

第七章 普通梯形钢屋架设计

- ❖ 第一节 概述
- ❖ 第二节 屋架的形式及主要尺寸
- ❖ 第三节 屋面系统的支撑布置
- ❖ 第四节 荷载和荷载组合
- ❖ 第五节 内力计算
- ❖ 第六节 屋架杆件的计算长度
- ❖ 第七节 杆件截面设计
- ❖ 第八节 节点设计
- ❖ 第九节 屋架施工详图

第一节 概述

- ❖ 钢屋架是屋盖结构的一部分，是主要的承重构件。按结构形式可分为三角形屋架、梯形屋架、两铰拱屋架、三铰拱屋架和梭形屋架；按照所采用的钢材规格的不同，屋架可分为普通钢屋架、轻型钢屋架（杆件为圆钢和小角钢）和薄壁型钢屋架。
- ❖ 普通钢屋架是由普通角钢和节点板焊接而成。这种屋架受力性能好，构造简单，施工方便，广泛应用于工业和民用建筑的屋盖结构中，一般是用于大型钢筋混凝土屋面板等重型屋面，将屋面板直接放在屋架或天窗架上，普通屋架所用的等边角钢不小于 $\angle 45 \times 4$ ，不等边角钢不小于 $\angle 56 \times 36 \times 4$ 。
- ❖ 屋架钢材一般采用（3号沸腾钢）钢材，冬季计算温度等于或低于 30°C 时的屋架宜采用（3号镇静钢），荷载较大的大跨度屋架可采用（16Mn钢）或（15MnV钢）。

第二节 普通梯形钢屋架的形式及主要尺寸

❖ 一、普通梯形钢屋架概述

普通梯形钢屋架通常用于屋面坡度较为平缓的大型屋面板或长尺压型钢板的屋面，跨度一般为15~36m，柱距6~12m，跨中经济高度为（1/8~1/10）。梯形屋架外形比较接近弯矩图，因而弦杆内力沿跨度分布比较均匀，用料较经济，且可以和柱刚接或铰接，且刚接可使建筑物横向刚度提高。与柱刚接的梯形屋架，端部高度一般为（1/12~1/16），通常取2.0~2.5m；与柱铰接的梯形屋架，端部高度1.5~2.0m，此时，跨中高度可根据端部高度和上弦坡度确定。在多跨房屋中，各跨屋架的端部高度应尽可能相同。

二、普通梯形钢屋架主要尺寸的确定

普通梯形钢屋架的主要尺寸包括屋架的跨度、跨中高度和端部高度。

1. 屋架跨度。屋架的跨度取决于柱网的布置，柱网纵向轴线的间距就是屋架的标志跨度（公称跨度），一般以**3m**为模数，屋架的计算跨度是两端支座反力的距离

2. 跨中高度。梯形屋架的中部高度主要取决于经济要求，一般取为 **$= (1/6 \sim 1/10)$**

3. 端部高度，是与中部高度和屋面坡度相关的。一般陡坡梯形屋架取 **$= 0.5 \sim 1.0\text{m}$** ，缓坡梯形屋架取 **$= 1.8 \sim 2.1\text{m}$** 。

三、屋架的起拱要求

跨度 **$\geq 24\text{m}$** 的梯形屋架，当下弦无曲折时，宜起拱，拱度。起拱的方法一般是使下弦成直线弯折而将整个屋架抬高，即上、下弦同时起拱。

第三节 屋面系统的支撑布置

- ❖ 一、支撑布置的必要性
- ❖ 屋架是屋盖结构中最主要的承重构件，虽然屋架之间有檩条或屋面板联系，但仍然是一不稳定的空间体系。通过合理设置支撑可以将屋盖变成几何不变体系；支撑还保证了屋盖的刚度和空间的整体性，以减少屋盖在水平力作用下的变形；支撑为屋架提供了侧向支点，以减少屋架杆件的计算长度，使受压弦杆保证侧向的稳定，使受拉弦杆具有足够的刚度；支撑还能够传递水平荷载；并能保证屋架在施工安装时的稳定与方便。

二、支撑布置的原则

- ❖ 1、在设置有纵向支撑的平面内必须同时设置横向支撑，并将二者布置为封闭型。
- ❖ 2、所有的横向支撑、纵向支撑和竖向支撑均应与屋架、托架、天窗架等的杆件或檩条组成几何不变的桁架形式。
- ❖ 3、房屋中每一温度区段或分期建设的区段中，应分别设置能独立构成空间稳定结构的支撑系统。
- ❖ 4、传递风力、吊车水平力和水平地震作用的支撑，应能使外力由作用点尽快地传递到结构的支座。
- ❖ 5、柱距愈大或吊车工作量愈繁重，支撑的刚度应愈大。
- ❖ 6、在地震区应适当增加支撑，并加强支撑节点的连接强度。

三、支撑的布置

❖ 1、上弦横向水平支撑

上弦横向水平支撑一般应设置在房间的两端或横向温度伸缩缝间区段的两端的第一个柱间，为使屋架支撑与天窗架支撑位于同一开间内，也可将支撑布置在第二个柱间，但第一柱间必须用刚性系杆与端屋架上弦牢固连接，以保证端屋架的稳定和传递山墙的风力。

❖ 2、下弦横向水平支撑

下弦横向水平支撑一般和上弦横向水平支撑布置在同一开间，它们和相邻的两个屋架组成一个空间桁架体系。

❖ 3、下弦纵向支撑

下弦纵向水平支撑的主要作用是与横向水平支撑一起形成封闭体系，以提高房屋的整体刚度。

4、竖向支撑

它的作用主要是使相邻屋架和上下弦横向水平支撑所组成的四面体形成空间几何不变体系，以保证屋架在使用和安装时的整体稳定。故在设有横向支撑的开间内，均应设置竖向支撑。对于梯形屋架，当跨度 $\leq 30\text{m}$ ，一般只需在屋架两端及跨中竖杆平面内布置三道竖向支撑，当跨度 $> 30\text{m}$ 时，应在两端和跨度的 $1/3$ 处或天窗架侧处各布置一道竖向支撑。对于三角形屋架，当跨度 $\leq 18\text{m}$ ，一般只需在跨中布置一道竖向支撑，当跨度 $> 18\text{m}$ 时，根据具体情况设置两道。

5、系杆

为了保证未设横向水平支撑屋架的侧向稳定以及传递水平荷载，应在横向水平支撑或竖向支撑的节点处，沿房屋纵向通长地设置系杆。只能承受拉力的为柔性系杆，一般采用单角钢；能承受压力的为刚性系杆，一般由两个角钢组成的十字形截面。刚性系杆主要是在梯形屋架上弦脊节点处的系杆以及其他的能受压的系杆，其余地方设置柔性系杆。

第四节 荷载和荷载组合

- ❖ 一、作用在屋架上的荷载有永久荷载和可变荷载。
 - 1、永久荷载包括屋面构造层的重量、屋架和支撑的重量及天窗等结构的自重，屋架和支撑的重量及天窗重量
 - 2、可变荷载包括屋面均布活荷载、雪荷载、积灰荷载、风荷载、悬挂吊车荷载等，其中雪荷载、积灰荷载、风荷载等
- ❖ 二、荷载组合
- ❖ 为了求出各个杆件的最不利内力，必须对作用在屋架上的荷载根据施工和使用过程可能出现的分布情况进行组合，一般为以下三种情况：
 - 1、全跨永久荷载+全跨可变荷载
 - 2、全跨永久荷载+半跨可变荷载
 - 3、全跨屋架和支撑自重+半跨屋面板重+半跨施工荷载

第五节 内力计算

❖ 下面具体介绍图解法的计算过程(不考虑起拱):

应用图解法求得单位荷载作用于全跨及半跨各节点的各杆内力,即内力系数,然后可求出当荷载作用于全跨及半跨各节点时的杆件内力,并求出荷载组合下的杆件内力,取其中不利内力(正、负最大值)作为设计屋架的依据。

图解法求杆力系数的方法及步骤:

- ①按一定比例尺画出屋架几何尺寸的单线图(不考虑起拱);
- ②计算节点力及支座反力,并标在相应节点及支座处;
- ③根据杆件及节点力、支座反力将整个屋架所在平面分区,并编号;
- ④取一定的力比例尺,绘制力多边形;
- ⑤根据力多边形及屋架几何图判断杆件的拉、压。

第六节 屋架杆件的计算长度

- ❖ 在理想的铰接屋架中，杆件在屋架平面内的计算长度应是节点中心的距离，实际上，汇交于节点处的各杆件是通过节点板焊接在一起的，因而并非真正的铰接，节点具有一定的刚度，杆件两端均属弹性嵌固，此外，节点的转动还受到汇交于节点的拉杆的约束。这些拉杆的线刚度愈大，约束作用也愈大。压杆在节点处的嵌固程度愈大，其计算长度就愈小因此视节点的嵌固程度来确定各杆的计算长度

- ❖ 一、平面内计算长度：

弦杆，支座斜杆和支座竖杆因本身截面较大，其他杆件在节点处对它的约束作用很小，同时考虑到这些杆件在屋架中是主要杆件，故其计算长度取等于节点间的距离，即 $l_{ox} = l$ ，其他腹杆，与上弦相连的一端拉杆少，嵌固程度小，另一端与下弦相连，拉杆多，嵌固程度较大，其计算长度取 $l_{ox} = 0.8l$ 。

二、平面外计算长度：

弦杆在屋架平面外的计算长度等于侧向支承节点之间的距离， $l_{oy} = l$ 。

上弦杆在有檩屋盖中，若檩条与横向水平支撑的交叉点用节点板连牢时则取 l_1 等于檩条之间的距离。

屋架下弦的平面外计算长度 l_{oy} 等于侧向支承点间的距离

腹杆在平面外的计算长度等于杆端节点间距，即 $l_{oy} = l$ 。

当屋架上弦侧向支承点间的距离 l_1 为节间长度的二倍，且两节间的轴心压力不相等，一个节间作用着较大的压力 N_1 ，另一个节间作用着较小压力或拉力 N_2 时，压杆的临界力要比两端作用着较大的轴压力 N_1 时要高。计算这种压杆在屋架平面外的稳定时，杆件轴力仍取用较大的轴力 N_1 ，为了考虑上述有利因素，计算长度应按下式计算（但不应小于 $0.5l_1$ ）。

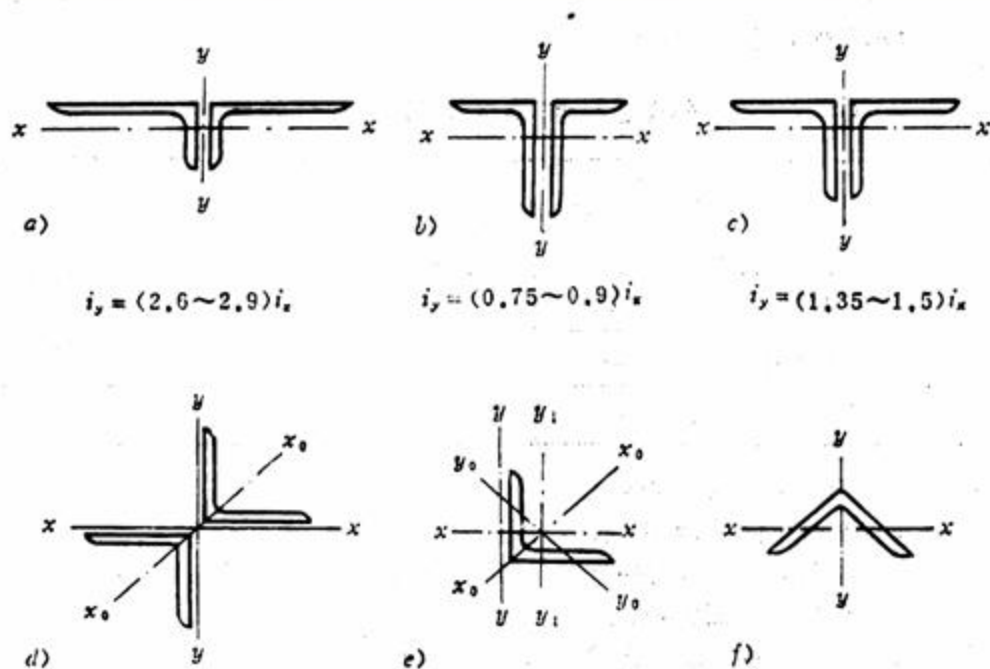
$$l_{oy} = l_1 \left(0.75 + 0.25 \frac{N_2}{N_1} \right)$$

第七节 杆件截面设计

一、截面形式：

选择屋架杆件截面形式时，应考虑构造简单、施工方便，且取材容易、易于连接，尽可能增大屋架的侧向刚度。对轴心受力杆件宜使各杆件在两个主轴方向的长细比相接近，即 $\lambda_x \approx \lambda_y$ 。

普通钢屋架的杆件通常采用两个角钢组成的T形截面或十字形截面。



二、填板

为了使两个角钢组成的截面能够整体工作，应在角钢相并肢之间焊上填板，填板宽度一般取**60~100mm**，长度**c**对于T形截面应伸出角钢肢边各**10~20mm**；对于十字形截面则应缩进角钢肢边**10~20mm**。填板间距在受压杆件中不大于 **$40i$** ，在受拉杆件中不大于 **$80i$** 。对于T形截面， i 为一个角钢平行于填板的形心轴的回转半径。在受压杆件的两个侧向支承点之间填板数不得少于两个。

三、屋架杆件截面选择

1、选择截面时应考虑下列的原则；

- (1)、应选用肢宽而壁薄的角钢，但最薄不能小于**5mm**；
- (2)、为了便于订货和制造，相近的角钢应尽量统一，同一屋架所采用的角钢型号一般不超过**6~7种**；
- (3)、屋架弦杆一般采用等截面；
- (4)、普通钢屋架的角钢不得小于 **$\angle 45 \times 4$** 或 **$\angle 56 \times 36 \times 4$** 。

2、轴心拉杆：按强度确定杆件所需要的截面面积：

$$A_n = N/f$$

当计算单角钢单面连接的强度和连接时应乘以折减系数0.85。

3、轴心压杆：按稳定条件计算所需要毛截面面积：

$$A = \frac{N}{\varphi f}$$

4、压弯杆件：

当上弦有节间荷载，应根据轴心压力和局部弯矩按压弯杆件进行计算。

初选截面后按下列公式验算：

(1)、在弯矩计算平面内的稳定计算：

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x} \left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}}\right)} \leq f$$

$$\sigma = \left| \frac{N}{A} - \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{2x} \left(1 - 1.25 \frac{N}{N_{Ex}}\right)} \right| \leq f$$

(2)、在弯矩计算平面外的稳定计算：

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \eta \frac{\beta_{tx} M_x}{\varphi_b W_{1x}} \leq f$$

(3)、强度计算：

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \leq f$$

5、对钢屋架的压杆和拉杆的长细比规定了不同的限值。

对于压杆 $[\lambda]=150$ ；承受静荷载或设有轻、中级工作制吊车厂房的间接承受动荷载的拉杆， $[\lambda]=350$ ；对于设有重级工作制吊车厂房的间接承受动荷载的拉杆及直接承受动荷载的拉杆 $[\lambda]=250$ 。

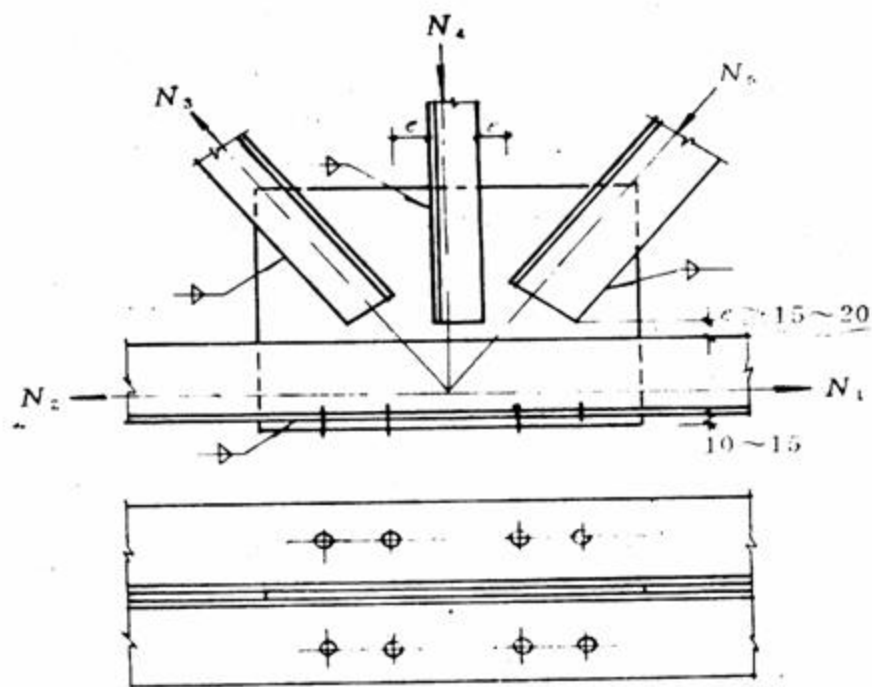
第八节 节点设计

❖ 一、节点设计的一般原则：

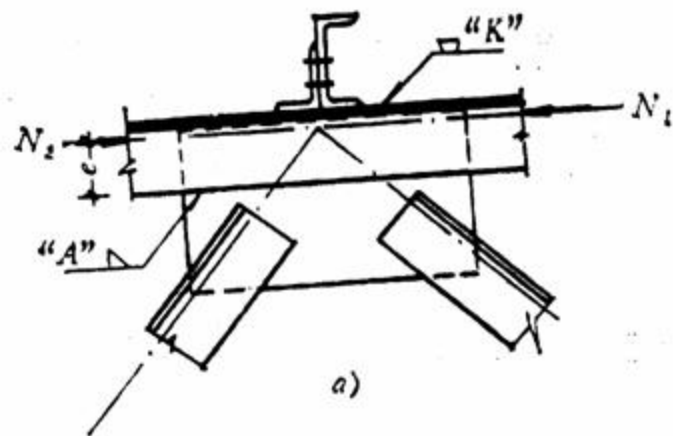
1、屋架是通过各节点板把汇交于各节点的杆件连接在一起，各杆件的内力通过节点板上的角焊缝互相平衡。节点板内的应力分布比较复杂，节点板的厚度通常不作计算，一般情况下可根据腹杆的最大内力按表选用。

2、为了避免杆件偏心受力，各杆件的重心线应与屋架的轴线重合，但考虑制造上的方便，通常把角钢肢背到屋架轴线的距离调整为5mm的倍数。在上弦，为了便于搁置屋面构件，应使肢背齐平。

3、为了避免焊缝过于密集导致节点板材质变脆，节点板上各板件端缘之间须留15~20mm的空隙。节点板一般伸出弦杆角钢肢背10~15mm（图a）以便施焊，在屋架上弦，为了支承屋面构件，可将节点板缩进弦杆背5~10mm，并用塞缝连接（图b）。

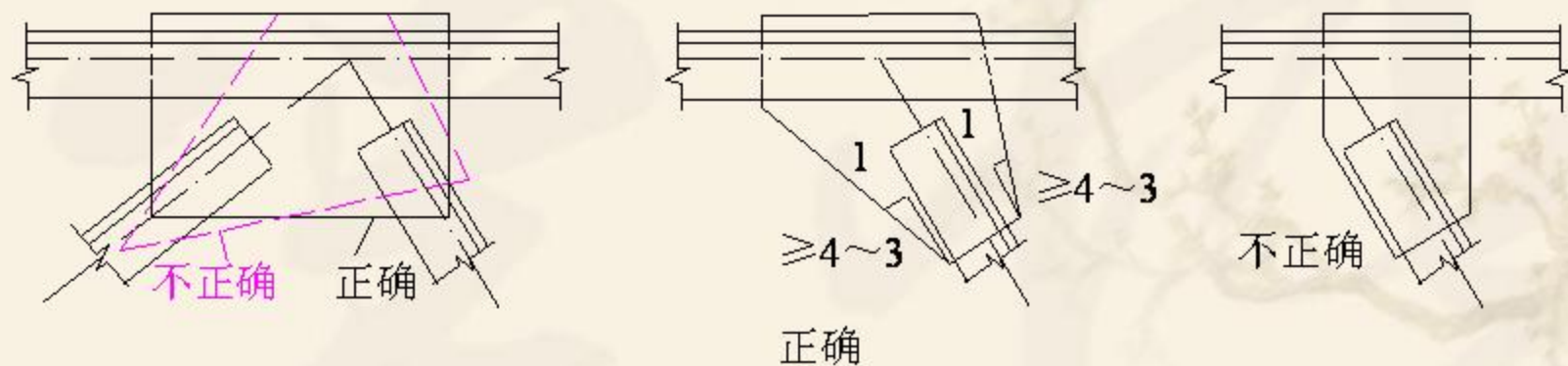


图a



图b

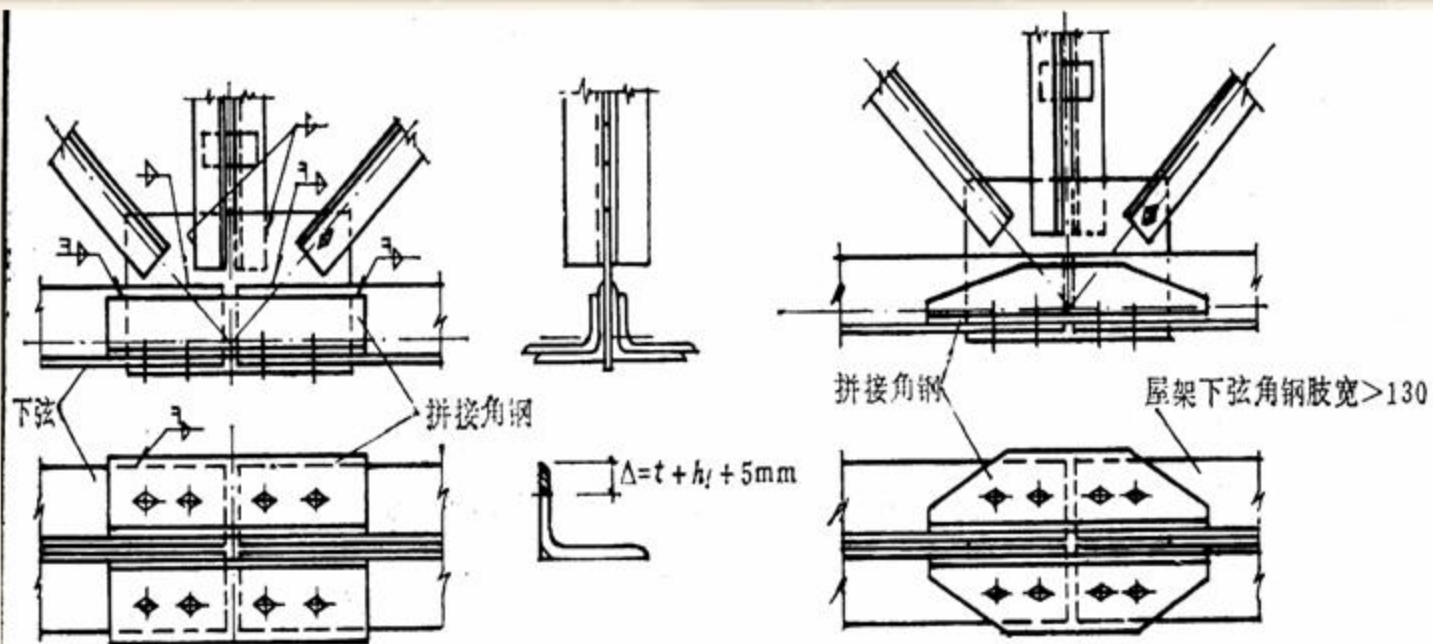
4、节点板。节点板的形状应力求简单而规则，至少有两边平行，如矩形、平行四边形和直角梯形等，以便切割钢板时能充分利用材料和减少切割次数。节点板不应有凹角，以免产生严重的应力集中现象。此外，确定节点板外形时，应注意使其受力情况良好，节点板边线对杆件边线间的扩散角宜 $\geq 1:4 \sim 1:3$ （约 $15^\circ \sim 20^\circ$ ），强度用足的杆件宜 $\geq 1:2$ （约 25° ）（如图）还应考虑使连接焊缝中心受力。



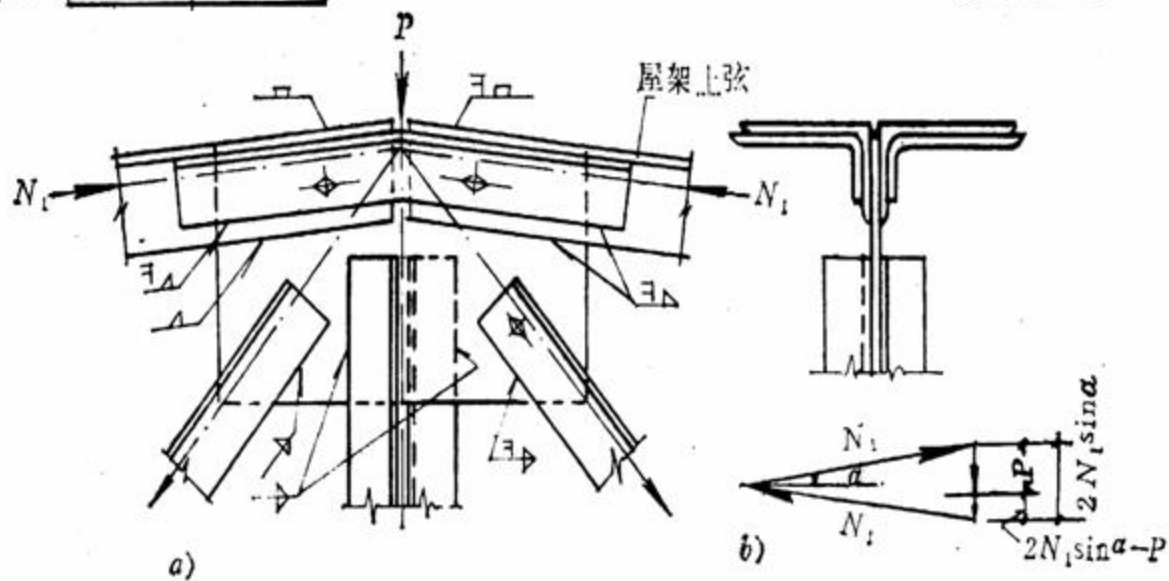
二、节点的计算和构造

- ❖ 节点设计时，根据腹杆截面和内力确定连接焊缝的焊脚尺寸和长度，然后再根据焊缝的长度和施工的误差确定节点板的形状和尺寸。其中包括：
 - ❖ 1.下弦的一般节点
 - ❖ 2.上弦一般节点
 - ❖ 3.弦杆拼接节点
- ❖ 弦杆的拼接分为工厂拼接和工地拼接两种，因角钢长度不够而接长的工厂拼接接头，常设于内力较小的节间内；工地拼接是由于运输条件的限制，屋架分成两个或两个以上的运输单元。工地拼接通常设在节点处（如图a）。
- ❖ 双角钢弦杆采用拼接角钢拼接，拼接角钢宜采用与弦杆相同的规格热弯成形，以保证弦杆在拼接处保持原有的强度和刚度。为了使拼接角钢能贴紧被连接的弦杆和便于施焊，应将拼接角钢的棱角削去并将竖肢切去5mm。当角钢肢宽在130mm以上时，应将拼接角钢肢斜切，使传力均匀(图b)。为了便于工地拼装，拼接节点要设立安装螺栓。

图a



图b



拼接角钢与弦杆的连接焊缝通常按被连接弦杆的最大内力计算，并平均地分配给两个拼接角钢肢的四条焊缝，每条焊缝的计算长度：
$$l_w = \frac{N}{4 \times 0.7 h_f f_f^w}$$

拼接角钢的长度 $L = 2(l_w + 2h_f \text{ mm}) + b$ ，这里 b 是两弦杆端间的空隙，一般取 $b = 10 \sim 20 \text{ mm}$ ，屋脊拼接节点如屋面坡度较大，可取 $b = 50 \text{ mm}$ 。

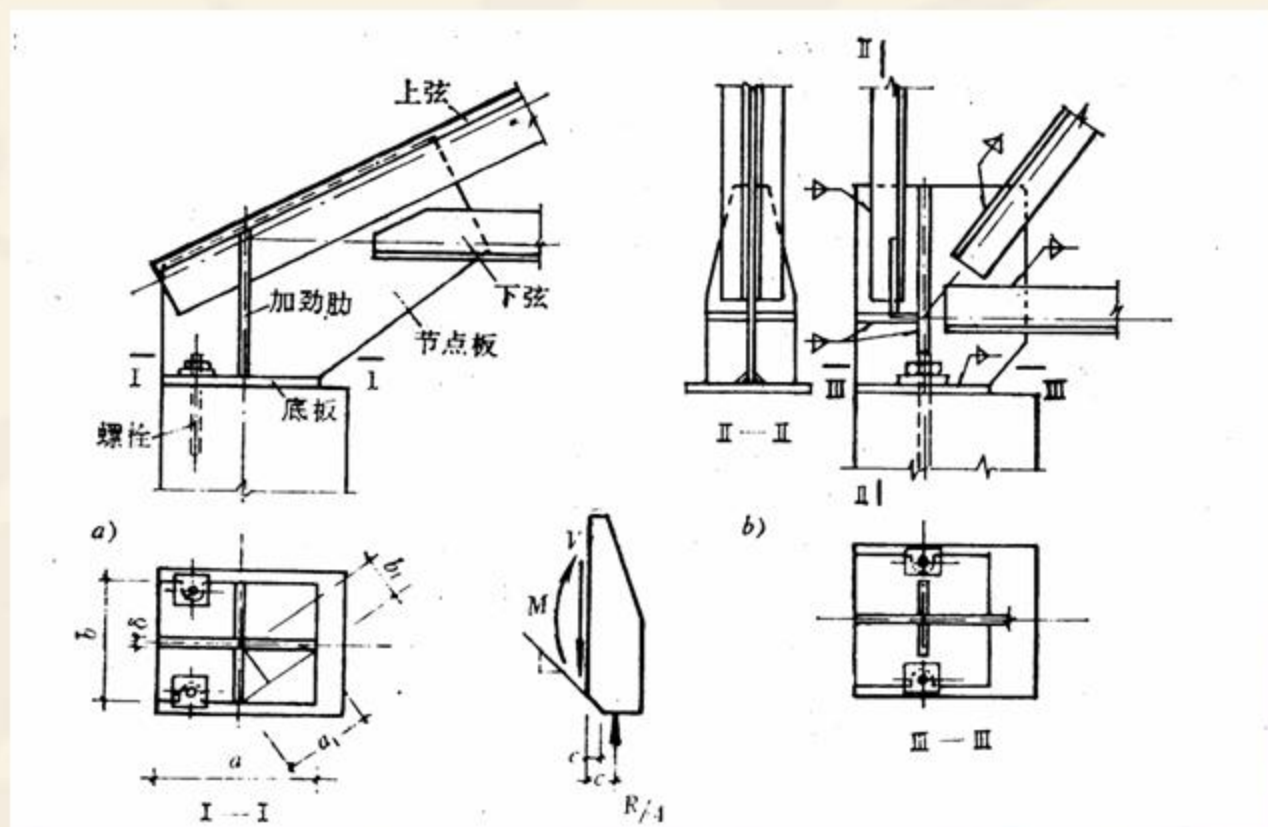
下弦杆与节点板的连接焊缝，以下弦与节点板的连接焊缝按下弦较大内力的 **15%** 和两侧下弦的内力差两者中的较大者进行计算。这样，下弦杆肢背与节点板的连接焊缝长度计算如下：

$$l_w = \frac{k_1 (0.15 N_{\max} \text{ 或 } \Delta N)}{2 \times 0.7 h_f \cdot f_f^w} + 2h_f \text{ mm}$$

对于上弦(上图b)屋脊处弦杆与节点板的连接焊缝承受接头两侧弦杆的竖向分力与节点荷载 P 的合力，两侧连接焊缝共八条，每条焊缝长度按下式进行计算：
$$l_w = \frac{2N \sin \alpha - P}{8 \times 0.7 h_f f_f^w} + 2h_f \text{ mm}$$

4. 支座节点

如下图所示为简支屋架的支座节点，由节点板、加劲肋、支座底板和锚栓等部分组成。它的设计和轴心受压柱脚相似。加劲肋的作用是加强底板的刚度，提高节点板的侧向刚度，加劲肋高度与节点板相同，厚度等于或略小于节点板的厚度，加劲肋厚度的中线应与各杆件合力线重合。



为便于节点焊缝的施焊，下弦角钢底面和支座底板之间的距离一般不小于下弦角钢水平肢的宽度，也不应小于**130mm**。角钢边缘与加劲板中线距离不宜小于**50mm**。锚栓预埋于柱中，其直径一般取**18~24mm**；为便于屋架安装就位和调置位置，底板上的锚栓孔直径应为锚栓直径的**2~2.5**倍，通常采用**40~60mm**。屋架安装完毕后，在锚栓上套上垫圈，并与底板焊牢以固定屋架，垫圈的孔径比锚栓直径大**1~2mm**。

①支座底板需要的净面积按下式计算：
$$A \geq \frac{R}{\beta_l f_c} + A_0$$

②底板的厚度按均布荷载下板的抗弯强度计算。

$$t \geq \sqrt{\frac{6M}{f}}$$

为了使柱顶压力分布较为均匀，底板厚度不宜太薄，一般大于或等于**16mm**。

③加劲肋的计算:

加劲肋与节点板间的连接焊缝可近似地按传递支座反力四分之一计算, 并考虑焊缝偏心受力。每块加劲肋的两条焊缝承受的内力为: $V = R/4$ 及, $M = Ve$, $e = b/4$ 加劲肋与节点板间的连接焊缝按下式计算:

$$\sqrt{\left(\frac{V}{2 \times 0.7 h_f l_w}\right)^2 + \left(\frac{6M}{2 \times 0.7 \beta_f h_f l_w^2}\right)^2} \leq f_f^w$$

屋架支座节点板和垂直加劲肋与支座底板连接的水平焊缝按均匀传递支座反力计算, 焊缝强度按下式计算:

$$\sigma_f = \frac{R}{0.7 h_f \sum l_w} \leq \beta_f f_f^w$$

实际的焊缝计算长度为这里为节点板厚度, c 为加劲肋切角宽度, 此外还应按悬臂板验算加劲肋的强度。

第九节 屋架施工详图

- ❖ 构件的施工详图是结构设计的最后成果之一，是施工的主要依据，图中应包括预定钢材、制造和安装等工序所需的一切尺寸和资料。各种构件的施工详图与结构安装图等共同组成整个钢结构的施工图。钢屋架的施工详图中应包括下列内容：
 - ❖ 1. 屋架杆件的轴线长度及起拱，杆件的内力设计值。
 - ❖ 2. 绘制屋架的正面图（主视图），上下弦杆的俯视图，左右端视图及必要的剖面图和特殊的零件图。
 - ❖ 3. 尺寸标注。标注尺寸要全部注明各杆件和板件的定位尺寸和孔洞位置等。
 - ❖ 4. 编制材料表。对所有零件应进行详细编号，编号应按零件的主次、上下，左右一定顺序逐一进行。
 - ❖ 5. 必要的文字说明。



谢谢

