



内蒙古科技大学

Inner Mongolia University of Science & Technology

混凝土与砌体结构

第 3 章 单层厂房

3.1 概述

3.1.1 单层厂房特点

➤工业厂房由于生产性质、工艺流程、机械设备和产品的不同，有**单层和多层**之分。

➤**单层厂房**多用于机械设备和产品较重且轮廓尺寸较大的生产车间，以便于大型设备可直接安装于地面上，使生产工艺流程和车间内部运输比较容易组织。因此，冶金、机械制造等的炼钢、轧钢、铸造、锻压、金工、装配等车间通常设计成单层厂房。纺织厂也常是单层厂房。

3.1 概述

3.1.1 单层厂房特点

- 具有较大的跨度和净空、承受的荷载大、致使结构构件的内力大、截面尺寸大,材料用量多
- 常作用有吊车荷载、动力机械设备荷载等,因此结构设计时必须考虑动力作用的影响
- 属空旷结构,柱是承受各种荷载的主要构件
- 每种构件的应用较多,因此有利于构件设计标准化、生产工厂化、施工机械化。为缩短建造工期,一般采用装配式或装配整体式结构。

3.1 概述

3.1.2 单层厂房的结构型式

按结构材料分类

- **砖混结构**：无吊车或吊车吨位不超过**5吨**、跨度在**15m**以内，柱顶标高不超过**8m**且无特殊工艺要求的小型厂房
- **钢结构**：有重型吊车（吊车吨位在**250t**以上，吊车工作级别为**A4**、**A5**级、跨度大于**36m**或有特殊工艺要求的大中型厂房，**钢结构柱+钢屋架**
- **钢筋混凝土结构**：**钢筋混凝土柱+钢筋混凝土屋架或钢屋架**

3.1 概述

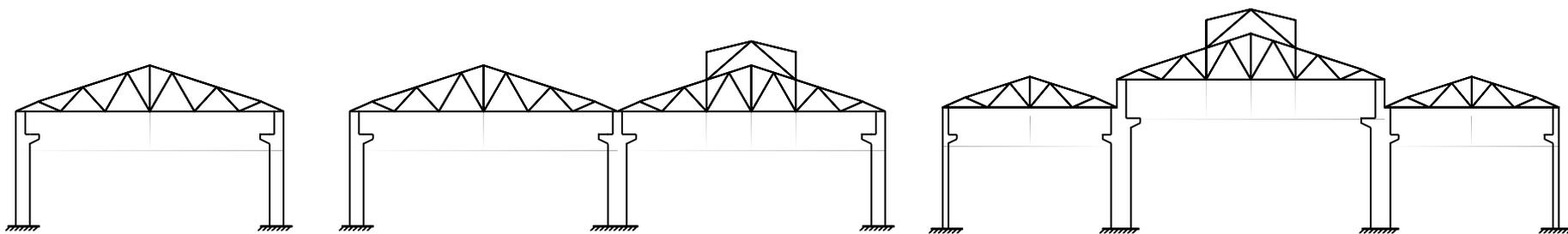
3.1.2 单层厂房的结构型式

按结构体系分类

➤ **排架结构**：由屋架或屋面梁、柱和基础组成；**柱与屋架铰接，与基础刚接**。根据生产工艺和使用要求的不同，排架结构可设计成单跨或多跨、等高或不等高、锯齿形等多种形式。

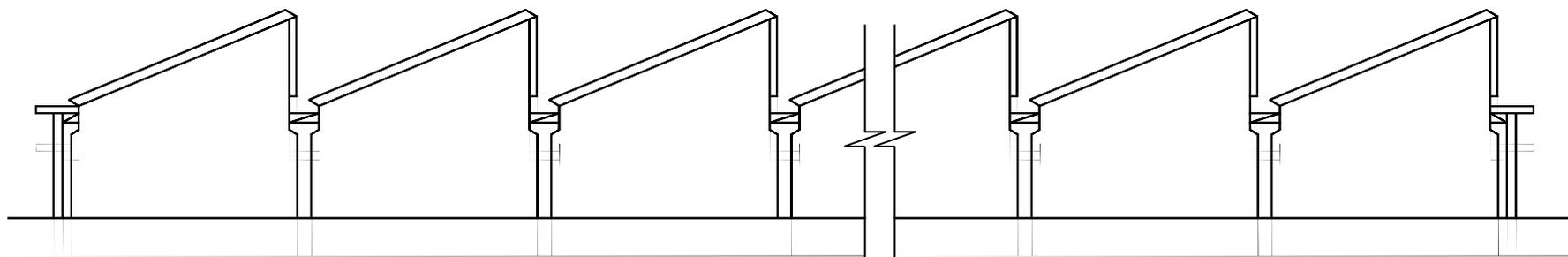
3.1 概述

3.1.2 单层厂房的结构型式



等高排架

不等高排架



锯齿型排架

锯齿形厂房中的长车，如细纱机和拈线机等，应垂直于天窗排列，保证工作面采光均匀

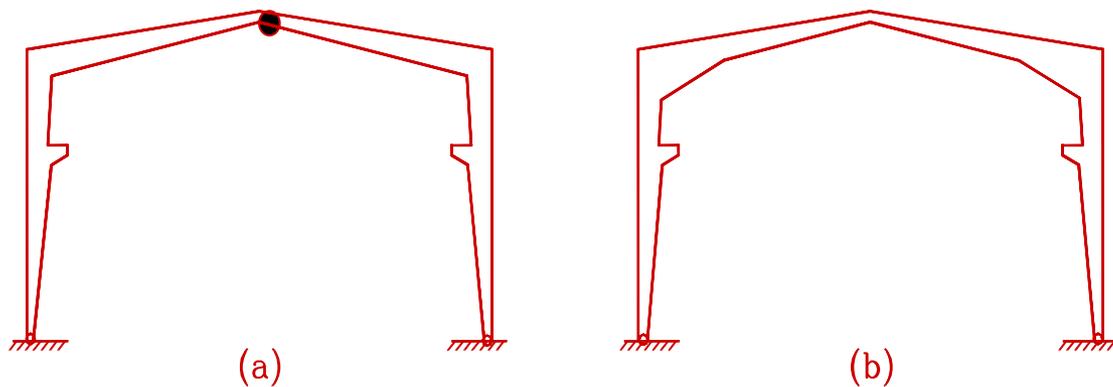
3.1 概述

3.1.2 单层厂房的结构型式

➤ **刚架结构**：由横梁、柱、基础组成，常做成装配式钢筋混凝土门式刚架；**柱与横梁刚接，与基础铰接。**

优点：梁柱合一，构件种类少，制作较简单，结构轻巧，跨度较小时经济

缺点：刚度较差，受荷后会产生跨变，梁柱转角处易产生早期裂缝，吊装较麻烦



本章学习钢筋混凝土排架厂房的设计



试验

3.2.1 单层厂房的结构组成

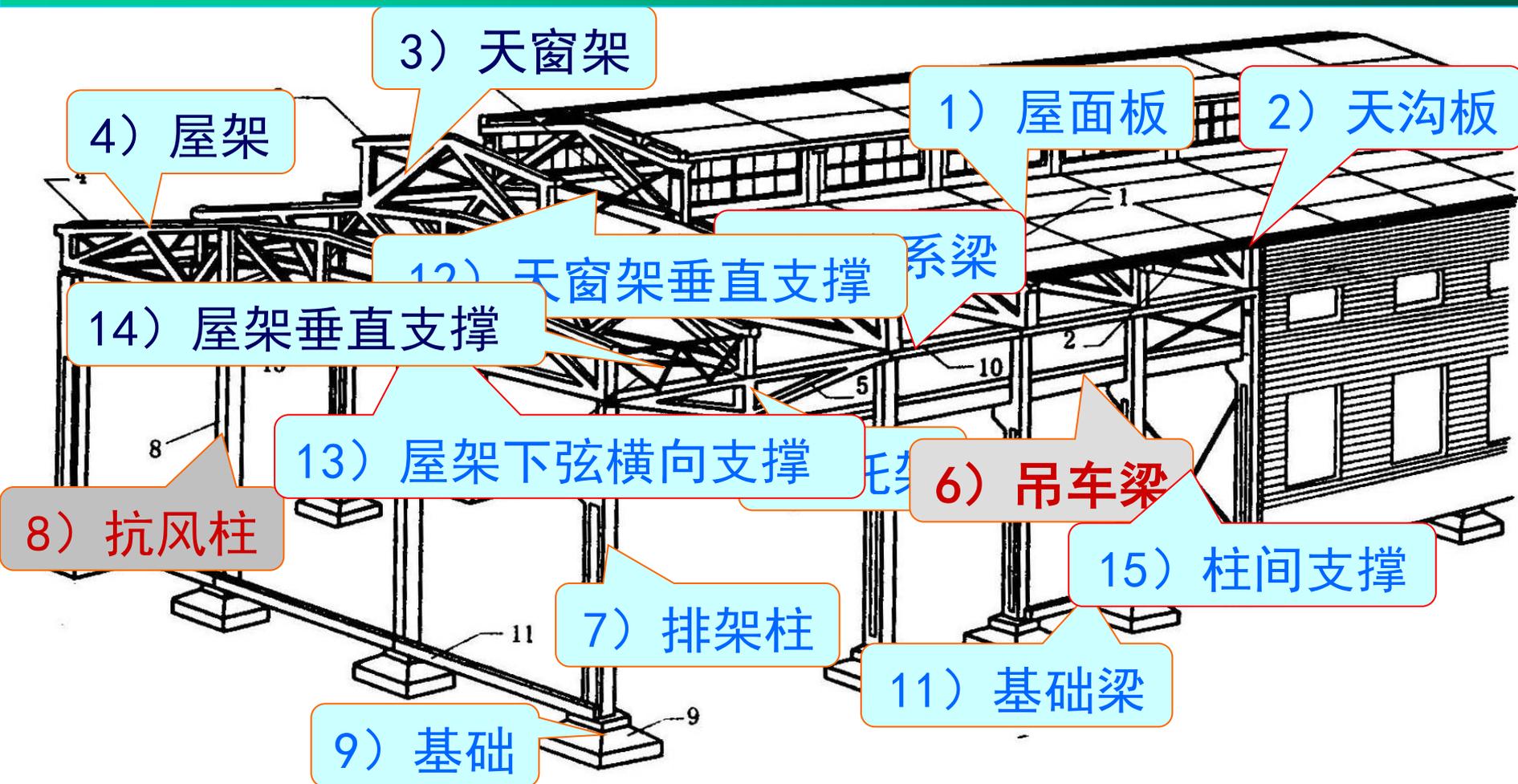


图 2.3 单层厂房的结构组成

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

3.2 单层厂房结构组成与荷载传递

3.2.1 结构组成

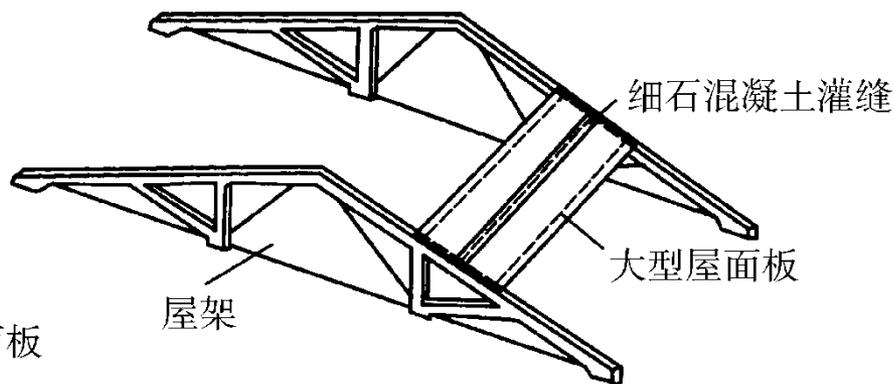
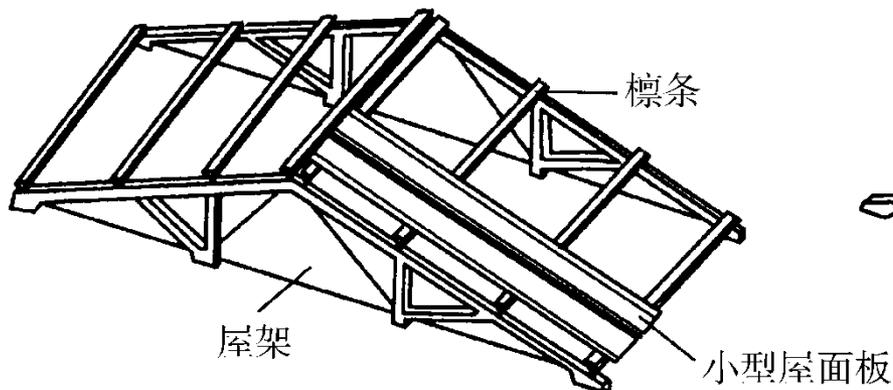
➤ 屋盖结构

有檩体系——

由小型屋面板、檩条、屋架及屋盖支撑所组成

无檩体系——

由大型屋面板、屋架或屋面梁及屋盖支撑组成，有时还包括有天窗架和托架等构件

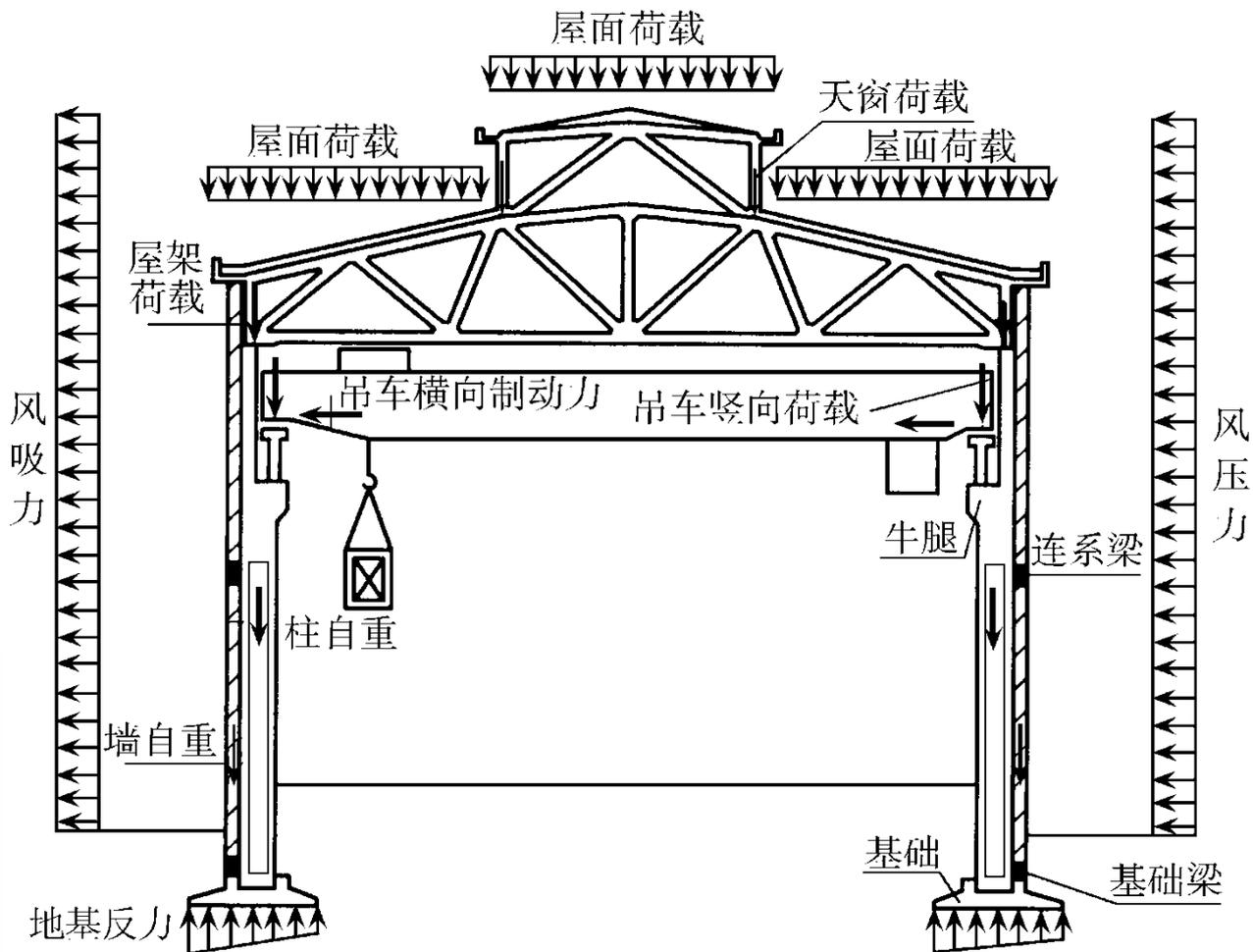
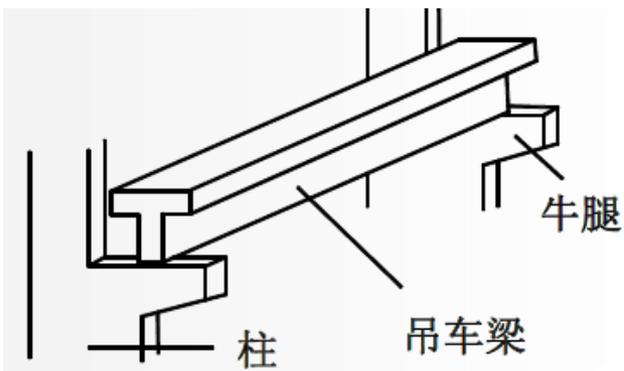


3.2 单层厂房结构组成与荷载传递

3.2.1 结构组成

➤ 横向排架结构

由屋架或横梁、横向柱列及其基础所组成的平面骨架，是厂房的基本承重结构。厂房承受的竖向荷载及横向水平荷载主要通过横向平面排架传至基础及地基。

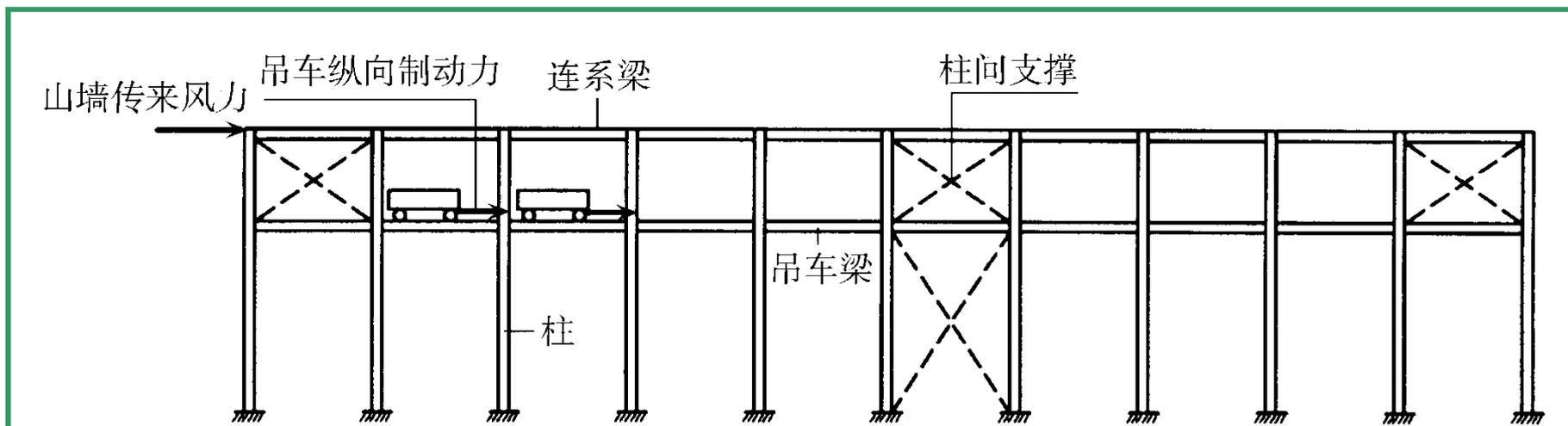


3.2 单层工业厂房结构组成与荷载传递

3.2.1 结构组成

纵向排架结构

由连系梁、吊车梁、纵向柱列、柱间支撑和基础等构件组成的纵向平面骨架。**作用**是保证厂房结构的纵向稳定性和刚度，承受吊车纵向水平荷载、纵向水平地震作用、温度应力以及作用在山墙及天窗架端壁并通过屋盖结构传来的纵向风荷载等



3.2 单层工业厂房结构组成与荷载传递

3.2.1 结构组成

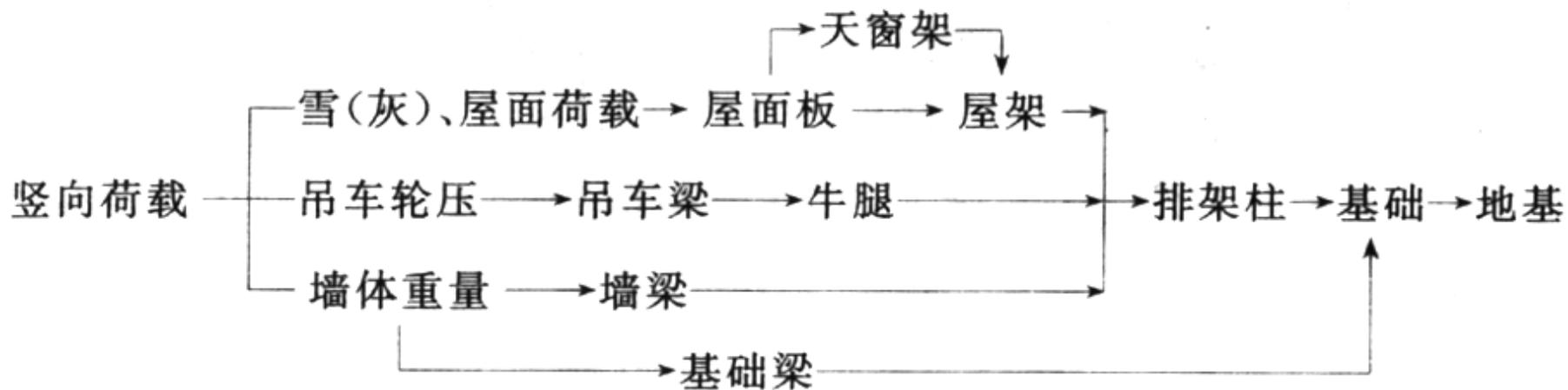
➤ 围护结构 ——

位于厂房的四周，包括纵墙、横墙（山墙）、抗风柱、连系梁、基础梁等构件。这些构件所承受的荷载，主要是墙体和构件的自重以及作用在墙面上的风荷载

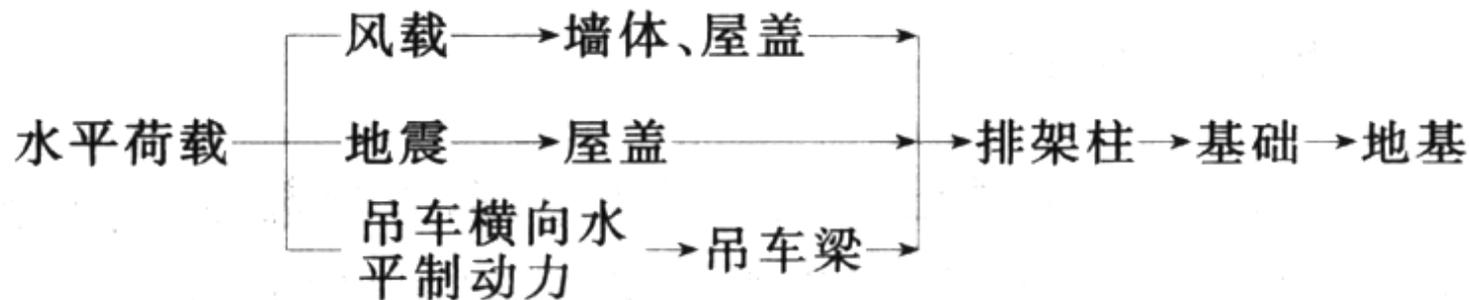
➤ 支 撑 ——

包括屋盖支撑和柱间支撑。作用有3个方面：加强厂房空间刚度；保证结构在安装和使用阶段的稳定，传递水平荷载

3.2.2 主要荷载及传递



横向平面排架上的水平荷载:



3.3 结构布置

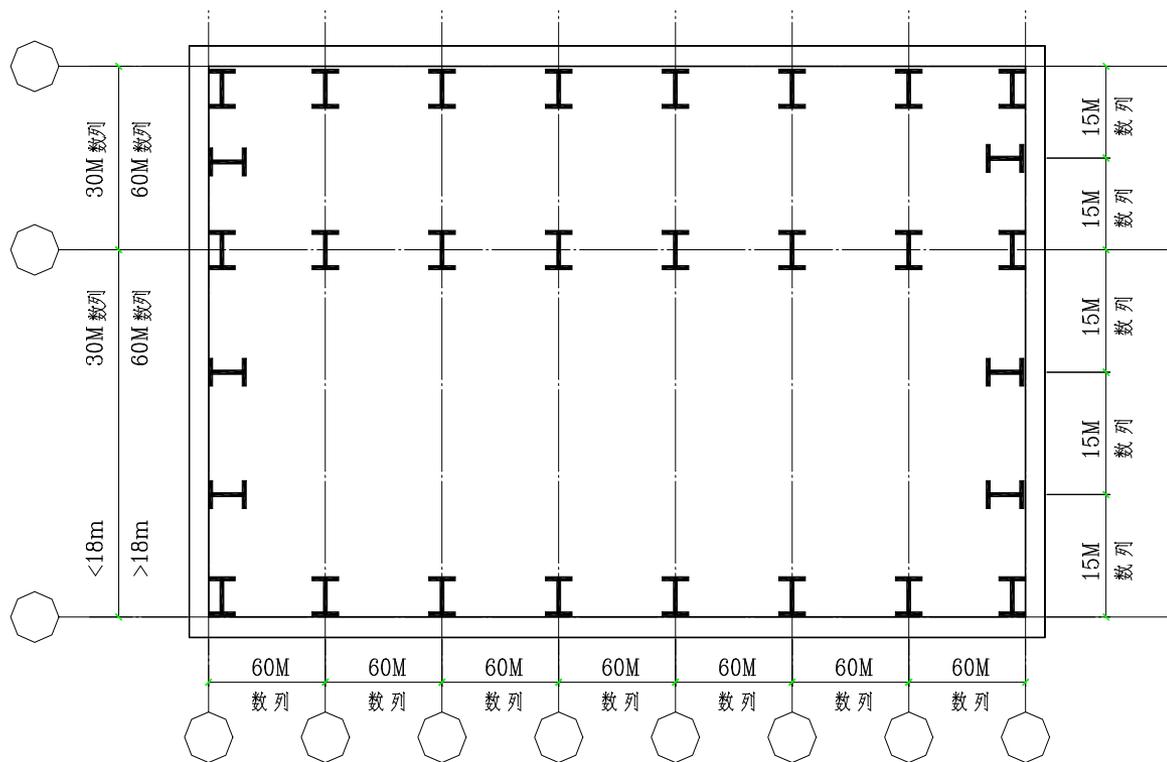
3.3.1 结构平面布置

1、柱网布置与定位轴线

柱网

承重柱（或墙）的纵向定位轴线的距离称为**跨度**，横向定位轴线的距离为**柱距**

柱网是竖向承重构件的纵横向定位轴线所形成的网格。



厂房建筑模数协调标准 (GB/T50006-2010)

柱距应采用6米或6米的倍数；

跨度在18米以下采用3米的倍数，在18米以上采用6米的倍数。

3.3 结构布置

3.3.1 结构平面布置

1、柱网布置与定位轴线

定位轴线

定位轴线之间的距离与主要构件的**标志尺寸**应一致,且应符合建筑模数的要求。

标志尺寸是指构件的**实际尺寸**加上两端必要的**构造尺寸**,使其与厂房的定位轴线之间的距离相配合。

屋面板: **1490mm×5970mm; 1500mm×6000mm**

厂房跨度: **17950mm; 18m**

3.3 结构布置

3.3.1 结构平面布置

1、柱网布置与定位轴线

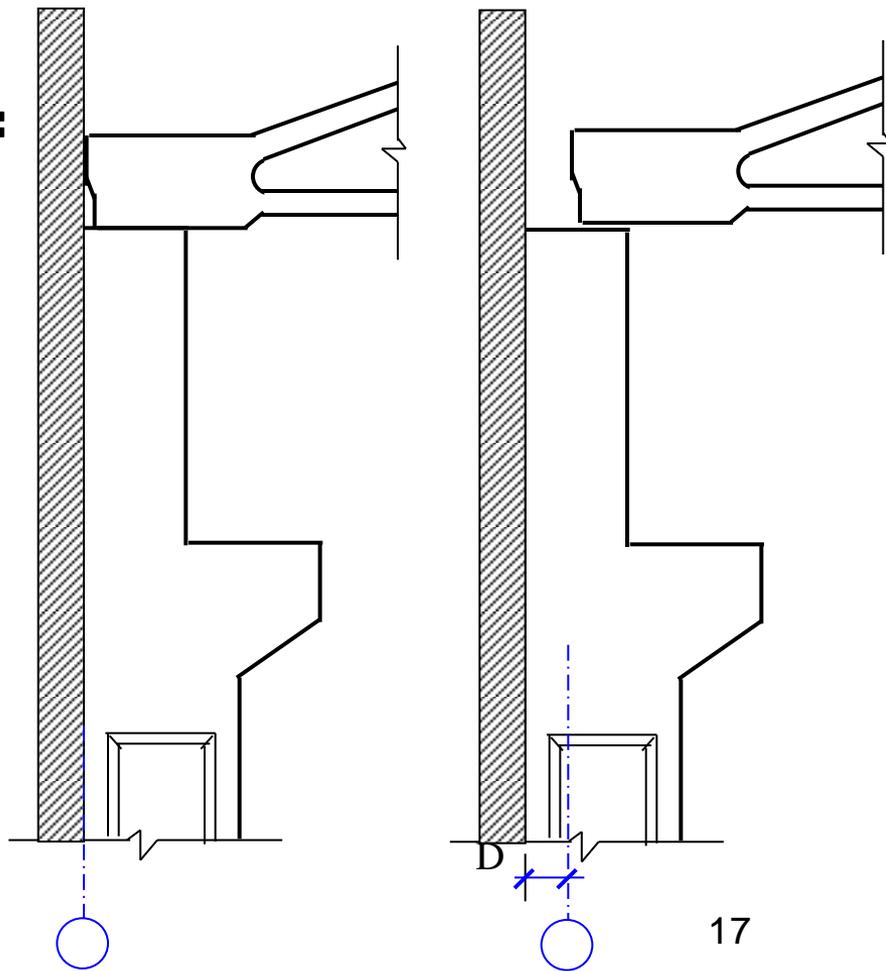
纵向定位轴线

•墙、边柱与纵向定位轴线的关系：

➤柱距6米、无吊车或 $Q \leq 30t$
边柱外缘和墙内缘与轴线重合，
称封闭结合。

➤柱距6米、 $30t \leq Q \leq 50t$
边柱外缘和墙内缘与轴线之间加
联系尺寸 $D=125$ ，称非封闭结合。

➤柱距12米、或 $Q > 50t$
联系尺寸 $D=250、500$ 。



3.3 结构布置

3.3.1 结构平面布置

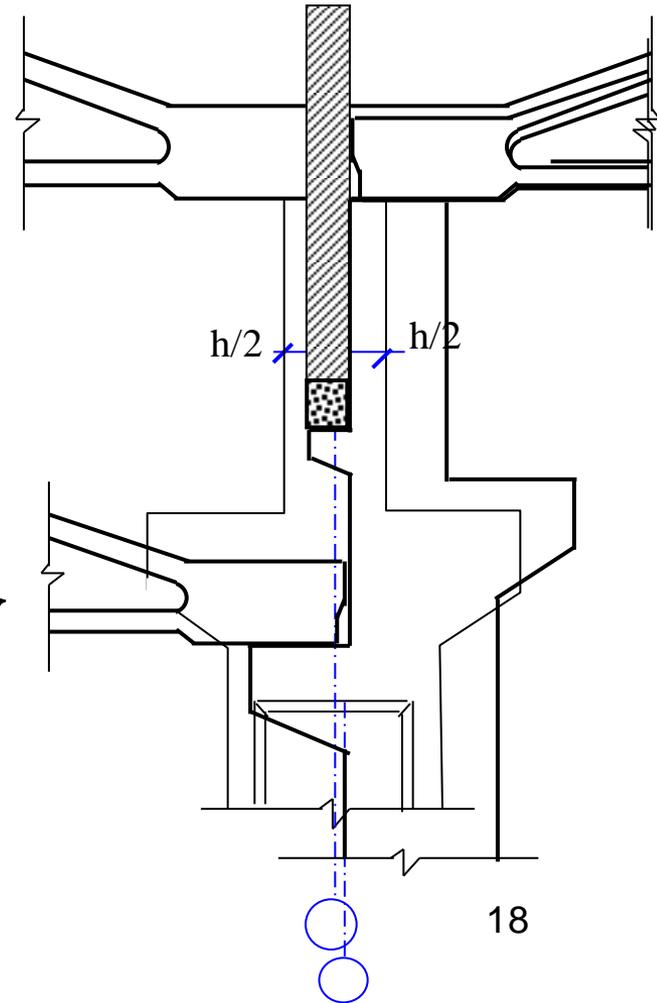
1、柱网布置与定位轴线

纵向定位轴线

•中柱与纵向定位轴线的关系：

等高跨 纵向轴线与上柱中心线重合

高低跨 纵向轴线与高跨柱外边缘重合

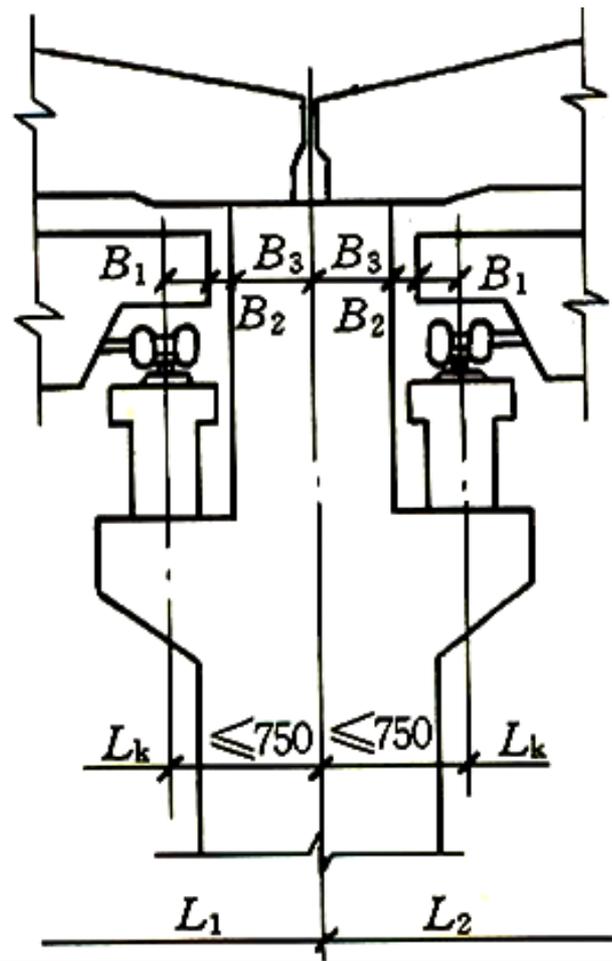
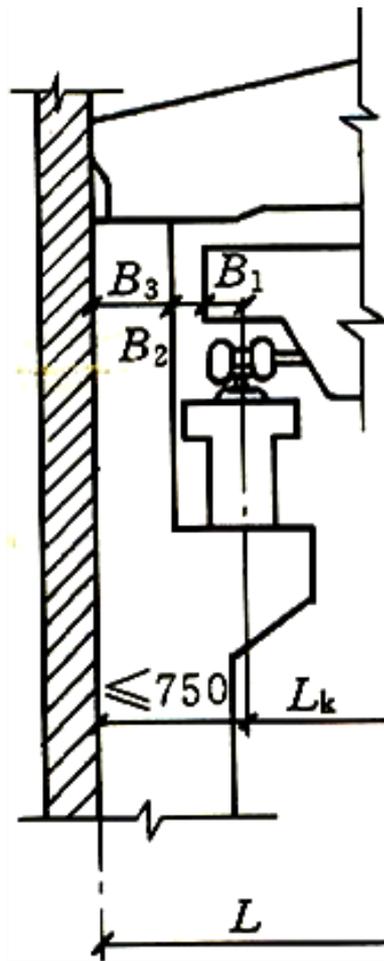


3.3 结构布置

3.3.1 结构平面布置

1、柱网布置与定位轴线

纵向定位轴线



3.3 结构布置

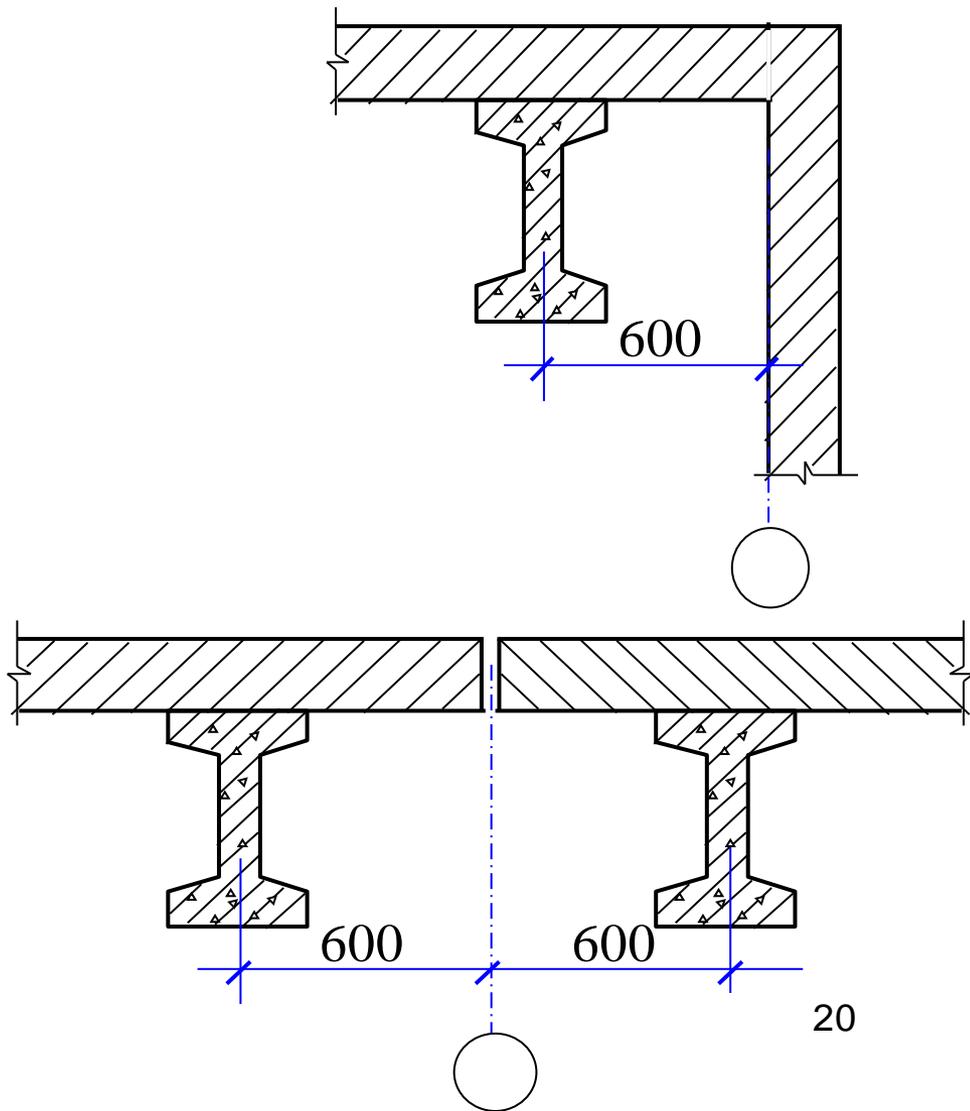
3.3.1 结构平面布置

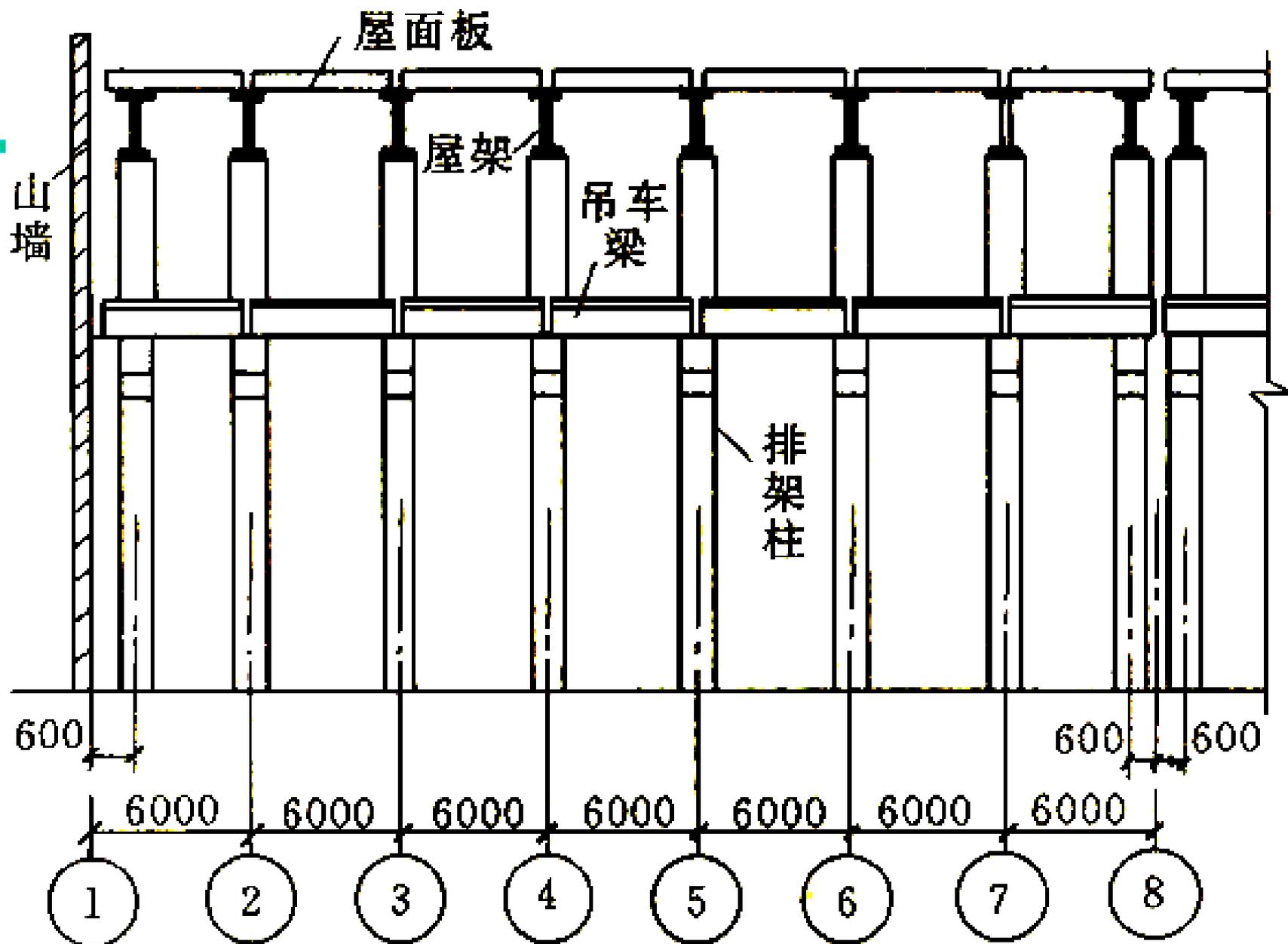
1、柱网布置与定位轴线

横向定位轴线

一般通过柱截面的几何中心。

伸缩缝和端部处：横向定位轴线与山墙内边缘重合，将山墙处端柱中心线内移600mm，同样在伸缩缝两侧的柱中心线也向两边各移600mm，伸缩缝中心线与横向定位轴线重合。





3.3 结构布置

3.3.1 结构平面布置

2、变形缝设置

• 伸缩缝

伸缩缝从基础顶面开始，将上部结构构件完全分开

• 沉降缝

一般不设。下列情况之一设：

- a. 相邻部位高差很大；
- b. 相邻跨吊车起重量悬殊；
- c. 下卧土层有很大变化；
- d. 各部分施工时间相差很长。

• 抗震缝

当厂房平、立面布置复杂或结构高度、刚度相差很大时设置。

3.3.2 厂房高度：室内地面至柱顶的距离

厂房设计时须按**生产工艺要求**和**有无吊车**等确定吊车轨顶和屋架下弦底面距室内地面的高度，分别以**吊车轨顶标高**和**屋架下弦底面标高**表示。

$$H_u = h + a + h_6 + h_7$$

$$H_l = H_1 + e - h - a$$

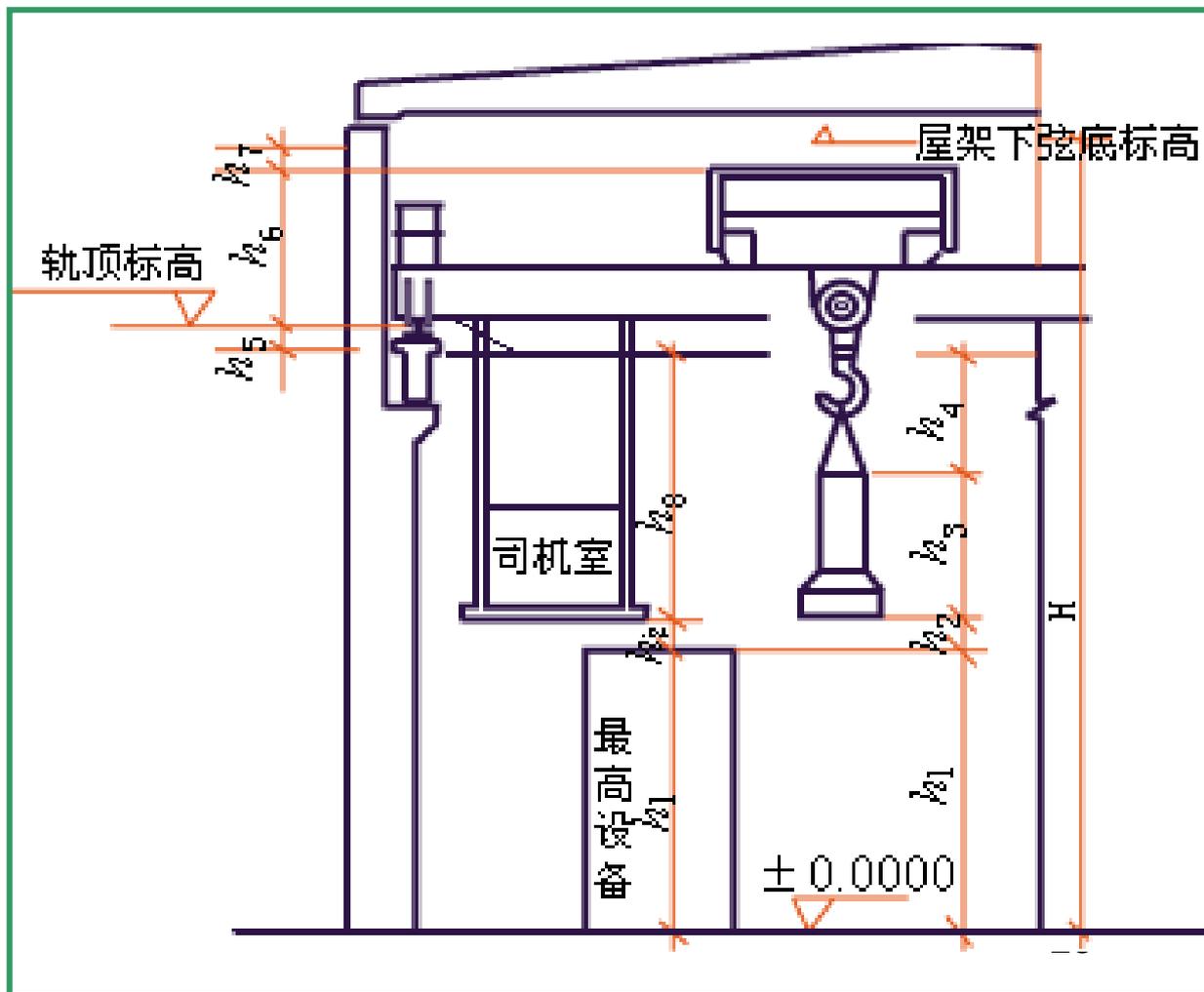
a ——轨道及附件高度，

一般取 $a \geq 200\text{mm}$ ；

h_6 ——吊车轨顶至小车顶面的尺寸（由吊车规格查得）；

h_7 ——屋架下弦底面与小车顶面之间预留的安全行车间隙， $d \geq 220\text{mm}$ 。

e ——从室内地坪到基础顶面的距离。



3.3 结构布置

3.3.2 厂房高度

厂房的剖面布置

•高度

自室内地面至屋架下弦底面高度应为300的倍数；

自室内地面至牛腿顶面高度应为300的倍数；

自室内地面至吊车轨顶标高应为600的倍数。

•净空要

求屋架下弦与吊车架外轮廓线的距离 $H_C \geq 220mm$

吊车架外缘与柱内缘的间距

$$B_2 \geq 80mm(Q \leq 50t), 100mm(Q > 50t)$$

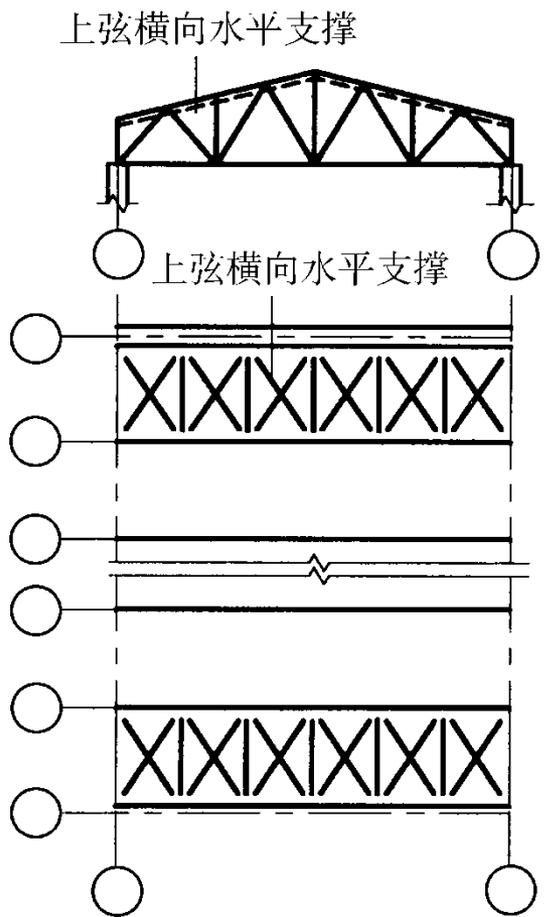
•轨道中心线与纵向轴线的距离 $\lambda = 750mm$

3.3 结构布置

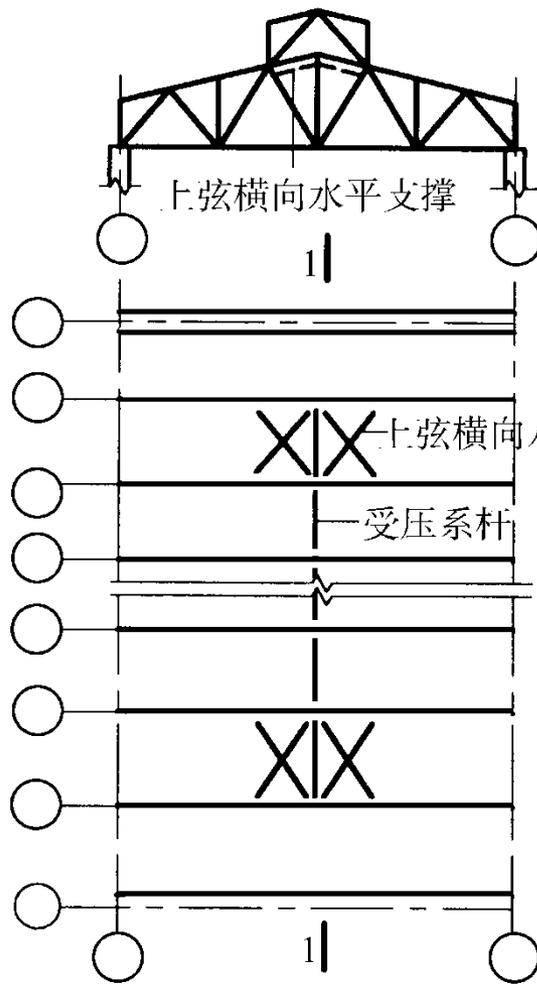
3.3.3 支撑布置

(1) 屋盖支撑

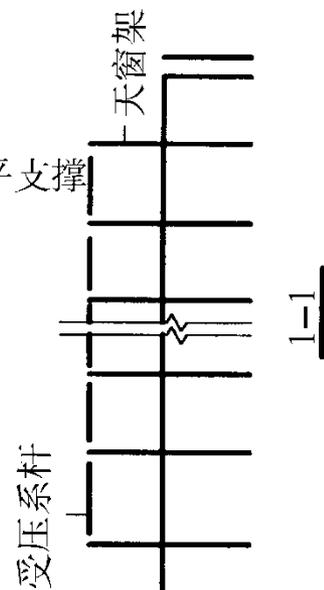
1) 上弦横向水平支撑



(a)



(b)



1-1

3.3 结构布置

3.3.3 支撑布置

3、单层厂房的支撑

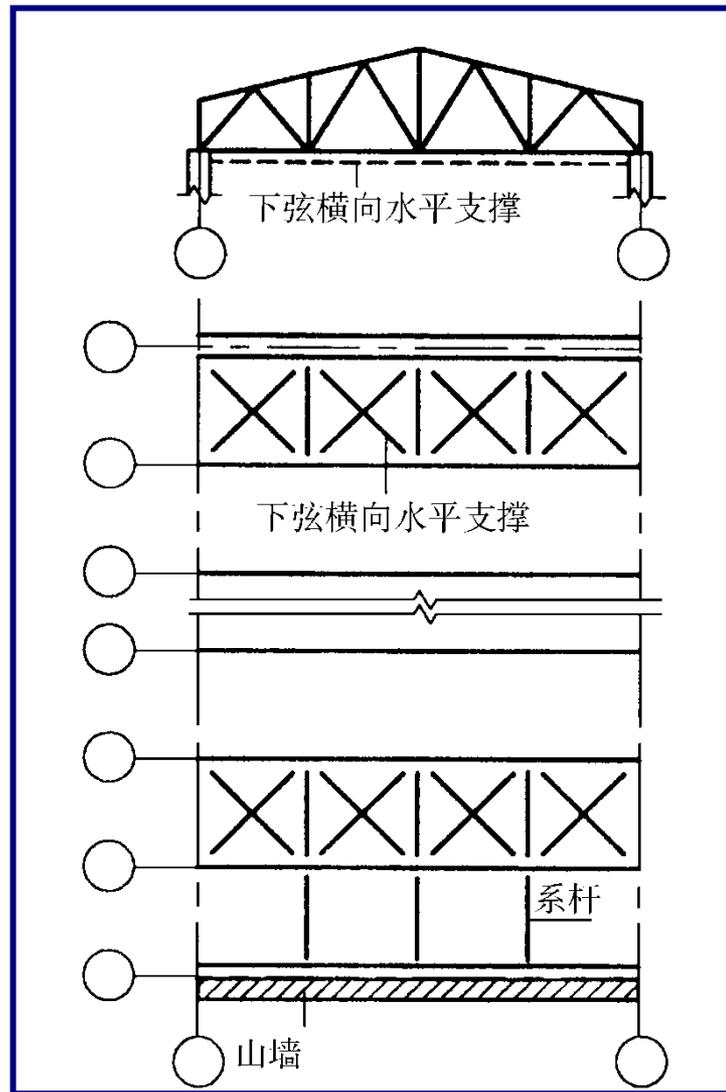
(1) 屋盖支撑

2) 下弦横向水平支撑

构成：沿厂房跨度方向在屋架下弦杆构成的水平桁架。

作用：将山墙风荷载及纵向水平荷载传至纵向柱列；防止屋架下弦侧向振动。

布置：当屋架下弦设有悬挂吊车（厂房内振动较大），或山墙风荷载通过抗风柱传至屋架下弦，应在每一伸缩缝区段两端的第一或第二柱间设置。



3.3 结构布置

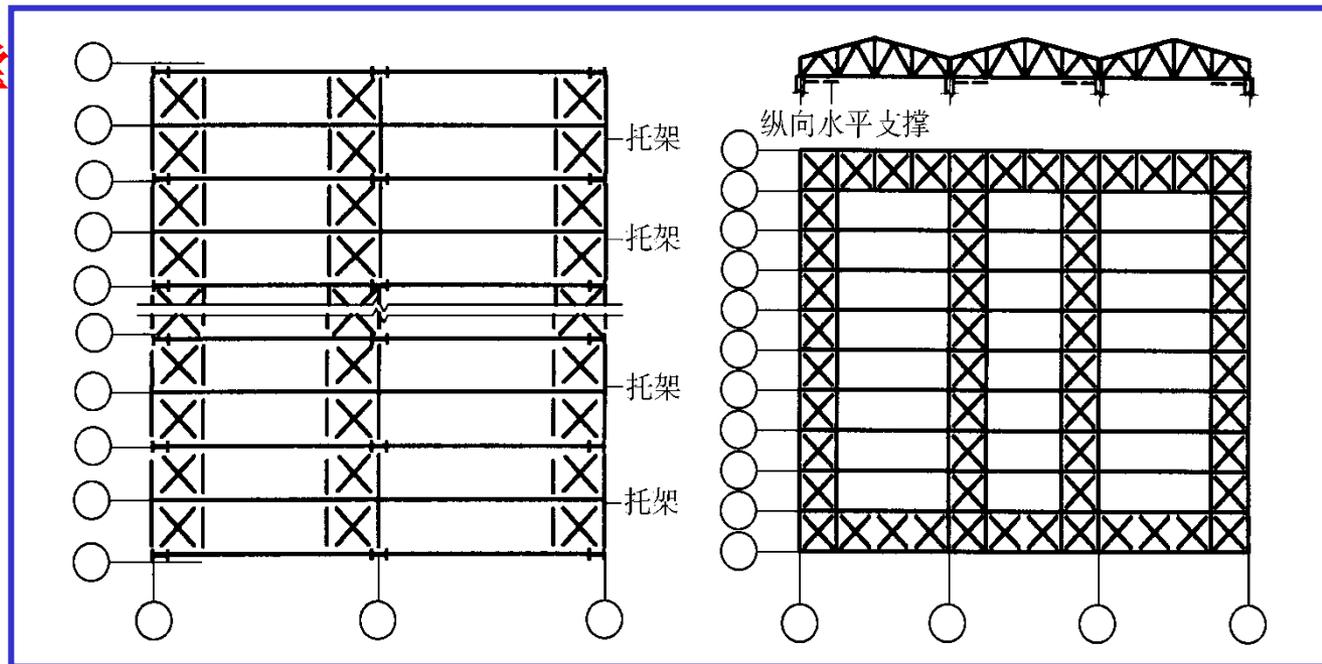
3.3.3 支撑布置

3、单层厂房的支撑

(1) 屋盖支撑

3) 纵向水平支撑

构成：由交叉角钢、直杆和屋架下弦第一节间组成的纵向水平桁架。



4) 垂直支撑

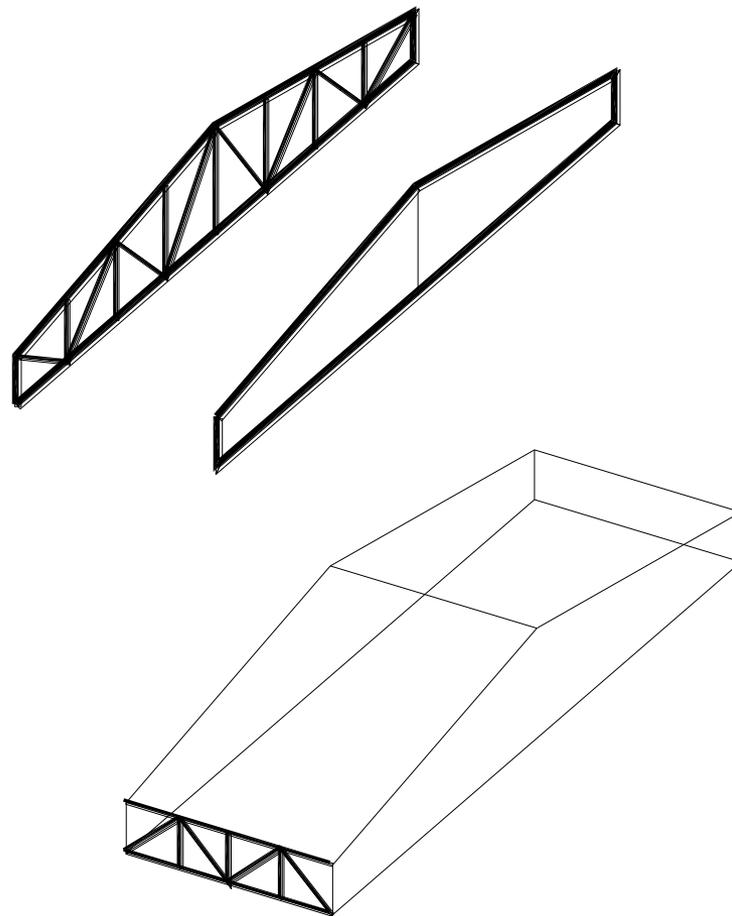
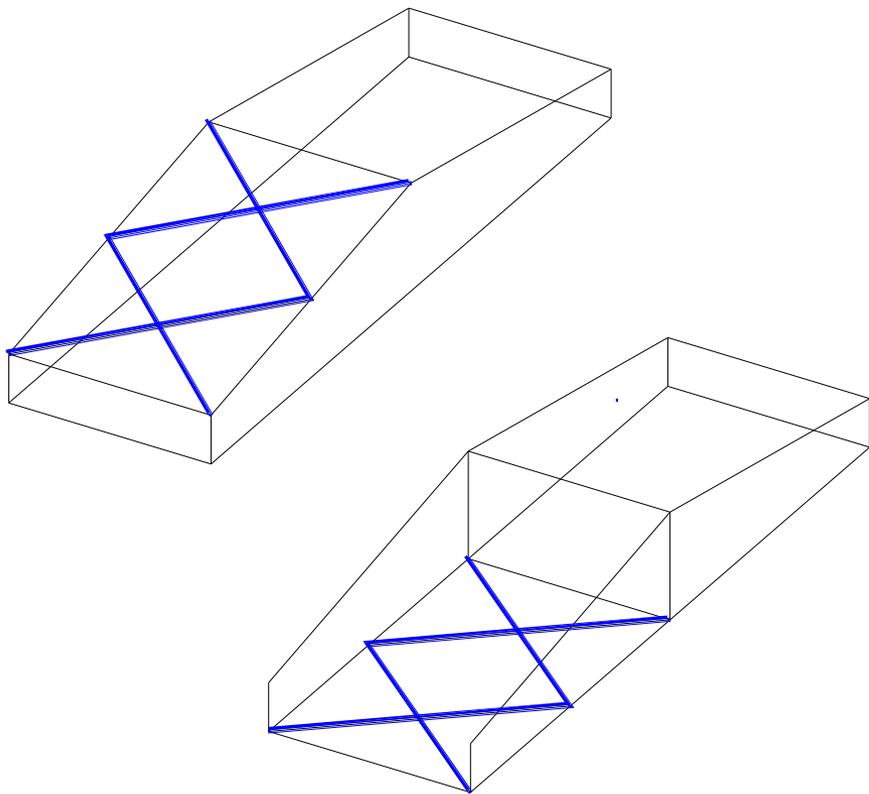
构成：由角钢杆件与屋架直腹杆组成的垂直桁架，形式为十字交叉形或W形。

3.3 结构布置

3.3.3 支撑布置

3、单层厂房的支撑

(1) 屋盖支撑



3.3 结构布置

3.3.3 支撑布置

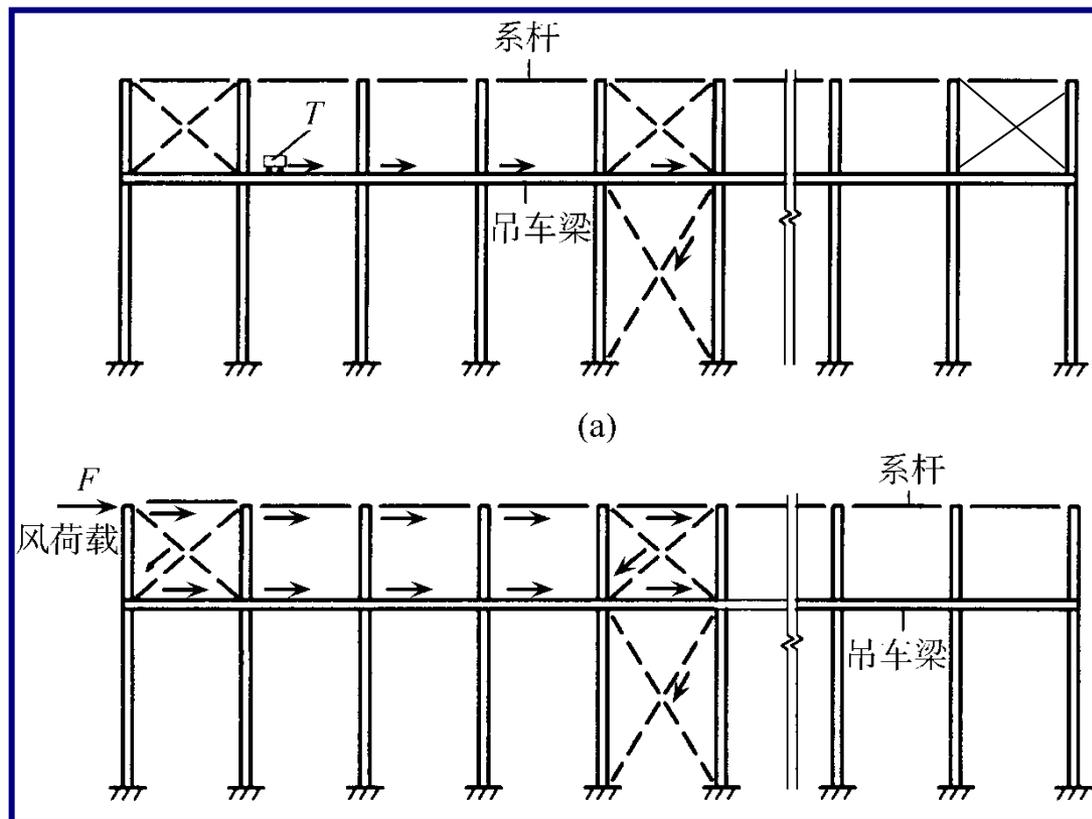
3、单层厂房的支撑

(2) 柱间支撑

柱间支撑是纵向平面排架中主要的抗侧力构件。

构成：由交叉钢杆件组成，交叉倾角 $35\sim 55^\circ$ ，支撑钢构件的截面尺寸需经承载力和稳定计算确定。

作用：提高厂房的纵向刚度和稳定性；将吊车纵向水平制动力、山墙及天窗端壁的风荷载、纵向水平地震作用等传至基础。



3.3 结构布置

3.3.3 支撑布置

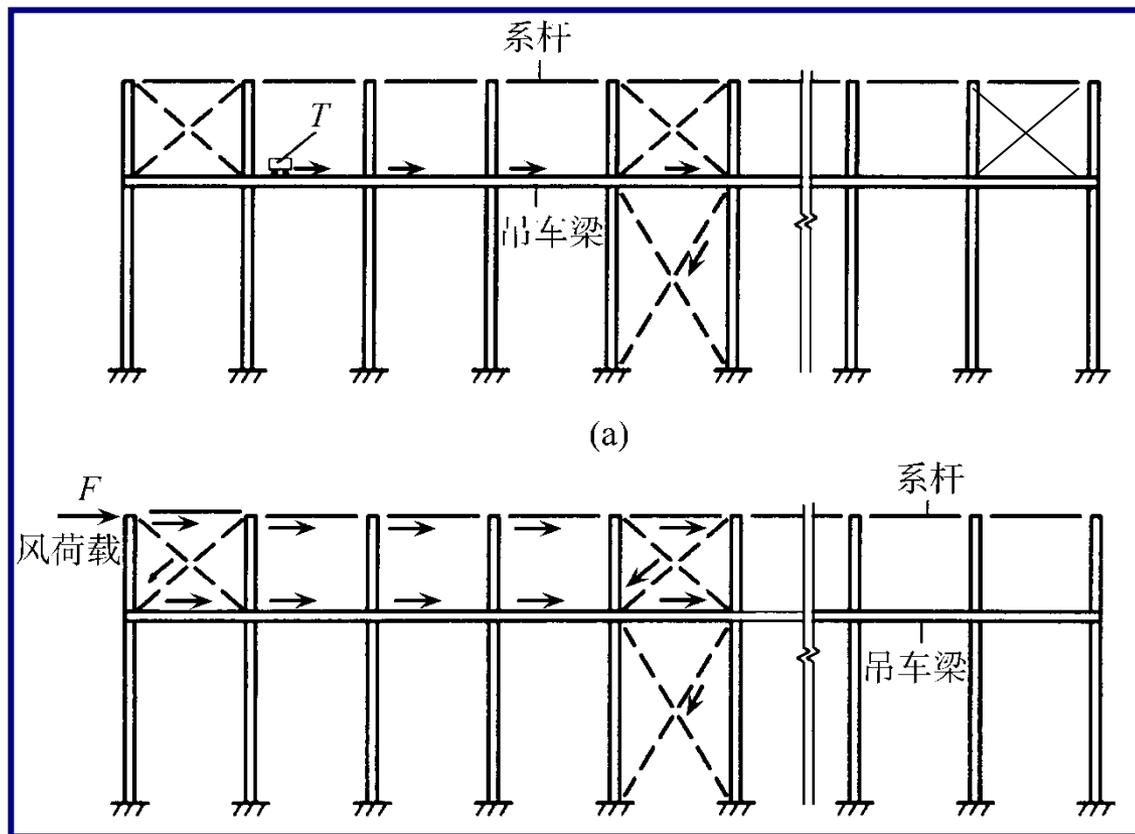
3、单层厂房的支撑

(2) 柱间支撑

柱间支撑是纵向平面排架中最主要的抗侧力构件。

上柱柱间支撑：一般在伸缩缝区段两端与屋盖横向水平支撑相对应的柱间以及伸缩缝区段中央或临近中央的柱间。

下柱柱间支撑：在伸缩缝区段中部与上柱柱间支撑相应的位置。

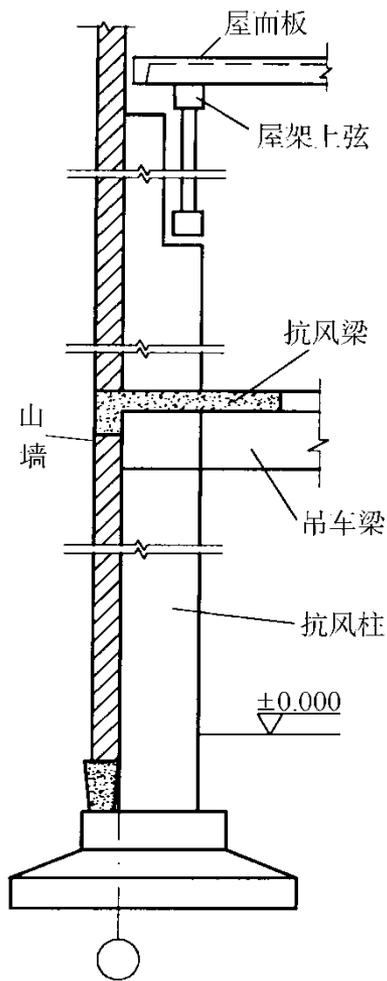


3.3 结构布置

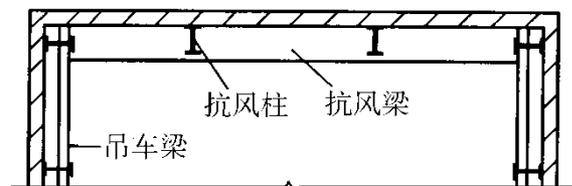
3.3.4 围护结构布置

1) 抗风柱

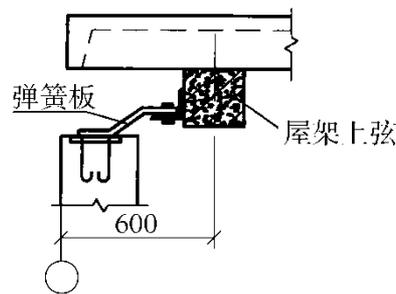
- ▶ 承受山墙风荷载
- ▶ 与基础刚接，与屋架上弦铰接；也可与下弦铰接或同时与上、下弦铰接。
- ▶ 抗风柱与屋架之间一般采用竖向可以移动、水平方向又有较大刚度的**弹簧板**连接；如厂房沉降量较大时，宜采用**槽形孔螺栓**连接。



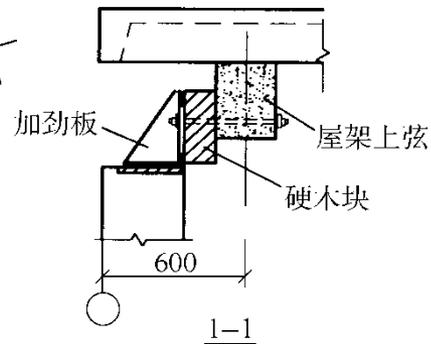
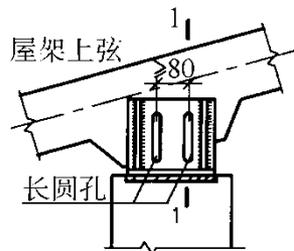
(a)



(b)



(c)



(d)

3.3 结构布置

3.3.4 围护结构布置

2) 圈梁、连系梁、过梁和基础梁

圈梁是设置于墙体内部并与柱子连接的现浇钢筋混凝土构件，其**作用**是将墙体与排架柱、抗风柱等箍在一起，以增强厂房的整体刚度，防止由于地基的不均匀沉降或较大的振动荷载对厂房产生不利影响。

连系梁除承受墙体荷载外，还具有连系纵向柱列、增强厂房的纵向刚度、传递纵向水平荷载的作用。

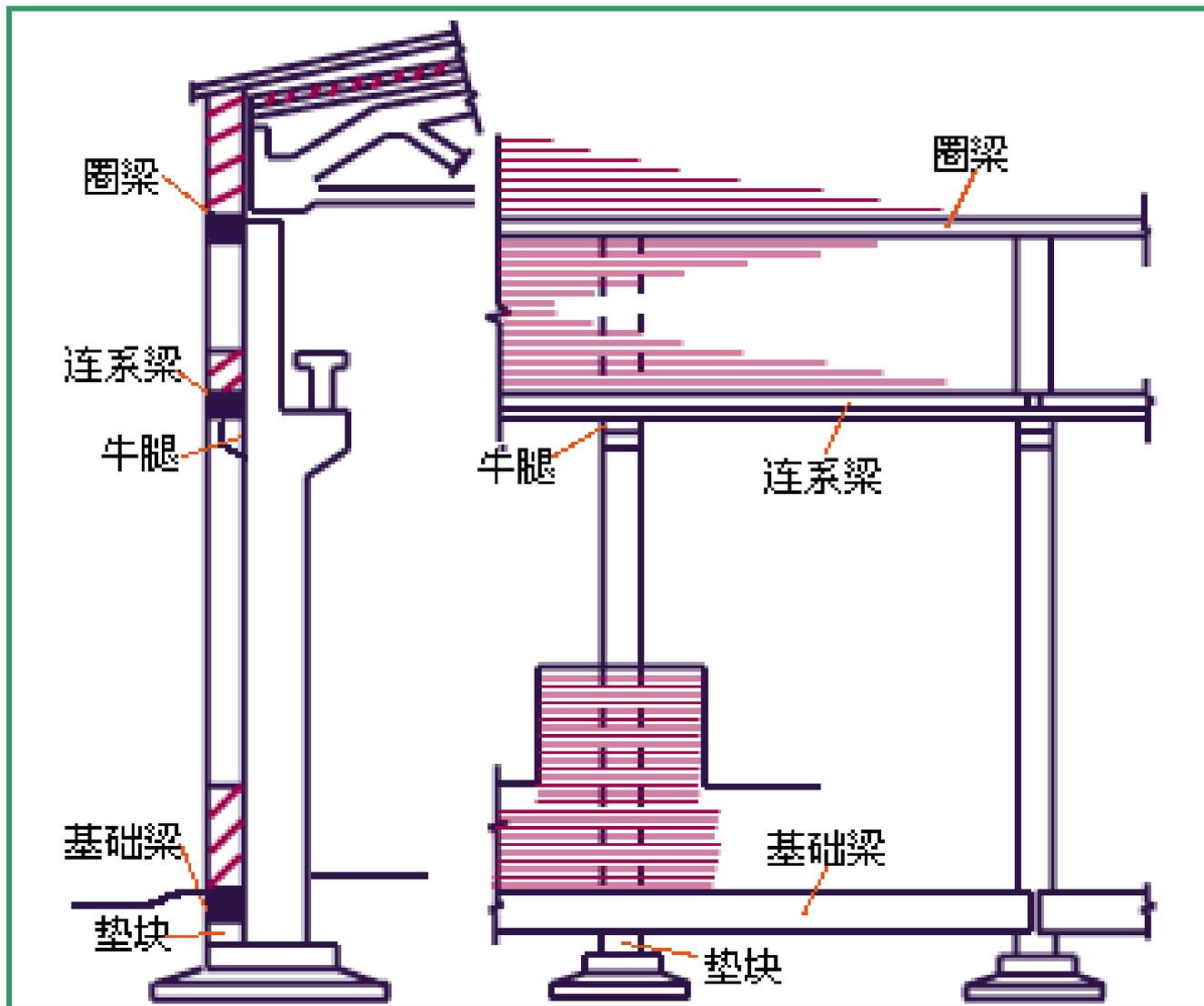
墙体有门窗洞口时，需设置钢筋混凝土**过梁**，支承洞口上部墙体重量。

在进行围护结构布置时，应尽可能地将圈梁、连系梁和过梁结合起来，**使一种梁能兼作两种或三种梁的作用**，以简化构造，节约材料，方便施工。

在单层厂房中，一般采用**基础梁**来承托围护墙体的重量，并将其传至柱基础顶面，而不另做墙基础，以使墙体和柱的沉降变形一致。

3.3 结构布置

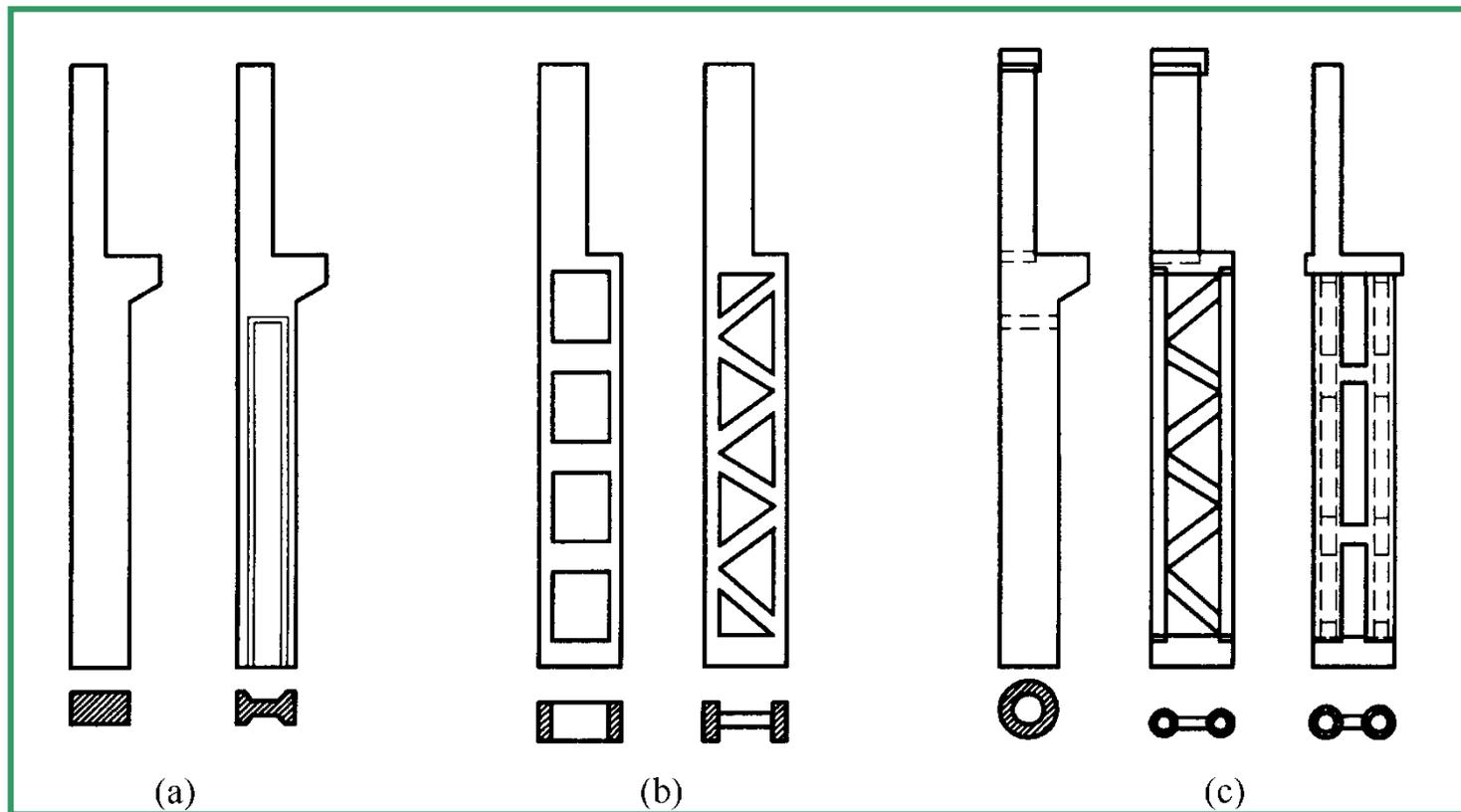
3.3.4 围护结构布置



3.4 构件选型与截面尺寸确定

3.4.3 单层厂房柱

柱的形式



柱的截面尺寸主要与吊车起重量、柱的类型、厂房的跨数和高度等因素有关。

3.5 排架内力计算

3.5.1 计算简图

单层工业厂房是由纵横向排架组成的空间结构。为方便，可简化为纵、横向平面排架分别进行分析。除进行抗震和温度应力分析，纵向排架一般不计算。

一、计算单元

从整体结构中选取有代表性的一部分作为计算的对象，该部分称为计算单元。

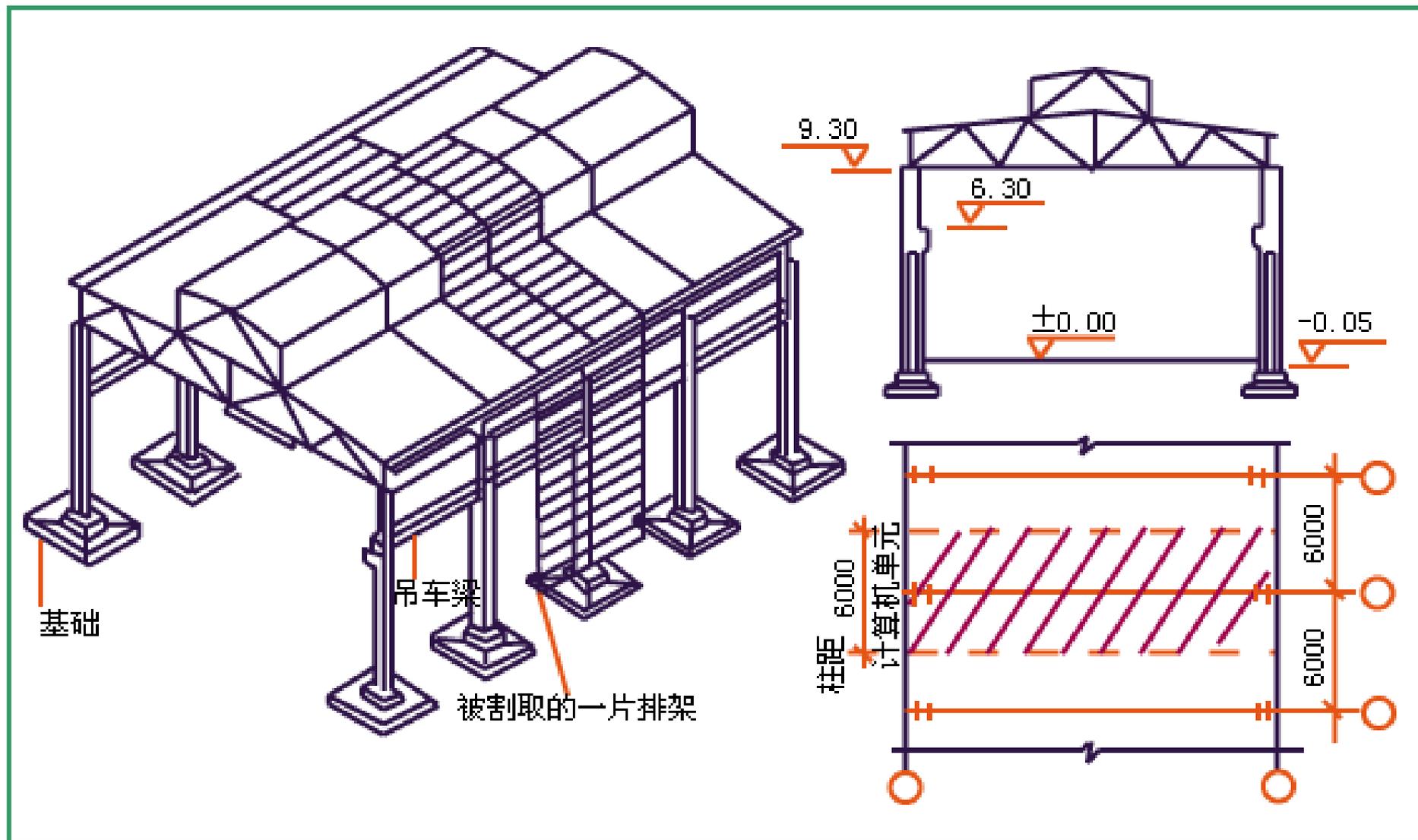


二、基本假定

柱子下端固接于基础顶面，横梁与柱铰接；
横梁为轴向刚度很大的刚性连杆。

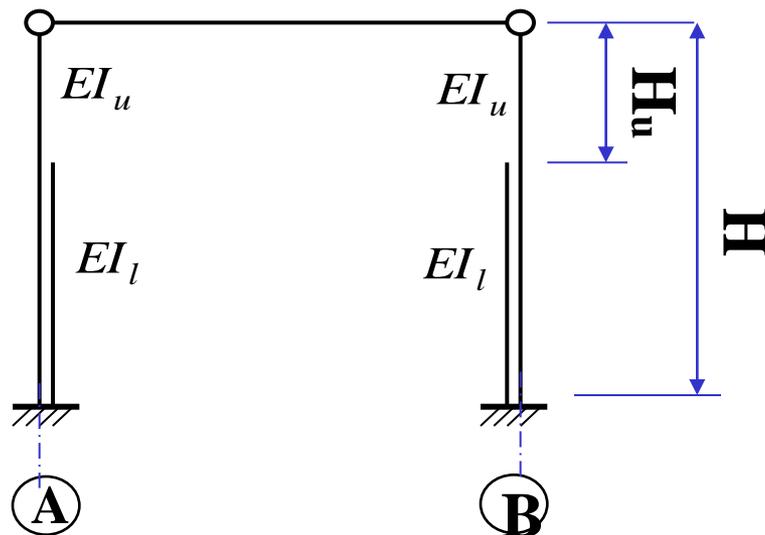


一、计算单元



3.5 排架内力计算

3.5.1 计算简图



在计算简图中，排架柱的轴线分别取上、下柱的截面中心线；上柱高 H_u 为牛腿顶面至柱顶的高度；下柱高 H_1 为基础顶面至牛腿顶面的高度；柱总高 H 为 H_u 与 H_1 之和；上、下柱的截面抗弯刚度 EI_l (或 EI_u) 可按所选用的混凝土强度等级和预先设定的截面形状与尺寸确定。

3.5 排架内力计算

3.5.2 荷载计算

恒载

屋盖自重 F_1

上柱自重 F_2

下柱自重 F_3

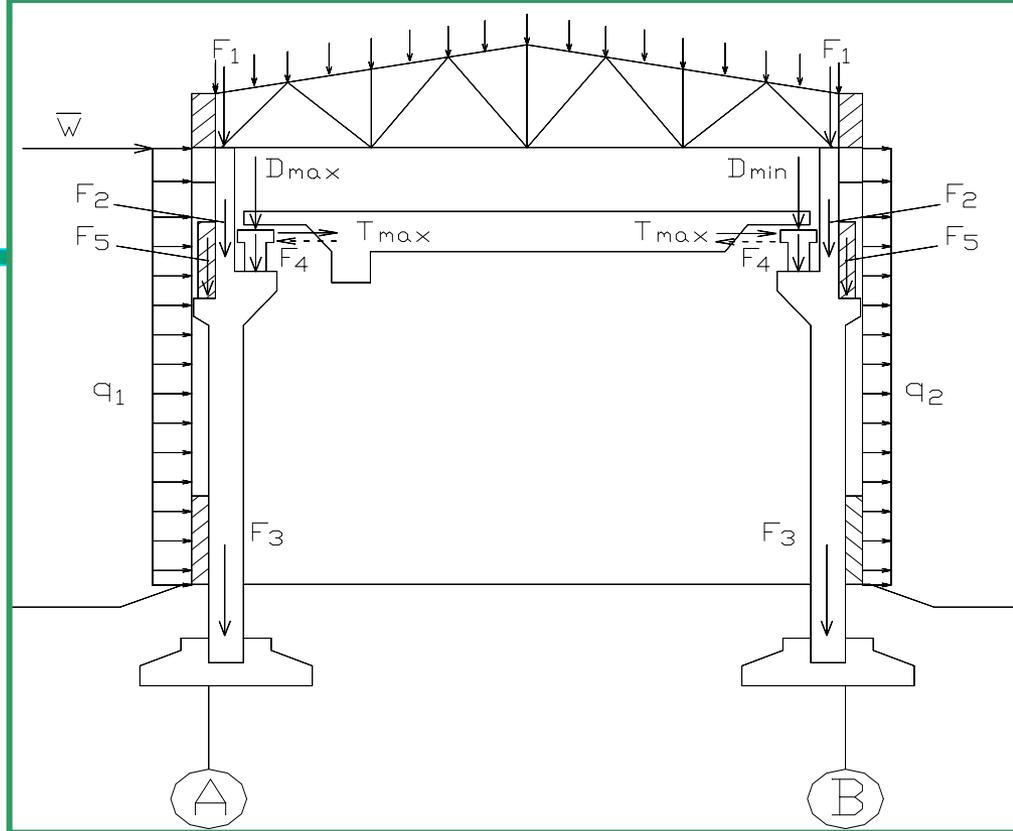
吊车梁及轨道自重

活载

屋面活载

吊车荷载

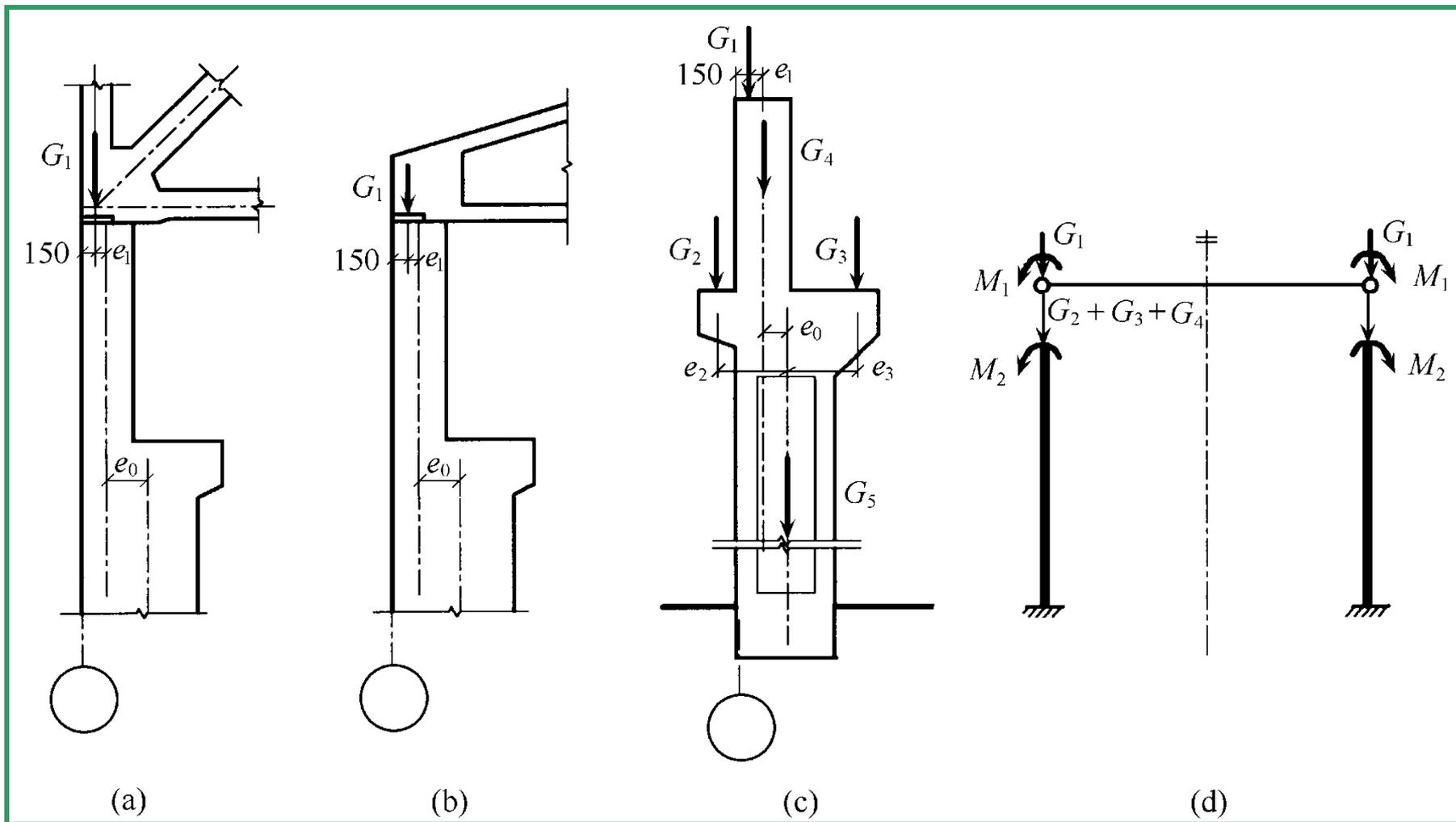
风荷载 q_1 、 q_2 、 \bar{W}



3.5 排架内力计算

3.5.2 荷载计算

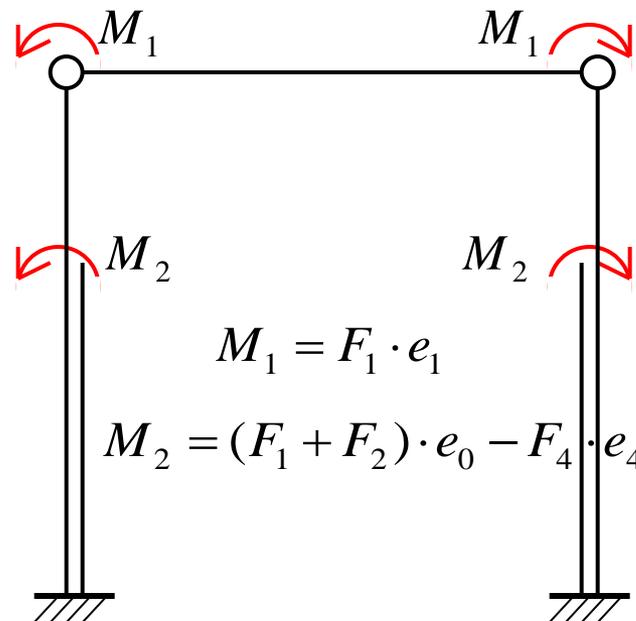
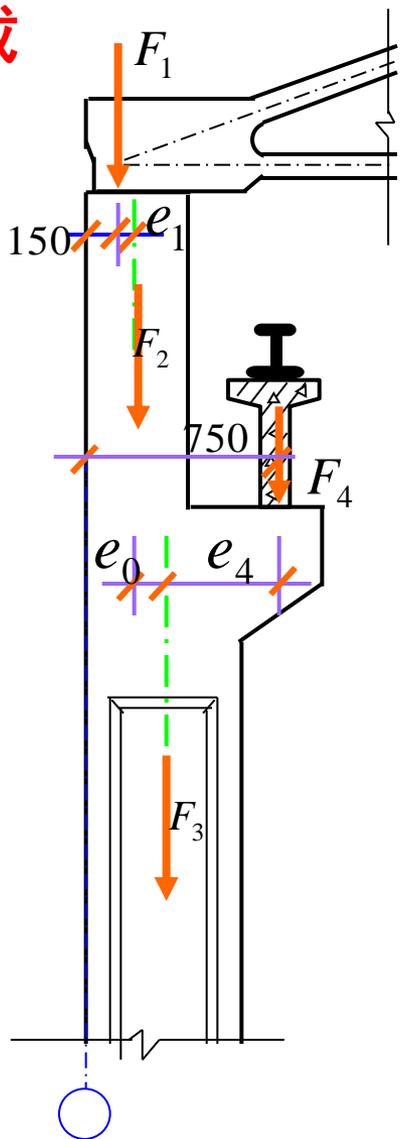
1、恒载（屋盖自重、上柱、下柱自重、吊车梁及轨道自重）：



3.5 排架内力计算

3.5.2 荷载计算

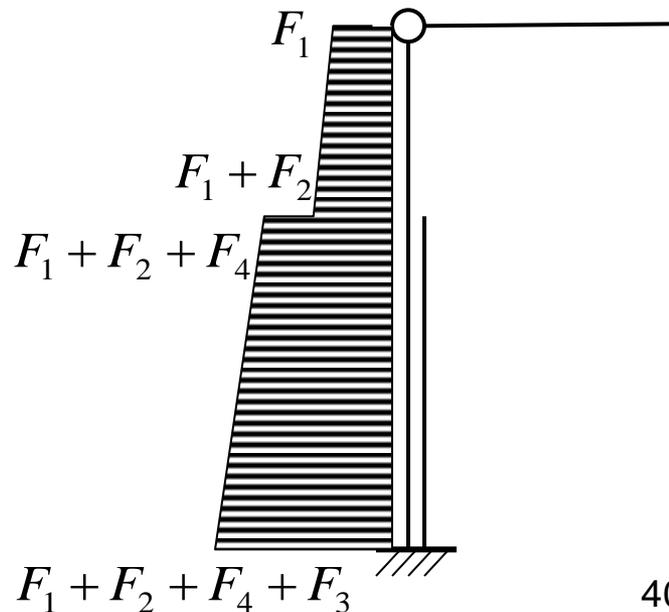
1、恒载



$$M_1 = F_1 \cdot e_1$$

$$M_2 = (F_1 + F_2) \cdot e_0 - F_4 \cdot e_4$$

恒载下计算简图



恒载下轴力图

2. 屋面活荷载

屋面活荷载包括屋面积灰荷载、雪荷载及屋面均布活荷载。屋面活荷载 Q_1 的计算范围、作用形式及位置同屋盖自重 G_1 。

1) 屋面积灰荷载

当设计的厂房在生产过程中有大量的排灰或与灰源排放临近时，应考虑屋面积灰荷载。按《荷载规范》的规定取值。

2) 雪荷载

屋面水平投影面上的雪荷载标准值 S_k 按下式计算： $S_k = \mu_r S_0$

μ_r ——屋面积雪分布系数，由《荷载规范》查得。

s_0 ——基本雪压 (kN/m^2)，50年一遇的雪压。

3) 屋面均布活荷载

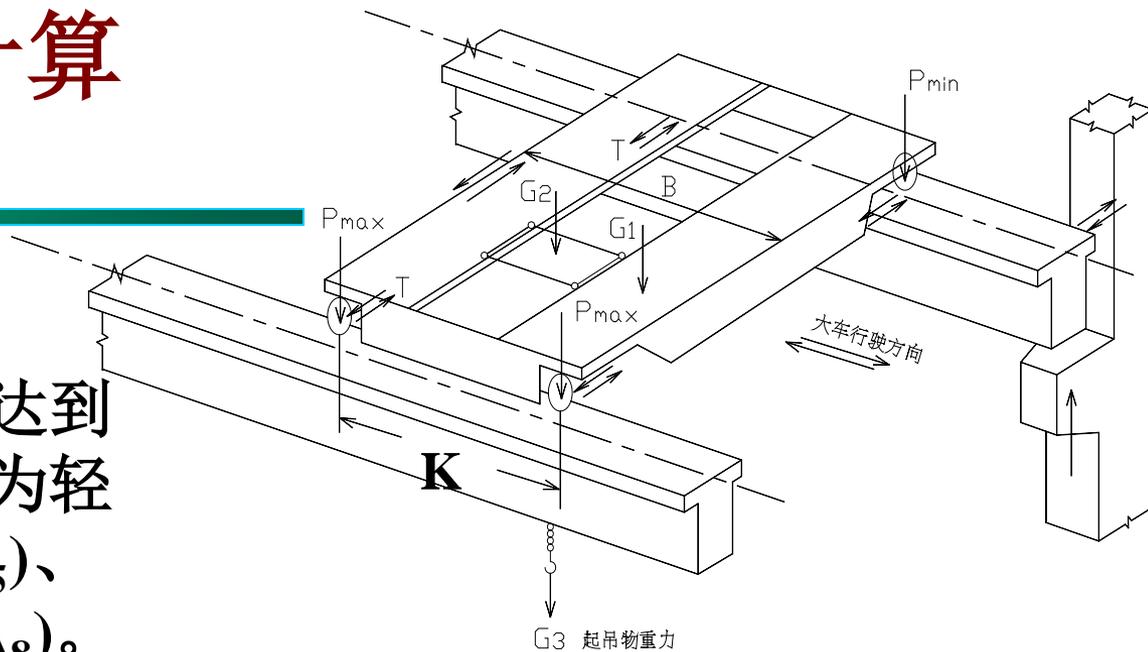
屋面均布活荷载不应与雪荷载同时组合，仅取两者中的较大值。积灰荷载应与雪荷载或屋面均布活荷载两者中的较大值同时考虑。（不上人屋面0.5；上人屋面2）

3.5 排架内力计算

3.5.2 荷载计算

3、 吊车荷载

桥式吊车按照使用荷载达到其额定值的频繁程度分为轻级(A₁~A₃)、中级(A₄、A₅)、重级(A₆、A₇)和特重级(A₈)。



最大轮压与最小轮压

当小车吊有额定起重量开到桥架某一极限位置时，在这一侧产生的轮压；与最大轮压相对应的另一侧轮压称最小轮压。

作用在排架上的荷载

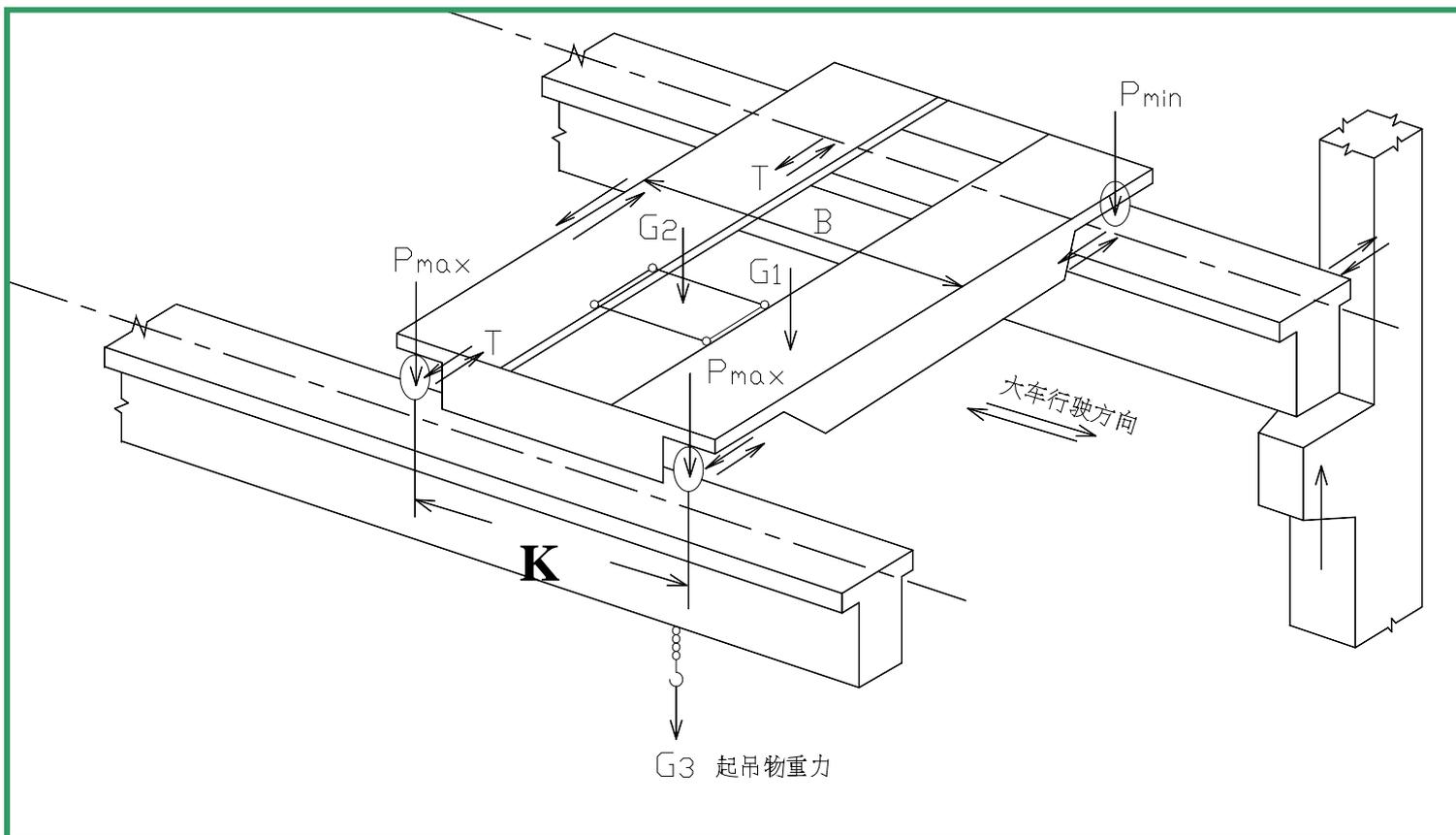
- 竖向荷载 D_{max} 、 D_{min}
- 横向水平荷载 T_{max}
- 纵向水平荷载 T_0

3.5 排架内力计算

3.5.2 荷载计算

$$n(P_{\max} + P_{\min}) = G + g + Q$$

最大轮压与最小轮压 为产品属性，由吊车产品说明书查得。
当小车吊有额定起重量开到大车的某一极限位置时，在这一侧产生的轮压为 P_{\max} ；在另一侧的轮压称为最小轮压 P_{\min} 。

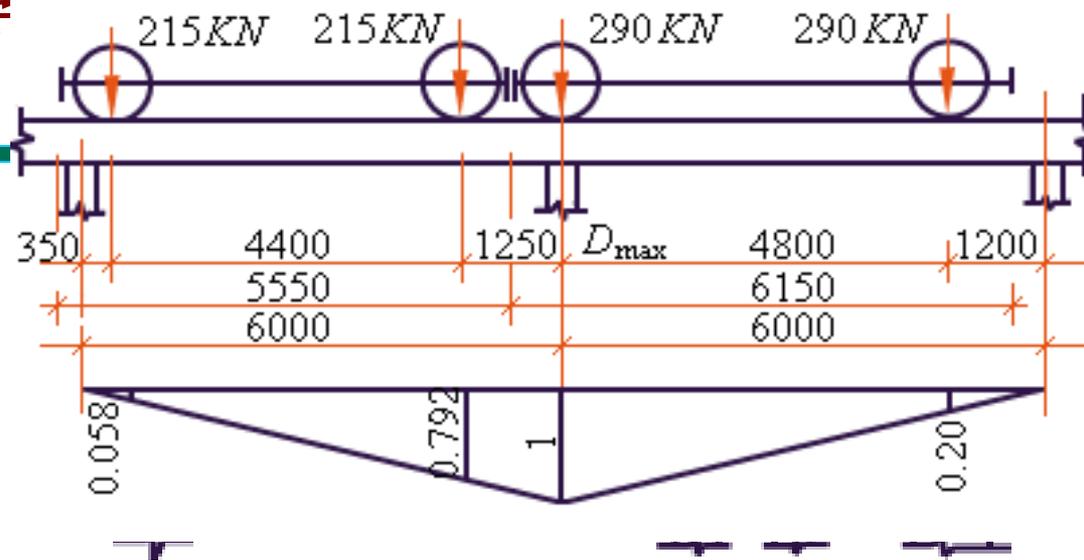


3.5 排架内力计算

3.5.2 荷载计算

吊车竖向荷载标准值

$$D_{\max,k}、D_{\min,k}$$



吊车荷载是移动的，因此必须由吊车梁的支座反力影响线求出由 P_{\max} 及 P_{\min} 通过吊车梁作用在排架柱上的最大压力 D_{\max} 和最小压力 D_{\min}

$$D_{\max,k} = \beta \sum P_{i \max} y_i$$

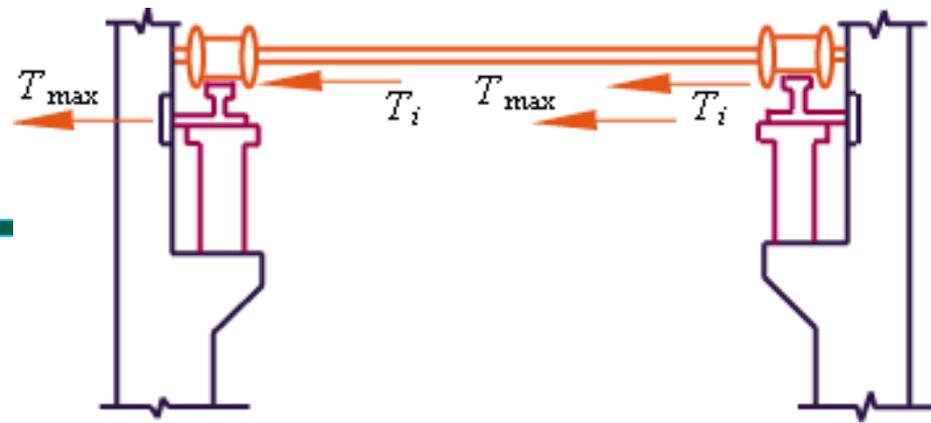
$$D_{\min,k} = \beta \sum P_{i \min} y_i$$

如果两台吊车相同，则

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

3.5 排架内力计算

3.5.2 荷载计算



吊车横向水平荷载标准值

(小车吊有重物刹车时引起的惯性力)

➤ 传力路线：小车惯性力 → 大车 → 吊车梁 → 排架柱

➤ 作用位置：吊车梁顶面 作用方向：垂直于轨道

➤ 每个轮子上的横向水平制动力： $T_i = \alpha(Q + g) / 4$

α —— 横向制动系数。

➤ 利用影响线确定柱子受到的水平力

$$T_{\max,k} = \beta \sum T_i y_i$$

4 风荷载

《荷载规范》规定：垂直于建筑物表面上的风荷载标准值应按下列式计算：

$$W_k = \beta_z \mu_s \mu_z W_0$$

β_z ——高度 z 处的风振系数；单层厂房一般不予考虑，取1.0

μ_s ——风荷载体型系数；主要与建筑物的体型有关，是作用在建筑物表面的实际风压与理论风压的比值，可由规范查得，其中“+”号表示压力，“-”表示吸力。

μ_z ——风压高度变化系数；与离地面或海平面的高度及地面粗糙度有关，离地面愈高则风压愈大；可查P299附表

W_0 ——基本风压(kN/m²)。以当地比较空旷平坦的地面上离地10m高，经统计分析所得重现期为50年的10分钟平均最大风速为标准确定，但不得小于0.3 kN/m²。

包头基本风压为0.55 kN/m²

4 风荷载

《荷载规范》规定：垂直于建筑物表面上的风荷载标准值应按下列式计算：

$$W_k = \beta_z \mu_s \mu_z W_0$$

μ_z ——风压高度变化系数；

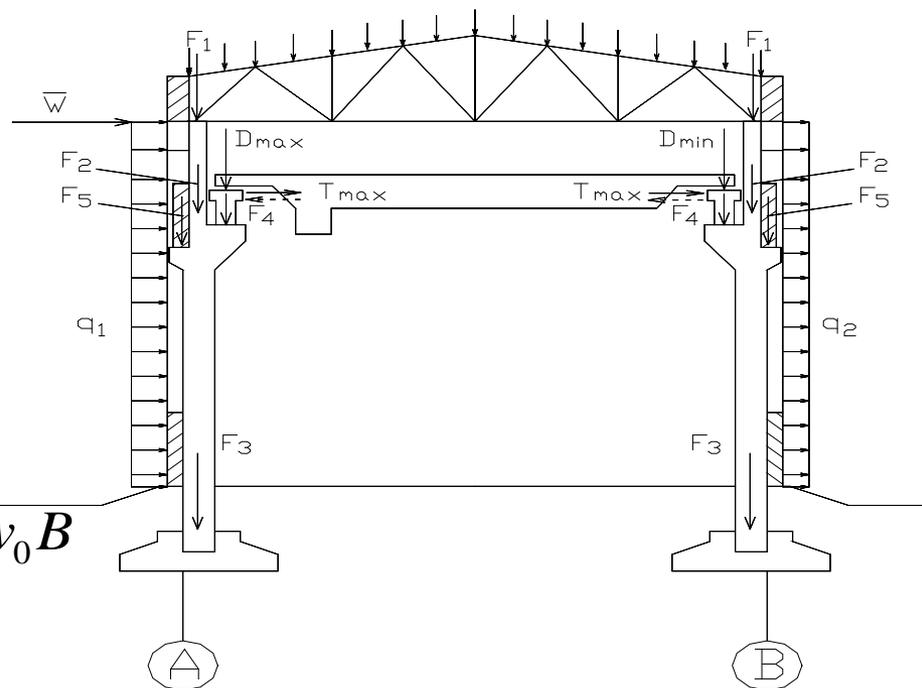
屋盖端部的风荷载风压高度变化系数按厂房檐口标高确定；
屋面的风荷载高度变化系数按屋顶标高确定。

排架柱顶以下风荷载按均布荷载考虑

排架柱顶以上风荷载按集中荷载考虑

$$F_{wk} = \sum w_{ki} B l \sin \theta$$

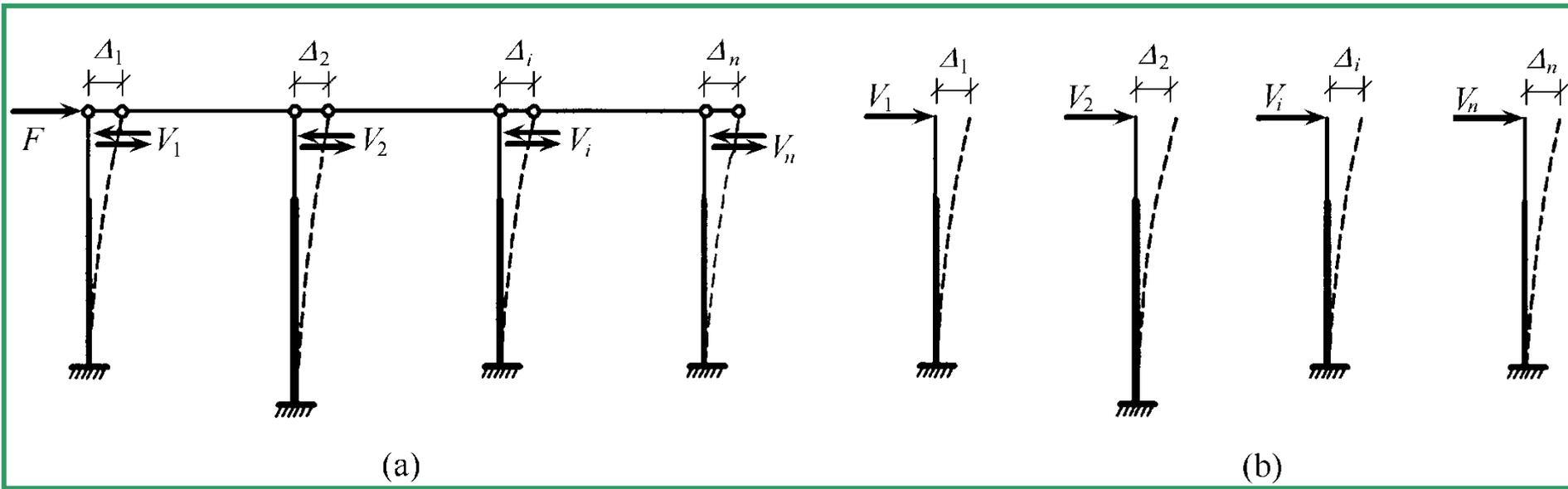
$$F_{wk} = [(\mu_{s1} + \mu_{s2})h_1 + (\mu_{s4} - \mu_{s3})h_2] \mu_z \beta_z w_0 B$$



3.5 排架内力计算

3.5.3 柱顶水平集中力作用下等高排架内力分析

在柱顶水平集中力作用下，等高排架各柱顶侧移相等，沿横梁与柱的连接处将各柱的柱顶切开，在各柱顶的切口上作用一对相应的剪力 V_i 。



3.5 排架内力计算

3.5.3 柱顶水平集中力作用下等高排架内力分析

$$V_i = \frac{1/\delta_i}{\sum_{i=1}^n 1/\delta_i} F = \eta_i F$$

式中 $1/\delta_i$ ——第 i 根排架柱的抗侧移刚度（或抗剪刚度），即悬臂柱柱顶产生单位侧移所需施加的水平力。

η_i ——第 i 根排架柱的剪力分配系数，按下式计算：

$$\eta_i = \frac{1/\delta_i}{\sum_{i=1}^n 1/\delta_i}$$

注意：当排架结构柱顶作用水平集中力 F 时，各柱的剪力按其抗剪刚度进行分配。

3.5 排架内力计算

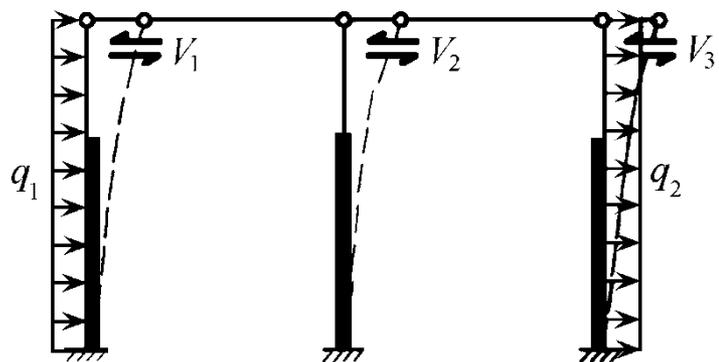
3.5.3 任意荷载作用下等高排架内力分析

等高排架在任意荷载作用下，为了利用剪力分配法求解，通常可采用以下三个步骤来进行排架内力分析。

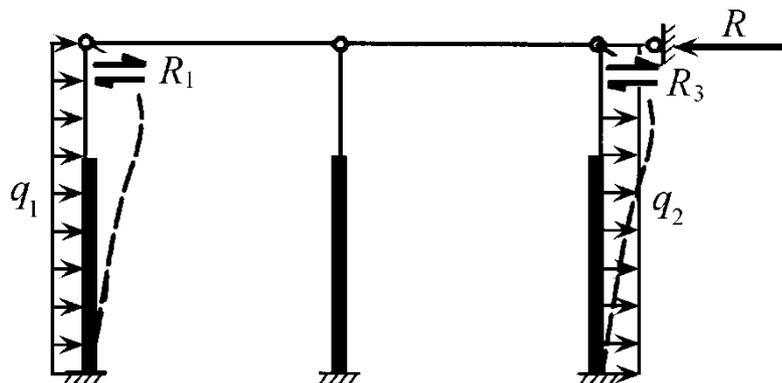
- ✦ 在排架柱顶附加一个不动铰支座以阻止其发生侧移，则各柱为单阶一次超静定柱，应用柱顶反力系数可求得各柱顶反力 R_i 及相应的柱端剪力，柱顶假想的不动铰支座总反力为 $R = \sum R_i$ 。
- ✦ 撤除假想的附加不动铰支座，将反力 R 反向作用于排架柱顶，应用剪力分配法可求得柱顶反力 R 作用下各柱顶剪力 $\eta_i R$ 。
- ✦ 将上述计算结果相叠加，可得到在任意荷载作用下排架柱顶剪力 $R_i + \eta_i R$ ，按此及柱上外荷载可计算排架内力。

3.5 排架内力计算

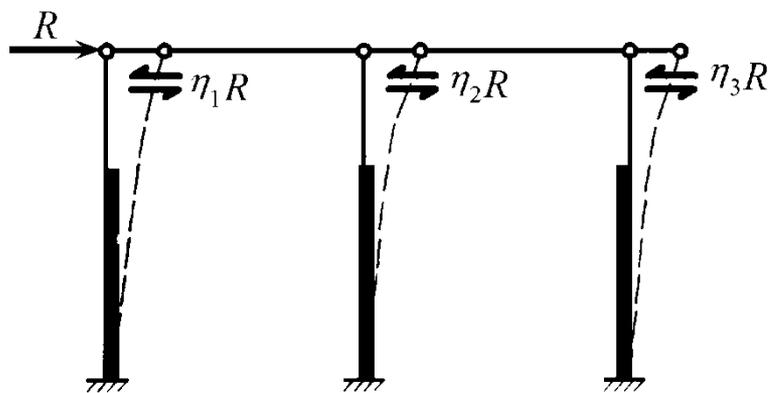
3.5.3 实例分析



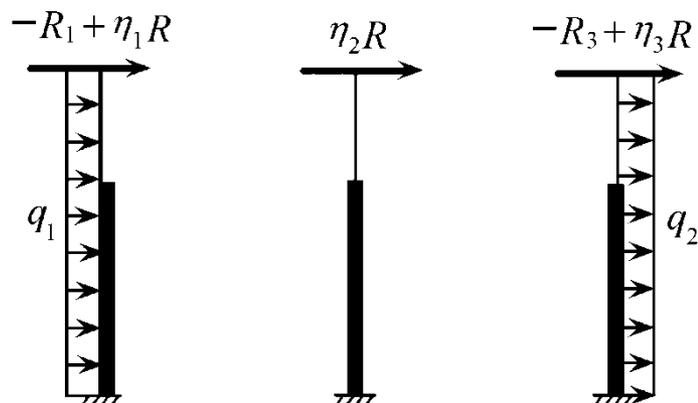
(a)



(b)



(c)



(d)

3.5 排架内力计算

3.5.6 内力组合

通过排架内力分析，可分别求得在各种单项荷载作用下排架柱的内力。所谓**内力组合**，就是将排架柱在各种单项荷载作用下的内力，按照它们在使用过程中同时出现的可能性进行组合，以求得排架柱控制截面的最不利内力，作为柱和基础配筋计算的依据。

(1) **柱的控制截面**：指对截面配筋起控制作用的截面。

✦ **上柱底面**：上柱控制截面

✦ **牛腿顶面和基础顶面**：下柱控制截面

✦ **基础顶面**：柱下基础设计的依据

3.5 排架内力计算

3.5.6 不利内力组合和荷载效应组合

(2) 不利内力组合:

✦ $+M_{\max}$ 及相应的 N, V ;

✦ $-M_{\max}$ 及相应的 N, V ;

✦ N_{\max} 及相应的 M, V ;

✦ N_{\min} 及相应的 M, V 。

(3) 荷载效应组合:

✦ 由可变荷载效应控制的组合:

$$S = 1.2S_{Gk} + \gamma_{Q1}S_{Q1k}$$

$$S = 1.2S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qik}$$

✦ 由永久荷载效应控制的组合:

$$S = 1.35S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}$$

3.5 排架内力计算

3.5.6 内力组合注意事项

- ✦ 每次内力组合时，只能以一种内力为目标来决定可变荷载的取舍，并按这些荷载求得相应的其余两种内力。
- ✦ 每次内力组合时，都必须考虑恒荷载产生的内力。
- ✦ 风荷载项中有左风和右风两种，每次组合只能取其中的一种。
- ✦ 在吊车竖向荷载中，同一柱上有 D_{max} 或 D_{min} 作用，组合时只能取二者之一。
- ✦ 吊车横向水平荷载 T_{max} 同时作用在左右两侧排架柱上，向左或向右，组合时只能取其中一个方向。
- ✦ 在同一跨内 D_{max} 和 D_{min} 与 T_{max} 不一定同时发生，故组合时有 D_{max} 或 D_{min} ，不一定有 T_{max} ；但有 T_{max} 时，一定有 D_{max} 或 D_{min} 。
- ✦ 当以 N_{max} 或 N_{min} 为目标进行内力组合时，对于 $N=0$ 的情况，虽然其组合并不改变 N 值，但可使弯矩 M 值增大或减小，故一般是截面的不利内力组合。

3.6 单层厂房柱设计

3.6.1 柱的截面设计

截面尺寸和外形构造尺寸

根据正常使用要求，还需满足表3-6~表3-8的要求。

截面设计

根据计算得到的控制截面的最不利组合内力 M 和 N ，按**偏心受压构件**进行正截面承载力计算，一般采用对称配筋。

A_s, A'_s 均未知时，偏心受压柱配筋计算需要的已知条件：

b, h, l_0 、混凝土等级、钢筋级别

《混凝土结构设计规范》根据单层厂房的实际支承及受力特点，结合工程经验所柱计算长度，按表3-12确定。

3.6 单层厂房柱设计

3.6.1 柱的截面设计

刚性屋盖单层厂房排架柱、露天吊车柱和栈桥柱的计算长度

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	$2.0H_u$	$1.25H_u$	$1.5H_u$
	下 柱	$1.0H_l$	$0.8H_l$	$1.0H_l$
露天吊车柱和栈桥柱		$2.0H_l$	$1.0H_l$	—

3.6 单层厂房柱设计

3.6.1 柱的截面设计

构造要求

柱的混凝土强度等级不宜低于C20，纵向受力钢筋直径 d 不宜小于12mm，全部纵向钢筋的配筋率不宜超过5%。

柱内纵向钢筋的净距不应小于50mm；对水平浇筑的预制柱，其上部纵向钢筋的最小净间距不应小于30mm和 $1.5d$ (为钢筋的最大直径)，下部纵向钢筋的最小净间距不应小于25mm和 d 。

偏心受压柱中垂直于弯矩作用平面的纵向受力钢筋以及轴心受压柱中各边的纵向受力钢筋，其中距不宜大于300mm。

3.6 单层厂房柱设计

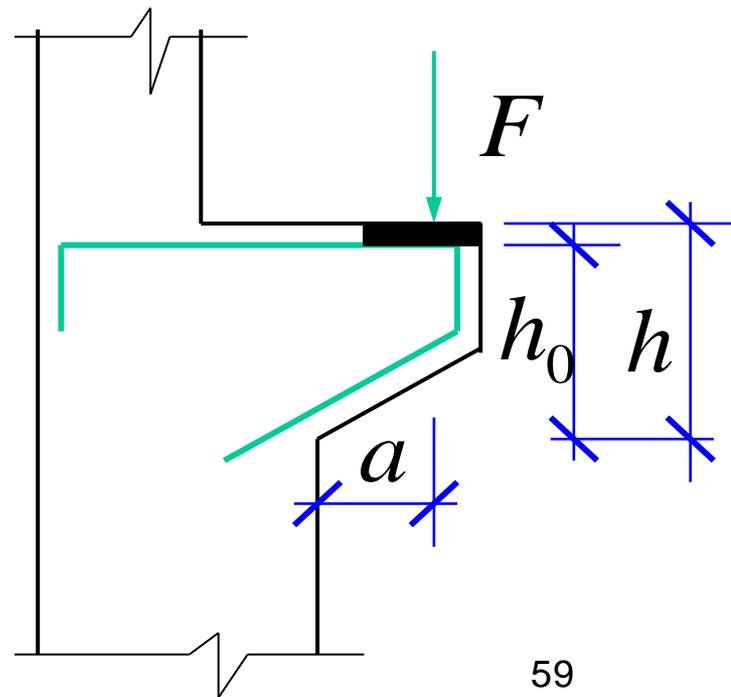
3.6.2 牛腿设计

在厂房结构钢筋混凝土柱中，常在其支承屋架、托架、吊车梁和连系梁等构件的部位，设置从柱侧面伸出的短悬臂，称为**牛腿**。

牛腿按承受的竖向力作用点至牛腿根部柱边缘水平距离的不同**分为两类**：

$a > h_0$ 时为**长牛腿**，按悬臂梁进行设计；

$a \leq h_0$ 时为**短牛腿**，是一个变截面短悬臂深梁，下面介绍其设计。



3.6 单层厂房柱设计

3.6.2 牛腿设计

(1) 牛腿的受力特点及破坏形态

试验研究表明，从加载至破坏，牛腿大体经历**弹性**、**裂缝出现与开展**和**最后破坏**三个阶段。

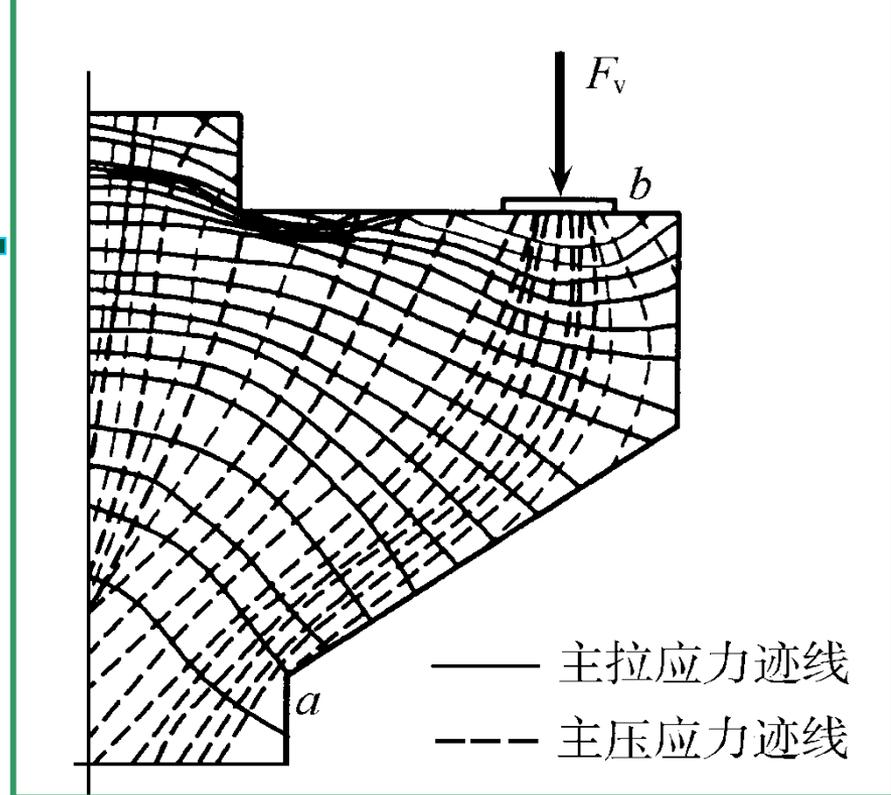
弹性阶段：

通过对 $a/h_0 = 0.5$ 环氧树脂牛腿模型的光弹试验，得到了主应力迹线。

裂缝出现与开展阶段：

试验表明，当荷载达到极限荷载的20%~40%时，由于上柱根部与牛腿交界处的**主拉应力集中**现象，在该处首先出现自上而下的**竖向裂缝**，裂缝细小且开展较慢，对牛腿的受力性能影响不大；

当荷载达到极限荷载的40%~60%时，在加载垫板内侧附近出现一条**斜裂缝**，其方向大体与主压应力迹线平行。

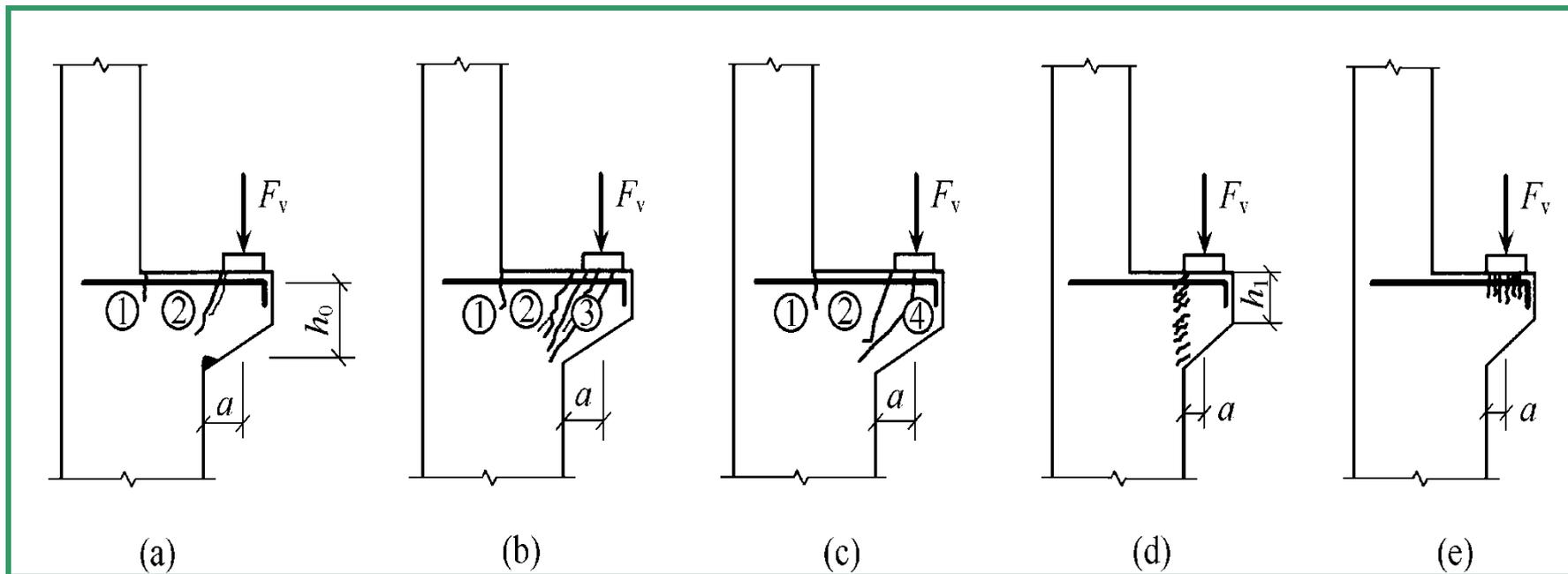


3.6 单层厂房柱设计

3.6.2 牛腿设计

破坏阶段： 随 a/h_0 值的不同，牛腿主要有以下几种破坏形态：

- 弯压破坏
- 斜压破坏
- 剪切破坏
- 局部受压破坏



3.6 单层厂房柱设计

3.6.2 牛腿设计

(2) 牛腿截面尺寸的确定

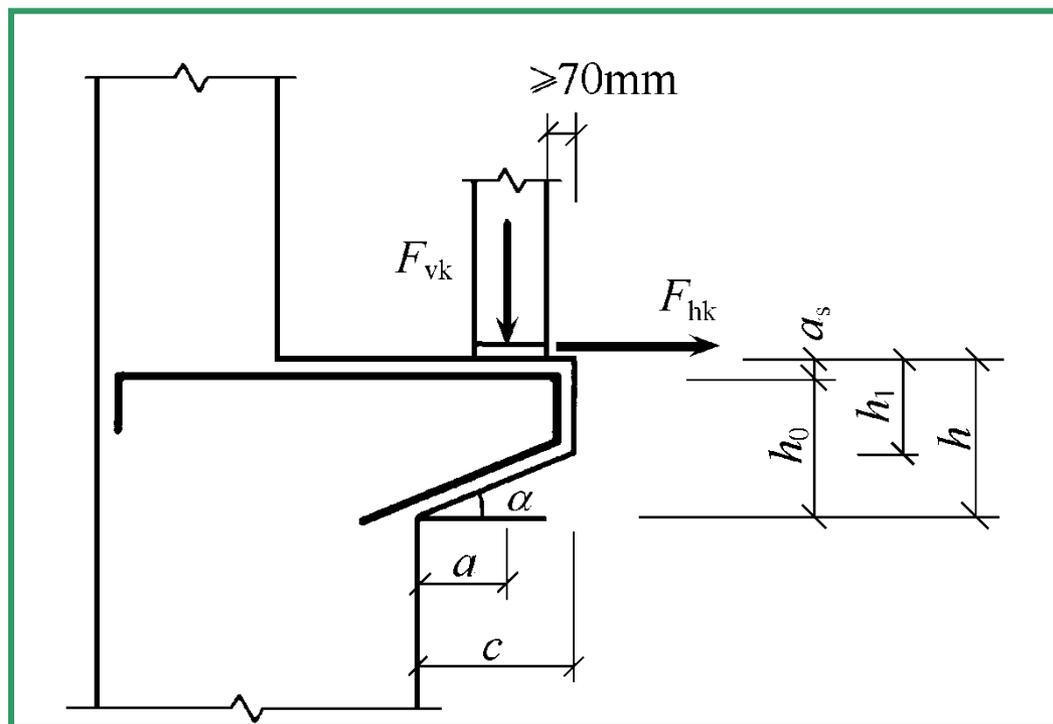
牛腿的截面宽度与柱宽相同。

牛腿截面高度通常以在使用阶段不出现或仅出现细微斜裂缝为原则加以确定。设计时按下列经验公式确定牛腿的截面高度：

$$F_{vs} \leq \beta \left(1 - 0.5 \frac{F_{hk}}{F_{vk}} \right) \frac{f_{tk} b h_0}{0.5 + \frac{a}{h_0}}$$

为了防止牛腿顶面加载垫板下混凝土的局部受压破坏，垫板下的局部压应力应满足

$$\sigma_c = \frac{F_{vk}}{A} \leq 0.75 f_c$$

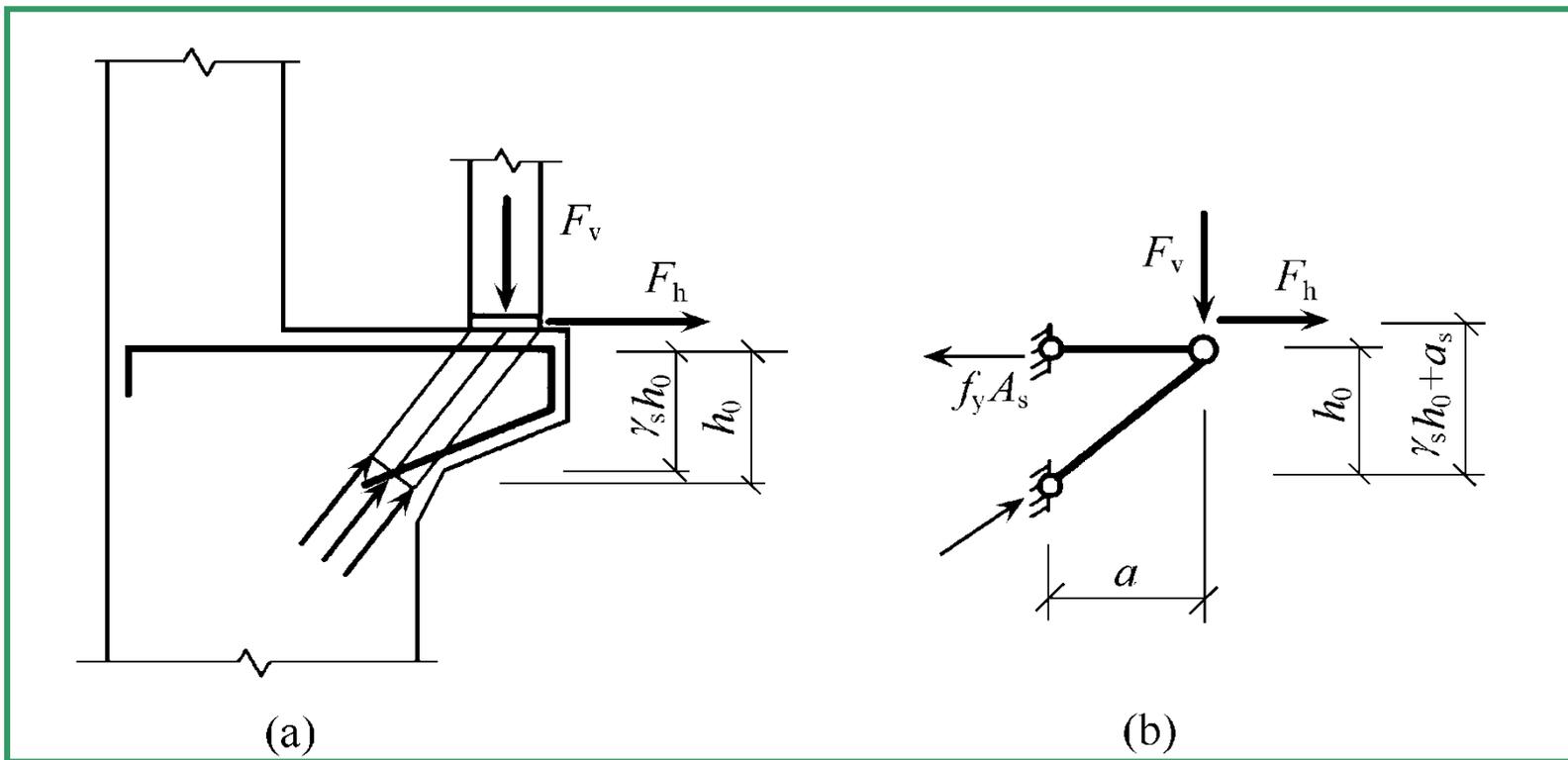


3.6 单层厂房柱设计

3.6.2 牛腿设计

(3) 承载力计算和配筋构造

计算简图： 试验研究表明，牛腿在竖向力和水平拉力作用下，其受力特征可以用由牛腿顶部水平受力钢筋为拉杆和牛腿内的斜向受压混凝土为压杆组成的三角桁架模型来描述。

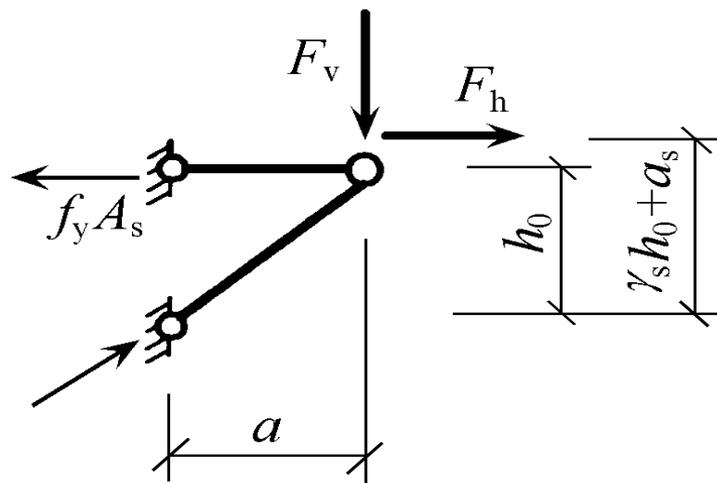


3.6 单层厂房柱设计

3.6.2 牛腿设计

纵向受力钢筋计算：在竖向力设计值 F_v 和水平拉力设计值 F_h 共同作用下，通过对A点取力矩平衡可得：

$$F_v a + F_h (\gamma_s h_0 + a_s) \leq f_y A_s \gamma_s h_0$$



近似取 $\gamma_s = 0.85$ ， $(\gamma_s h_0 + a_s) / \gamma_s h_0 = 1.2$ ，则由上式可得纵向受力钢筋总截面面积 A_s 为

$$A_s \geq \frac{F_v a}{0.85 f_y h_0} + 1.2 \frac{F_h}{f_y}$$

F_v 、 F_h ——分别为作用在牛腿顶部的竖向力设计值和水平拉力设计值；

a ——意义同前，当 $a < 0.3h_0$ 时，取 $a = 0.3h_0$ ；

f_y ——为纵向受拉钢筋强度设计值。

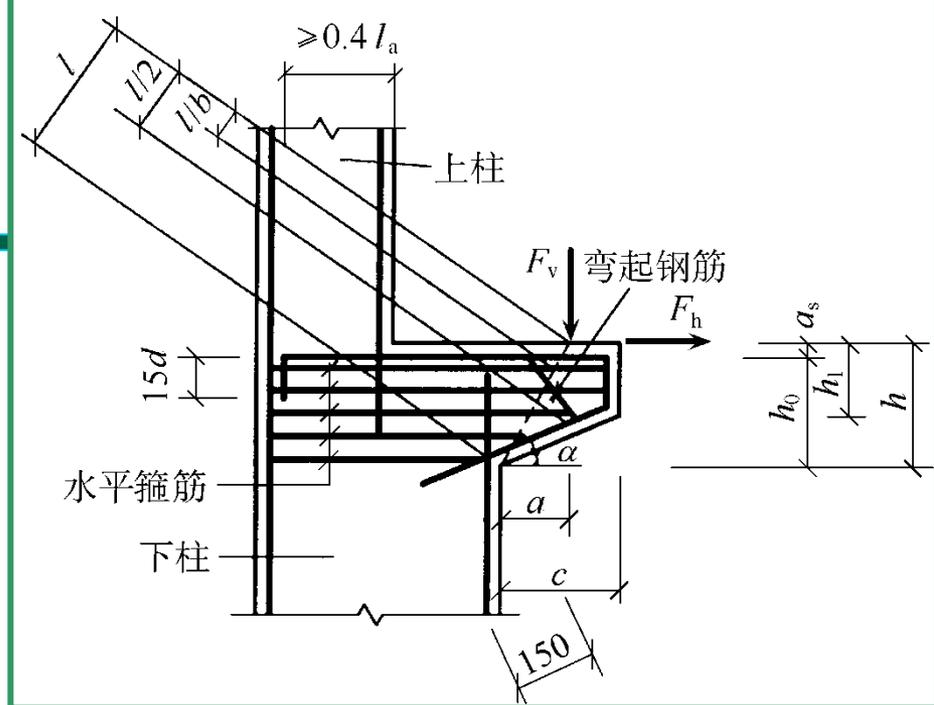
3.6 单层厂房柱设计

3.6.2 牛腿设计

a. 纵向受力钢筋

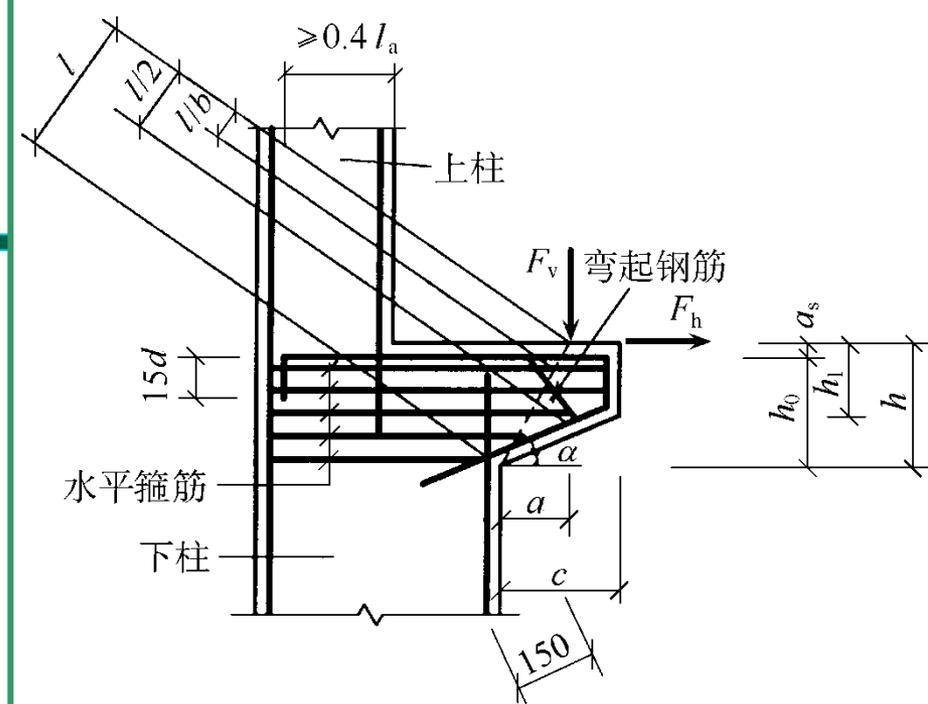
全部纵向受力钢筋宜沿牛腿外边缘向下伸入下柱内150 mm后截断。伸入上柱的锚固长度，当采用直线锚固时不应小于受拉钢筋的锚固长度 l_a ；当上柱尺寸不满足直线锚固要求时，可将钢筋向下弯折，从上柱内边算起的水平段长度不应小于 $0.4l_a$ ，向下弯折的竖直段应取 $15d$ 。

纵向受力钢筋的级别HRB400，直径不少于12mm



3.6 单层厂房柱设计

3.6.2 牛腿设计



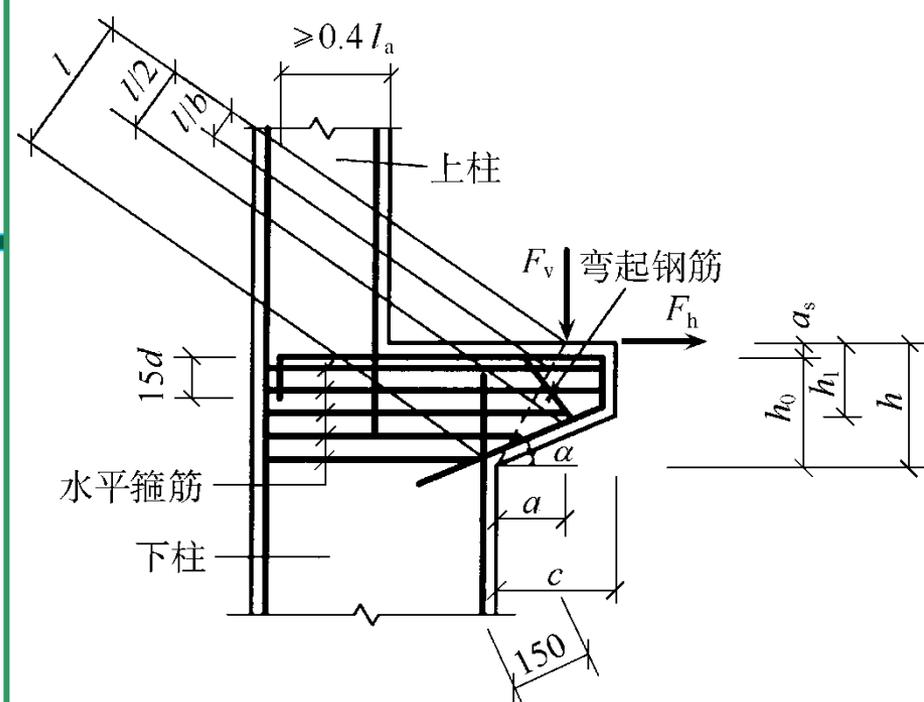
b. 水平箍筋

在牛腿的截面尺寸满足公式的抗裂条件后，可不进行斜截面受剪承载力计算，只按下述构造要求设置水平箍筋和弯起钢筋。

水平箍筋的直径应取6~12mm，间距100~150mm，且在牛腿上部 $2h_0/3$ 范围内的水平箍筋总截面面积不应小于承受竖向力的受拉钢筋截面面积的1/2。

3.6 单层厂房柱设计

3.6.2 牛腿设计



c. 弯起钢筋

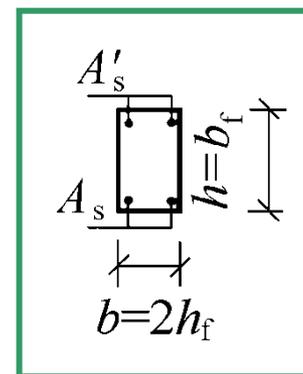
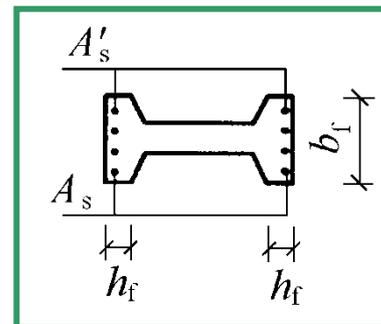
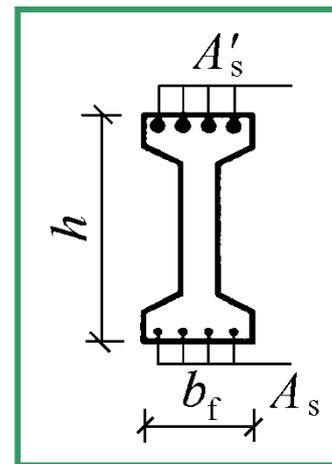
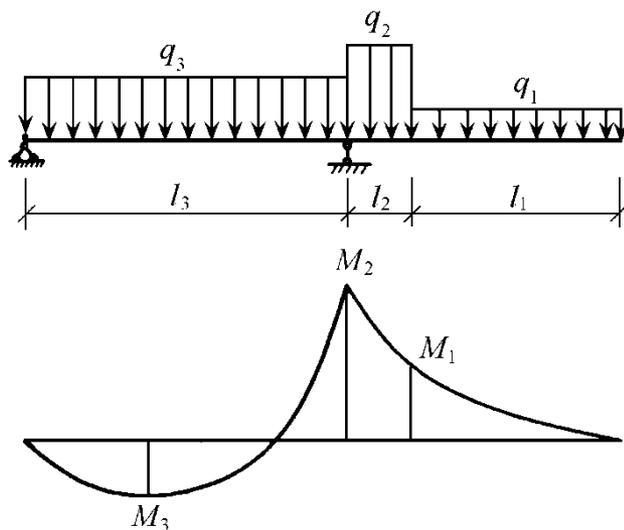
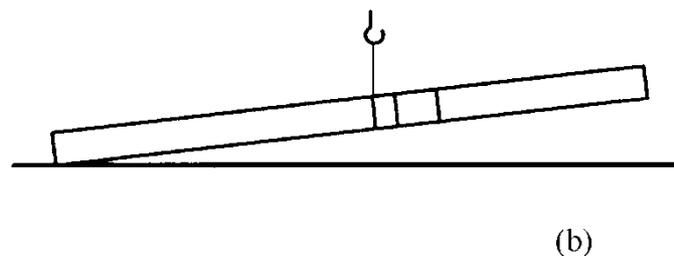
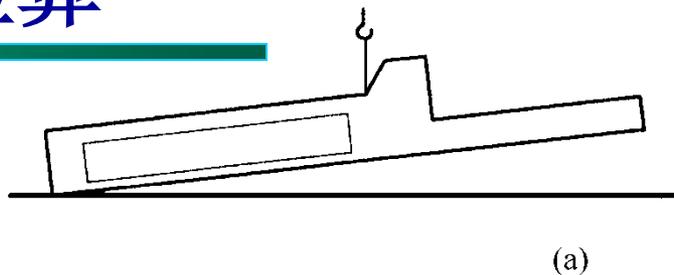
- 纵向受拉钢筋**不得兼作**弯起钢筋。
- 当牛腿的 $a/h_0 \geq 0.3$ 时，宜增设弯起钢筋。弯起钢筋的种类一般与纵向受力钢筋相同，并宜使其与竖向力作用点到牛腿斜边下端点连线的交点位于牛腿上部 $1/6 \sim 1/2$ 的范围内，其中 l 为该连线的长度(如前图所示)。弯起钢筋的截面积不宜小于承受竖向力的受拉钢筋截面面积的 $1/2$ ，根数不宜少于两根，直径不宜小于 12 mm 。
- 弯起钢筋沿牛腿外边缘向下伸入下柱内的长度和伸入上柱的
- 锚固长度要求与牛腿的纵向受力钢筋相同。

3.6 单层厂房柱设计

3.6.3 柱的吊装验算

单层厂房柱一般为预制构件，在施工吊装阶段，柱的受力情况与使用阶段完全不同，且此时混凝土强度达不到强度设计值。

柱在其自重作用下为受弯构件，其计算简图和弯矩图如图所示，一般取上柱柱底、牛腿根部和下柱跨中三个控制截面。



3.6 单层厂房柱设计

3.6.3 柱的吊装验算

柱的吊装验算应注意的问题：

- (1) 荷载：自重乘以1.5；
- (2) 吊装承载力计算时，构件重要性等级可相应降低一级；
- (3) 吊装时的混凝土强度应超过设计强度的70%及以上；
- (4) 吊装及运输验算应按实际吊点布置情况进行；
- (5) 变阶处配筋不足时可加配短直筋。

3.7 柱下独立基础

➤ 单层厂房预制钢筋混凝土柱下常采用单独的扩展基础。此类基础按受力性能可分为**轴心受压基础和偏心受压基础**，一般情况下为**偏心受压基础**。

➤ 为防止基础及其下地基发生破坏和过大的变形，确保上部结构承受的荷载安全可靠地传给地基，柱下扩展基础的设计应包括如下几方面的内容：

- (1) **基础底面尺寸的确定。**
- (2) **基础高度的确定。**
- (3) **基础配筋计算**
- (4) **相关构造。**

3.7 柱下独立基础

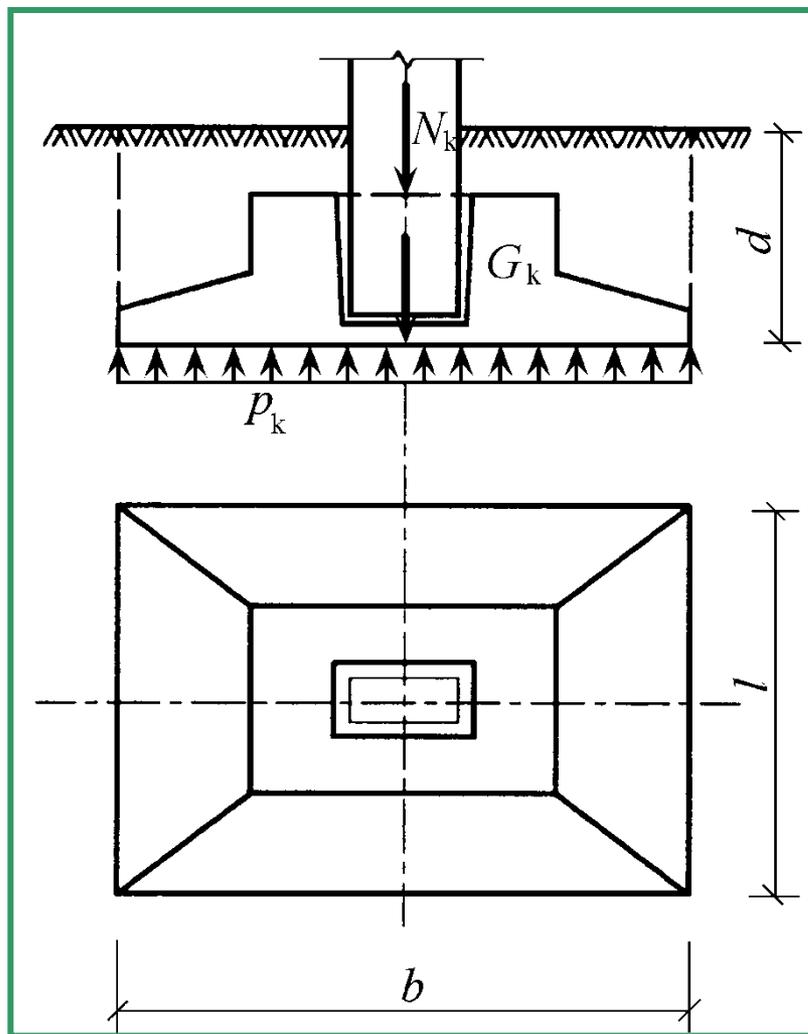
1、基础底面尺寸

(1) **轴心受压柱下基础**：在轴心荷载作用下，基础底面的压力均匀分布，设计时应满足：

$$p_k = \frac{N_k + G_k}{A} \leq f_a$$

若基础的埋置深度为 d ，基础及其上填土的平均重度为 γ_0 ，则 $G_k = \gamma_0 d A$ ，可得基础底面面积为：

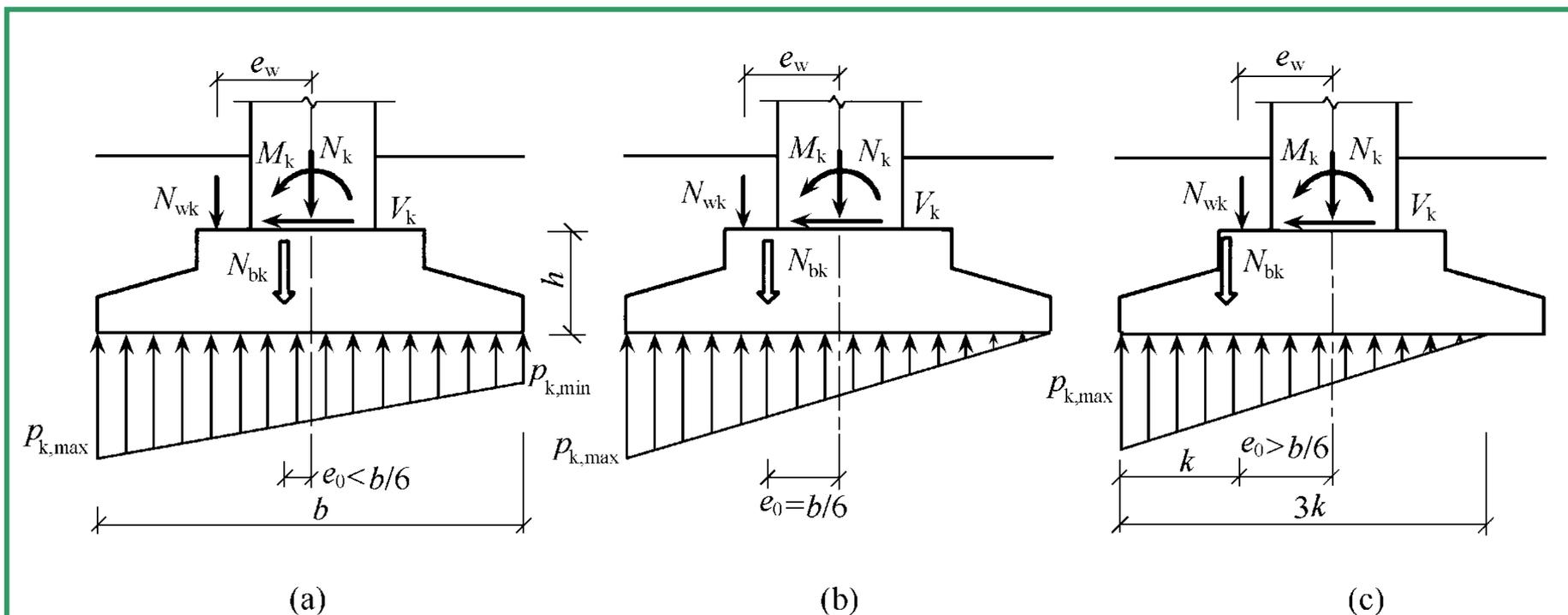
$$A = \frac{N_k}{f_a - \gamma_0 d}$$



3.7 柱下独立基础

1、基础底面尺寸

(2) **偏心受压柱下基础**：在偏心荷载作用下，基础底面的压力为线性分布。



偏心受压基础压力分布

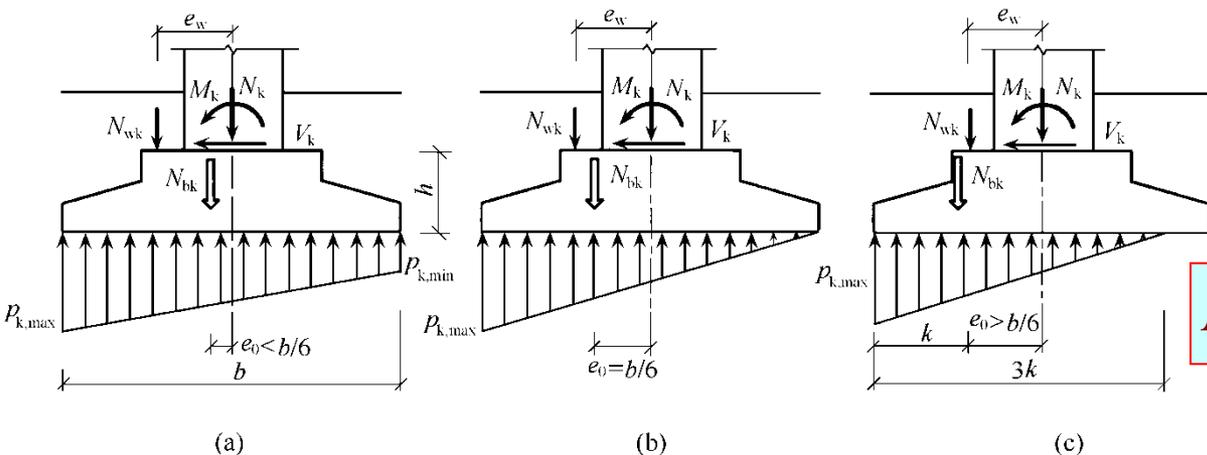
3.7 柱下独立基础

1、基础底面尺寸

基础底面边缘的压力可按下式计算：

$$p_{k,\max} = \frac{N_{bk}}{A} \pm \frac{M_{bk}}{W}$$

$$p_{k,\min}$$



$$N_{bk} = N_k + G_k + N_{wk}$$

$$M_{bk} = M_k + V_k h \pm N_{wk} e_w$$

取 $e_0 = M_{bk} / N_{bk}$ ，并将 $W = lb^2 / 6$ 代入，则基础底面边缘的压力值可写成如下形式：

$$p_{k,\max} = \frac{N_{bk}}{lb} \left(1 \pm \frac{6e_0}{b} \right)$$

$$p_{k,\min}$$

3.7 柱下独立基础

$$p_{k,\max} = \frac{N_{bk}}{lb} \left(1 \pm \frac{6e_0}{b} \right)$$
$$p_{k,\min}$$

1、基础底面尺寸

在偏心荷载作用下，基础底面的压力值应符合下式要求：

$$p_{k,\max} \leq 1.2f_a$$

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

确定偏心受压基础底面尺寸一般采用**试算法**。

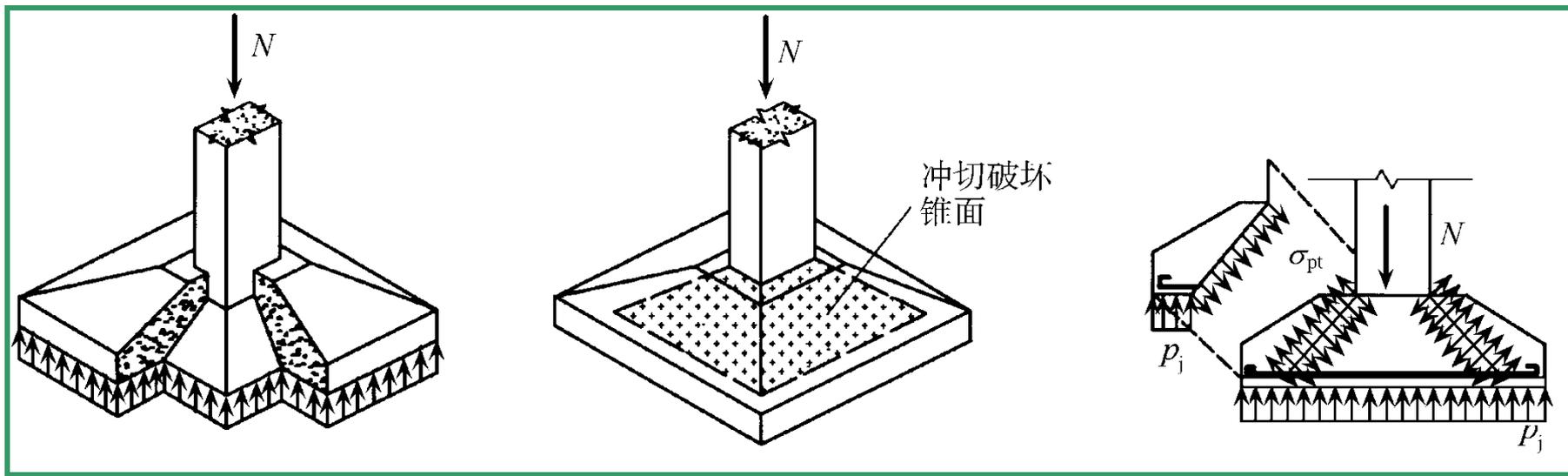
- 首先按轴心受压基础**估算基底面积**；
- 考虑基础底面弯矩的影响，将基底面积适当**增大（20-40）%**，初步选定基础底面边长 **l 和 **b** ，**
- 计算**基底压力**，验算是否满足上述两式要求；
- 如不满足，调整基础底面尺寸，直至满足为止。

3.7 柱下独立基础

2、基础高度验算

基础高度除应满足构造要求外，还应根据柱与基础交接处或阶形基础变阶处混凝土的受冲切承载力确定。

当基础高度（或变阶处高度）不够时，柱传给基础的荷载将使基础发生冲切破坏，即沿柱边大致呈 45° 方向的截面被拉脱而形成的角锥体破坏。



基础冲切破坏示意图

3.7 柱下独立基础

2、基础高度验算

为了防止冲切破坏，必须使冲切面外的地基反力产生的冲切力小于等于冲切面处混凝土的抗冲切承载力。

《建筑地基基础设计规范》规定，对矩形截面柱的矩形基础，柱与基础交接处以及基础变阶处的受冲切承载力按下列公式验算：

$$F_l \leq 0.7 \beta_h f_t a_m h_0$$

$$F_l = p_j A_l$$

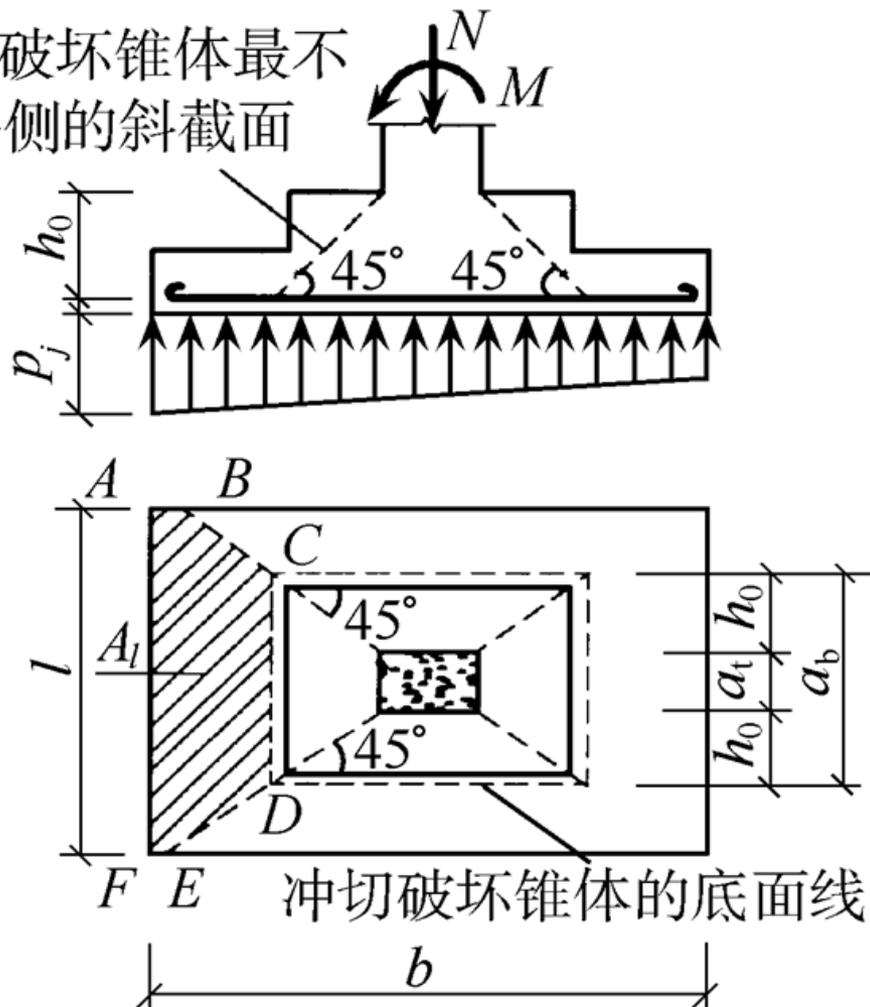
$$a_m = (a_t + a_b) / 2$$

p_j ——扣除基础自重及其上土重后，相应于荷载效应基本组合时的地基土净反力设计值。

3.7 柱下独立基础

2、基础高度验算

冲切破坏锥体最不利一侧的斜截面

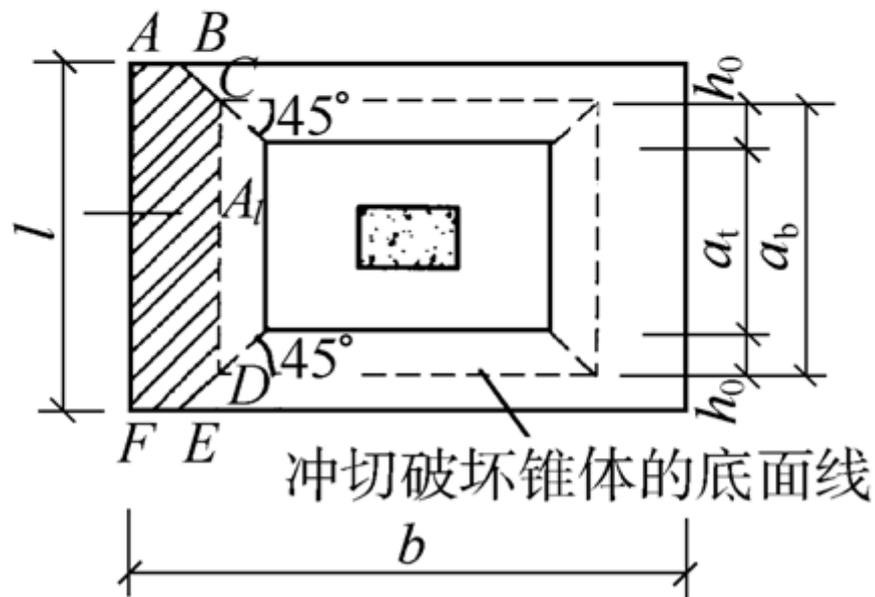
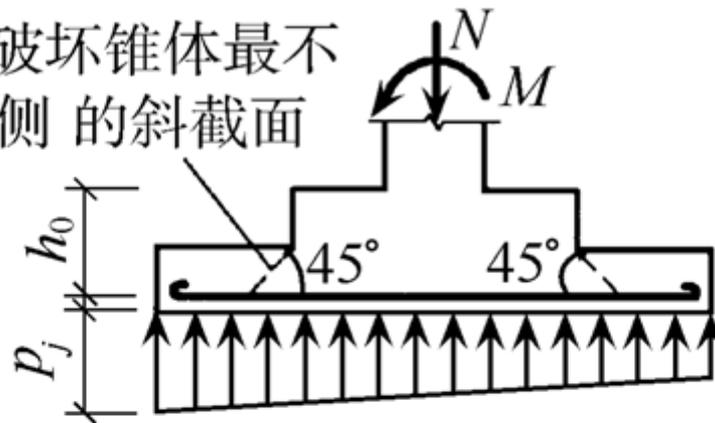


基础的受冲切承载力截面位置

3.7 柱下独立基础

2、基础高度验算

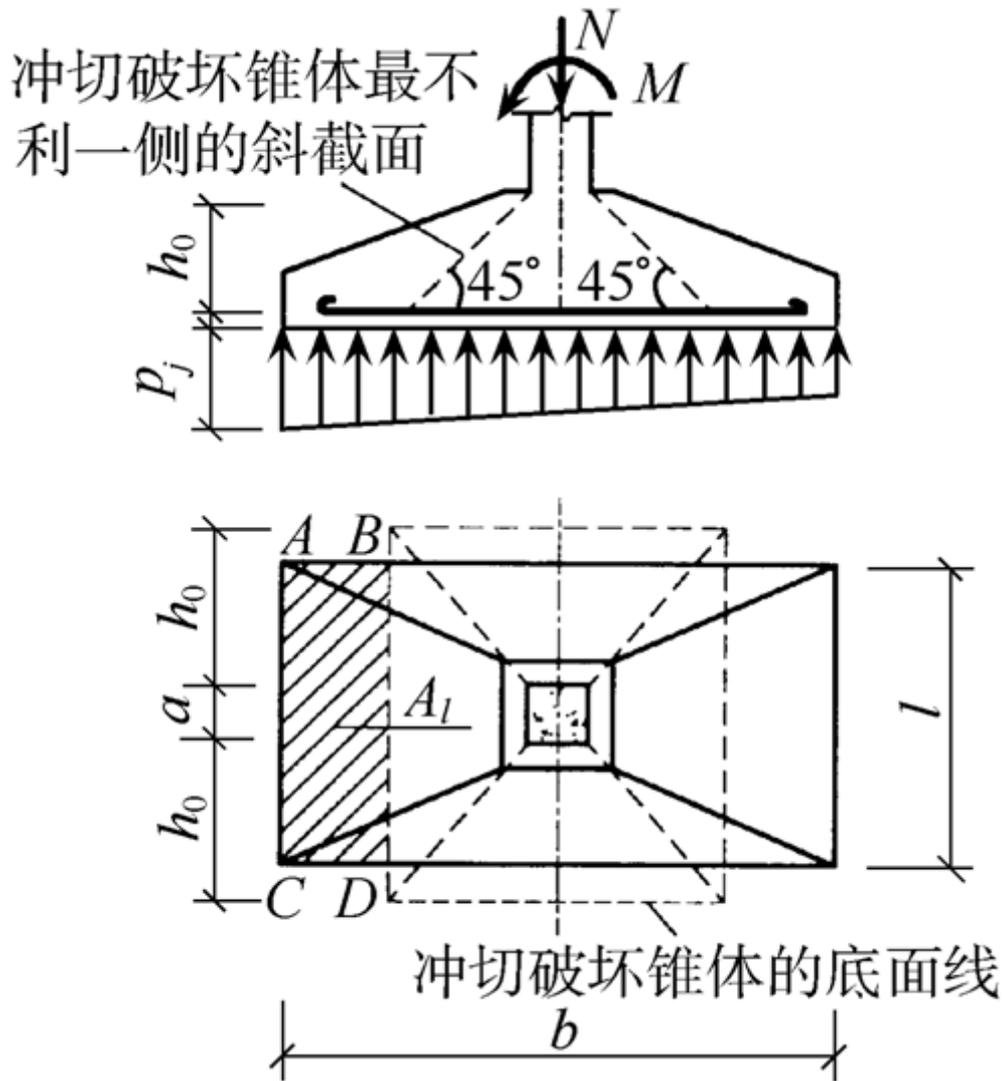
冲切破坏锥体最不利一侧的斜截面



基础的受冲切承载力截面位置

3.7 柱下独立基础

2、基础高度验算

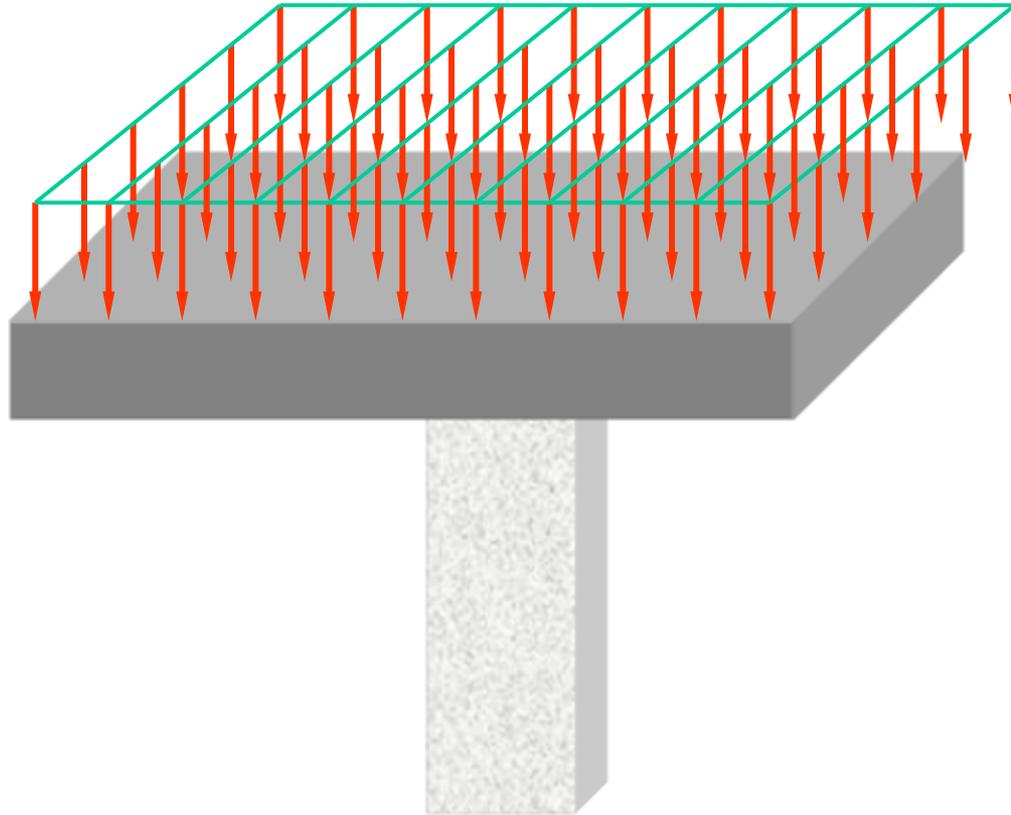


基础的受冲切承载力截面位置

3.7 柱下独立基础

3、基础底板配筋

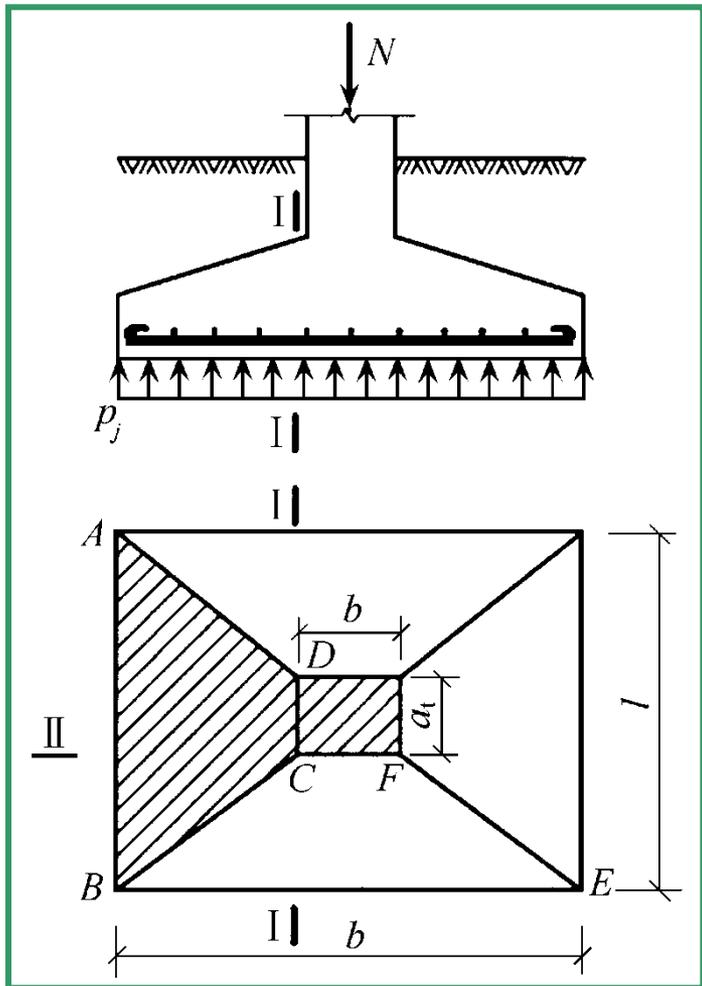
独立基础底板的受力状态可看作在地基土反力作用下支承于柱上**倒置的变截面悬臂板**。基础底板配筋采用**地基土净反力**。



3.7 柱下独立基础

3、基础底板配筋

为防止基底下部双向受拉发生弯曲破坏，需进行正截面受弯计算。



(1) **轴心荷载作用下的基础**：将基础底板划分为四个区块，每个区块都看作是固定于柱边的悬臂板，区块之间无联系。

$$M_I = \frac{p_j}{24} (b - b_t)^2 (2l + a_t)$$

$$M_{II} = \frac{p_j}{24} (l - a_t)^2 (2b + b_t)$$

3.7 柱下独立基础

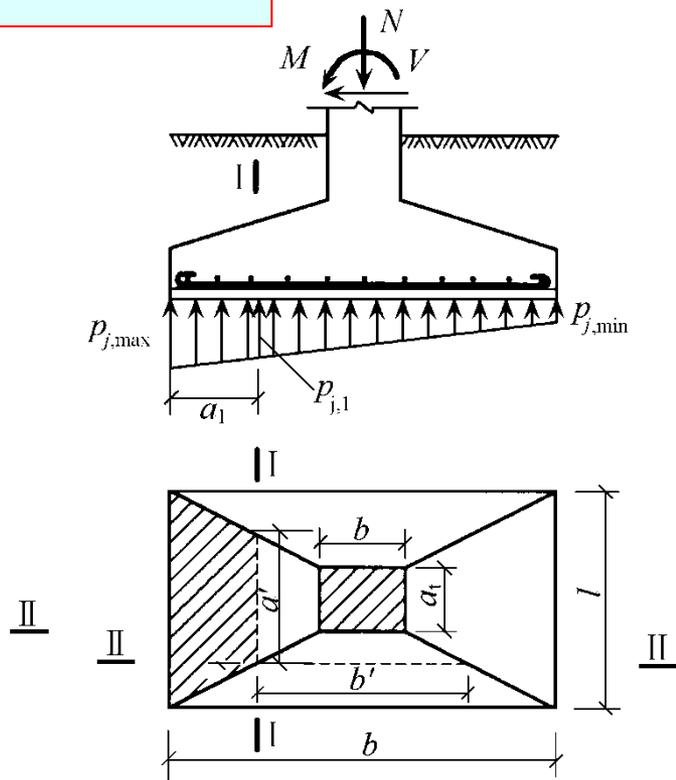
3、基础底板配筋

(2) **偏心荷载作用下的基础**：当偏心矩小于或等于1/6 基础宽度时，沿弯矩作用方向在任意截面 I—I 处，及垂直于弯矩作用方向在任意截面 II—II 处相应于荷载效应基本组合时的弯矩设计值分别按下列公式计算：

$$M_I = \frac{1}{12} a_1^2 \left[(2l + a') (p_{s,\max} + p_{s,I}) + (p_{s,\max} - p_{s,I}) l \right]$$

$$M_{II} = \frac{1}{48} (l - a')^2 (2b + b') (p_{s,\max} + p_{s,\min})$$

当按上式求得弯矩设计值 M_I 、 M_{II} 后，其相应的基础底板受力钢筋截面面积可近似地按轴心受压公式进行计算。



3.7 柱下独立基础

3、基础底板配筋

沿长边***b***方向的受力钢筋截面面积，可近似按下式计算：

$$A_{sI} = \frac{M_I}{0.9h_0f_y}$$

沿短边方向的钢筋一般置于沿长边钢筋的上面，如果两个方向受力钢筋直径均为***d***，则截面Ⅱ—Ⅱ的有效高度为 $h_0 - d$ ，故沿短边***l***方向的受力钢筋截面面积为：

$$A_{sII} = \frac{M_{II}}{0.9(h_0 - d)f_y}$$

3.7 柱下独立基础

4、构造要求

- **基础形状**：独立基础的底面一般为矩形，长宽比宜小于2。基础的截面形状一般可采用对称的阶梯形或锥形。
- **底板配筋**：基础底板受力钢筋的最小直径不宜小于10mm，间距不宜大于200mm，也不宜小于100mm。当基础底面边长大于或等于2.5m时，底板受力钢筋的长度可取边长的0.9倍，并宜交错布置。
- **混凝土强度等级**：基础的混凝土强度等级不宜低于C20。垫层的混凝土强度等级应为C10。
- **杯口深度**：杯口的深度等于柱的插入深度 $h_1+50\text{mm}$ 。为了保证预制柱能嵌固在基础中，柱伸入杯口应有足够的深度 h_1 ； h_1 还应满足柱内受力钢筋锚固长度的要求，并应考虑吊装安装时柱的稳定性。

3.7 柱下独立基础

4、构造要求

- ▶ **杯口尺寸**：杯口应大于柱截面边长，其顶部每边留出75mm，底部每边留出50mm，以便预制柱安装时进行就位、校正，并二次浇筑细石混凝土。
- ▶ **杯底厚度**：杯底应具有足够的厚度 a_1 ，以防预制柱在安装时发生杯底冲切破坏。
- ▶ **锥形基础的边缘高度**：一般取 $a_2 \geq 200\text{mm}$ ，且 $a_2 \geq a_1$ 和 $a_2 \geq h_c/4$ （ h_c 为预制柱的截面高度）；当锥形基础的斜坡处为非支模制作时，坡度角不宜大于 25° ，最大不得大于 35° 。

3.7 柱下独立基础

4、构造要求

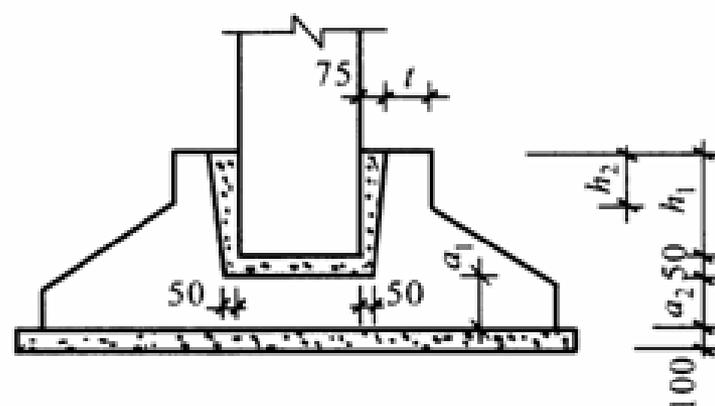


表 2-9 柱的插入深度 h_1 (mm)

矩形或工字形柱				双肢柱
$h < 500$	$500 \leq h < 800$	$800 \leq h \leq 1000$	$h > 1000$	
$h \sim 1.2h$	h	$0.9h$ 且 ≥ 800	$0.8h$ 且 ≥ 1000	$(1/3 \sim 2/3)h$ $(1.5 \sim 1.8)h$

表 2-10 基础的杯底厚度 a_1 和杯壁厚度 t (mm)

柱截面长边尺寸 h	杯底厚度 a_1	杯壁厚度 t
$h < 500$	≥ 150	150~200
$500 \leq h < 800$	≥ 200	≥ 200
$800 \leq h < 1000$	≥ 200	≥ 300
$1000 \leq h < 1500$	≥ 250	≥ 350
$1500 \leq h < 2000$	≥ 300	≥ 400

3.7 柱下独立基础

4、构造要求

