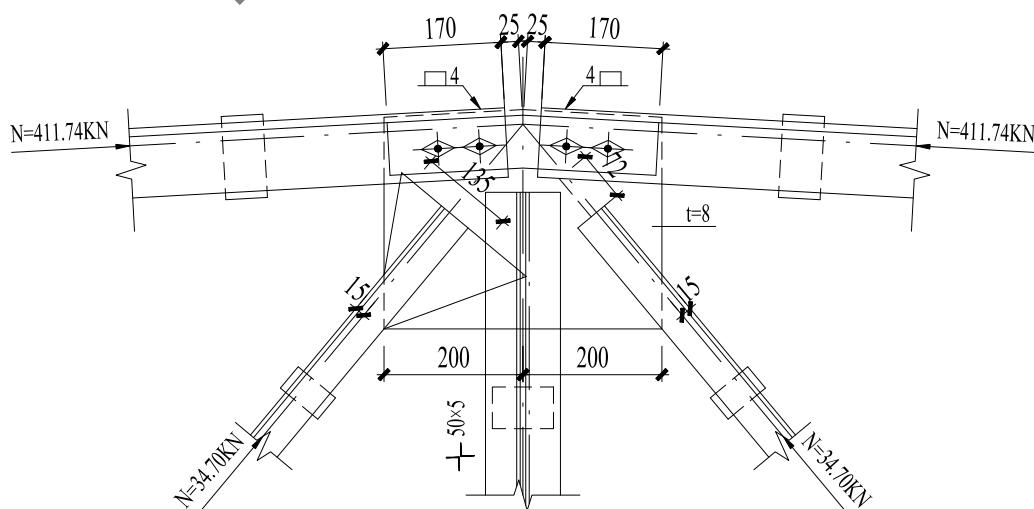


图 6-6 上弦屋脊处拼接节点“h”大样图

设上弦杆与拼接角钢的焊缝的焊脚尺寸  $h_f = 6\text{mm}$ ，则焊缝长度：

$$l = \frac{N}{4 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{411.74 \times 10^3}{4 \times 0.7 \times 6 \times 160} + 2 \times 6 = 165.18\text{mm}$$

拼接角钢与弦杆相同规格， $l = 170\text{mm}$ 。拼接角钢长度  $l = 2 \times (170 + 25) = 390\text{mm}$ 。（图 6-6）

在节点处有集中荷载，由角钢肢背的塞焊缝承受，集中荷载考虑弦杆的影响，即  $F = 46.2 - 2 \times 411.74 \sin(3.16^\circ) = 0.81\text{KN}$ ，可以看出角钢肢背焊缝应力较低，仅需验算肢尖焊缝。

节点板与上弦角钢肢尖采用双面角焊缝连接，承担上弦内力差  $\Delta N$ ，但其值过小，取弦杆较大内力的 15%，即  $\Delta N = 0.15 \times 411.74 = 61.761\text{KN}$ 。肢尖焊缝焊脚尺寸  $h_f = 6\text{mm}$ ，焊缝有效长度  $l_w = 400 - 2 \times 6 = 388\text{mm}$ 。

肢尖焊缝：

$$\tau_f = \frac{\Delta N}{2 \times 0.7 h_f l_w} = \frac{61.671 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 6 \times 388} = 18.92\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_f = \frac{6M}{2 \times 0.7 h_f l_w^2} = \frac{6 \times 61.671 \times 0.075 \times 10^6}{2 \times 0.7 \times 6 \times 388^2} = 21.95\text{N/mm}^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} = \sqrt{\left(\frac{21.95}{1.22}\right)^2 + 18.92^2} = 26.11\text{N/mm}^2 < f_f^w = 160\text{N/mm}^2$$

（2）验算节点板的拉剪破坏和稳定性

对于压杆 g-h， $N = 34.70\text{KN}$ ， $b_e = 135\text{mm}$ ，验算节点板的承压能力：

$$\sigma = \frac{N}{b_e t} = \frac{34.70 \times 10^3}{135 \times 8} = 32.13\text{N/mm}^2 \leq f = 215\text{N/mm}^2$$

此节点板有竖腹杆连接，且  $\frac{c}{t} = \frac{72}{8} < 15$ ，故可不计算节点板稳定。

节点板的自由边长度  $\frac{l_f}{t} = \frac{400}{8} < 60$ ，满足要求。

### 6.2.5 下弦拼接节点 “i”

（1）下弦杆与节点板的连接焊缝

竖腹杆 h-i 的肢背、肢尖焊缝均按  $5 \times 80$  放样，确定节点板尺寸如下图所示。

下弦受拉，采用等强连接。下弦杆件与拼接角钢之间的焊缝焊脚尺寸采用  $h_f = 6\text{mm}$ ，下弦截面  $2\text{L} 100 \times 80 \times 8$ ， $A = 13.9\text{cm}^2$ ，则

$$N = Af = 13.9 \times 10^2 \times 215 = 298.85\text{KN}$$

下弦杆件与拼接角钢之间在接头一侧的焊缝长度：

$$l = \frac{N}{4 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f = \frac{298.85 \times 10^3}{4 \times 0.7 \times 6 \times 160} + 2 \times 6 = 111.18 \text{ mm}$$

拼接角钢与弦杆相同规格,  $l = 150 \text{ mm}$ , 拼接角钢长度  $l = 2 \times (150 + 25) = 350 \text{ mm}$ .

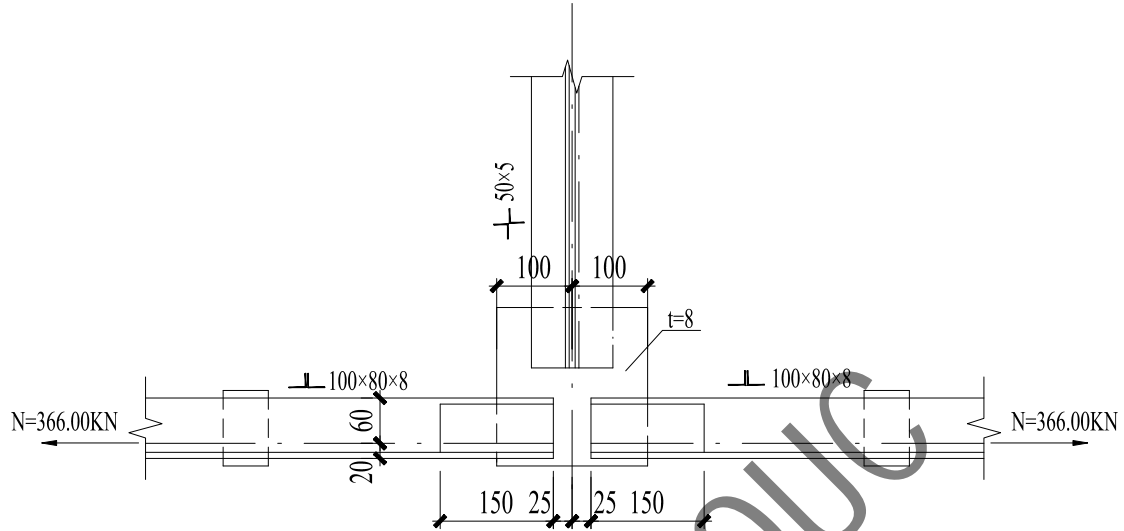


图 6-7 下弦拼接节点“i”大样图

下弦杆与节点板之间的连接焊缝承受的内力  $\Delta N = 366.00 \times 0.15 = 54.9 \text{ kN}$ , 肢背、肢尖焊脚尺寸  $h_{f1} = h_{f2} = 7 \text{ mm}$ , 焊缝有效长度

$$l_{w1} = l_{w2} = 2 \times 75 - 2 \times 7 = 136 \text{ mm}$$

肢背焊缝计算:

$$\tau_{f1} = \frac{k_1 \Delta N}{2 \times 0.7 \times h_{f1} l_{w1}} = \frac{0.75 \times 54.9 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 7 \times 136} = 30.89 \text{ N/mm}^2 < f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

肢尖焊缝计算:

$$\tau_{f2} = \frac{k_2 \Delta N}{2 \times 0.7 \times h_{f2} l_{w2}} = \frac{0.25 \times 54.9 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 7 \times 136} = 10.30 \text{ N/mm}^2 < f_f^w = 160 \text{ N/mm}^2$$

(2) 验算节点板的拉剪破坏和稳定性

此节点板只有一竖腹杆, 且无内力,  $\frac{c}{t} = \frac{40}{8} < 15$ , 故不需进行节点板的拉剪破坏和稳定性验算。