

12.1.1 单层厂房

§ 12.1 单 厂房的结构型式、结构组成和结构布置

12.1.1 单层厂房的结构型式

单层厂房结构是满足工业生产各种要求的建筑空间中的承重结构，其结构型式主要按结构材料以及结构型式分类。

1. 按承重结构材料分类

单层厂房结构	特点	适用
1) 混合结构	由砖柱和钢筋砼层架组成	吊车吨位, 跨度, 无吊车, $>5t$, $>15m$ 注: !柱顶标高 $<8m$ 的小型厂房。
2) 钢筋砼结	钢筋砼层架、钢筋砼柱	除此1)、2)以外结构
3) 钢结构	钢屋架、钢柱(或钢筋砼屋架)	吊车吨位, 跨度, $>250T$, $>36m$

2. 按结构型式分类

特点

单层厂房结构

排架

柱与基础刚度，柱与屋架铰接。

刚架

柱与基础刚接，（或铰接）柱与横梁刚度。



1) 排架结构

由屋架或屋面梁、柱和基础组成，按生产和工艺要求，排架可做成单跨、多跨、等高、不等高和锯齿形等多种形式，锯齿形适用于织布过程中不允许阳光直射的纺织厂，只允许朝北向开天窗，它是目前单层厂房最常用的基本形式，跨度 $>30\text{m}$ ，高度 $20\text{-}30\text{m}$ ，吊车吨位可达到 150t 。

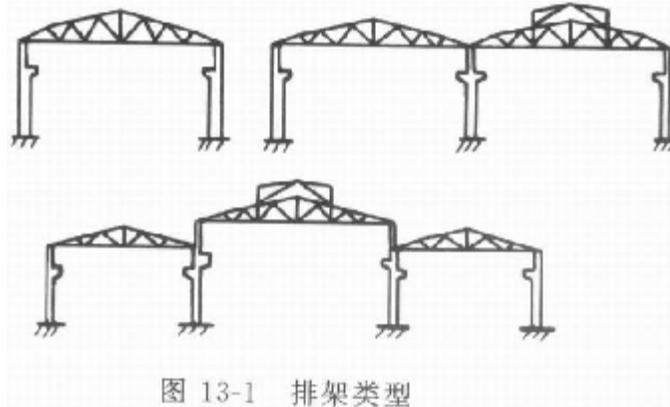


图 13-1 排架类型

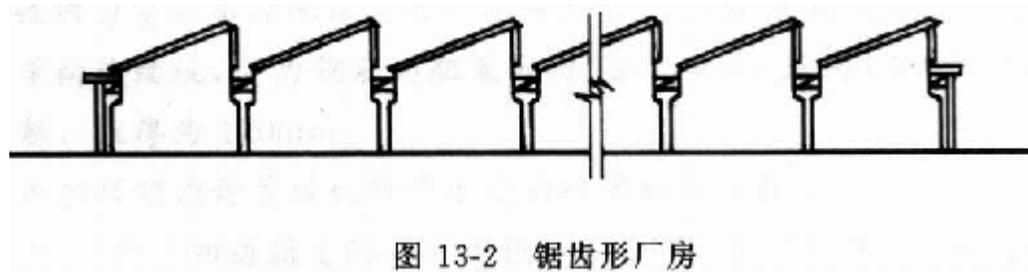


图 13-2 锯齿形厂房

2) 刚架结构

由柱和横梁形成一个构件，当柱与基础铰接、门架顶节点做成铰接的称为三铰刚架，做成刚接的称为两铰门架，为便于施工吊装，两铰门架常做成三段，在横梁弯矩为零或很小的截面设置接头，用焊接或螺栓连成整体。为了节省材料，刚架立柱和横梁的截面高度沿轴线变化可以同弯矩图，另外，构件的截面也可做成工字形或空腹。

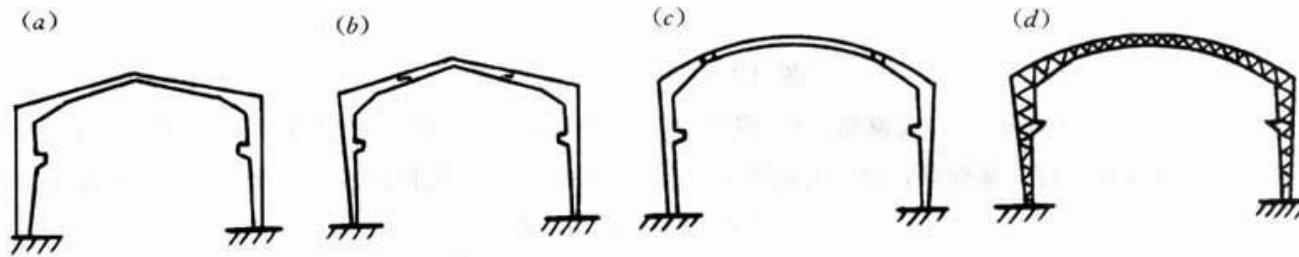


图 13-3 刚架型式

(a) 三铰刚架；(b) 两铰刚架；(c) 弧形刚架；(d) 弧形或工字形空腹刚架

刚架与排架比较:

- ①刚架制作简单，以块拼装，在小跨度经济性优于排架；
- ②刚架刚度差，梁柱转角易产生裂缝，大跨度，大吨位不适合；
- ③适用范围：吊车吨位10t以下，跨度 16-24m，高度6-10m。

本书讨论对象：单层厂房的装配式钢筋混凝土排架结构（预制钢筋砼柱、层架）。

12.1.2 单层厂房的结构组成与结构路线

1. 结构随的荷载

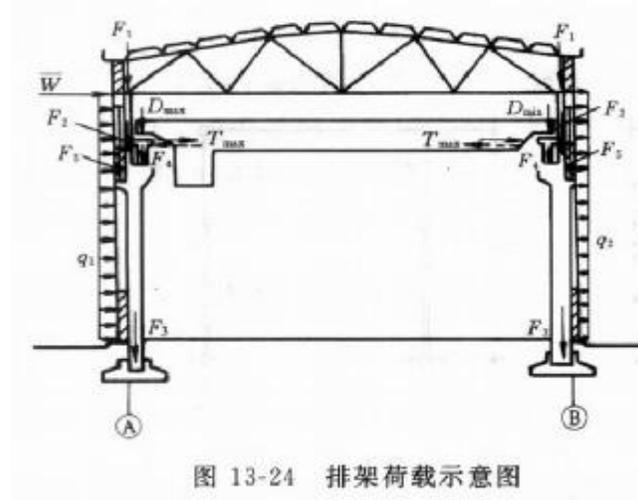


图 13-24 排架荷载示意图

在施工和使用阶段随的主要荷载有以下几种：

- (1) 恒载--自重 (除结构材料处还应包括屋面保温层、防水层、粉刷层等)。✓
- (2) 吊车荷载-- 竖向-- 吊车自重和起吊物的移动集中荷载。
水平-- 在起吊运行时产生的制动力, 有纵、横向制动力。✓
- (3) 风荷载-- 用基本风压计算, 作用在厂房各表面的风压 (吸) 力。✓
- (4) 施工荷载-- 施工和屋面检修作用的荷载。
- (5) 积灰荷载-- 屋面上的积灰。
- (6) 地震作用-- 地震区应考虑荷载。
- (7) 工作荷载-- 视使用情况定 (如平台荷载等)。

2. 结构组成及构件作用

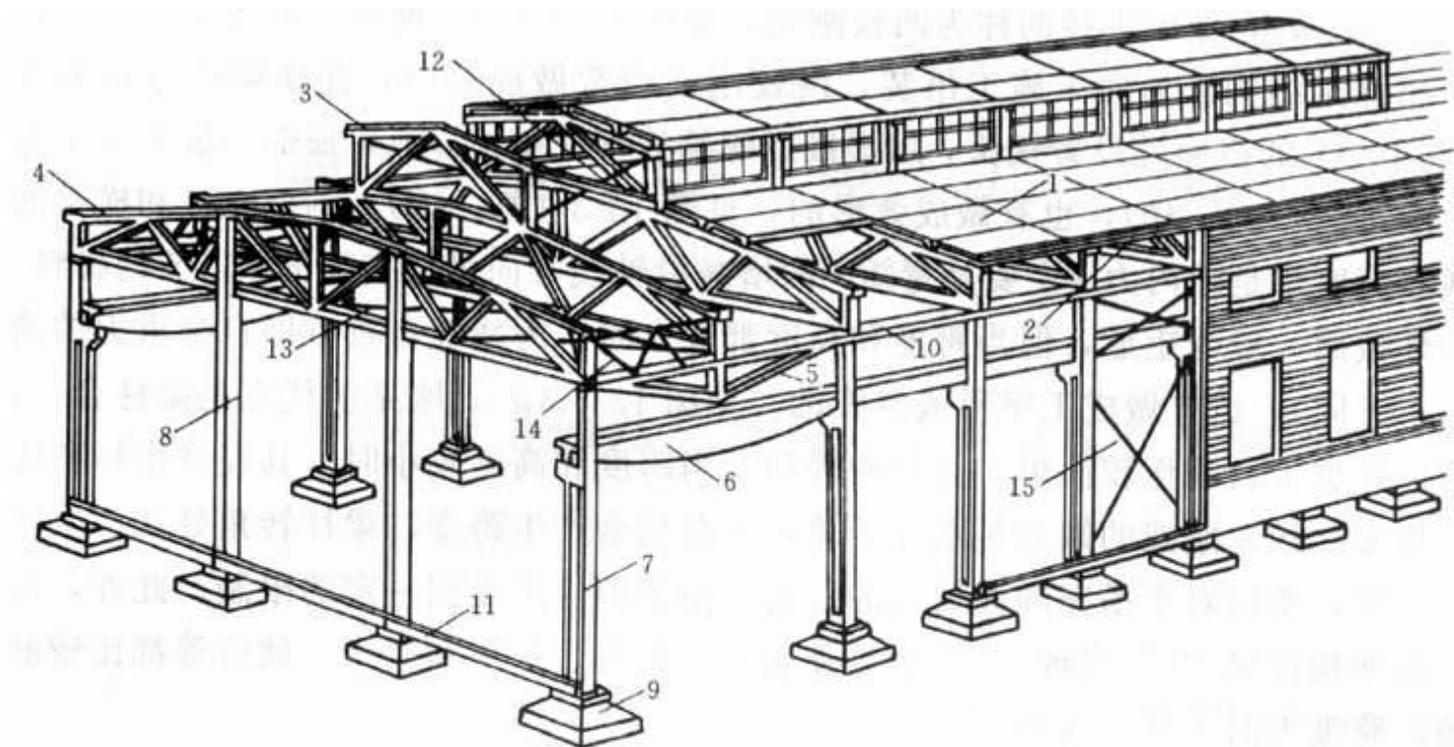


图 13-4 厂房结构组成

1—屋面板；2—天沟板；3—天窗架；4—屋架；5—托架；6—吊车梁；7—排架柱；8—抗风柱；9—基础；10—连系梁；11—基础梁；12—天窗架垂直支撑；13—屋架下弦横向水平支撑；14—屋架端部垂直支撑；15—柱间支撑

2. 结构组成及构件作用

单层厂房结构主要有屋面板、屋架、吊车梁、排架柱、抗风柱、基础梁、基础等组成，其又可分为屋盖结构、横向平面排架、纵向平面排架和围护结构。

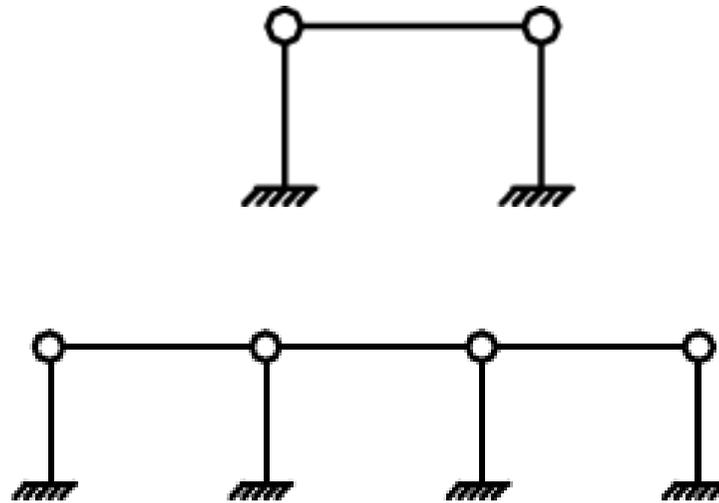
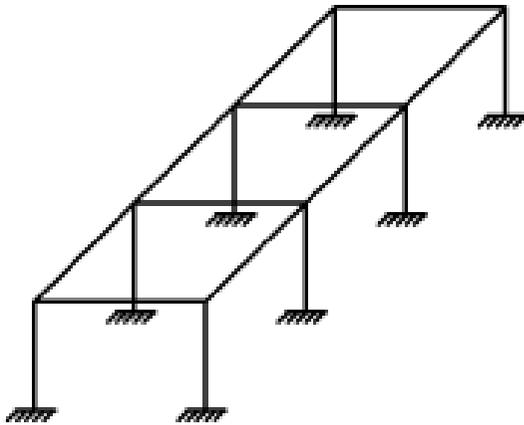
1) 屋盖结构

分为有檩体系和无檩体系。所谓有檩体系是指由小型屋面板、檩条、屋架及屋盖支撑组成，无檩体系是指由大型屋面板、屋面梁或屋架、屋盖支撑组成。前者用于小型厂房，后者用于大型厂房。在屋盖结构中其主要构件为：屋面板、无窗架、屋架、托架等，屋盖结构主要作用是承重及围护。

- 2) 吊车梁--支承在柱子牛腿上，作用是承受吊车荷载，并传到柱子。
- 3) 柱子--支承在基础上，作用是承受屋架（或托架）、吊车梁、支撑和外墙的荷载，并传至基础。
- 4) 支撑--包括屋架间垂直支撑、横向、纵向水平支撑以及天窗架支撑和柱间支撑，其作用是增强空间刚度及稳定性，传递风荷载和水平吊车荷载。
- 5) 围护结构--包括纵墙，横墙（内墙）及由连系梁、抗风柱（有时包括抗风梁或抗风桁架）和基础梁等组成，其主要承受自重和墙面上的风载。
- 6) 基础--支承于地基上，其作用为承受柱子和基础梁传来的荷载，并再传给地基。

7) 厂房结构的体系分解

从理论上讲厂房结构为空间结构，为简化计算，可将整个结构分解为横向平面排架和纵向平面排架。



横向平面排架--由屋架横向、柱列和基础组成，承受竖向、横向水平荷载，是最主要受力结构。

纵向平面排架--由纵向柱列连系梁、吊车梁、柱间支撑和基础等组成，主要随纵向水平荷载，其作用为保证。

厂房结构的纵向稳定性和刚度。

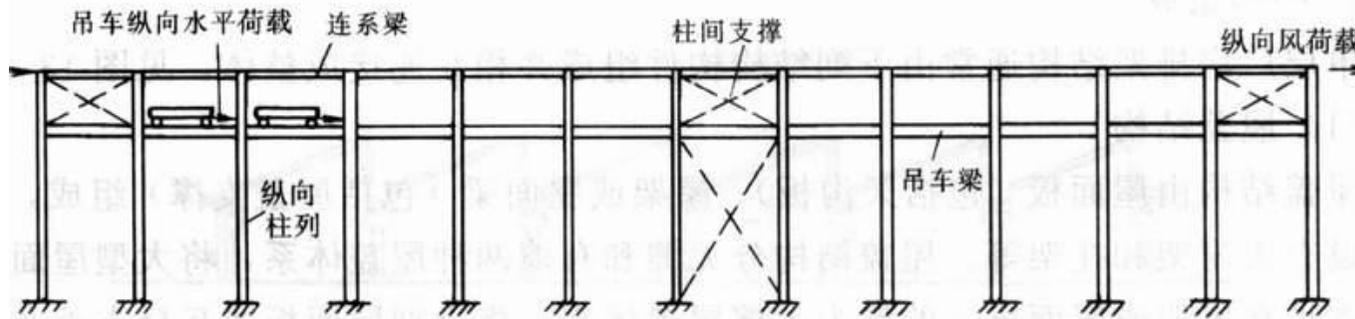


图 13-5 纵向平面排架

3. 传力路线

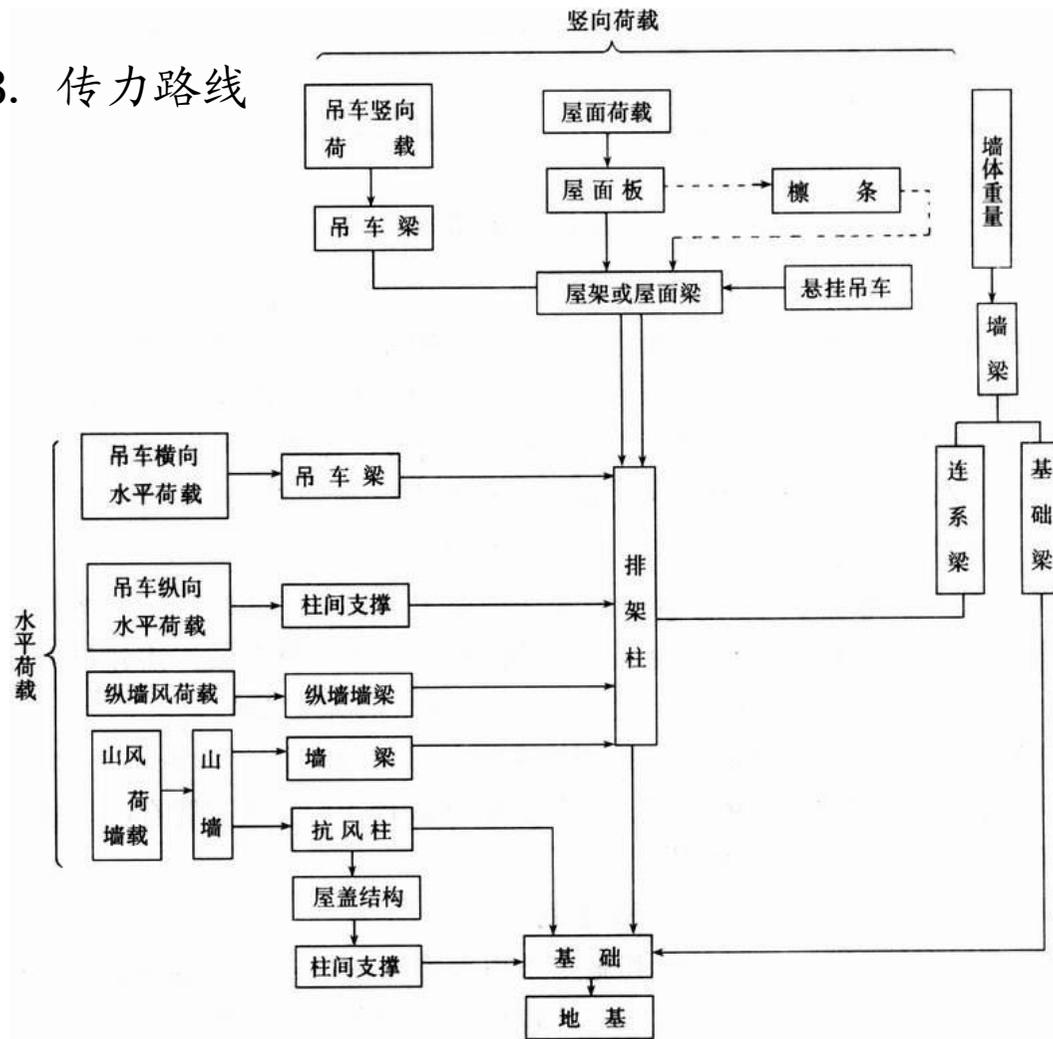


图 13-6 单层厂房传力路线示意

4. 厂房结构各部件造价比

中型钢筋混凝土结构单层厂房各主要构件材料用量表 表 13-1

材 料	每 1m ² 建筑面积 构件材料用量	每种构件材料用量占总用量的百分比 (%)				
		屋 面 板	屋 架	吊 车 梁	柱	基 础
混凝土	130~180 (kg)	30~40	8~12	10~15	15~20	25~35
钢 材	18~20 (kg)	25~30	20~30	20~32	12~25	8~12

中型钢筋混凝土结构单层厂房各部分造价占土建总造价的百分比 表 13-2

项 目	屋 盖	柱、梁	基 础	墙	地 面	门、窗	其 他
百分比 (%)	30~50	10~20	5~10	10~18	4~7	5~11	3~6

13.1.3 单层厂房的结构布置

12.1.3 单层厂房的结构布置

1. 柱网布置

柱网由厂房跨度和柱距构成，柱于纵横轴线在平面上排列成的格子即
为柱网，因而柱网尺寸的选择也即是柱子纵横定位轴线位置确定，或者柱距
和跨度确定，它直接影响到厂房造价、使用面积及施工速度，按《厂房建筑
模数协调标准》（GBJ6-86）等规定。

跨度 $>18\text{m}$ 采用扩大模数60M数列。
 $\leq 18\text{m}$ 采用扩大模数30M数列。

柱距采用扩大模数60M数列，一般为6M，必要时也可12M

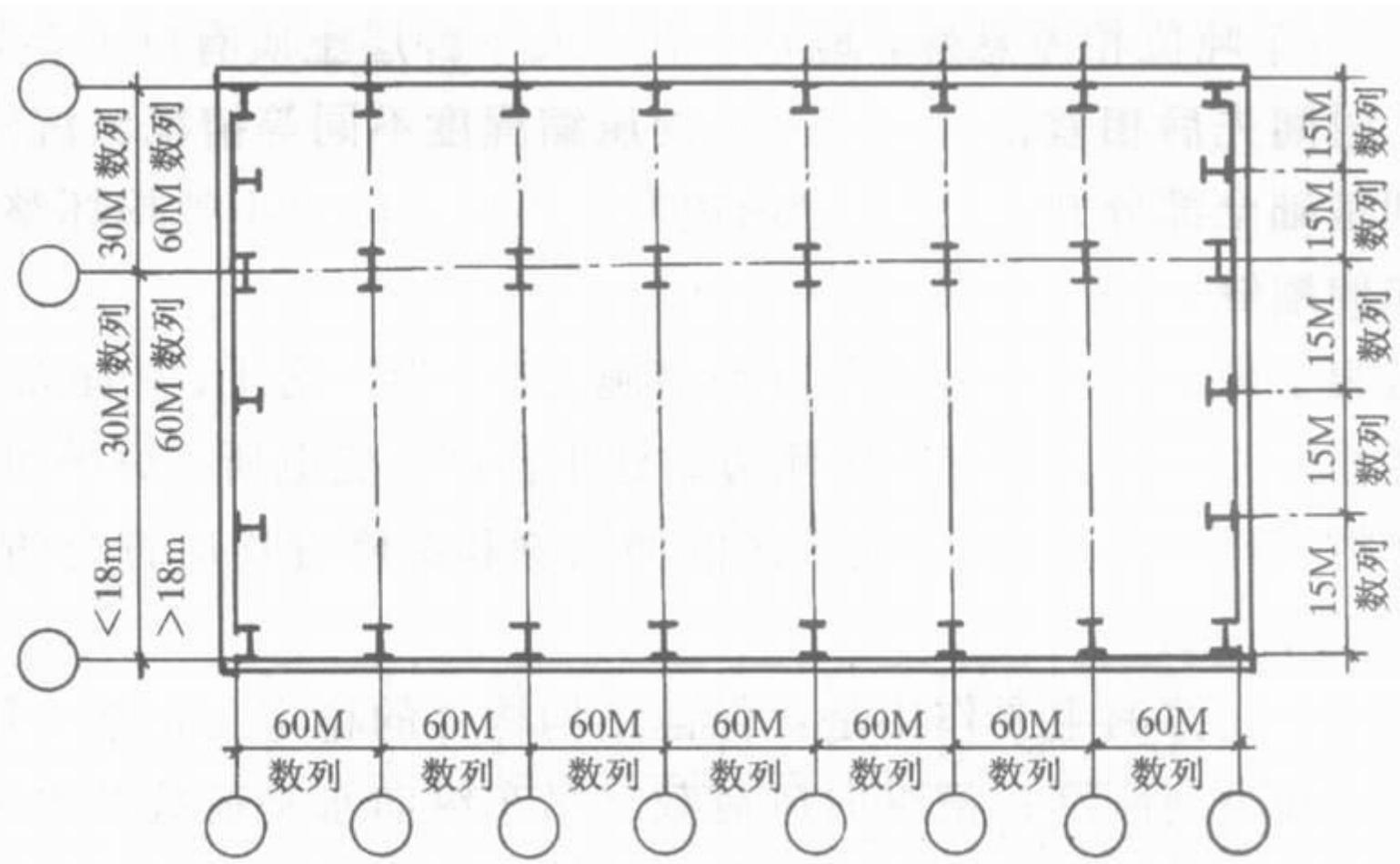


图 13-7 跨度和柱距示意图

(1) 横向定位轴线布置

应与柱距方向屋面板、吊车梁等构件标志尺寸一致，也即与柱的中心线重合，通过屋架中心线或屋面板横向接缝。

特殊情况：

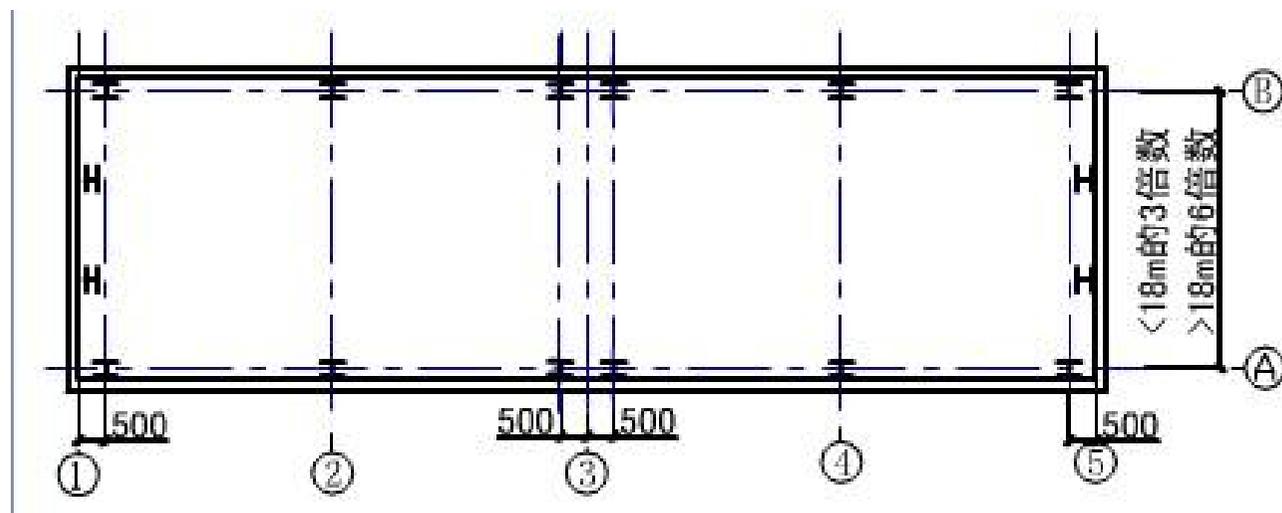
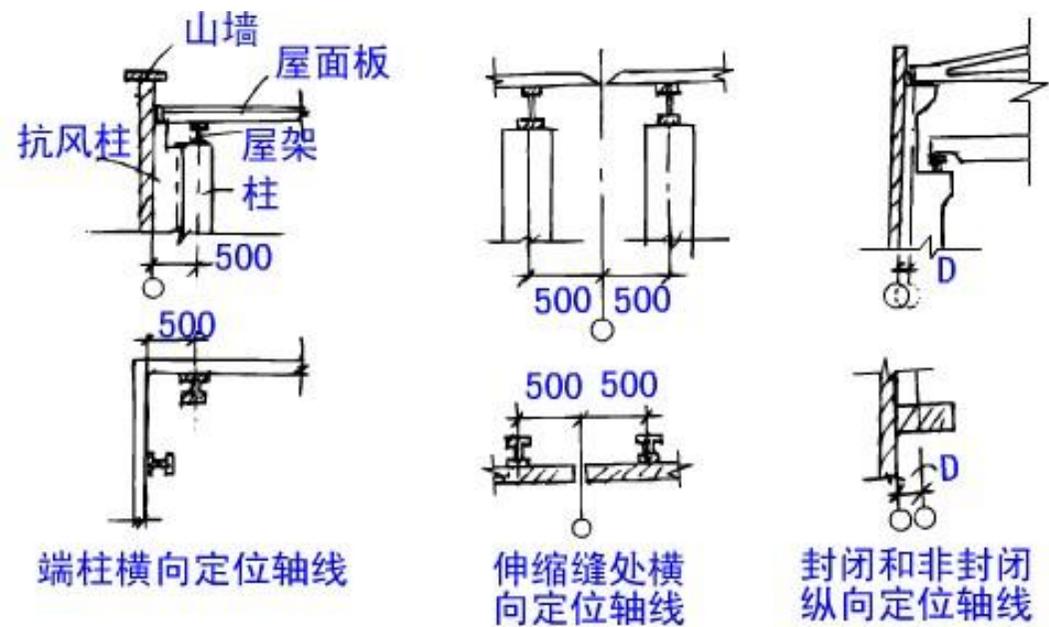
- (i) 内墙处柱中心线需从横向定位轴线向移。
- (ii) 双柱伸缩缝处两柱中心线各离横向定位轴线。
- (iii) 内墙处横向定位轴线在内墙为非承重墙时应与墙内缘重合，为承重墙时墙内缘与横向定位轴线距离为半砖或半砖倍数。

(2) 纵向定位轴线布置

为保证吊车安全运行吊车边缘至上柱外边缘之间留有一定空隙(750mm),即吊车跨度应比屋架跨度小1.5m,随吊车吨位增大以及柱距加大,上柱尺寸会变大,故有可能使安全隙得不到保证,故需将纵向定位轴线从柱外边缘内移一个称之为“联系尺寸”的予以解决,故外墙边柱与纵向定位轴线的关系为:

(i) 无吊车或柱距为 $6\text{m} \leq 200\text{kN}$ 吊车起重量的厂房,外纵墙处纵向定位轴线与边柱外侧和墙内侧重合,即构成封闭轴线。

(ii) 柱距为 6m 吊车起重重量 $>200\text{kN}$ 的厂房,其外纵墙处纵向定位轴线与边柱外缘加设联系尺寸 D 。 $D=150\text{mm}$,对于起重重量 $\geq 500\text{kN}$,柱距为 12m 时, $D=250$ 或 500mm ,即构成非封闭轴线。



2. 变形缝

为防止结构由不同原因产生过大或不均匀变形需设置变形缝。

(1) 伸缩缝

在气温发生变化时，埋在土中及地面上结构受到影响不一，上部相当于受到约束将产生温度应力，温度变形，即与厂房长度有关，L过大会造成较大拉应力，导致结构墙面开裂。 $\lambda = \alpha \Delta t \cdot L$

规范通过限制来防止这种破坏，即设置伸缩缝。伸缩缝以基础顶面开始左右留一定宽度，最大距离见附录9，它同结构类型，温度变化相关，排架结构，室内100m，露天70m。

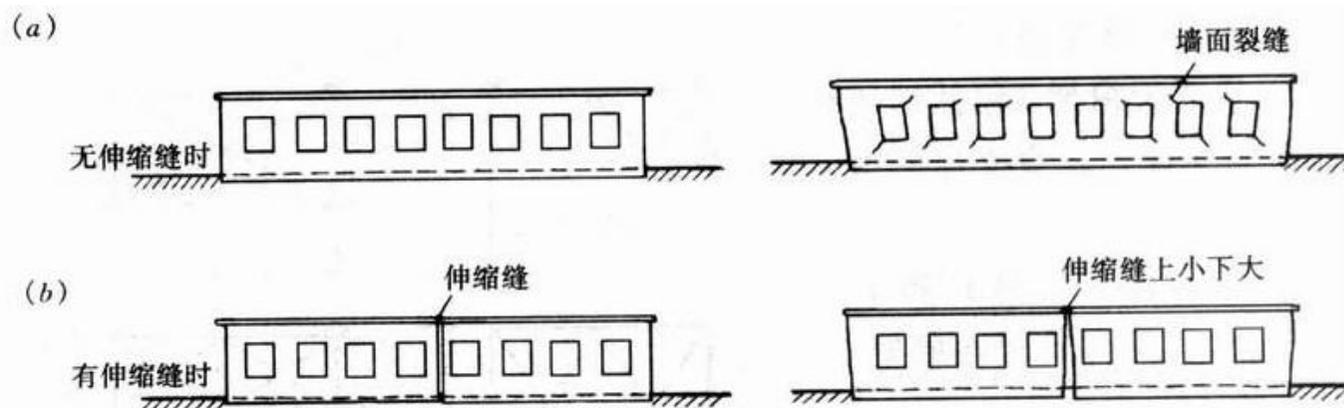


图 13-8 温度变化产生裂缝示意图

(2) 沉降缝

若建筑物高差较大，或吊车吨位相差较大，或地基变形明显不同，此时会产生不均匀沉降，故应将结构从基础至上部结构完全分开，由于排架结构尺寸不均匀沉降不敏感，故通常可不设此缝。

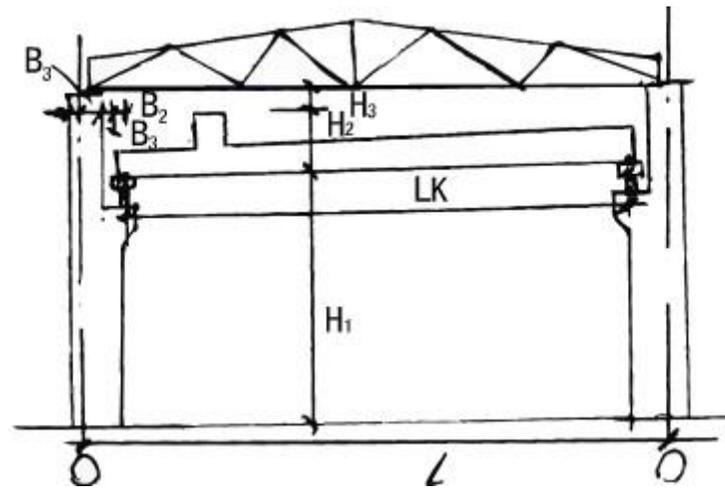
(3) 防震缝

当建造在地震区厂房平、剖面布置复杂或相邻侧向刚度较大时，需用防震缝将结构在地面以上分开。

3. 厂房剖面尺寸--高度和跨度的确定

1) 高度确定

2) 跨度确定



1) 高度确定

H 屋盖底部标高--室内地坪至屋架下弦底面的高度。

轨顶标高--室内地坪至吊车轨道顶面的高度。

确定原则：既满足工艺要求，又符合建筑模数。

(i) 无吊车厂房

H应满足工艺、采光等要求，另外以300mm倍数要求。

(ii) 有吊车厂房

$$H = H_1 + H_2 + H_3$$

H_1 -- 吊车轨顶标高（由业主提出，以600mm为倍数的标志尺寸）。

H_2 -- 吊车轨顶至吊车外轮廓最高处距离（由吊车厂家提供）。

H_3 -- 预留的屋架下弦与吊车之间安全尺寸（ $\leq 200\text{mm}$ ）。

因H为300MM的倍数，故 H_1 可以比标志高度相差 $\pm 200\text{mm}$ 。

2) 跨度确定

$$L = L_k + 2\lambda$$

$$\lambda = B_1 + B_2 + B_3$$

L_k -- 吊车跨度（轨道中心线间距），由吊车厂家提供。

λ -- 轨道中心线至纵向定位轴线距离 $\lambda = 750 \text{ mm}$ ，当吊车吨位 $> 750 \text{ kN}$ 时，
 $\lambda = 1000 \text{ mm}$ 。

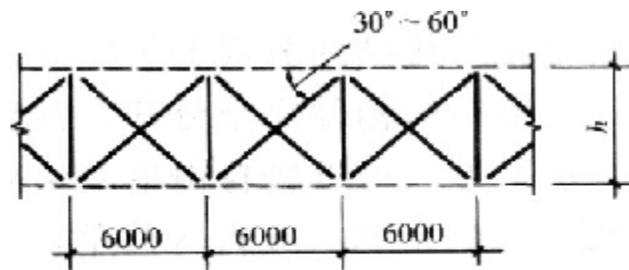
B_1 -- 外形尺寸。

B_2 -- 预留空隙。

B_3 -- 定位轴线至柱内边缘距离。

4. 单层厂房的支撑

由屋架和柱组成的各榀排架结构间虽然有屋面板、吊车梁、连系梁等连结，但形不成刚强的空间体系，故必须设置各种支撑体系予以加强



支撑的主要作用：

图 13-9 屋盖上、下弦水平支撑型式

- (i) 形成空间结构，增强空间刚度，提高稳定性。
- (ii) 传递荷载。
- (iii) 保证施工时构件稳定性。

支撑分类：屋盖支撑和柱间支撑。

具体支撑布置方法及构造参阅有关图集：

(1) 屋盖支撑

它包括上、下弦水平支撑，垂直支撑及纵向水平系杆。

上、下弦水平支撑是指布置在屋架上、下弦平面内以及天窗架上弦平面内的水平支撑，在下弦又可分为纵向和横向水平支撑两种。

上弦水平支撑作用：增强屋盖刚度，保证上弦侧向稳定，将水平荷载传给纵向排架。

下弦水平支撑作用：传递由抗风柱与屋架下弦连结传来的风大及悬挂吊车的水平力。

垂直支撑和水平系杆作用：保证屋架整体稳定以屋架上、下弦的侧向稳定。

水平支撑一般采用十字交叉形。

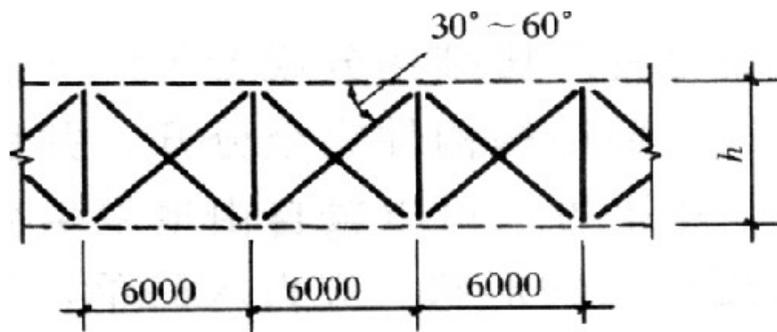


图 13-9 屋盖上、下弦水平支撑型式

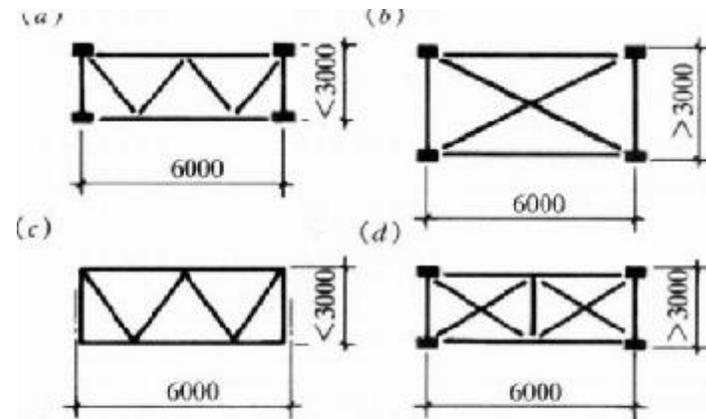


图 13-10 屋盖垂直支撑型式

(a)、(b)、(c) 为钢支撑；(d) 为钢筋混凝土支撑

系杆分为刚性和柔性两种，刚性压杆一般用钢筋砼或双角钢拍件，柔性拉杆一般为单角钢。

下面讨论支撑布置原则

1) 屋架上弦支撑--布置在每个伸缩区段端部。

- (1) 当屋面板为大型屋面板（三点焊）可不设上弦横向支撑。
- (2) 当为有檩体系，或②不满足时，应在伸缩区段两端设置一道。
- (3) 对梯形钢筋砼屋架，应在伸缩区段两端设置一道。

2) 屋架下弦支撑--分为横向和纵向

- (1) 当跨度 $L < 18\text{m}$ ，可不设横向下弦支撑。
- (2) 当跨度 $L \geq 18\text{m}$ ，可在第一柱距内设一道。
- (3) 设置纵向下弦支撑时，横向下弦支撑比同时有形成框。
- (4) 柱距 6m ，吊车吨位 $\geq 10\text{t}$ （重设）或 $\geq 30\text{t}$ ，应设置下弦纵向水平支撑。

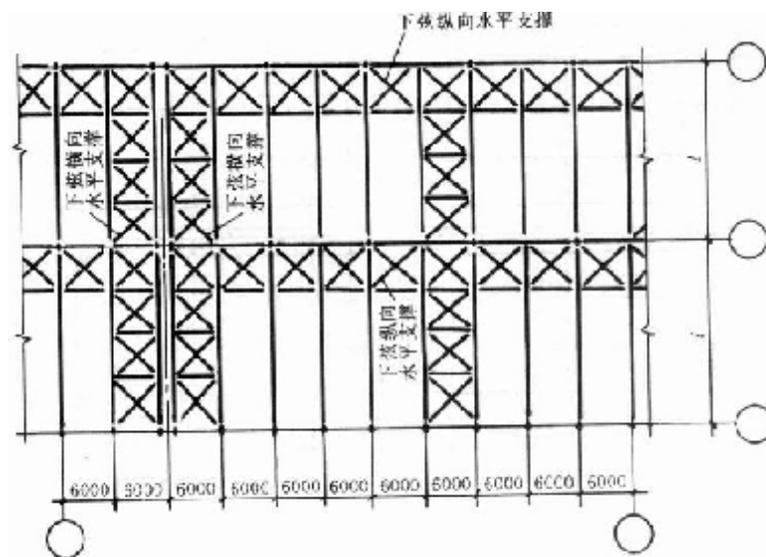


图 13-12 屋架下弦横向水平支撑

3) 垂直支撑和水平系杆

凡有上弦水平支撑的，一般应设垂直支撑。

(1) 屋架跨度 $L \leq 18\text{m}$ ，且天天窗时，可不设垂直支撑和系杆
 $18\text{m} < L \leq 30\text{m}$ ，在第一柱间或第二柱间，在屋架跨中设一道垂直支撑
 $L > 30\text{m}$ ，在第一柱间或第二柱间，在屋架悬跨处两道垂直支撑。
注意：对于梯形屋架尚应在相应柱间在端设置垂直支撑，对于未设置垂直支撑的屋架间相应于垂直支撑平面的屋架上弦和下弦节点处可设置通长的水平系杆。

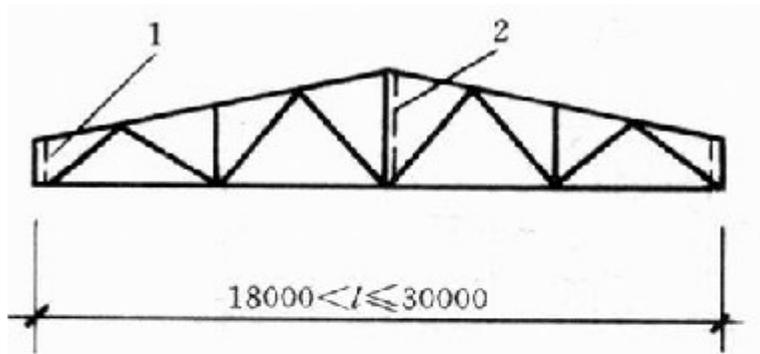


图 13-13 屋架垂直支撑

1—支座垂直支撑；2—跨中垂直支撑

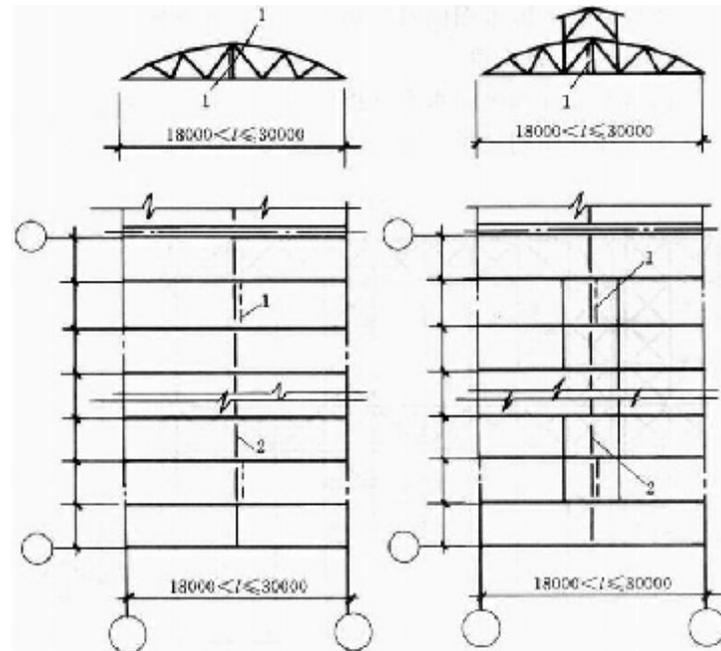


图 13-14 屋架跨中垂直支撑

1—跨中垂直支撑；2—通长的水平系杆

4) 天窗架间的支撑

也分为天窗上弦水平支撑和垂直支撑两种。

(1) 天窗上弦水平支撑

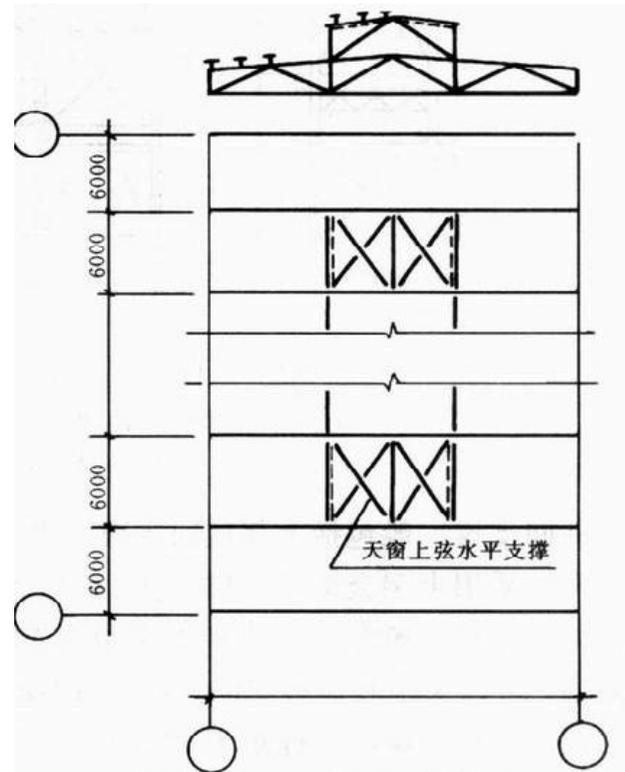


图 13-15 天窗上弦水平支撑

作用：保证天窗架上弦平面外的稳定。

布置：屋盖整体性不佳时，应在第一柱间内设一道上弦支撑。

(2) 天窗垂直支撑

作用：保证天窗架施工稳定，将天窗端壁风荷载传到屋架上弦水平支撑。

布置：布置在天窗两侧，与屋架上弦水平支撑布置在同一柱间。

支撑布置原则：由上、下弦先构成水平刚性框，然后再用垂直支撑和水平系杆连成整体。

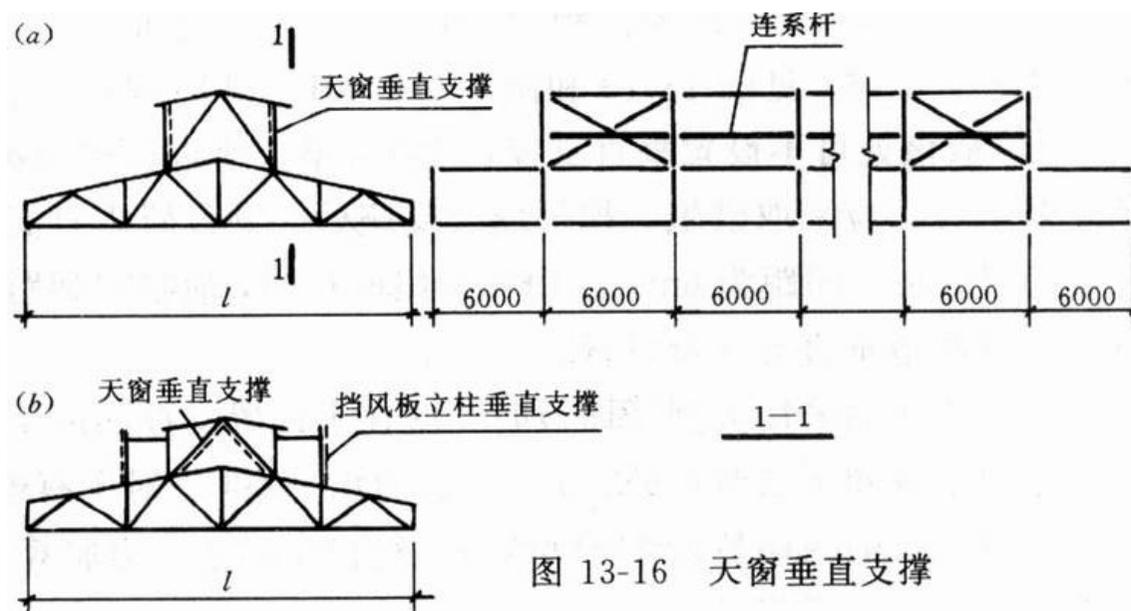


图 13-16 天窗垂直支撑

(3) 柱间支撑

它包括上部柱间支撑、中部及下部柱间支撑，柱间支撑宜采用十字交叉形支撑，交叉角一般 $30^\circ \sim 50^\circ$ 。

作用：保证结构刚度和稳定，并将水平荷载传至基础。一般上部支撑承受风力，下部支撑既受风力，又受吊车水平力。

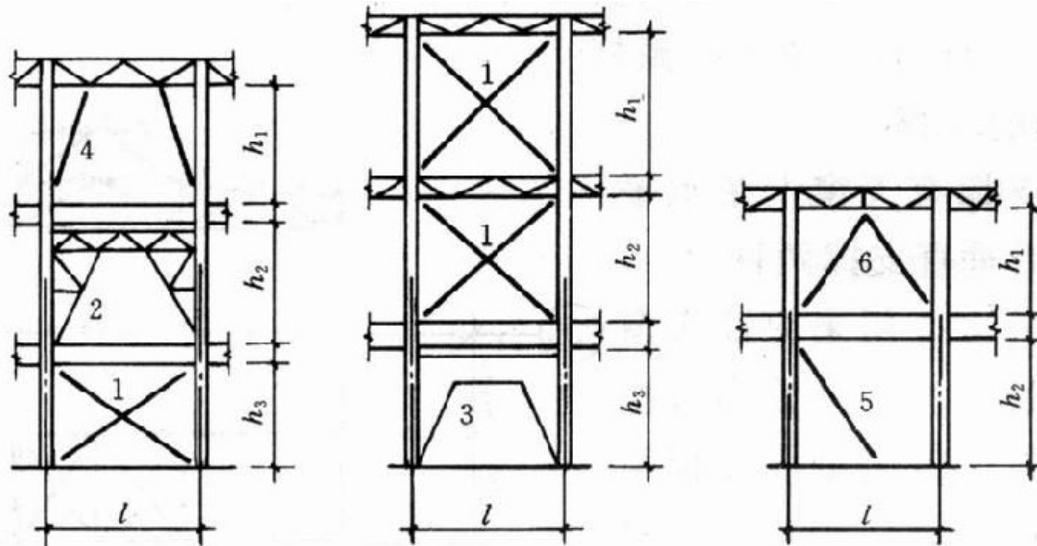
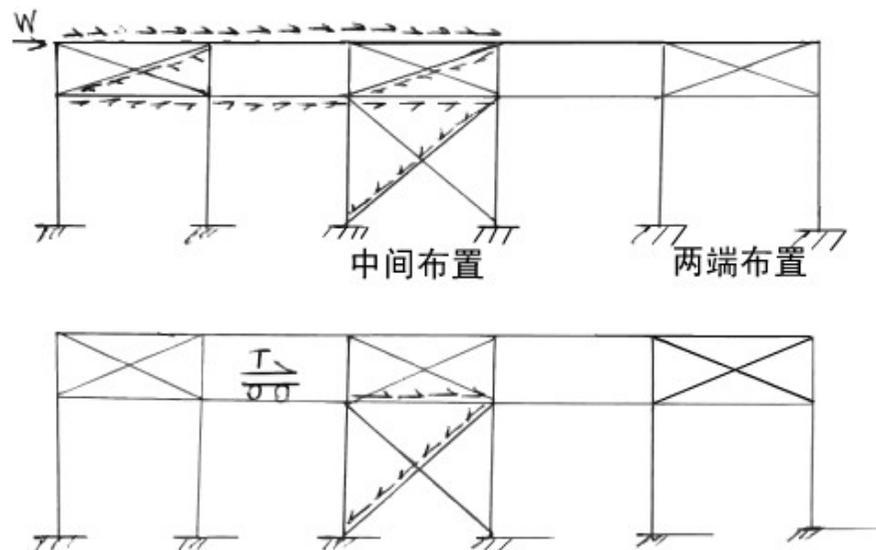


图 13-17 柱间支撑型式

1—十字交叉形支撑；2—空腹门形支撑；3—八字形支撑；4—人字形支撑



布置：应设在伸缩区段的中央，上部柱间支撑应在两端边布置，并在柱顶设通长刚性系杆。

- (1) 有悬臂吊车或30kN以上悬挂吊车。
- (2) 有重级土作制吊车
- (3) 跨度 $\geq 18\text{m}$ ，或柱高在8m以上。
- (4) 纵向柱列的总数在土根以上。
- (5) 露天吊车栈桥的柱列。

5. 抗风柱、围护墙、圈梁、连系梁、过梁和基础梁

1) 抗风柱

当山墙面积较大时，则需设置抗风柱以承担风载并传给屋架，这里抗风柱把山墙分成区格，一部分传给纵向柱列，另一部分则传给抗风柱，在厂房高度和跨度不大时，可用砖壁柱代替抗风柱，实际上增强砖墙的侧向强度，抗风柱下端一般采用插入基础杯口的因接方式，上端与屋架上弦连接要满足以下条件：

- (1) 水平方向可靠传力；
- (2) 竖向允许位移。

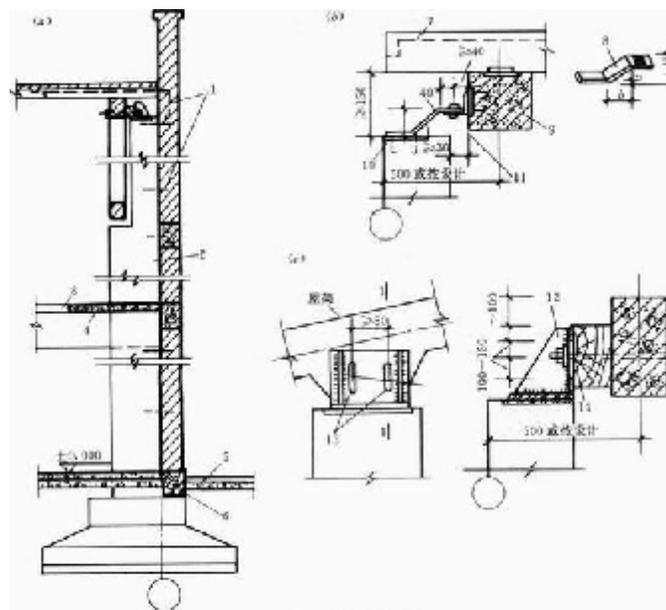


图 13-20 抗风柱

1—轴拉钢索；2—抗风柱；3—吊车梁；4—抗风梁；5—屋木梁；6—基础梁；7—屋面纵梁或檩条；8—弹簧板；9—屋架上架；10—柱中预埋件；11— $\geq 2\phi 16$ 螺栓；12—加劲板；13—长圆孔；14—屋木梁

抗风柱一般可近似地接受正负弯矩的受弯件计算。

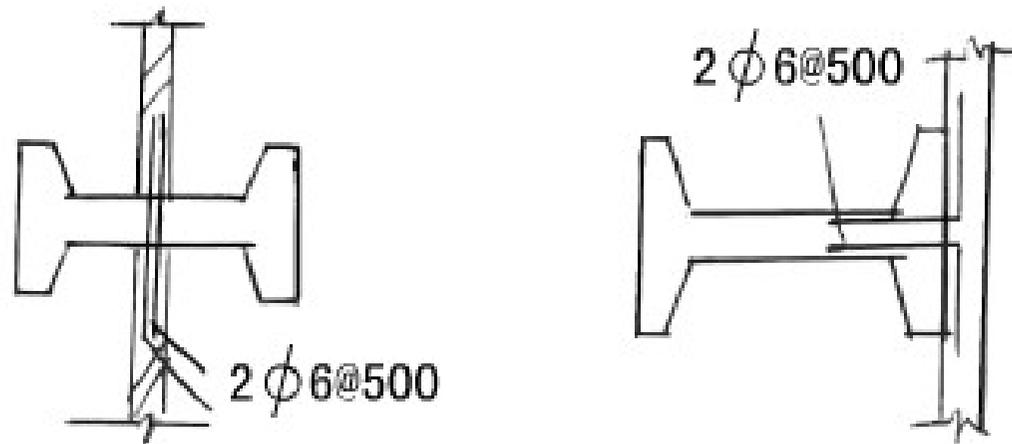
截面：上柱矩形（ $\leq 350 \times 300$ ），下柱为工字形或矩形。

布置原则:

- (i) 位置应对正屋架上弦节点或水平支撑节点处。
- (ii) 柱距 $\gt 6\text{m}$, 常用 4.5m , 6m 。
- (iii) 对柱高 $\gt 8\text{m}$, 跨 $\leq 18\text{m}$ 厂房, 采用砖壁柱。
- (iv) 对高度大的抗风柱, 可采用抗风桁架作为中间支点。

2) 围护墙

为保证砖墙的风载能有效传递给柱子，应保证柱子和墙有良好的连接，一般用柱内锚固钢筋解决。



3) 圈梁

作用：增强厂房整体性、提高刚度、防止不均匀沉降和震动带来的不利影响。

形式：宽与墙同，高度 $\leq 120\text{mm}$ ，一般为 $120 \times 240\text{mm}$ ，截面配筋同构造设置，纵筋 ≤ 400 ，箍筋间距 ≥ 250 。

设置:

- (1) 天吊车厂房, 当墙厚 $\leq 240\text{mm}$, 檐口标高 $5\sim 8\text{m}$, 应在檐口附近布置一道, 当檐口标高 $> 8\text{m}$, 应在中间增设一道。
- (2) 有吊车厂房, 除按(1)设圈梁外, 在吊车梁高度附近增设一道若两道圈梁间隔高度超过 8m 时, 还应增设一道。
- (3) 圈梁应尽可能在同一平面内封闭设置, 在门窗口不连续处应在洞口上增设相同圈梁, 且保证规定的搭接长度。

(4) 连系梁

作用: 除增强厂房纵向刚度, 把风载传至纵向柱列外, 还要承受上面的荷载。

故对超过 15m 高墙体为防止基础梁破坏, 可设连系梁, 连系梁一般搁在柱子牛腿上。

(5) 过梁

作用仅为承担上面墙体重量。

三梁可统一设置。

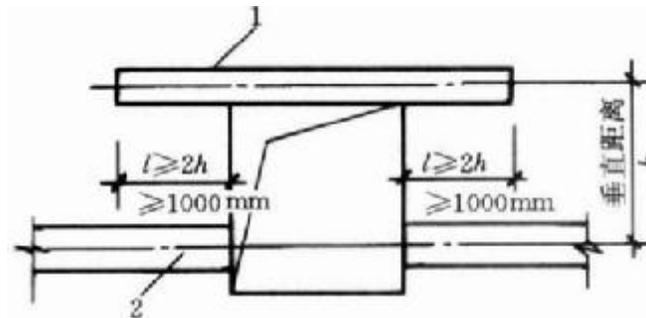


图 13-21 圈梁的搭接长度

1—附加圈梁; 2—圈梁

(6) 基础梁

为避免墙、柱受荷载不同而产生不均匀沉降、导致墙体开裂，一般将墙砌在基础梁上，保证共同变形。

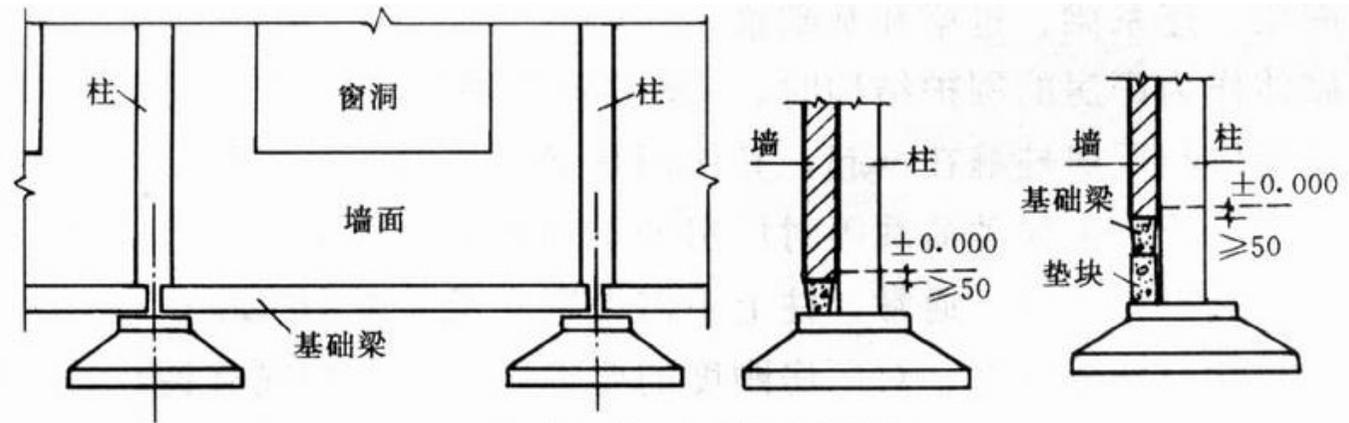


图 13-22 基础梁的布置

基础梁位于墙底部，两端搁在基础杯口上，当柱子基础埋置较深时，宜在杯口设置混凝土垫块节约墙体，但必须保证基础梁顶面至少要低于室内地坪50mm。

若柱间有较大门洞时，也可不设基础梁而做成现浇钢筋混凝土框架，支承两边柱基础。

基础梁截面一般为矩形或梯形。

2.2 排架计算

由前述单层厂房空间结构可简化成纵向和横向平面排架，且一般纵向排架刚度大，可不必计算，故这里仅讨论横向平面排架计算，排架计算的目的是为柱和基础提供设计内力值（即组合值），其主要步骤为：

- (1) 确定排架计算简图
- (2) 荷载计算
- (3) 排架内力计算，有必要还需计算变形
- (4) 排架内力组合

12. 2. 1 计算简图

1. 假定

为简化，需有以下几个假定：

(1) 横梁（屋架或屋面梁）与柱上端铰接，而柱下端与基础顶面刚接；

假定(1)是基于横梁一般支承在柱顶，用预埋钢板焊接，在屋架与柱顶之间不产生相对线位移，即可传递竖向力和水平力，但不能发生相对转动，即不能传递弯矩，故横梁与柱顶可认为铰接，预制柱插入基础杯内并用细石混凝土整浇。当然对地基土质较差，变形较大的情况，则考虑支座位移的影响。

(2) 屋面梁或屋架没有轴向变形。

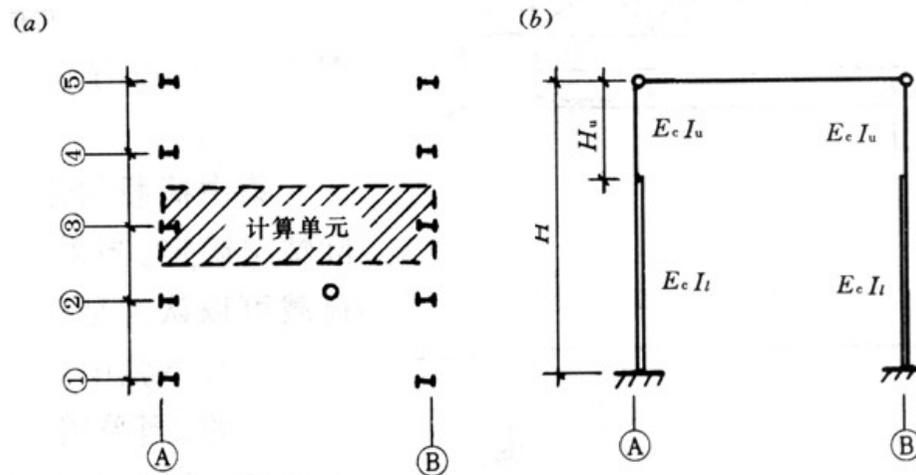


图 13-23 排架的计算单元和计算简图

2. 计算单元的取法

对于柱距相等情况，因荷载基本上沿纵向均匀分布，故可在结构平面上通过两相邻柱间距的中线截出一个典型区段作为计算单元，关于工艺上要求抽柱情况如何考虑我们以后讲。因排架结构是超静定结构，故内力计算与截面刚度有关，所以在计算前按经验初步假定截面尺寸和混凝土强度等级。注意，可能初选尺寸与最后尺寸不符，但 $< 30\%$ ，则可不重算。

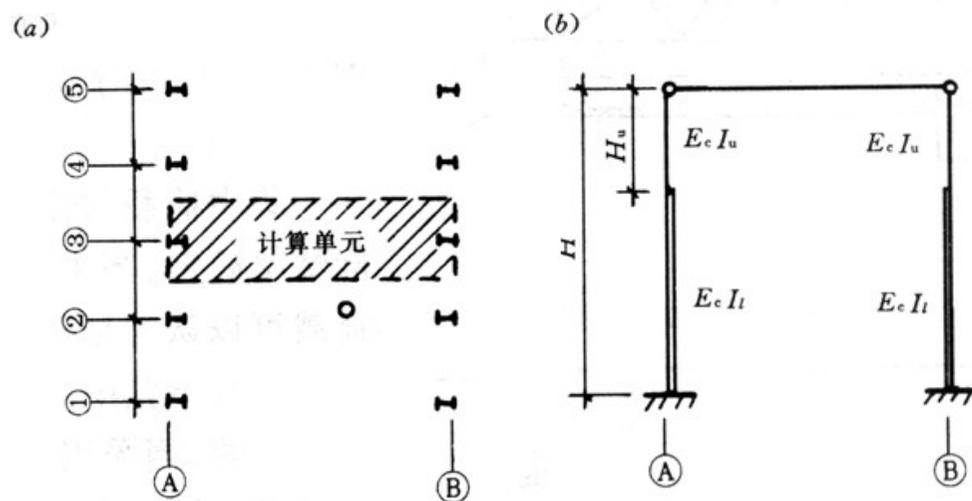
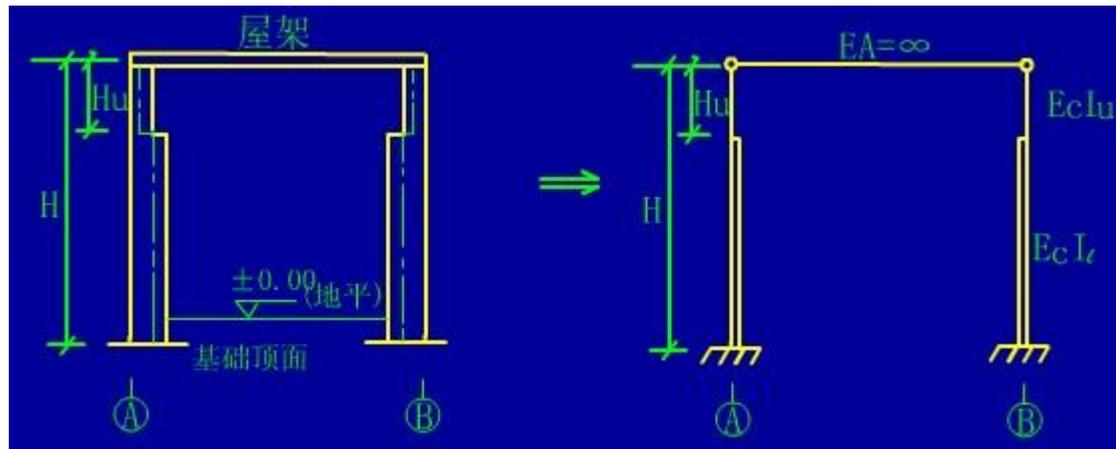


图 13-23 排架的计算单元和计算简图

3. 计算荷图

柱的计算轴线取上部和下部柱截面重心的连线，屋面梁式屋架用一根没有轴向变形的刚杆表示。

H =柱顶标高+基础顶面标高的绝对值-初步拟定的基础高度
上部柱高 H_u =柱顶标高-轨顶标高+轨道构造高度+吊车梁高



12.2.2 荷载计算

作用在排架上荷载主要为恒载和活载两类。

恒载：屋盖自重 F_1
 上柱自重 F_2
 下柱自重 F_3
 吊车梁自重 F_4
 围护结构自重 F_5

活载：屋面活载 F_6
 吊车荷载 T_{\max} D_{\max} D_{\min}
 均布风载 q_1 q_2 W

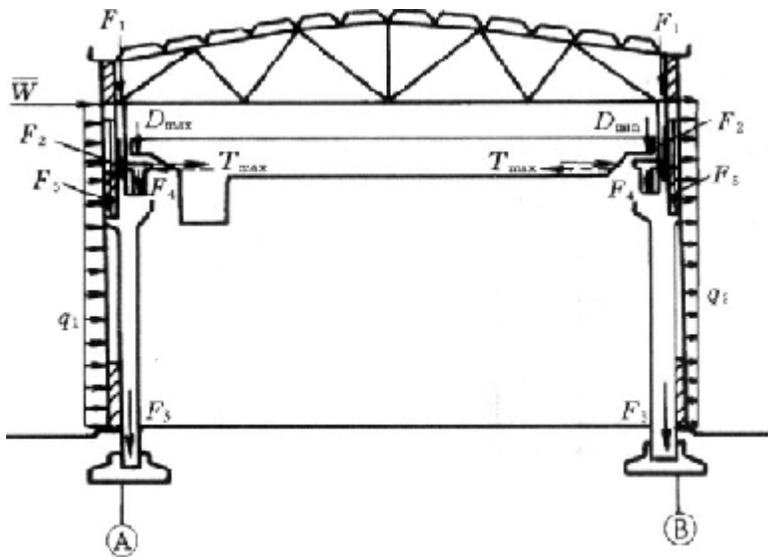


图 13-24 排架荷载示意图

这里应注意重力荷载对轴是偏心的，故除产生轴外还会引起弯矩、剪力等。

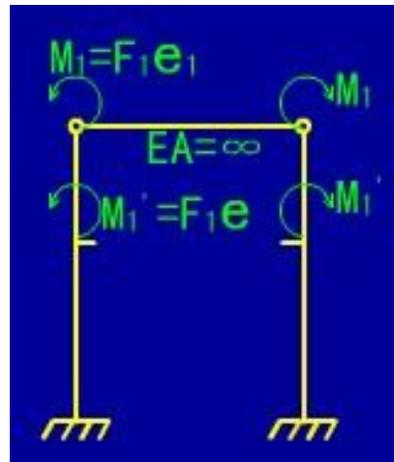
1. 恒载

(1) 屋盖恒载 F_1

组成：面屋、屋架自重、屋盖支撑系统重量（可按 $50N/m^2$ 考虑）。

F_1 经过屋架支座传给柱顶、屋架为端端节点处上弦与下弦中心线的交点作用在柱上，屋面梁为通过梁端支承垫板的中心线作用在柱顶，一般设计规定 F_1 作用点位于厂房定位轴线内150mm处，上

柱截面高度 $\leq 400mm$ 故 F_1 总是偏心于上柱轴线，其偏心距 $e_1 = \frac{h_1}{2} - 150$ ，弯矩 $M_1 = F_1 \cdot e_1$ 。



(2) 柱自重 F_2, F_3

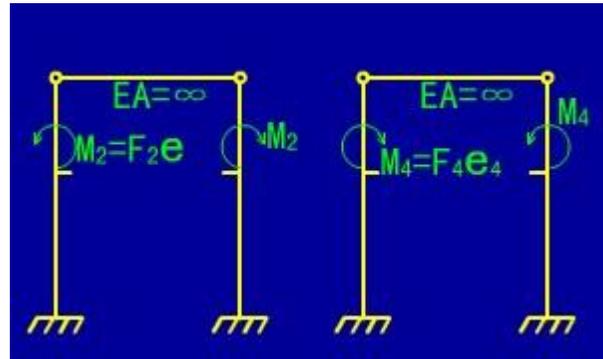
F_2 与上柱重心线重合, F_3 与下柱重心线吻合。

(3) 吊车梁自重 F_4

吊车梁自重按型号确定, 轨道自重按 $1\text{kN}\sim 2\text{kN}/\text{m}$ 估算。

F_4 离定位轴线距离 750mm , 即吊车梁轨道重心线, 并在牛腿顶面,

故对封闭轴线结构, 对上柱重心线的偏心距 $e_4 = 750 - \frac{h_2}{2}$, 弯矩 $M_4 = F_4 e_4$

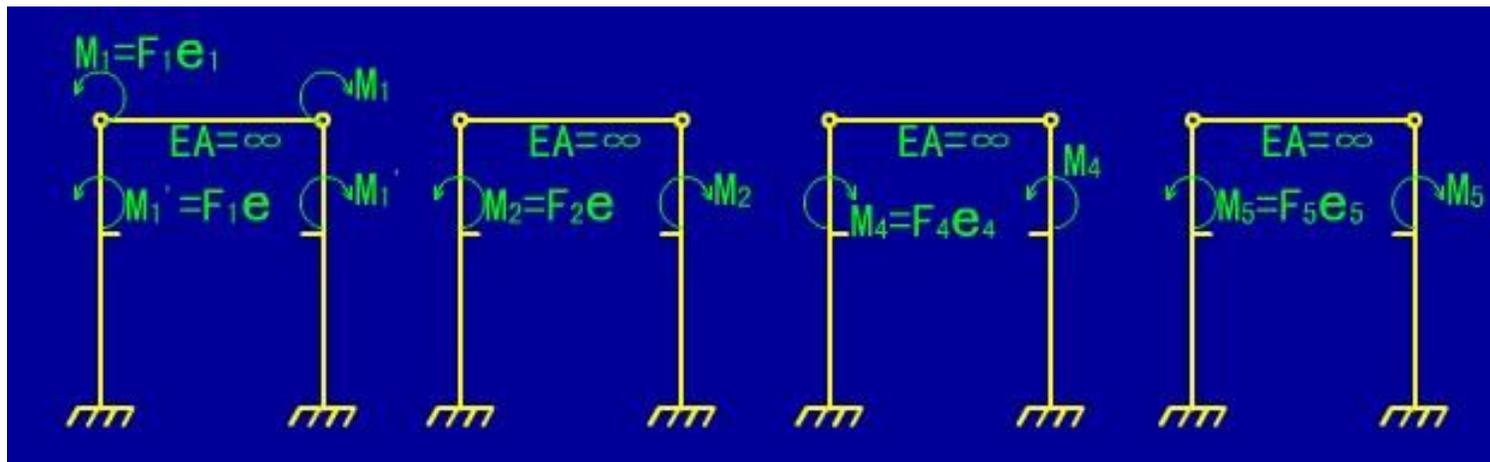


(4) 墙重 F_5

砌于基础梁上墙体，对柱无竖向力作用，仅将水平风力传给柱子，砌于连系梁上墙自重传给柱子，若设墙厚 d ，则对下柱重心线的

$$\text{偏心距为 } e_5 = \frac{d}{2} + \frac{h_2}{2} \quad .$$

为便于内力计算需将上、下柱存在偏心距的折杆改造成直杆，此改造必须维持与原计算图式的内力等效，即对 F_1 来说，将移至上柱形心后并附以力矩 $F_1 e_1$ ，还同时应考虑对下柱偏心的影响，在变阶处加 $F_1 e$ 才能与原图式的内力等效，同理还可做出 F_2 ， F_3 ， F_5 ， F_4 的简图。



(因轴力不产生弯矩和剪力，故不需通排架计算)

2. 屋面活载 F_0

包括：屋面均布活载、雪荷载和屋面积灰荷载三种，均按屋面水平投影面积计算。

(1) 屋面均布活载

由荷载规范中的表4.3.1采用，一般不上人屋面为 0.7kN/m^2 ，若施工荷载较大时可按实际采用。

(2) 雪荷载

其标准值为： $S_k = \mu_r \cdot S_0$

式中： S_0 -基本风压，由空旷地面上50年，是最大积雪重量确定（ kN/m^2 ）

μ_r --屋面积雪分布系统，由屋顶形式，查“荷载规范”中的表6.2.1采用。

注意：排架计算时，可按积雪全跨均匀分布考虑，取 $\mu_r = 1$ 。

(3) 屋面积灰荷载

主要针对有积灰生产的厂房，对于具有一定除尘制度的机械、水泥厂的厂房屋面，可以由荷载规范确定，对于屋面上形成灰堆时，在设计屋面板、檩条时，其积灰荷载标准值宜乘以增大系数：在高低跨处两倍于屋面高差，但不大于6m的分布宽度内取0.2，在天沟处不大于3m的分布宽度内取1.4。

(4) 屋面活载取法

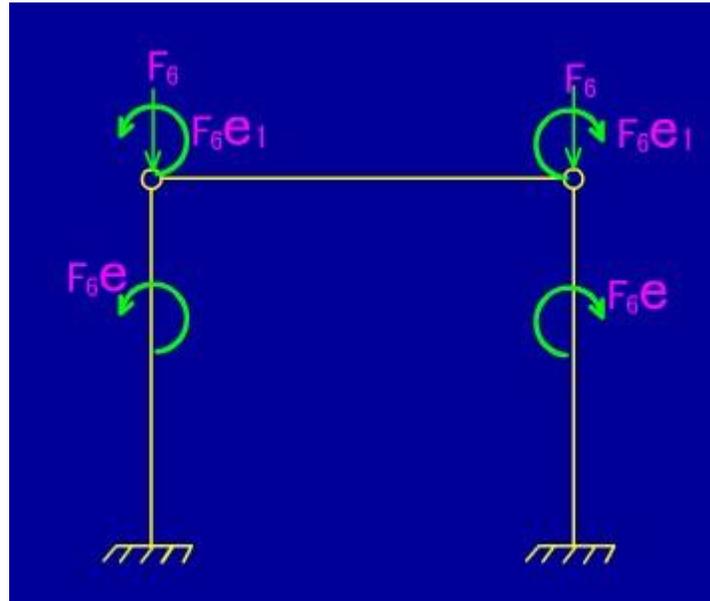
屋面均布活载不与雪载同时考虑，仅取两者中的大值与屋面积灰荷载一起组合。

(5) 计算简图

与 K_1 类似

(6) 分项系数

均为: $\gamma_Q = 1.4$



3. 吊车荷载

吊车荷载是单层厂房结构中最主要的荷载之一，按吊车生产中使用的频度将桥式吊车分为特重级、重级、中级和轻级四种工作制。

吊车开动时间/全部生产时间：

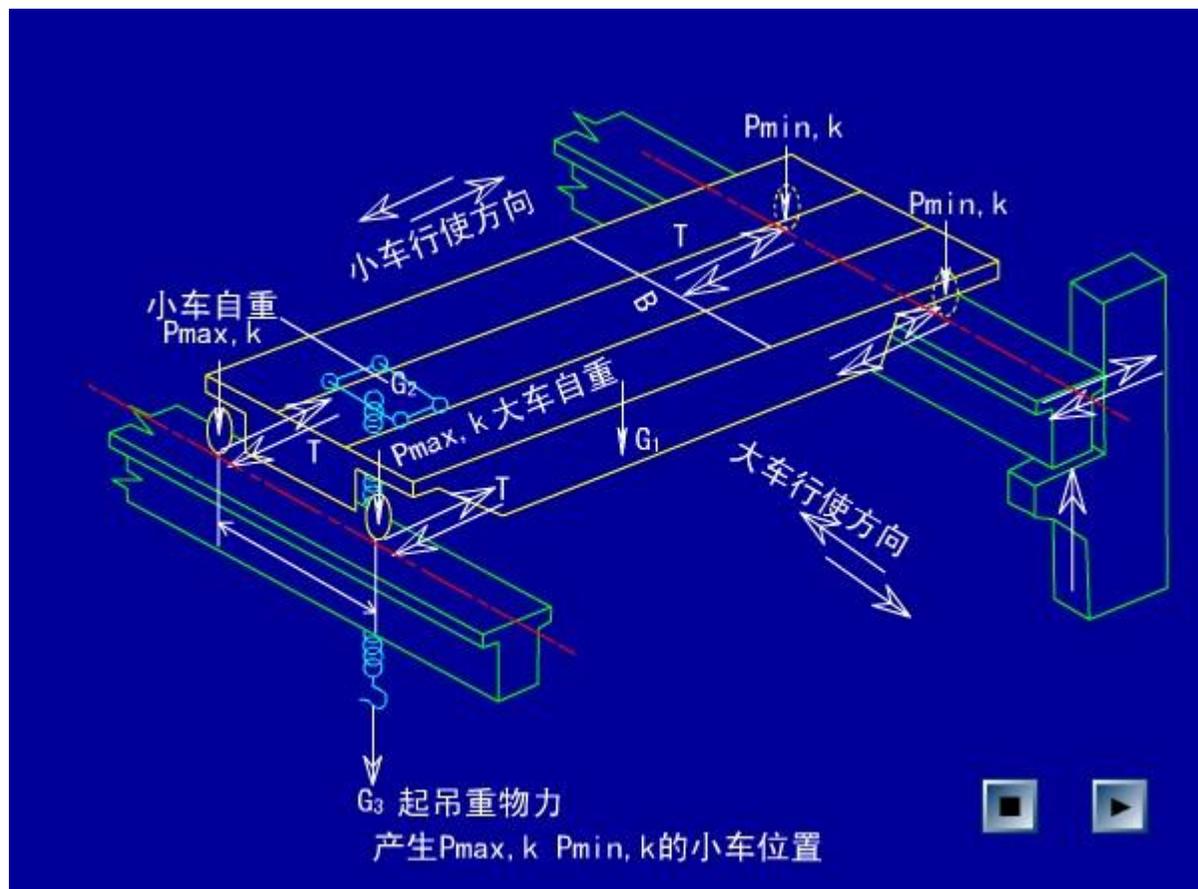
=15%，轻级，适用于安装、检修车间。

=25%，中级，适用于金工或装配车间。

≥40%，重级，适用于冶炼，轧钢车间。

吊车直接参加工作的，特重级。

另外厂房中常用的吊车分为悬挂吊车、手动吊车、电动葫芦以及桥式吊车等。一般是悬挂吊车的水平荷载由支撑系统承担，手动吊车和电动葫芦的水平力一般较小，可不计，桥式吊车水平，竖向荷载较大，必须予以考虑。吊车荷载分为竖向、横向两种。



(1) 作用在排架上的吊车竖向荷载设计值 D_{\max} , D_{\min} 。

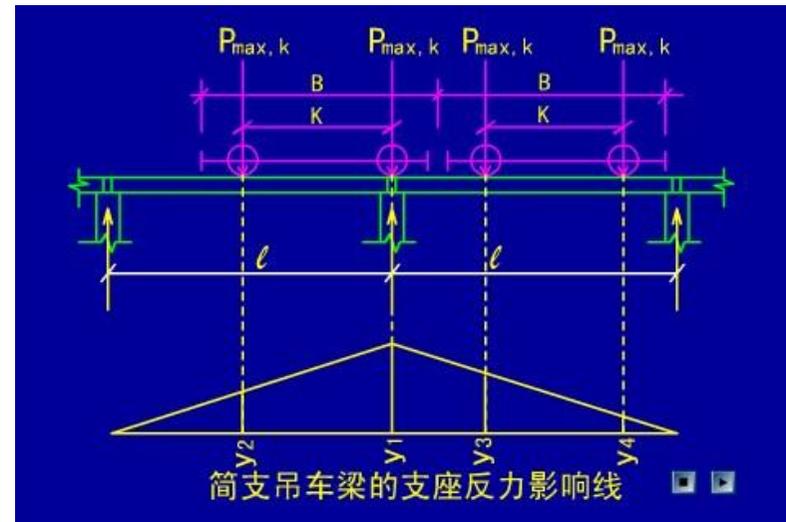
吊车由大、小车组成，大车负责纵向移动，而小车则为左右的横向移动，显然当小车移至大车某一端部时，在该处产生的轮压为 $P_{\max,k}$ ；而另一端则为最小轮压 $P_{\min,k}$ 。

$$2(P_{\max,k} + P_{\min,k}) = G_{1,k} + G_{2,k} + G_{3,k}$$

大车自重标准值 | 小车自重标准值

——与额定起吊质量 Q 相应的重力标准值

$$P_{\min,k} = \frac{G_{1,k} + G_{2,k} + G_{3,k}}{2} - P_{\max,k}$$



在 $P_{\max,k}$, $P_{\min,k}$ 作用下吊车梁传给柱子的竖向荷载, 可以由在移动荷载作用下的影响线方法求得, 即事先应确定移动荷载数目, 即考虑吊车台数, 规范规定: 对一层单跨厂房只要考虑不多于两台吊车, (只有在得到充分保证条件下才能只考虑一台), 对于一层多跨厂房, 按不超过四台吊车考虑, 下面仅以考虑两台吊车的情况为例说明 D_{\max} D_{\min} , 计算. B牛腿受到的支座反力 R_B 的影响线如图所示。

B最大支座反力 R_B

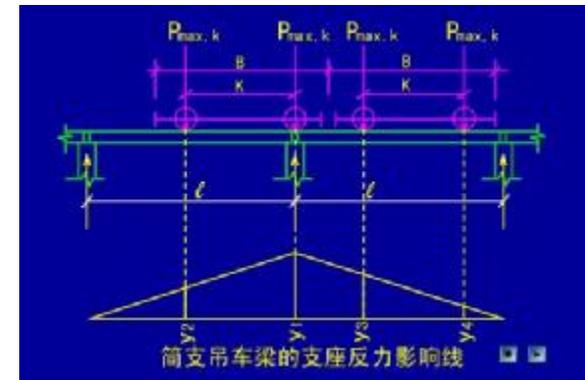
$$D_{\max,k} = P_{\max,k} (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \xrightarrow{\text{考虑多台吊车同时作用可能性小}} D_{\max,k} = \beta P_{\max,k} \sum y_i$$

B最小支座反力 R_B (另一侧)

$$D_{\min,k} = \beta P_{\min,k} \sum y_i - D_{\max,k} \cdot \frac{P_{\min,k}}{P_{\max,k}}$$

式中 β -- 多台吊车的荷载折减系数, 按表13-3取值。

$\sum y_i$ -- 各大轮子下影响线纵坐标值的总和。



显然, $D_{\min,k}$, $D_{\max,k}$ 即为最不利的竖向吊车荷载,

同时发生在两边相应的设计值为

$$D_{\max} = \gamma_Q \cdot D_{\max,k}, \quad D_{\min} = \gamma_Q D_{\min,k}, \quad \gamma_Q = 1.4, \quad D_{\max}, \quad D_{\min}$$

对下部柱都是偏心力, 其弯矩为

$$M_{\max} = D_{\max} \cdot e_4, \quad M_{\min} = D_{\min} \cdot e_4$$

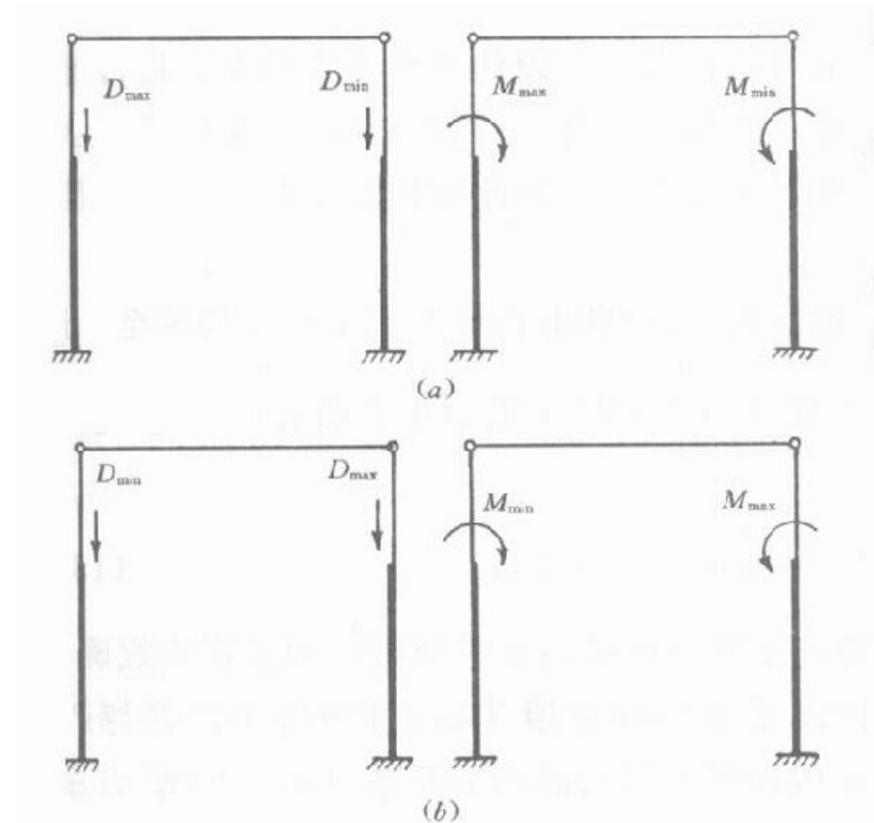
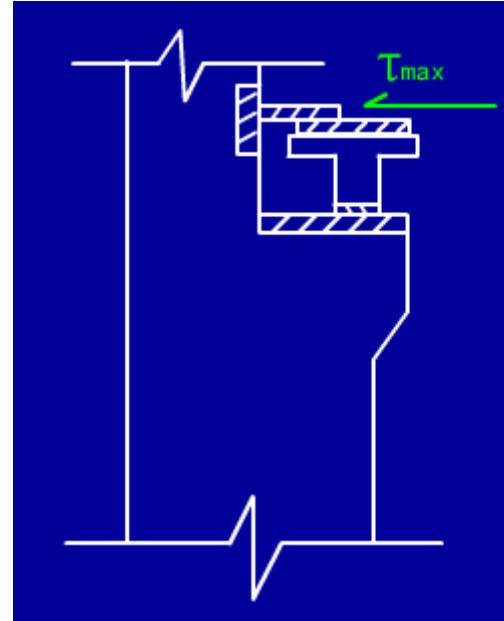


图 13-28 D_{\max} 、 D_{\min} 作用下单跨排架的两种荷载情况

(2) 作用在排架上的吊车横向水平荷载设计值 T_{max}

由于小车在刹车和启动时都会产生水平惯性力，它通过轮轨间摩擦力传给大车，再通过轨道传递给吊车梁，最近通过吊车梁与柱的连接刚板传给柱子，故吊车横向水平荷载作用位置位于吊车梁顶面。



吊车横向水平荷载标准值 $\sum T_{i,k} = \alpha (G_{2,k} + G_{3,k})$

现假定平均地分配给各轮子，即每个轮子传递的横向水平力为

$$T_k = \frac{\alpha (G_{2,k} + G_{3,k})}{n}$$

式中： α --吊车横向水平荷载系数，对于软钩吊车。

$$Q_3 \leq 100kN, \alpha = 0.12$$

$$150 \leq Q_3 \leq 500kN, \alpha = 0.1$$

$$Q_3 \geq 750kN, \alpha = 0.08$$

对于硬钩吊车 $\alpha = 0.2$

n --每台吊车的轮子数目，四轮吊车 $n=4$ 。

软钩吊车是指通过钢绳、吊钩起吊重物（常见）

硬钩吊车是指通过刚性体起吊重物（少用）

由于吊车是在移动，故同样要考虑最不利内力，类似于竖向吊车荷载。

$$T_{\max,k} = \beta T_k \sum y_i = \frac{1}{n} \alpha \beta (G_{2,k} + G_{3,k}) \sum y_i$$

若已求得 D_{\max} ，则得两台吊车作用下的 T_{\max} 为

$$\because D_{\max} = \gamma_Q \cdot D_{\max,k} = \gamma_Q \cdot \beta P_{\max,k} \sum y_i \Rightarrow \beta \sum y_i = \frac{D_{\max}}{\gamma_Q P_{\max,k}}$$

$$\therefore T_{\max} = \gamma_Q \cdot T_{\max,k} = \gamma_Q T_k \cdot \beta \sum y_i = D_{\max} \cdot \frac{T_k}{P_{\max,k}}$$

这里应注意：刹车可能向左、向右运行，故对单跨 T_{max} 作用方向有两种，对两跨有四种荷载作用情况。

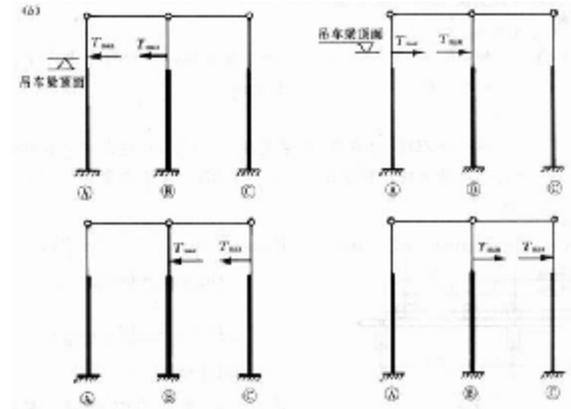
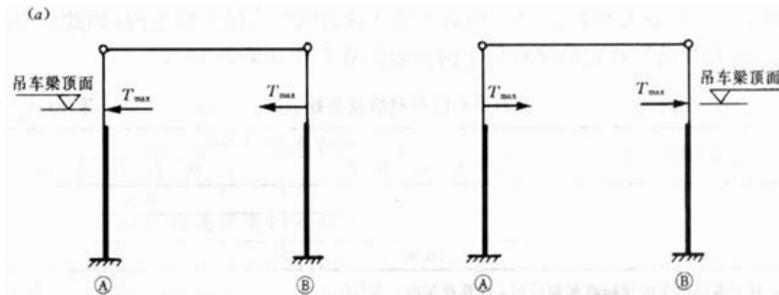


图 13-29 T_{max} 作用下单跨、两跨排架的荷载情况

(3) 纵向水平吊车荷载 (由纵向排架承受)

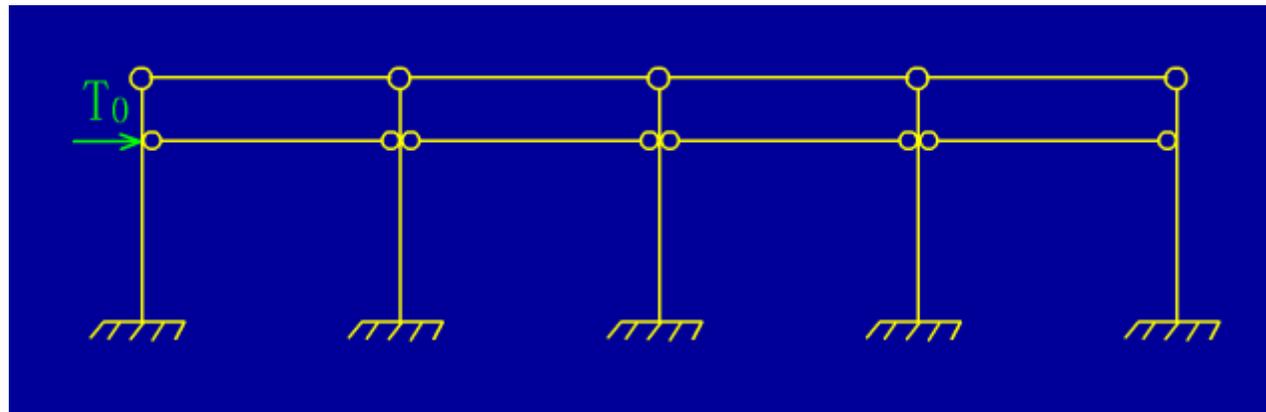
大车沿纵向启动或刹车也会产生相应的惯性力, 形成水平吊车荷载, 该荷载计算公式为

$$T_0 = n \cdot P_{\max} \cdot \alpha = \alpha \cdot n \cdot P_{\max}$$

式中: n --侧轨道上的轮压数目;

α --摩擦系数10%。

一般只考虑两台吊车, 若设柱间支撑时此荷载可认为由纵向支撑负担, 无柱间支撑时由各柱共同承担, 一般排架纵向刚度较大, 可不予考虑。



4. 风载

作用于建筑物表面上计算用的风压称为风荷载，计算式为

$$W_k = \beta_z \cdot \mu_s \cdot \mu_z \cdot W_0 \quad (\text{kN/m}^2)$$

式中： W_0 --基本风压标准值，它是在平坦空旷地面上离地 **10m** 高度处，统计得到的50年一遇10分钟平均最大风速 v_0 (m/s) 为标准，按 $W_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2$ 确定的风压， ρ 为空气的重力密度 (t/m^3)。

μ_s --体型系数，"+"为压，"- "为吸力；

μ_z --风压高度变化系数； $\beta_z = 1$

β_z --高度 处的风振系数，对单层厂房，。

在排架内力计算时，一般将柱顶面以上屋盖的风载的水平集中力形式作用于柱顶， \overline{W}_k 计算时风压高度变化系数按下确定：有矩形天窗时，按天窗檐口取值；无矩形天窗时，按厂房檐口标高取值。

$$\overline{W}_k = \overline{W}_{1k} + \overline{W}_{2k}$$

式中： \overline{W}_{1k} --作用在竖直面上风荷载标准值，按柱顶至檐口顶部的距离 h_1 计算；

\overline{W}_{2k} --作用在坡屋面上风荷载水平分力标准值的合力，按檐口顶部至屋脊的距离 h_2 计算。

$$\overline{W}_{2k} = F_2 - F_1 = \mu_{s2} \cdot \mu_z \cdot W_0 \cdot SB \cdot \text{Sin}\alpha - \mu_{s1} \cdot \mu_z \cdot W_0 \cdot SB \cdot \text{Sin}\alpha$$

$$\overline{W}_{2k} = (\mu_{s2} - \mu_{s1}) \cdot W_0 \cdot B \cdot h_2 \cdot \mu_z$$

└ 斜面竖方向投影

式中： μ_{s2}, μ_{s1} --分别为迎风 and 背风面上的体型系数；

B --计算单元的宽度；

μ_z --按前述规定取值的风压高度变化系数；

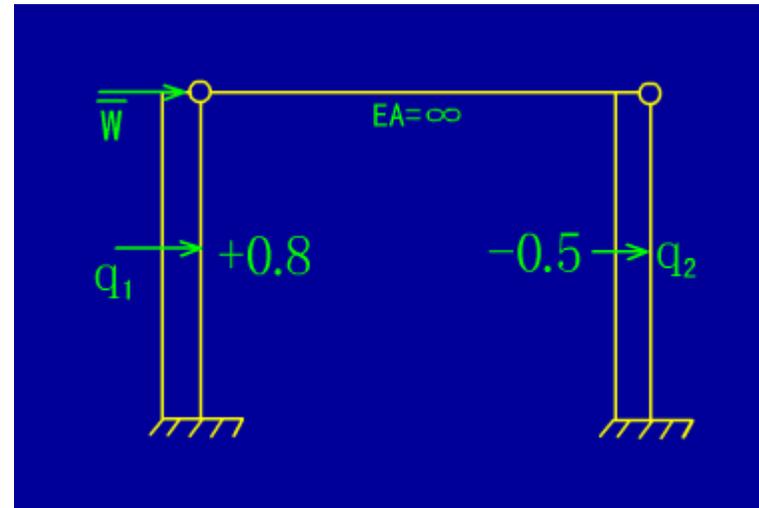
h_2 --坡高。

作用在柱顶下风载按均布考虑，风压高度变化系数取柱顶标高计算。

另外，风载计算可按全柱长考虑，忽略地坪以下部分实际天风大的有利因素。

风载设计值等于标准值乘以 γ_Q ， $\gamma_Q = 1.4$ 。

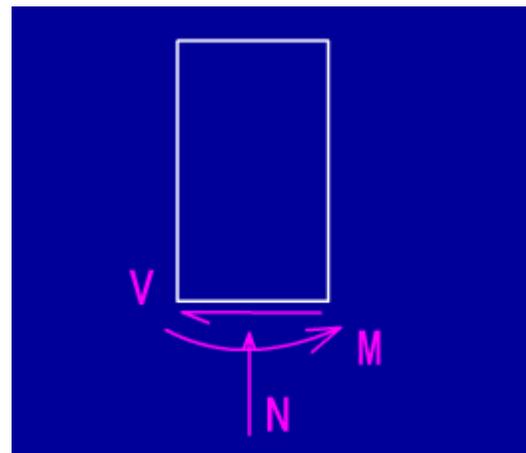
风载方向应考虑左、右两种。



12. 2. 3 用剪力分配法计算等高排架

1. 符号规定

弯矩以柱左侧受拉为正，剪力以使隔离体顺时针转为正，轴力以压为正。



2. 剪力分配法

等高排架的特点：各柱柱顶水平位移相等。

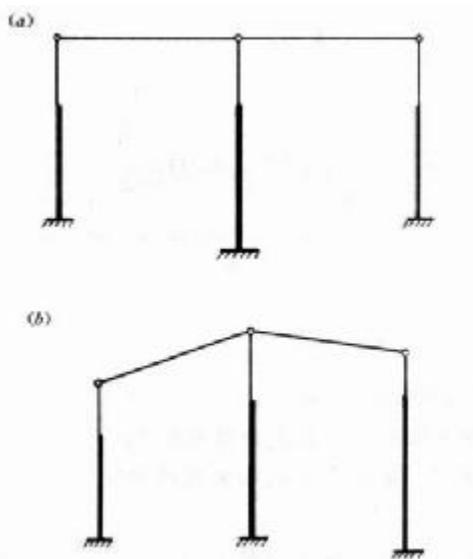


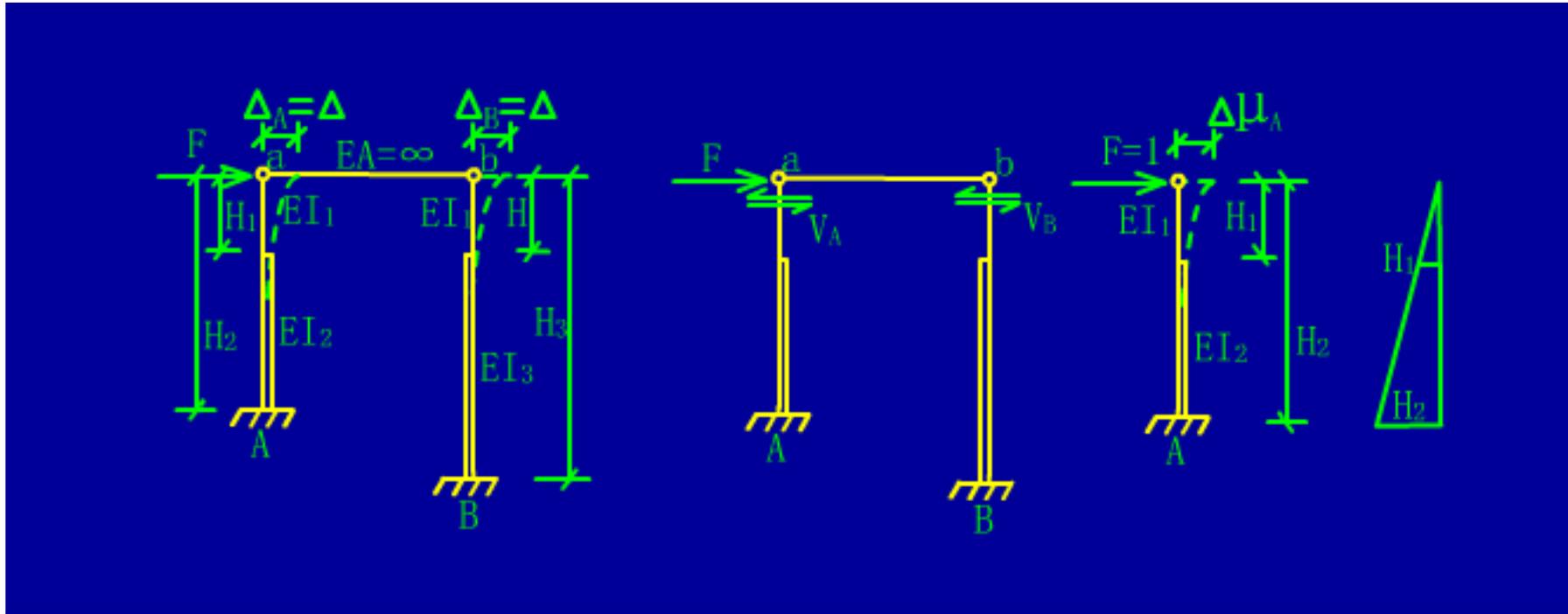
图 13-33 属于按等高排架计算的两种情况

它可由柱顶标高相等，或不等但由横梁贯通相连的两种。

剪力分配法非常适用这种排架的计算，所谓剪力分配法就是先求出柱顶剪力，然后将柱看成独立悬臂柱在剪力和外力作用下计算内力。

$$\text{变形条件 } \Delta = \Delta_A = \Delta_B$$

$$\text{平衡条件 } F = V_A + V_B$$



设A柱在单位水平力作用下的柱顶侧移为 Δu_A ，则

$$\Delta u_A = \frac{H_1}{6EI_1} (2H_1 \cdot H_1) + \frac{(H_2 - H_1)}{6EI_2} (2H_2H_2 + 2H_1H_1 + H_1H_2 + H_2H_1)$$

$$\Delta u_A = \frac{H_1^3}{3EI_1} + \frac{(H_2 - H_1)}{6EI_2} (2H_2^2 + 2H_1^2 + 2H_1H_2)$$

$$\Delta u_A = \frac{H_1^3}{3EI_1} + \frac{1}{3EI_2} (H_2^3 - H_1^3) = \frac{1}{3E} \left(\frac{H_1^3}{I_1} + \frac{H_2^3}{I_2} - \frac{H_1^3}{I_2} \right)$$

$$\Delta u_A = \frac{H_2^3}{3EI_2} \left(1 + \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^3 \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \left(\frac{H_1}{H} \right)^3 \right)$$

分 $\lambda = \frac{H_1}{H_2}$ ， $n = \frac{I_2}{I_1}$ ， $C_0 = \frac{3}{1 + \lambda^3 \left(\frac{1}{n} - 1 \right)}$ 则

$$\Delta u = \frac{H_2^3}{C_0 E_c I_2} \Rightarrow \frac{1}{\Delta u} = \frac{EI_2 \cdot C_0}{H_2^3} \quad \text{称为A柱的抗剪刚度}$$

同理，B柱抗剪刚度为

$$\frac{1}{\Delta u_B} = \frac{EI_3 C_0}{H_3^3}$$

由物理意义知

$$\frac{1}{\Delta u_A} = \frac{V_A}{\Delta_A} \quad \frac{1}{\Delta u_B} = \frac{V_B}{\Delta_B}$$

由平衡条件得

$$\frac{1}{\Delta u_A} \cdot \Delta_A + \frac{1}{\Delta u_B} \cdot \Delta_B = F$$

$$\left(\frac{1}{\Delta u_A} + \frac{1}{\Delta u_B} \right) \Delta = F \Rightarrow \Delta = \frac{F}{\frac{1}{\Delta u_A} + \frac{1}{\Delta u_B}}$$

代入前式得

$$V_A = \frac{1}{\Delta u_A} \cdot \Delta_A = \frac{\frac{1}{\Delta u_A}}{\frac{1}{\Delta u_A} + \frac{1}{\Delta u_B}} F = \eta_A \cdot F$$

$$V_B = \frac{1}{\Delta u_B} \cdot \Delta_B = \frac{\frac{1}{\Delta u_B}}{\frac{1}{\Delta u_A} + \frac{1}{\Delta u_B}} F = \eta_B \cdot F$$

η_A , η_B 分别称为A、B柱剪力分配系数，显然 $\eta_A + \eta_B = 1$

(2) 在任意荷载作用下

i) 解决思路

前已求出在顶点水平力作用时排架柱顶剪力计算，故应设法将任意荷载化成顶点水平力，由位移法启发，在柱顶加水平链杆，使各柱为一次超静定结构，然后求出超静定结构柱子的内力和附加水平链杆反力 R 。因为链杆是假设的，故应在排架上加一大小相等、方向相反水平力 R 来抵消，最后内力由两种情况叠加得到。

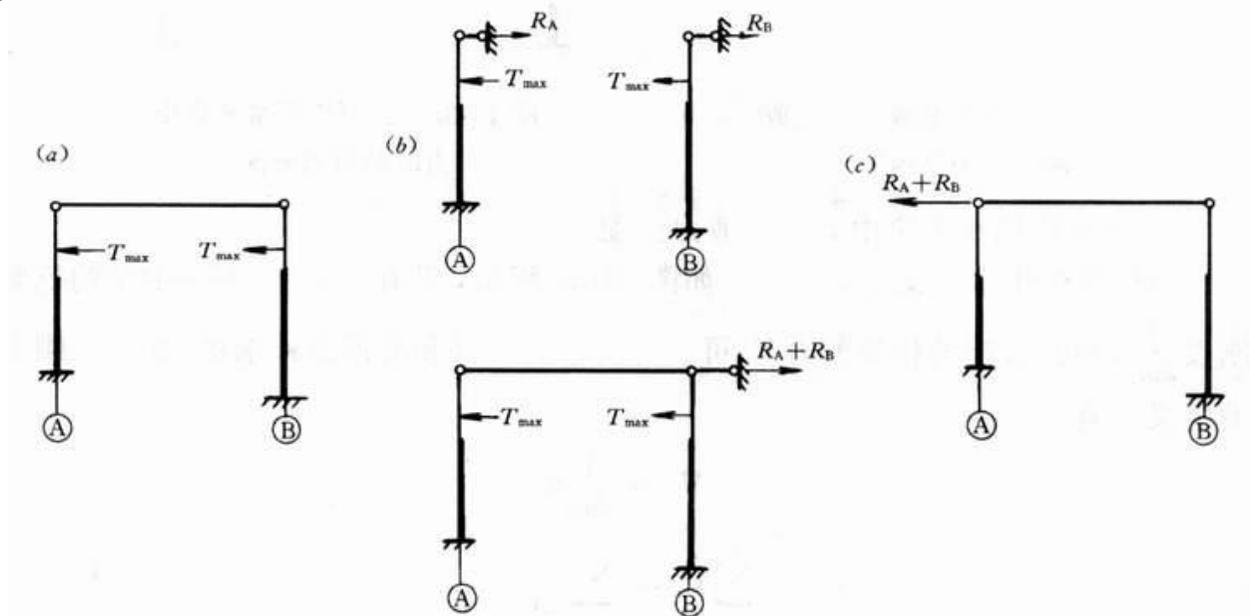


图 13-36 任意荷载作用时的剪力分配

ii) 解题步骤

- ① 附加水平链杆，并求各柱内力和柱顶反力 R ；
- ② 将 R 反向作用，但剪力分配法求各柱顶弯力；
- ③ 由①+②得最后内力。

12. 2. 4 单层厂房考虑空间作用的计算

厂房是一个空间结构，为简化前面忽略构件之间联系，尤其是屋盖体系和山墙对整体性的影响，分别按纵横两个平面排架考虑，这样做对沿纵向均匀分布的作用的恒载、风载比较合理，但对吊车荷载这种局部作用，上述方法的计算结果与实际情况相差较大，规范规定，只对吊车荷载作用考虑结构空间作用的影响，对其他荷载不予考虑。

1. 空间作用的概念

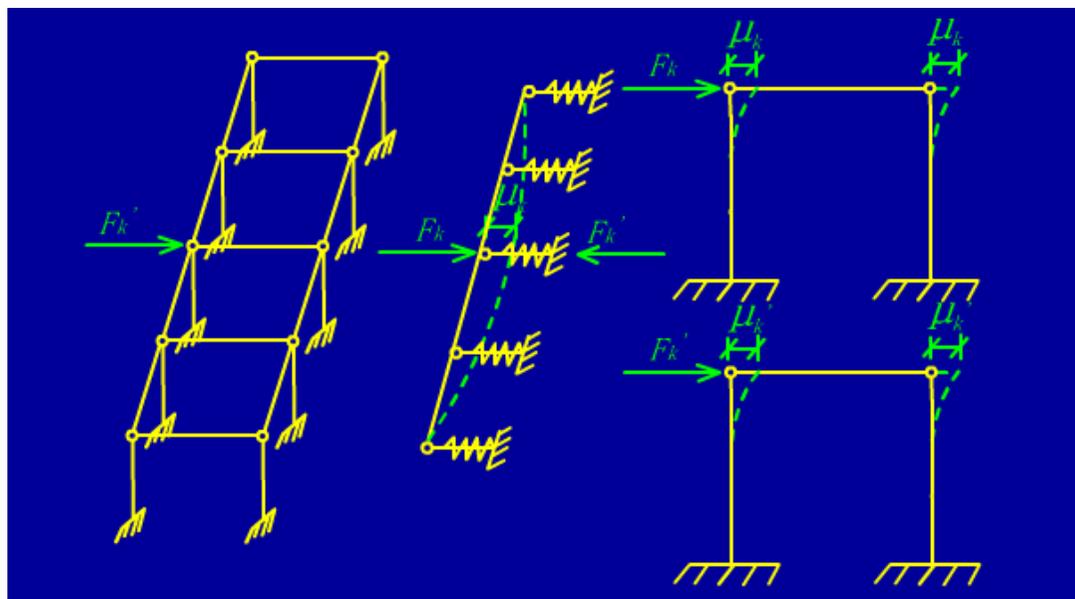
先考察单跨厂房在某一柱顶水平集中力作用下的空间作用，将屋盖看成一个很宽的“水平梁”，各柱在水平方向作用时犹如弹性支座，故可作为弹性地基梁处理。

在 F_k 作用下，实际平面排架受到 F_k , F_k 同“水平梁”抗弯、剪刚度直接有关。若屋盖平面内刚度无穷大，则各榀排架受到的力均相等，若平面内刚度无穷小， F_k 全部由该受力排架承担，即按不考虑空间作用的平面排架内力分析，实际情况介于两者之中，直接受力排架承担 $m_k F_k$ ，但比相邻排架大。

称 $m_k = \frac{F_k'}{F_k}$ 为单个荷载作用下的空间作用分配系数，由于

实则困难，
考虑到弹性结构中力与位移成正比，

$$\text{故 } m_k = \frac{F_k'}{F_k} = \frac{u_k'}{u_k}$$



物理含义：对于空间结构中施加于某榀排架柱顶 F_k ，其实际受到的力为 $m_k \cdot F_k$ 。

空间作用的影响因素:

- ①屋盖刚度: 刚度愈大, 空间作用愈显著 (η 愈小),
故有檩屋盖体系比无檩体系空间作用小; 跨度愈大, 空间作用愈好;
- ②两端有山墙的空间作用比无山墙的好;
- ③厂房长度, 对于两端有山墙的, 长度增大山墙作用减小, 空间作用小;
对于两端无山墙的, 长度增大, 空间作用大;
- ④直接受力排架刚度愈小, 空间作用大。

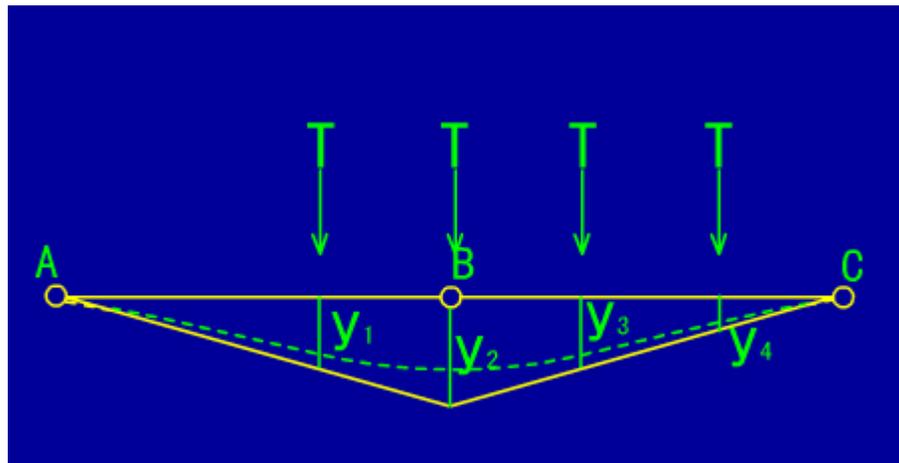
2. 单跨厂房在吊车荷载作用下的空间作用分配系数m

前面讨论了单个荷载作用的情况，现考虑吊车荷载情况，由前述吊车横向水平荷载 T_{\max} ，作用在吊车梁顶面， $T_{\max} = T \sum y_i$ ，此时影响线并没有考虑空间作用，实际上即使T远离B柱很远，因空间作用B柱边有反力，反之，即使B柱直接作用下，则B柱反力也小于T。

$$T'_{\max} = T \sum y'_i, \quad \sum y'_i < \sum y_i$$

$$m = \frac{T'_{\max}}{T_{\max}} = \frac{\sum y'_i}{\sum y_i} < 1$$

经过调整后的m值见表13-7



3. 排架考虑空间作用的实用算法

在吊车竖向和横向水平荷载作用下考虑空间作用的计算可类似剪力分配法进行。

①增设附加链杆，求固端剪力和附加链杆反力 R ；

②将 R 反向作用于原排架，因空间作用排架柱顶存在弹簧支座，即以 R' 抵消部分 R ，故去掉弹簧支座时应加上 R' ，即实际受到的力为 $R_0 = R - R' = mR$ ；

③将固端剪力和分配剪力得到柱顶剪力；

④按悬臂柱在柱顶剪力和处力共同作用下求内力。

12. 2. 5 内力组合

在设计时应求得最不利内力，是指控制截面。

1. 控制截面

在荷载作用下柱子的内力是沿柱高变化的，故设计时应选内力较大、

截面尺寸较小，也即较易发生破坏的截面为控制截面。在设计时只需对控制截面进行内力组合、配筋，即能保证柱子安全，对单阶柱其控制截面如下：

- ① 上柱底截面--内力大，截面小；
- ② 牛腿顶面--截面处弯矩大（吊车荷载引起）；
- ③ 下柱底截面--在风大和吊车横向水平力作用下，此截面弯矩最大，而且上截面内力也是基础设计所需要。

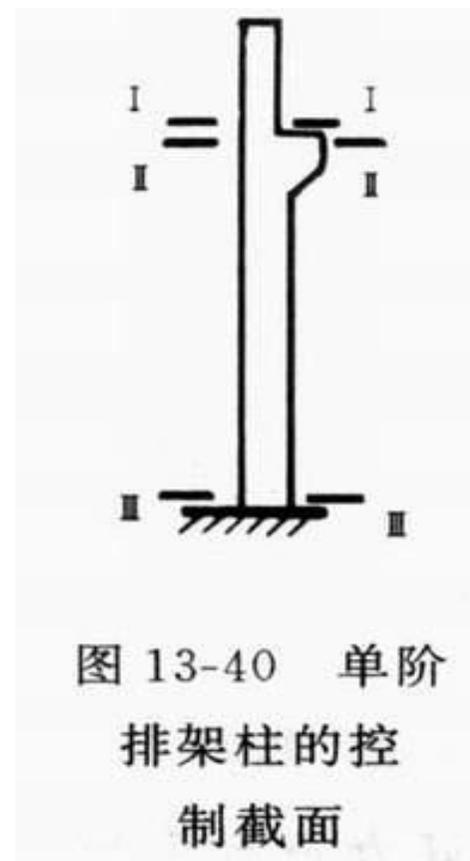


图 13-40 单阶
排架柱的控制
截面

2. 荷载组合

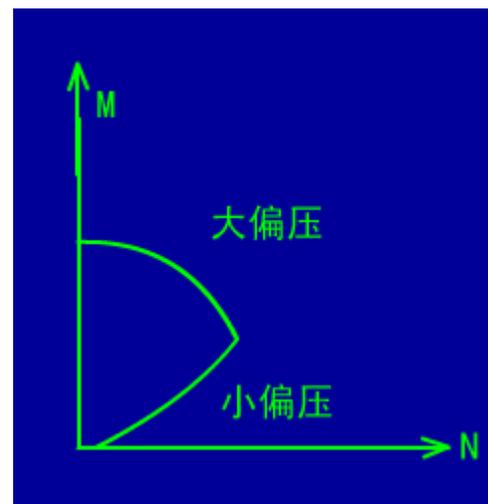
活载同时出现可能性（且同时达到设计值）较少，故应考虑其组合,规范认为:

- ① 恒载+任一活载;
- ② 恒载+0.85（任两个或以上活载之和）。

3. 内力组合

排架柱为偏压构件，通常采用对称配筋，由上册知，在N不变时，否认大小偏压，M愈大愈危险，也即需要的配筋愈多，而M不变时，对于小偏压，N愈大愈危险，配筋愈多，对大偏压时，N愈小，愈危险，配筋愈多。在未知大小偏压时，需考虑以下四种组合情况:

- ① $+M_{\max}$ 及时相应N、V;
- ② M_{\min} 及相应N、V;
- ③ N_{\max} 及相应的N、V;
- ④ N_{\min} 及相应的N、V。



在内力组合时注意点:

- ① 每项组合必有恒载;
- ② 吊车荷载有T必有D, 但有D不一定有T;
- ③ 在 N_{\max} 或 N_{\min} 组合时, 相应的M应尽量大;
- ④ 一根柱上只可能在一跨取一竖向吊车大, 即 D_{\max} 或 D_{\min} ;
- ⑤ 若求 M_{\max} 时, 发现 M_1 比 M_{\max} 略小, 但相就N要小得多, 应考虑此组合;
- ⑥ T_{\max} 同时作用在左右两柱, 方向可左右;
- ⑦ 风大有左右=方向之考虑;
- ⑧ 多台吊车应考虑组合折减系数。

内车组合表及例子:

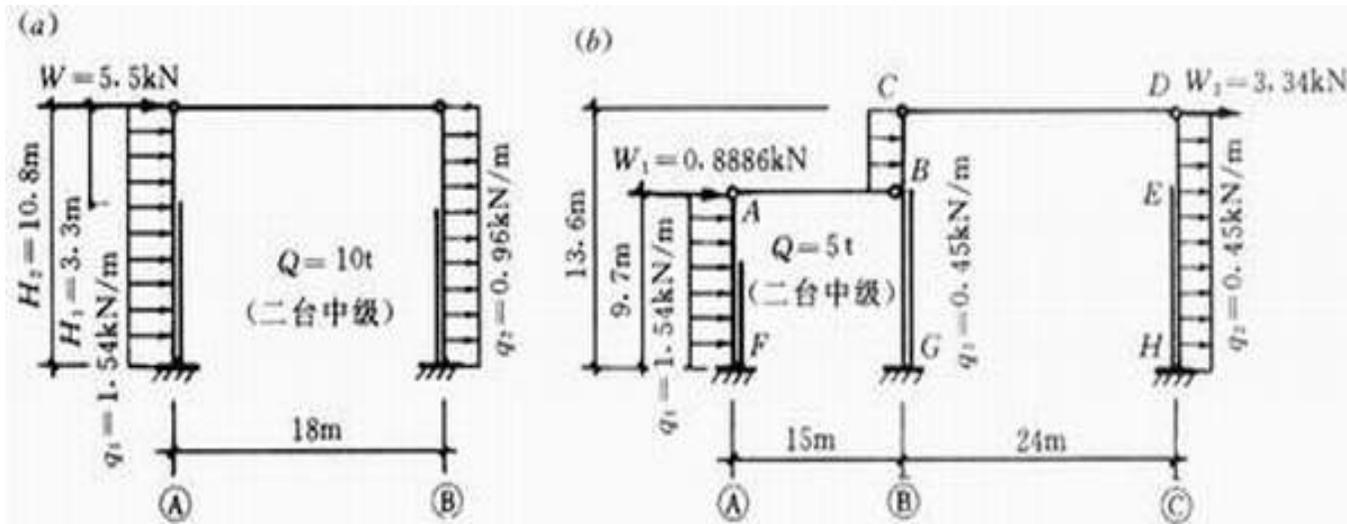
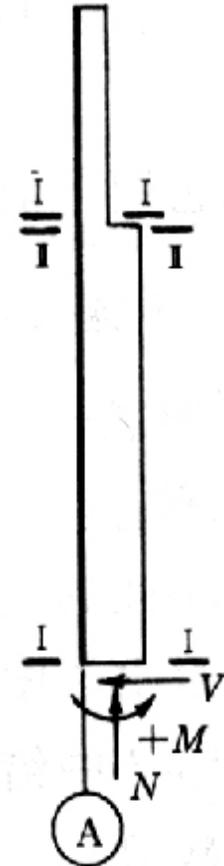
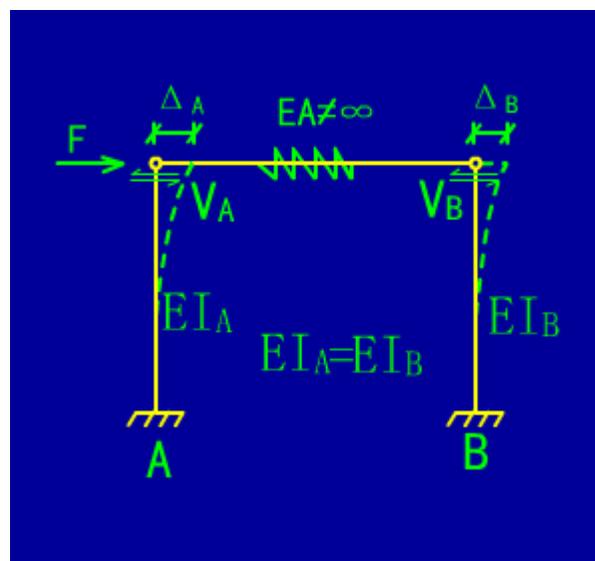
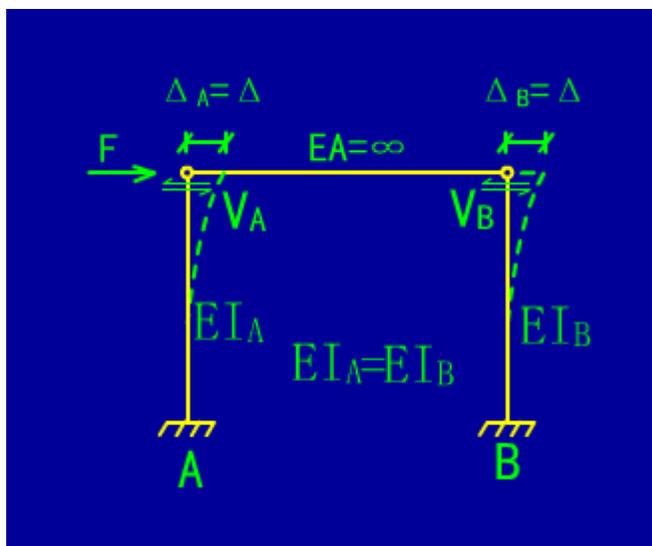


图 13-41 内力组合表 13-5 和表 13-6 中的排架计算简图



12. 2. 6 排架计算中的几个问题

1. 柔性排架的计算时，横向轴向变形不能忽略时，应按柔性排架计算，现分析 $EA = \infty$ 和 $EA \neq \infty$ 两种情况的受力。



$$\because EA = \infty \quad \therefore \Delta_A = \Delta_B \Rightarrow V_A = V_B = \frac{F}{2}$$

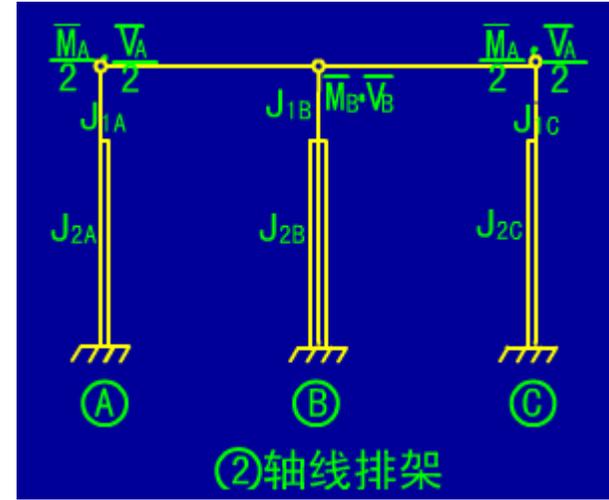
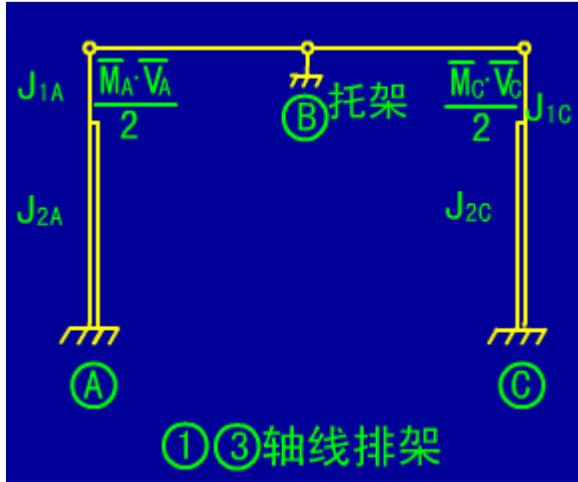
$$\because EA \neq \infty \quad \therefore \Delta_A > \Delta_B \Rightarrow V_A > \frac{F}{2} \quad V_B < \frac{F}{2}$$

	外柱受力时	内柱受力时
单跨排架	1.05 ~ 1.115	~
双跨排架	1.6 ~ 1.7	1.4 ~ 1.6
三跨排架	2 ~ 2.2	1.8 ~ 1.9

故柔性排架按刚性排架计算，其受力柱的柱顶剪力是偏于不安全，故按刚性排架计算，其受力柱柱顶剪力乘以扩大系数。

2. 排架柱距不等时的计算

因工艺上要求在局部处需将柱距增大，即所谓"抽柱"情况。



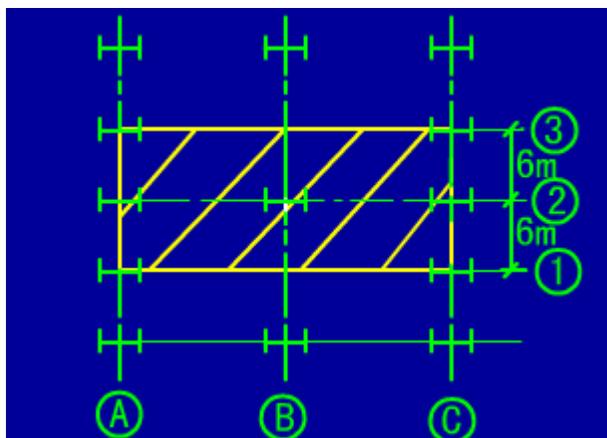
将排架合并为"合并排架"并注意：

- ①计算单元宽度 $\geq 24m$ ，否则各柱间位移不等；
- ②"合并排架"边柱为 $2J_A$ ， $2J_C$ ，中柱为 J_B ；
- ③荷载计算时，除吊车荷载外，其余按计算单元宽度考虑；
- ④"合并排架"吊车荷载以中间排架②产生 D_{2max} ， D_{2min} ， T_{2max} 吊车位置考虑，即：

$$D_{max} = D_{2max} + \frac{D_1}{2} + \frac{D_2}{2} = D_{max} \sum y_i \quad (\text{以} 2m \text{跨为影响线})$$

$$D_{min} = P_{min} \sum y_i = D_{max} \cdot \frac{P_{min}}{P_{max}}$$

$$T_{max} = T \sum y_i = D_{max} \cdot \frac{J}{P_{max}}$$



⑤由"合并排架"求得的 \overline{M} , \overline{V} , \overline{N} , 再分还原排架

$$\text{A柱: } M_A = \frac{1}{2} \overline{M}_A \quad V_A = \frac{1}{2} \overline{V}_A \quad N_A = \frac{1}{2} \overline{N}_A$$

$$\text{C柱: } M_C = \frac{1}{2} \overline{M}_C \quad V_C = \frac{1}{2} \overline{V}_C \quad N_C = \frac{1}{2} \overline{N}_C$$

$$\text{B柱: } M_B = \frac{1}{2} \overline{M}_B \quad V_B = \frac{1}{2} \overline{V}_B \quad N_B = \frac{1}{2} \overline{N}_B$$

应注意：吊车引起的轴力按实际考虑。

3. 排架的水平位移验算

一般按表13-8初步尺寸都能保证排架的横向刚度，即不需验算它的水平位移值，但在吊车吨位较大时，还须对此验算，一般水平位移的控制取吊车梁顶与柱连接点K的水平位移值。

一般验算位移，只需考虑一台最大的吊车，允许值 u_k 如下。

- (1) $u_k \leq 5mm$ ，不验算相对水平位移值；
- (2) $5mm < u_k < 10mm$ $\frac{u_k}{H_k} < \frac{1}{1800}$ 轻, 中级

(2) $\frac{u_k}{H_k} < \frac{1}{2200}$ 重级

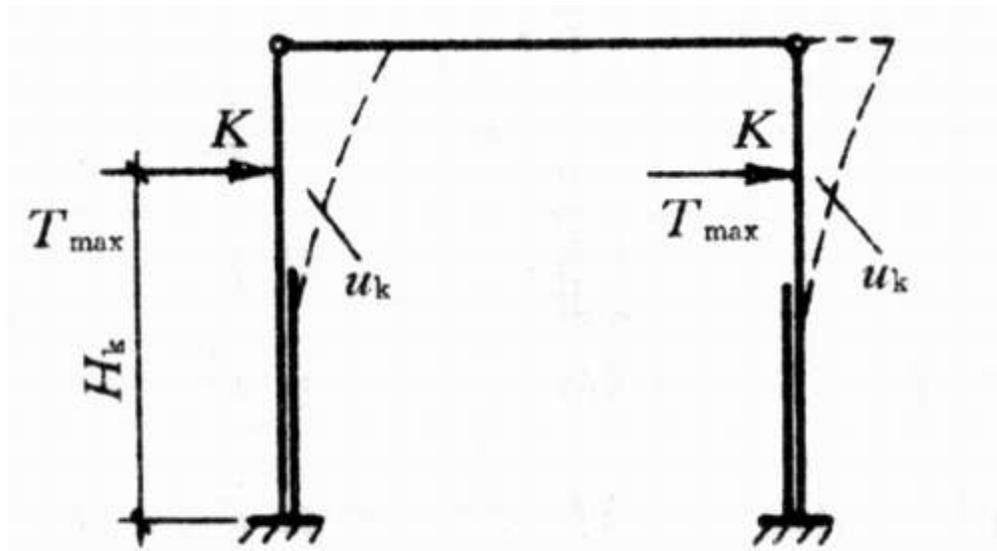


图 13-48 排架水平位移的验算

在计算 u_k 时柱子截面弯曲刚度

$$B_1 = 0.85 E_c I_0$$

└─ 换算截面惯性矩

4. 吊车梁反力差产生的纵向矩 M_y

显然在柱两侧吊车梁的竖向反力 $R_1 \neq R_2$ 则在牛腿面处产生纵向力矩 M_y ，其最大值为 $M_{y\max} = \Delta R_{\max} e$

式中： ΔR_{\max} --吊车梁的最大反力差， $\Delta R_{\max} = (R_1 - R_2)_{\max}$ ；
 e --吊车梁反力的偏心矩（按线性分布验算）。

一般，I字形柱，双肢柱的柱距 $\leq 9m$ ， $m_3 \geq 50t$ 时，均应考虑 $M_{y\max}$ ，

$M_{y\max}$ 均由直接作用的柱承受，实腹柱和双肢柱由 $M_{y\max}$ 产生内力图，见图13-50。

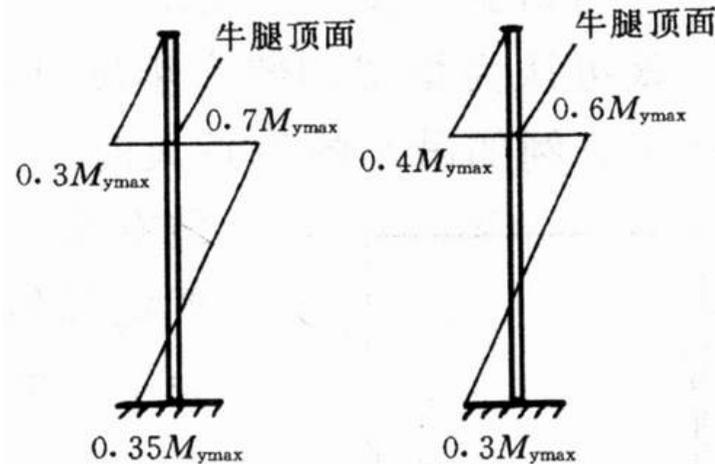
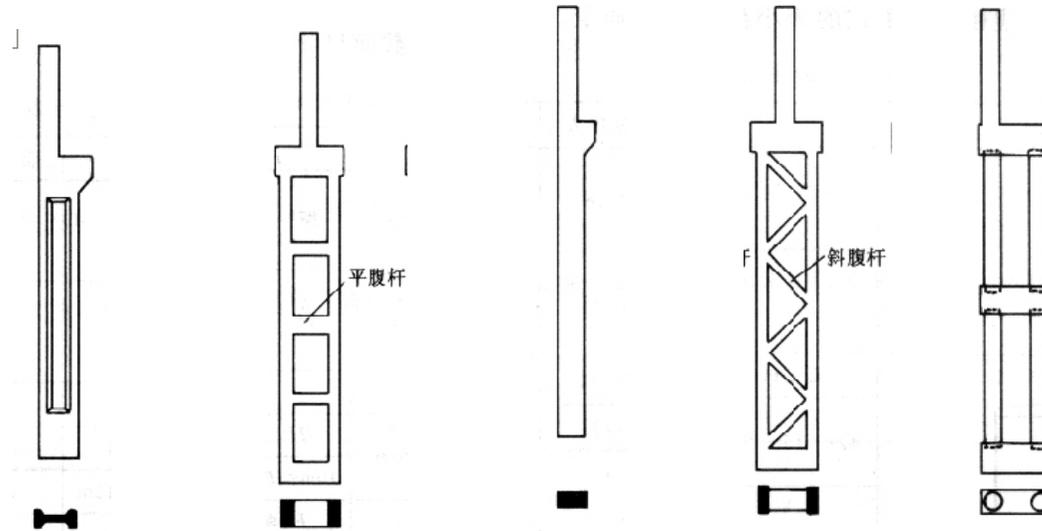


图 13-50 由 $M_{y,\max}$ 产生的柱弯矩图

应注意，此弯矩是纵向，故实际柱截面配筋应按双向偏心受压进行计算。

§ 12.3 单层厂房柱



2. 3. 1 柱的型式

1) 造型原则

- ① 一般为预制柱;
- ② 受力合理、体型简单、节约材料、维护简便;
- ③ 在同一工程中柱型及规格不宜过多。

2) 常用柱型

(1) 矩形柱 (实腹)

外形构造简单、施工方便，但经济性较差，常用于尺寸截面小的柱及吊车梁上的小柱。

(2) 工字形柱

受力性能和经济性较好，但 $h > 1600mm$ 吊装有困难。

(3) 双肢柱

它由两个肢杆和腹杆连接而成，肢杆主要承受轴向压力，便于发挥混凝土的优点，在制作时有平腹杆和斜腹杆两种，前者构造简单，便于利用矩形孔洞来布置工艺管道，后者具有桁架特点，受力合理，但施工复杂。

(4) 管柱

形式上分为单肢、双肢及四肢管柱，最大优点是采用高速离心法生产，适合工业化生产。

(5) 按截面高度选择柱形的参考值

$h \leq 600mm$ 时	矩形
$h = (600 \sim 800)mm$ 时	工字形或矩形
$h = (900 \sim 1400)mm$ 时	工字形
$h > 1400mm$ 时	双肢柱

另应注意:

- ①对设有悬臂吊车，壁行吊车的柱子，采用矩形实腹柱；
- ②抗震设防烈度为 8° 和 9° 时，采用矩形，工字形和斜腹杆双肢柱。

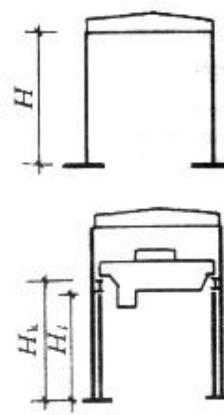
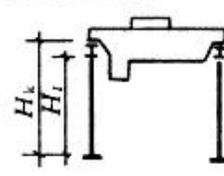
12. 3. 2 矩形、工字形柱的设计

1. 柱子截面尺寸和外形构造尺寸

柱子除满足承载力外，还应有足够的刚度，否则会使厂房的横向变形过大，使吊车轮子和轨道过早磨损，妨碍吊车正常运行，若按表13-8确定截面尺寸，则可认为满足刚度要求。

6m 柱距实腹柱截面尺寸参考表

表 13-8

项 目	简 图	分 项		截面高度 h	截面宽度 b
无吊车 厂房		单 跨		$\geq H/18$	$\geq H/30$, 并 $\geq 300\text{mm}$;
		多 跨		$\geq H/20$	管柱 $r \geq H/105$ $D \geq 300\text{mm}$
有吊车 厂房		$Q \leq 10\text{t}$		$\geq H_k/14$	$\geq H_i/20$, 并 $\geq 400\text{mm}$ 管柱 $r \geq H_i/85$ $D \geq 400\text{mm}$
		$Q = (15 \sim 20)\text{t}$	$H_k \leq 10\text{m}$	$\geq H_k/11$	
			$10\text{m} < H_k \leq 12\text{m}$	$H_k/12$	
		$Q = 30\text{t}$	$H_k \leq 10\text{m}$	$\geq H_k/9$	
			$H_k > 12\text{m}$	$H_k/10$	
		$Q = 50\text{t}$	$H_k \leq 11\text{m}$	$\geq H_k/9$	
			$H_k \geq 13\text{m}$	$H_k/11$	
		$Q = (75 \sim 100)\text{t}$	$H_k \leq 12\text{m}$	$\geq H_k/9$	
$H_k \geq 14\text{m}$	$H_k/8$				
露天栈桥		$Q \leq 10\text{t}$		$H_k/10$	$\geq H_i/25$, 并 $\geq 500\text{mm}$ 管柱 $r \geq H_i/70$ $D \geq 400\text{mm}$
		$Q = (15 \sim 30)\text{t}$	$H_k \leq 12\text{m}$	$H_k/9$	
		$Q = 50\text{t}$	$H_k \leq 12\text{m}$	$H_k/8$	

在查表时应注意：
 工字形柱的翼缘
 厚度 $\leq 80\text{mm}$
 常用 $80 \sim 120\text{mm}$
 隔板厚度 $\leq 100\text{mm}$
 常用 $100 \sim 200\text{mm}$ ，
 对有腐蚀及撞击荷载时应适当放
 大上述尺寸，对工字形柱如腹杆开
 通道，若孔横向尺寸 $<$ 截面高度
 一半，孔的竖向尺寸小于相邻两
 之间的净距时，柱的刚度可按实
 工字形柱计算，但在计算承载力
 应扣除洞的削弱部分当开孔尺寸
 过上述规定时，柱的刚度和承载
 应按双肢柱计算。

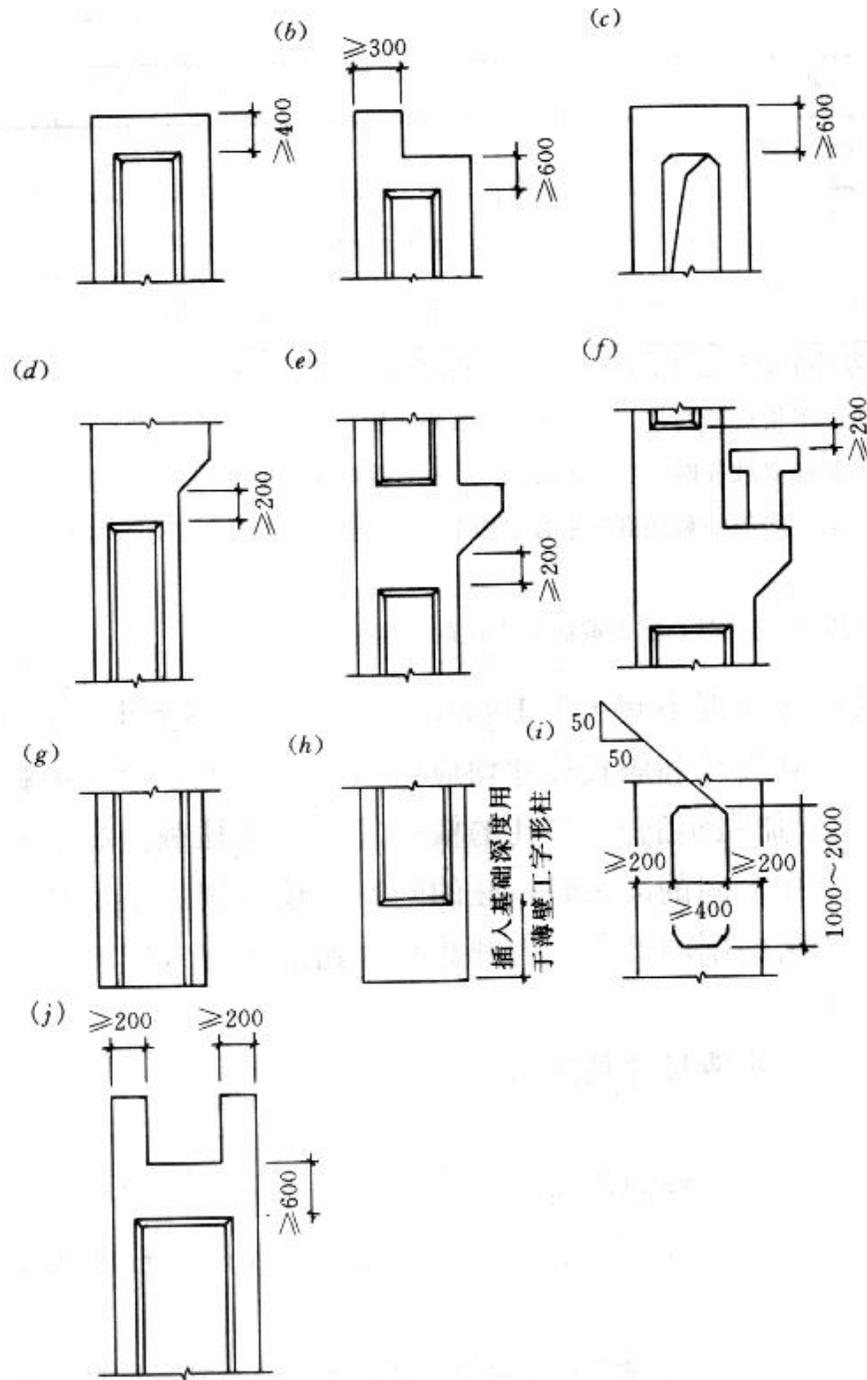


图 13-52 工字形柱的外形尺寸

2. 截面设计
按偏压构件计算，计算长度见表13-9

表 13-9

柱 的 类 型		排架方向	垂 直 排 架 方 向	
			有柱间支撑	无柱间支撑
无吊车厂房柱	单 跨	$1.5H$	$1.0H$	$1.2H$
	两跨及多跨	$1.25H$	$1.0H$	$1.2H$
有吊车厂房柱	上 柱	$2.0H_0$	$1.25H_0$	$1.5H_0$
	下 柱	$1.0H_l$	$0.8H_l$	$1.0H_l$
露天吊车柱和栈桥柱		$2.0H_l$	$1.0H_l$	—

3. 吊装、运输阶段的承载力和裂缝宽度验算

柱子在脱模、吊装时受力情况不同于使用时受压状态，而是外于受弯状态，另外为加快施工进度，通常在 **70%** 设计强度等级时就开始脱模与吊装，为保证此时安全应对构件进行验算。

在现场预制时柱子一般平卧（宽面朝上），若采用平吊则易于施工，但这有可能会使构件产生裂缝，为此一般先进行翻身（窄面朝上），然后起吊。

1) 柱翻身及吊装时荷载和计算长度

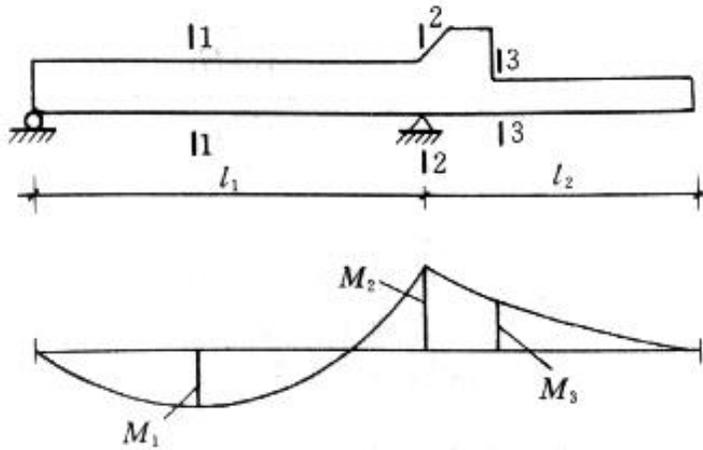
①荷载--自重乘以动力系数**1.5**以考虑脱模及吊装时动力影响；

②计算长度--柱全长（即包含插入基础的长度 \times 柱截面高度）。

3) 吊装验算

① 计算简图

一般为一点吊，计算简图如下：



② 计算弯矩

上柱用 M_3 ，下柱用 M_2 ， M_1 大值，配筋对称。

③ 承载力计算

同翻身。

④ 裂缝宽度验算

同翻身。

4. 构造要求

砼为 **C20~C30**，钢筋为 **HRB335**或 **HRB400**。施工图如图

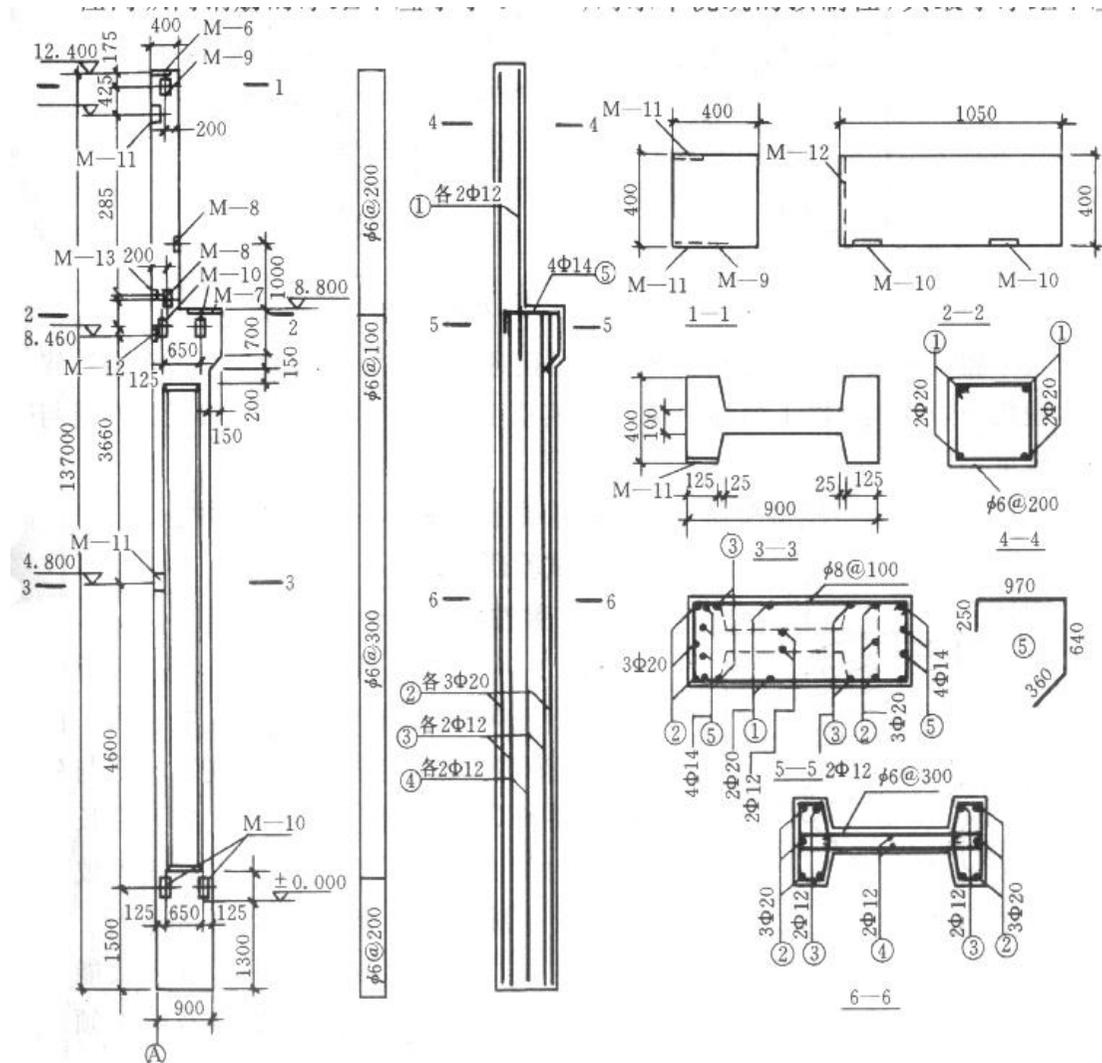


图 13-54 工字形柱施工简图

12. 3. 3 牛腿

牛腿主要作用为：在不加大整根柱子截面条件下承担较大的竖向动力荷载。例如，支承吊车梁或托架。

1. 分类

按竖向荷载作用点至牛腿下部与边缘交接点水平距离 a 大小分为长、短牛腿。

$a > h_0$ 时为短牛腿--受力复杂，为变截面深梁，是研究对象；

$a \leq h_0$ 时为长牛腿--悬臂梁。

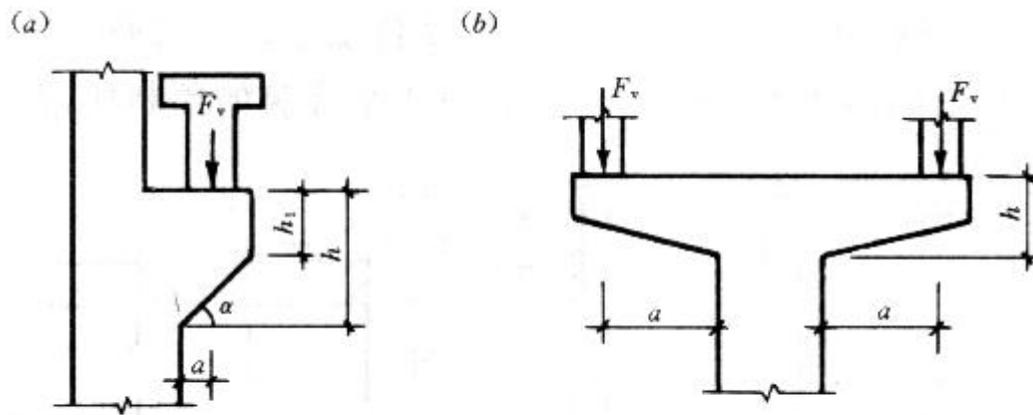


图 13-55 牛腿分类

2. 牛腿受力特点及计算简图

1) 试验结果

(1) 弹性阶段的应力分布

主拉应力迹线从上面水平至下面倾斜。

主压应力迹线与ab连线平行。

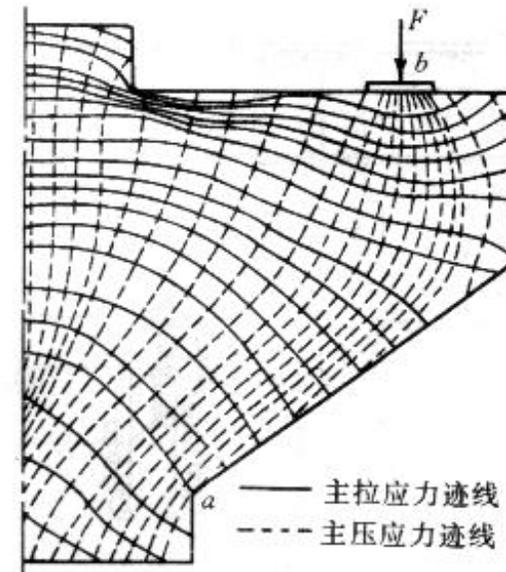


图 13-56 牛腿光弹性
试验结果示意图

(2) 裂缝的出现与展开

当加载至 **20 ~ 40%**，首先出现垂直裂缝，但开展较慢，继续加载，在加载板内侧附近产生斜裂缝①，然后加大，一般不出现裂缝，直至接近破坏时，出现斜裂缝②。

(3) 破坏形态

破坏形态主要与 a/h_0 值有关。

$a/h_0 > 0.75$ （且纵筋较少时）--弯曲破坏（裂缝不断发展，绕牛腿与柱交点转动，使压区混凝土压碎）

$0.1 < a/h_0 \leq 0.75$ --斜压破坏（设计模型）。

$a/h_0 \leq 0.1$ --纯剪破坏。

另外，还有垫板过小引起的局部破坏不等，除斜压破坏外，其余破坏形态均通过构造措施予以避免。

(4) 计算简图

斜压破坏可看成由混凝土斜向压杆及水平纵向钢筋拉杆组成的三角桁架。

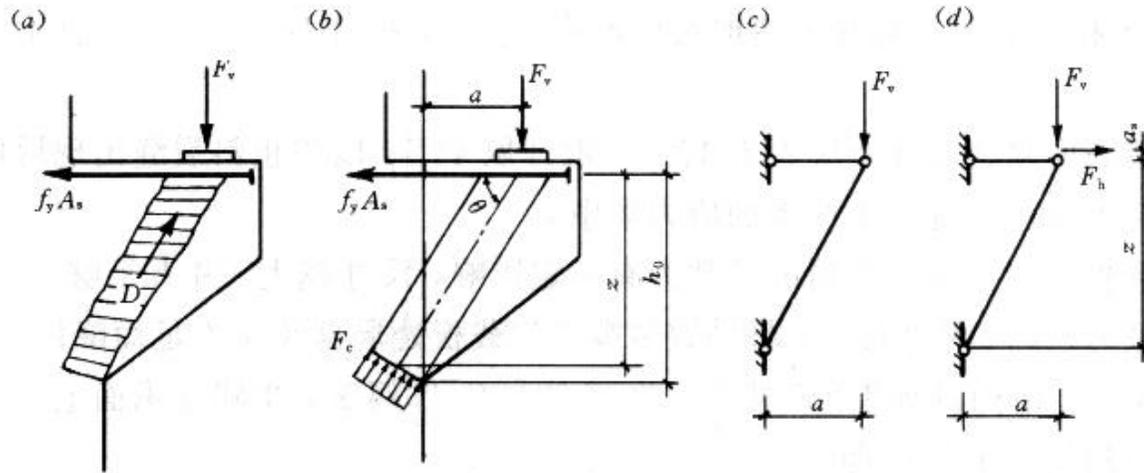


图 13-60 牛腿承载力计算简图

3. 牛腿的设计

1) 截面尺寸的确定

截面宽与柱同宽，故只需确定截面高度，截面高度主要按斜截面抗裂度要求以及不发生非根部的剪切破坏。

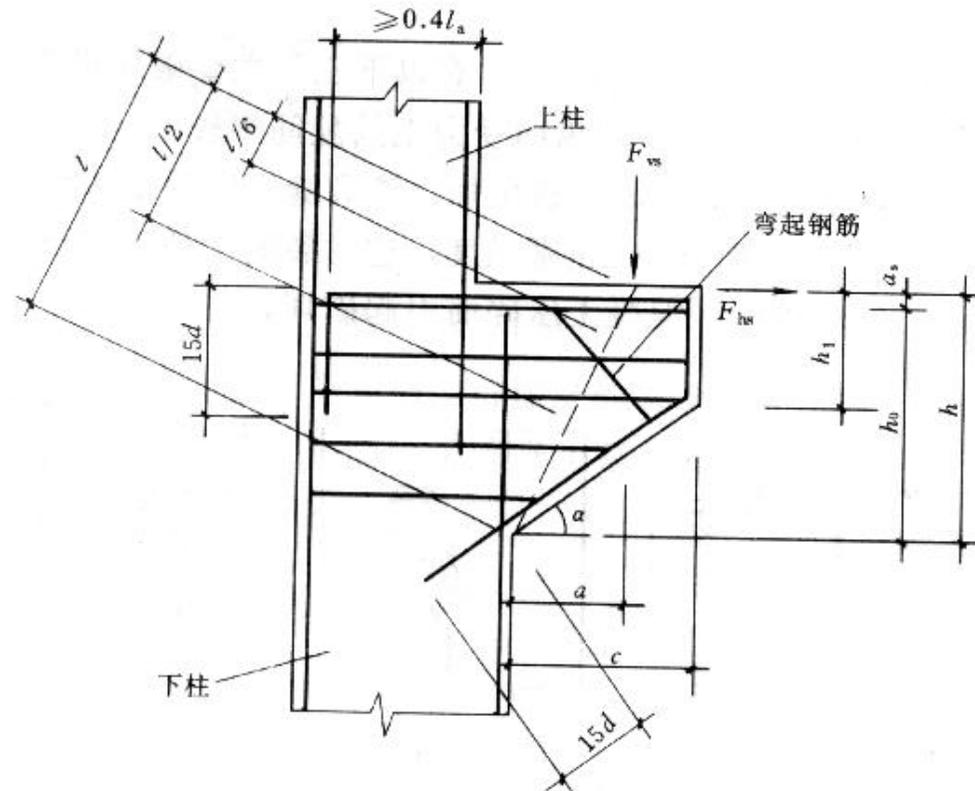
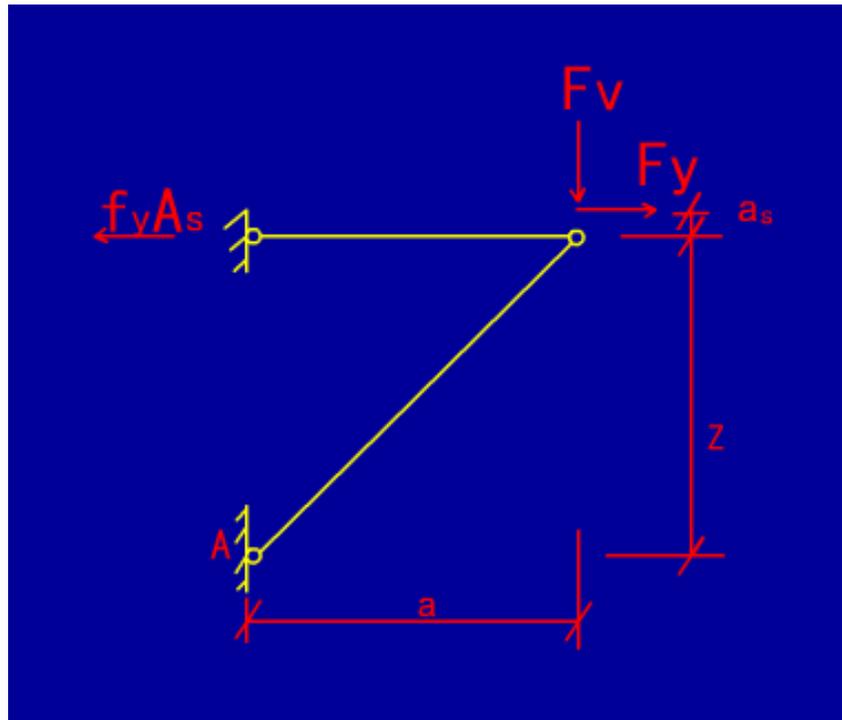


图 13-59 牛腿的尺寸和钢筋配置

$$F_{vs} \leq \beta \left(1 - 0.5 \frac{F_{hs}}{F_{vs}} \right) \frac{f_k b h_0}{0.5 + \frac{a}{h_0}}$$

- 式中：
- F_{vs} --作用于牛腿顶部按荷载标准组合计算的竖向力值；
 - F_{hs} --作用于牛腿顶部按荷载标准组合计算的水平拉力值；
 - β --裂缝控制系数：对需要进行疲劳验算的牛腿，取 $\beta = 0.65$ ；
对其他牛腿，取 $\beta = 0.8$
 - a --竖向力的作用点至下柱边缘的水平距离，此时应考虑安装偏差 $20mm$ ，
竖向力的作用点位于下柱截面以内时，取 $a = 0$ ；
 - b --牛腿宽度；
 - h_0 --牛腿与下柱交接处的垂直截面有效高度，取 $h_0 = h_1 - a_s + c \cdot \tan \alpha$ ，
 α 为牛腿底面的倾斜角，当 $\alpha > 40^\circ$ ，取 $\alpha = 45^\circ$

2) 承载力计算和配筋构造 $A = a \times b$ -- a, b 垫块长 \times 宽
前述计算简图



(1) 纵向受拉钢筋的计算和构造 $f_y A_s z = F_v a + F_h (z + a_s)$
由A点力矩之和为零得

$$\text{若 } z = 0.85h_0, \text{ 得 } A_s = \frac{F_v a}{0.85 f_y h_0} + \left(1 + \frac{a_s}{0.85h_0}\right) \frac{F_h}{f_y}$$

$$\text{分 } \frac{a_s}{0.85h_0} = 0.2, \text{ 则得 } A_s = \frac{F_v a}{0.85 f_y h_0} + 1.2 \frac{F_h}{f_y}$$

若 $a < 0.3h_0$, 则取 $a = 0.3h_0$

对于 A_s 一般用 **HRB400**和 **HRB335** 级钢筋, 直径 $\leq 12\text{mm}$, 承受竖向力所需的水平纵向受拉钢筋的配筋率 (按全截面计算) $\leq 0.2\%$, 也 $\leq 0.6\%$, 且根数 ≤ 4 根, 承受水平拉力的锚筋应焊在预埋件上, 且 ≤ 2 根。

(2) 水平箍筋和弯起钢筋的构造要求

通常在满足抗裂要求，即可不进行牛腿的斜截面受剪承载力计算，但仍需近构造要求设置水平箍筋和弯起钢筋。

① 水平箍筋

d 为 $6 \sim 12\text{mm}$ ，间距为 $(100 \sim 150)\text{mm}$ 且在上部 $2h_0/3$ 范围内的水平箍筋总截面面积 \leq 承受竖向力的水平纵向受拉钢筋截面面积的 $1/2$ 。

当牛腿设于上柱柱顶时，宜将柱对边纵向受力钢筋沿柱顶水平弯入牛腿，作为牛腿纵向受力钢筋之用。

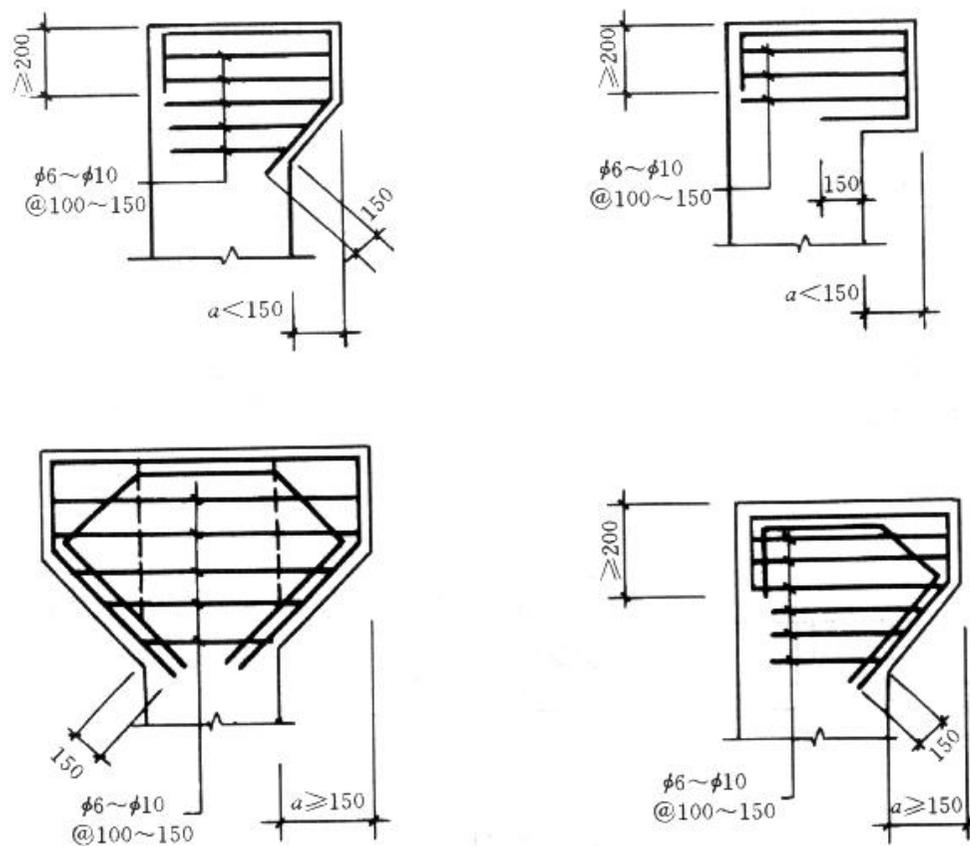


图 13-61 柱顶牛腿的配筋构造

§ 12.4 柱下独立基础

基础起着承上启下的作用，在整个造价上也占了较大比重，按受力分为偏压及轴压，按施工分预制和现浇，基础采用何种形式应根据地质情况，持力层分析，且针对建筑物的特点，荷载大小，上部结构刚度以及施工条件来确定，应该指出，基础破坏可能有两种情况：

①在上部结构压力及地基反力作用下基础发生承载力破坏；

②基础产生不均匀沉降，引起结构破坏。

12. 4. 1 柱下独立基础的型式

1. 杯形基础

它也称为扩展基础，分为阶形及锥形两种。由于地质条件或附近有较深设备基础要求埋深基础，为减少预制柱长度，可做成带短柱的平板式基础。

2. 板肋式基础

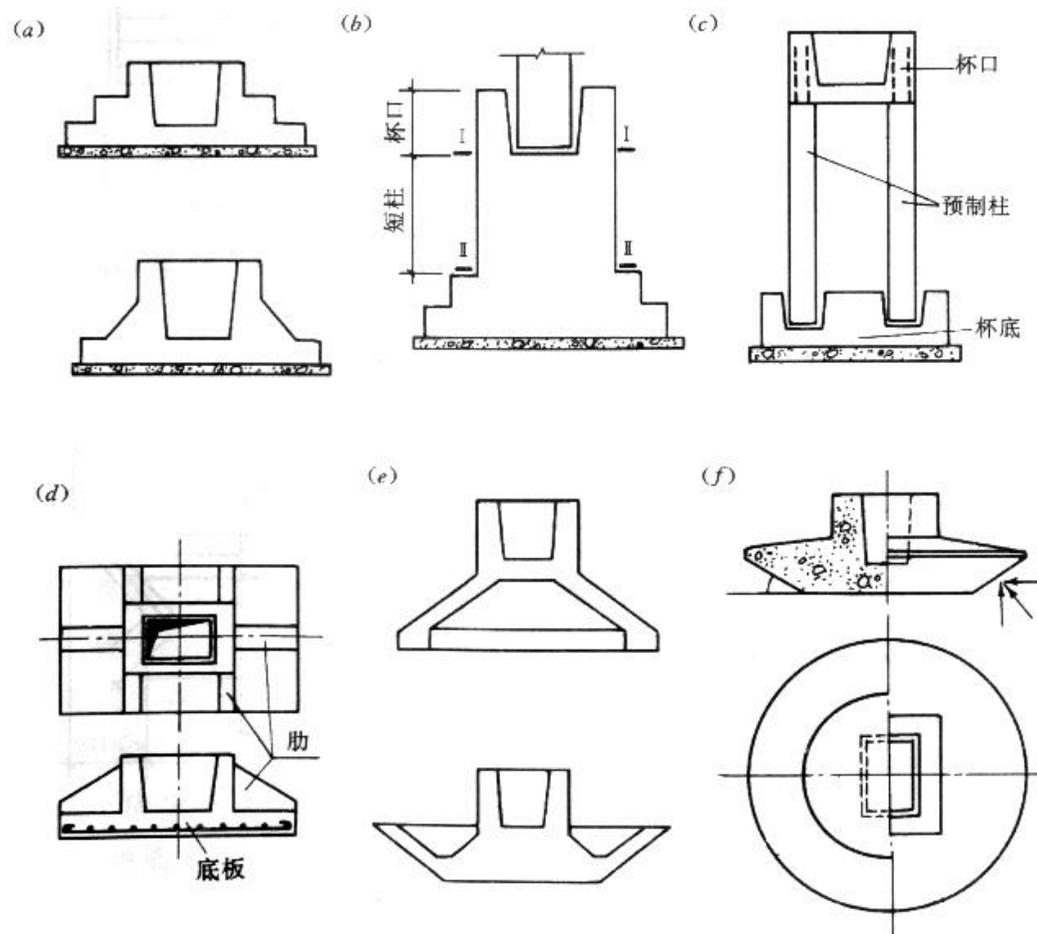
为节省混凝土现浇工作量，将杯口和肋板预制，然后到现场与底板现浇。

3. 薄壳基础

它受力比杯形基础好，故省材料，但施工复杂，适用于 N 大， M 小的柱下基础。

4. 桩基础

适用于荷载大，地基差的情况。



特点：适用于柱距、跨度大，地质均匀，地基承载力较好的厂房，施工方便，是本章讨论的对象。

12. 4. 2 柱下扩展基础的设计

设计内容：①确定基础底面尺寸；

②基础高度确定；

③基础底板配筋；

④构造要求。

1. 确定底面尺寸

(1) 轴心受压基础

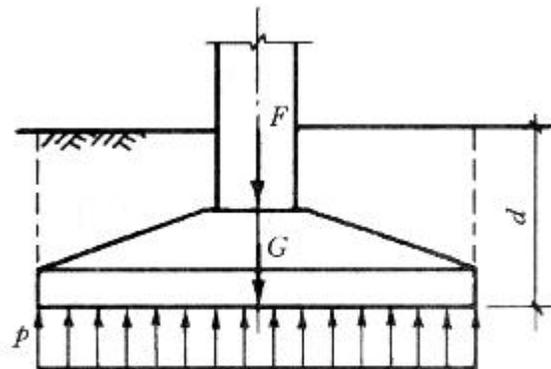


图 13-63 轴心受压基础计算简图

$$P = \frac{F + G}{A} \leq f_a$$

式中： F --上部结构传至基础顶面的竖向力设计值；

G --基础自重及基础上的覆土重， $G = \gamma_m d A = 20 d A$ ；

A --基础底面积， $A = l \cdot b$ ；

f_a --地基承载力设计值。

$$A \geq \frac{F}{f_a - \gamma_m \cdot d}$$

(2) 偏压基础

$$p_{\min}^{\max} = \frac{F+G}{A} \pm \frac{M}{W}$$

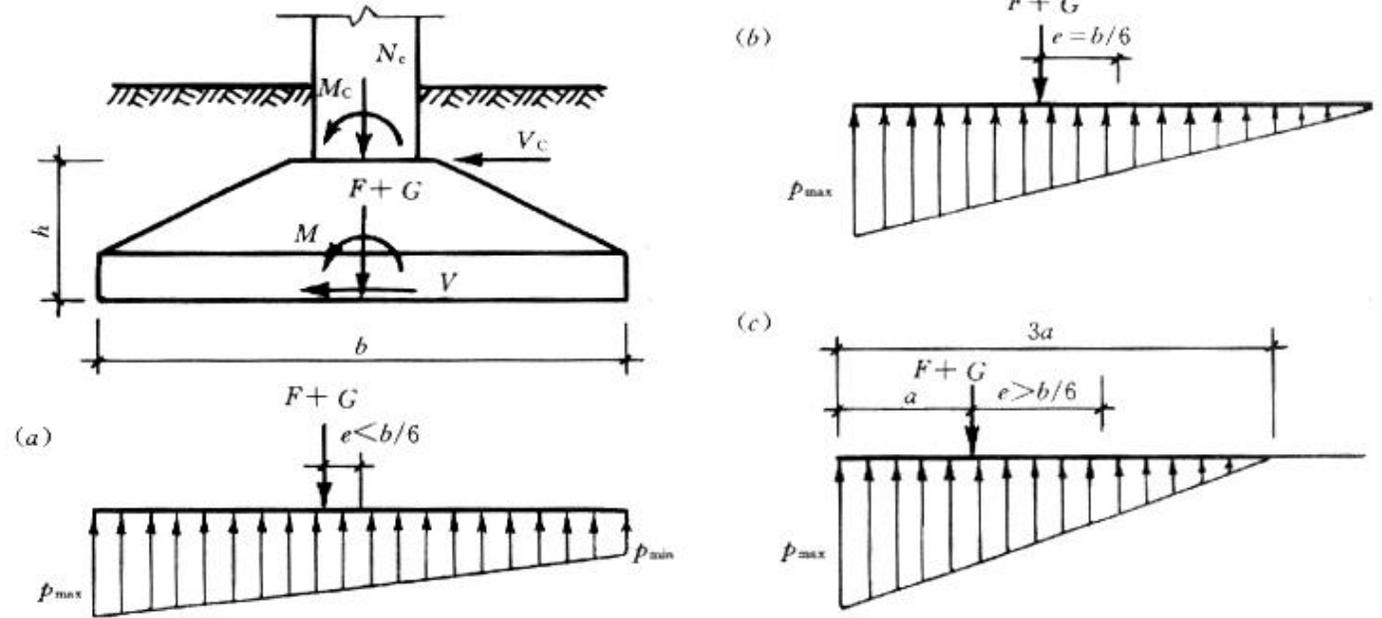


图 13-64 偏心受压基础计算简图

式中: M --作用于基础底面的力矩设计值;

W --基础底面积的抵抗矩, $W = tb^2/6$ 。

令 $e = M/F + G$, 得 $p_{\min}^{\max} = \frac{F+G}{bl} \left(1 \pm \frac{6e}{b} \right)$

在设计底面尺寸时应满足以下条件:

① 基底平均应力小于或等于地基承载力

$$p = \frac{p_{\max} + p_{\min}}{2} \leq f_a$$

② $p_{\max} \leq 1.2 f_a$

提高 20%，因 p_{\max} 仅仅是局部分布，而且形成 p_{\max} 主要是由活载产生，另外 p_{\max} 和 p_{\min} 相差太大，会使基础边缘产生不均匀变形，使基础发生倾斜，影响厂房的正常使用，所以要对 e 进行控制。

③ e 的讨论

由
$$p_{\min}^{\max} = \frac{F+G}{bl} \left(1 \pm \frac{6e}{b} \right)$$

(i) 当 $\left(1 - \frac{6e}{b} \right) \geq 0$, 即 $e < \frac{b}{6}$ 表明 $p_{\min} \geq 0$, 底面全部受压, 反力图形为梯形;

(ii) $e = \frac{b}{6}$, 反力图形为三角形;

(iii) $\left(1 - \frac{6e}{b} \right) < 0$, 即 $e > \frac{b}{6}$, 表明 $p_{\min} < 0$, 底面局部受压, p_{\max} 应重新计算, 由竖向力平衡知。

合力作用点 $a = \frac{b}{3} - e$ $\frac{1}{2} p_{\max} \cdot 3 \cdot aL = (F+G) \Rightarrow p_{\max} = \frac{2(F+G)}{3aL}$

④ e 的限制条件

(i) 对 $Q \geq 750kN$ 吊车厂房的柱基础;

$$e < \frac{b}{6}, \text{ 且 } \frac{p_{\min}}{p_{\max}} > 0.25$$

(ii) 对有吊车厂房的其它情况

(iii) 对无吊车厂房柱基础, 当计入风载时, $e > \frac{b}{6}$, $\frac{3a}{b} \geq 0.75$, 底面尺寸确定。

先按 $A = 1.2 \sim 1.4 \cdot \frac{F}{f_a - \gamma_m d}$ 估算, 定 b 求 L , 然后按 $b \times L$ 尺寸用上面诸式进行验算。

2. 基础高度

它主要按冲切承载力计算，并考虑构造要求。

(1) 冲切承载力计算时地基净反力计算

因基础及覆土重量是均匀分布在基底面积上，直接被部分地基反力平衡掉，故在冲切验算时只需用净反力 p_s

$$p_{s,\min}^{\max} = \frac{N}{Lb} \pm \frac{M}{W}$$

轴压
$$p_s = \frac{N}{Lb}$$

偏压
$$p_s = \frac{N}{Lb} + \frac{M}{W} = p_s^{\max}$$

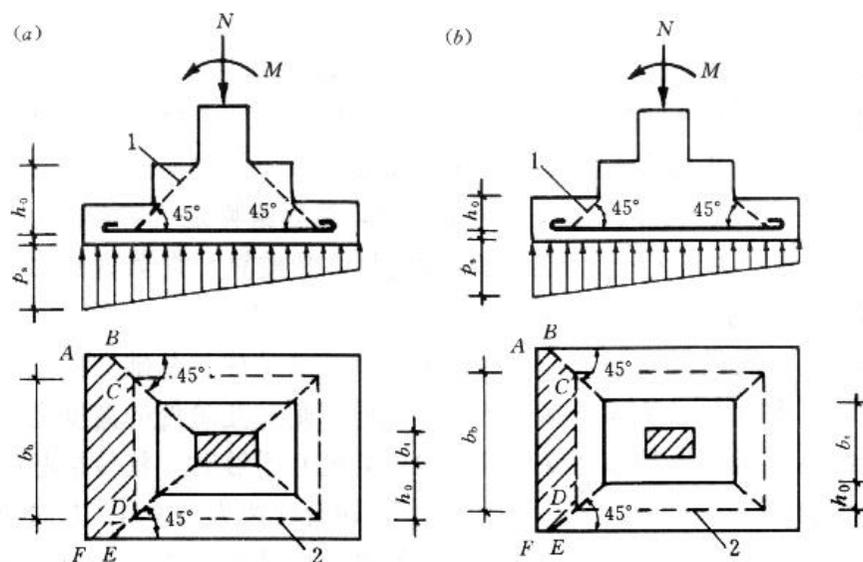


图 13-66 计算阶形基础的受冲切承载力截面位置

(a) 柱与基础交接处；(b) 基础变阶处

1—冲切破坏锥体最不利一侧的斜截面；2—冲切破坏锥体的底面线

(2) 冲切验算

(i) 破坏截面确定

由试验知，在 M , N 作用下，如柱周边缘基础有效高度（或阶形基础变阶处）不够，就会产生从柱周边大致沿 45°

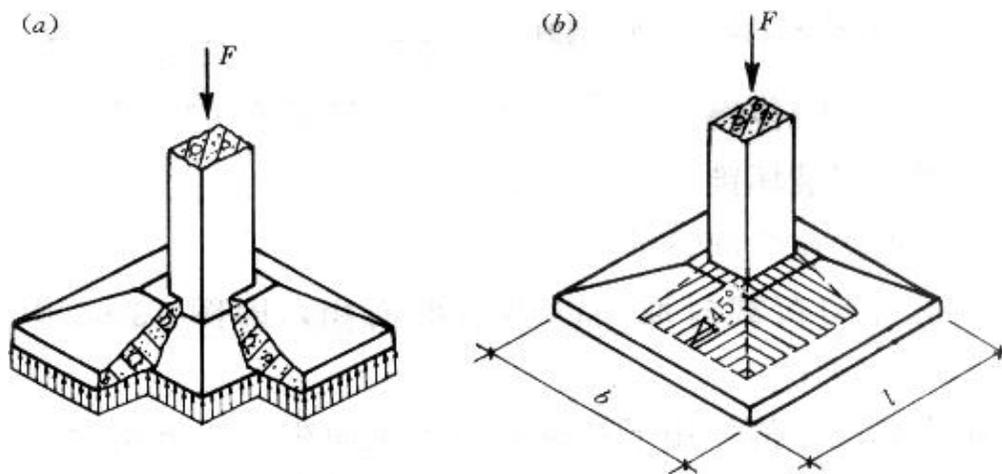


图 13-65 基础冲切破坏简图

(ii) 冲切承载力验算

为保证不发生冲切破坏，在冲切面外的地基净反力所产生的冲切力 F_L

小于或等于冲切面处混凝土的受冲切承载力。

$$F_L \leq 0.7 f_b A_{1234} \cdot \sin 45^\circ = 0.7 f_b A_2$$

$$F_L = p_s \cdot A_1$$

按前述公式取值，当为偏心荷载时取 P_{\max} 。

A_1 -- 计算冲切荷载的采用底面积（多边形）；

A_2 -- 计算冲切截面的水平投影面积。

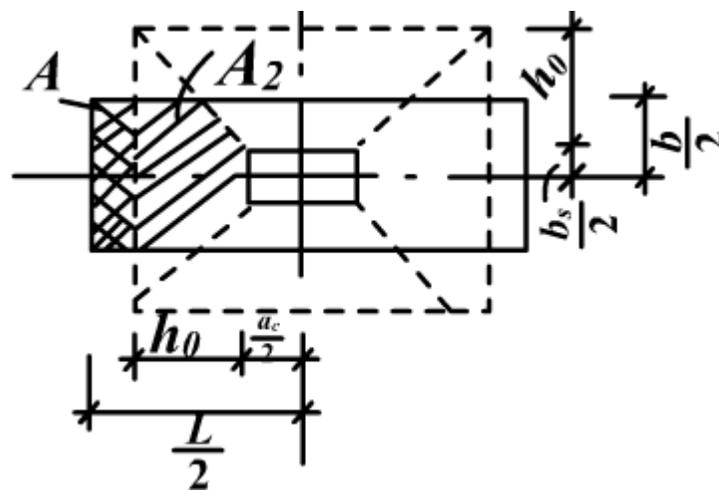
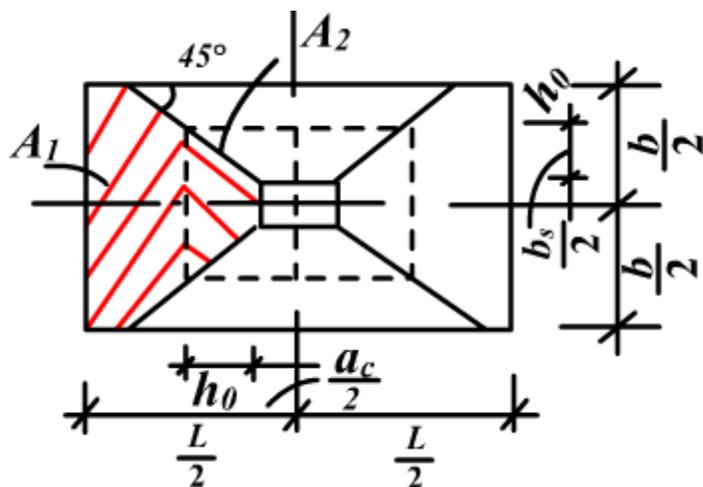
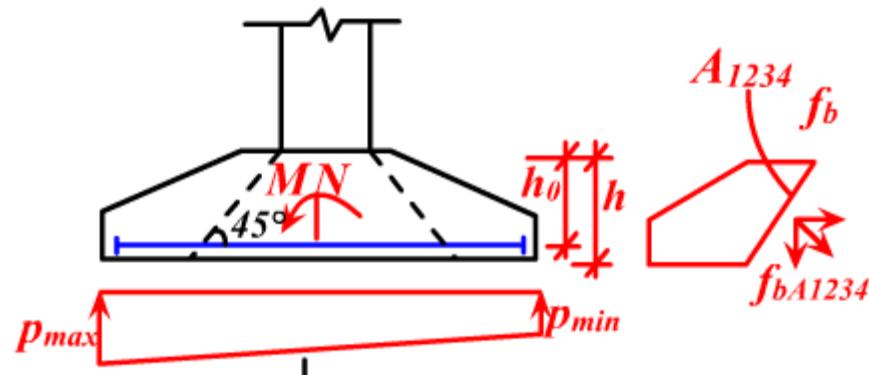
计算时应考虑如下几种情况:

(a) $b \geq b_c + 2h_0$ (冲切锥体在基础内)

$$A_1 = \left(\frac{L}{2} - h_0 - \frac{ac}{2} \right) b - 2 \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{b}{2} - \frac{bc}{2} - h_0 \right)^2$$

$$= \left[\left(\frac{L}{2} - h_0 - \frac{ac}{2} \right) b - \left(\frac{b}{2} - h_0 - \frac{bc}{2} \right)^2 \right]$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (bc + 2h) h_0 = (bc + h_0) h_0$$



(b) $b < b_c + 2h_0$ (冲切锥体在基础外)

$$A_1 = \left(\frac{L}{2} - \frac{a_c}{2} - h_0 \right) \times \left(\frac{b}{2} + \frac{b}{2} \right) = \left(\frac{L}{2} - \frac{a_c}{2} - h_0 \right) b$$

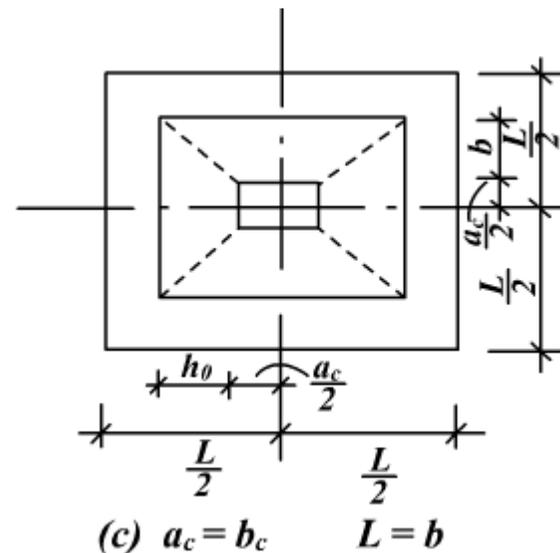
$$A_2 = \frac{1}{2} (b_c + 2h_0 + b_c) h_0 - 2 \times \frac{1}{2} \left(h_0 + \frac{b_c}{2} - \frac{b}{2} \right)^2$$
$$= (b_c + h_0) h_0 - \left(h_0 + \frac{b_c}{2} - \frac{b}{2} \right)^2$$

(c) $a_c = b_c$, $L = b$ (方形基础)

$$A_1 = \frac{1}{2}(L + a_c + 2h_0) \left(\frac{L}{2} - h_0 - \frac{a_c}{2} \right)$$

$$= \left(\frac{L}{2} + \frac{a_c}{2} + h_0 \right) \left(\frac{L}{2} - \frac{a_c}{2} + h_0 \right) = \frac{L^2}{4} - \left(\frac{a_c}{2} + h_0 \right)^2$$

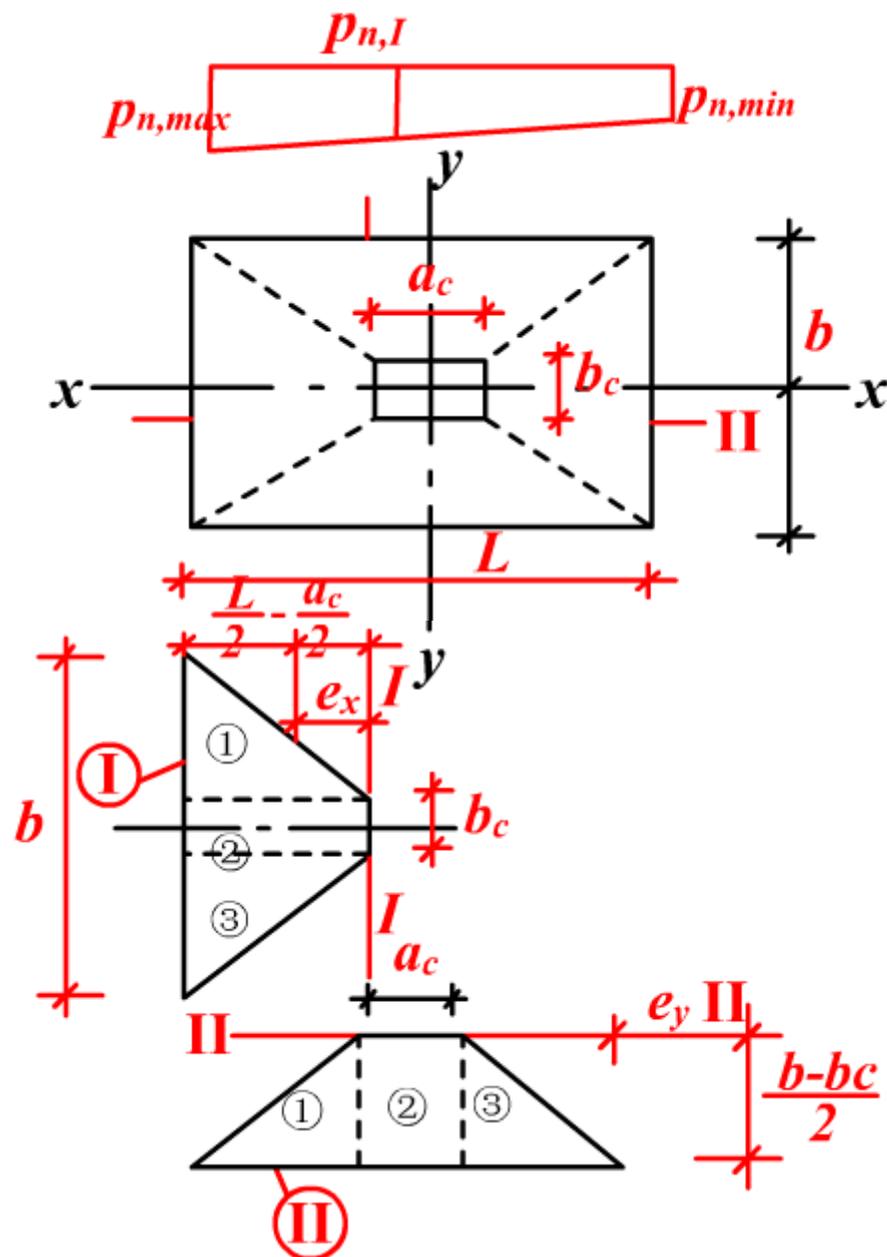
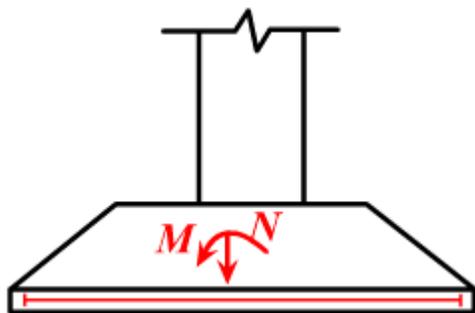
$$A_2 = \frac{1}{2}(a_c + a_c + 2h_0)h_0 = (a_c + h_0)h_0$$



这里应注意，若基底面完全落在 45° 冲切锥体内，则不可能发生冲切破坏，故不需验算，对于变阶基础还应验算，另外，一般先假定基础高度，然后验算冲切承载力，直至假定高度满足要求。

(3) 基础底板配筋计算

在地基净反力作用下底板受双向弯曲，当弯矩超过抗弯承载力时，基础发生破坏，破坏可能在另一方向发生，故需双向配筋计算。



(i) 计算截面

锥形基础为柱与基础交接处（I、II截面）阶形基础则还应包括变阶处，配筋按大者计算。

(ii) 计算弯矩

计算配筋应先知该截面弯矩，然后按受弯构件计算钢筋，X-X方向（I-I截面）弯矩为 M_I

M_I 可认为，由（I）多边形受到地基净反力作用（即为倒楼盖处理）。

因此，算得的合力 Q_I ，并对I-I截面偏心距 e_x ，故 $M_I = Q_I \cdot e_x$ 。

$$\begin{aligned}
 \therefore M_I &= Q_I \cdot e_x \\
 &= p_{n,a} \cdot \frac{1}{4} (b + b_c) (L - a_c) \cdot \frac{L - a_c}{6} \cdot \frac{2b + b_c}{b + b_c} \\
 &= \frac{1}{24} p_{n,a} \cdot (L - a_c)^2 (2b + b_c)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_I &= \frac{1}{2} \underbrace{(p_{n,\max} + p_{n,I})}_{\text{平均值 } p_{n,a}} \cdot \frac{b + b_c}{2} \times \frac{(L - a_c)}{2} \\
 &= p_{n,a} \cdot \frac{1}{4} (b + b_c) (L - a_c)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_x &= \frac{\sum_{i=1}^3 Y_i \cdot A_i \cdot p_{n,a}}{\sum_{i=1}^3 A_i p_{n,a}} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{b - b_c}{2} \right) \left(\frac{a - a_c}{2} \right) \times \frac{2}{3} \times \left(\frac{a - a_c}{2} \right) \times 2 + b_c \cdot \frac{(L - a_c)}{2} \cdot \frac{(L - a_c)}{4}}{\frac{1}{2} \left(\frac{b - b_c}{2} \right) \left(\frac{L - a_c}{2} \right) \times 2 + b_c \left(\frac{L - a_c}{2} \right)} \\
 &= \frac{(L - a_c) \cdot 2b + b_c}{6 \cdot b + b_c}
 \end{aligned}$$

Y-Y方向（II-II截面）弯矩 M_{II}

$$Q_{II} = \frac{1}{2} \underbrace{(p_{n,\max} + p_{n,\min})}_{p_{n,o}} \frac{1}{2} (L + a_c) \cdot \frac{(b - b_c)}{2}$$

$$= p_{n,o} \cdot \frac{1}{4} (L + a_c) (b - b_c)$$

$$e_y = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i A_i \cdot p_{n,o}}{\sum_{i=1}^3 A_i \cdot p_{n,o}}$$

$$= \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{(L - a_c)}{2} \right) \left(\frac{b - b_c}{2} \right) \times \frac{2}{3} \times \frac{(b - b_c)}{2} \times 2 + a_c \left(\frac{b - b_c}{2} \right) \left(\frac{b - b_c}{4} \right)}{\frac{1}{2} \left(\frac{L - a_c}{2} \right) \left(\frac{b - b_c}{2} \right) \times 2 + a_c \left(\frac{b - b_c}{2} \right)}$$

$$e_y = \frac{(b - b_c)}{6} \cdot \frac{2L + a_c}{L + a_c}$$

$$\therefore M_{II} = Q_{II} \cdot e_y$$

$$= p_{n,o} \cdot \frac{1}{4} (L + a_c) (b - b_c) \cdot \frac{b - b_c}{6} \cdot \frac{2L + a_c}{L + a_c}$$

$$= \frac{1}{24} p_{n,o} (b - b_c)^2 (2L + a_c)$$

(iii) 配筋

$$\text{X方向 } A_{sI} = \frac{M_I}{0.9 f_y h_{0I}} \quad h_{0I} = h - a_s \text{ 放在最低层。}$$

$$\text{Y方向 } A_{sII} = \frac{M_{II}}{0.9 f_y (h_0 - d_s)} \quad , \quad d_s \text{ 为X方向钢筋直径, 放在X方向上侧。}$$

(4) 构造要求

(i) 底面形状

轴压为正方形，偏压为矩形， $a/b \leq 3$ 。

(ii) 材料

砼 \geq **C15**，钢筋I级或II级， $d \geq 8mm$ ， $s \geq 200$ 。

(iii) 垫层

C10，厚 **100mm**，两边挑出 **100mm**

(iv) 杯口形式和柱的插入长度
插入表12-10, 12-11 P142

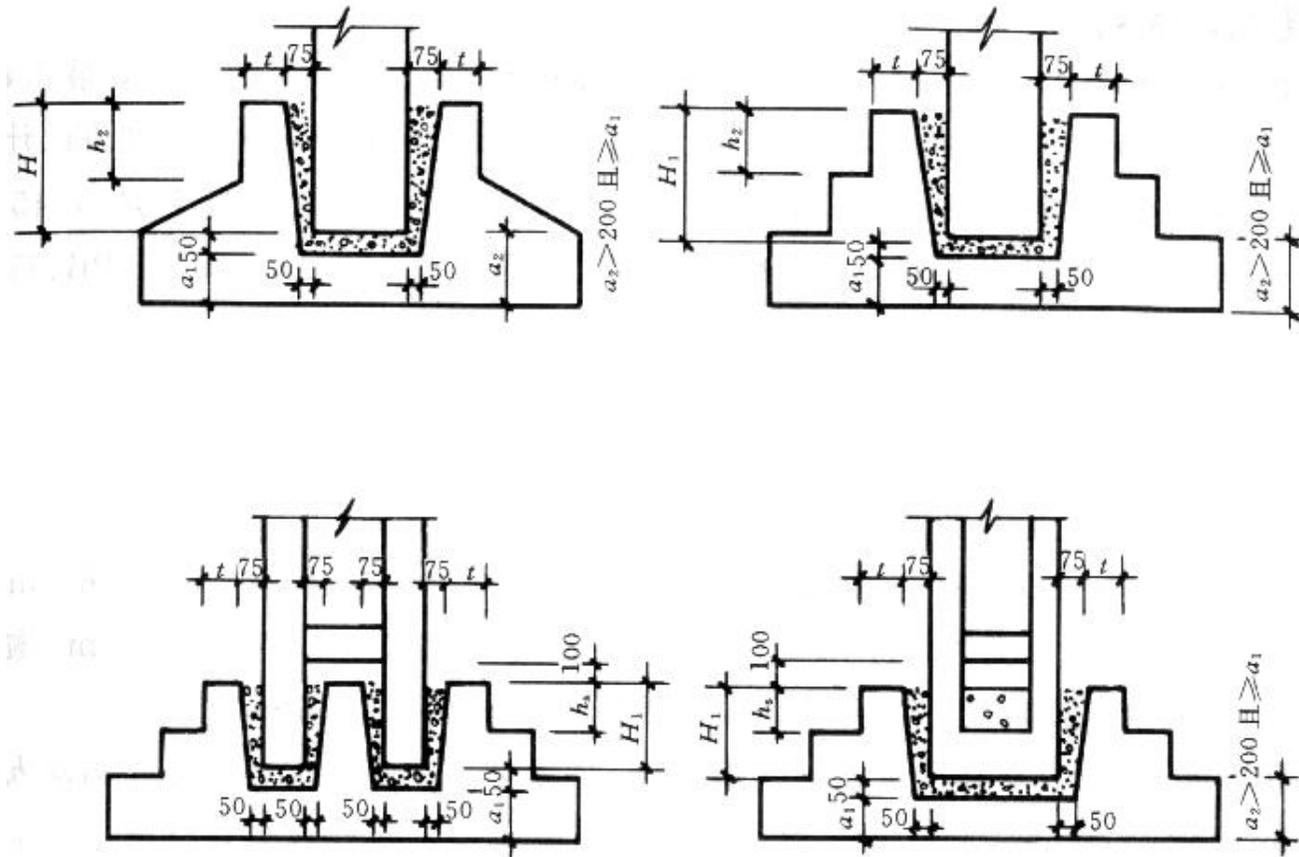


图 13-68 预制柱的杯口构造

(v) 无短柱基础板口的配筋构造

中型钢筋混凝土结构单层厂房各部分造价占土建总造价的百分比 表 13-2

项 目	屋 盖	柱、梁	基 础	墙	地 面	门、窗	其 他
百分比 (%)	30~50	10~20	5~10	10~18	4~7	5~11	3~6

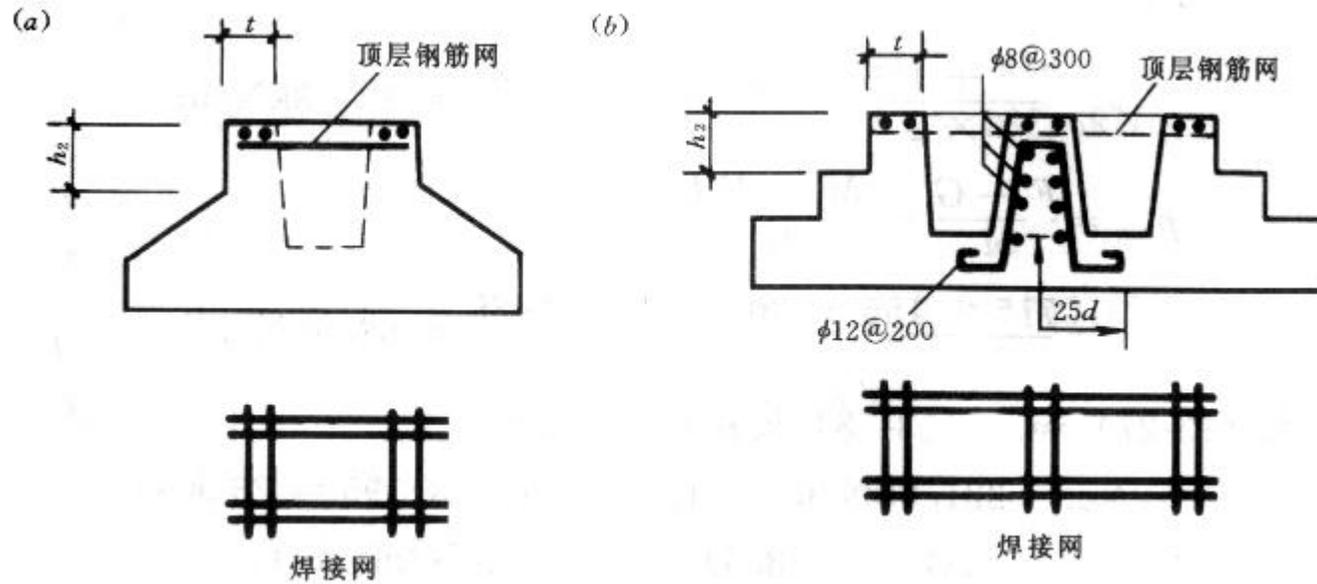


图 13-69 无短柱基础的杯口配筋构造

§ 12. 5 单层厂房屋盖结构

12. 5. 1 概述

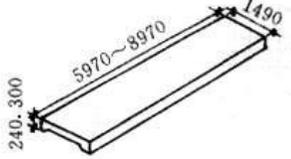
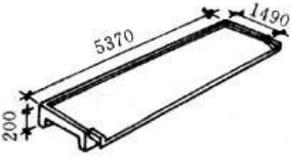
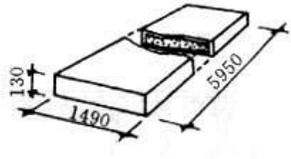
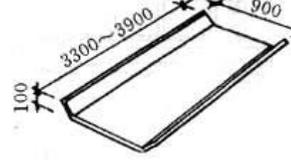
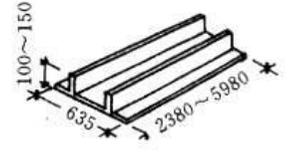
屋盖结构的造价占单层厂房结构造价很大比重。另外柱子承受屋盖荷载，故轻屋盖采用对于结构经济性改善具有十分重要意义。在本节我们将主要讨论屋盖结构件造型以及设计计算要求。

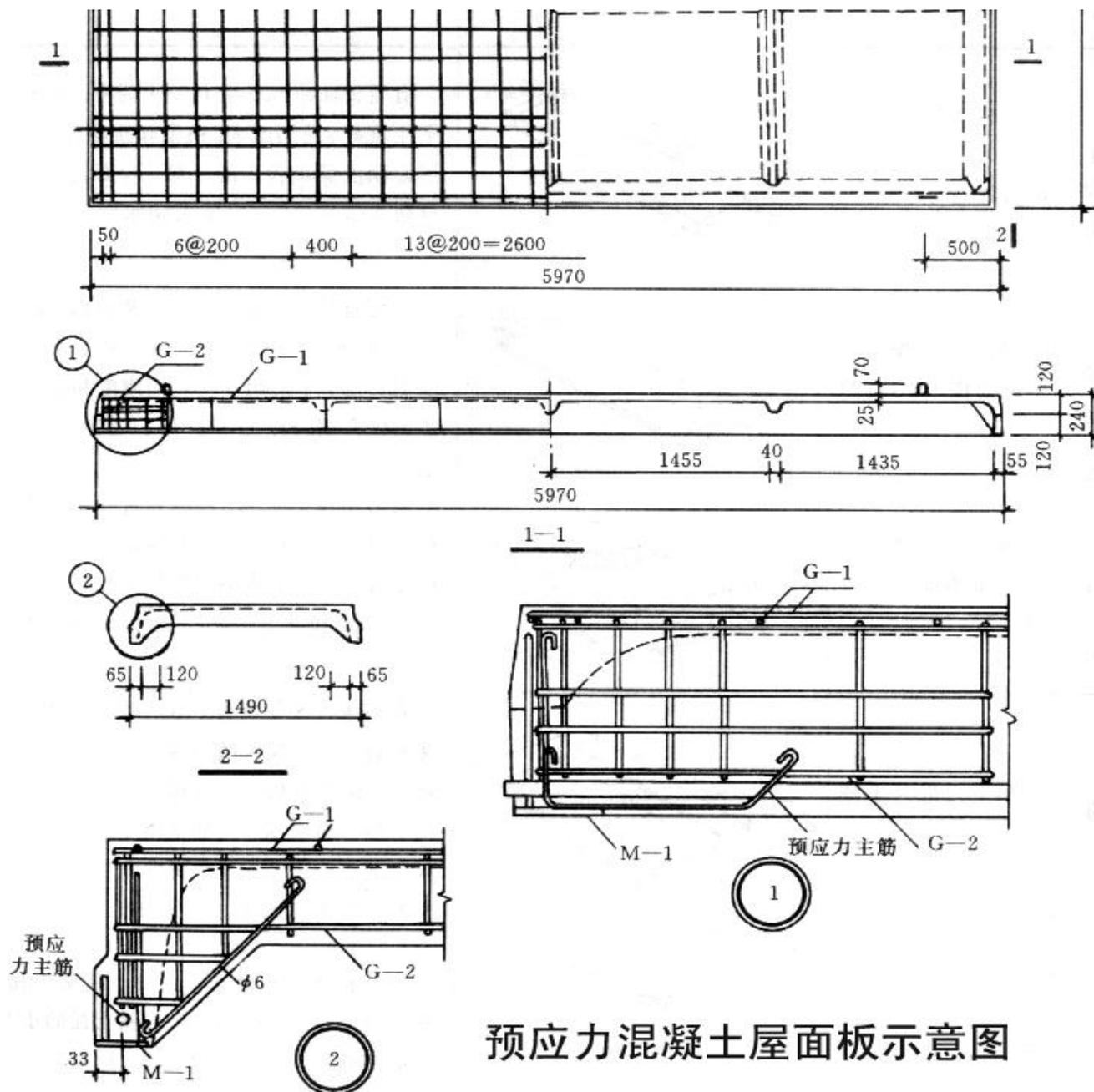
12. 5. 2 屋面构件

1. 屋面板

常用屋面板表

表 13-13

序号	构件名称 (标准图号)	型式	特点及适用条件
1	预应力混凝土屋面板 (G410、CG411)		有卷材防水和非卷材防水两种。屋面水平刚度好,适用于大、中型和振动较大,对屋面刚度要求较高的厂房。屋面坡度:卷材防水最大 1/5, 非卷材防水 1/4
2	预应力混凝土 F 形屋面板 (CG412)		屋面自防水,板沿纵向互相搭接,横缝及脊缝加盖瓦和脊瓦。适用于中、小型非保温厂房,不适用于对屋面刚度和防水要求高的厂房。屋面坡度 1/4~1/8
3	预应力混凝土夹心保温屋面板 (三合一板)		具有承重、保温、防水三种作用,故亦称三合一板。适用于一般保温厂房,不适用于气候寒冷、冻融频繁地区和有腐蚀性气体和湿度大的厂房。屋面坡度 1/8~1/12
4	预应力混凝土槽瓦		在檩条上互相搭接,沿横缝及脊缝加盖瓦和脊瓦。可在长线台座上叠层制作,材料省,屋面较轻。刚度较差,如构造和施工不当,易渗漏。一般适用于非保温、积灰少的中小型厂房,有腐蚀介质和振动较大的厂房不宜使用。屋面坡度 1/3~1/5
5	钢筋混凝土挂瓦板		挂瓦板密排在屋架上,其上铺粘土瓦,有平整的平顶。适用于采用粘土瓦的小型厂房和仓库。屋面坡度 1/2~1/2.5



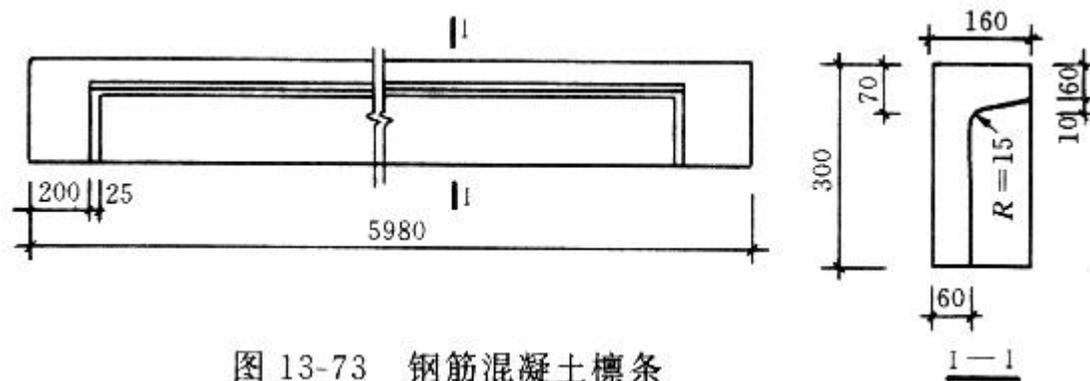
预应力混凝土屋面板示意图

选型原则:

- ① 尽量采用标准构件;
- ② 预应力板经济性好;
- ③ 对于无檩体系, 最常用的预应力砼屋面板为1.5m x 6m

2. 檩条

跨度一般为 $4m$ ， $6m$ 和 $9m$ ，以预应力砼和钢筋混凝土为多，另外檩条在屋架上又分为正置和斜置两种。檩条可按简支梁计算。



(a)

(b)

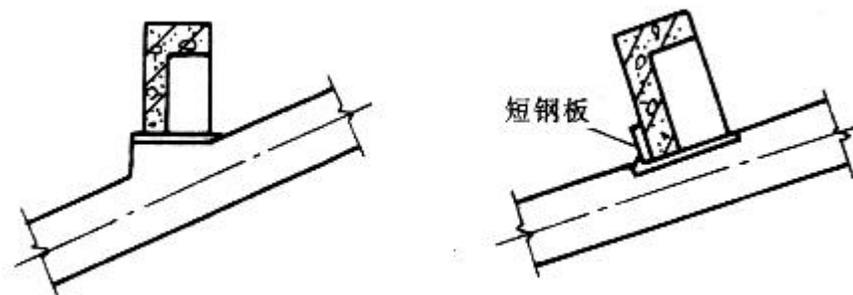


图 13-74 檩条支座型式

3. 屋面梁和屋架 (1) 型式

常用屋架梁、屋架 (6m 柱距)

表 13-14

序 号	构件名称 (通用图编号)	构件型式	跨度 (m)	材料用量			特点及适用条件
				允许 荷载 ($\frac{kg}{m^2}$)	混凝 土 ($\frac{m^3}{m^2}$)	钢材 ($\frac{kg}{m^2}$)	
1	预应力混凝土平坡屋架 (G424)		9	450	2.13	2.83	高度小, 重心低, 横向刚度好, 施工方便, 自重较大, 结构指标较差; 适用于有较大轴压和侧推力的厂房, 屋面坡度为 1/8~1/12
			12		2.32	4.94	
2	预应力混凝土拱形屋架 (G414)		12	450	2.43	6.05	上弦为钢筋混凝土, 下弦为角钢, 自重较轻, 适用于中、小型厂房, 应防止下弦受压, 屋面坡度; 卷材防水 1/5, 非卷材防水 1/4
			15		2.64	5.82	
			18		2.37	6.11	
3	钢筋混凝土两坡拱屋架 (G310, CG313)		9	300	1.08	2.10	上弦为钢筋混凝土, 下弦为角钢, 自重较轻, 适用于中、小型厂房, 应防止下弦受压, 屋面坡度; 卷材防水 1/5, 非卷材防水 1/4
			15		1.40	3.25	
4	钢筋混凝土三坡拱屋架 (G312, CG315)		9	300	1.00	2.65	深节点为拱顶; 上弦为钢筋混凝土, 下弦为角钢, 自重较轻, 适用于中、小型厂房, 应防止下弦受压, 屋面坡度; 卷材防水 1/5, 非卷材防水 1/4
			12		1.29	3.51	
			15		1.40	3.98	
5	预应力混凝土三坡拱屋架 (CG424)		9	300	0.88	2.04	上弦为钢筋混凝土, 下弦为角钢, 或上弦为钢筋混凝土, 下弦为角钢, 自重较轻, 适用于中、小型厂房, 应防止下弦受压, 屋面坡度; 卷材防水 1/5, 非卷材防水 1/4
			12		1.01	2.46	
			15		1.21	3.28	
			18		1.49	4.48	
6	钢筋混凝土组合式屋架 (CG318)		12	300	1.02	4.60	上弦及受压腹杆为钢筋混凝土, 下弦及受拉腹杆为角钢, 自重较轻, 适用于中、小型厂房, 轻型厂房, 屋面坡度 1/8
			15		1.39	5.20	
			18		1.26	4.00	
7	钢筋混凝土三角形屋架 (CG145)		12	300	1.67	4.14	屋架上设檩条或挂瓦条, 自重较大, 适用于有檩体系中的中、小型厂房, 屋面坡度 1/2~1/3
			15		1.89	4.00	
8	钢筋混凝土折线形屋架 (G314)		15	300	2.03	4.92	外形较合理, 屋面坡度合适, 适用于卷材防水屋面或厂房
			18		2.00	5.76	
9	预应力混凝土折线形屋架 (G415) (卷材防水)		18	350	2.24	4.42	外形较合理, 屋面坡度合适, 适用于卷材防水屋面的大、中型厂房
			21		2.70	5.16	
			24		2.86	5.47	
			27		3.00	6.00	
10	预应力混凝土折线形屋架 (CG433) (卷材防水)		18	350	1.71	2.89	外形较合理, 自重较轻, 适用于非卷材防水屋面的中型厂房, 屋面坡度 1/4
			21		2.10	4.44	
			24		2.30	5.64	
11	预应力混凝土桁架屋架 (CG417)		18~20	300	2.10	5.10	自重较大, 刚度好; 适用于卷材防水屋面的海盐及采掘井式或纵向天窗的中、大型厂房; 屋面坡度 1/20~1/12
12	预应力混凝土梁杆屋架		15~26	250	2.10	4.49	构造较简单, 但局部刚度较差; 适用于梁杆井式或纵向天窗的厂房

注: 1. 图编号中加“取”字者系 1966 年编制的图例。
2. 预应力构件材料用量均按冷拉 II 级钢筋方案计。
3. 序号 12~17 均仅按 24m 跨度计算材料用量。

按经验，一般根据以下原则选取：

①跨度 $< 15m$ ，起吊质量 $Q \leq 10t$ ，且无大的振动荷载时，选用序号3~6或7（有檩体系时），当 $\geq 18m$ 宜选2或8；

②跨度 $Q > 10t$ ，一般选9~11，对于冶金厂房的高温车间，宜选用12。

(2) 屋架设计要求

1) 一般要求

柱距 $6m$ ，跨度 $(15 \sim 30)m$ 时，预应力混凝土折线形屋架。

柱距 $6m$ ，跨度 $(9 \sim 15)m$ 时，钢筋混凝土屋架。

预应力混凝土屋架，一般宜设计成整体，必要时也可采用两块体或多块体的组合屋架。

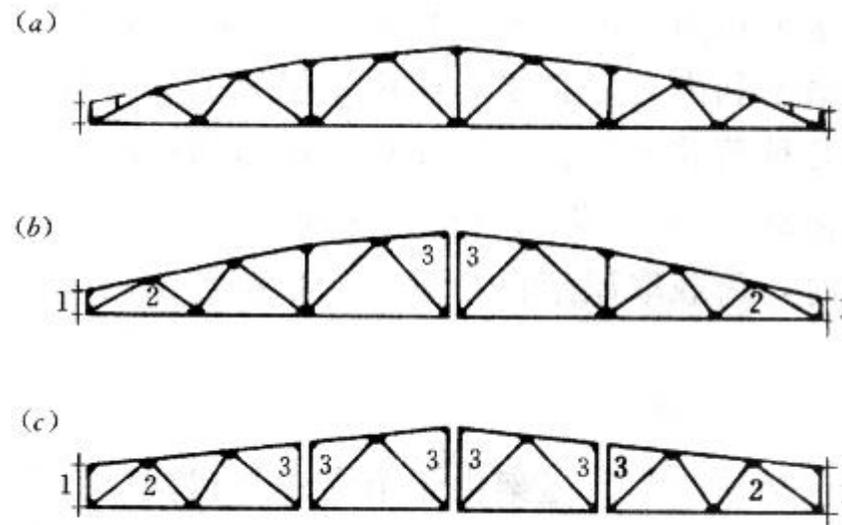


图 13-77 整体及块体组合屋架简图

2) 屋架的外形及杆件截面尺寸

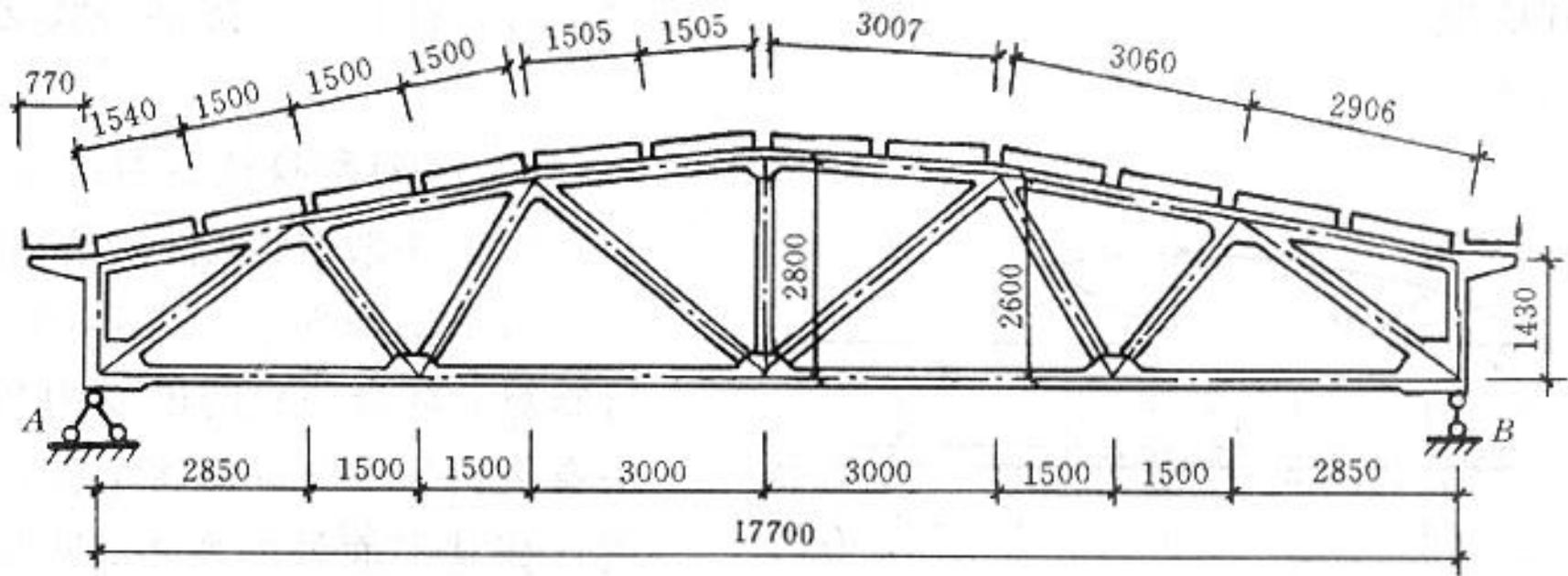
外形除满足使用要求，跨度及屋面外形构造等要求外，同时应尽可能接近简支梁弯矩图形。屋架的高跨比一般采用 $1/10$ - $1/6$ ，双坡折线形屋架的上弦坡度可采用 $1/15$ （端部）和 $1/15$ （中部），单坡折线形屋架的上弦坡度可采用 $1/7.5$ ，梯形屋架的上弦坡度采用 $1/7.5$ （非卷材防水屋面）或 $1/10$ （用于卷材防水屋面）。

屋架的高跨比符合规定要求，一般可不验算挠度。

3) 荷载和荷载效应组合

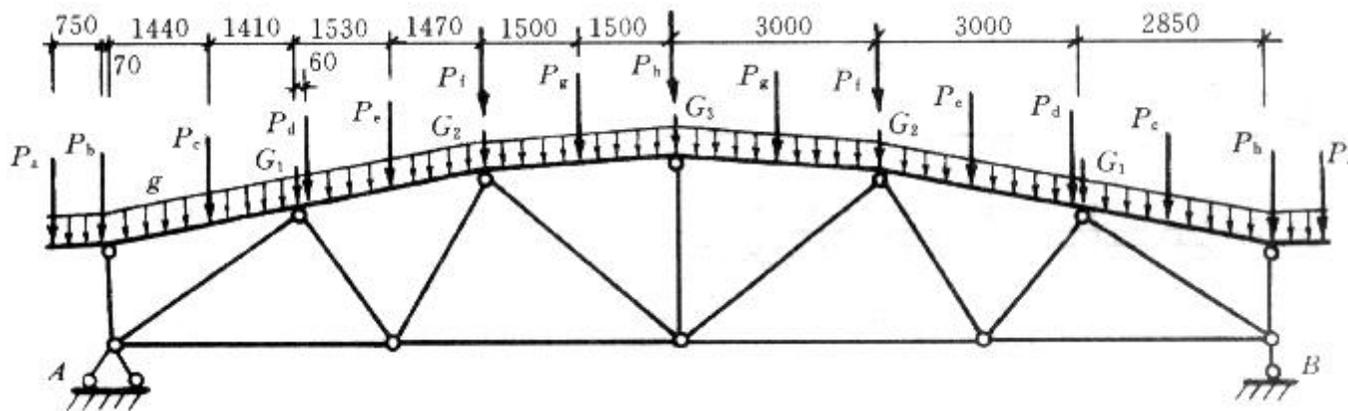
屋架自重可按 $(2.5 \sim 3.0)L$ 估算 (此处 L 为厂房跨度), 支撑自重可近似地按 0.05 kN/m^2 (采用钢系杆) 或 0.25 kN/m^2 (采用钢筋混凝土系杆) 估算。在屋架下弦, 应考虑排架传来的水平拉力, 验算屋架安装时, 荷载取屋架自身重力、半跨范围内屋面板自身重力和施工荷 0.5 kN/m^2 。

4) 计算简图和内力计算



屋架实际为多次超静定刚接桁架，但为简化取铰接桁架计算，并考虑"次弯矩"的影响。

①计算简图



②内力计算

先按铰接桁架计算轴力，节点荷载可按土弦连续梁对支座自力作用，当有节间荷载时，应按连续梁计算上弦的弯矩。

③次弯矩

由上述计算的弯矩称为主弯矩，因为节点间将产生相对位移，且各节点具有较大刚性而不是“理想铰”，因此在各杆件中会产生“附加弯矩”。为考虑“次弯矩”影响，一般利用取“影响系数” 1.15 来简化考虑这种影响，实际设计中一般只对钢筋混凝土组合屋架才考虑“次弯矩”影响。

5) 屋架翻身扶直时的验算

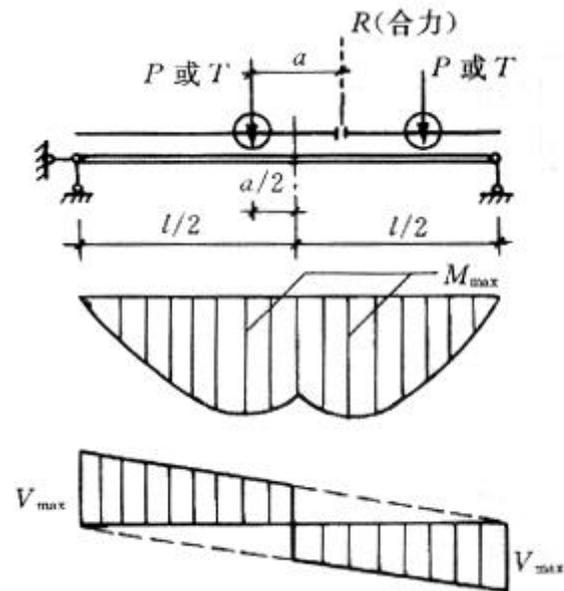
屋架制作后扶直的受力状态与实际使用状态明显不同，一般这时受力状态，可近似将上弦看为连续梁，计算平面外的弯矩，并以此验算上弦杆的承载力和抗裂度。应注意，荷载除上弦自重外，还应将腹杆重量的一半传给上弦的相应节点，动力系数为1.5

§ 12. 6 吊车梁

12. 6. 1 吊车梁的受力特点

1. 吊车荷载具有移动性

它分为移动竖向荷载 P ，移动横向水平荷载 T ，各截面内力最不利值应根据影响线法求，整个梁应作出内力包络图。这里应注意：在两台吊车作用时，弯矩包络图为"鸡心形"，支座和跨中截面间的剪力包络图形，近似为直线。



吊车梁的弯矩和剪力包络图

2. 吊车荷载具有重复性

在50年内，一般重级工作制吊车的重复次数 $(4 \sim 6) \times 10^6$ ，中级为 2×10^6 次，在重复荷载作用下，材料会疲劳破坏，故吊车梁除进行静载计算外，还需疲劳验算。应注意：此时荷载为标准值，对跨 $> 12m$ 的吊车梁，可取用一台最大吊车荷载。

3. 吊车荷载具有动力性

对吊车竖向荷载应乘以动力系数 μ 。对重级吊车， $\mu = 1.1$ ；对轻、中级吊车 $\mu = 1.05$ 。

4. 吊车荷载是偏心荷载

无论是 μP_{\max} ，还是 T ，均是偏心的。

每个车轮产生的扭矩按两种情况考虑：

① 静力计算：考虑两台吊车， $t = (\mu p_{\max} e_1 + T e_2) \times 0.7$

② 疲劳强度验算：考虑一台吊车，且不考虑吊车横向水平荷载的影响， $t^f = 0.8 \mu p_{\max} e_1$

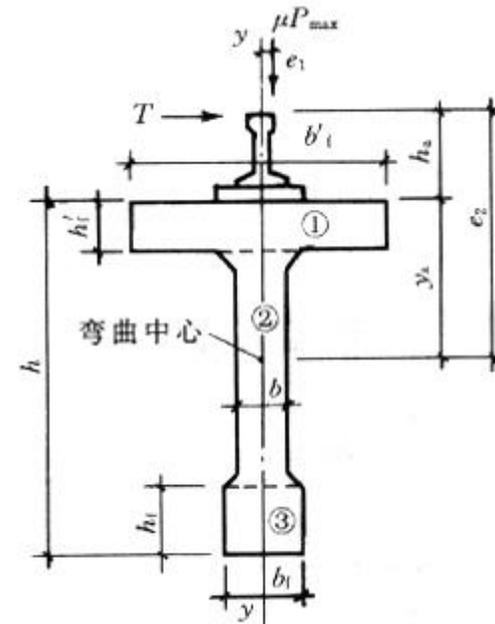
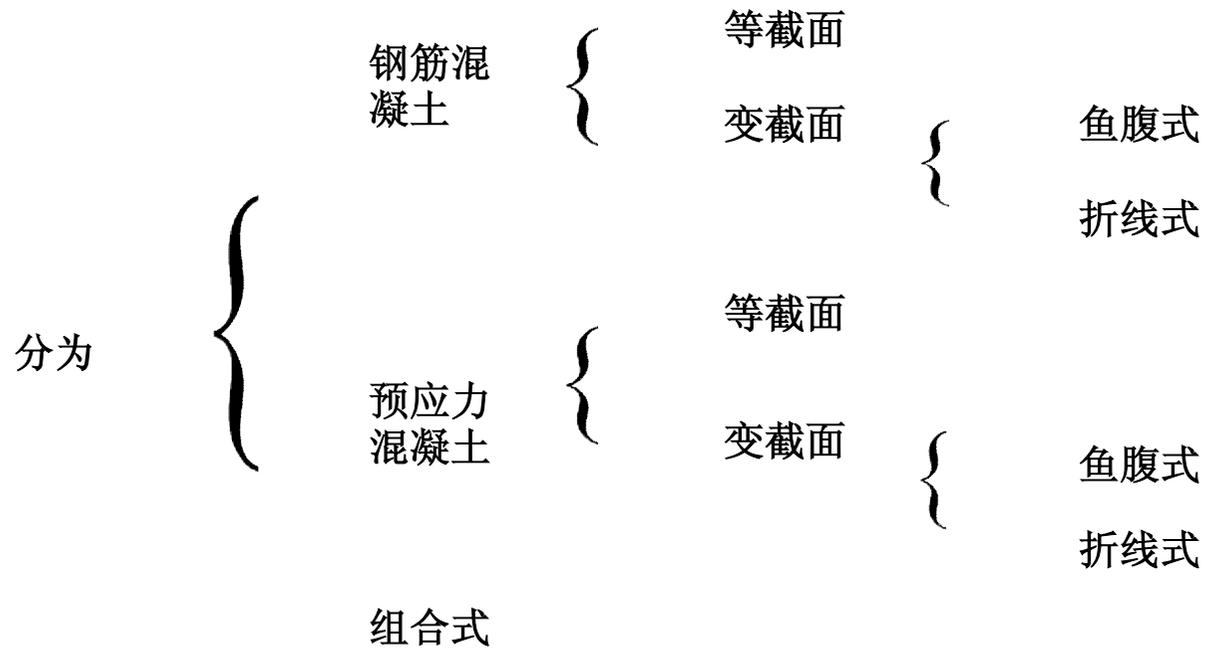


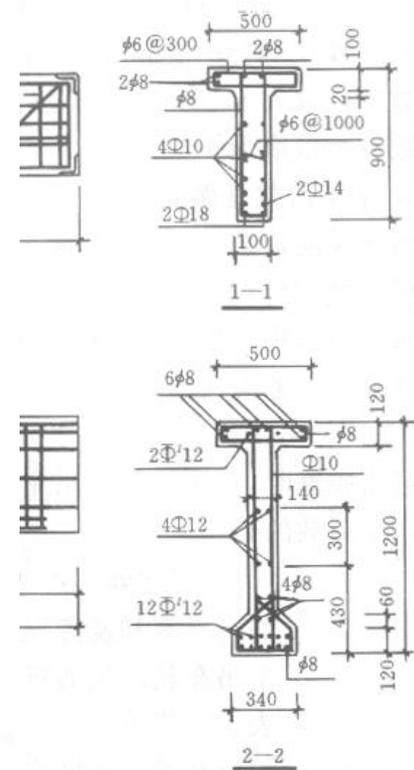
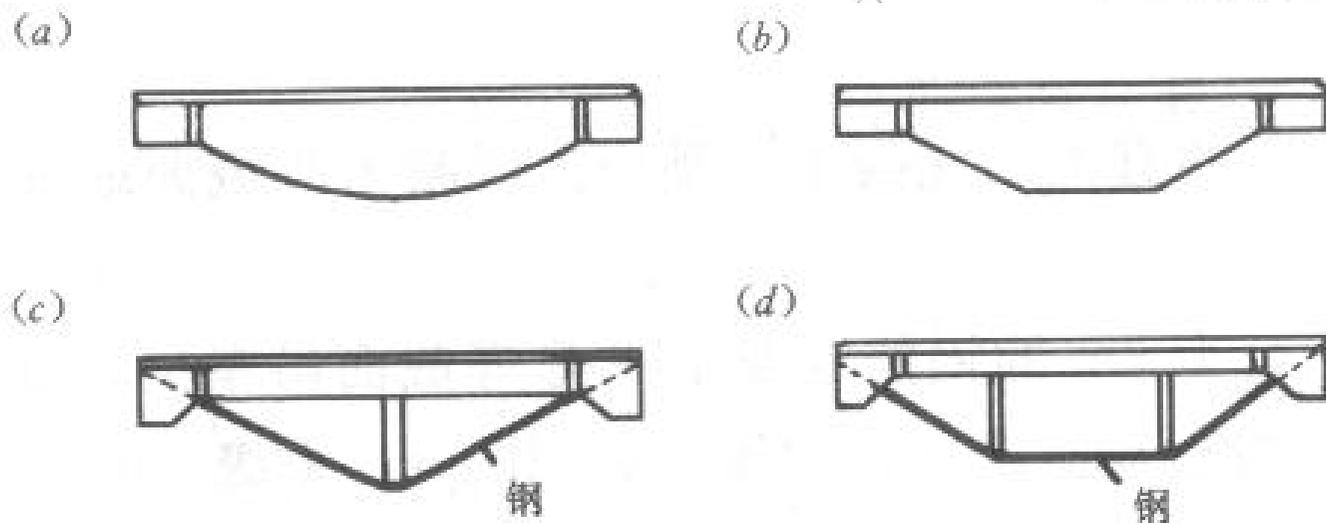
图 13-87 吊车荷载的偏心影响

12. 6. 2 吊车梁的型式和构造

1. 型式



一般应优先采用预应力混凝土吊车梁，特别是吨位大、重级吊车。
 组合式吊车梁的下弦杆为钢材，一般只用于小吊重的轻、中级吊车。



吊车梁

图 13-89 变截面吊车梁和组合式吊车梁

(a) 鱼腹式吊车梁；(b) 折线式吊车梁；

(c)、(d) 组合式吊车梁

2. 构造要求 连接构造见下图。

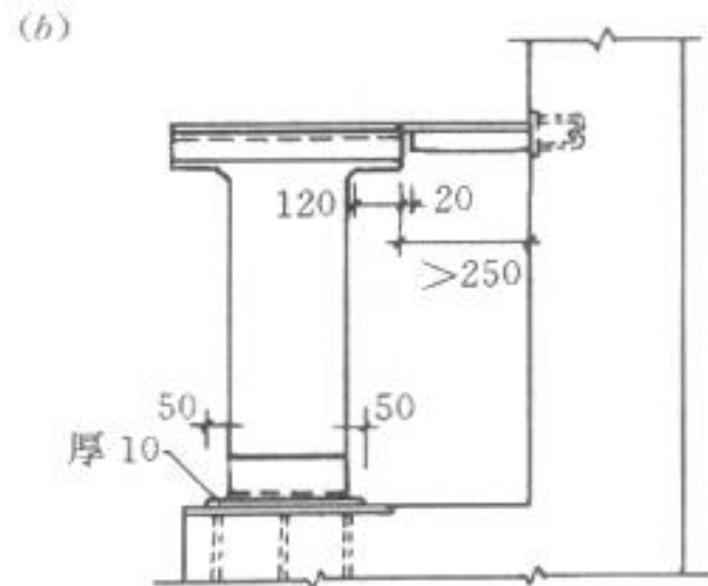
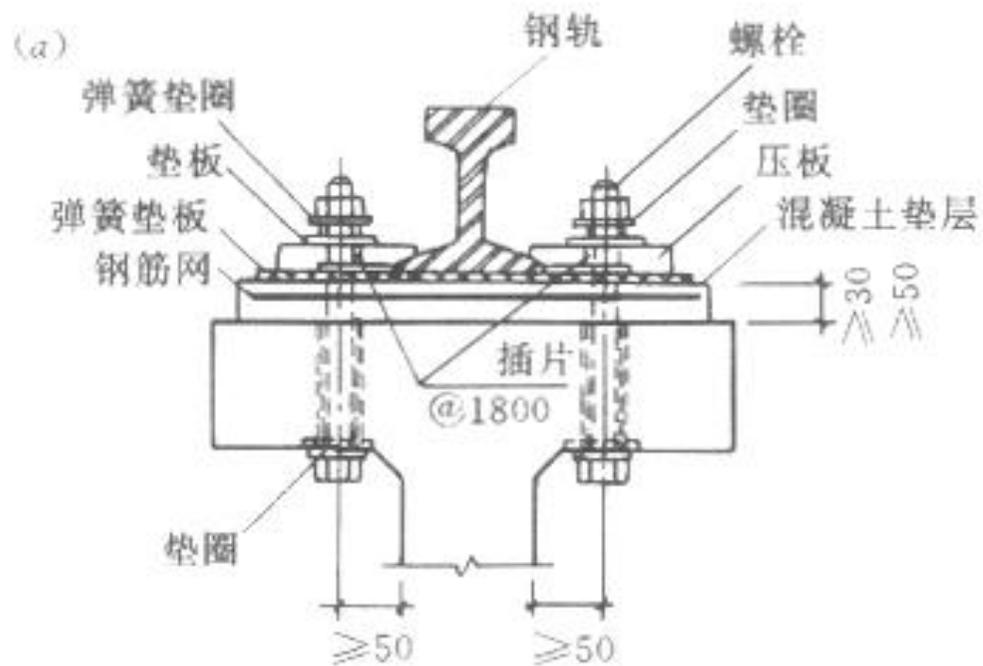


图 13-90 吊车梁的连接构造

(a) 轨道与吊车梁的连接；(b) 吊车梁与柱的连接