

— 成都理工大学 —



混凝土结构设计

成都理工大学环境与土木工程学院

建筑工程教研室范涛



第2章 单层工业厂房设计





本章重点

- 熟悉单层工业厂房结构的选型与结构布置方法；
- 掌握钢筋混凝土排架的荷载与内力计算方法、内力组合原则及柱的截面设计方法；
- 熟悉排架柱的配筋构造要求。



§ 2.1 结构类型和结构体系

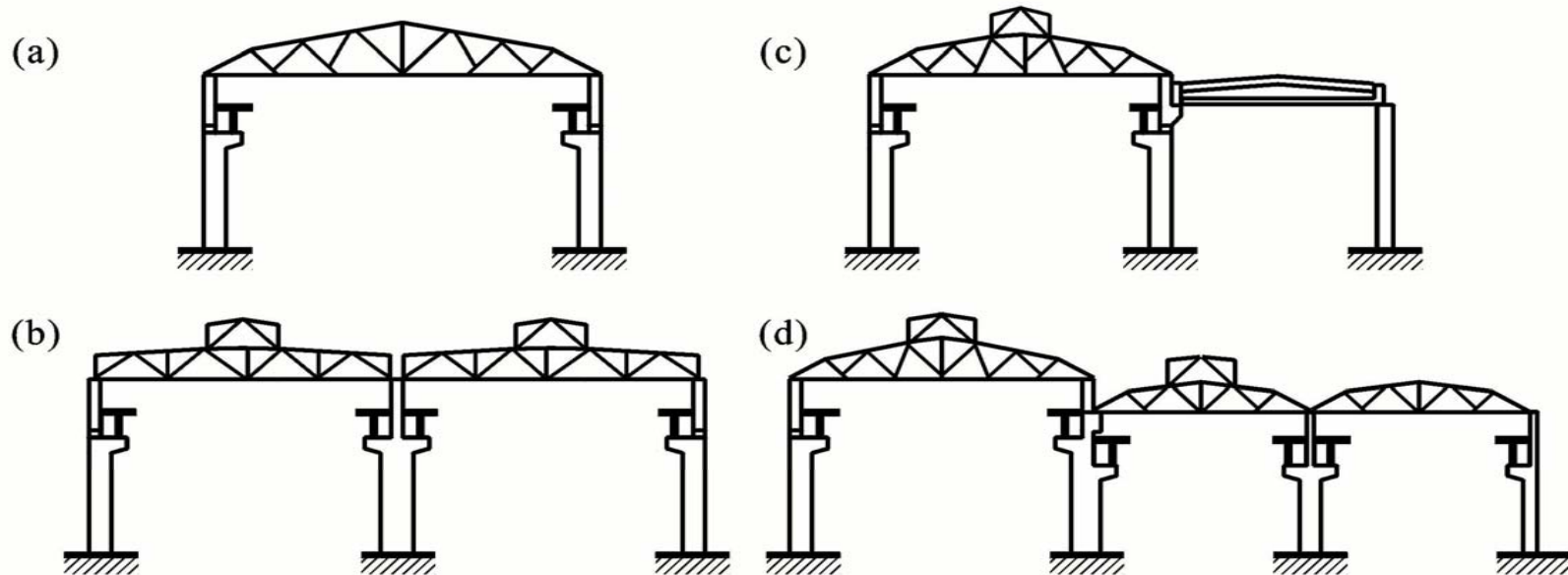
单层厂房依据其跨度、高度和吊车起重量等因素的不同可采用：

- 混合结构； $Q \leq 5t, l \leq 15m$
- 混凝土结构；
- 钢结构。 $Q \geq 250t, l \geq 36m$

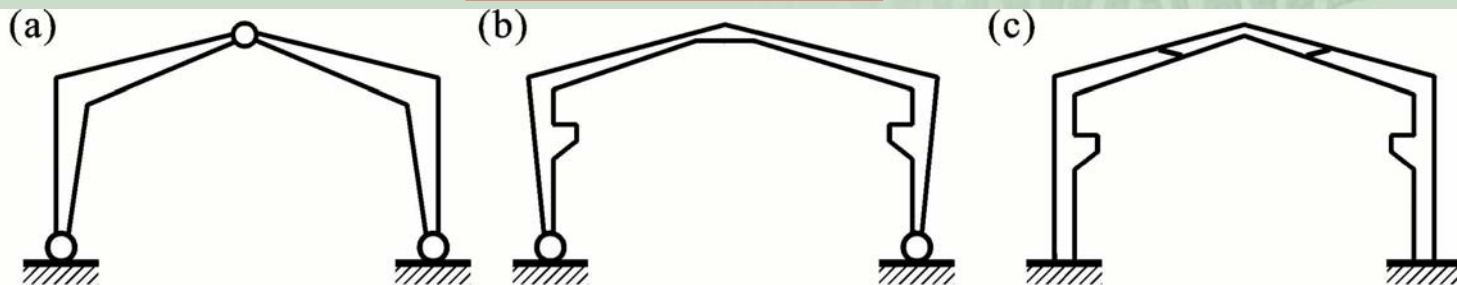
单层厂房的结构类型和体系可分为：

- 单跨与多跨；
- 等高与不等高；
- 排架与刚架。





排架结构图



刚架结构图



天窗架

吊车梁

屋架

桥式吊车

带牛腿的
排架柱

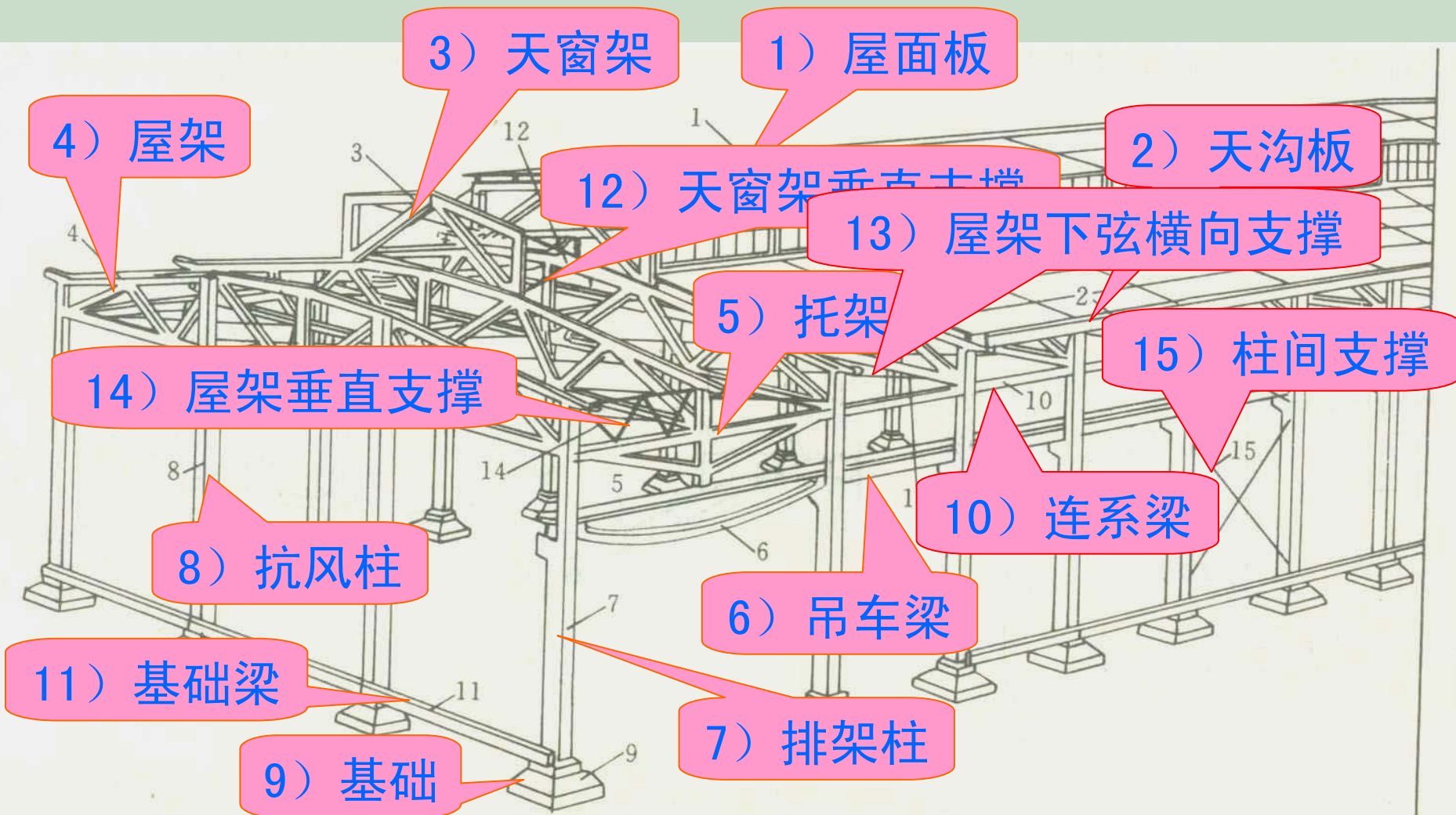
■ 单层装配式钢筋混凝土厂房——排架结构





§ 2.2

结构组成及荷载传递





§ 2.2 结构组成及荷载传递

2.2.1 结构组成

1. 屋盖结构

屋盖结构可分有檩体系和无檩体系两种。

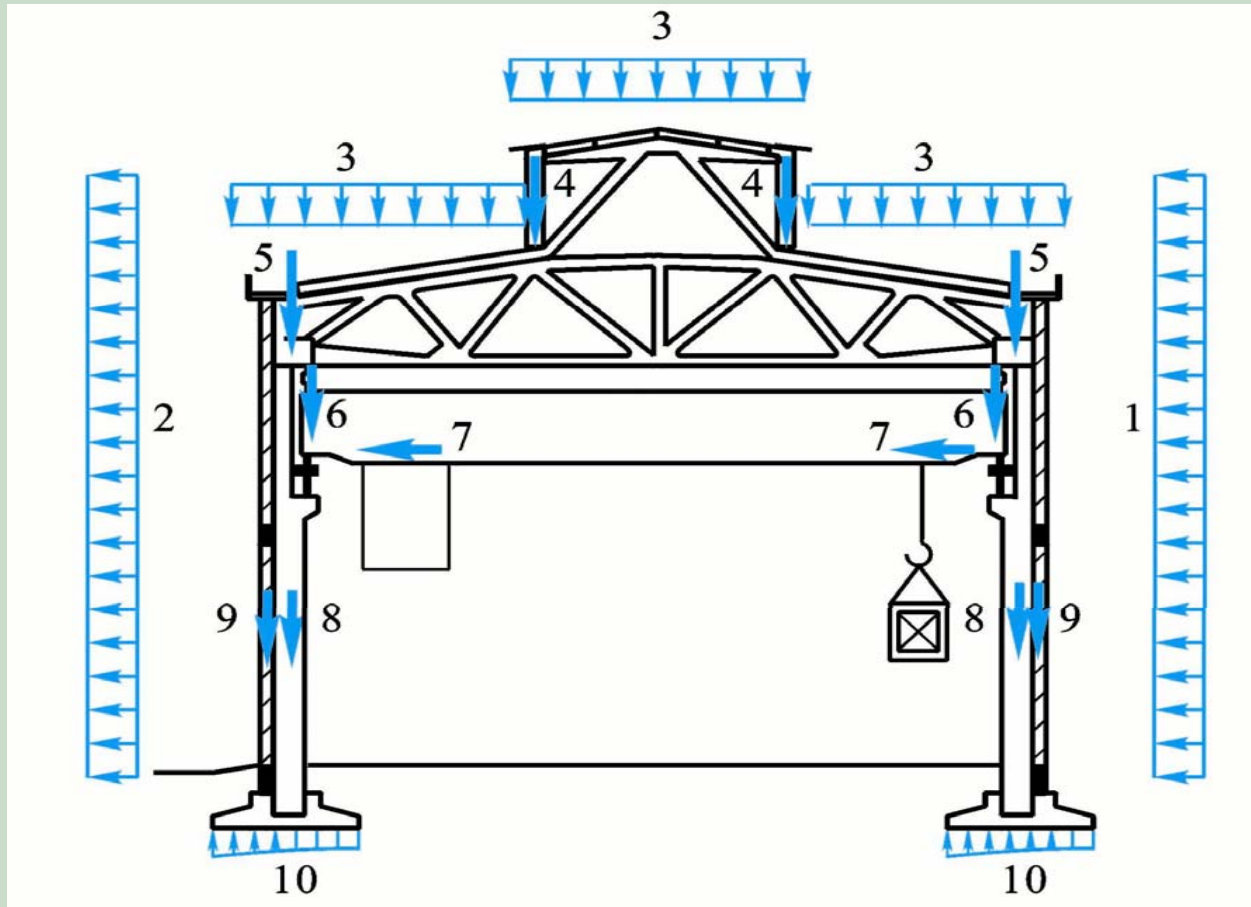
- ❖ 无檩体系：由屋面板、天沟板、天窗架、屋架、托架、及屋盖支撑组成。**刚度大。**
- ❖ 有檩体系：由小型屋面板、檩条及屋盖支撑组成。**刚度小。**





2. 纵、横向平面排架

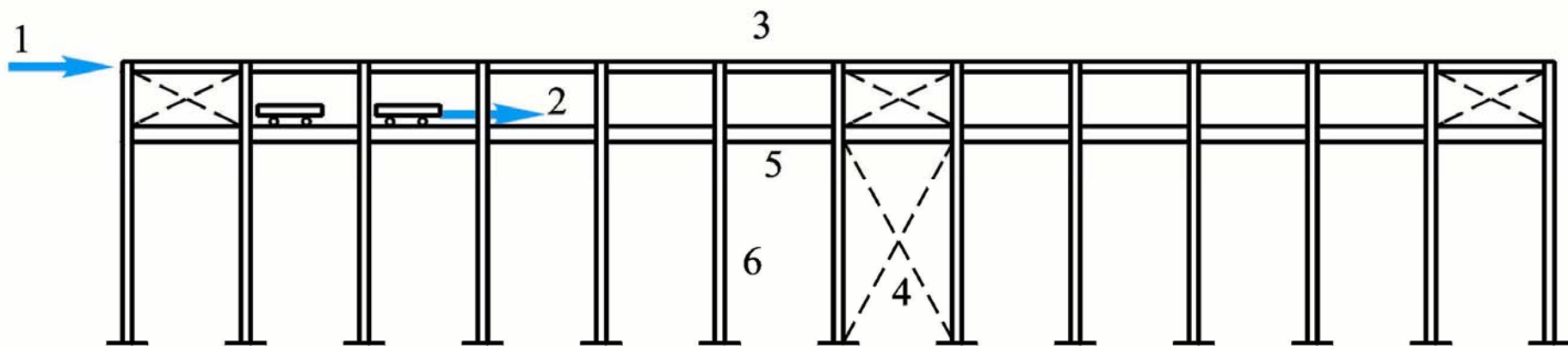
❖ 横向平面排架：包括横梁(屋架)、柱及基础



横向平面排架



- ❖ 纵向平面排架：包括纵向柱列、基础、连系梁、吊车梁、柱间支撑



纵向平面排架

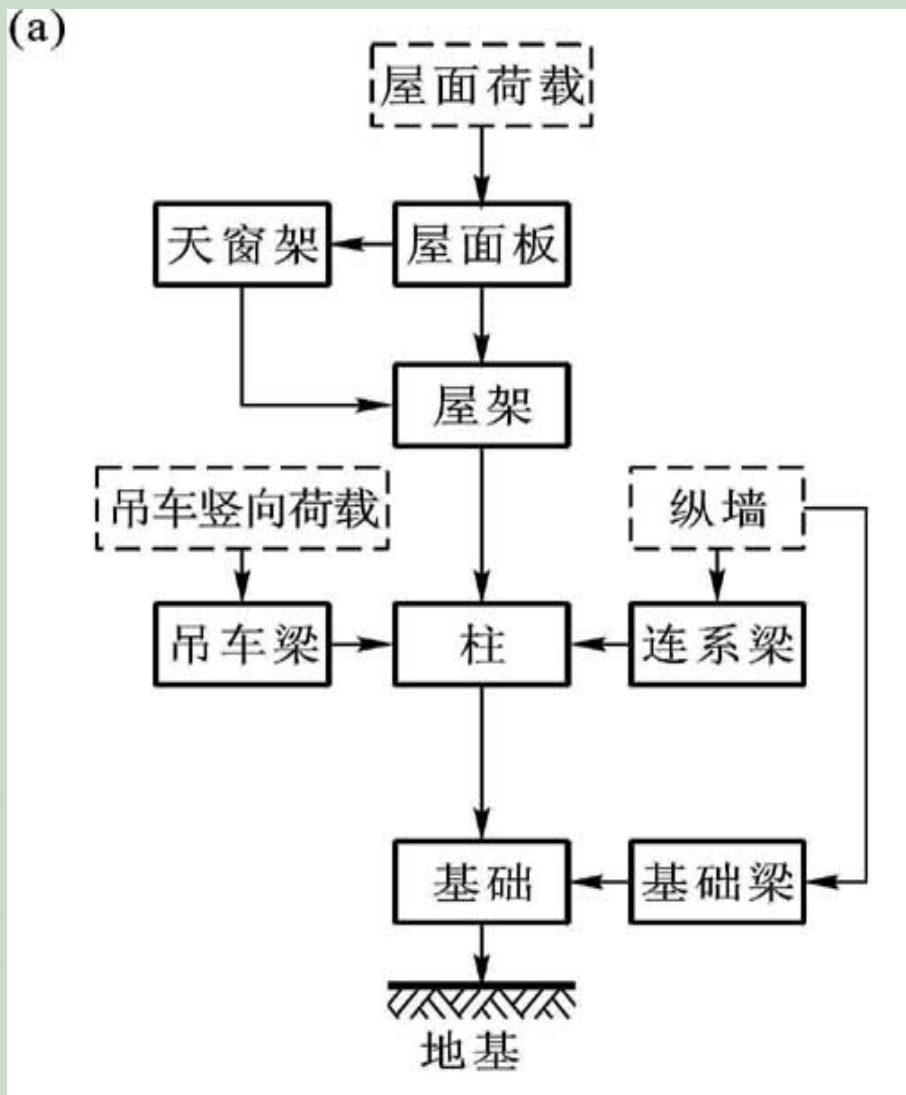
- 3. 围护结构：包括纵墙、山墙、墙梁、抗风柱、基础梁





2.2.2 荷载传递

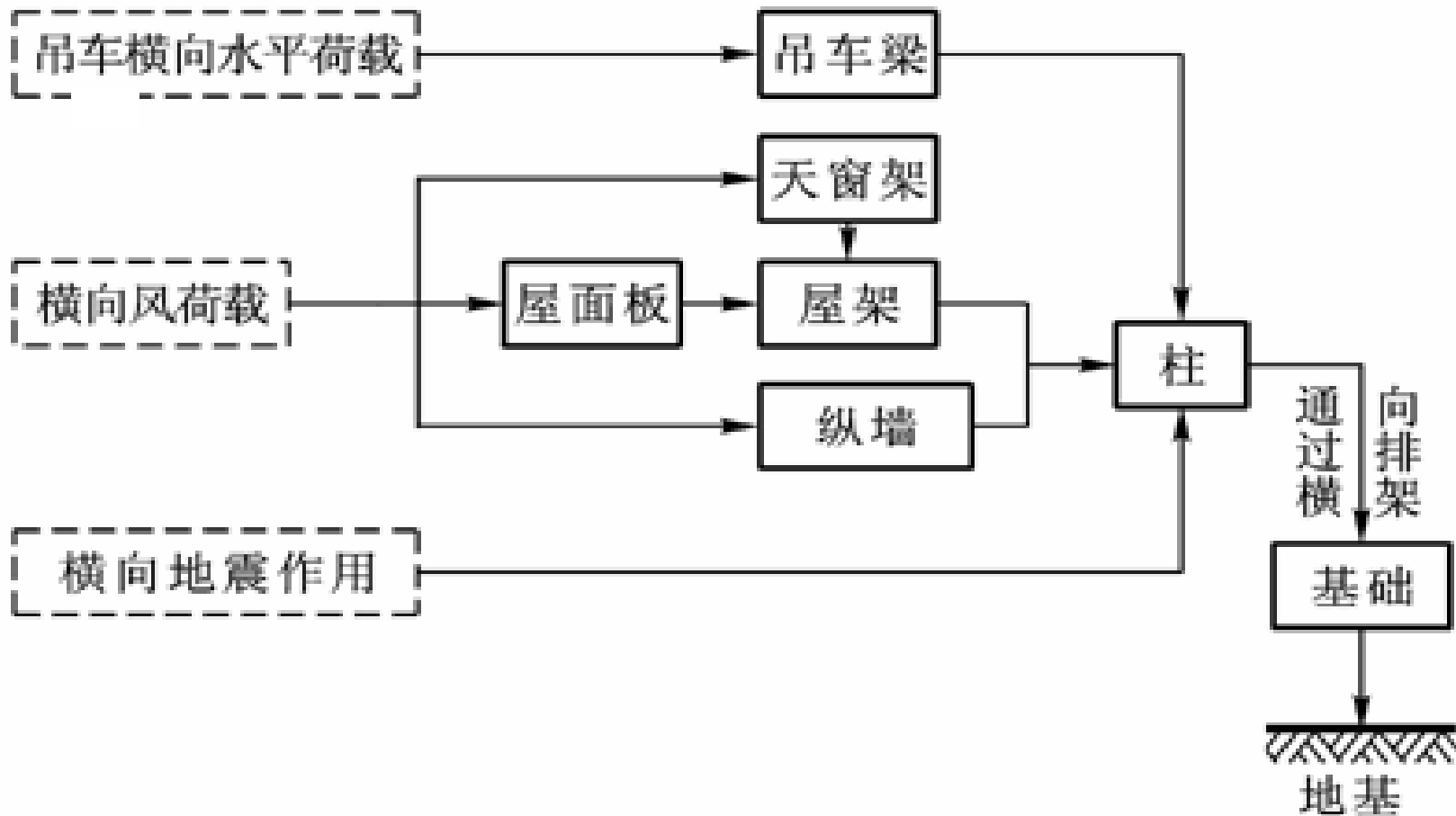
横向排架是主要的承重结构，屋架、排架柱和基础是主要的承重构件。



竖向荷载传递图



(b)

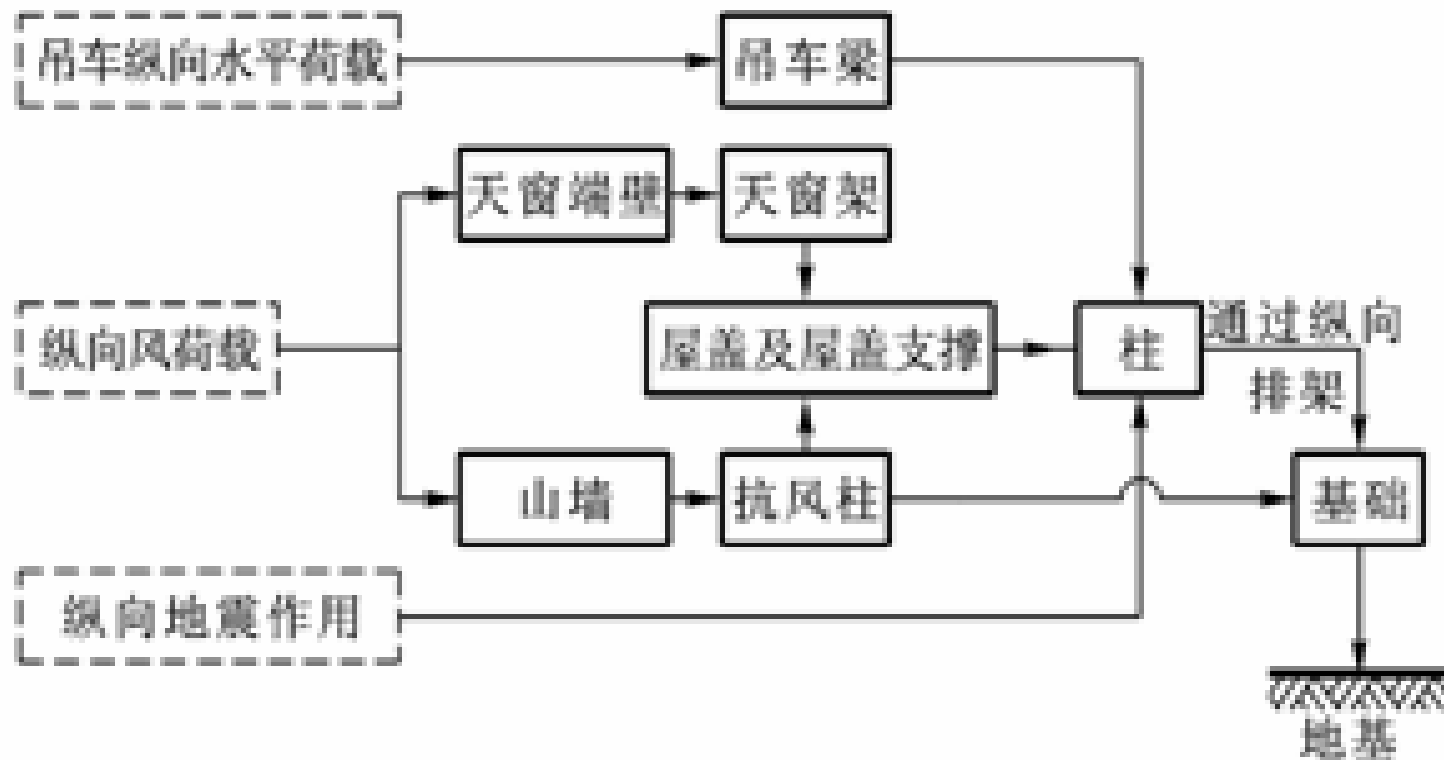


横向水平荷载传递图



(c)

地基



纵向水平荷载传图



§ 2.3 结构布置

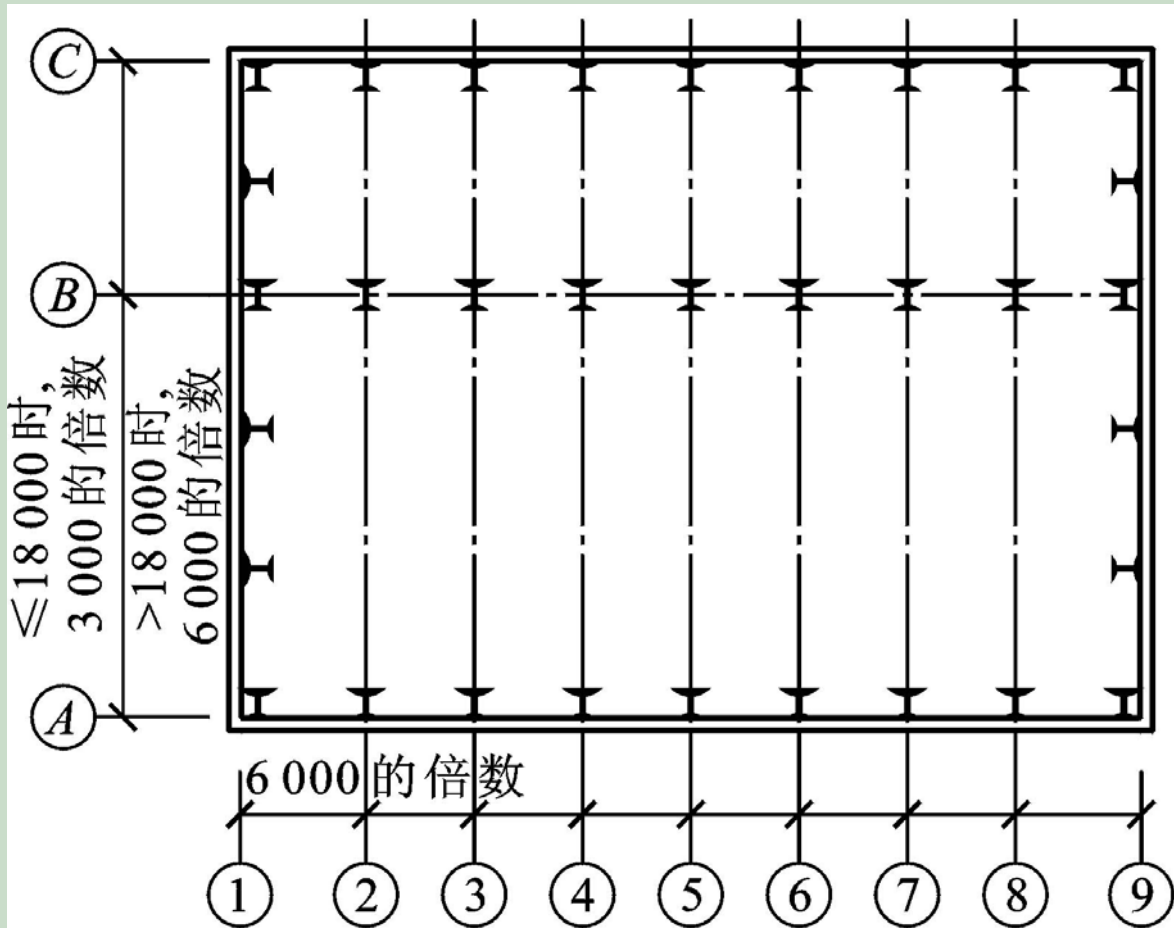
2.3.1 厂房平面布置

1. 柱网布置

要考虑工艺、经济、模数化等因素。

跨度在18M和18M以下时，采用30M的模数；
跨度在18M以上时，采用60M的模数；

柱网布置





2.3.1 厂房平面布置

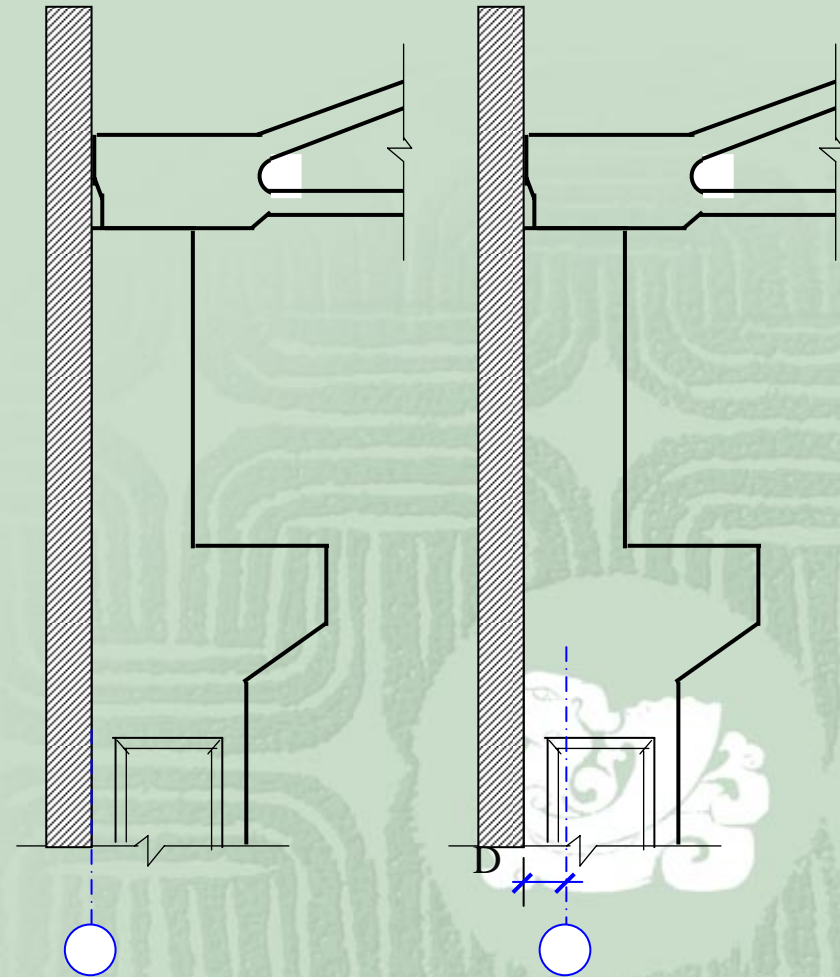
定位轴线

•墙、边柱与纵向定位轴线的关系:

◆柱距6米、无吊车或 $Q \leq 20t$
边柱外缘和墙内缘与轴线重合，称封闭结合。

◆柱距6米、 $32 \leq Q \leq 50t$
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。

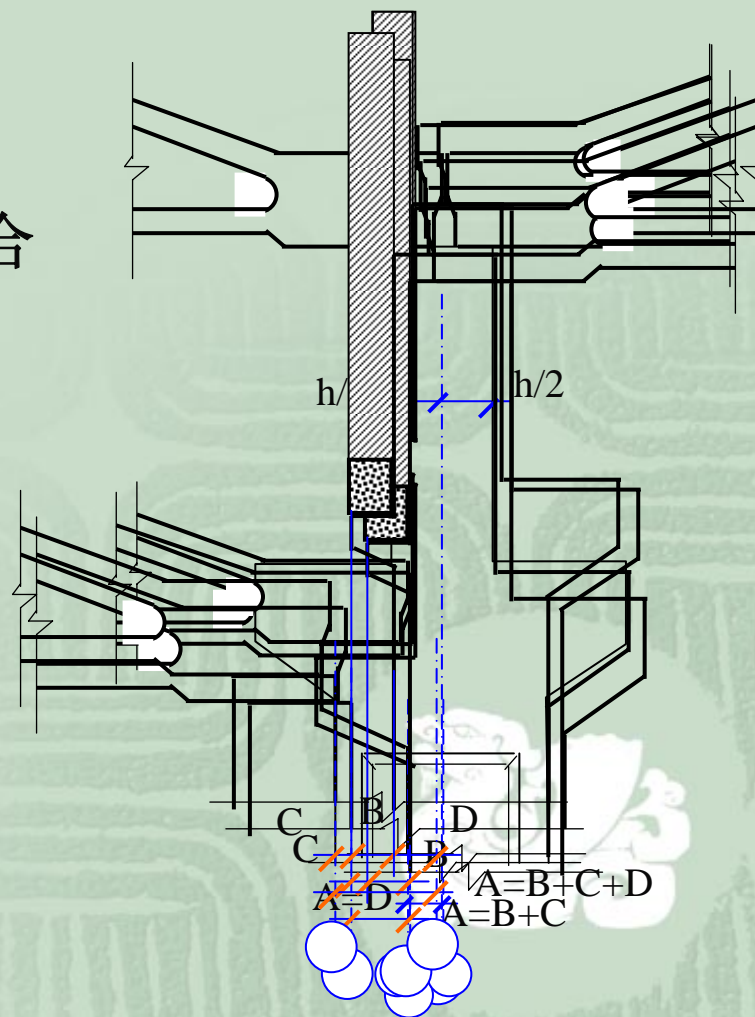
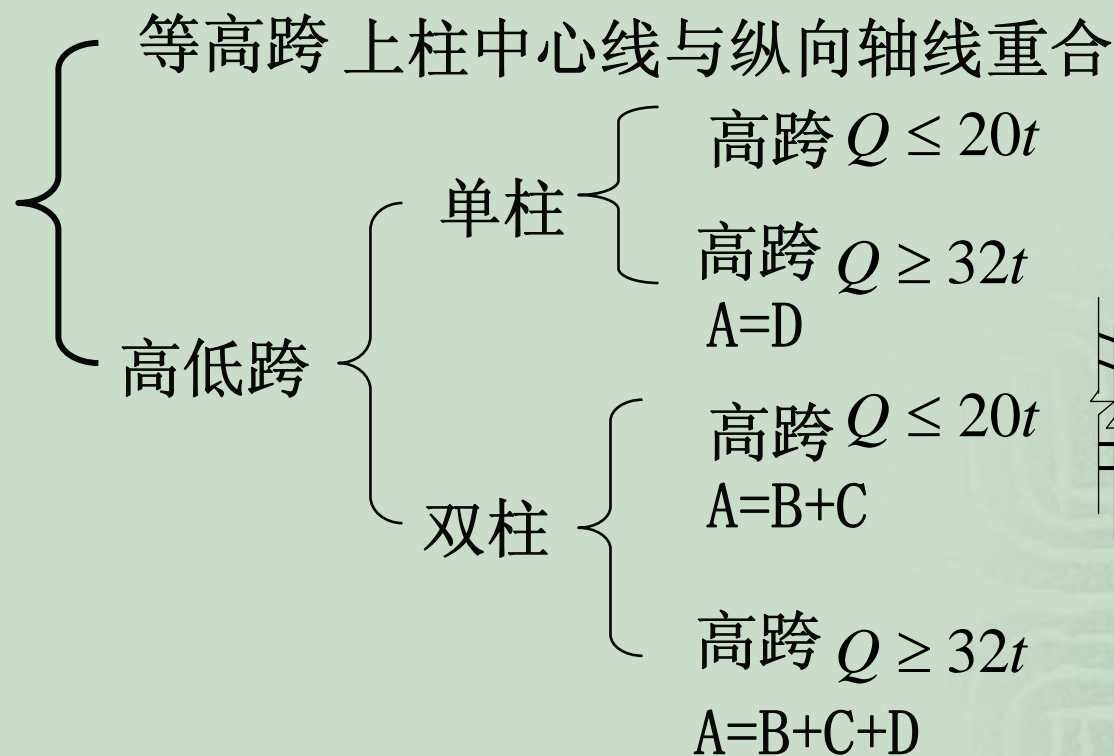
◆柱距12米、或 $Q > 50t$
联系尺寸 $D=250、500$ 。





定位轴线

•中柱与纵向定位轴线的关系:



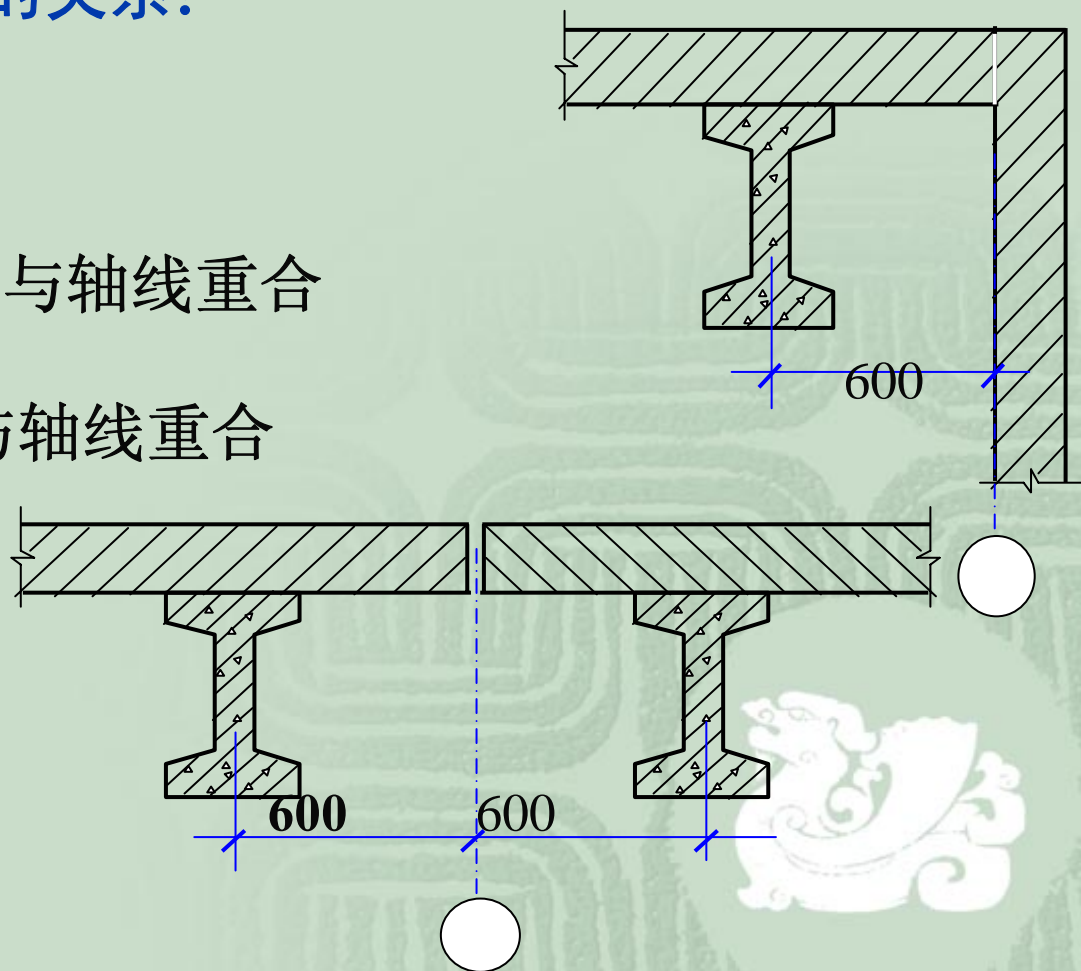


定位轴线

•墙、柱与横向定位轴线的关系:

柱 { 伸缩缝和端部处
一般部位处柱中心线与轴线重合

墙 { 非承重墙: 墙内缘与轴线重合
承重墙: 墙内缘与轴线的距离为半砖或半砖的倍数。





2.3.1 厂房平面布置

1. 柱网布置

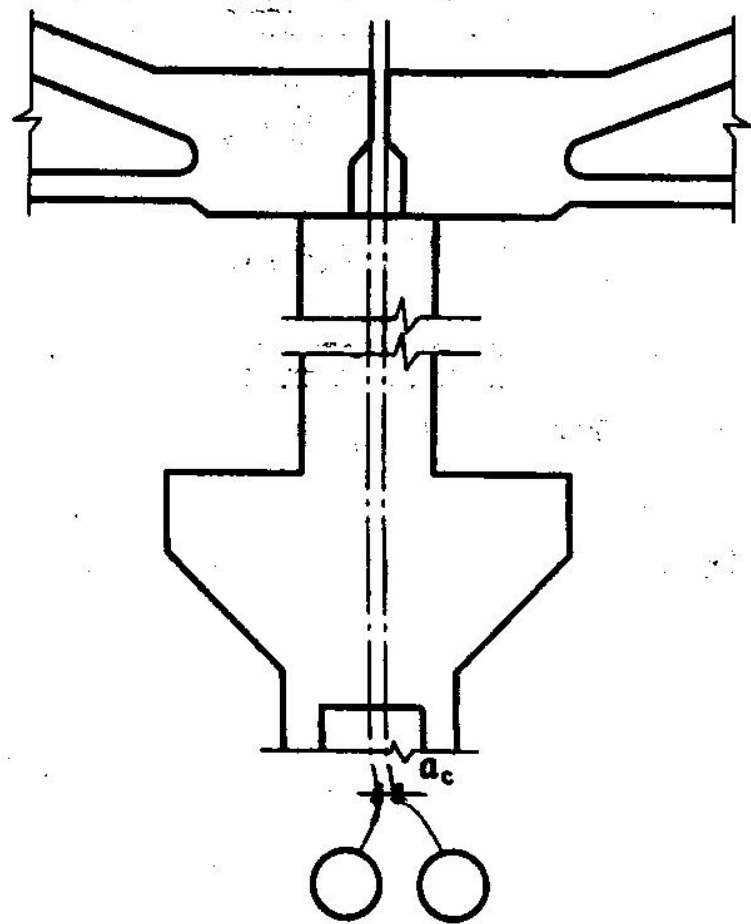
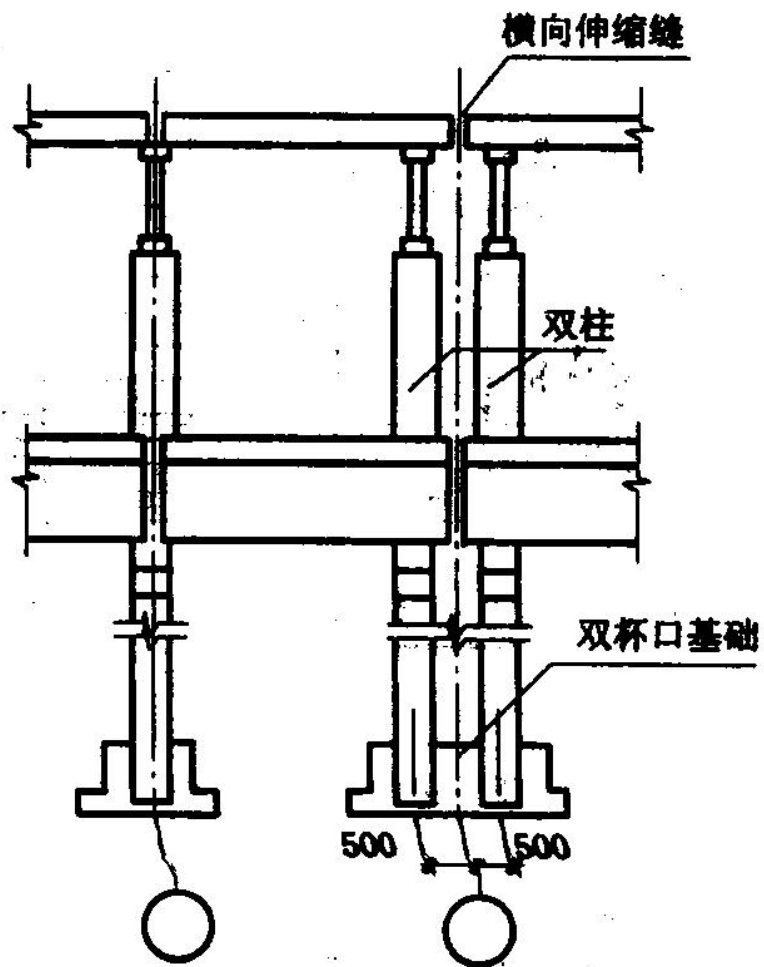
2. 变形缝

- ❖ 伸缩缝：减少厂房温度应力的影响而设，上部结构断开，下部结构不断开。
- ❖ 沉降缝：厂房高度、吊车吨位、土质相差较大时而设，上、下部结构都要断开。
- ❖ 抗震缝：为防止地震区厂房或厂房区段相邻太近地震时发生碰撞而设，可与伸缩缝、沉降缝合并，但宽度要满足抗震缝要求。



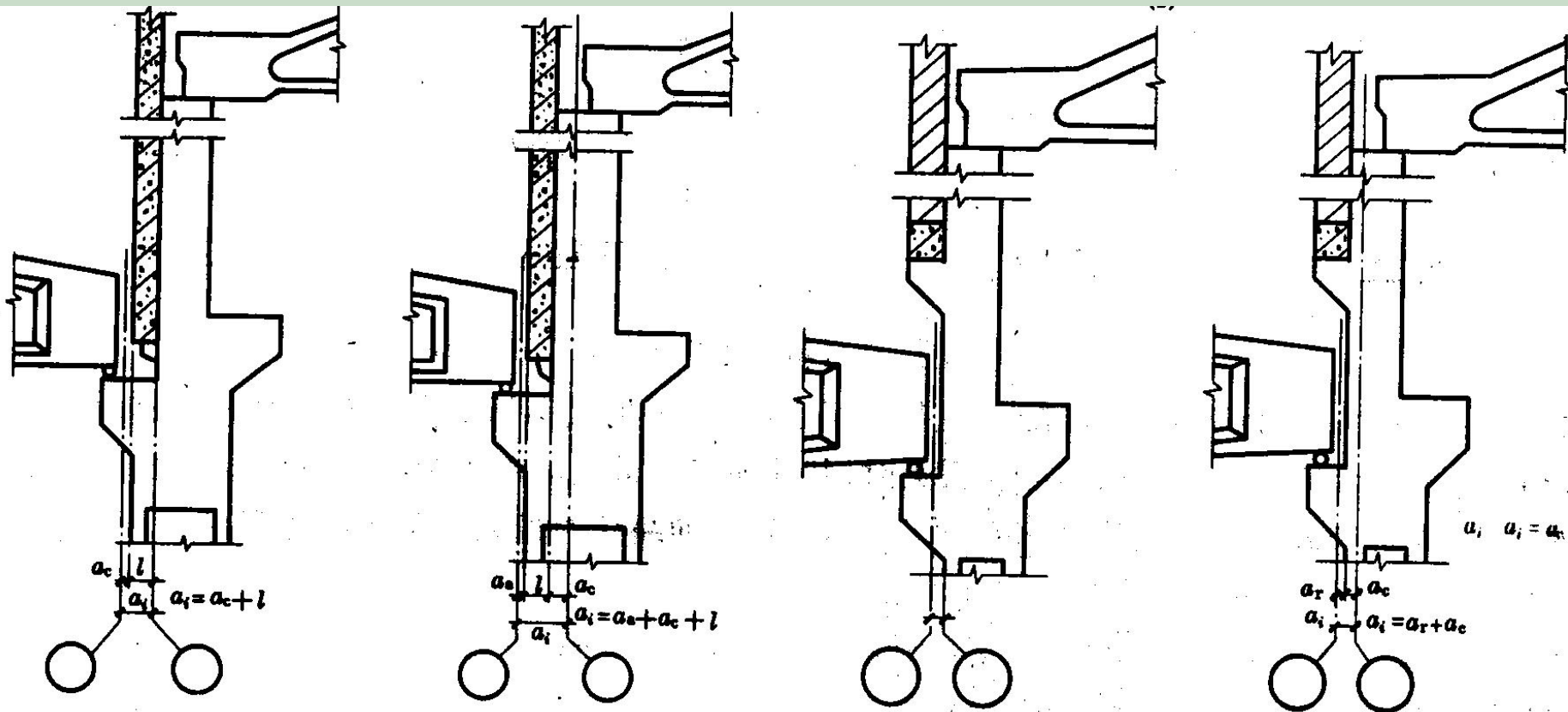


伸缩缝





伸缩缝





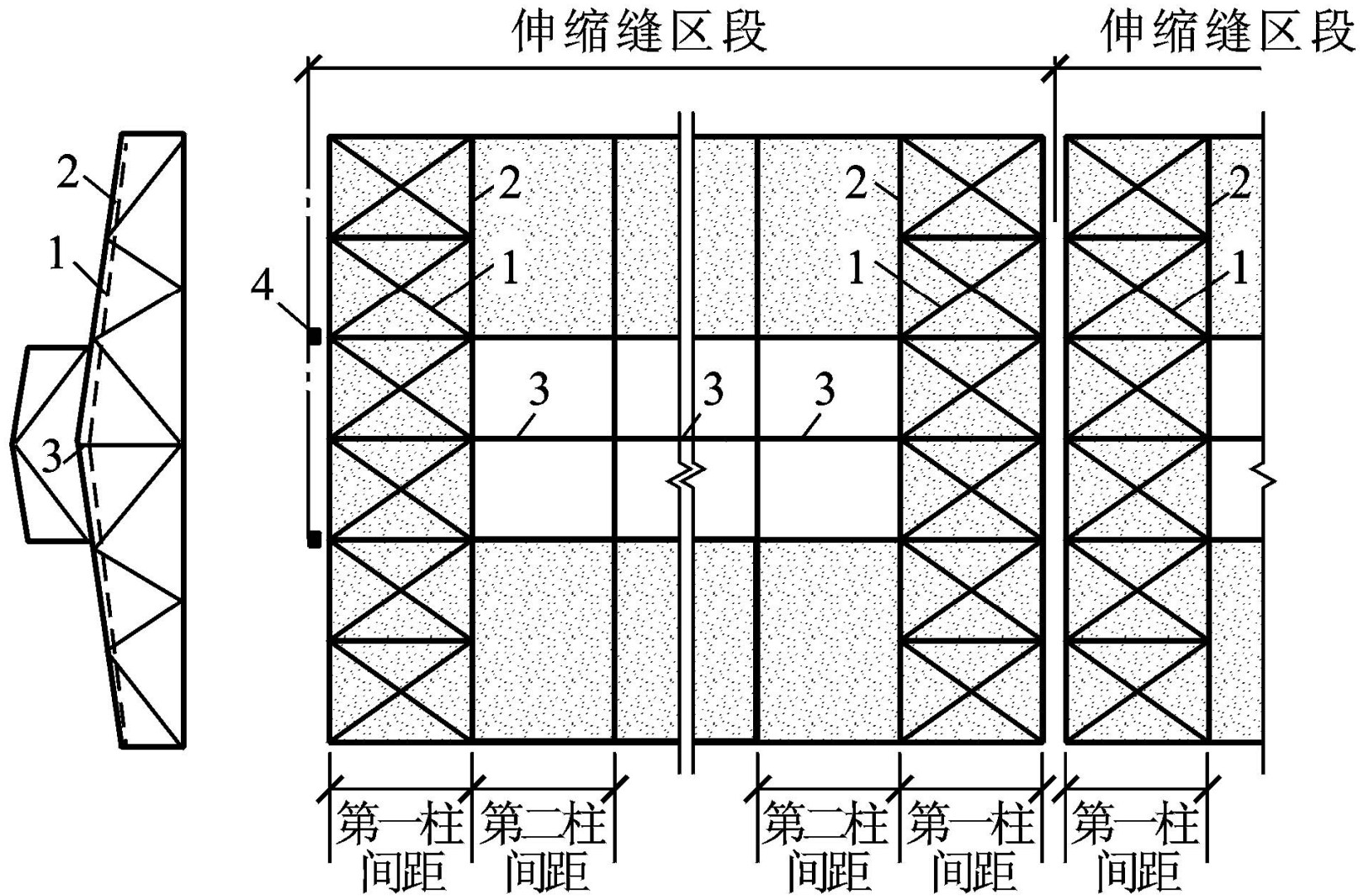
2.3.2 支撑布置

单层厂房支撑包括屋盖支撑和柱间支撑两类，应了解各支撑的作用和设置条件及设置位置。

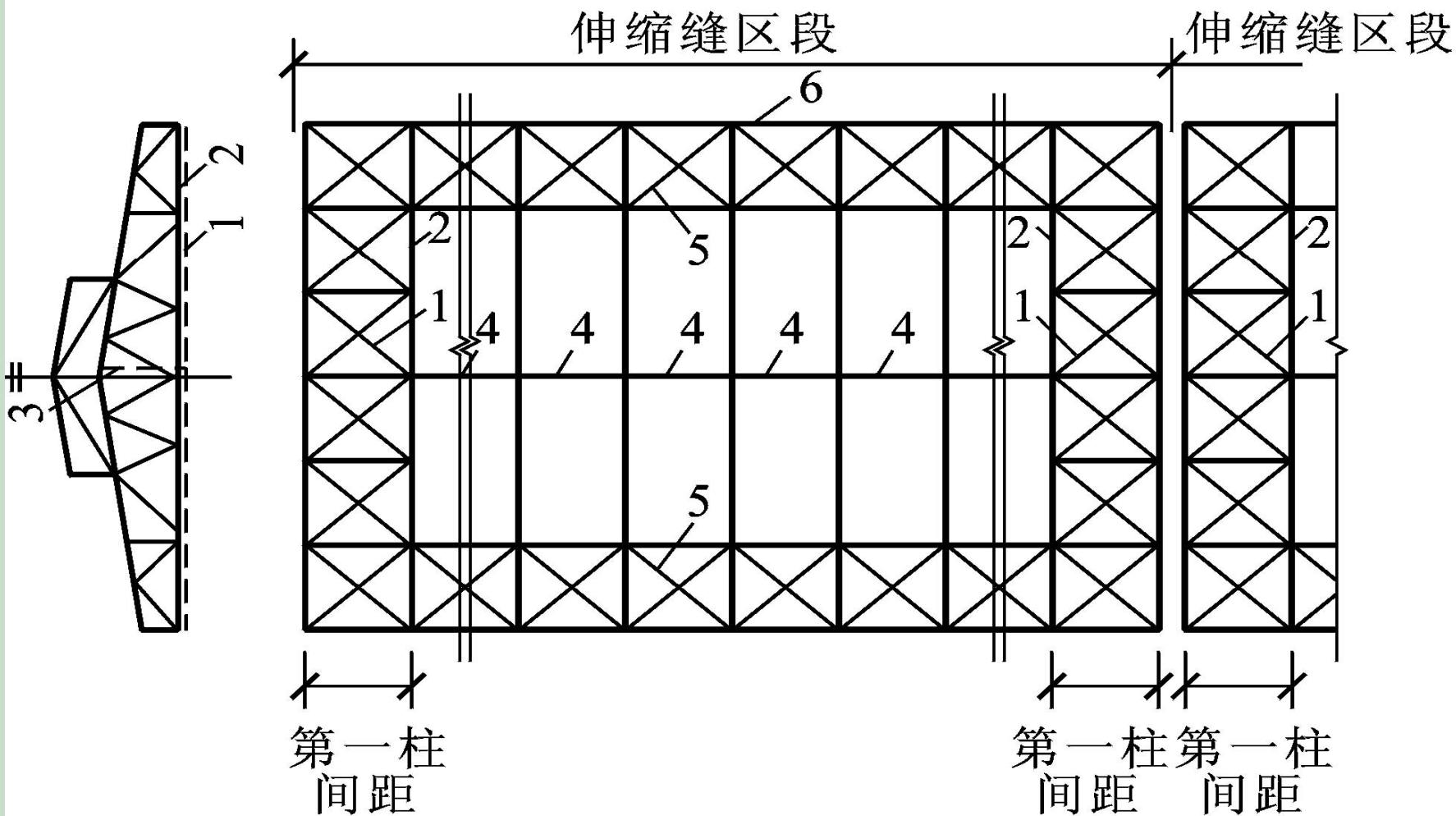
1. 屋盖支撑

- ❖ 上弦横向水平支撑
- ❖ 下弦横向水平支撑
- ❖ 纵向水平支撑
- ❖ 垂直支撑和水平系杆
- ❖ 天窗架支撑

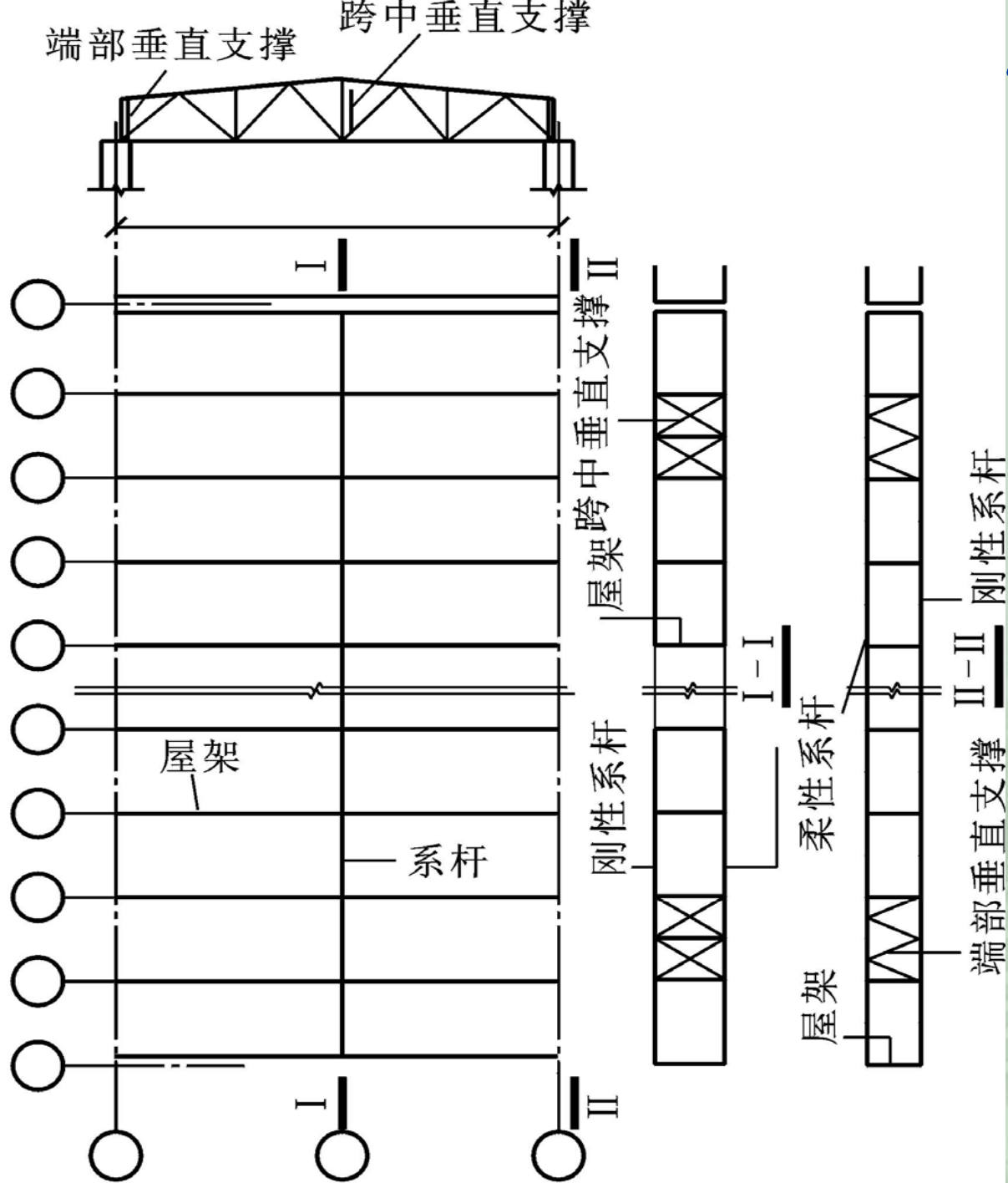




上弦横向水平支撑



下弦横向及纵向水平支撑



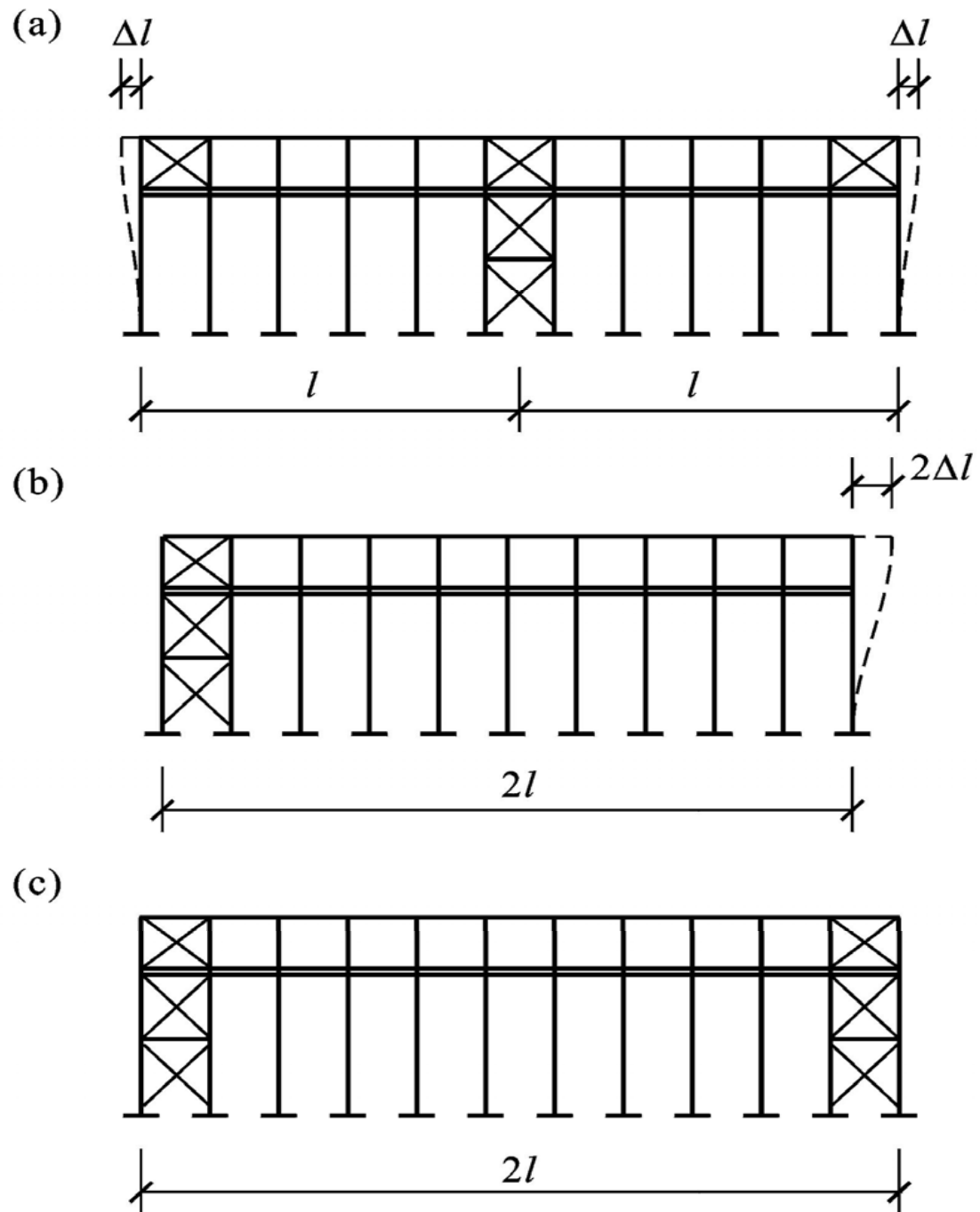
垂直支撑及水平系杆



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，其作用是承受纵向水平荷载和提高纵向刚度。

柱间支撑

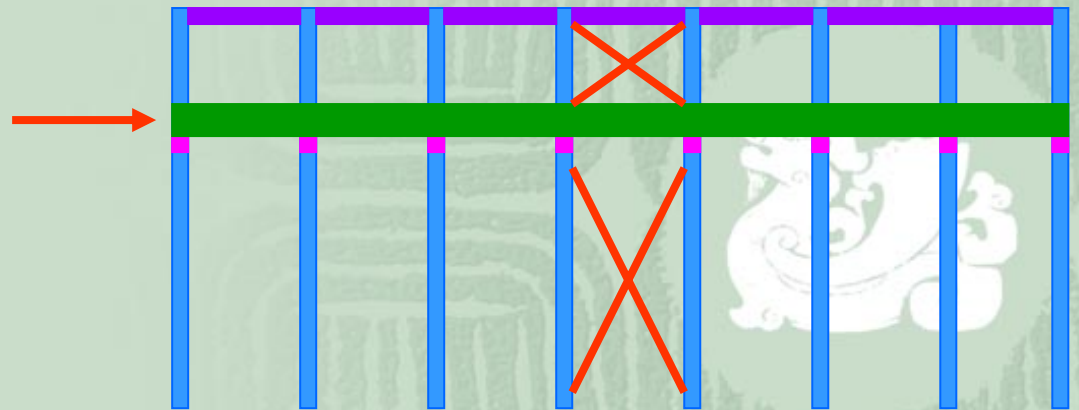




2. 柱间支撑

以下情况设置柱间支撑：

- (1) 厂房内设置重级工作制吊车，或中、轻级工作制吊车起重量在**10吨**以上；
- (2) 厂房跨度在**18米**及**18米**以上，或柱高在**8米**以上；
- (3) 纵向柱的总数每排在**7根**以下；
- (4) 设有**3吨**及**3吨**以上吊车；
- (5) 露天吊车的柱列。





2.3.3 围护结构布置

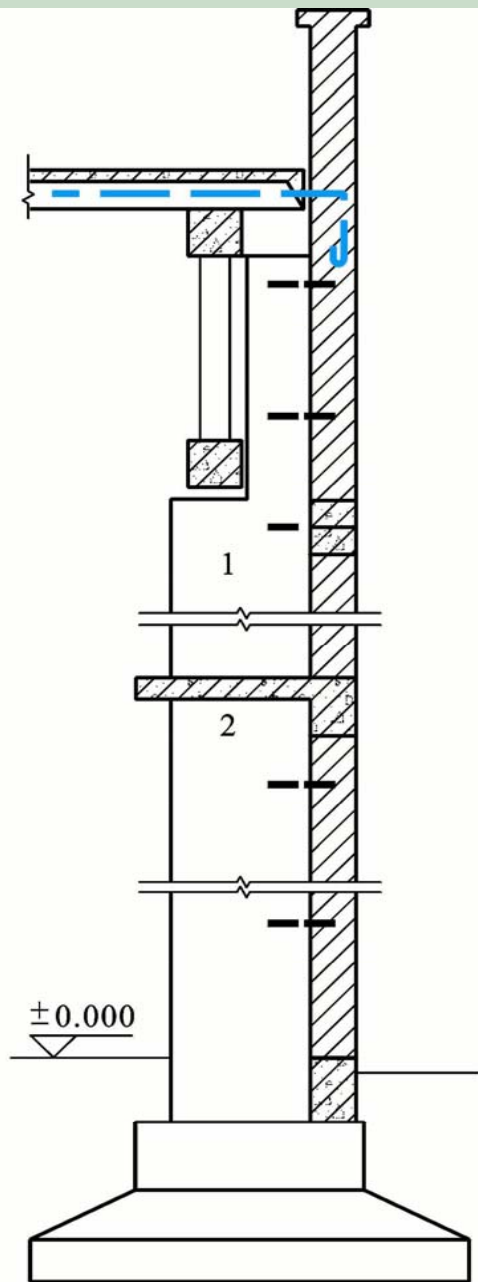
厂房的**围护结构**包括：屋面板、墙体、抗风柱、圈梁、连系梁、过梁、基础梁等构件。

1. 抗风柱

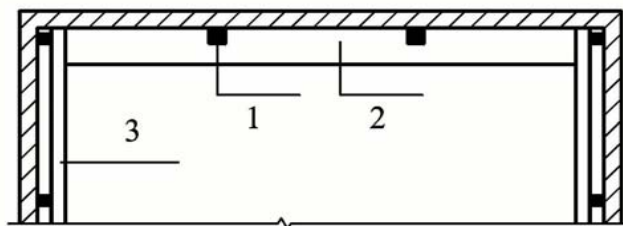
抗风柱与屋架相连必须满足两个条件：

- 水平方向可靠连接
- 垂直方向允许有一定的相对位移

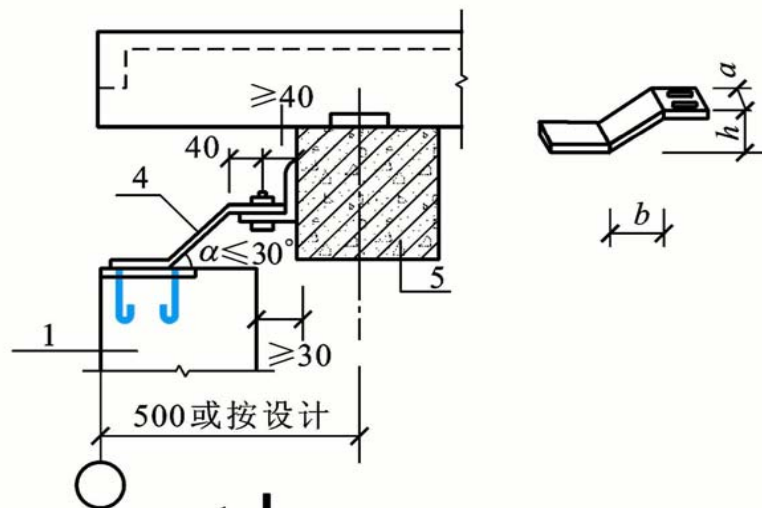




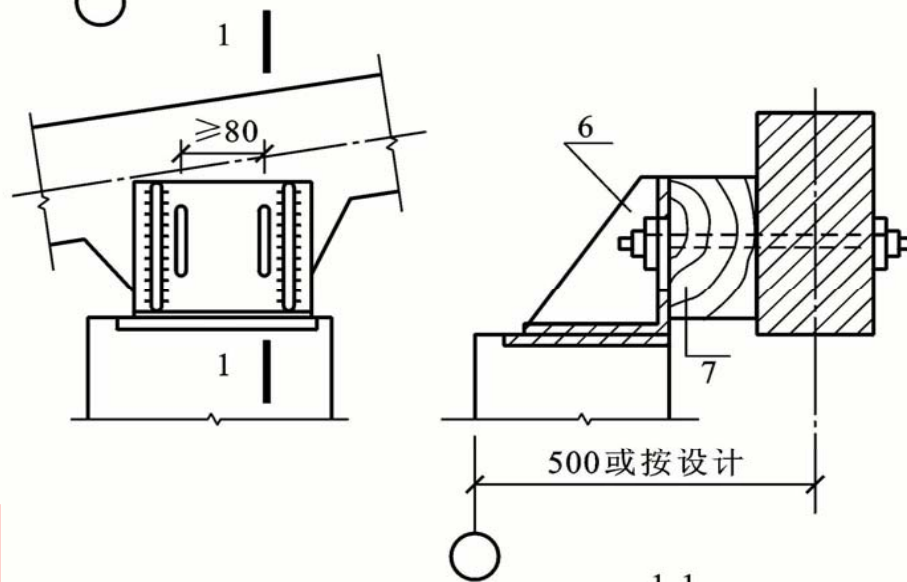
(a)



(b)



(c)



抗风柱及其连接



2. 圈梁、连系梁、过梁和基础梁的布置

- ❖ 圈梁：加强厂房的整体刚度，以防止地基不均匀沉降对建筑物的危害。
- ❖ 连系梁：连系纵向柱列，以增强厂房的纵向刚度，传递风荷载。
- ❖ 过梁：在砌体中(围护结构)承担洞口上的荷载。
- ❖ 基础梁：承受围护墙体的重量。梁底部距土的表面预留100mm左右的间隙，使梁可以随柱基础一起沉降。



§ 2.4 结构选型和截面尺寸确定

2.4.1 屋盖结构构件

1. 屋面板

无檩：大型屋面板(1.5m×6.0m)，F型屋面板、单肋板、空心板。

有檩：檩条、小型屋面板（槽瓦、波形大瓦等）

2. 檩条

檩条搁置在屋架上，支承小型屋面板并将屋面荷载传给屋架。

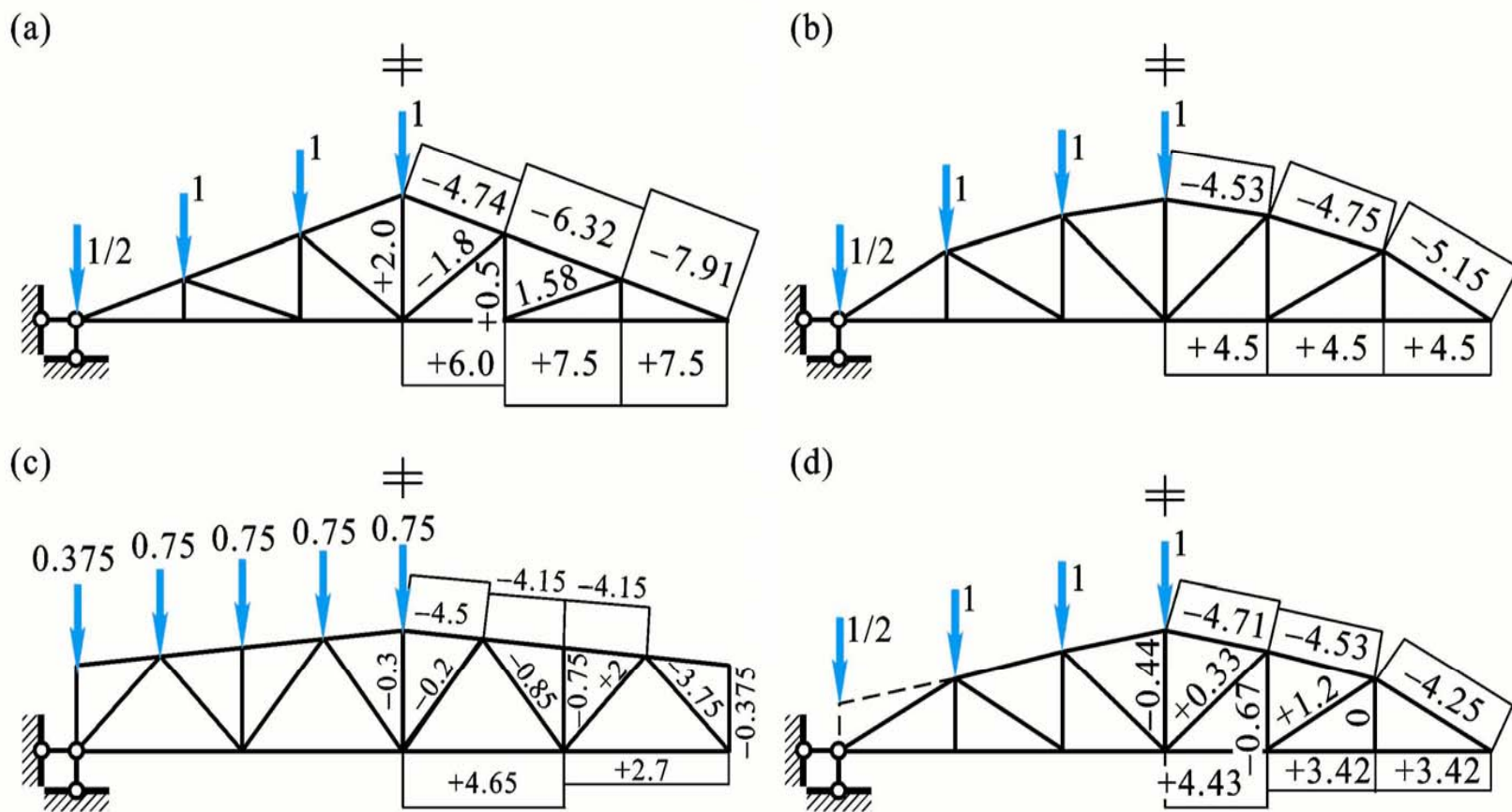




3. 屋架

由跨度、高度、排水坡度确定。

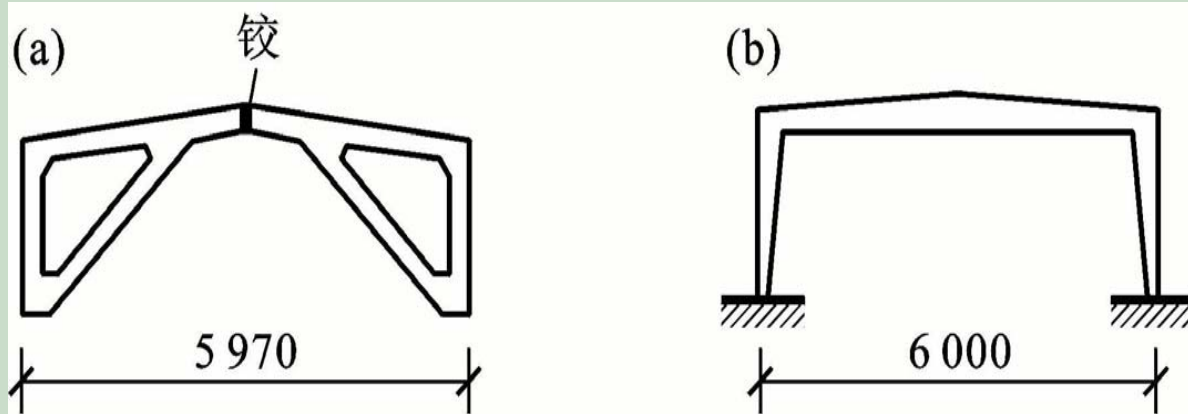
形式：三角形、拱形、梯形、折线形等。



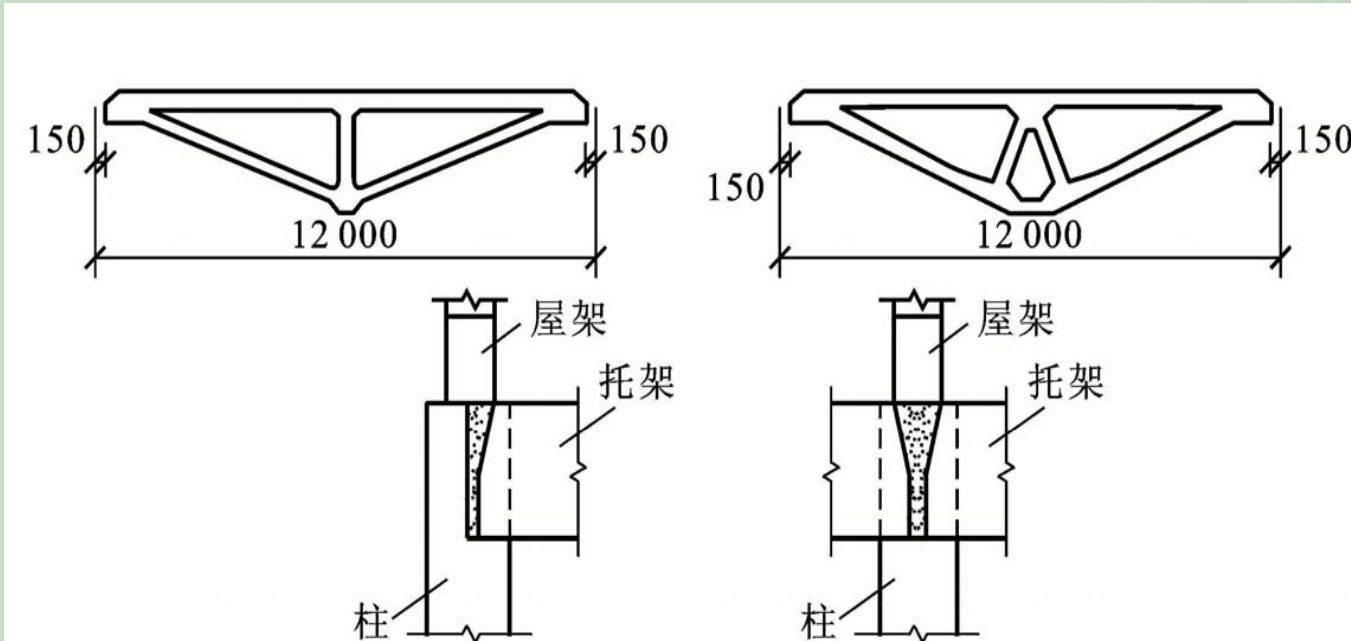
各种形式的屋架



4. 天窗架和托架



天窗架

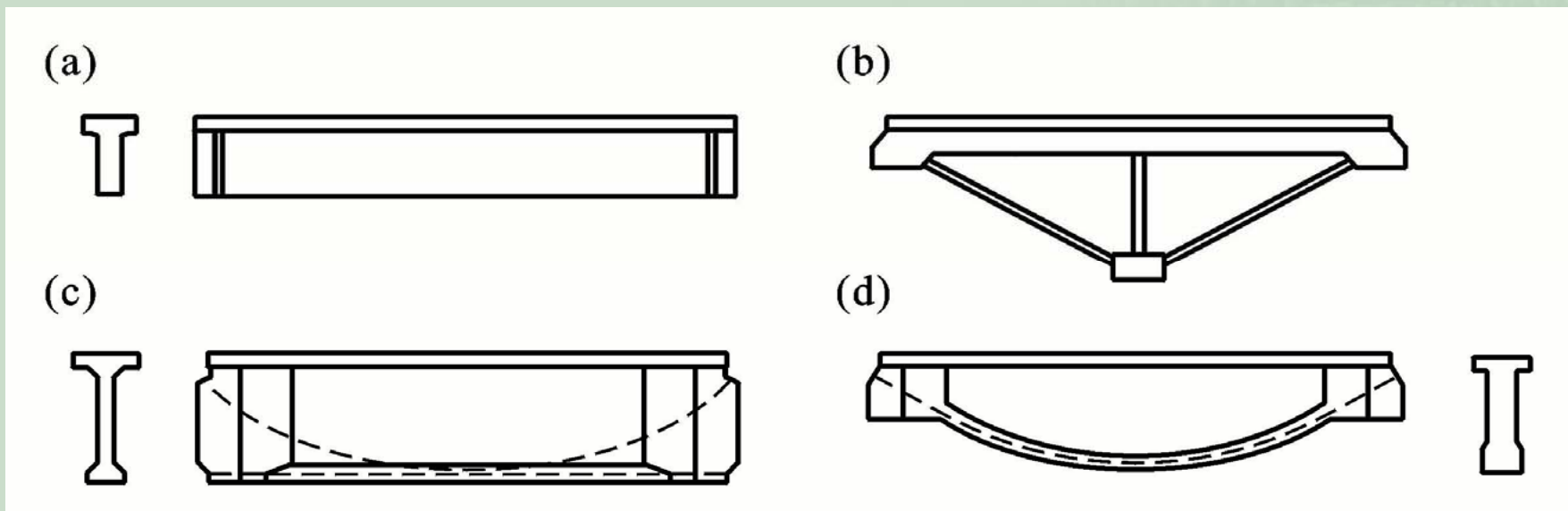


托架



2.4.2 吊车梁

吊车梁直接承受吊车起重、运行和制动时产生的各种往复荷载；传递厂房的纵向荷载、保证厂房的纵向刚度。

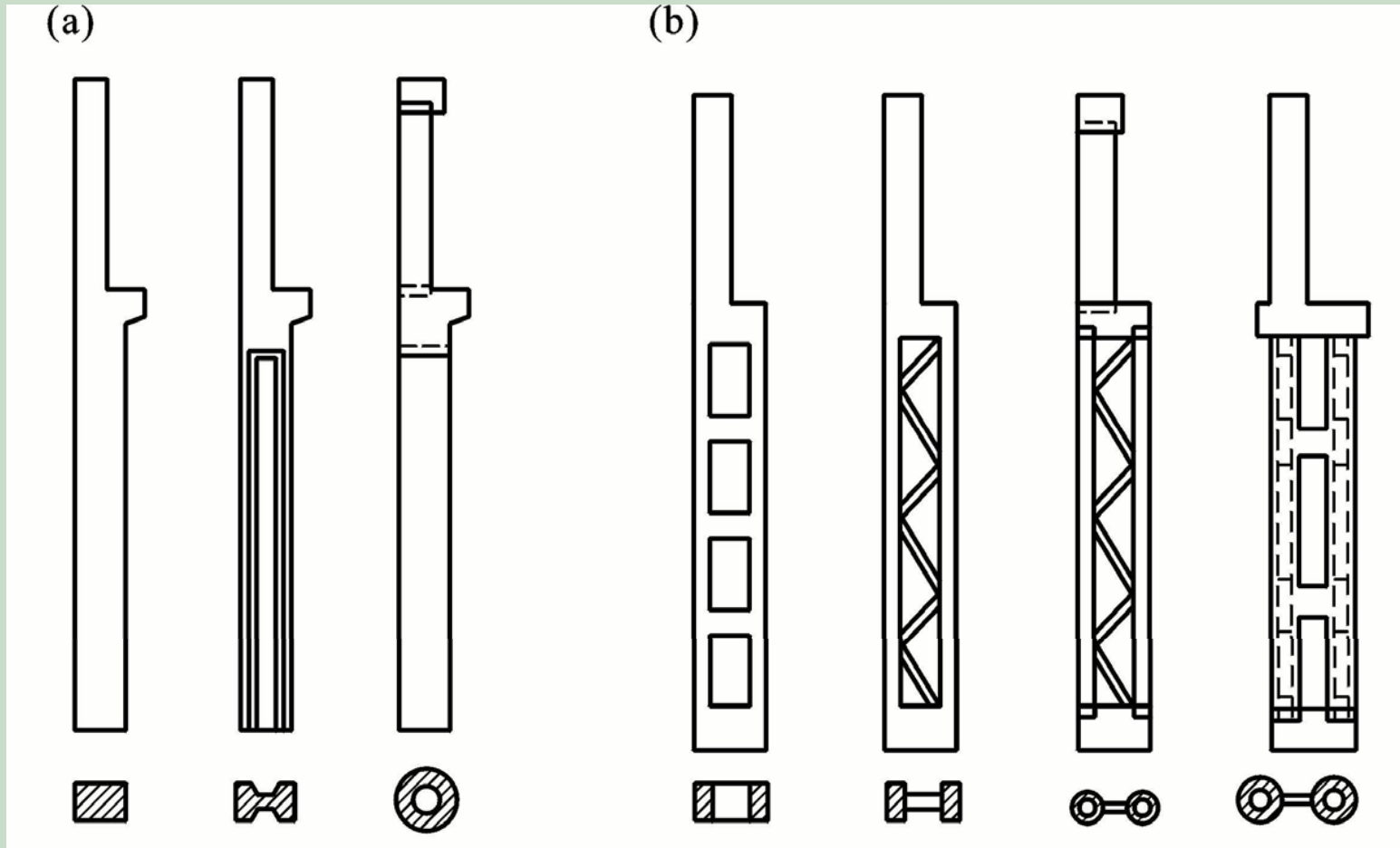


吊车梁的类型



2.4.3 柱

1. 柱的形式 矩形、工字形、双肢柱。



柱的形式



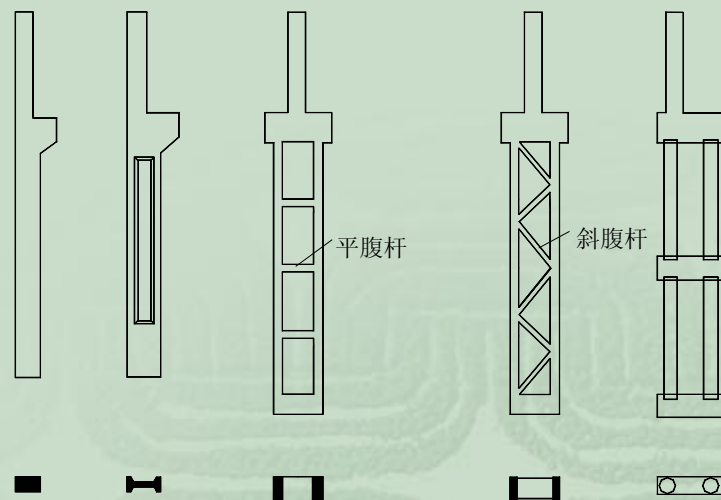
1. 柱的形式

$h \leq 600mm$ 宜用矩形柱；

$h = 600 \sim 800mm$ 工字形或矩形柱；

$h = 900 \sim 1400mm$ 宜用工字形柱；

$h > 1400mm$ 宜用双肢柱。



2. 柱的截面尺寸

设计柱子的截面尺寸时不仅考虑承载力，还需考虑厂房柱的刚度要求。（表2.4.2）

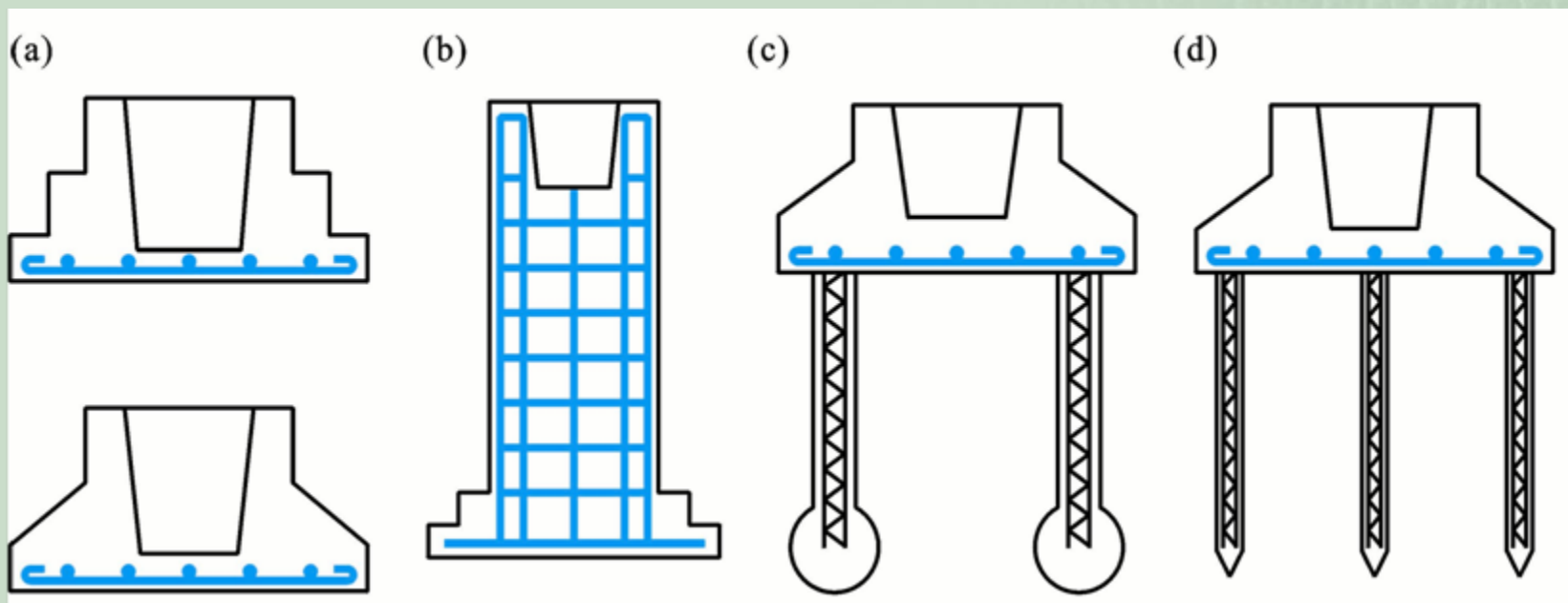




2.4.4 基础

1. 基础的类型

单层厂房一般采用预制柱下基础，其主要形式有：
杯形基础（分梯形和锥形）、高杯基础、爆扩桩基础和
预制桩基础。

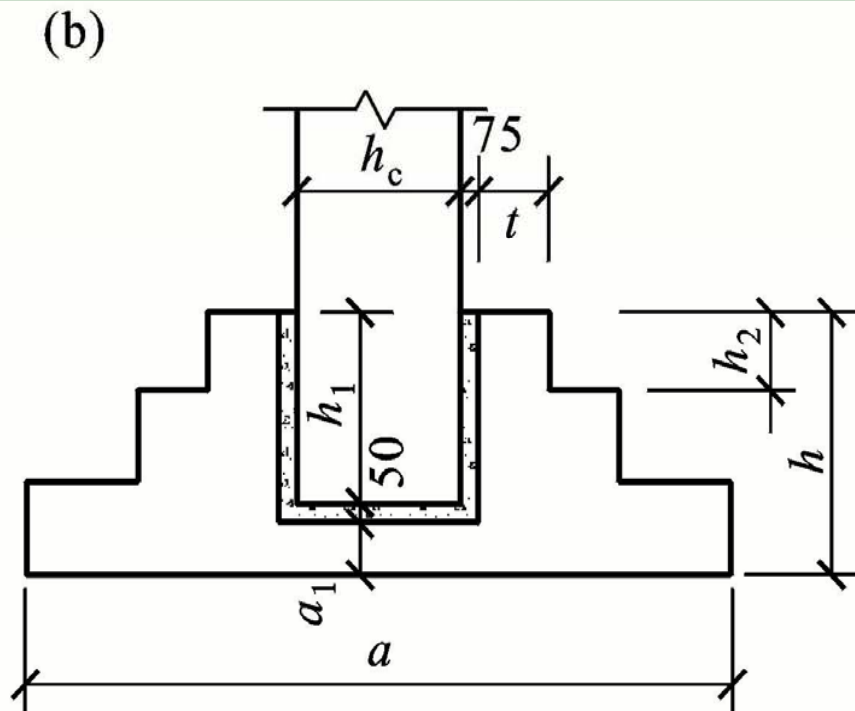
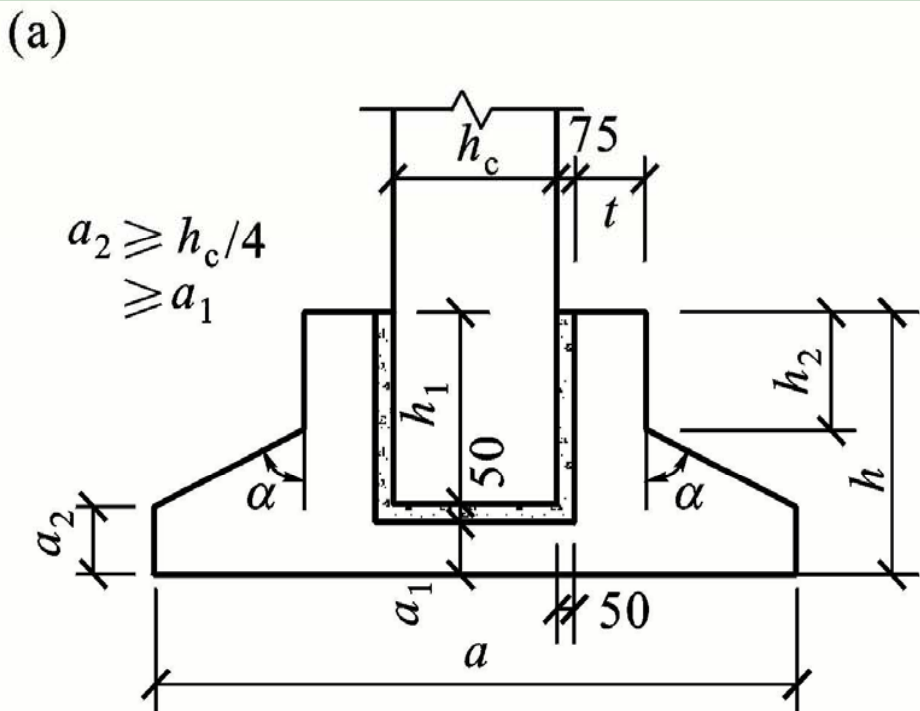


基础类型



2. 基础尺寸的初步拟定

基础底面尺寸根据基底反力和地基承载力由计算确定。基础高度和外形尺寸可根据工程经验确定。



❖ 锥形基础边缘高度一般取 $a_2 \geq 200\text{mm}$, 且 $a_2 \geq a_1$ 和 $a_2 \geq h_c/4$, 一般取 $\tan \alpha = 3.0 \sim 4.0$ 。



§ 2.5 排架结构内力分析

目的：确定柱和基础的内力。

内容：确定计算简图、荷载计算、内力分析和内力组合。

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**。

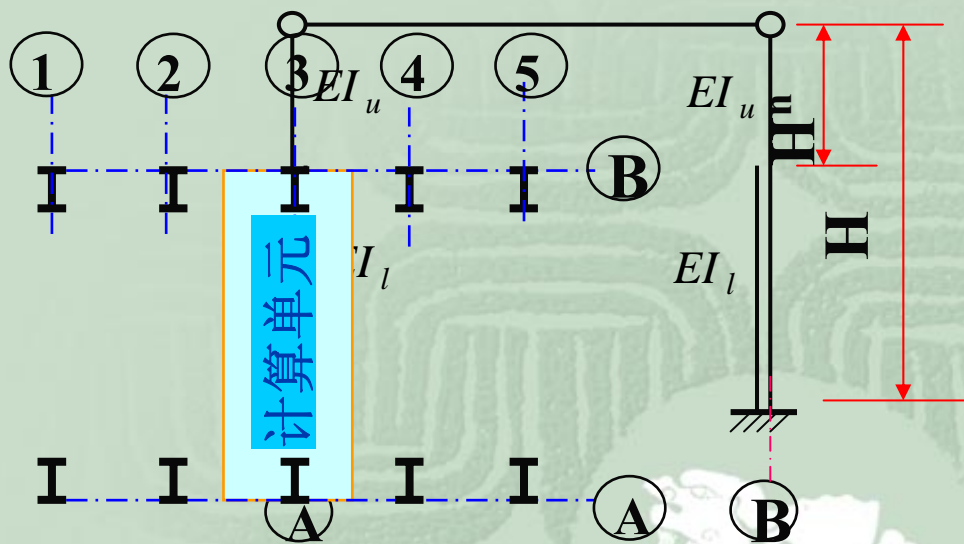




2.5.1 排架计算简图

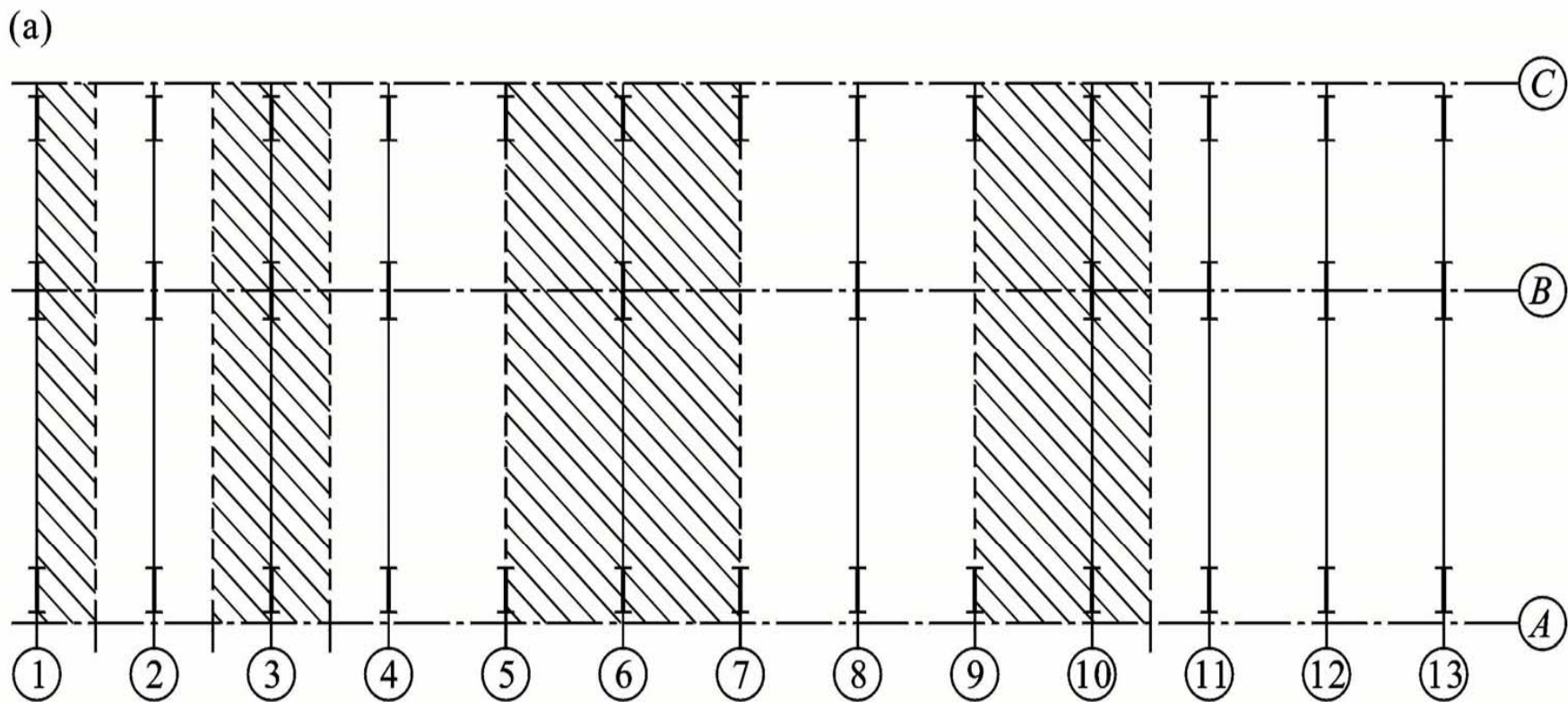
1. 计算单元

按平面结构计算，根据结构布置和受力状况，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。



计算简图

{ 柱子下端固接于基础顶面，横梁与柱铰接；
 横梁为没有轴向变形的刚杆。



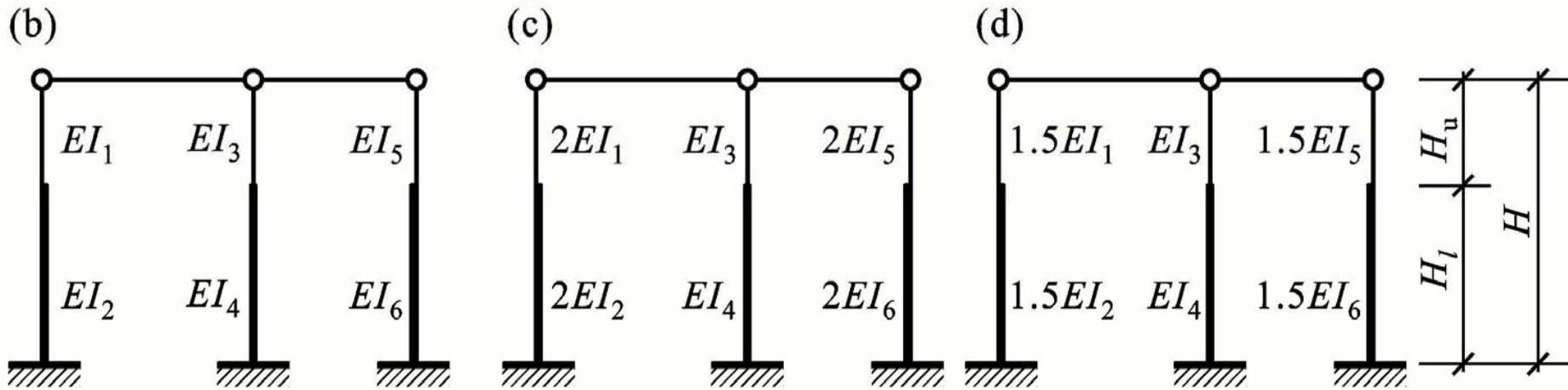
计算单元的选取



2. 基本假定和计算简图

- ❖ 屋架水平刚度无穷大;
- ❖ 屋架与柱上端铰接;
- ❖ 柱与基础刚接。

- ❖ 排架柱的高度: 基础顶面至柱顶
- ❖ 排架的跨度以厂房的轴线为准。



③轴线的计算简图

⑥轴线的计算简图

⑩轴线的计算简图

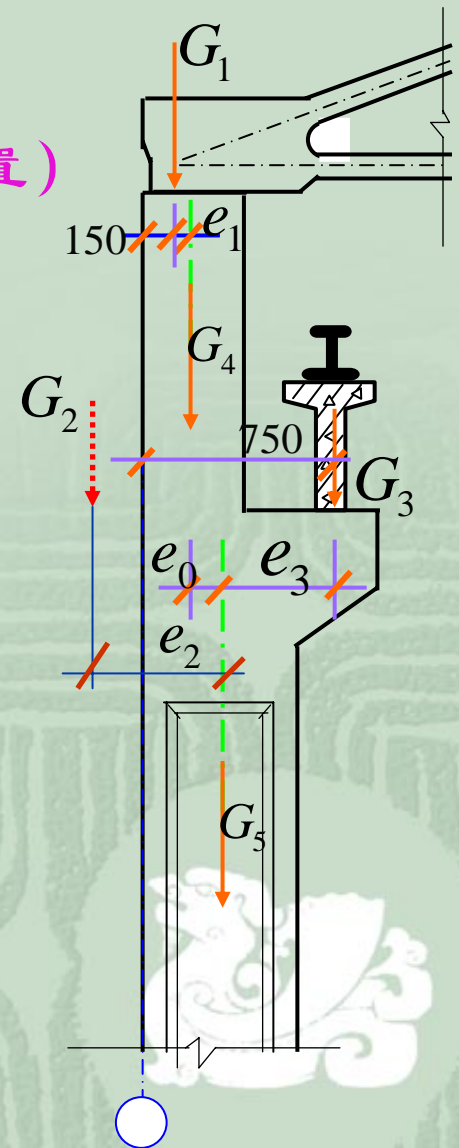
计算简图



2.5.2 排架上的荷载

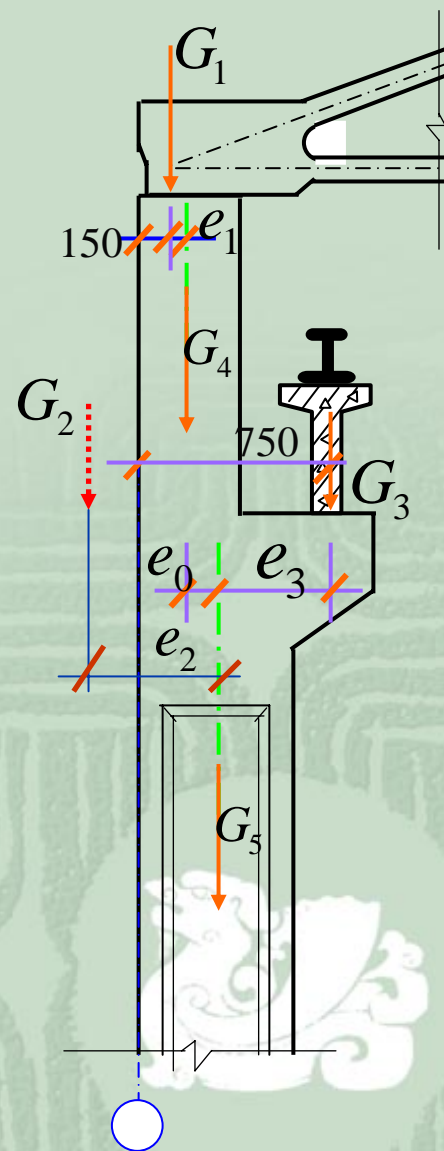
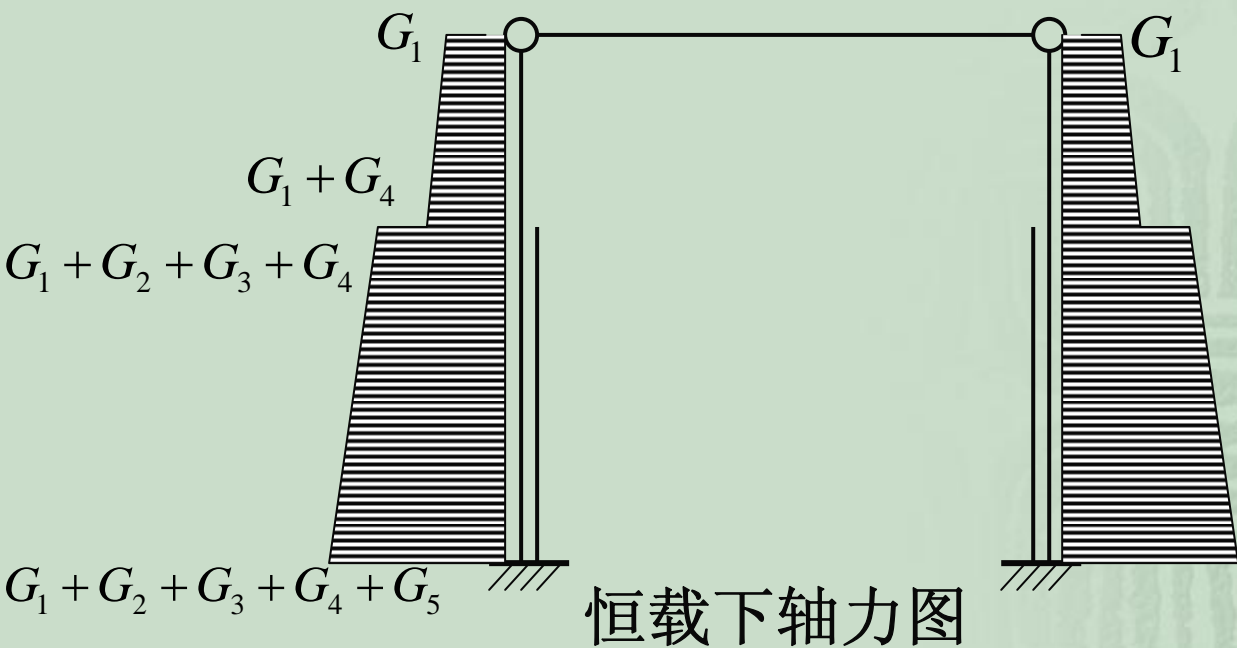
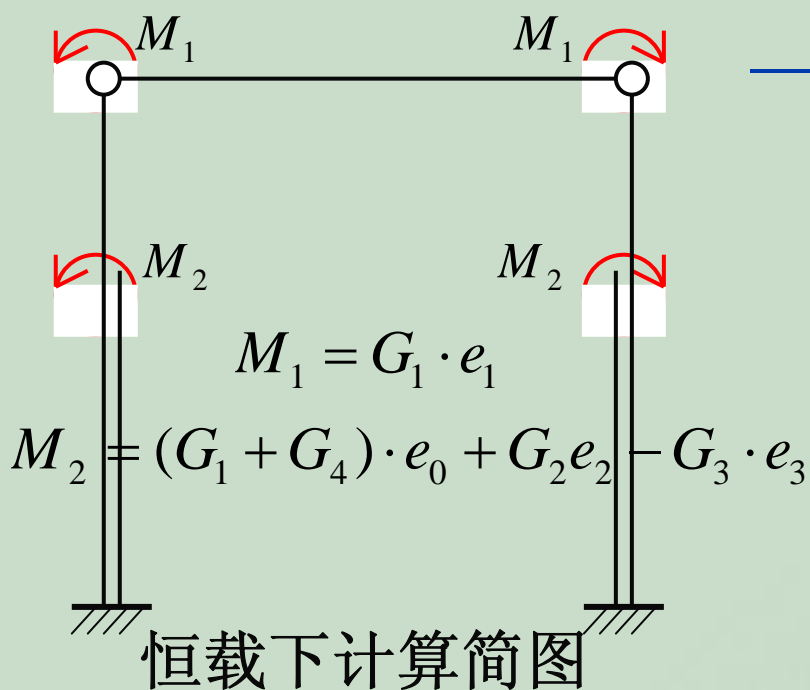
1. 恒载 (由材料重度计算, 注意作用位置)

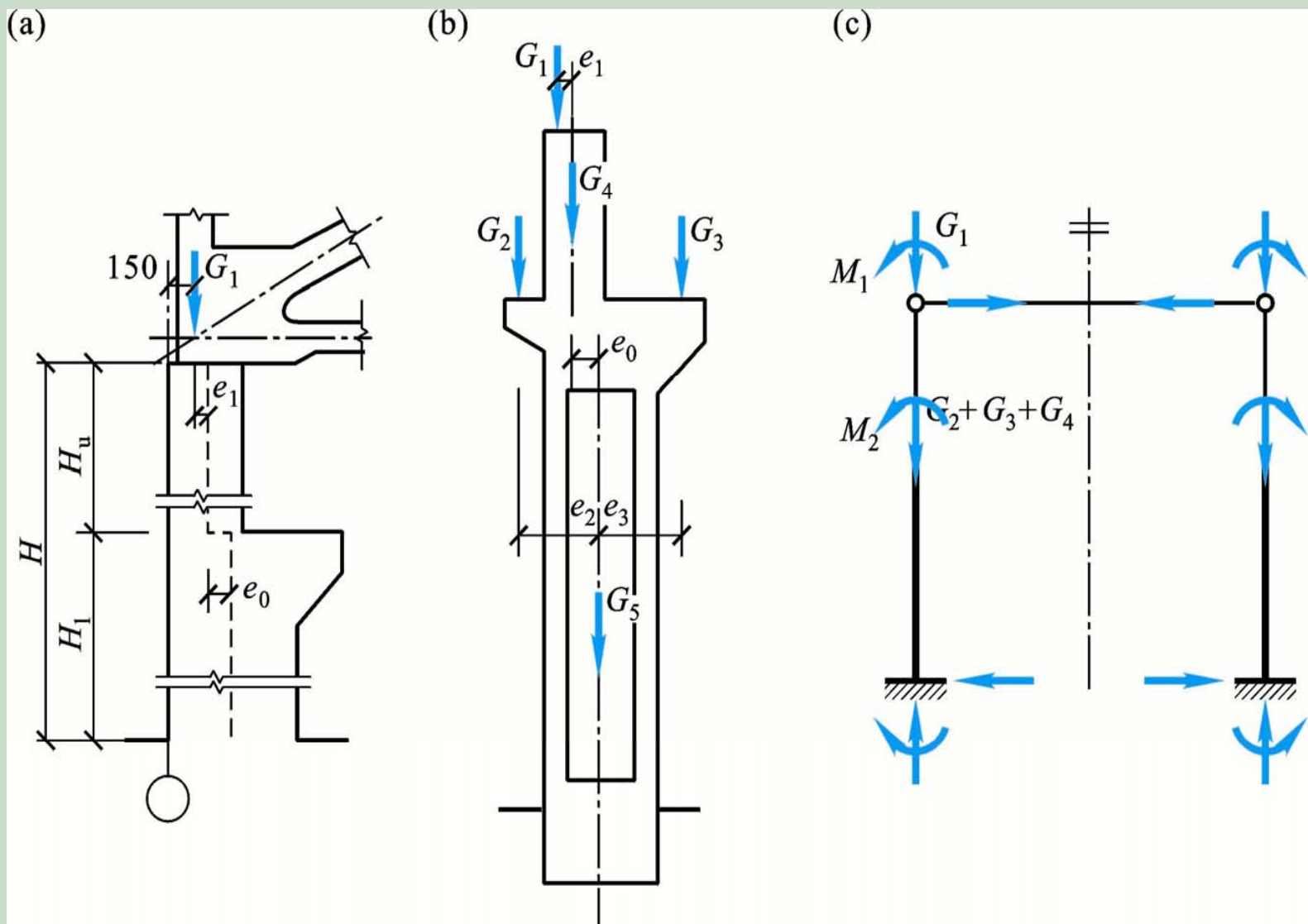
- ❖ 屋盖恒载 G_1
- ❖ 悬墙自重重力荷载 G_2
- ❖ 吊车梁和轨道及连接件的重力荷载 G_3
- ❖ 柱自重重力荷载 G_4 (G_5)





1. 恒载





恒载作用位置及相应的计算简图



2. 屋面活荷载

❖ 屋面均布活荷载 不上人屋面取 0.5 kN/m^2 ，上人屋面取 2.0 kN/m^2 。

❖ 屋面雪荷载 $S_k = \mu_r S_0$...2.5.1

其中， S_k ——屋面水平投影面上的雪荷载标准值，单位为 kN/m^2 。

S_0 ——基本雪压，单位为 kN/m^2 。

μ_r ——屋面积雪分布系数，当坡屋面坡度不大于 25° 时， $\mu_r = 1.0$ 。

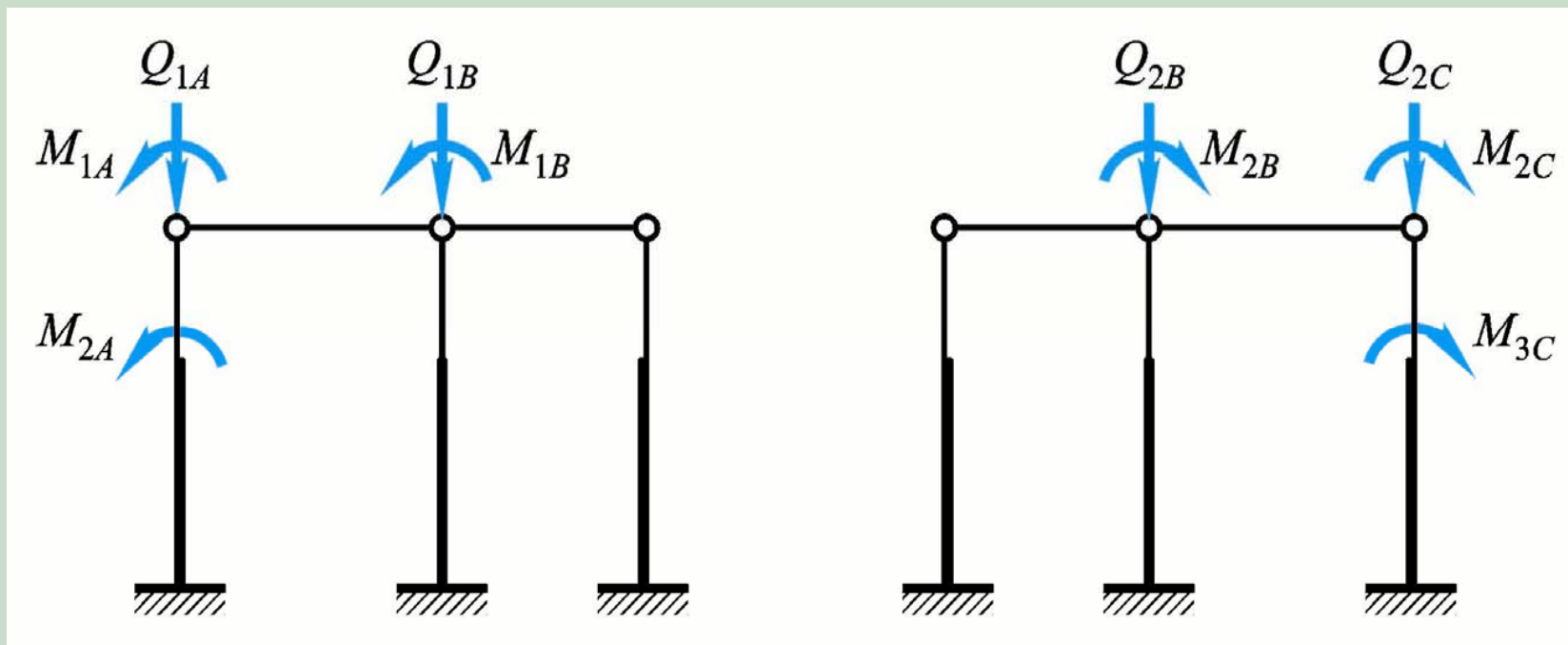
屋面均布活荷载与雪荷载不同时考虑。

❖ 屋面积灰荷载





❖ 屋面活荷载得作用位置与 G_1 相同

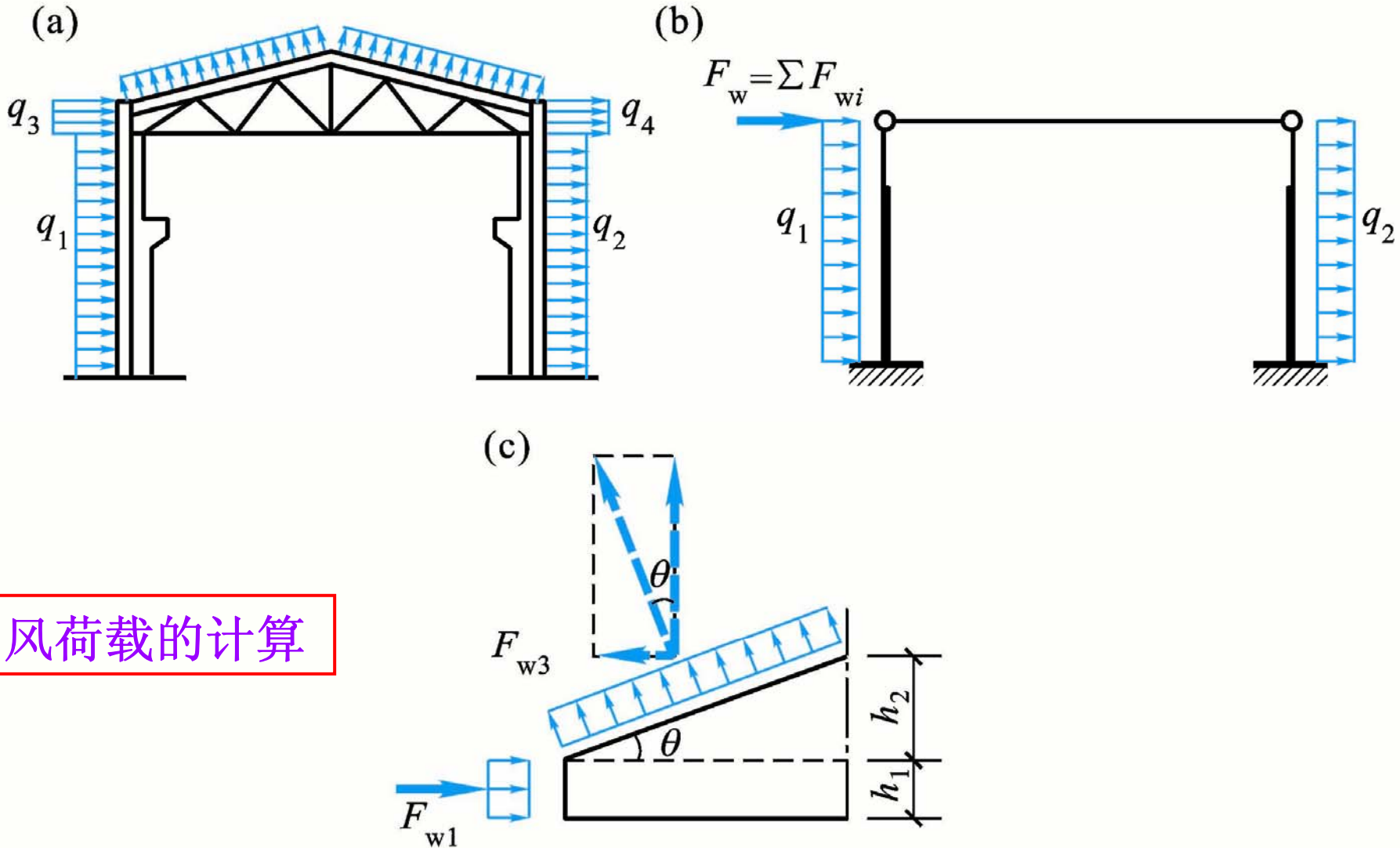


屋面活荷载作用下的排架计算简图





3. 风荷载



风荷载的计算



风荷载标准值:

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0$$

...2.5.2

其中, ω_k ——风荷载标准值, 单位为 kN/m^2 。

ω_0 ——**基本风压**, 单位为 kN/m^2 。

β_z ——高度 z 处的风振系数。由教材附表 5.3 查得。

μ_s ——风荷载体型系数, 由教材附表 5.3 查得。

μ_z ——风压高度变化系数, 由教材附表 5.1 查得。





风荷载标准值:

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0$$

...2.5.2

- w_0 —基本风压(kN/m^2), 不小于**0.3kN/m²**
- 基本风压: 以当地比较空旷平坦地面上离地**10**米高由统计所得的**50**年一遇**10**分钟内平均最大风速 v_0 为标准, 按公式:
$$w_0 = \frac{v_0^2}{1600}$$
- 风荷载高度变化系数, 根据地面粗糙程度查表选取。
A类: 近海、海面、海岛、海岸及沙漠地区;
B类: 田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区;
C类: 有密集建筑群的城市郊区;
D类: 有密集建筑群且房屋较高得城市市区。



❖ 墙面上均布风荷载:

$$q_{k1} = w_{k1} B = \mu_{s1} \mu_z w_0 B$$

$$q_{k2} = w_{k2} B = \mu_{s2} \mu_z w_0 B$$

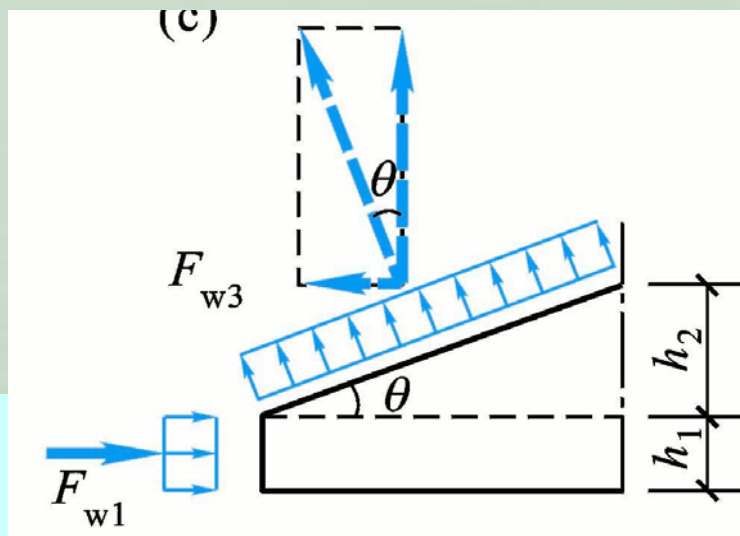
设计值:

$$q = \gamma_w q_k$$

❖ 柱顶水平集中荷载:

$$F_{kw} = \sum_{i=1}^n w_{ki} B l \sin \theta$$

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



设计值:

$$F_w = \gamma_w F_{wk}$$

$$\gamma_w = 1.4$$





4. 吊车荷载

吊车荷载与吊车工作频繁程度有关:

吊车工作制	频繁程度
轻级	运行时间占全部生产时间不足15%
中级	运行时间占全部生产时间在15-40%之间
重级	运行时间占全部生产时间超过40%

轻级——例：用于机器设备检修的吊车；（A1~ A3）

中级——例：机械加工、装配车间的吊车；（A4、A5）

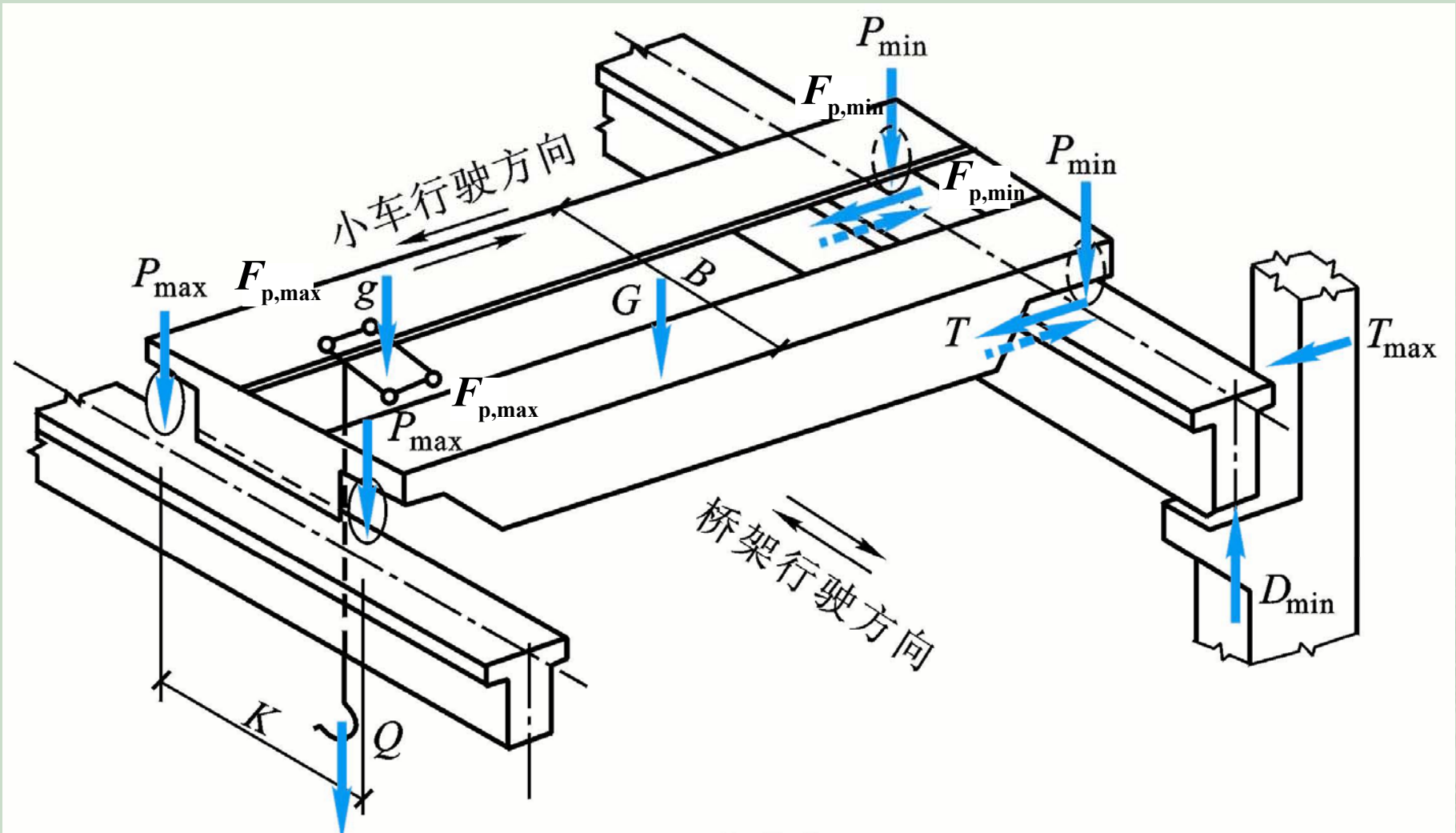
重级——例：冶炼车间的吊车。（A6、A7）

超重级——例：运行极为频繁的吊车。（A8）





4. 吊车荷载



吊车荷载示意图



❖ (1) 吊车竖向荷载标准值 D_{\max} 、 D_{\min}

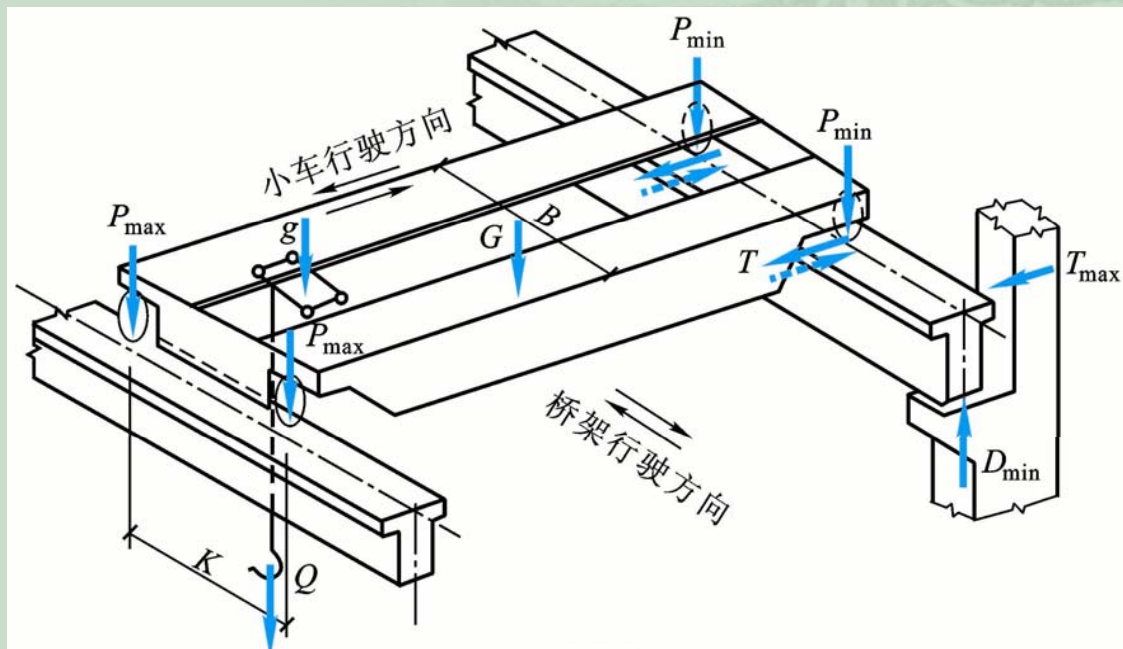
- 最大轮压 $F_{P,\max}$ 与最小轮压 $F_{P,\min}$
- 两者同时出现;
- 两者可以根据吊车型号、规格查表得到。

四轮吊车: $2(F_{p,\max} + F_{p,\min}) = G + Q + g$

G ——桥架重量(kN);

Q ——额定起重量(kN);

g ——小车重量(kN)。



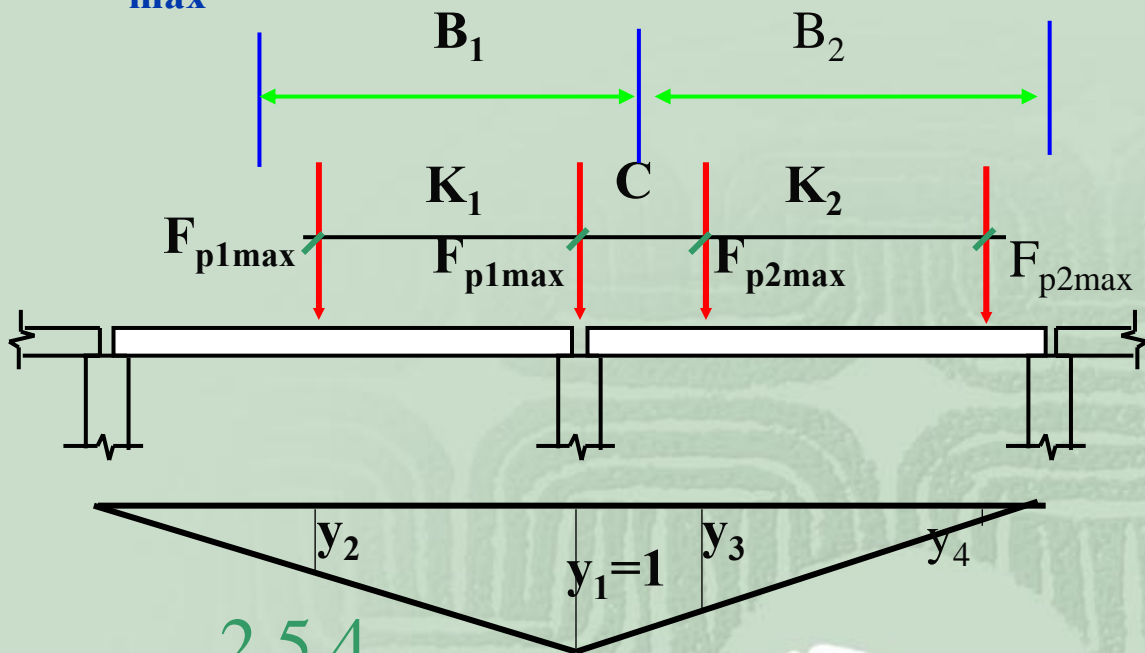


❖ (1) 吊车竖向荷载标准值 D_{\max} 、 D_{\min}

➤ 吊车是移动的，因而必须用吊车梁的支座竖向反力影响线来求支座最大反力 D_{\max} 。

B ——桥架宽度(mm);

K ——轮距(mm)。



$$D_{\max} = \sum F_{pi,max} y_i$$

$$D_{\min} = \sum F_{pi,min} y_i$$

...2.5.5



y_i ——与吊车轮压相对应的支座反力影响线的竖向坐标值。

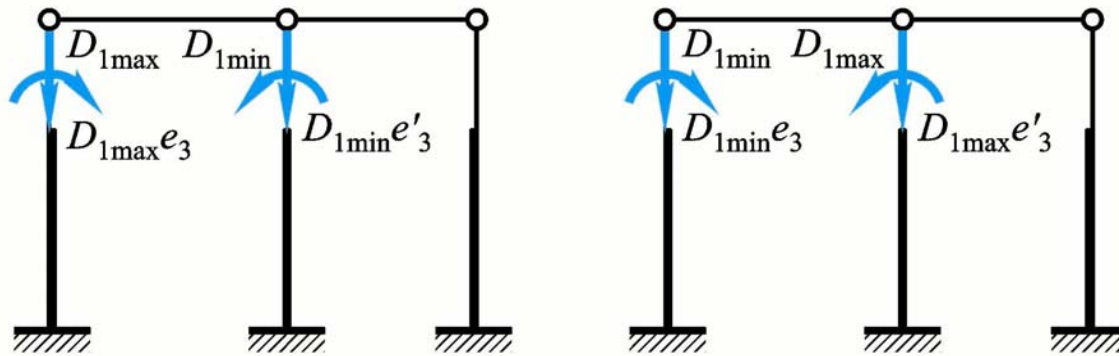


❖ (1) 吊车竖向荷载标准值 D_{\max} 、 D_{\min}

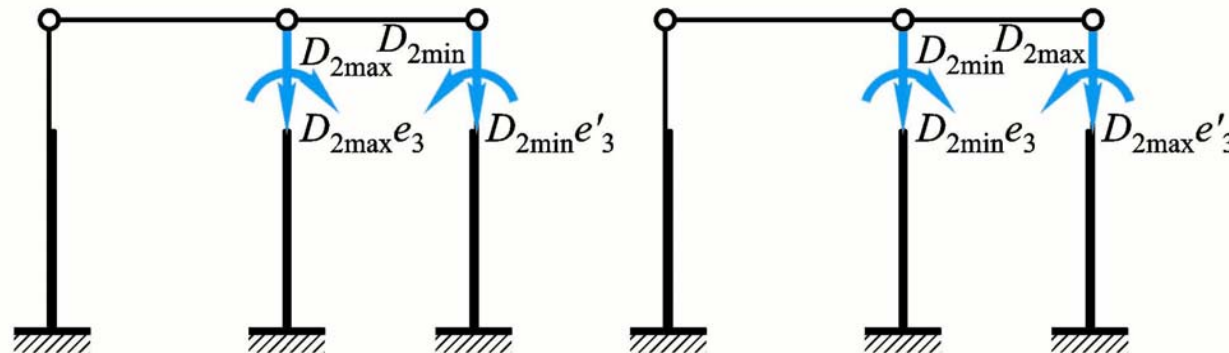
▶ 多台吊车参与组合的规定:

单跨厂房: 不宜多于两台

多跨厂房: 不宜多于四台



计算简图



• D_{\max} 、 D_{\min} 的作用位置 G_3 (吊车竖向恒载) 相同;

• D_{\max} 、 D_{\min} 产生的偏心力矩:

$$M_{\max} = D_{\max} \cdot e_3$$

$$M_{\min} = D_{\min} \cdot e_3$$



❖ (2) 吊车横向水平荷载 T_{\max}

- 小车吊有重物刹车时引起的惯性力 T_{\max} 作用在吊车的竖向轮压处，且同时作用于该吊车的两侧柱上，可近似按两侧平均分配计算。

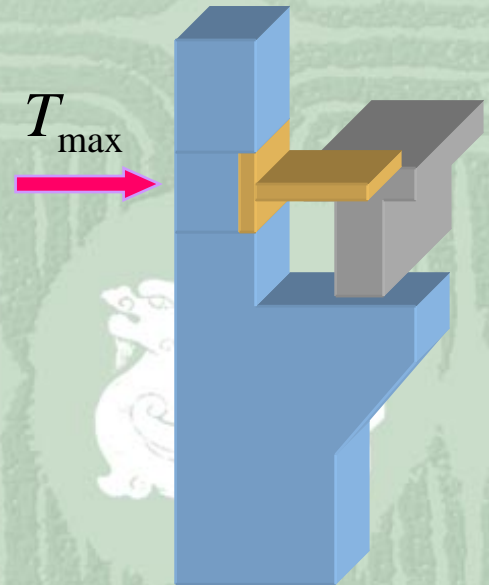
传力过程：小车惯性力 \longrightarrow 大车 \longrightarrow 吊车梁 \longrightarrow 排架柱

作用位置：吊车梁顶面 作用方向：垂直轨道

- 四轮桥式吊车，每个轮子上的横向水平制动力：

$$T = \frac{1}{4} \alpha (Q + g)$$

...2.5.6



❖ (2) 吊车横向水平荷载 T_{\max}

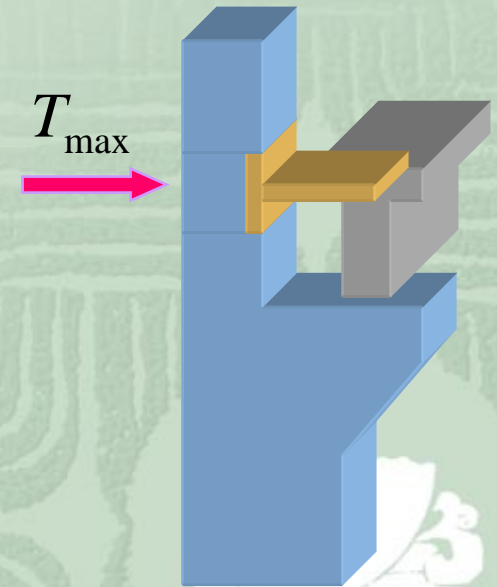
$$T = \frac{1}{4} \alpha (Q + g)$$

...2.5.6

 α —— 横向制动系数。

软钩	0.12	$Q \leq 100kN$
	0.10	$160 \leq Q \leq 500kN$
	0.08	$Q \geq 750kn$

硬钩吊车：取0.2。

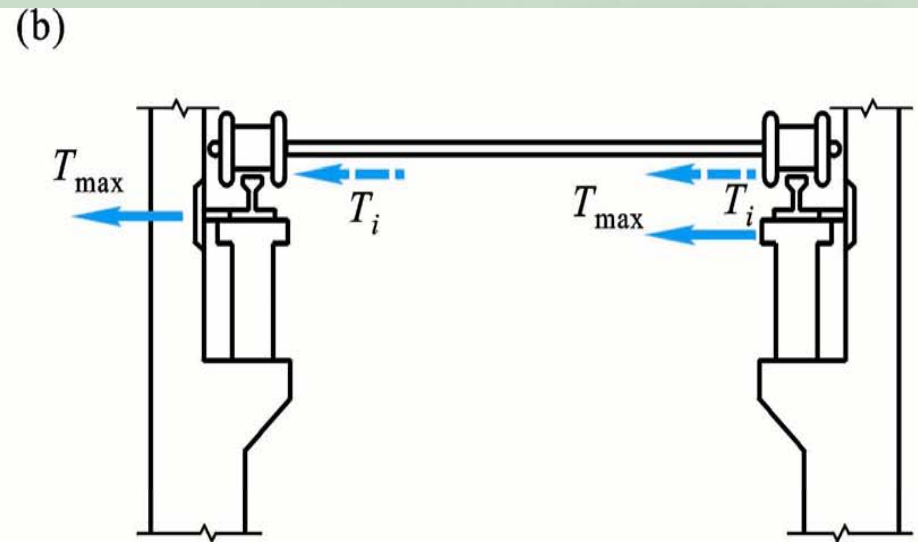
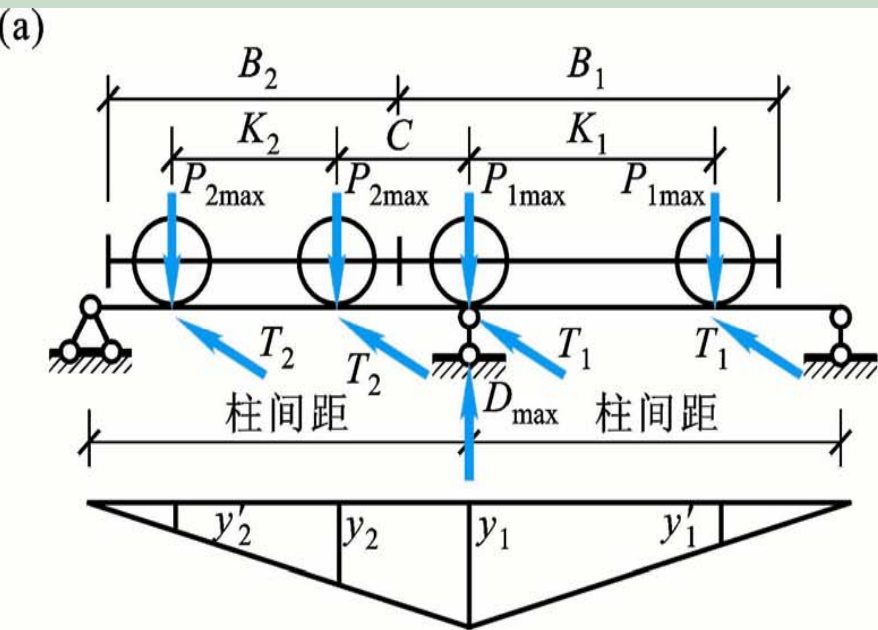




❖ (2) 吊车横向水平荷载 T_{\max}

同样，利用影响线可以确定柱子受到的水平力

$$T_{\max} = \sum T_i y_i \quad \text{如果吊车相同, } T_{\max} = D_{\max} \frac{T}{F_{P,\max}}$$



2.5.6

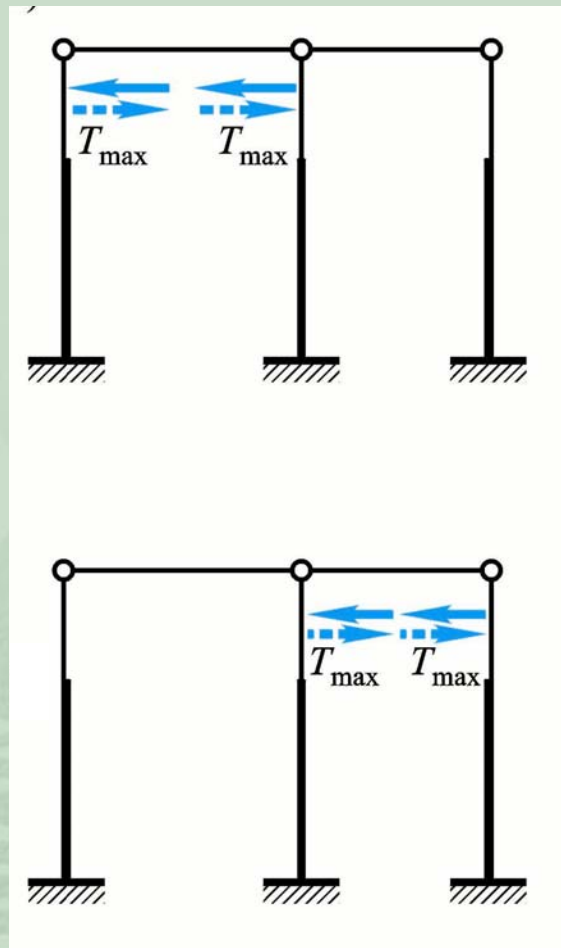
吊车竖向荷载和横向水平荷载



❖ (2) 吊车横向水平荷载 T_{\max}

➤ 多台吊车参与组合的规定：
单跨或多跨厂房，参与组合的
吊车台数**不应多于2台**。

➤ 吊车横向水平荷载应考虑向
左和向右两种情况。



计算简图



◆ 多台吊车的组合系数 β

2台	{	轻、中级	$\beta = 0.9$
		重、特重级	$\beta = 0.95$
3台	{	轻、中级	$\beta = 0.85$
		重、特重级	$\beta = 0.9$
4台	{	轻、中级	$\beta = 0.8$
		重、特重级	$\beta = 0.85$

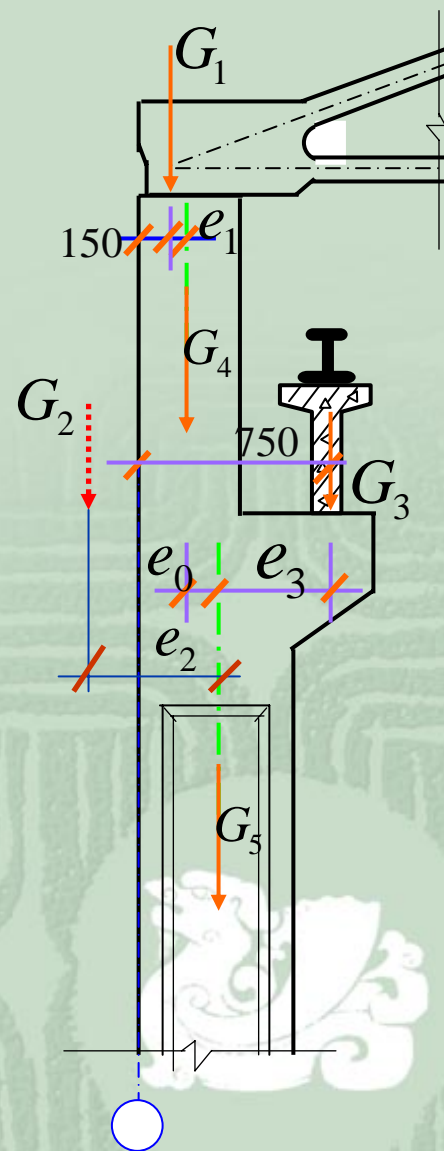
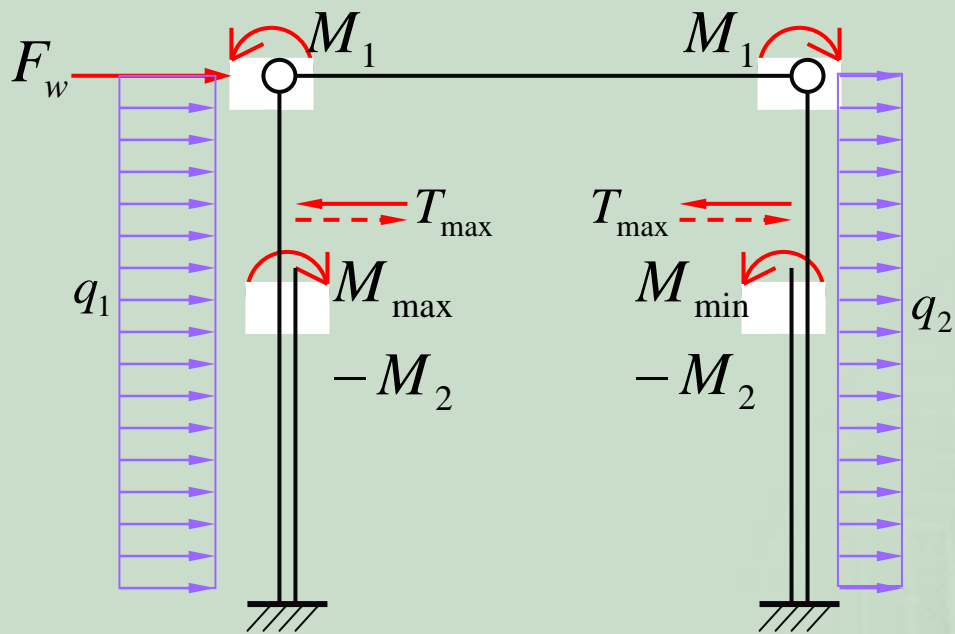
$$\left\{ \begin{aligned} D_{\max} &= \beta \sum F_{pi, \max} y_i \\ D_{\min} &= \beta \sum F_{pi, \min} y_i \\ T_{\max} &= \beta \sum T_i y_i \end{aligned} \right.$$

对于单层吊车厂房：水平荷载最多考虑2台；多跨时，竖向荷载最多考虑4台。





❖ 活载下计算简图



$$M_1 = Q_1 \cdot e_1 \quad M_2 = Q_1 \cdot e_0$$

$$M_{\max} = D_{\max} \cdot e_3$$

$$M_{\min} = D_{\min} \cdot e_3$$



❖ 吊车纵向水平荷载

——大车行驶中刹车引起的惯性力

- 作用位置：轨道顶面
- 作用方向：沿轨道方向
- 按一侧**所有制动轮**最大轮压之和的**10%**确定：

$$T_0 = nF_{p,\max} / 10$$

...2.5.8

- n —— 一侧轨道上所有**制动轮数之和**；
- 对一般四轮吊车， $n=1$ 。
- 多台吊车参与组合的规定：单跨或多跨厂房，**参与组合的吊车台数不应多于2台**。





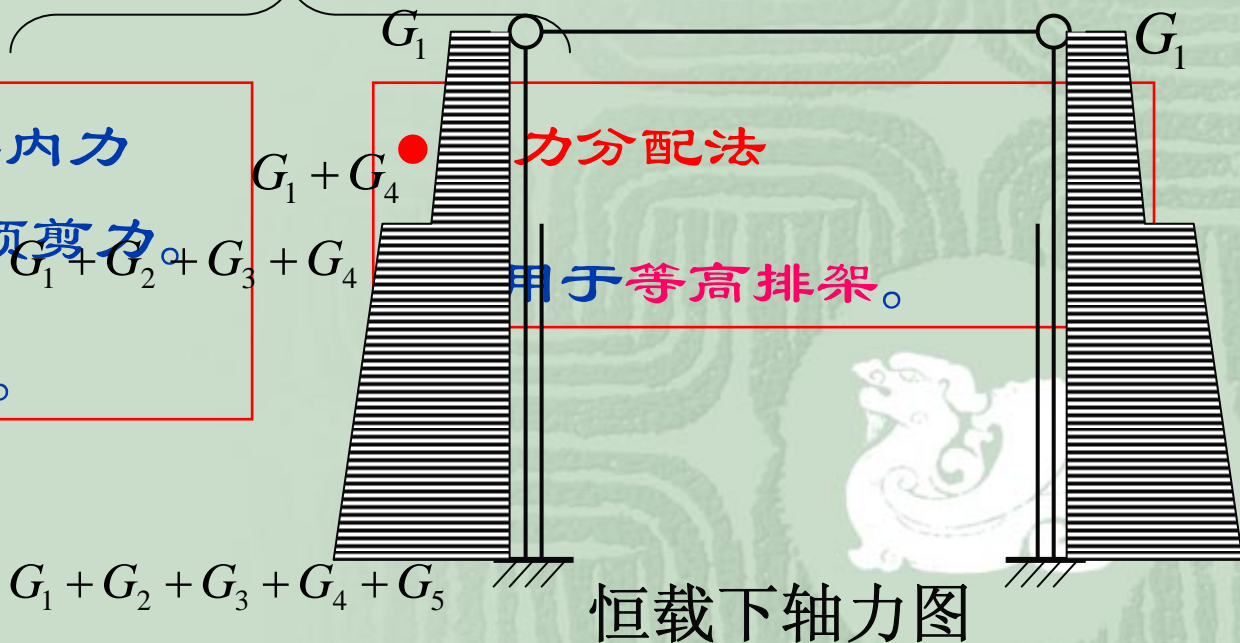
2.5.3 等高排架内力分析

排架内力

柱的轴力：竖向荷载由上向下传递，叠加法求解。

柱的弯矩和剪力：求排架柱顶剪力，在该剪力及原有荷载作用下按悬臂柱求解。

- 方法：先求横梁内力（轴力），再求柱顶剪力。
- 适用于各种排架。





❖ 1. 单阶一次超静定柱在任意荷载作用下的柱顶反力

● 柱的抗侧刚度

设悬臂柱顶作用一单位力发生的位移为 δ ,

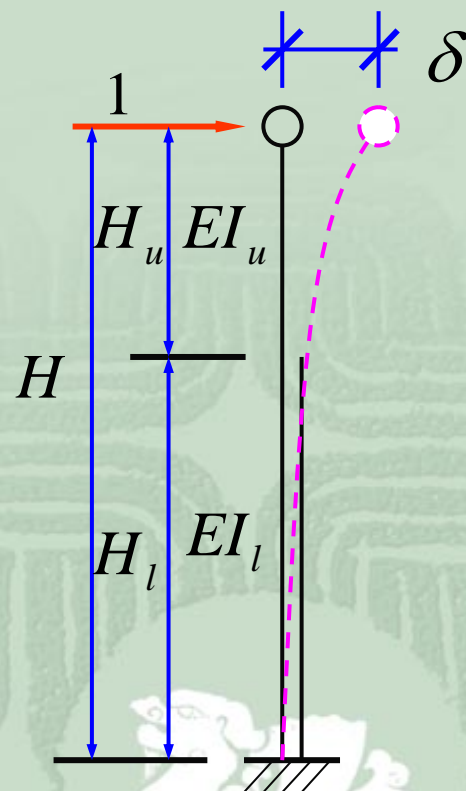
$1/\delta$ 代表柱顶发生单位侧向位移时柱内的剪力, 定义为柱的抗侧(推)刚度, 用D表示。

由结构力学方法可得:
$$\delta = \frac{H^3}{C_0 EI_l}$$

$C_0 = \frac{3}{1 + \lambda^3 (\frac{1}{n} - 1)}$ 与 $n = \frac{I_u}{I_l}$ 、 $\lambda = \frac{H_u}{H}$ 有关。

C_0 ——单阶变截面柱的柱顶位移系数。

$D = 1/\delta = \frac{C_0 EI_l}{H^3}$ ——柱的抗侧刚度





● 单阶一次超静定柱分析

例：某单阶变截面柱，在变截面处作用一力矩，求柱顶反力。

由结构力学方法（力法）可得： $R = \Delta_p / \delta$

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \frac{H^3}{C_0 EI_l} \\ \Delta_p &= (1 - \lambda^2) \frac{H^2}{2EI_l} M \end{aligned} \right\} R = C_M \frac{M}{H}$$

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{1 - \lambda^2}{1 + \lambda^3 \left(\frac{1}{n} - 1 \right)} \quad \text{与 } n = \frac{I_u}{I_l}, \lambda = \frac{H_u}{H} \text{ 有关。}$$

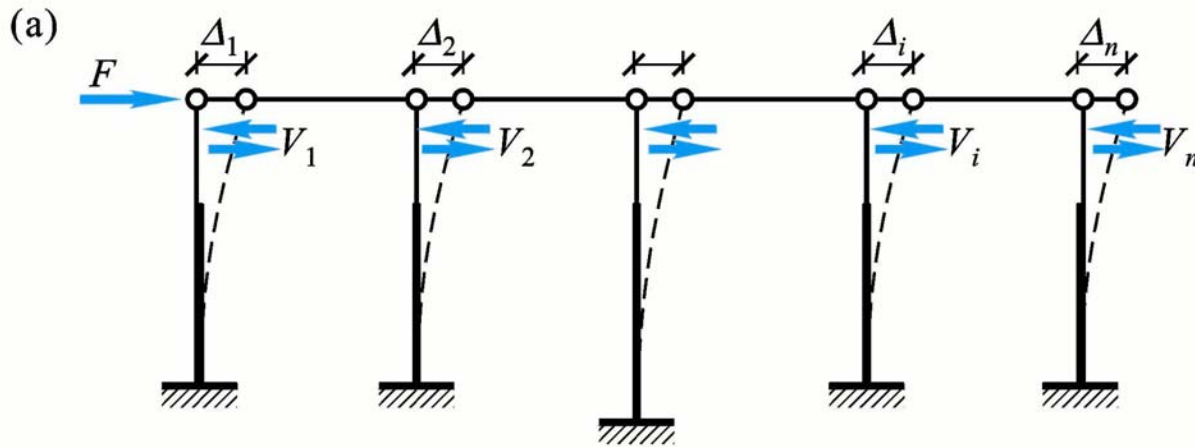
C_M ——单阶变截面柱在变阶处集中力矩作用下的柱顶反力系数。

□ 可用同样的方法得到单阶变截面柱在各种荷载作用下的柱顶反力系数。（表2.5.2）

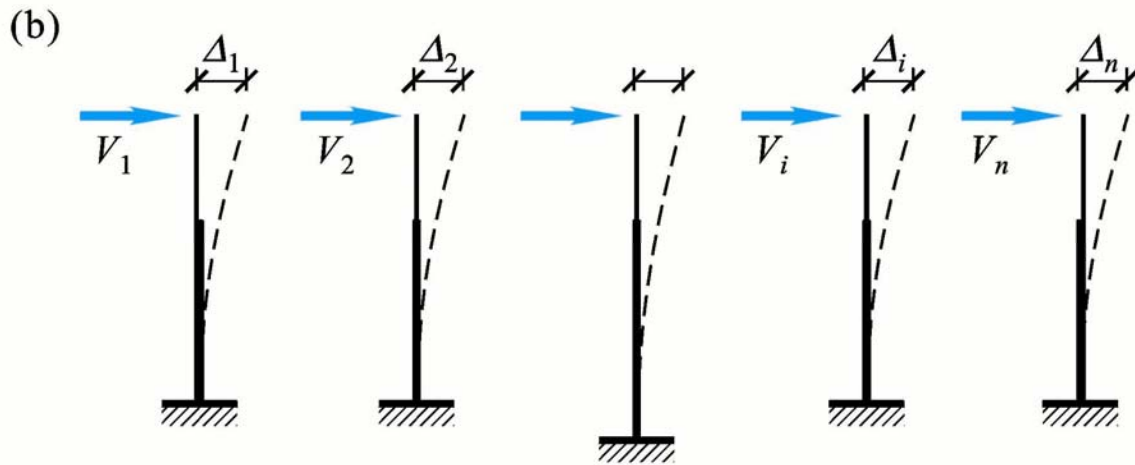


❖ 2. 柱顶水平集中力作用下 等高排架的内力分析

等高排架：柱顶标高相同或柱顶水平位移相等



$$\Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_n = \Delta$$





❖ 2. 柱顶水平集中力作用下 等高排架的内力分析

由平衡条件：
$$F = \sum_{i=1}^n V_i$$

由物理条件：
$$V_i = D_i \cdot \Delta_i$$

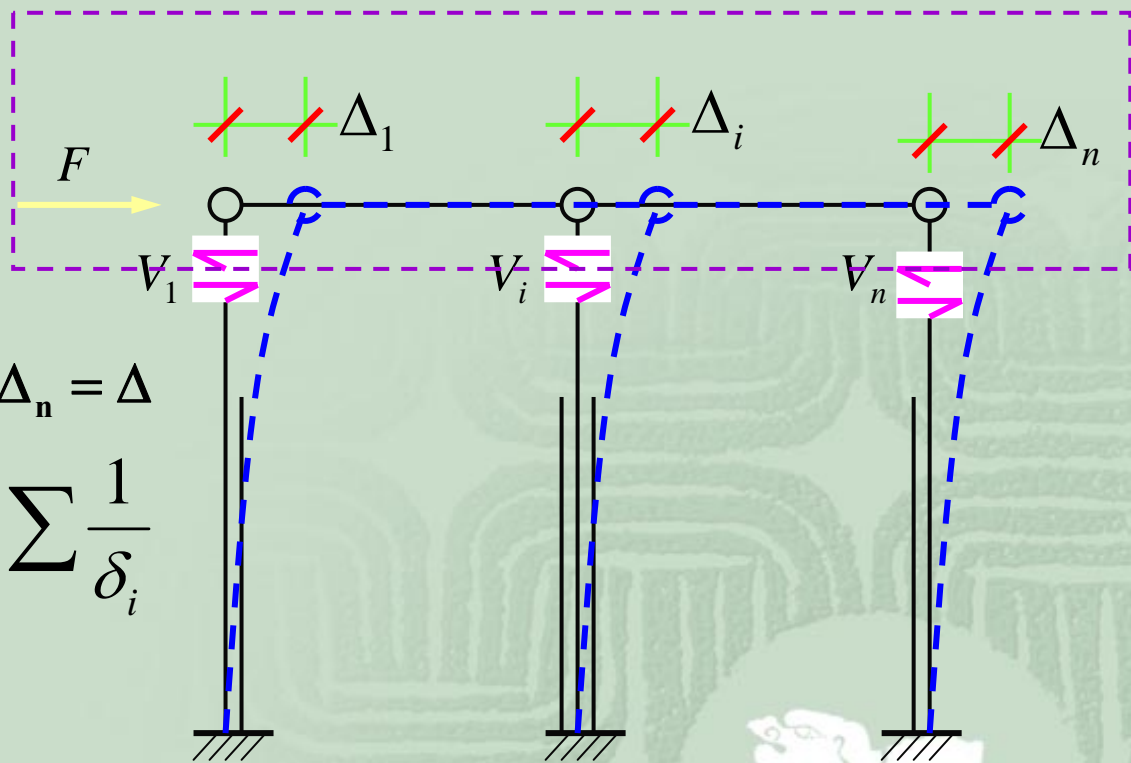
$$V_i = \frac{1}{\delta_i} \cdot \Delta_i \Rightarrow V_i \delta_i = \Delta_i$$

由变形条件：
$$\Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_n = \Delta$$

可求得：
$$F = \sum \frac{1}{\delta_i} \Delta_i = \Delta_i \sum \frac{1}{\delta_i}$$

$$\Delta_i = \frac{F}{\sum \frac{1}{\delta_i}}$$

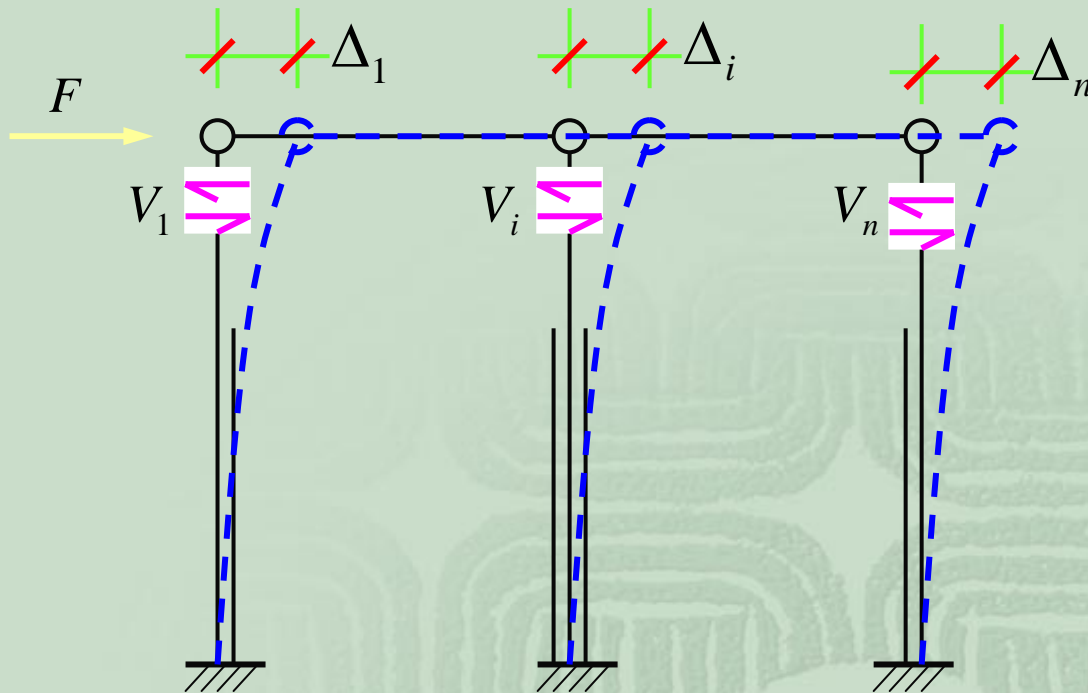
$$V_i = \frac{1}{\delta_i} \cdot \Delta_i \Rightarrow V_i = \frac{1}{\delta_i} \cdot \frac{F}{\sum 1/\delta_i} = \frac{1/\delta_i}{\sum 1/\delta_i} \cdot F$$





❖ 2. 柱顶水平集中力作用下 等高排架的内力分析

$$V_i = \frac{1/\delta_i}{\sum 1/\delta_i} \cdot F$$



$$\eta_i = \frac{1/\delta_i}{\sum_{j=1}^n 1/\delta_j} = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^n D_j}$$

$$V_i = \eta_i \cdot F$$

η_i ——称为第*i*根柱的剪力分配系数。

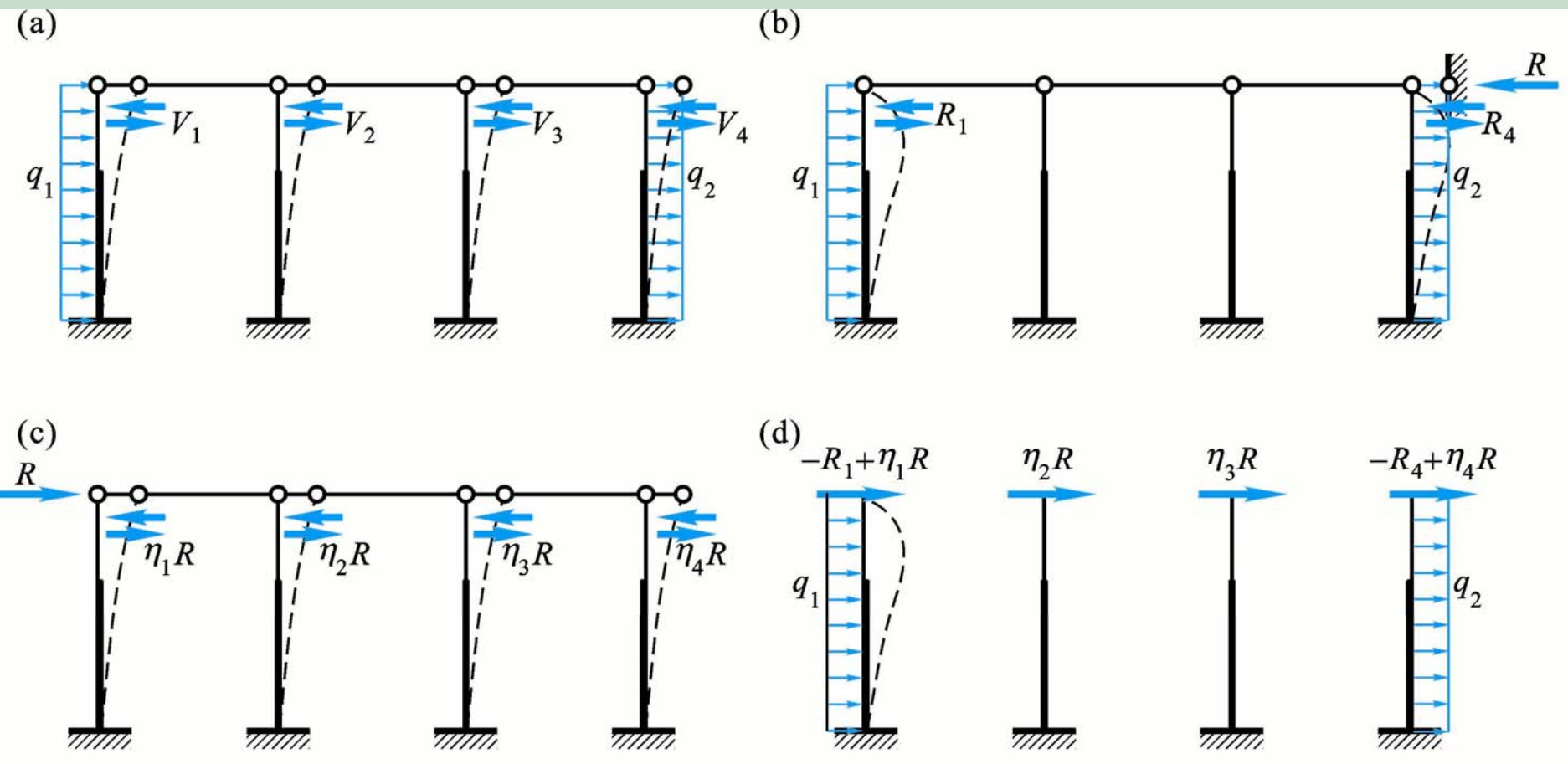
柱顶水平位移:

$$\Delta_i = F / \sum \frac{1}{\delta_i}$$

在柱顶集中力作用下，可直接用**剪力分配法**求解。



2. 任意荷载作用下等高排架的内力分析



任意荷载作用下等高排架的内力分析

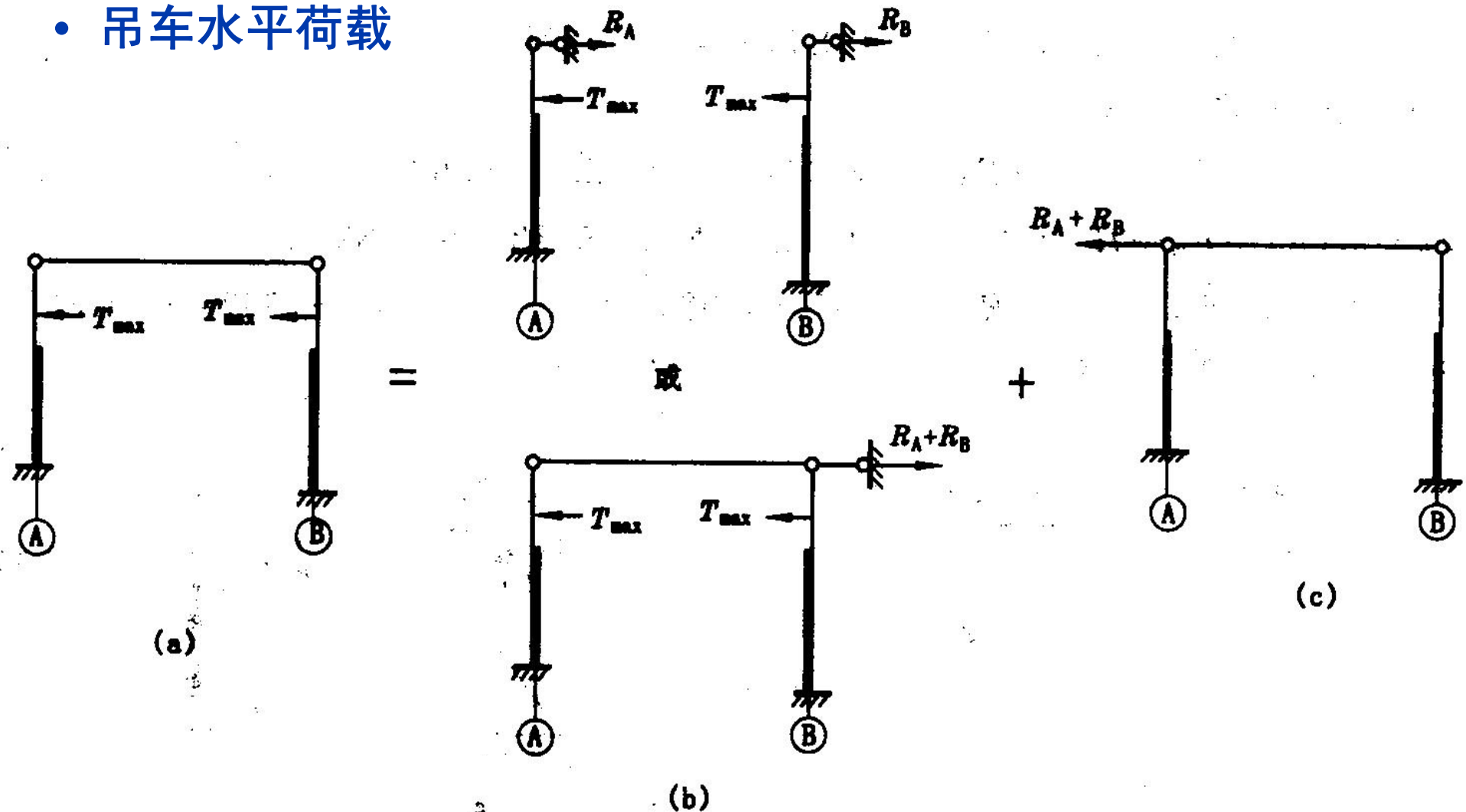


不能直接应用剪方法，但通过柱顶加铰支连杆可以
通过转换用剪力分配法求解。分三步走：

- ❖ 在排架柱顶附加一个不动铰支座，限制其水平侧移；此时排架变为多根一次超静定柱，利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，则柱顶假想的不动铰支座反力为 $R = \sum R_i$ ；
- ❖ 撤除不动铰支座，将 R 反向加于排架柱顶，用剪力分配法将其分配给各柱，求得柱顶分为 $\eta_i R$ ；
- ❖ 叠加上述计算结果，可得到排架在任意荷载作用下的柱顶剪力，至此，排架各柱（悬臂柱）的内力即可求解。

2. 任意荷载作用下等高排架的内力分析

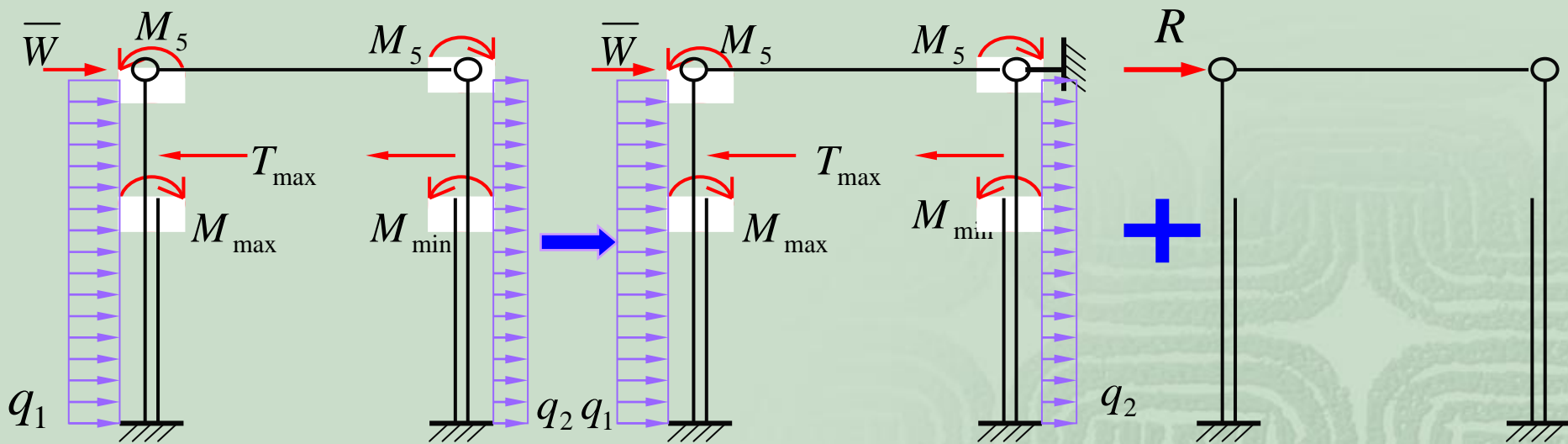
• 吊车水平荷载





2. 任意荷载作用下等高排架的内力分析

• 任意荷载作用



在柱顶加上不动铰支座，利用图表求出内力和支座反力；

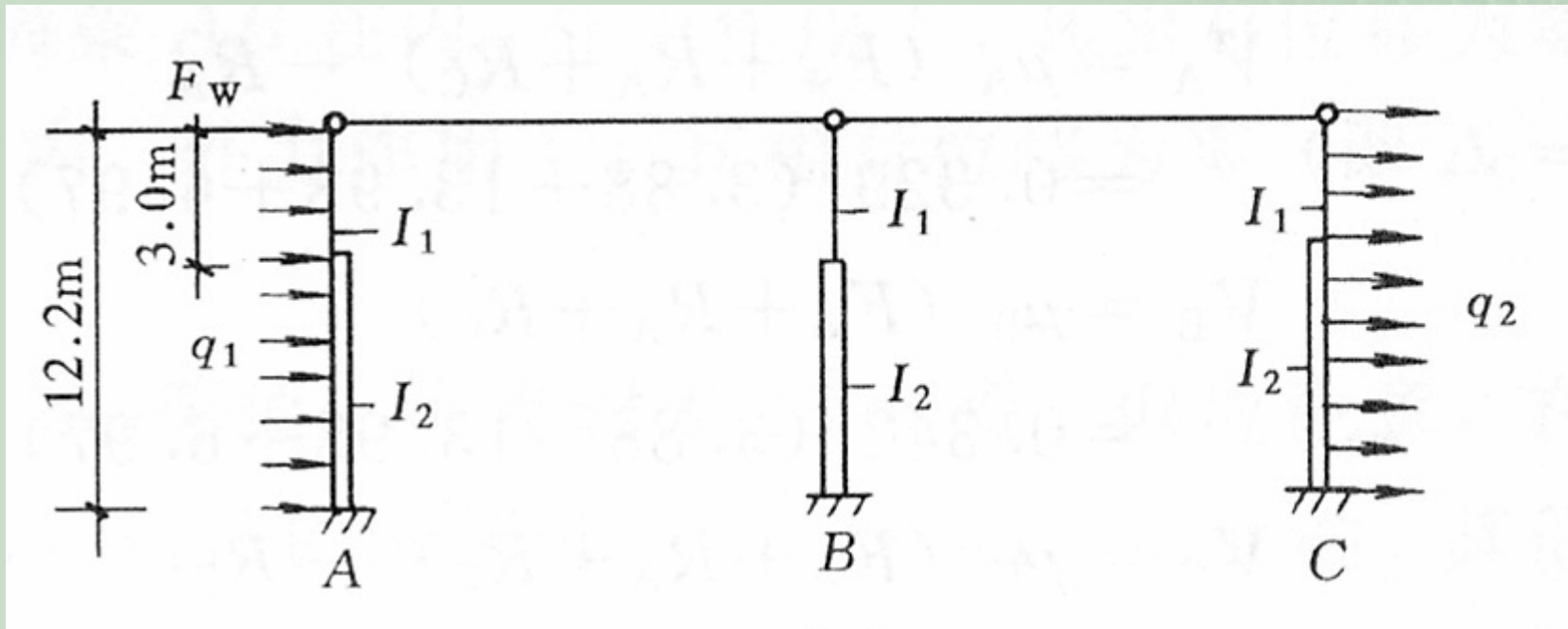
将支座反力反向作用于柱顶，求出内力；

将上述两种情况的内力叠加。



补充例题

已知某双跨等高排架，作用其柱顶上的风荷载设计值 $F_w = 3.88\text{kN}$ ， $q_1 = 3.21\text{kN/m}$ ， $q_2 = 1.6\text{kN/m}$ ； A 柱与 C 柱截面相同， $I_1 = 2.13 \times 10^9\text{mm}^4$ ， $I_2 = 11.67 \times 10^9\text{mm}^4$ ， B 柱 $I_1 = 4.17 \times 10^9\text{mm}^4$ ， $I_2 = 11.67 \times 10^9\text{mm}^4$ ；上柱高度均为 $H_1 = 3.0\text{m}$ ，柱总高为 $H_2 = 12.2\text{m}$ 。试计算各排架柱内力。





【解】： (1) 求各柱的分配系数

$$\lambda = \frac{H_1}{H_2} = \frac{3.0}{12.2} = 0.246$$

对 A、C 柱：

$$n = \frac{I_1}{I_2} = \frac{2.13 \times 10^9}{11.67 \times 10^9} = 0.183$$

对 B 柱：

$$n = \frac{I_1}{I_2} = \frac{4.17 \times 10^9}{11.67 \times 10^9} = 0.357$$

C_0 值按式 (2.5.13) 求得，或由表 2.5.2 查得。

则对 A、C 柱 $C_0 = 2.813$

$$\delta_A = \delta_C = \frac{H_2^3}{C_0 EI_2} = \frac{(12.2 \times 1000)^3}{2.813 E \times 11.67 \times 10^9} = 55.31 \frac{1}{E} \text{mm}$$



【解】：（1）求各柱的分配系数

则对 A、C 柱 $C_0 = 2.813$

$$\delta_A = \delta_C = \frac{H_2^3}{C_0 EI_2} = \frac{(12.2 \times 1000)^3}{2.813E \times 11.67 \times 10^9} = 55.31 \frac{1}{E} \text{mm}$$

对 B 柱 $C_0 = 2.922$

$$\delta_B = \frac{H_2^3}{C_0 EI_2} = \frac{(12.2 \times 1000)^3}{2.922E \times 11.67 \times 10^9} = 53.25 \frac{1}{E} \text{mm}$$

剪力分配系数

$$\mu_A = \mu_C = \frac{\frac{1}{\delta_A}}{2 \frac{1}{\delta_A} + \frac{1}{\delta_B}} = \frac{\frac{1}{55.31}}{2 \times \frac{1}{55.31} + \frac{1}{53.25}} = 0.329$$

$$\mu_B = \frac{\frac{1}{\delta_B}}{2 \frac{1}{\delta_A} + \frac{1}{\delta_B}} = \frac{\frac{1}{53.25}}{2 \times \frac{1}{55.31} + \frac{1}{53.25}} = 0.342$$



【解】： (1) 求各柱的分配系数

$$\mu_A = \mu_c = 0.329, \mu_B = 0.342$$

(2) 求各柱柱顶的剪力

将风荷载分成 F_w 、 q_1 、 q_2 三种情况，分别求出各柱顶所产生的剪力，再相叠加。

由于 q_1 的作用，查表2.5.2得柱顶不动铰支座反力：

$$R_A = C_{11}q_1H_2 = 0.357 \times 3.21 \times 12.2 = 13.98\text{kN}$$

由于 q_2 的作用，得柱顶不动铰支座反力：

$$R_C = R_A \cdot \frac{q_2}{q_1} = 13.98 \times \frac{1.60}{3.21} = 6.97\text{kN}$$





【解】： (1) 求各柱的分配系数

$$\mu_A = \mu_C = 0.329, \mu_B = 0.342$$

(2) 求各柱柱顶的剪力

$$R_A = 13.98 \text{ kN}$$

$$R_C = 6.97 \text{ kN}$$

各柱顶的总剪力

$$\begin{aligned} V_A &= \mu_A (F_w + R_A + R_C) - R_A \\ &= 0.329 (3.88 + 13.98 + 6.97) - 13.98 = -5.81 \text{ kN} (\leftarrow) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= \mu_B (F_w + R_A + R_C) \\ &= 0.342 (3.88 + 13.98 + 6.97) = 8.49 \text{ kN} (\rightarrow) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_C &= \mu_C (F_w + R_A + R_C) - R_C \\ &= 0.329 (3.88 + 13.98 + 6.97) - 6.97 = 1.20 \text{ kN} (\rightarrow) \end{aligned}$$



【解】： (1) 求各柱的分配系数

$$\mu_A = \mu_C = 0.329, \mu_B = 0.342$$

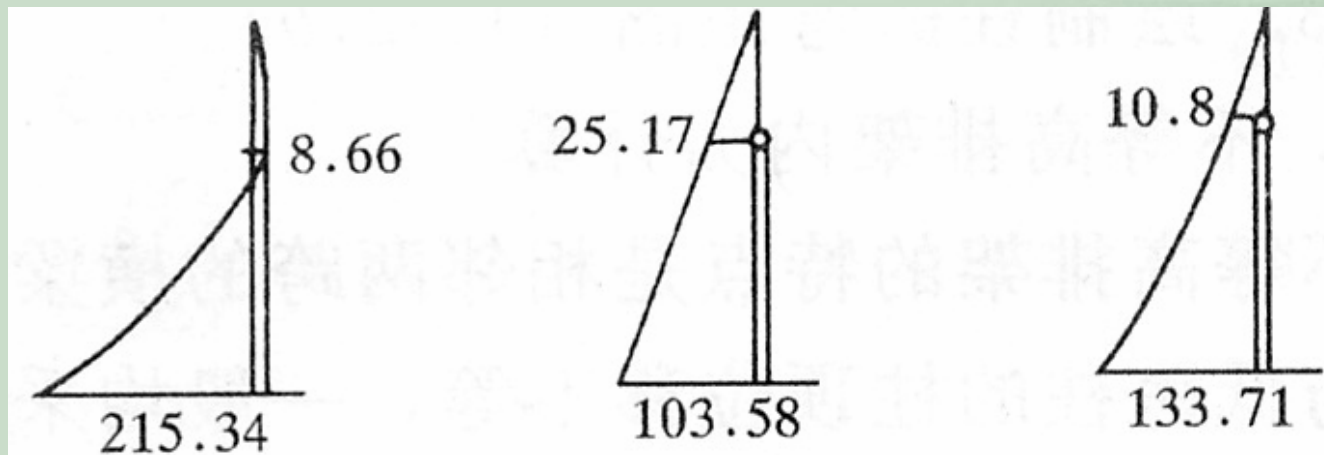
(2) 求各柱柱顶的剪力

$$V_A = -5.81kN$$

$$V_B = 8.49kN$$

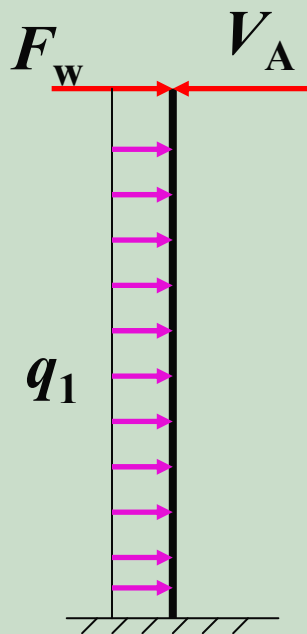
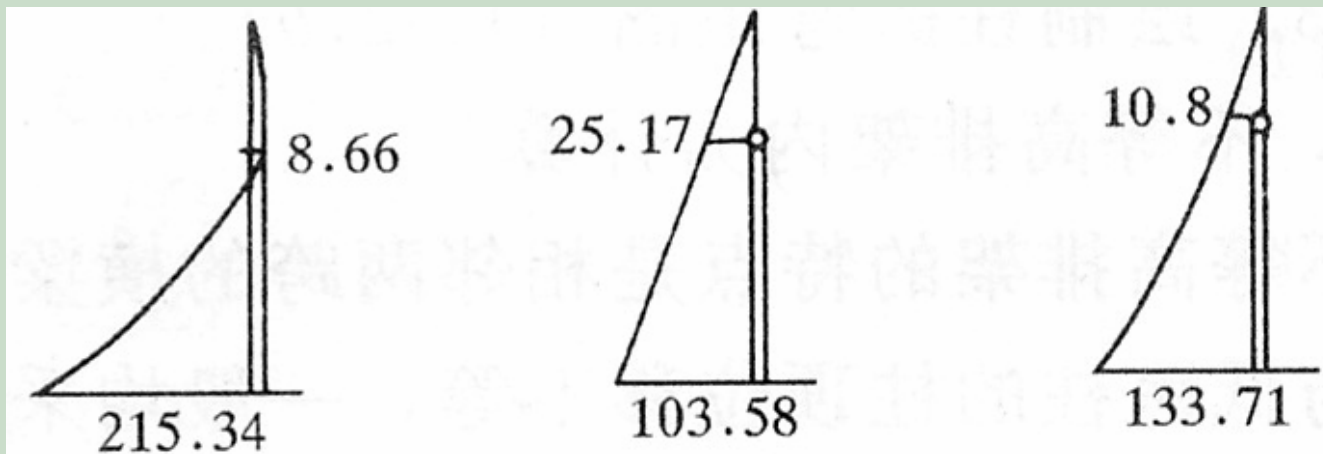
$$V_C = 1.20kN$$

(3) 绘制柱的弯矩图





(3) 绘制柱的弯矩图



例：A柱弯矩计算

$$M = (3.88 - 5.81) \times 12.2 + 3.21 \times 12.2 \times \frac{12.2}{2} = 215.34 \text{ kN} \cdot \text{m}$$





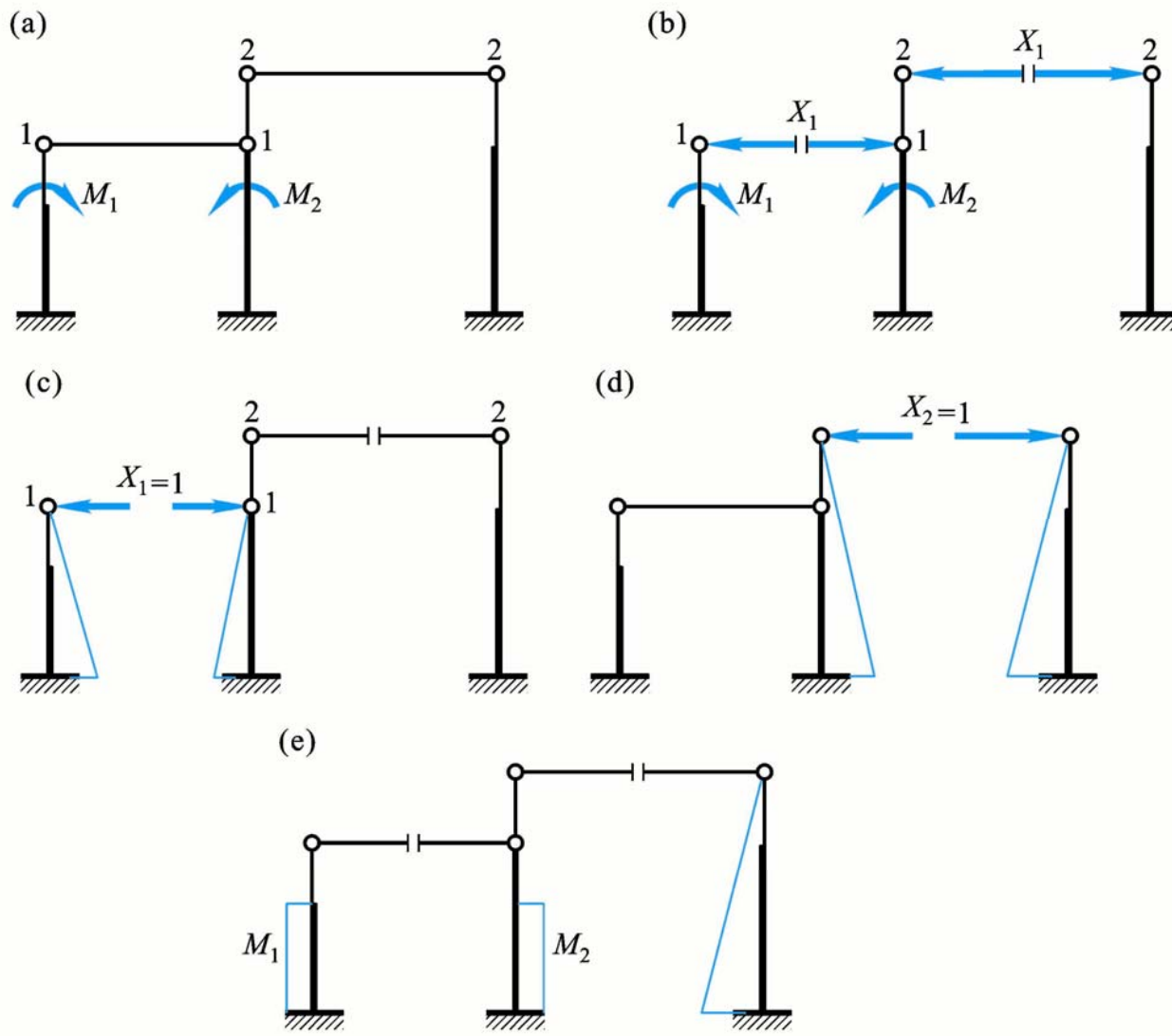
2.5.4 不等高排架内力分析

一般采用力法求解。将横梁切开，以横梁轴力作为基本未知量，以切口处变形为零的条件建立联立方程求解。当横梁内力求出后，各柱为静定柱，即可求得在各自荷载下的柱内力。当为两跨不等高排架时，联立方程为：

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \Delta_{1p} &= 0 \\ \delta_{12} X_1 + \delta_{22} X_2 + \Delta_{2p} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots 2.5.17$$

$\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{21}, \delta_{22}$ — 单位力产生的位移，由单位力图图乘求得。

Δ_{1p}, Δ_{2p} — 荷载位移。由单位力图乘以荷载图得。

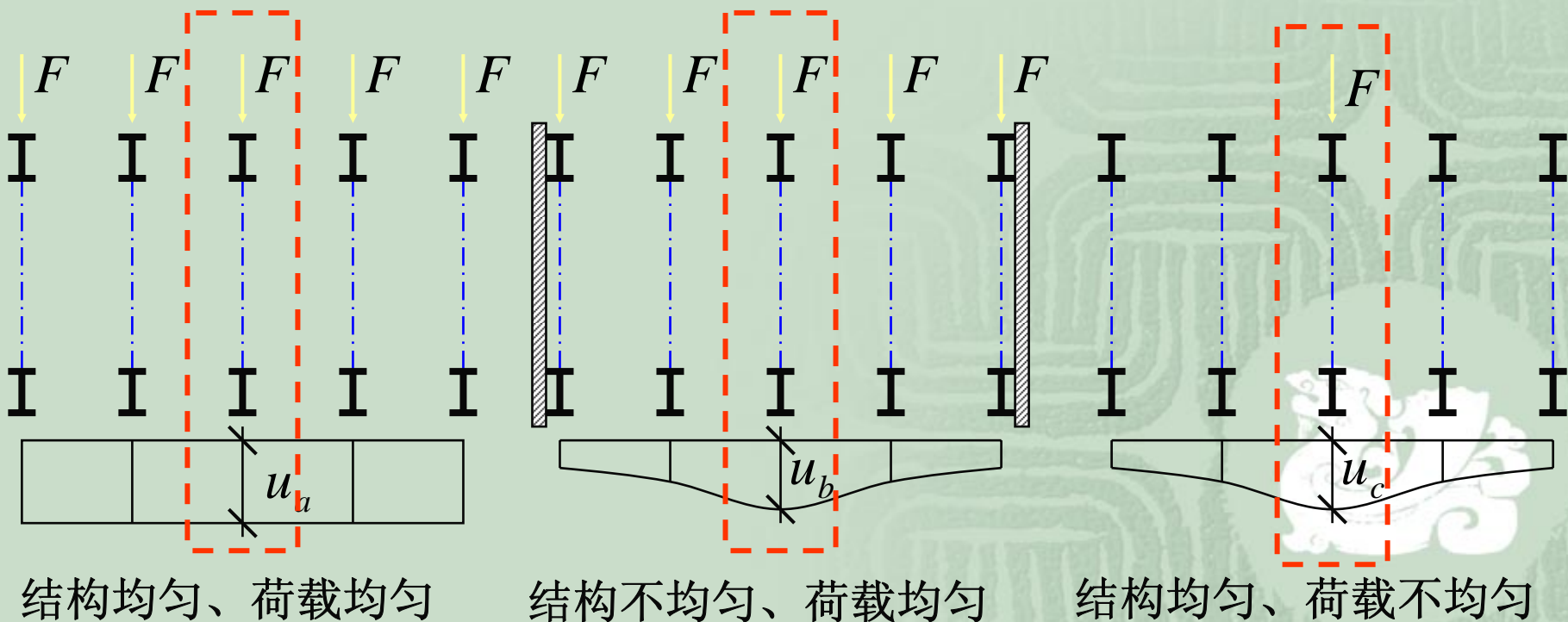


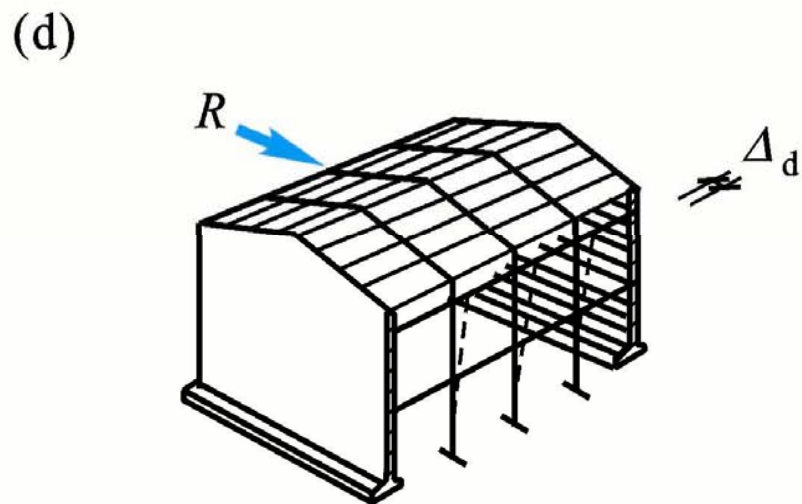
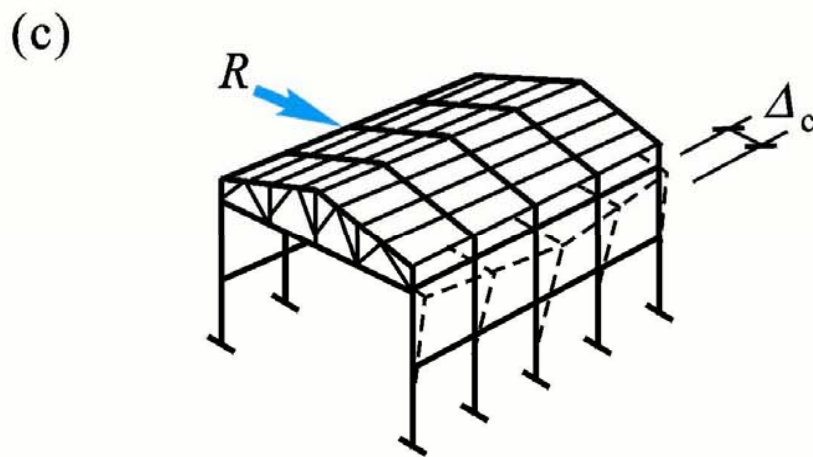
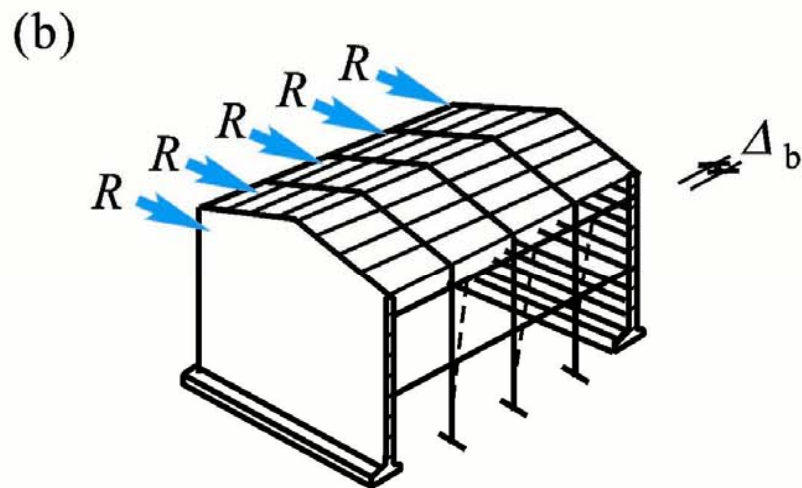
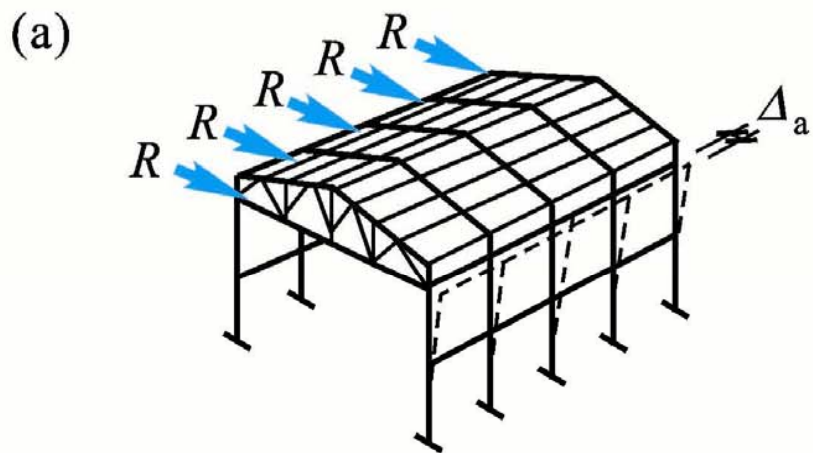
不等高排架内力分析



2.5.5 排架考虑整体空间作用的计算

1. 厂房整体空间作用的基本概念





厂房空间作用分析



2.5.5 排架考虑整体空间作用的计算

在b、c两种情况下，其最大侧向位移量 u_b 、 $u_c < u_a$

即在b、c两种情况的侧移小于按平面排架计算的侧移。

这种排架与排架、排架与山墙之间相互关联的作用称为厂房的整体空间作用。

空间工作的条件：

• 或者结构不均匀、或者荷载不均匀；

• 各排架之间有联系（即屋盖有一定的整体刚度）。

• 吊车荷载考虑整体空间作用的计算方法





2. 吊车荷载作用下考虑厂房整体空间作用的排架内力分析

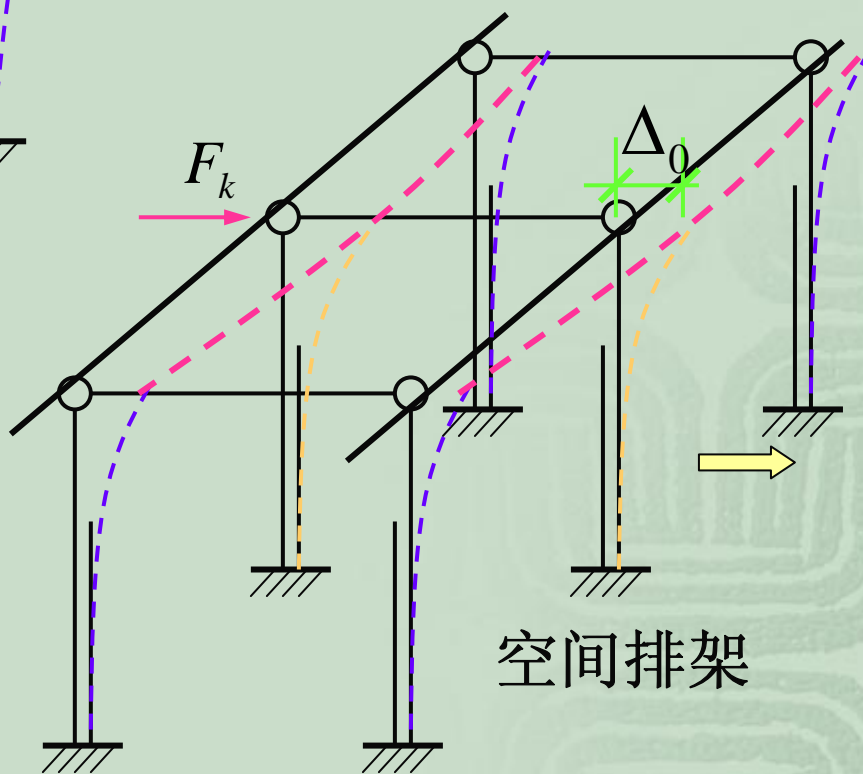
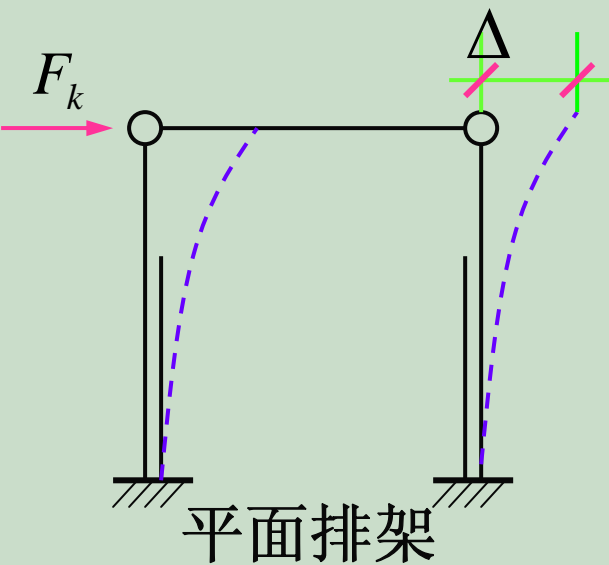
吊车荷载为局部荷载，可按考虑厂房空间作用的方法计算吊车荷载作用下的排架内力。

❖ 实用中采用空间作用分配系数 μ 来考虑厂房的荷载，该系数实质上是考虑空间作用排架的侧移 Δ 与按平面排架计算时的柱顶侧移 Δ_0 的比值。

$$\mu = \frac{\Delta_0}{\Delta} < 1.0$$

❖ 空间作用分配系数 μ 见表2.5.3



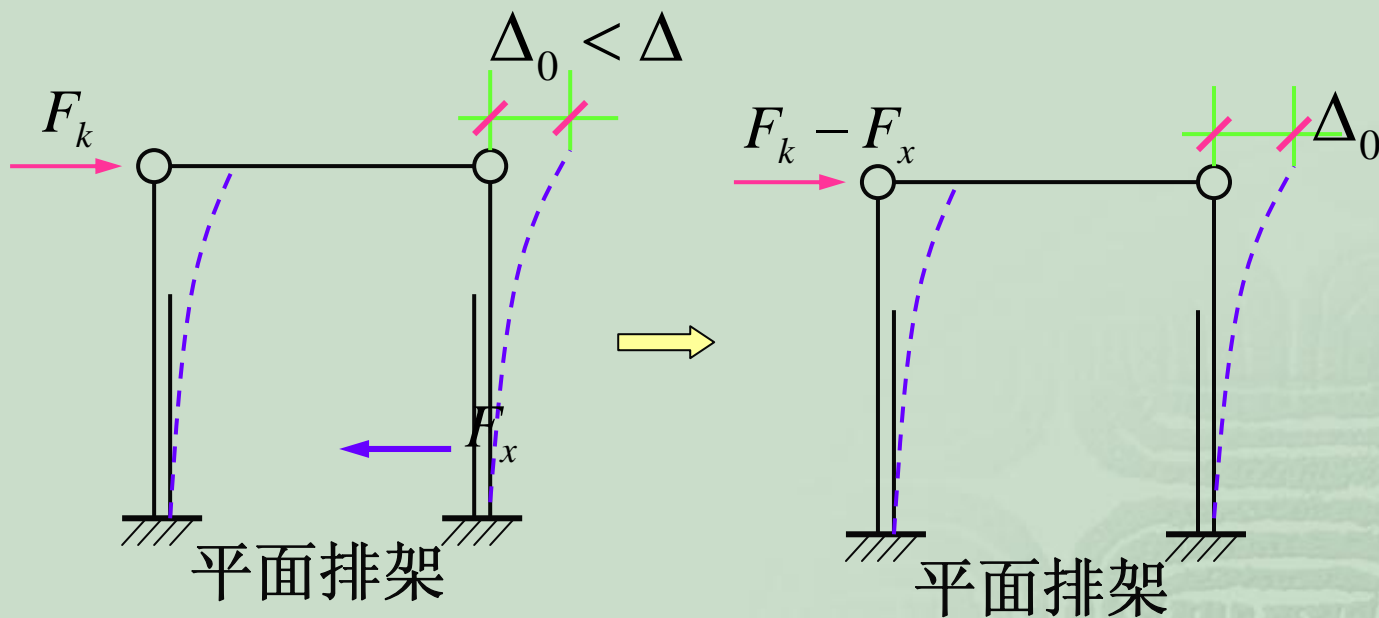


$$\frac{F_k - F_x}{F_k} = \mu$$

称为空间作用分配系数

$$\mu = \frac{\Delta_0}{\Delta}$$

2. 吊车荷载作用下考虑厂房整体空间作用的排架内力分析

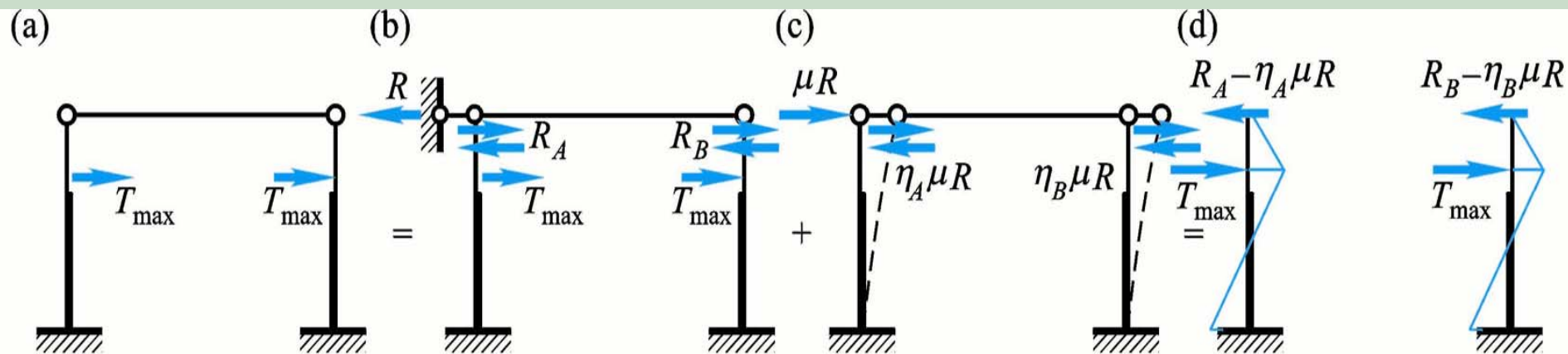


当某榀排架柱顶作用水平力 F_k 时，如果考虑排架整体空间作用，该排架仅承担 μF_k ，其余部分由其它排架承担。

当某榀排架柱顶作用水平力 R 时，则考虑排架整体空间作用，时排架承受的荷载为 μR 。



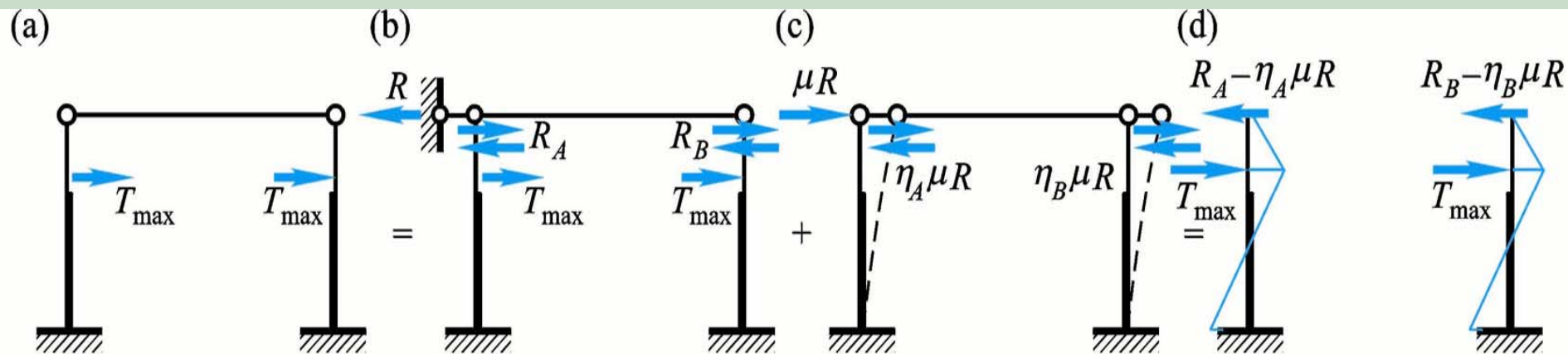
3. 考虑厂房整体空间作用时排架内力计算步骤



- ❖ 在排架柱顶附加一个不动铰支座，利用柱顶反力系数可求得柱顶反力 R : $R = \sum R_i$
- ❖ 将 R 乘以空间作用分配系数 μ ，并将它反向加于排架柱顶，用剪力分配法求出各柱顶剪力 $\eta_i \mu R$ ；
- ❖ 将上述两项计算求得的柱顶剪力叠加；根据柱顶剪力及柱实际承受荷载，可求出各排架柱（悬臂柱）的内力。



3. 考虑厂房整体空间作用时排架内力计算步骤



考虑厂房空间作用时排架的内力计算

比较：

考虑空间作用

$$V_i' = R_i - \eta_i \mu R$$

不考虑空间作用

$$V_i = R_i - \eta_i R$$

$$V_i' > V_i$$

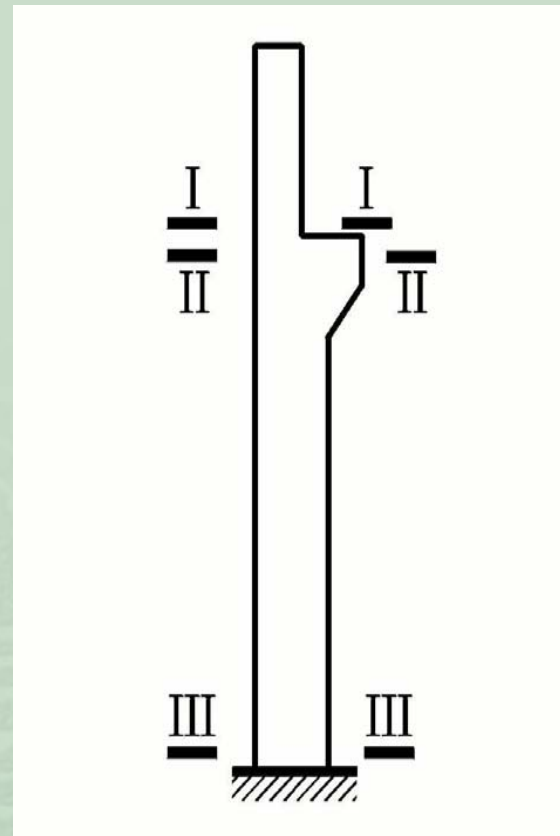


2.5.6 内力组合

内力组合就是确定柱的**控制截面**和相应的**最不利内力**，并进行荷载组合。

1. 柱的控制截面

- ❖ I - I 上柱柱底截面
- ❖ II - II 牛腿顶面
- ❖ III - III 下柱柱底截面



柱的控制截面



2. 内力组合原则

通过组合求出可能出现的最不利内力

- ❖ 《荷载规范》规定荷载效应组合的设计值 S ，应从下列组合值中取最不利值：

$$S = 1.2S_{Gk} + \gamma_{Q1}S_{Q1k} \quad \dots 2.5.19$$

$$S = 1.2S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad \dots 2.5.20$$

$$S = 1.35S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \quad \dots 2.5.21$$

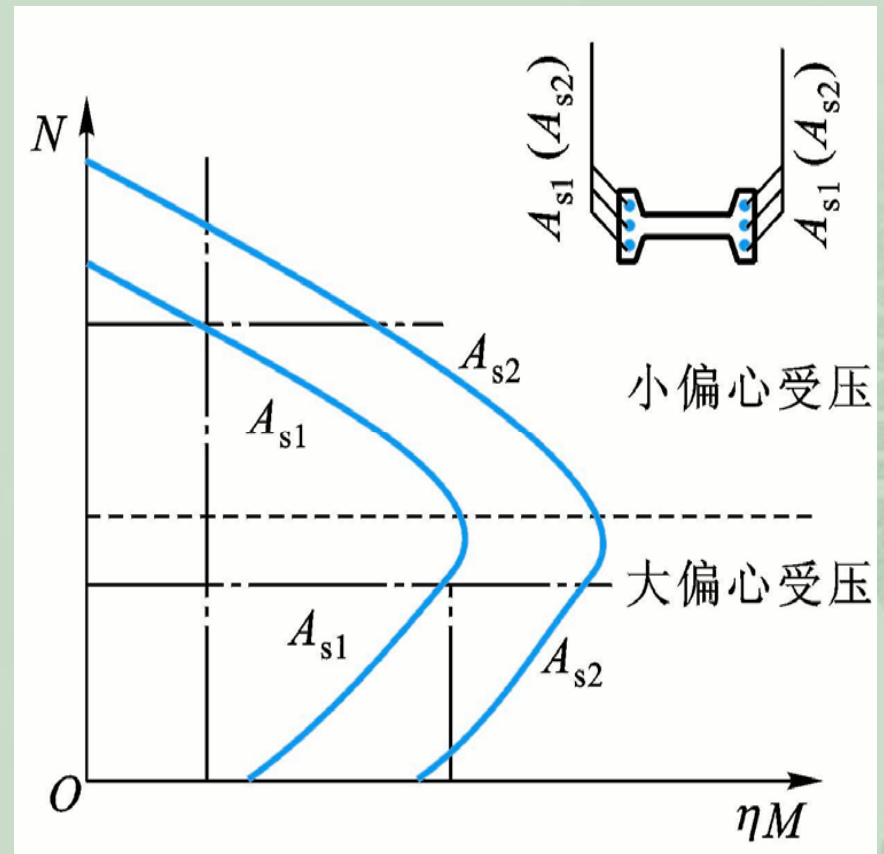
请注意：当 (2-18) 式中 $n=1$ 时，组合系数0.9应改为1.0。



3. 内力组合项目

❖ 偏心受压柱的破坏形态有两种：大偏心受压和小偏心受压，故对控制截面考虑四种最不利内力组合：

- 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



弯矩、轴力和配筋关系图



4. 内力组合注意事项

- ❖ 无论什么情况，恒载必须参加组合；
- ❖ 目的在于得到最大内力，其他为最大内力的对应值；
- ❖ D_{\max} 作用在A柱，和 D_{\max} 作用在B柱不可能同时出现，所以不可能在同一组组合中出现；
- ❖ T_{\max} 参加组合时，必有垂直荷载项 $D(D_{\max}$ 或 $D_{\min})$ ，而垂直荷载参加组合时，不一定有 T_{\max} 项(未必刹车)；
- ❖ 风荷载，左风、右风不同时存在，故不同时参加组合；
- ❖ 求 N_{\min} 时， $N = 0$ 的风荷载应参加组合。



- ❖ 规范对多台吊车参加组合时，考虑到同时满载的可能性较小，因此对吊车荷载乘以折减系数。

多台吊车的荷载折减系数

参与组合的吊车台数	吊车工作级别	
	A1~A5	A6~A8
2	0.9	0.95
3	0.85	0.90
4	0.8	0.85





§ 2.6

柱的设计

柱的设计包括柱的形式选择、确定截面尺寸、配筋计算、吊装验算、牛腿设计等。

2.6.1 截面设计

1. 截面配筋计算

柱按偏心受压构件计算配筋：

{ 正截面
斜截面

{ 大偏心
小偏心

{ 对称配筋
非对称配筋





❖ 内力组合的取舍：

对称配筋时，取 $|M_{\max}|$ 及相应的 N ；

N_{\max} 及相应的 M ；

N_{\min} 及相应的 M 。

- 对于大偏心受压， ηM 接近， N 小不利；
- 对于小偏心受压， ηM 接近， N 大不利；
- 无论什么情况， N 接近， ηM 大小不利。

❖ 受压构件按规范确定计算长度 l_0 。





❖ 受压构件的计算长度 l_0

柱的计算长度 l_0

柱 的 类 别		l_0		
		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	$1.0H_1$	$0.8 H_1$	$1.0H_1$
露天吊车柱和栈桥柱		$2.0H_1$	$1.0H_1$	—



2. 构造要求

❖ 混凝土强度等级： $\geq C20$

❖ 受力纵筋：直径 $d \geq 12\text{mm}$ ，当 $h \geq 600\text{mm}$ 时

$d \geq 10 \sim 16\text{mm}$ ，全部纵向配筋率不宜超过

5%。

❖ 箍筋：直径 $d \geq 6\text{ mm}$ ，间距 $\leq 400\text{ mm}$ ，且 \leq

柱宽 b ；当 $h \geq 600\text{ mm}$ 、 $d \geq 10 \sim 16\text{ mm}$ 时，箍

筋应为封闭式。

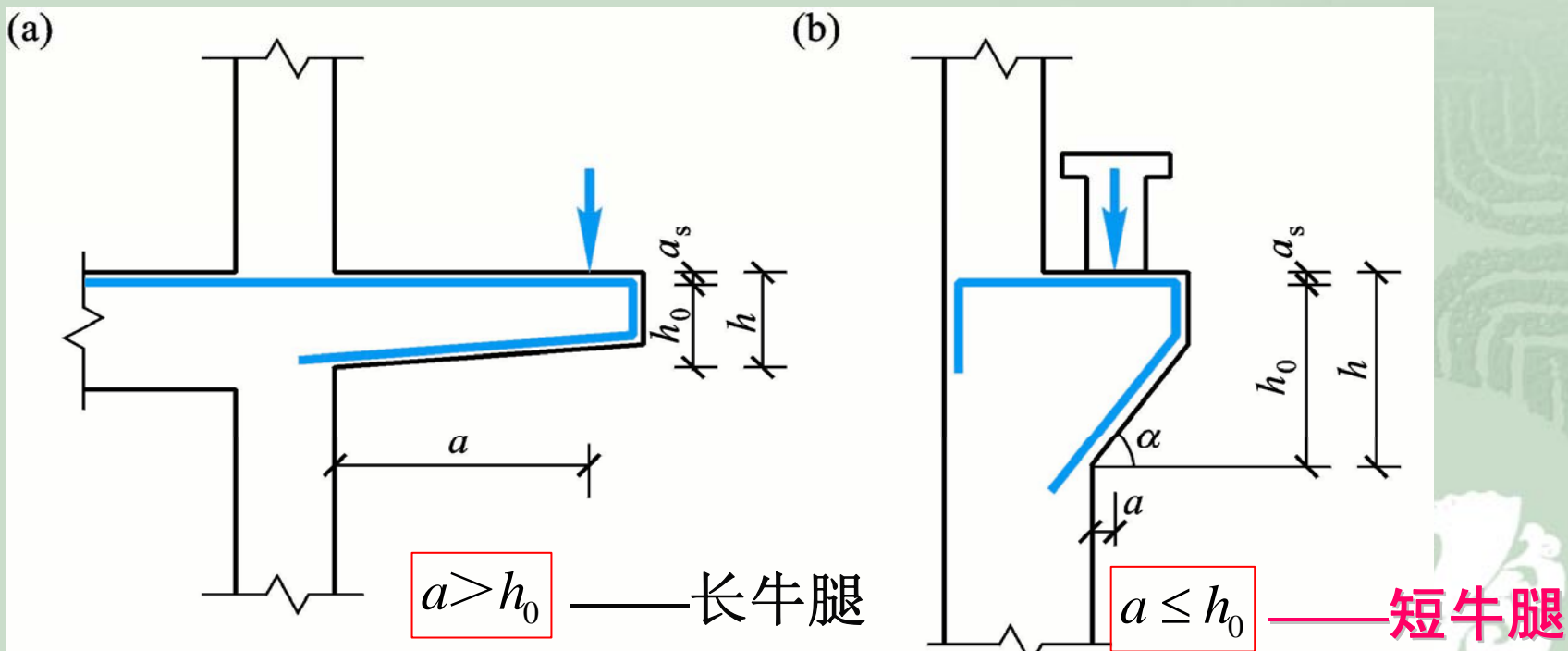




2.6.2 牛腿设计

牛腿设置在柱上，用来支承屋架、托架、吊车梁和连系梁等主要受力构件。

❖ 牛腿按力的作用位置分为长牛腿和短牛腿。



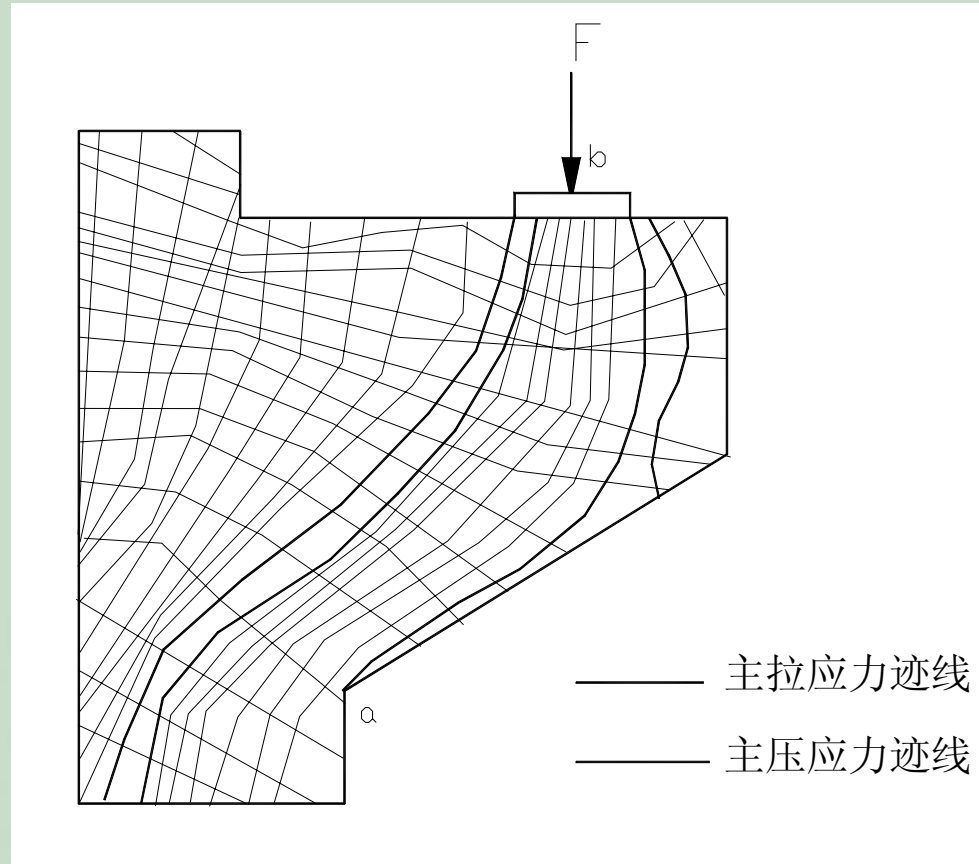
牛腿类别



2.6.2 牛腿设计

■ 试验研究

- 应力分布
- 牛腿上部主拉应力迹线基本上与牛腿边缘平行；
- 牛腿下部主压应力迹线大致与ab连线平行；
- 牛腿中、下部主拉应力迹线是倾斜的。





1. 牛腿的受力特点及破坏形态

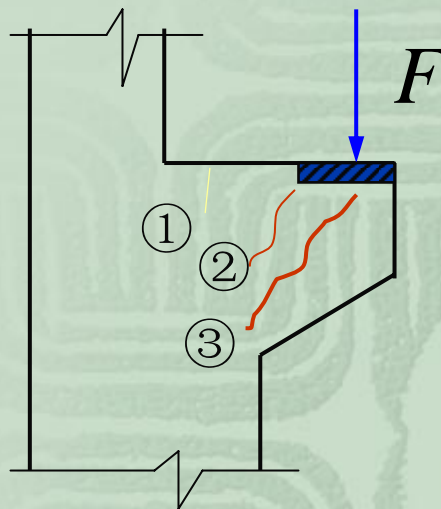
试验表明，从加载至破坏，牛腿大体经历弹性、裂缝出现与开展和破坏三个阶段。

• 裂缝开展

当达到极限值的20~40%，出现垂直裂缝①；

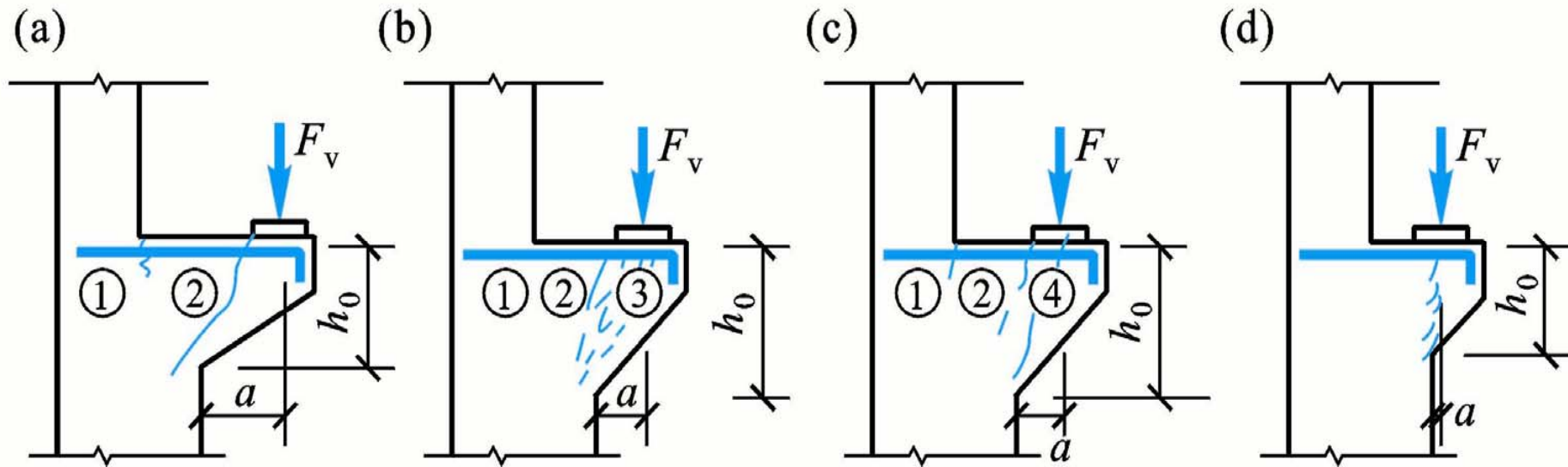
在极限荷载的40~60%，出现第一条斜裂缝②；

约极限荷载的80%，突然出现第二条斜裂缝③。





1. 牛腿的受力特点及破坏形态



弯压破坏

斜压破坏

剪切破坏

牛腿的破坏形态





❖ 弯压破坏

当 $1 > a/h_0 > 0.75$ 时，且纵向钢筋配筋率较低时，随着荷载增加纵向钢筋应力不断增加最终受拉钢筋屈服，牛腿下部与柱相交的受压区砼压碎。

❖ 斜压破坏

当 $a/h_0 = 0.1 \sim 0.75$ 时，随着荷载增加，整个压杆范围内出现大量短小斜裂缝，最终形成一条通长斜裂缝而破坏，此时受拉钢筋达到屈服强度。

❖ 剪切破坏

当 $a/h_0 < 0.1$ 时，牛腿与下柱的交接面上出现一系列短而细的斜裂缝，最后牛腿沿此裂缝从柱上切下而破坏。



2. 牛腿截面尺寸的确定

❖ 牛腿的宽度与柱同宽；

❖ 牛腿的高度由不出现斜裂缝为控制条件来确定；

$$F_{vk} \leq \beta \left(1 - 0.5 \frac{F_{hk}}{F_{vk}}\right) \frac{f_{tk} b h_0}{0.5 + a / h_0} \quad \dots 2-20$$

F_{vk} , F_{hk} — 分别为作用于牛腿顶部按荷载标准组合计算的竖向力和水平拉力；

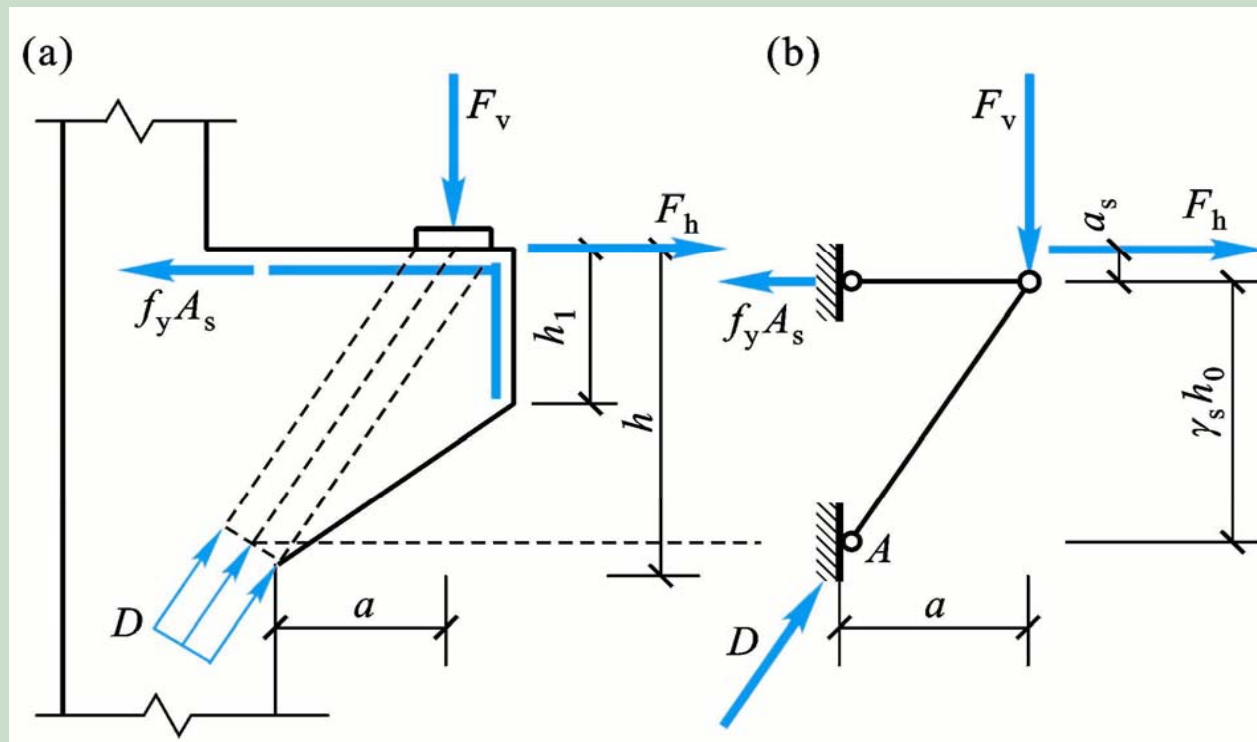
β — 裂缝控制系数。对支承吊车梁的牛腿，取0.65，其他牛腿取0.85；

a — 竖向力的作用点至下柱边缘的水平距离，考虑安装偏差20mm。当 $a < 0.3h_0$ 时，取 $a = 0.3h_0$ 。



3. 牛腿的配筋计算与构造

牛腿的计算简图



❖ 斜截面受弯承载力计算及纵筋构造

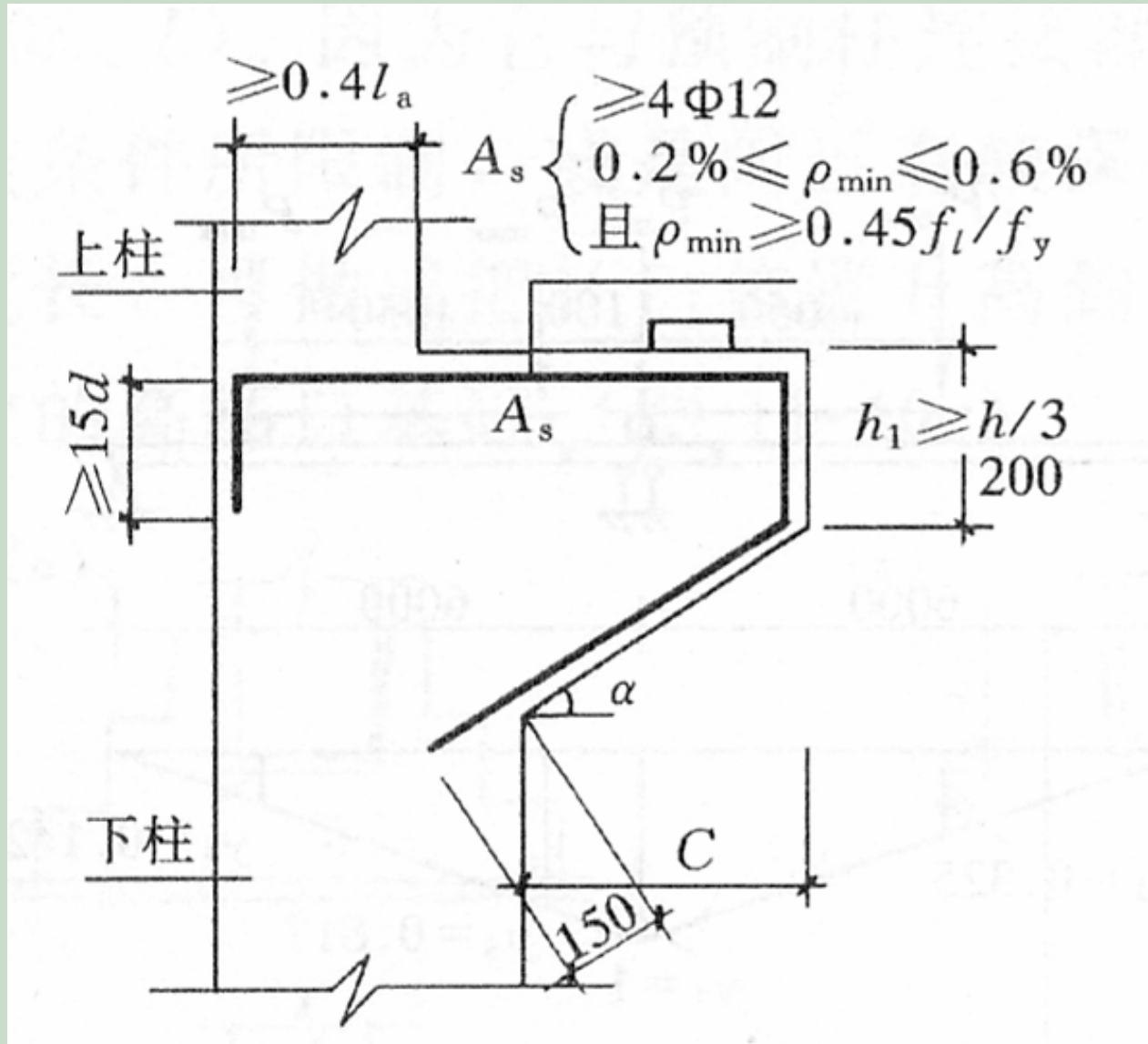
$$A_s \geq \frac{F_v a}{0.85 f_y h_0} + 1.2 \frac{F_h}{f_y}$$

...2.6.1



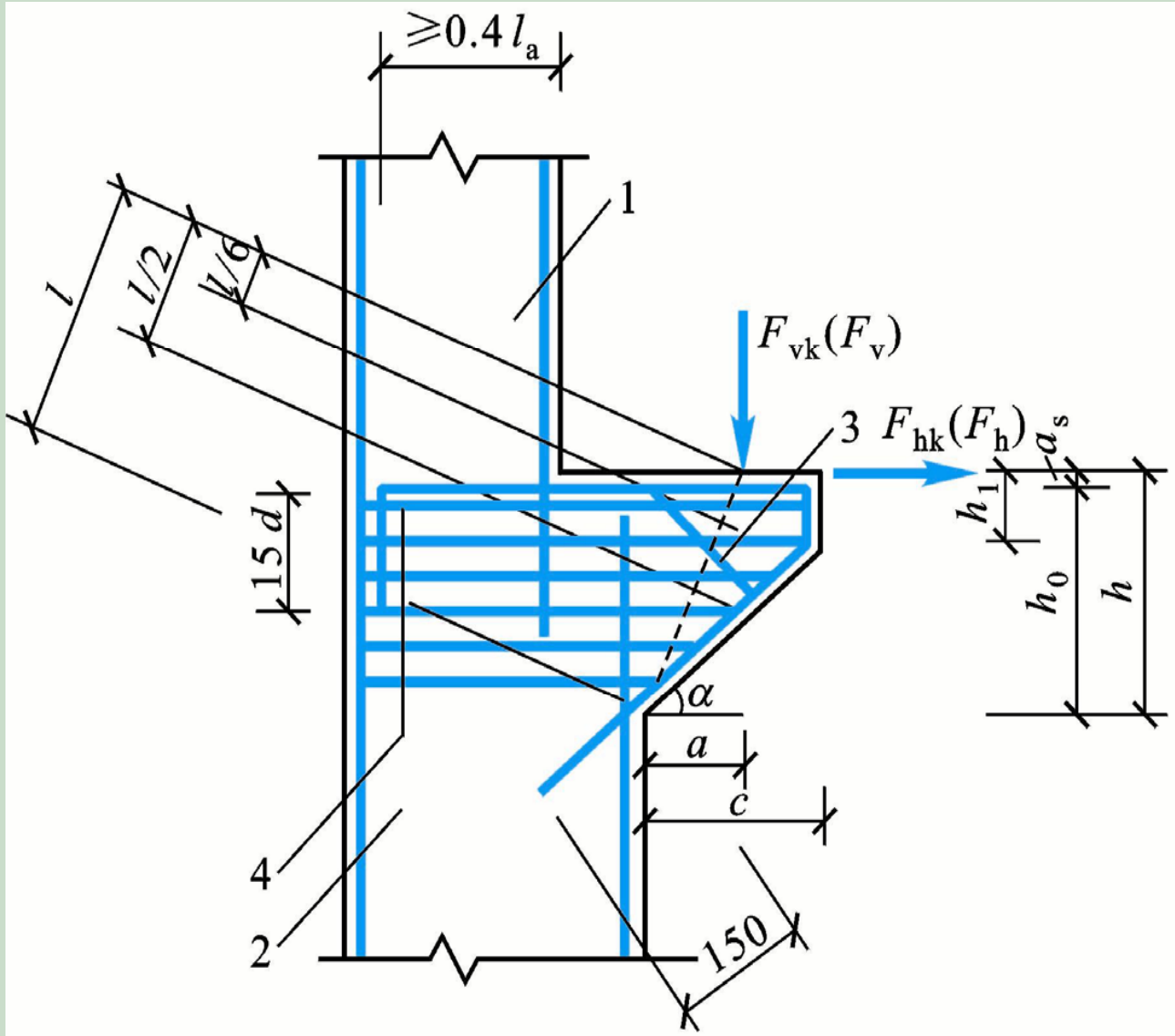


❖ 纵向受拉钢筋的构造要求





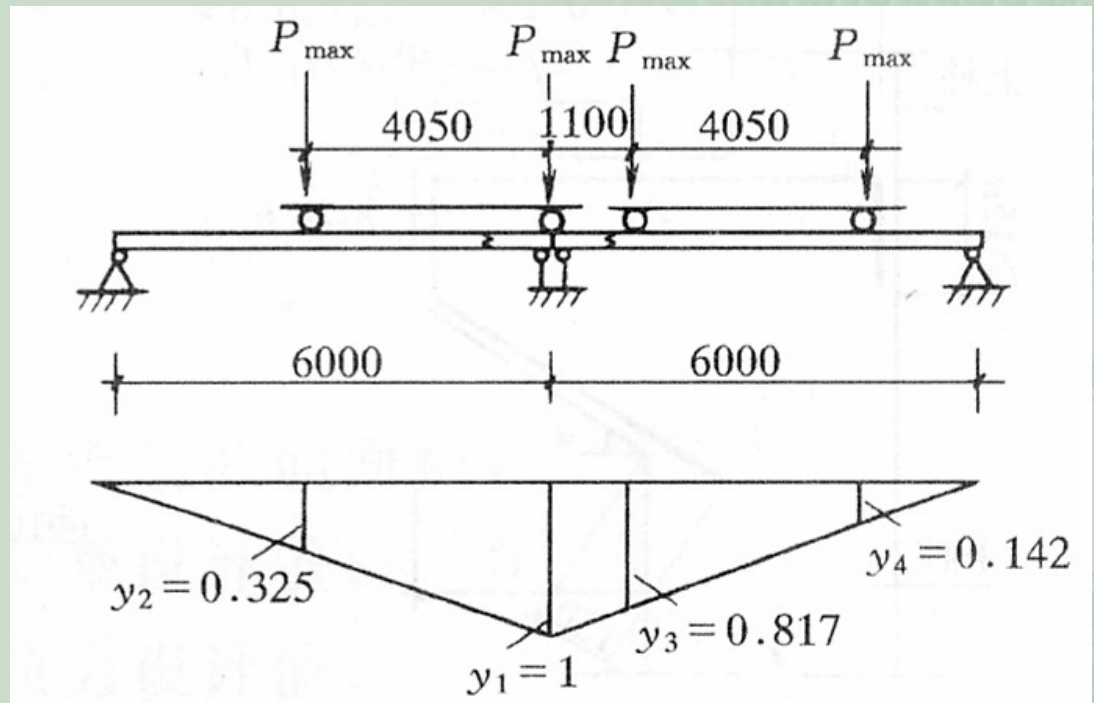
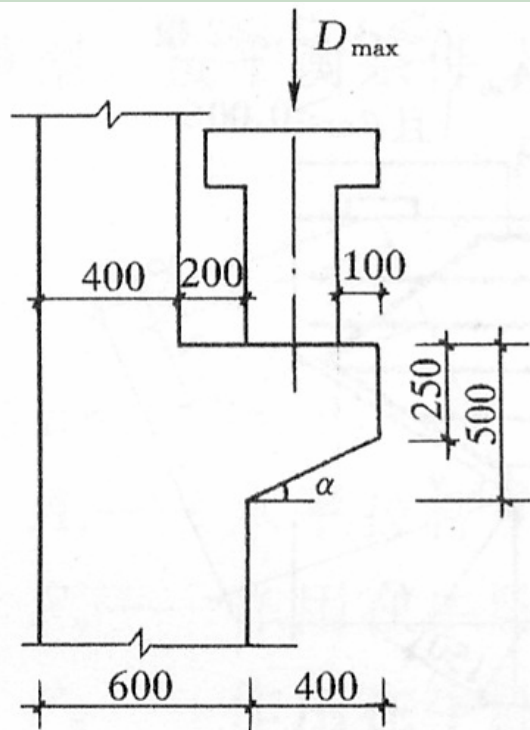
❖ 水平箍筋和弯筋的构造要求





补充例题2

某单层厂房，上柱截面尺寸为 **400mm X 400mm**，下柱截面尺寸为 **400mm x 600mm**，厂房跨度 **18m**，牛腿上吊车梁承受两台 **10t** 中级工作制吊车，其最大轮压 $P_{max} = 109kN$ ，混凝土强度等级为 **C30**，纵筋、弯起钢筋及箍筋均采用 **HRB335** 级，试确定其牛腿的尺寸及配筋。

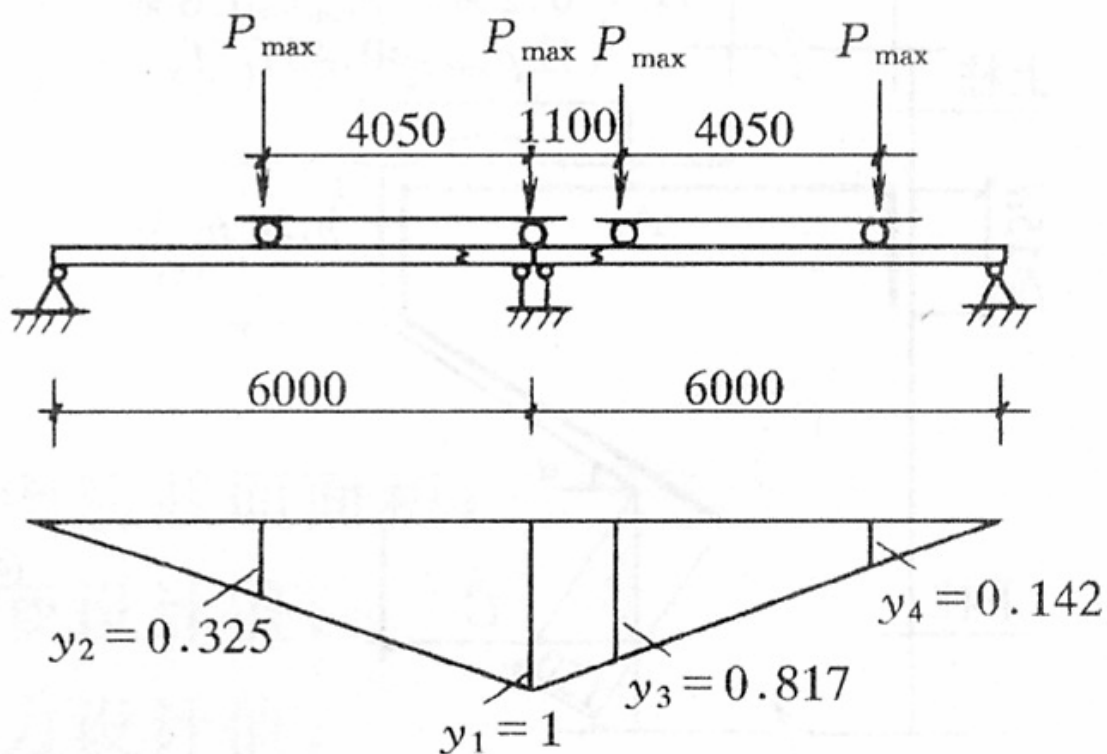


混凝土结构设计

【解】

(1) 荷载计算

两台吊车反力影响线见右图，故得吊车的竖向荷载：



$$D_{kmax} = 0.9 \times 109 \times (1 + 0.325 + 0.817 + 0.142) = 224.1 \text{ kN}$$

吊车梁加轨道重 (由标准图查得自重 30.4 kN, 轨道重 4.8 kN) = 35.2 kN

共计 = 259.3 kN

(2) 截面尺寸验算

取牛腿外形尺寸为 $h_1 = 250 \text{ mm}$, $h = 500 \text{ mm}$, $C = 400 \text{ mm}$



【解】 (1) 荷载计算

共计 = 259.3kN

(2) 截面尺寸验算

取牛腿外形尺寸为 $h_1 = 250\text{mm}$, $h = 500\text{mm}$, $C = 400\text{mm}$

则 $h_0 = 500 - 35 = 465\text{mm}$,

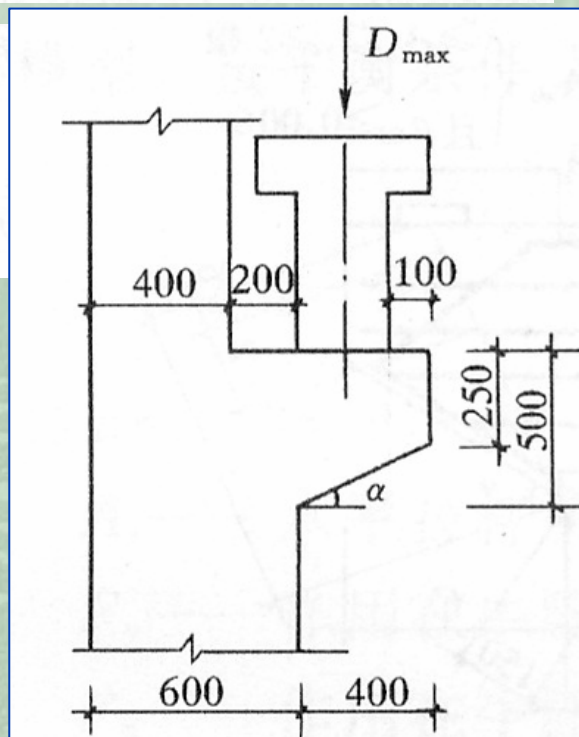
$a = 750 - 600 = 150\text{mm}$, $f_{tk} = 2.01\text{N/mm}^2$, $F_{hk} = 0$, $\beta = 0.80$ 。

$$\beta \left(1 - 0.5 \frac{F_{hk}}{F_{vk}} \right) \frac{f_{tk} \cdot bh_0}{0.5 + \frac{a}{h_0}} = 0.8 \times \frac{2.01 \times 400 \times 465}{0.5 + \frac{150}{465}}$$

$$= 363.6\text{kN} > F_{vk} = 259.3\text{kN}$$

$\alpha < 45^\circ$, 故满足要求。

(3) 配筋计算





【解】 (1) 荷载计算

共计 = 259.3kN

(2) 截面尺寸验算

(3) 配筋计算

纵筋截面面积

$$F_v = 1.2 \times 35.2 + 1.4 \times 224.1 = 356 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{150 \times 356 \times 10^3}{0.85 \times 300 \times 465} = 450 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \rho_{\min} b h = \frac{0.2}{100} \times 400 \times 500 = 400 \text{ mm}^2$$

选用 4 Φ 12 ($A_s = 452 \text{ mm}^2$)

箍筋选用 Φ 8 间距 @ = 100mm (2 Φ 8, $A_{sh} = 101 \text{ mm}^2$),



(3) 配筋计算

纵筋截面面积 选用 4 Φ 12 ($A_s = 452\text{mm}^2$)

箍筋选用 Φ 8 间距 $@ = 100\text{mm}$ (2Φ 8, $A_{sh} = 101\text{mm}^2$),

则在上部 $\frac{2}{3}h_0$ 处实配箍筋截面面积为

$$\begin{aligned} A_{sh} &= \frac{101}{100} \times \frac{2}{3} \times 465 = 313\text{mm}^2 > \frac{1}{2} A_s = \frac{1}{2} \times 450 \\ &= 225\text{mm}^2 \quad \text{故符合要求} \end{aligned}$$

弯起钢筋因 $a/h_0 = 150/465 = 0.32 > 0.3$, 故需设置, 所需截面面积:

$$A_{sb} = \frac{1}{2} A_s = \frac{1}{2} \times 450 = 225\text{mm}^2$$

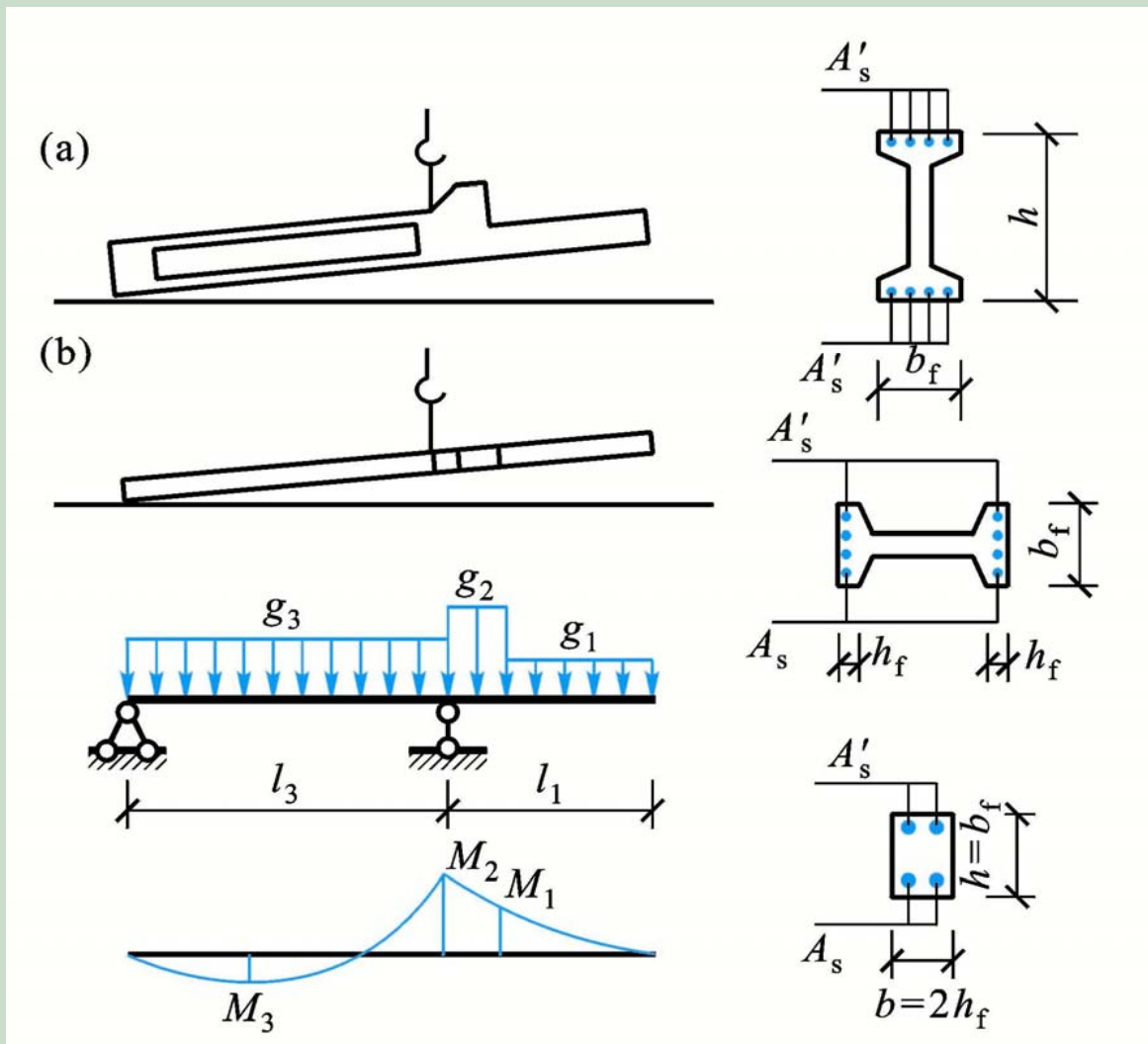
$$A_{sb} = 0.001bh = 0.001 \times 400 \times 500 = 200\text{mm}^2$$

故选用 2 Φ 12 ($A_{sb} = 226\text{mm}^2$) 满足要求。



混凝土结构设计

2.6.3 柱的吊装验算



柱的吊装方式及简图



- ❖ 吊装方法有平吊和翻身吊两种；
- ❖ 吊装采用一点吊时，吊点设在牛腿的根部，吊车验算的控制截面有上柱柱底、牛腿根部和下柱跨中三个控制截面。
- ❖ 应注意不同的起吊方法，柱的受力状态不同，截面尺寸和可利用钢筋的数量不同。
- ❖ 吊装时，柱自重的分项系数取**1.2**；应考虑动力系数**1.5**；结构的重要性系数取**0.9**。
- ❖ 吊装时通过限制钢筋应力来限制裂缝宽度。

$$\sigma_{sk} = \frac{M_k}{0.87h_0A_s} \leq [\sigma_s]$$





§ 2.7 柱下单独基础设计

基础按受力特点分为：

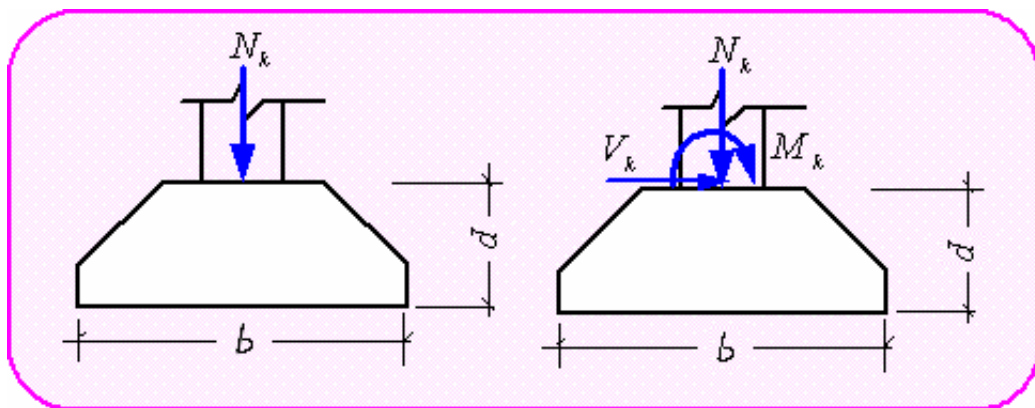
轴心受压基础

偏心受压基础

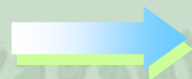
基础按施工方法分为：

现浇柱下基础

预制柱下杯形基础



基础受力类型





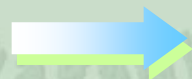
2.7.1 概述

1. 基础的作用和设计要求

作用：将上部结构的荷载通过基础安全均匀地扩散到地基土中。

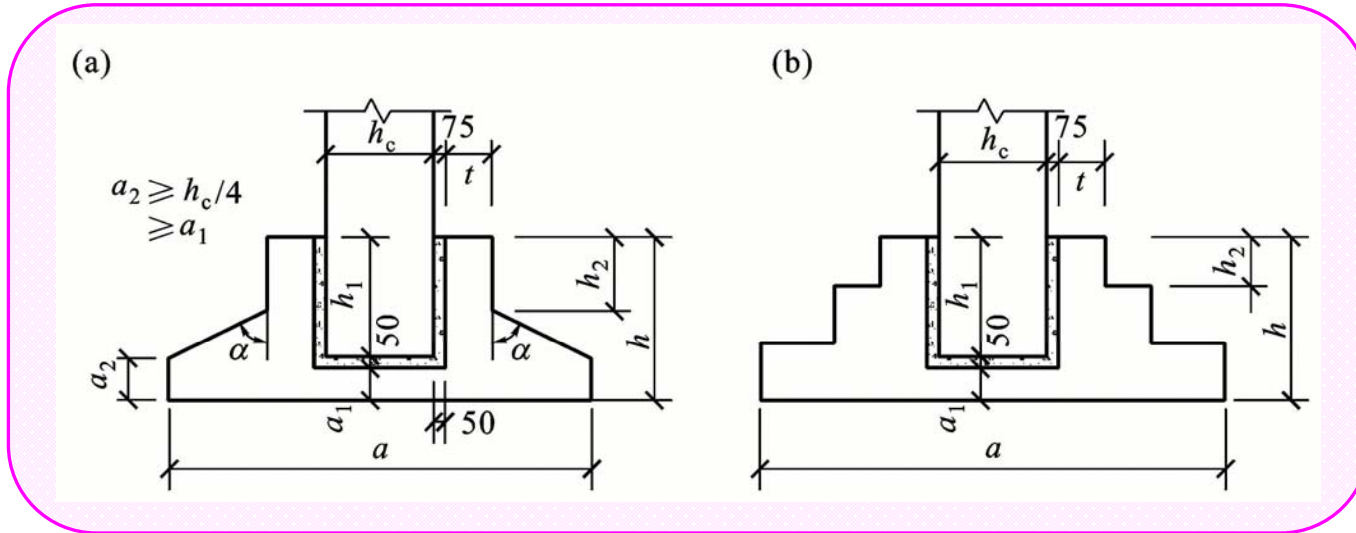
要求：

- ❖ 应有足够大的基础外形尺寸(与荷载重和地基承载力有关)；
- ❖ 应有足够的基础高度(冲切验算)；
- ❖ 应有足够的基底配筋(受弯计算)。



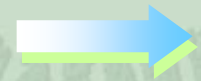
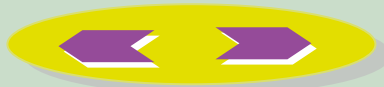


2. 基础的构造要求



基础构造要求

❖ 锥形基础边缘高度一般取 $a_2 \geq 200\text{mm}$ ，且 $a_2 \geq a_1$ 和 $a_2 \geq h_c/4$ ，一般取 $\tan \alpha = 3.0 \sim 4.0$ 。





柱的插入深度 h_1

矩形和工字形截面柱

$h_c < 500$	$h_c = 500 \sim 800$	$h_c = 800 \sim 1000$	$h_c > 1000$
$(1.0 \sim 1.2) h_c$	h_c	$0.9h_c$ 且 ≥ 800	$0.8h_c$ 且 ≥ 1000

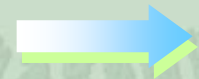
阶形基础分阶：

三阶： $h > 1000\text{mm}$

二阶： $h = 500 \sim 1000\text{mm}$

一阶： $h \leq 500\text{mm}$

每阶高度一般取： $300 \sim 500\text{ mm}$



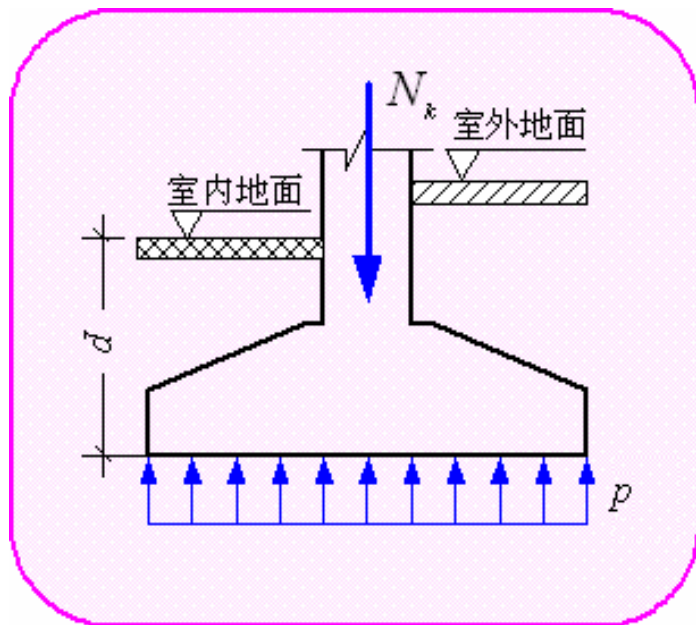


2.7.2 柱下单独基础设计

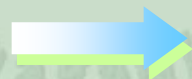
1. 基底外形尺寸的确定:

❖ 轴心受压柱下基础

- 上部结构传来的荷载效应为: N_k ,
- 地基土的承载力特征值为: f_k
- 基础埋深为 d , 基础自重和基底以上土重度的平均值为 γ_G , 可近似取 $\gamma_G = 22\text{kN/m}^3$ 。



轴心受压基础





基础底面积的确定条件是：

$$\frac{N_k + \gamma_G A d}{A} \leq f_a$$

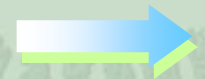
...2-23

$$A \geq \frac{N_k}{f_k - \gamma_G d}$$

...2-24

❖ 偏心受压柱下基础

- 上部结构传来的荷载： N_k 、 M_k 、 V_k ，
- 地基土的承载力特征值： f_a

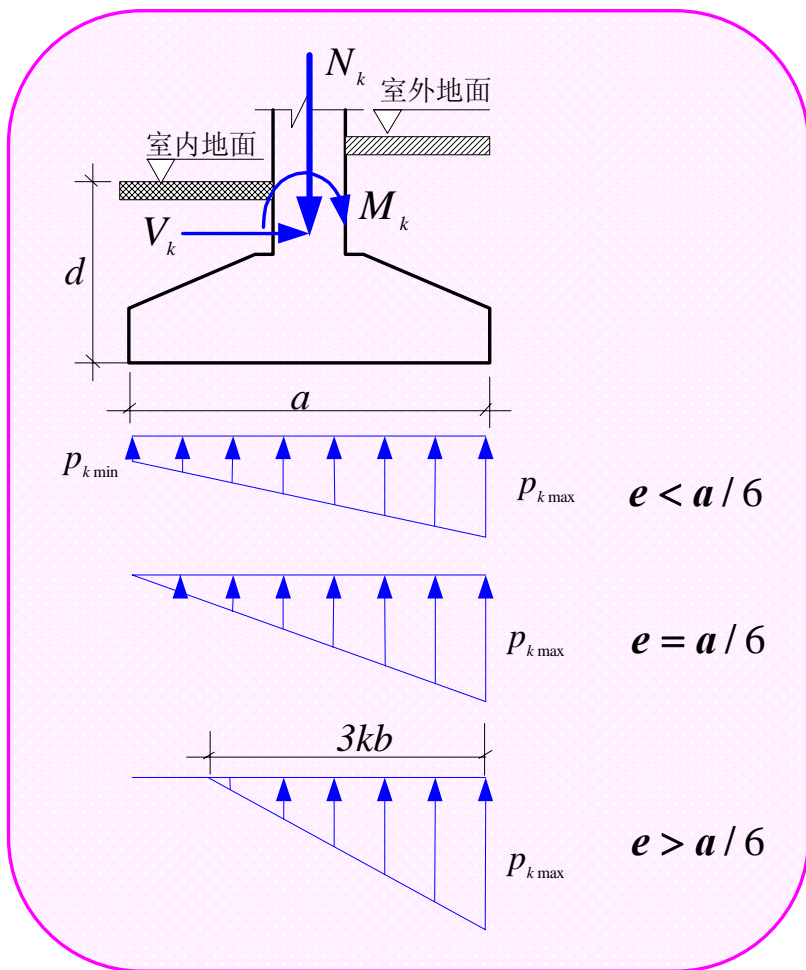




基底的线性分布的应力 P_{\max} 、 P_{\min} 应满足以下条件:

$$\begin{cases} P = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2} \leq f_a \\ P_{\max} \leq 1.2 f_a \end{cases}$$

...2-25



偏心受压基础



P_{\max} P_{\min} 可由材料力学公式求解：

$$P_{\max} = \frac{N_k + G_k}{A} \pm \frac{M_k \pm V_k d}{W} = \frac{N_k + G_k}{ab} \left(1 \pm \frac{6e}{a}\right)$$

...2-26

式中， A —基底面积 $A=ab$ ；

W —基底截面的抵抗矩，矩形截面： $W = \frac{ba^2}{6}$

e —所有外力对基底面积形心轴的偏心距，

$$e = \frac{M_k \pm V_k d}{N_k + G_k}$$





当 $e > a/6$ 时，用下式计算 p_{\max} ：

$$P_{\max} = \frac{2(N_k + G_k)}{3kb} \quad \dots 2-27$$

式中 k —合力作用点至基础底面最大受压边缘的距离，即：

$$k = \frac{a}{2} - e$$

❖ 偏心受压基础采用试算法，其步骤如下：

- 先按轴心受压基础公式估算基底面积，求得 A_1 ；
- 考虑偏心的影响，将基底面积 A_1 增大 1.2~1.4 倍，即： $A = (1.2 \sim 1.4)A_1$

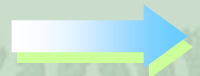
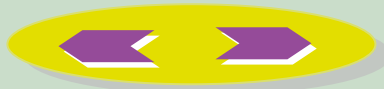


- 带入偏压基础基底应力条件式验算是否满足要求，不满足时对基底面积进行调整，直到满足为止。
- 按公式计算基底边缘最大和最小应力。

2. 基础高度的确定

基础高度是由构造条件及基础抗冲切条件确定的。

- 基础高度首先应满足柱插入杯口深度和杯口基础底面最小厚度的要求。
- 当基础高度不够时，柱传给基础的荷载会使基础发生大致成 45° 方向的冲切锥体破坏。





$$F_l = p_n A$$

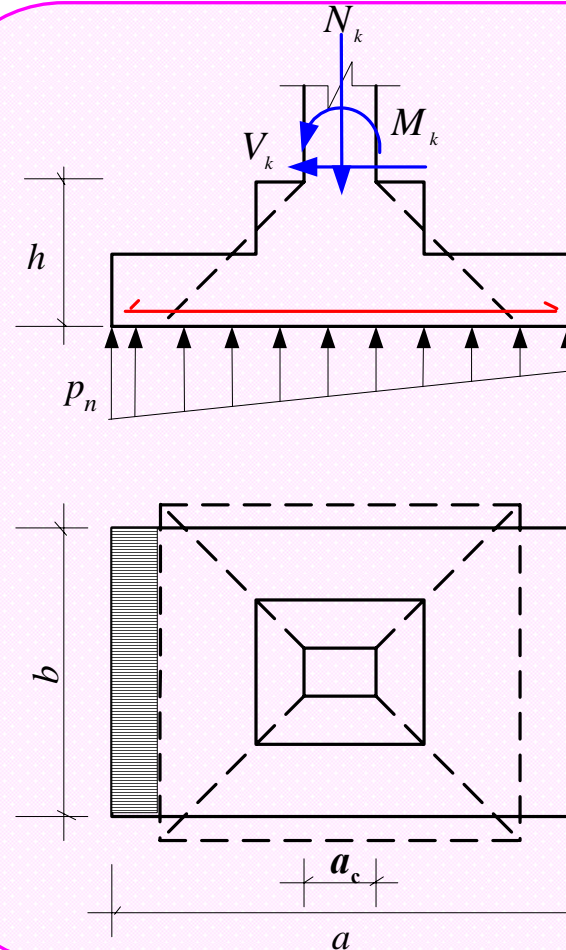
...2-28

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

...2-29

式中， b_m —冲切破坏锥体截面上边长 b_t 和下边长 b_b 的平均值：

$$b_m = (b_t + b_b) / 2$$



冲切验算简图



- b_t —冲切破坏锥体斜截面的上边长，当计算柱与基础交接处的冲切承载力时取柱宽；当计算基础变阶处的冲切承载力时，取上阶宽；
- b_b —冲切破坏锥体斜截面的下边长，当计算柱与基础交接处的冲切承载力时取柱宽加两倍该处的基础有效高度；当计算基础变阶处的冲切承载力时，取上阶宽加两倍该处的基础有效高度；
- h_0 —基础冲切破坏锥体的有效高度：柱与基础交接处为 h_{0I} ；变阶处为 h_{0II} ；
- f_t —混凝土抗拉强度设计值；



A —考虑冲切荷载时取用的面积：

$$\text{当 } \frac{b}{2} > \frac{b_c}{2} + h_0 \text{ 时, } A = \left[\left(\frac{a}{2} - \frac{a_c}{2} - h_0 \right) b - \left(\frac{b}{2} - \frac{b_c}{2} - h_0 \right)^2 \right]$$

$$\text{当 } \frac{b}{2} < \frac{b_c}{2} + h_0 \text{ 时, } A = \left(\frac{a}{2} - \frac{a_c}{2} - h_0 \right) b$$

p_n —在荷载设计值作用下基础底面单位面积上地的净反力设计值，当为轴心受压基础时即为基底均布净反力设计值；当为偏心受压基础时，即为最大压应力净反力。

β_h —截面高度影响系数，当 $h < 800\text{mm}$ 时，取 $\beta_h = 1.0$ ；当 $h > 2000\text{mm}$ 时，取 $\beta_h = 0.9$ ，其间按线性内插法取用。



3. 基础板底配筋的确定

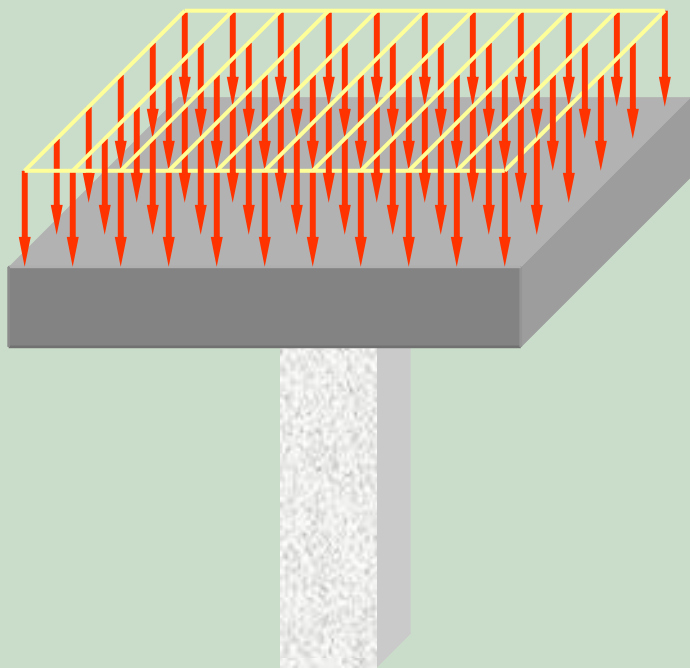
由于独立基础的长宽尺寸一般较为接近，基础底板在地基净反力作用下，在两个方向都会产生弯曲，其受力如同支承于柱的反向悬臂结构。

进行内力计算时常采用简化计算方法，即将独立基础的底板看作固定在柱子周边四面挑出的悬臂板，将地基净反力近似按对角线划分为4个梯形区域，并认为基础纵横两方向的弯矩等于所对应的梯形基底面积上地基净反力所产生的力矩。按此原则确定基底纵横两方向应配置的受力筋。

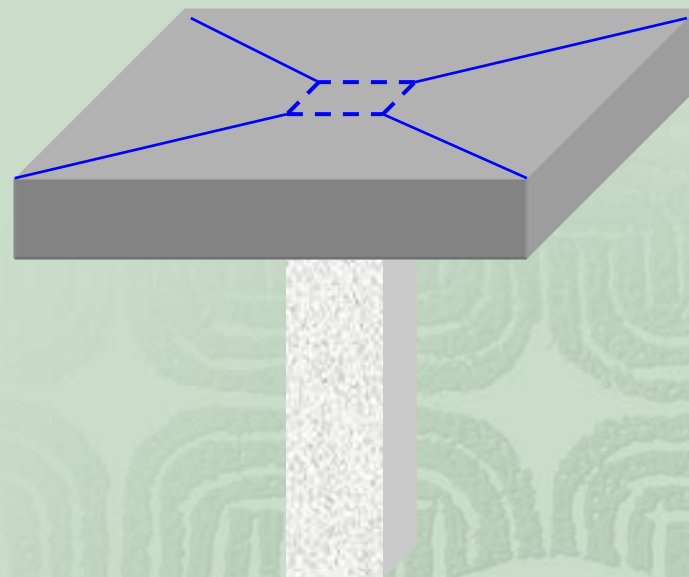




3. 基础板底配筋的确定

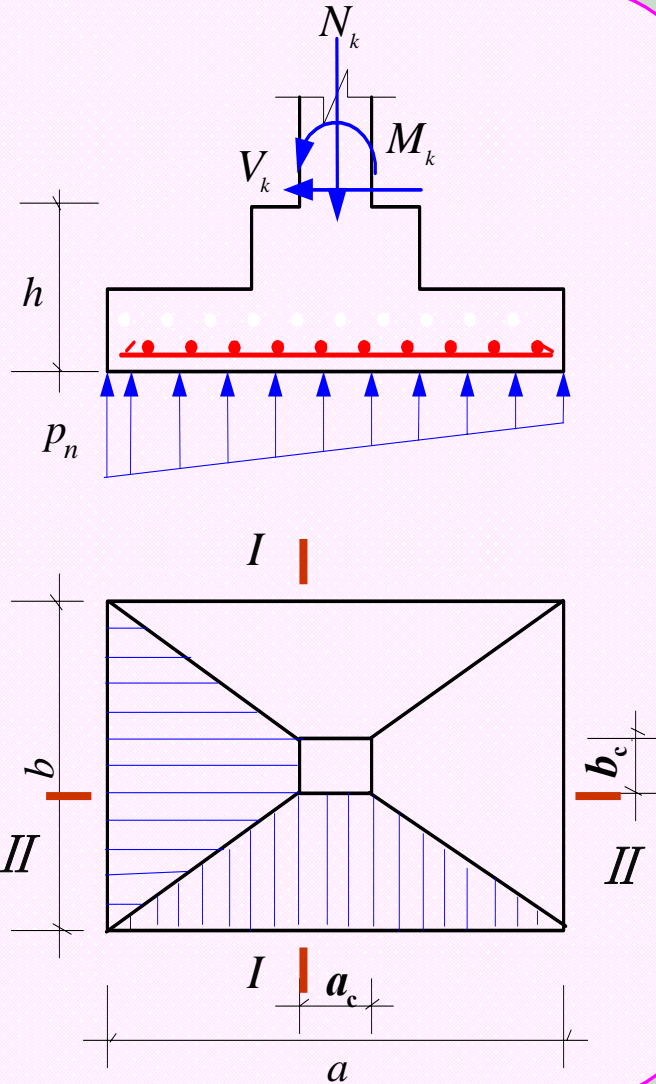


悬臂板



4 个梯形区域





板底配筋计算简图

◆轴心荷载作用

$I-I$ 截面:

梯形面积:
$$A = \frac{1}{4}(b + b_c)(a - a_c)$$

梯形面积的形心至计算截面的距离:

$$y_I = \frac{1}{6} \cdot \frac{(2b + b_c)(a - a_c)}{(b + b_c)}$$

$$M_I = p_j \cdot A \cdot y_I = \frac{p_j}{24} (a - a_c)^2 (2b + b_c)$$

$II-II$ 截面:

$$M_I = \frac{p_j}{24} (b - b_c)^2 (2a + a_c)$$



◆ 偏心荷载作用

*I-I*截面:

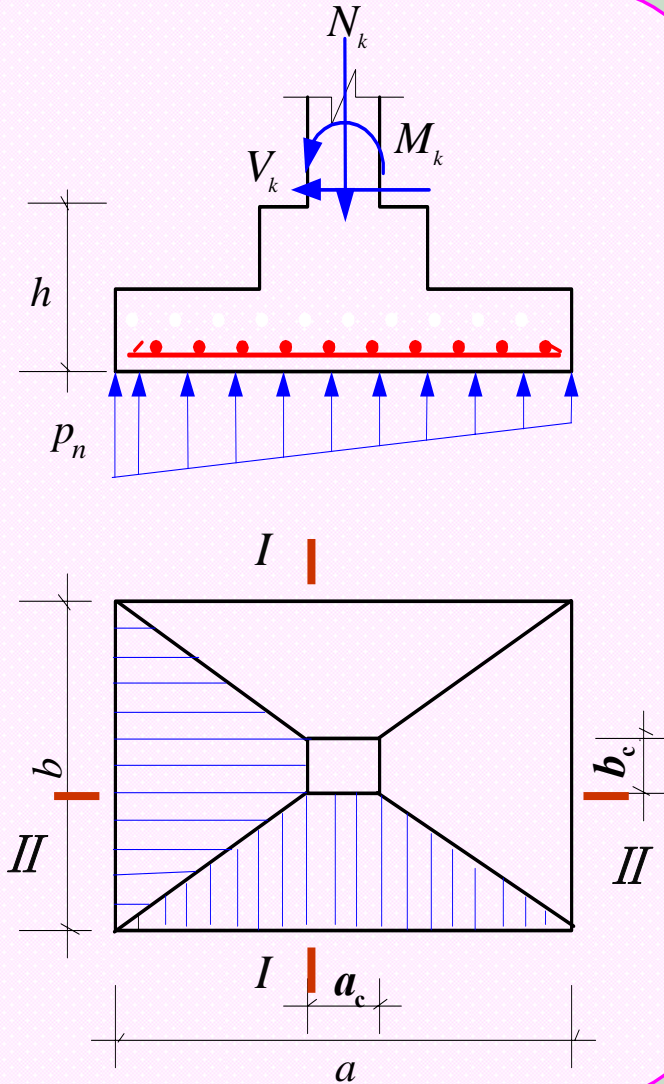
用 $(p_{j\max} + p_{jI})/2$ 代替 p_j

$$M_I = \frac{1}{24} \cdot \frac{p_{j\max} + p_{jI}}{2} (a - a_c)^2 (2b + b_c)$$

*II-II*截面:

用 $(p_{j\max} + p_{j\min})/2$ 代替 p_j

$$M_{II} = \frac{1}{24} \cdot \frac{p_{j\max} + p_{j\min}}{2} (a - a_c)^2 (2b + b_c)$$



板底配筋计算简图



由弯矩可确定在截面的受力钢筋

$$A_{sI} = \frac{M_I}{0.9 f_y h_{0I}}$$

相应短边方向所需的钢筋为：

$$A_{sII} = \frac{M_{II}}{0.9 f_y (h_{0I} - d)}$$



§ 2.8 屋架设计要点

2.8.1 屋架的高度和杆件截面尺寸

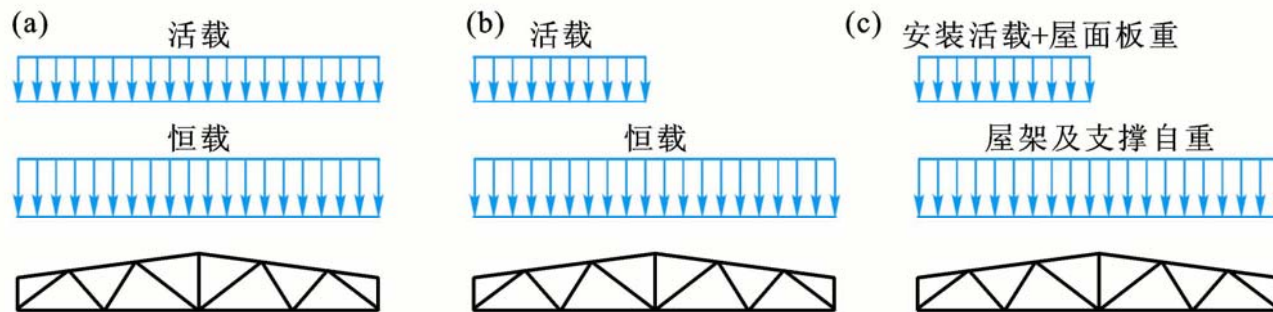
- ❖ 屋架高度与跨度之比一般取 $1/10 \sim 1/6$;
- ❖ 上、下弦截面宽度一般取 $200 \sim 240 \text{ mm}$;
- ❖ 上、下弦截面高度一般取 $180 \sim 140 \text{ mm}$;
- ❖ 上弦节间长度一般采用 3 m ，下弦节间长度为 $4.5 \sim 6.0 \text{ m}$;
- ❖ 腹杆长细比不应大于 40 (拉杆) 或 35 (压杆)。



2.8.2 荷载及荷载组合

❖ 设计屋架时应考虑三种荷载组合：

- 全跨恒载+全跨活载
- 全跨恒载+半跨活载
- 屋架自重恒载+半跨屋面板重+半跨屋面安装荷载

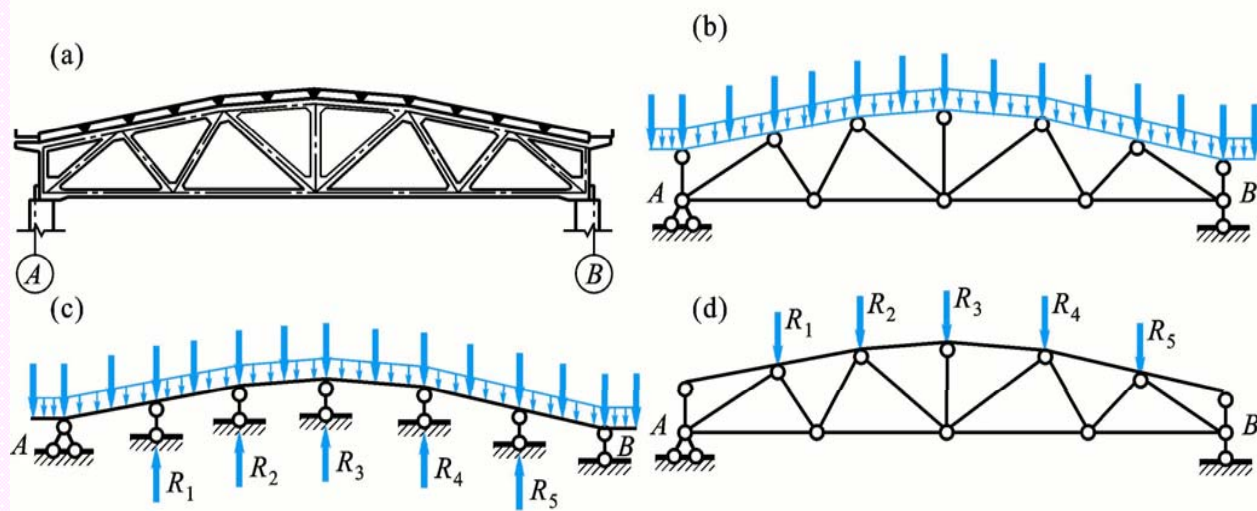


屋架荷载组合图



2.8.3 计算简图和内力计算

1. 按具有不动铰支座的连续梁计算上弦杆的弯矩；
2. 按铰支桁架计算各杆件的轴力。



屋架计算简图

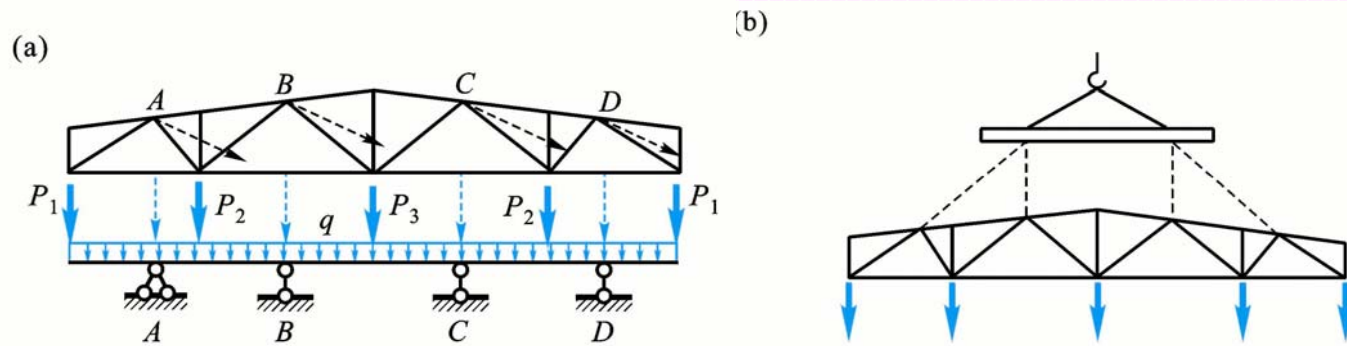


2.8.4 杆件截面设计和配筋构造要求

- ❖ 混凝土一般采用**C30~C50**；预应力钢筋采用钢绞线、螺旋肋钢丝，普通钢筋用**HRB335、HRB400**级。
- ❖ 屋架上弦杆为小偏心受压构件；下弦杆一般为轴心受拉构件；腹杆为轴心受力构件。



2.8.5 屋架的扶直和吊装验算



屋架扶直和吊装计算简图



§ 2.9 吊车梁设计要点

2.9.1 拟定截面尺寸

- ❖ 混凝土一般采用C30~C50；预应力钢筋采用钢绞线、螺旋肋钢丝，普通钢筋用HRB335、HRB400级。
- ❖ 吊车梁的截面一般为工字形或T形，高度取 $h=(1/10\sim 1/5)l$ 。 l 为吊车梁的跨度。



2.9.2 吊车梁的荷载特点及吊车梁验算项目

- ❖ 吊车荷载是两组移动的集中荷载：竖向轮压和横向水平制动力。
- ❖ 吊车荷载具有冲击和振动作用，设计时应考虑动力系数。
- ❖ 吊车荷载是重复荷载，设计时应进行疲劳验算。
- ❖ 吊车荷载使吊车梁产生扭矩。