



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

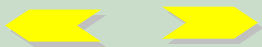
第3章

多层和高层框架结构设计



本章重点

- 了解框架结构的特点和适用范围；
- 熟悉框架结构的布置原则与方法；
- 掌握框架结构在竖向和水平荷载作用下的内力计算方法；
- 掌握框架结构的内力组合原则与方法；
- 熟悉框架结构在水平荷载作用下的侧移验算方法；
- 熟悉梁、柱的配筋计算和构造要求。



§ 3.1

概述

■ 房屋按高度和层数分类

低层

1~2层

多层

3~10层

高层

≥ 10层或 ≥ 28m



§ 3.1

概述

- 钢筋混凝土框架结构是多层和高层房屋的主要结构型式之一。

多层厂房



仪表厂、化工厂、轻型厂房等。

多、高层民用建筑



办公楼、商店、旅馆、住宅等。

- 框架结构以**15~20**层以下为宜。



§ 3.1

概述

- 工程实例：
- 北京长城饭店主楼，地下2层，地上22层，地上总高度82.85m.。

长城饭店



§ 3.1

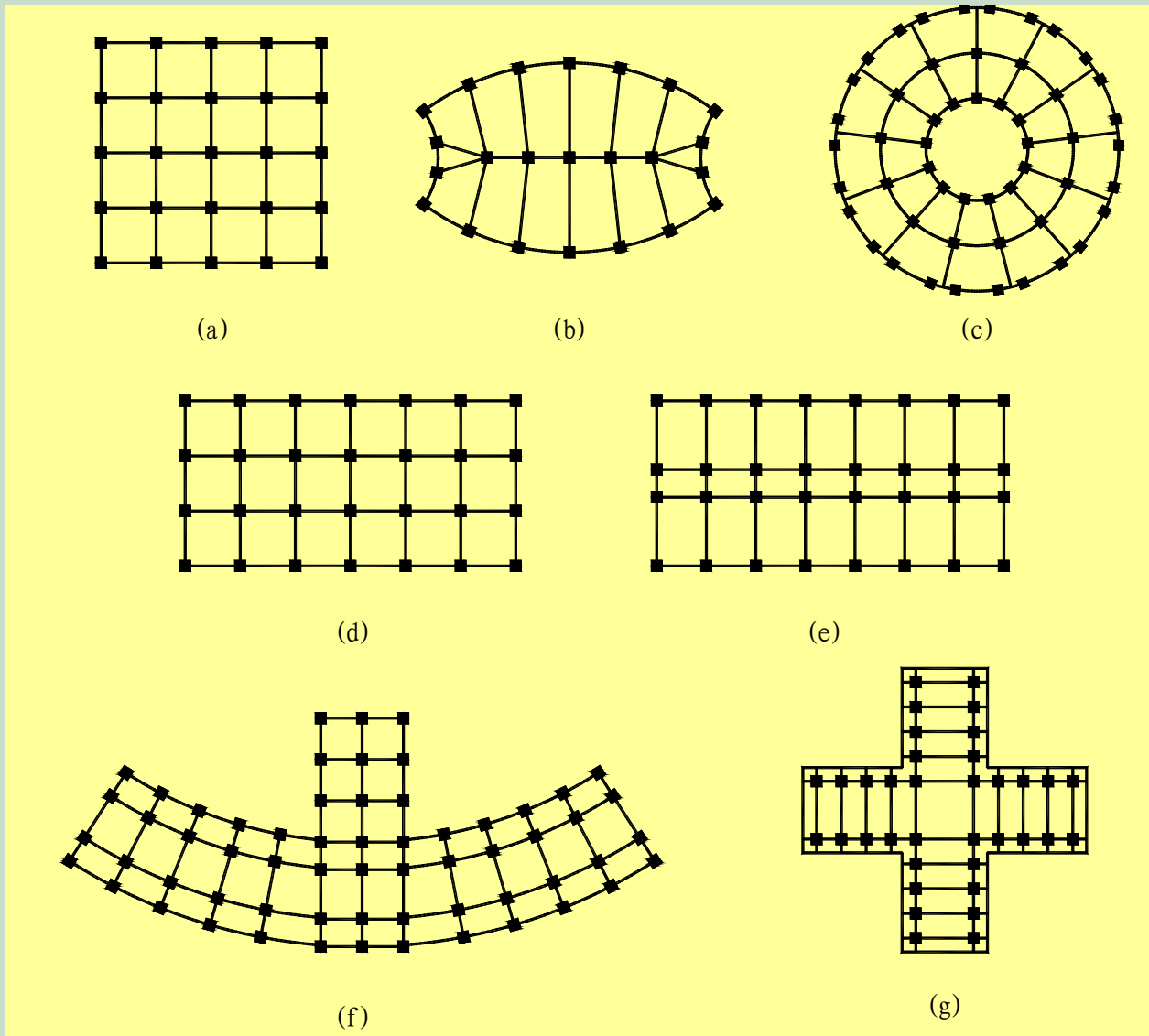
概述

- 框架结构的建筑:
- 北京的长富宫饭店
地下2层，地上26
层，地面总高度
90.85m 。

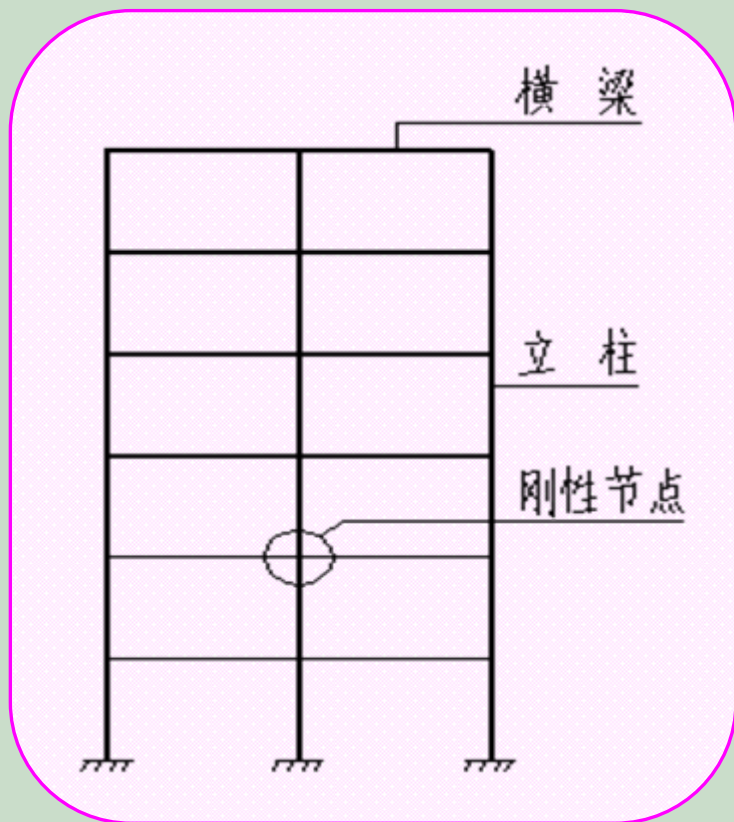
长富宫饭店



框架结构典型平面



■ 框架结构

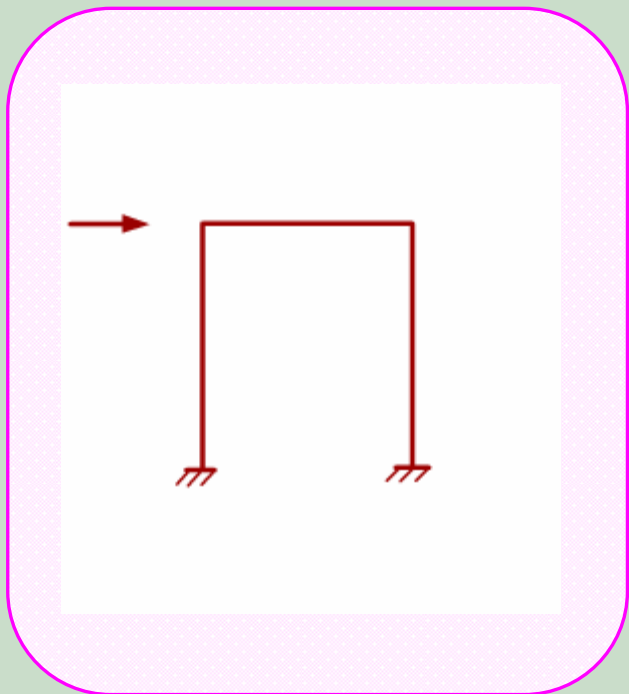


框架结构

优点

- 结构轻巧;
- 整体性好;
- 可形成大空间;
- 施工方便;
- 较为经济。





缺点

- 抵抗水平荷载能力差；
- 侧向刚度小，侧移大；
- 受地基的不均匀沉降影响大。

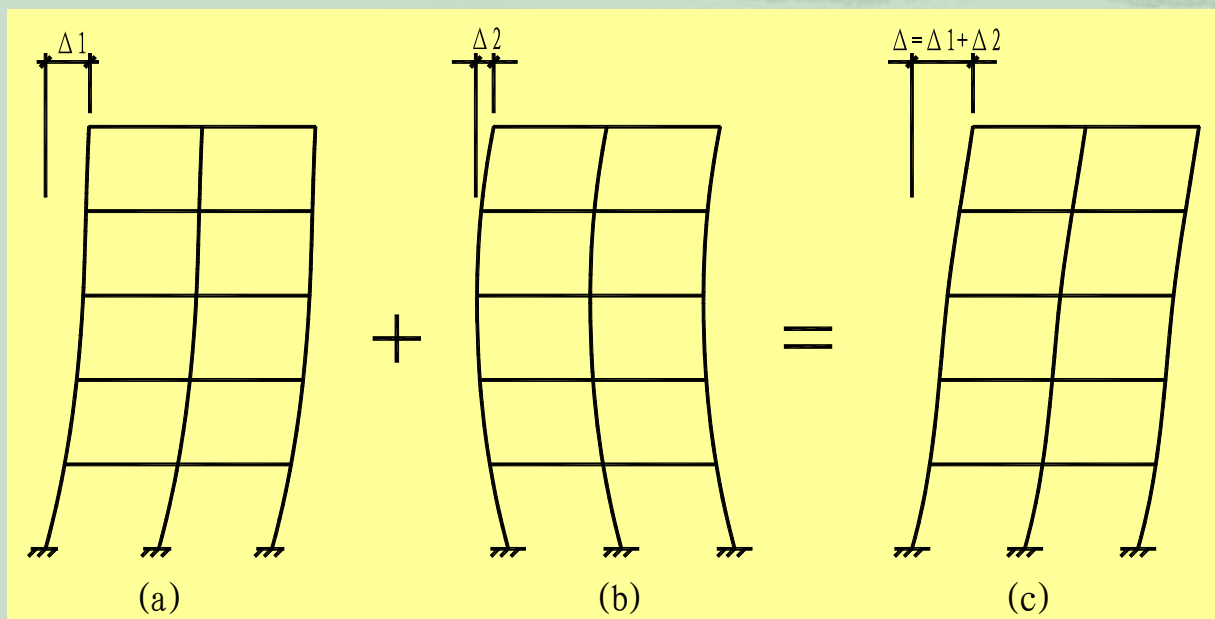
框架结构受
力变形动画



框架结构在水平力的作用下发生的侧移

- 整体剪切变形：框架结构整体受剪，层间梁柱杆件发生弯曲而引起的水平位移。框架下部的梁、柱内力大，层间变形也大，愈到上部层间变形愈小，使整个结构呈现剪切型变形。
- 整体弯曲变形：由柱子的拉伸和压缩所引起的水平位移。这种侧移在上部各层较大，愈到底部层间变形愈小，使整个结构呈现弯曲型变形；

框架结构中剪切变形是主要。



§ 3.2 结构布置方法

- 布置框架时，首先要确定柱网尺寸。
- 框架的抗侧刚度除了与柱断面尺寸有关外，梁的断面尺寸对抗侧刚度影响很大，但是由于抗震结构的延性框架要求，抗震框架的梁不宜太强，因此**抗震的钢筋混凝土框架柱网一般不宜超过6~8m。**
- 大柱网适用于建筑平面要求有较大空间的房屋，但将增大梁柱的截面尺寸。小柱网梁柱截面尺寸小，适用于饭店、办公楼、医院病房楼等分隔墙体较多的建筑。在有抗震设防的框架房屋中，过大的柱网将给实现强柱弱梁及延性框架增加一定困难。
- **抗震设计的框架结构不宜采用单跨框架。**

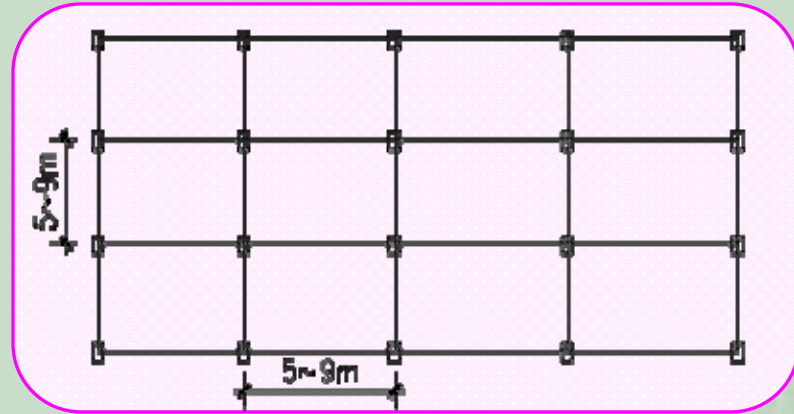
§ 3.2 结构布置方法

3.2.1 结构布置的一般原则

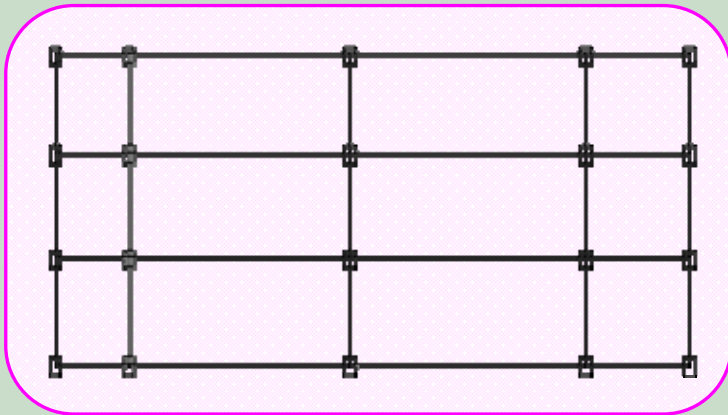
- 满足使用要求，并尽可能与建筑的平、立剖面划分相一致；
- 满足人防、消防要求，使水、暖、电各专业的布置能有效地进行；
- 结构尽可能简单、规则、均匀、对称，构件类型少；



■ 平面布置



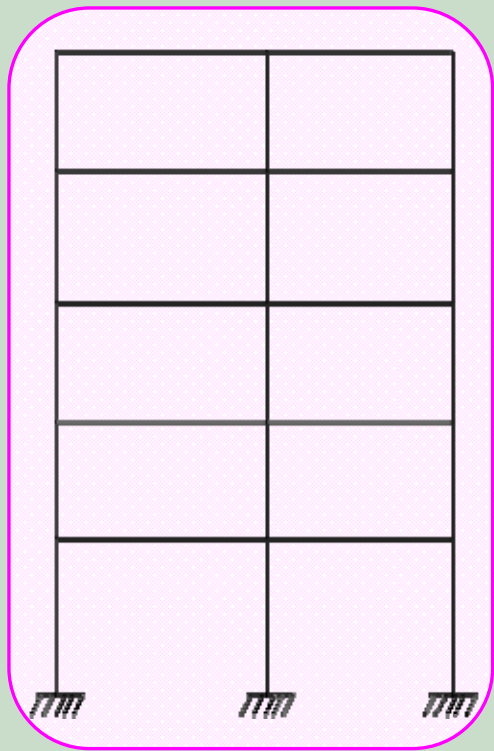
好



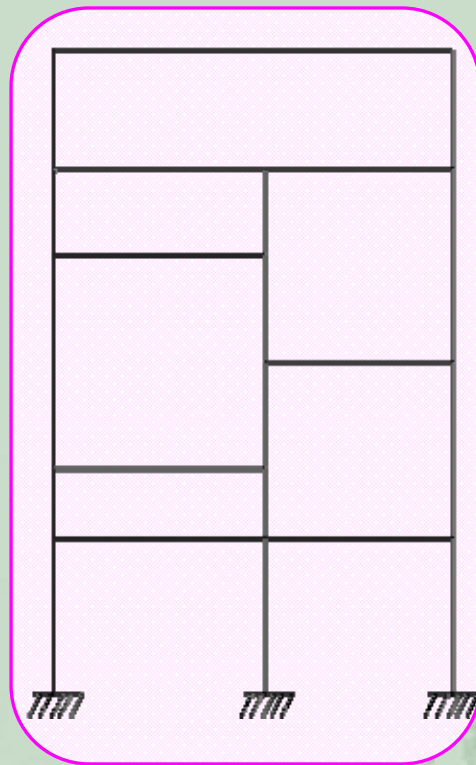
差



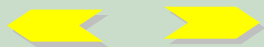
■ 竖向布置



好



差

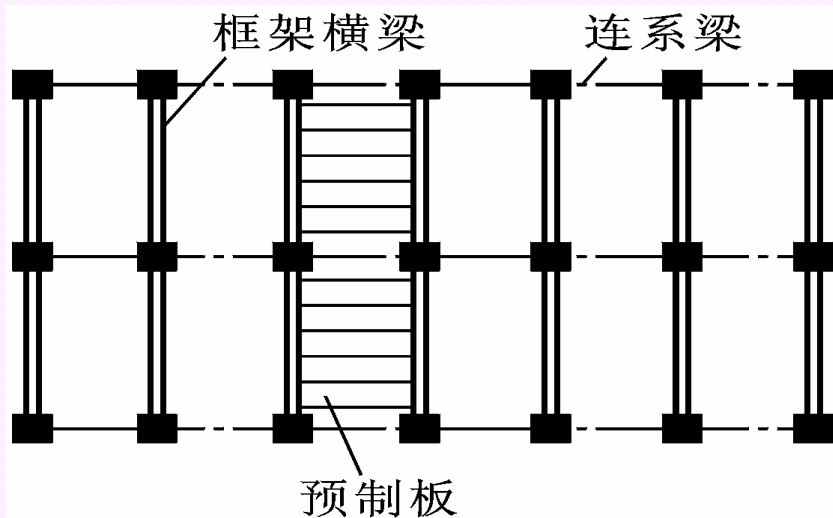


- 妥善地处理温度、地基不均匀沉降以及地震等因素对建筑的影响；
- 施工简便；
- 经济合理。



3.2.2 结构布置方法

■ 横向布置



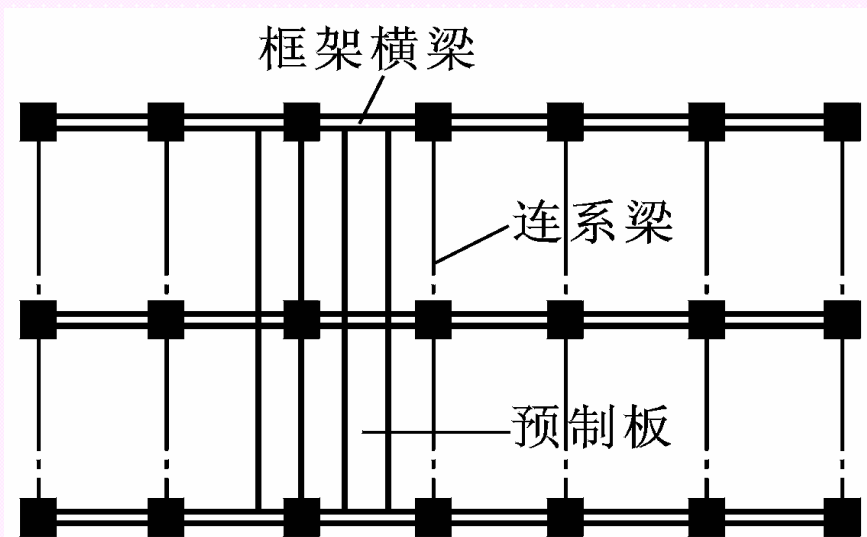
横向承重

特点

- 房屋横向刚度大，侧移小；
- 横梁高度大，室内有效净空小。
- 非抗震时使用



■ 纵向布置



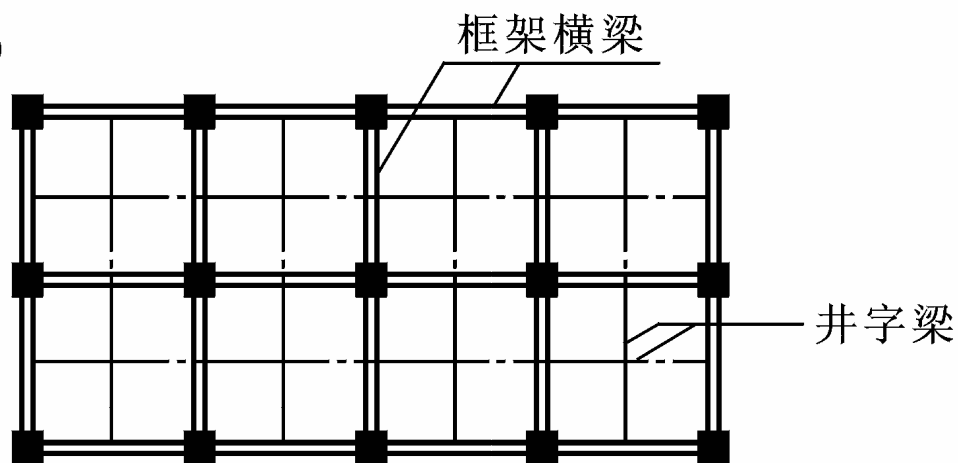
纵向承重

特点:

- 连系梁截面较小，框架梁截面尺寸大，室内有效净空高；
- 对纵向地基不均匀沉降较有利；
- 房屋横向刚度小，侧移大。



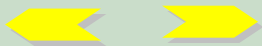
■ 双向布置



特点:

- 整体性好，受力好；
- 适用于整体性要求较高和楼面荷载较大的情况。

双向承重



§ 3.3 截面尺寸估算

3.3.1 框架梁

■ 框架梁截面尺寸估算

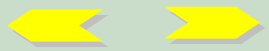
梁净跨与截面高度之比不宜小于4

一般情况下:
$$h_b = \left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{18} \right) l_0 \quad \dots 3-1$$

$$b_b = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4} \right) h_b \quad \dots 3-2$$

梁的截面宽度不宜小于200mm

- l_0 —— 梁的计算跨度;
- h_b —— 梁的截面高度;
- b_b —— 梁的截面宽度。



■ 框架梁线刚度

$$i_b = \frac{E_c I}{l}$$

...3-3

式中： E_c ——混凝土弹性模量；

I —— 框架梁截面惯性矩，见表3.3.1；

l —— 框架梁的跨度。

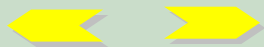
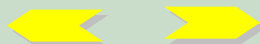


表3.3.1 框架梁惯性矩取值

楼板类型	边框架梁	中框架梁
现浇楼板	$I=1.5I_0$	$I=2.0I_0$
装配整体式楼板	$I=1.2I_0$	$I=1.5I_0$
装配式楼板	$I=I_0$	$I=I_0$

注： I_0 为梁按矩形截面计算的惯性矩， $I_0 = \frac{1}{12}bh^3$ 。



3.3.2 框架柱

■ 框架柱截面尺寸估算

多层建筑:

$$b_c = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{18} \right) H_i \quad \dots 3-4$$

$$h_c = (1 \sim 2) b_c \quad \dots 3-5$$

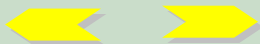
框架柱的截面边长不宜小于**250 mm**，圆柱的截面直径不宜小于**350 mm**，剪跨比宜大于**2**

截面的高宽比不宜大于**3**

H_i —— 第*i*层层高;

h_c —— 柱截面高度;

b_c —— 柱截面宽度。



高层建筑：

$$N = (1.1 \sim 1.2) N_v$$

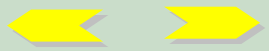
$$\frac{N}{f_c b_c h_c} = 1.0$$

...3-6

N —— 柱中轴向力。

N_v —— 柱支承的楼面荷载面积上竖向荷载产生的轴向力设计值。可近似将楼面板沿柱轴线之间的中线划分，恒载和活载的分项系数均取**1.25**，或近似取**12~14 kN/m²**进行计算。

f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值。



■ 框架柱线刚度

$$i_c = \frac{E_c I}{H_i}$$

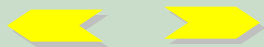
...3-7

E_c —— 混凝土弹性模量；

I —— 框架柱截面惯性矩。

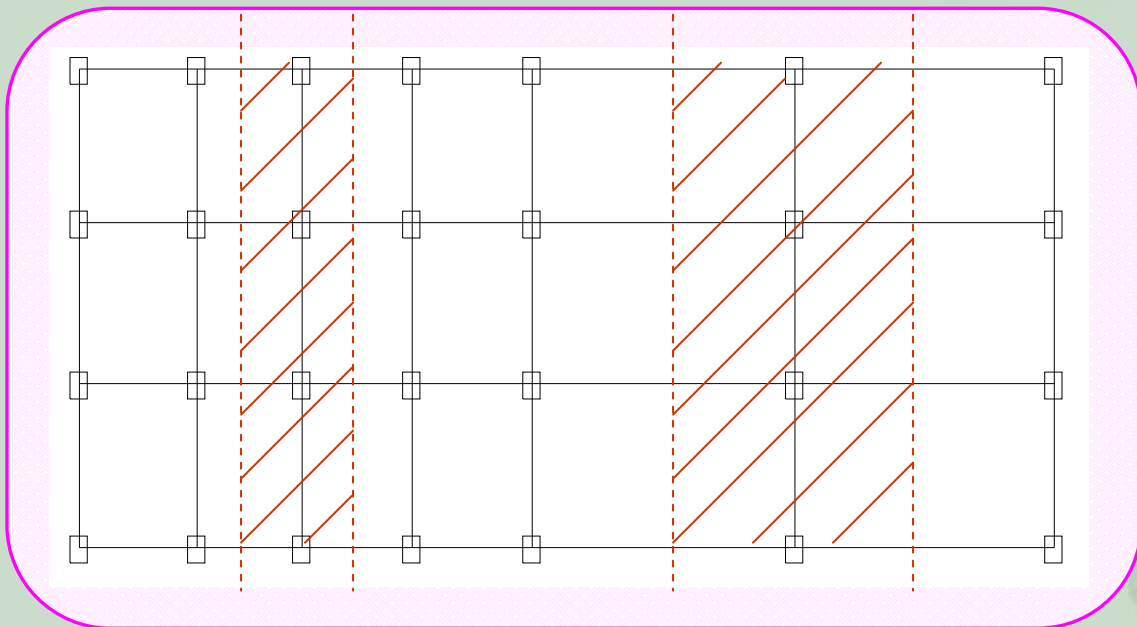
$$I = \frac{1}{12} b_c h_c^3$$

...3-8



§ 3.4 计算简图的确定

■ 计算单元的选择



计算单元选取



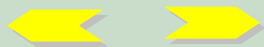
■ 计算简图

➤ 节点的简化

- 有抗震设防的框架结构，或非地震区层数较多的房屋框架结构，横向和纵向均应设计为**刚接框架**。设计成双向梁柱抗侧力体系。主体结构除个别部位外，不应采用铰接。梁柱刚接可增大结构的刚度和整体性。

➤ 跨度与层高的确定

- 跨度——取柱子轴线之间的距离。
 - 柱子轴线：以最小截面（上柱）的形心线来确定。
- 柱高——相应的建筑层高，**底层柱则从基础顶面算起。**

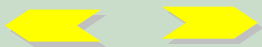


■ 计算简图

➤ 多层框架结构无地下室时底层层高的确定

① 《混凝土结构设计规范》规定：框架结构底层层高为从基础顶面到一层楼盖顶面的高度；

② 参照《砌体结构设计规范》，当基础埋置较深且有刚性地坪并配构造钢筋时，底层层高可取室外地面以下**500mm**到一层楼盖顶面高度。

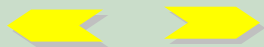


■ 计算简图

➤ 多层框架结构无地下室时底层层高的确定

③当为柱下独立基础，基础埋置深度又较深时，为了减小底层柱的计算长度和底层位移，可在**0.000**以下适当位置设置基础拉梁。此时宜将从基础顶面至首层顶面分为两层：从基础顶面至拉梁顶面为**1层**，从拉梁顶面至首层顶面为**2层**，及将原结构增加**1层**分析。

➤ 抗震设计时，当多层建筑的结构高宽比符合刚性建筑要求时，对于无地下室的多层框架结构，若埋置深度较浅，建议采用第一种算法；若埋置深度较深，可采用第二、第三种计算方法。



■ 计算简图

- 柱的计算长度（附录11）
- 一般多层房屋中梁柱为刚接的框架结构，各层柱的计算长度 l_0 可按下表中取用。（《混结构设计规范》第7.3.11条）

框架结构各层柱的计算长度 l_0

附表11.2

楼盖类型	柱的类型	l_0
现浇楼盖	底层柱	1.0H
	其余各层柱	1.25H
装配式楼盖	底层柱	1.25H
	其余各层柱	1.5H

注：表中 H 对底层柱为从基础顶面到一层楼盖顶面的高度；对其余各层柱为上下两层楼盖顶面之间的高度。

■ 计算简图

➤ 柱的计算长度

当水平荷载产生的弯矩设计值的75%以上时，框架柱的计算长度 l_0 可按下列两个公式计算，并取其中较小者：

$$l_0 = [1 + 0.15(\psi_u + \psi_l)]H$$

$$l_0 = (2 + 0.2\psi_{\min})H$$

式中：

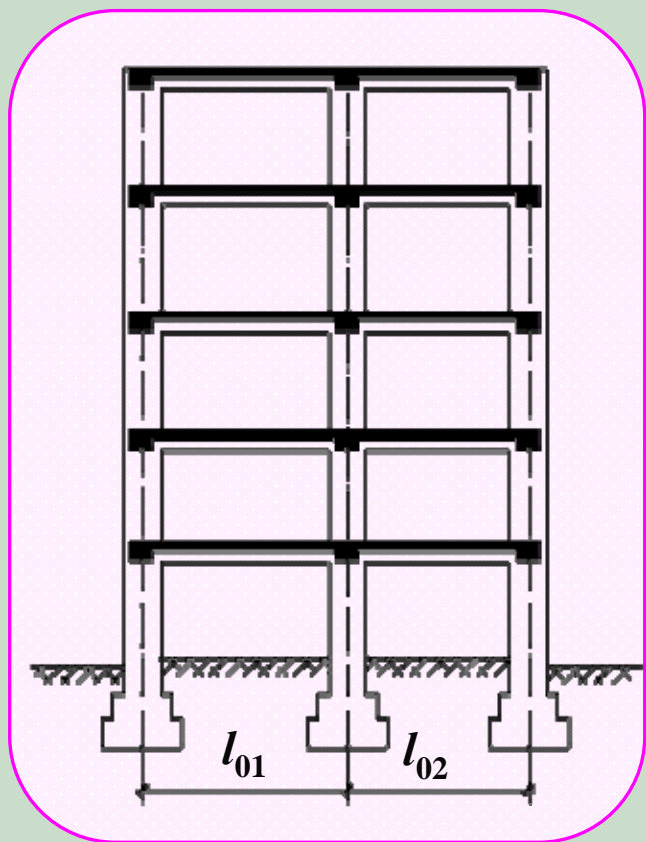
ψ_u, ψ_l ——柱的上端下端节点交汇的各柱线刚度之和与交汇的各梁线刚度之和的比值；

ψ_{\min} ——比值 ψ_u, ψ_l 的较小值；

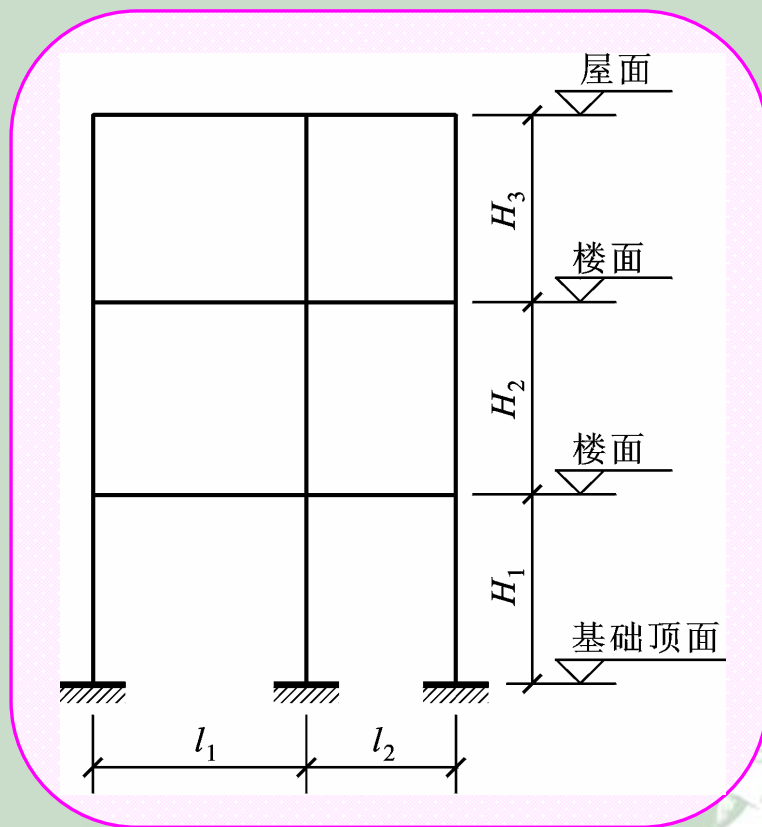
H ——柱的高度。按附表11.2的注采用。



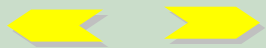
■ 计算简图



实际结构



计算简图



§ 3.5 荷载计算

框架荷载

垂直荷载

恒载

框架自重；粉灰重；板、次梁、墙体重。

人群、家具、设备等荷载，取值见《建筑结构荷载规范》，可折减。

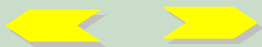
活载

水平荷载

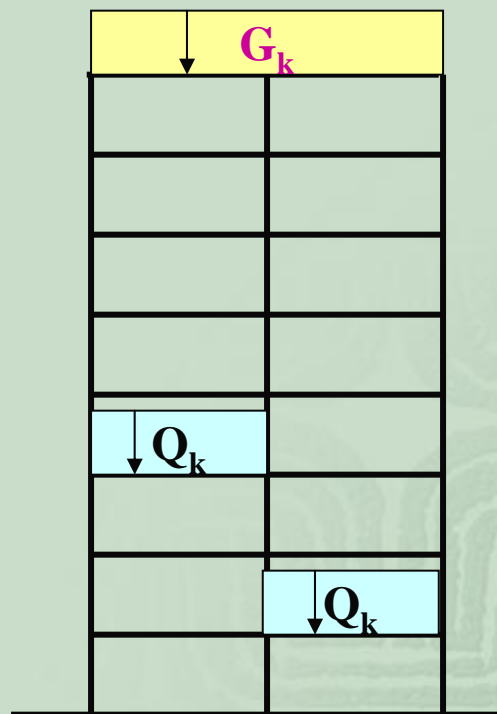
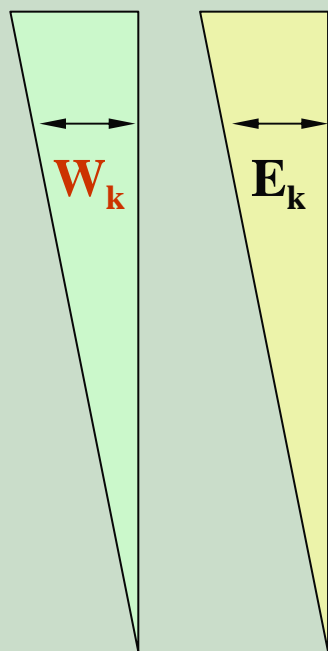
风载

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0$$

地震作用



§ 3.5 荷载计算



风荷载的计算

- 垂直于建筑物表面上的风荷载标准值

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

ω_0 - 基本风压值 (kN/m²) ;

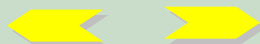
μ_s - 风载体型系数 ;

μ_z - 风压高度变化系数 ;

β_z - z 高度处的风振系数。

按荷载规范附表
D.4, 不得小于
0.3kN/m²

- 对于特别重要或对风荷载比较敏感的高层建筑, 其基本风压值应按100年重现期的风压值采用。 (一般情况下, 房屋高度H>60m, 按100年重现期的风压值计算。)



风荷载的计算

- 风载体型系数 μ_s ——附录5.2
- 风压高度变化系数 μ_z ——附表5.1

地面粗糙度的分类:

- ∞ **A类**指近海海面和海岛、海岸、湖岸及沙漠地区;
- ∞ **B类**指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区;
- ∞ **C类**指有密集建筑群的城市市区;
- ∞ **D类**指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。



风荷载的计算

■ 风振系数 β_z

- ∞ 波动风压使建筑物在平均侧移附近振动。对于高度较大、刚度较小的高层建筑，波动风压会产生不可忽略的动力效应。
- ∞ 目前采用加大风载的办法来考虑这个动力效应，在风压值上乘以风振系数 β_z 。

$$\beta_z = 1 + \frac{\varphi_z \xi v}{\mu_z}$$

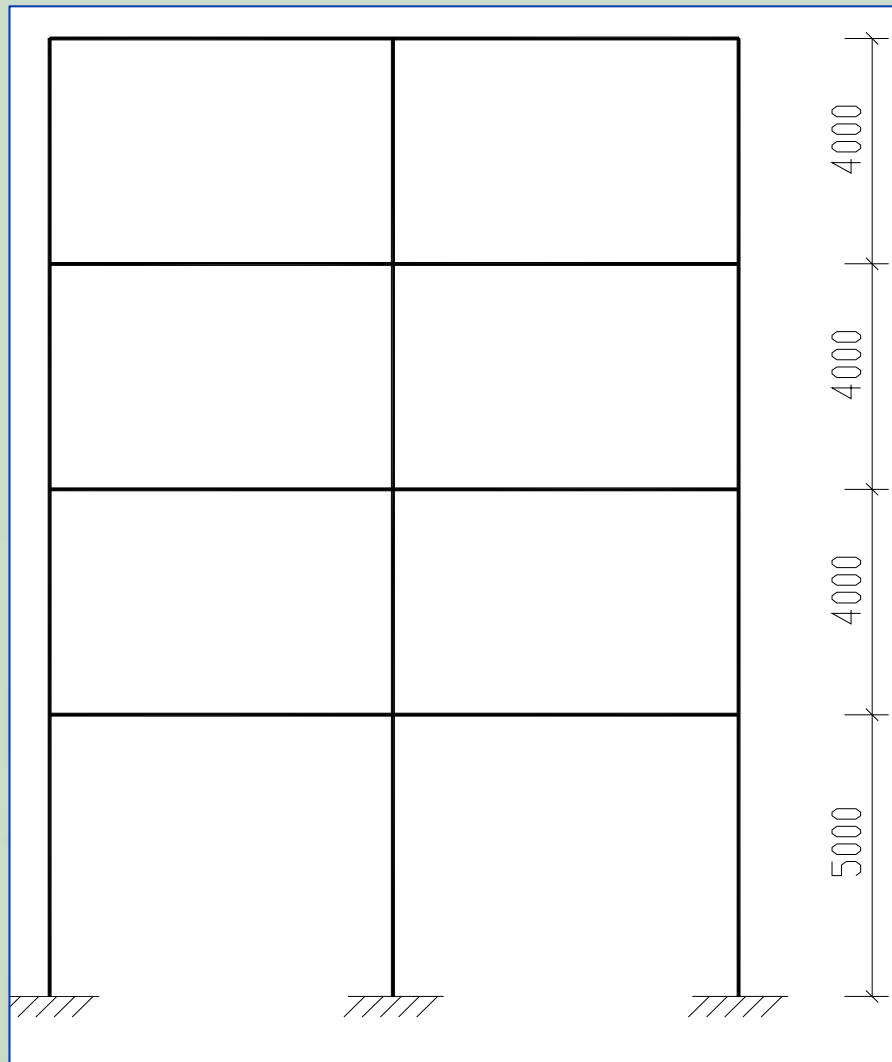
- φ_z ——振型系数；
- ξ ——脉动增大系数；（附表5.4）
- v ——脉动影响系数；（附表5.5）
- μ_z ——风压高度变化系数。

高度不大于**30m**或高宽比小于**1.5**的房屋结构，取 $\beta_z = 1.0$ 。

风荷载的计算

补充例题1:

已知某框架结构，如右图所示， $H = 17\text{m}$ ， $H/B = 1.0$ ， $\omega_0 = 0.6\text{KN/m}^2$ ，B类地面粗糙度，迎风面 $\mu_s = 0.8$ ，背风面 $\mu_s = -0.5$ ，该榀框架的计算单元为6m。试作出该框架结构在风荷载作用下的计算简图。



风荷载的计算

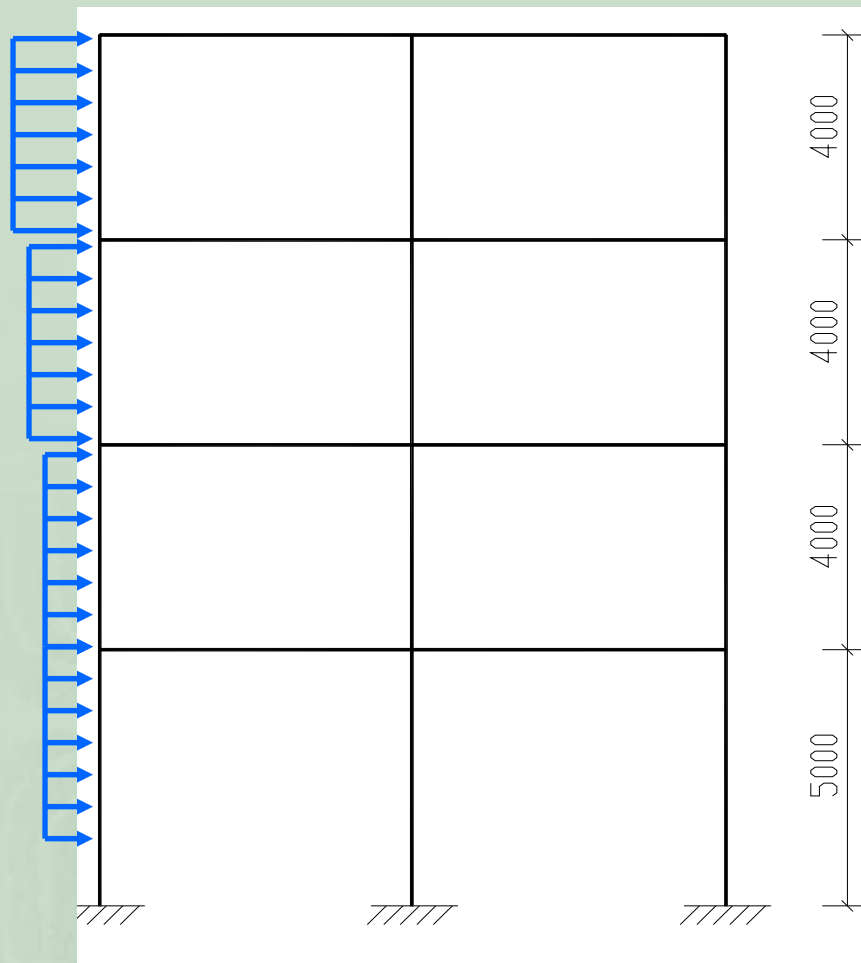
- 解: $\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0$
 且 $H < 30 m \therefore \beta_z = 1$
 $\mu_s = 0.8 + 0.5 = 1.3$

	高度	μ_z	β_z	μ_s	ω_0	ω_k
1	5	1	1	1.3	0.6	0.78
2	9	1	1	1.3	0.6	0.78
3	13	1.112	1	1.3	0.6	0.87
4	17	1.228	1	1.3	0.6	0.96



风荷载的计算

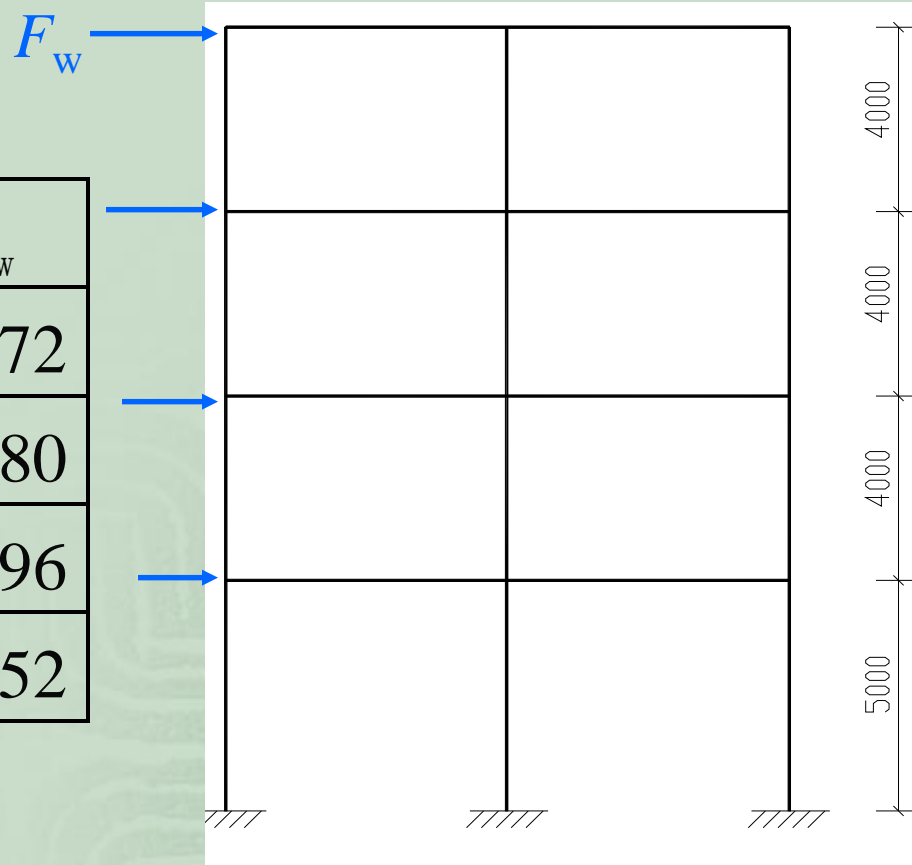
	高度	μ_z	β_z	μ_s	ω_0	ω_k
1	5	1	1	1.3	0.6	0.78
2	9	1	1	1.3	0.6	0.78
3	13	1.112	1	1.3	0.6	0.87
4	17	1.228	1	1.3	0.6	0.96



风荷载的计算

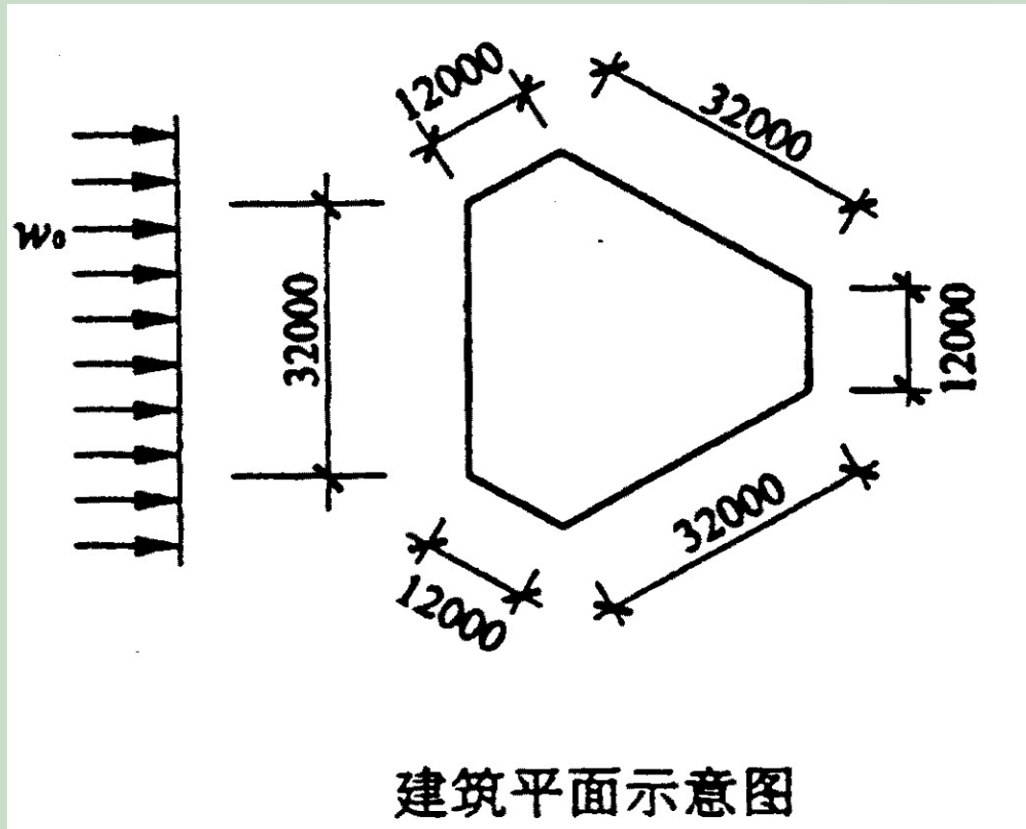
$$F_{w,k} = \omega_k \cdot B \cdot h_w$$

	高度	μ_z	β_z	μ_s	ω_0	ω_k	F_w
1	5	1	1	1.30	0.6	0.78	18.72
2	9	1	1	1.30	0.6	0.78	19.80
3	13	1.112	1	1.30	0.6	0.87	21.96
4	17	1.228	1	1.30	0.6	0.96	11.52



补充例题2

- 有密集建筑群的城市市区中的某建筑，总高度65m，平面为切角正三角形，如图：



补充例题2

1) 假设基本风压，当重现期为10年时， $\omega_0=0.40\text{KN/M}^2$ ，当为50年时， $\omega_0=0.55\text{KN/M}^2$ ，100年时， $\omega_0=0.60\text{KN/M}^2$ 。结构基本周期 $T=2.9\text{S}$ ，试确定该建筑脉动增大系数 ξ 与以下何数值相近？

A. 1.59 **B. 1.60** C. 1.67 D. 1.69

- 《高层混凝土结构技术规程》3.2.2，房屋高度 $H=65\text{m}>60\text{m}$ ，按100年重现期的风压值计算。

∞ 表3.2.6-1，市区，C类

- $\omega_0 T_1^2 = 0.6 \times 0.6 \times 2.9 \times 2.9 = 3.12 \text{kN} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^2$
- $\xi = 1.54 + 1.12 * (1.65 - 1.54) / 2 = 1.6016$



补充例题2

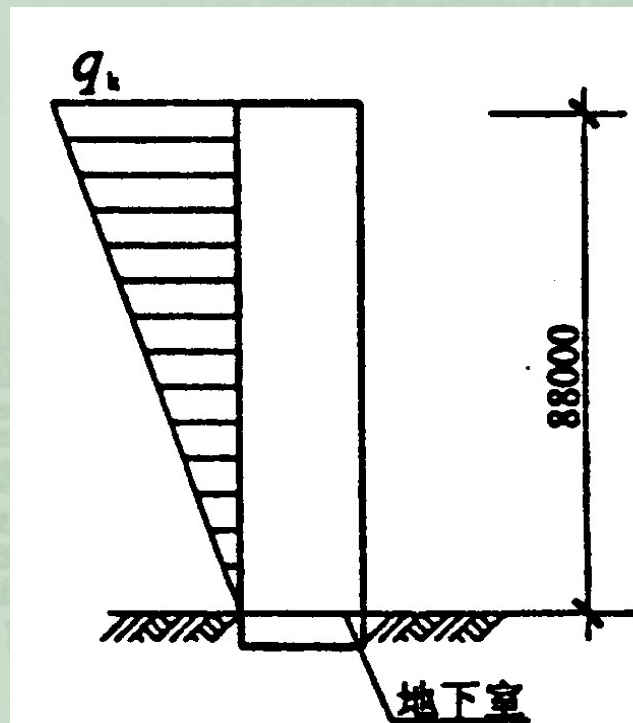
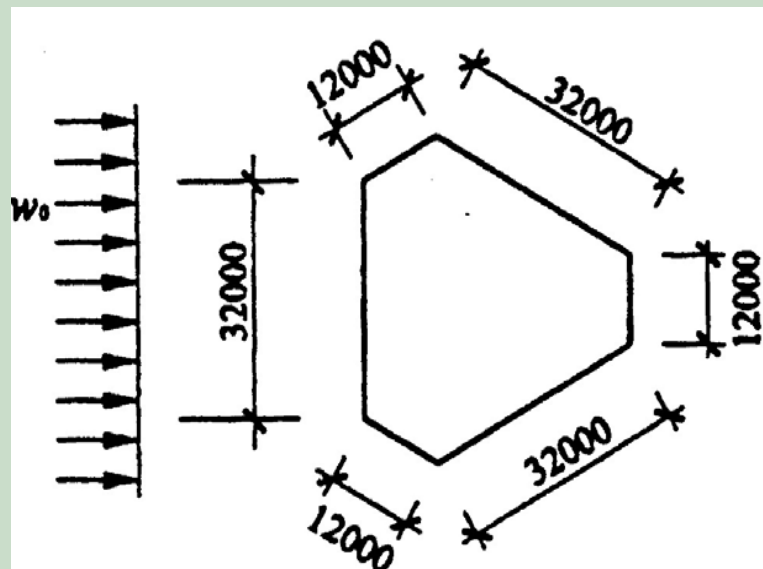
2) 风作用方向见图，竖向荷载 q_k 呈倒三角形分布，如下图，

$$q_k = (\mu_{si} B_i) \beta_z \mu_z \omega_0;$$

式中 i 为6个风作用面的序号， B 为每个面宽度在风作用方向的投影；试问：

$\mu_{si} B_i$ 值与下列何值接近？

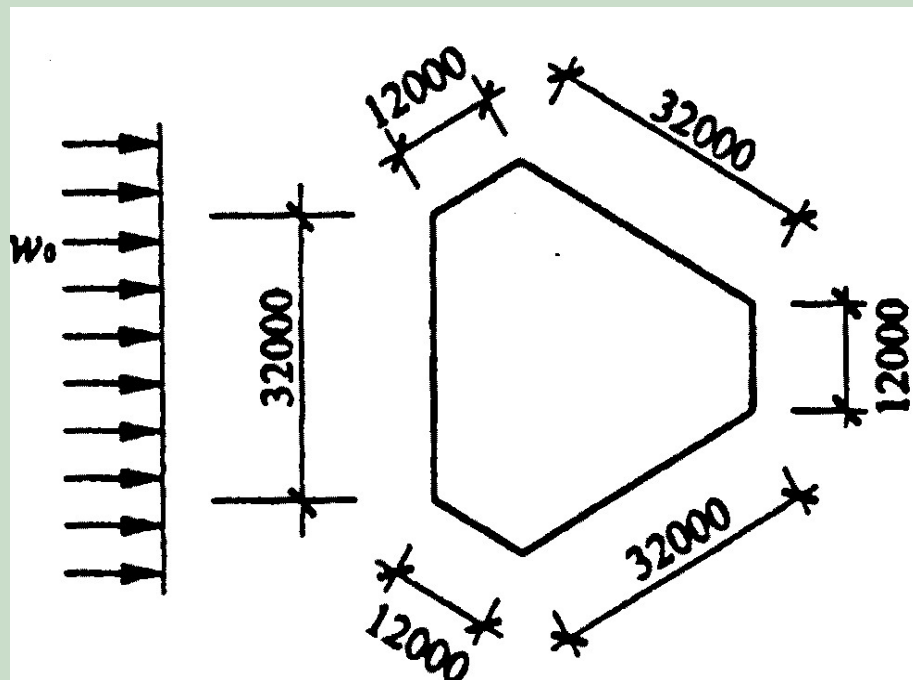
- A. 36.8 B. 42.2
C. 57.2 D. 52.8



补充例题2

$\mu_{si}B_i$ 值与下列何值接近？

- A. 36.8 B. 42.2
C. 57.2 D. 52.8



■ 解答过程：

∞ 由《建筑结构荷载规范》GB50009-2001表 7.3.1，30项：

$$\begin{aligned} \infty \mu_{si}B_i &= 0.8 \times 32 - 2 \times 0.45 \times 12 \times \cos 60 \\ &\quad + 2 \times 0.5 \times 32 \times \cos 60 + 0.5 \times 12 = 42.2\text{m} \end{aligned}$$

■ 2) 正确答案是B。

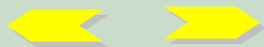
§ 3.6

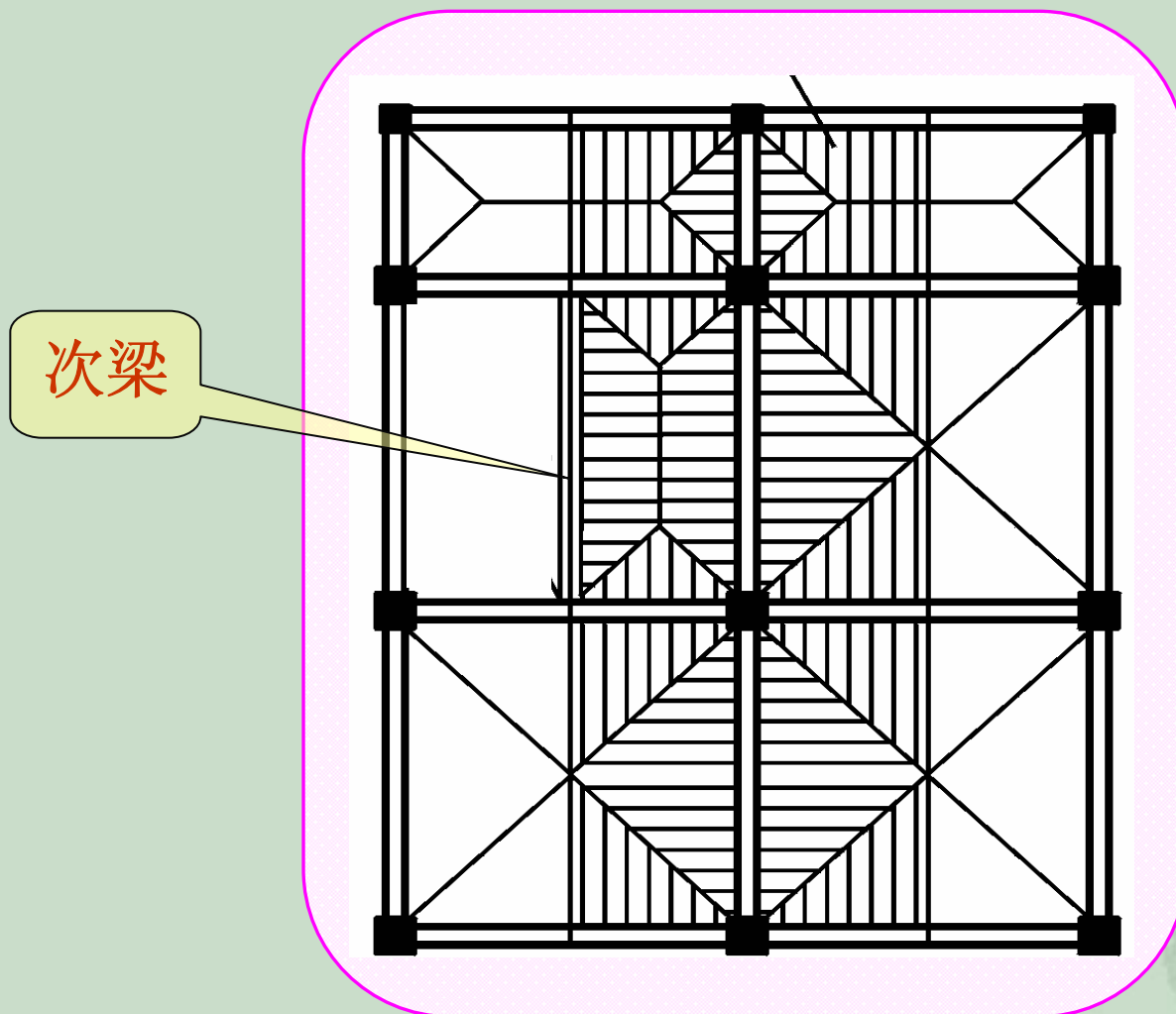
内力计算

3.6.1 竖向荷载下的内力计算

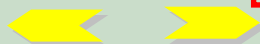
■ 1. 楼面荷载分配原则

- 当采用装配式或装配整体式楼盖时，板上荷载通过预制板的两端传递给它的支承结构；
- 当采用现浇楼盖时，楼面上的恒载和活载根据每个区格板两个方向的边长比，沿单向或双向传递，区格板长边/短边 >3 时沿单向传递，长边/短边 ≤ 3 时沿双向传递。



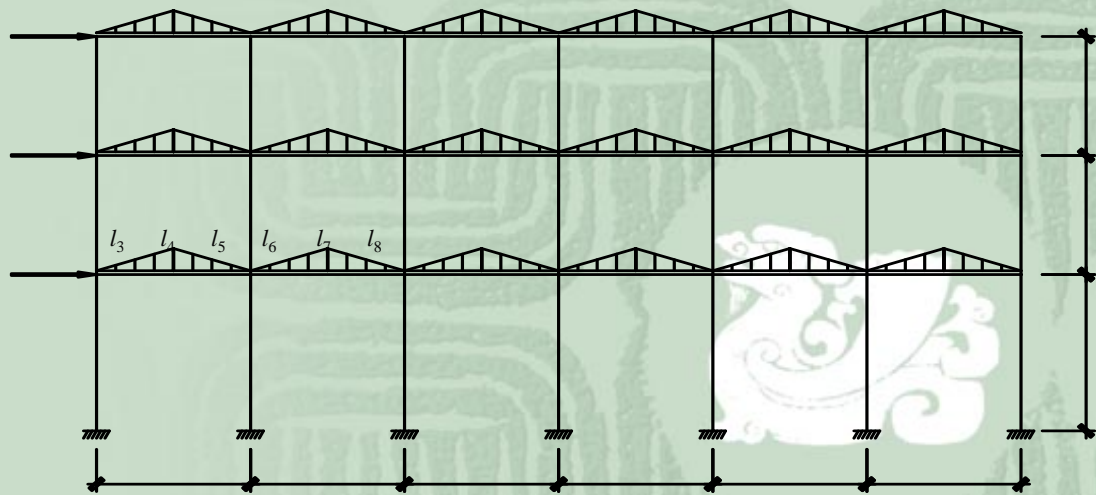
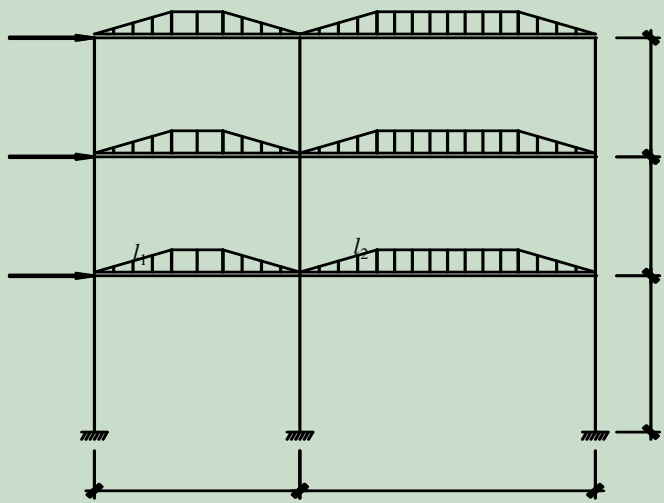
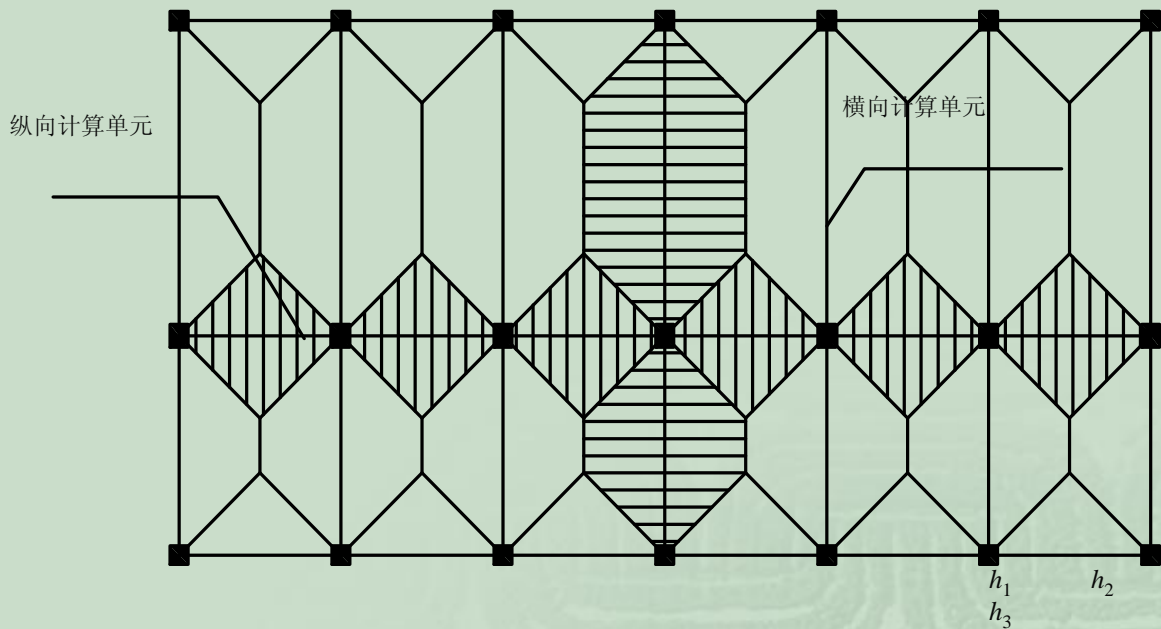
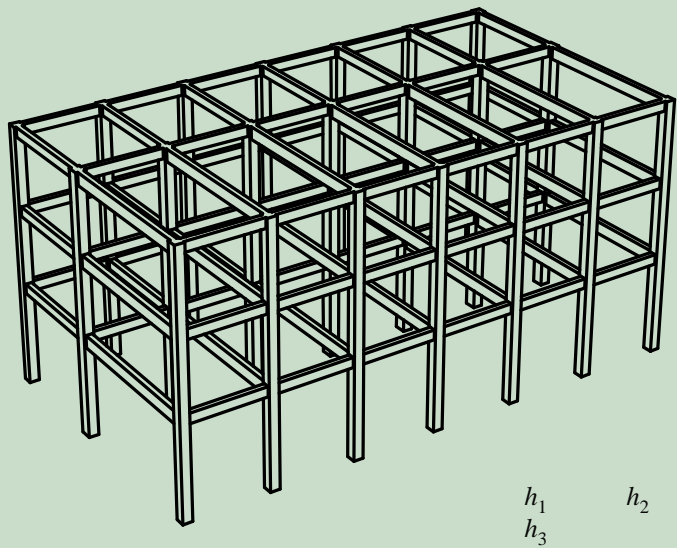


现浇楼盖荷载传递示意图



混凝土结构设计

第三章



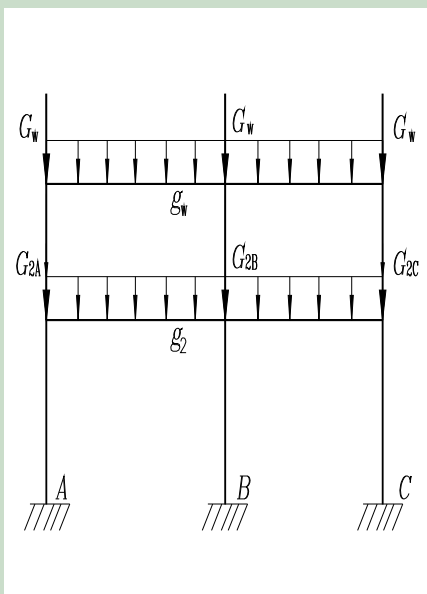
框架结构计算单元与计算简图

■2. 竖向活载最不利布置

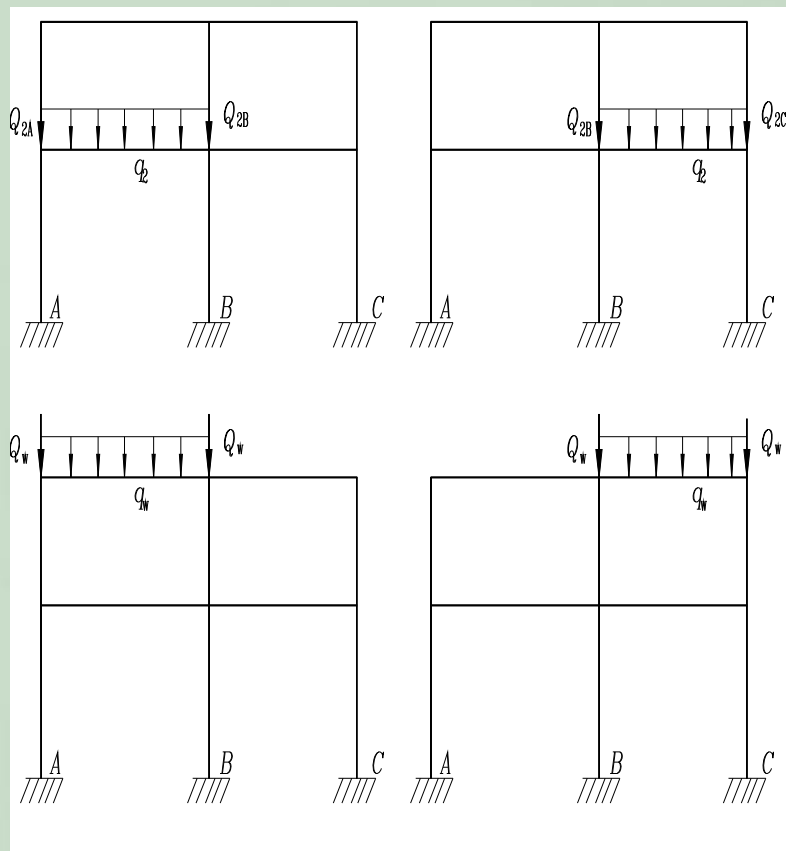
(1) 逐跨布置法

恒载一次布置，楼屋面活载逐跨单独作用在各跨上，分别算出内力，再对各控制截面组合其可能出现的最大内力。

恒载一次布置

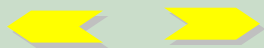
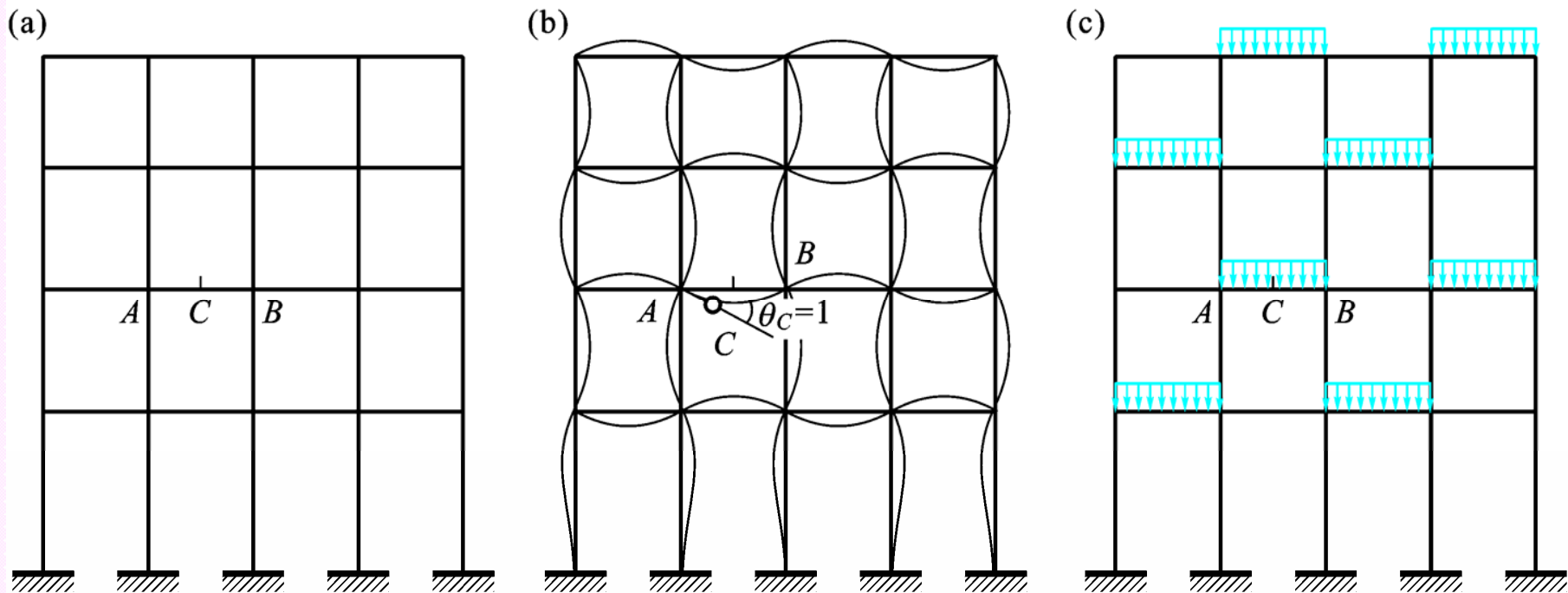


活载分跨布置



(2) 最不利荷载布置法

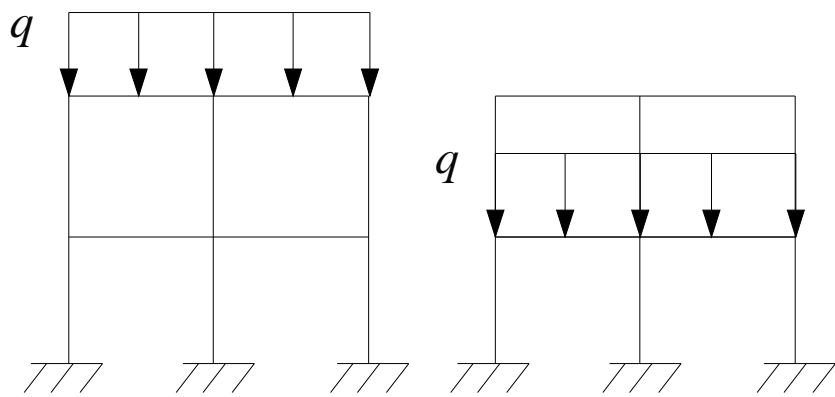
恒载一次布置，楼屋面活载根据影响线，直接确定产生某一指定截面最不利内力的活载布置。此法用手算方法进行计算很困难。



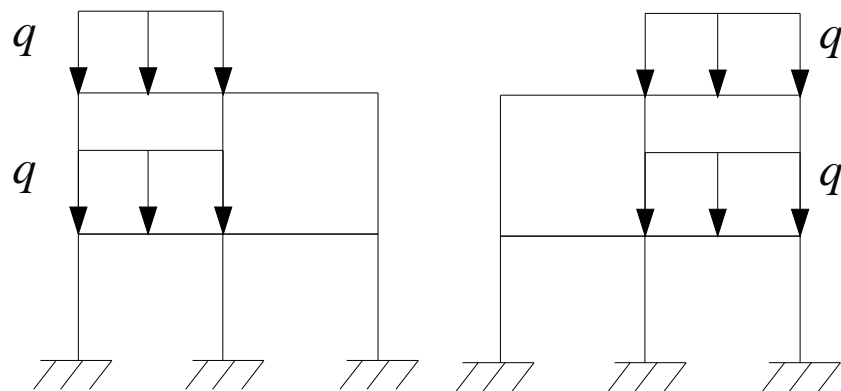
最不利荷载的布置

(3) 分层布置法或分跨布置法

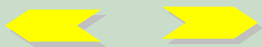
恒载一次布置，为简化计算，当活载与恒载的比值不大于3时，可近似将活载一层或一跨做一次布置，分别进行计算，然后进行最不利内力组合。



分层布置法

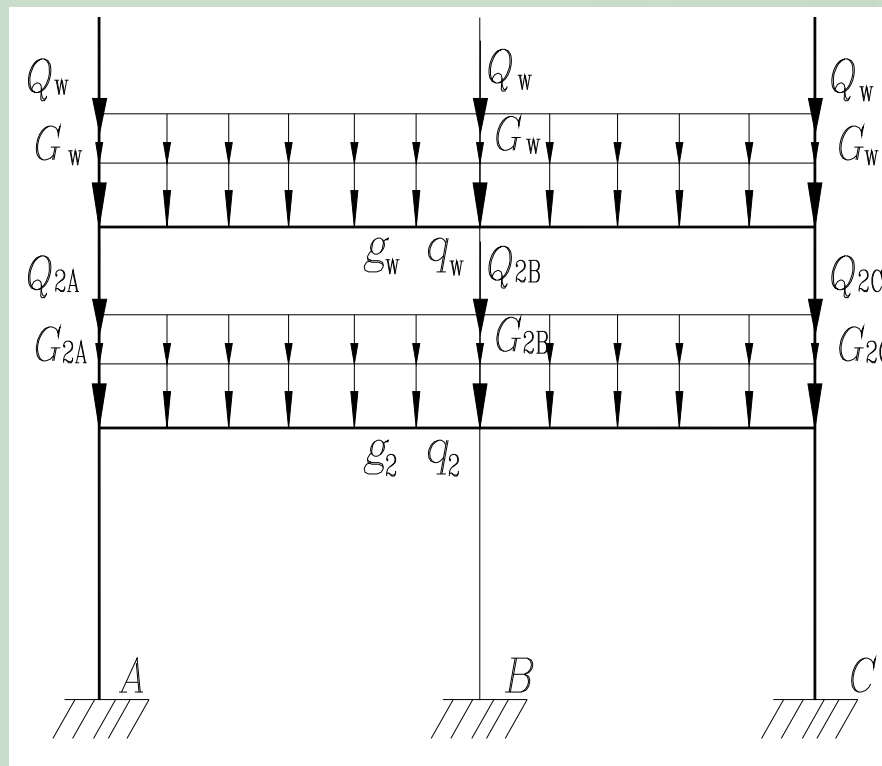


分跨布置法



(4) 满布荷载法

当活载与恒载的比值不大于1时，可不考虑活载的最不利布置，把活载同时作用于所有的框架上，这样求得的支座处的内力可直接进行内力组合。但求得的梁跨中弯矩应乘以1.1~1.2的系数予以增大。



■3. 竖向荷载作用下的内力计算方法

- 层数不多（2~4层）——弯矩分配法
- 层数较多（4~10层）——分层法
- 系数法

竖向荷载作用下框架的受力特点：

- (1) 侧移较小；
- (2) 在框架某一层施加外荷载时，该层梁及相邻柱的弯矩较大，而其他各层梁、柱弯矩很小，尤其是当梁的线刚度大于柱的线刚度时，这一特点更加明显。

■3. 竖向荷载作用下的内力计算方法

(1) 分层法

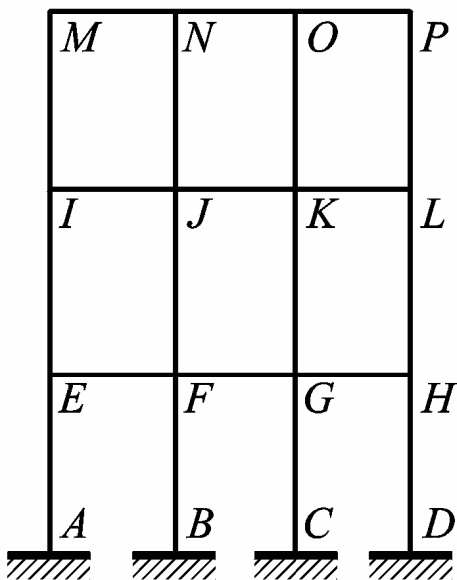
基本假定

- 忽略垂直荷载作用下框架结构的侧移；
- 每层梁上的荷载只在本层梁及与其相连的上、下层柱产生内力，不在其他层梁和其他层柱上产生内力。

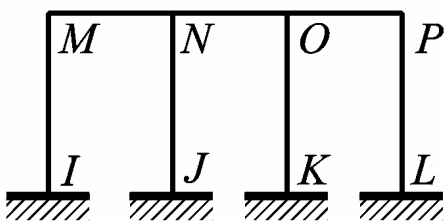


根据以上假定，多、高层框架可分层作为若干个彼此互不关连的且柱端为完全固定的简单刚架（单层）近似计算。简单刚架可用**弯矩分配法**计算，一般循环2次。

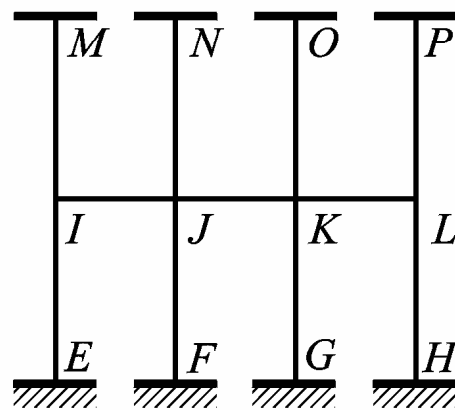
(a)



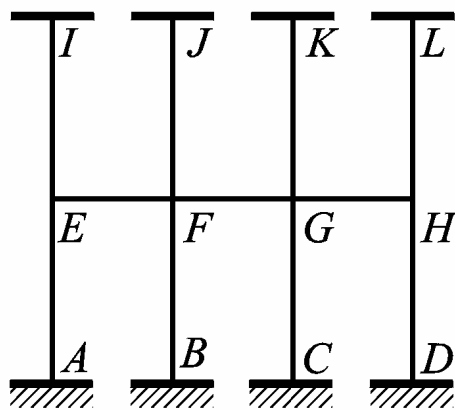
(b)



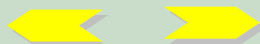
(c)



(d)

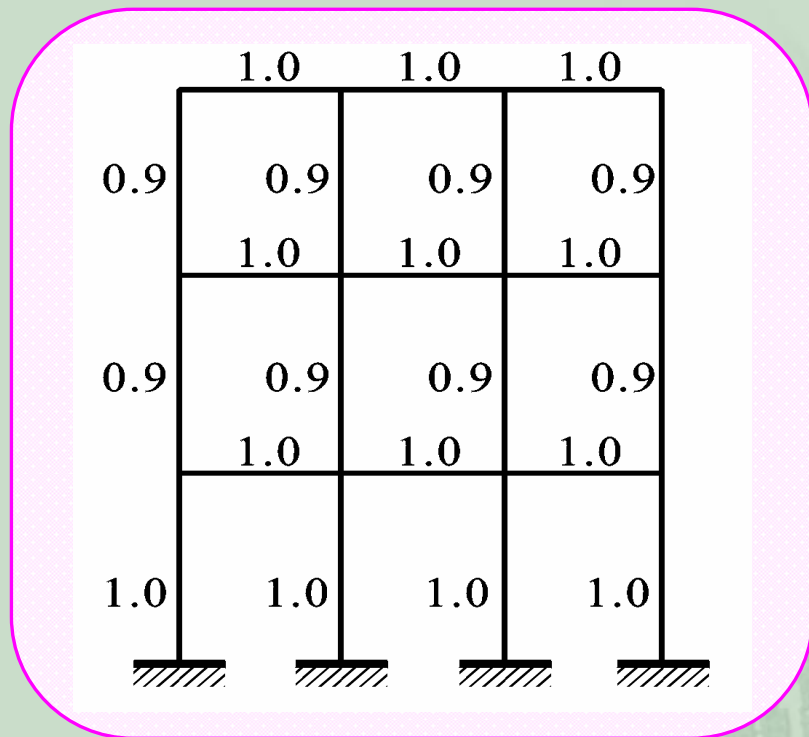


分层法计算示意图



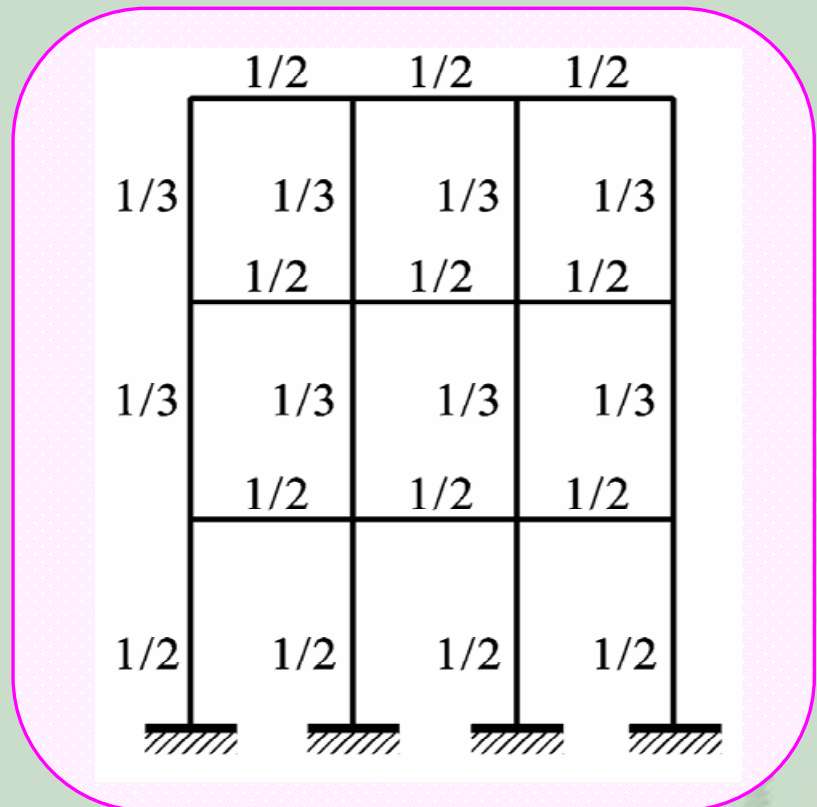
注意事项:

- 由于除底层外上层各柱的柱端实际为弹性固定，计算简图中假定为完全嵌固，为减少计算误差，除底层柱外，上层各柱的线刚度乘以0.9的修正系数。

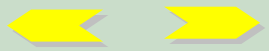


线刚度修正

- 考虑除支座外，框架各节点为弹性固定，因此底层柱的弯矩传递系数取 $1/2$ ，其他各层柱的弯矩传递系数取 $1/3$ ；



传递系数修正



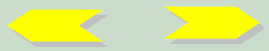
分层法计算步骤:

- (1) 画出框架计算简图(标明荷载。轴线尺寸、节点编号等);
- (2) 按规定计算梁、柱的线刚度及相对线刚度;
- (3) 除底层柱外, 将其他各层的各柱线刚度(或相对线刚度)乘以折减系数**0.9**;

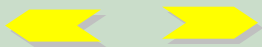
(4) 计算各节点的弯矩分配系数;

$$\text{分配系数} = \frac{\text{某杆近端的转动刚度}}{\text{交汇于节点各杆的转动刚度总和}}$$

- (5) 用弯矩分配法从上至下 **分层计算**各个计算单元的杆端弯矩;
- (6) 叠加有关杆端弯矩; 对节点 (特别是边节点) 不平衡力矩再作一次弯矩分配;
- (7) 由静力平衡条件求轴力和剪力。



- 分层法计算的各梁弯矩为最终弯矩，各柱的最终弯矩为与各柱相连的两层计算弯矩叠加；
- 在内力与位移计算中，所有构件均可采用弹性刚度。
- 各杆端弯矩计算得出后，根据平衡条件可以求得相应的剪力和轴力。



补充内容

由静力平衡条件求轴力和剪力

■ 1. 剪力

∞ 1) 梁端剪力

$$V_{\text{左}} = V_0 + \frac{|M_{\text{左}}| - |M_{\text{右}}|}{l}$$

$$V_{\text{右}} = V_0 + \frac{|M_{\text{右}}| - |M_{\text{左}}|}{l}$$

- V_0 ——将该跨框架梁按简支梁所求得的剪力；
- $M_{\text{左}}$ 、 $M_{\text{右}}$ ——该跨框架梁左端、右端的弯矩；
- l ——该跨框架梁的跨度。



补充内容

由静力平衡条件求轴力和剪力

■ 1. 剪力

☞ 2) 柱端剪力

$$V = \frac{|M_{\text{上}}| + |M_{\text{下}}|}{h}$$

- $M_{\text{上}}$ 、 $M_{\text{下}}$ ——该层框架柱上端、下端的弯矩；
- h ——该层框架柱的高度。



补充内容

由静力平衡条件求轴力和剪力

■ 2.轴力

∞ 1) 顶层柱的轴力

$N_{上} = V_l +$ 由纵向框架梁（连系梁）传来的轴力

$N_{下} = N_{上} +$ 该层柱的自重

∞ 2) 中间层柱、底层柱的轴力

$N_{上} = N_{下(上层)} + V_l +$ 由纵向框架梁（连系梁）传来的轴力

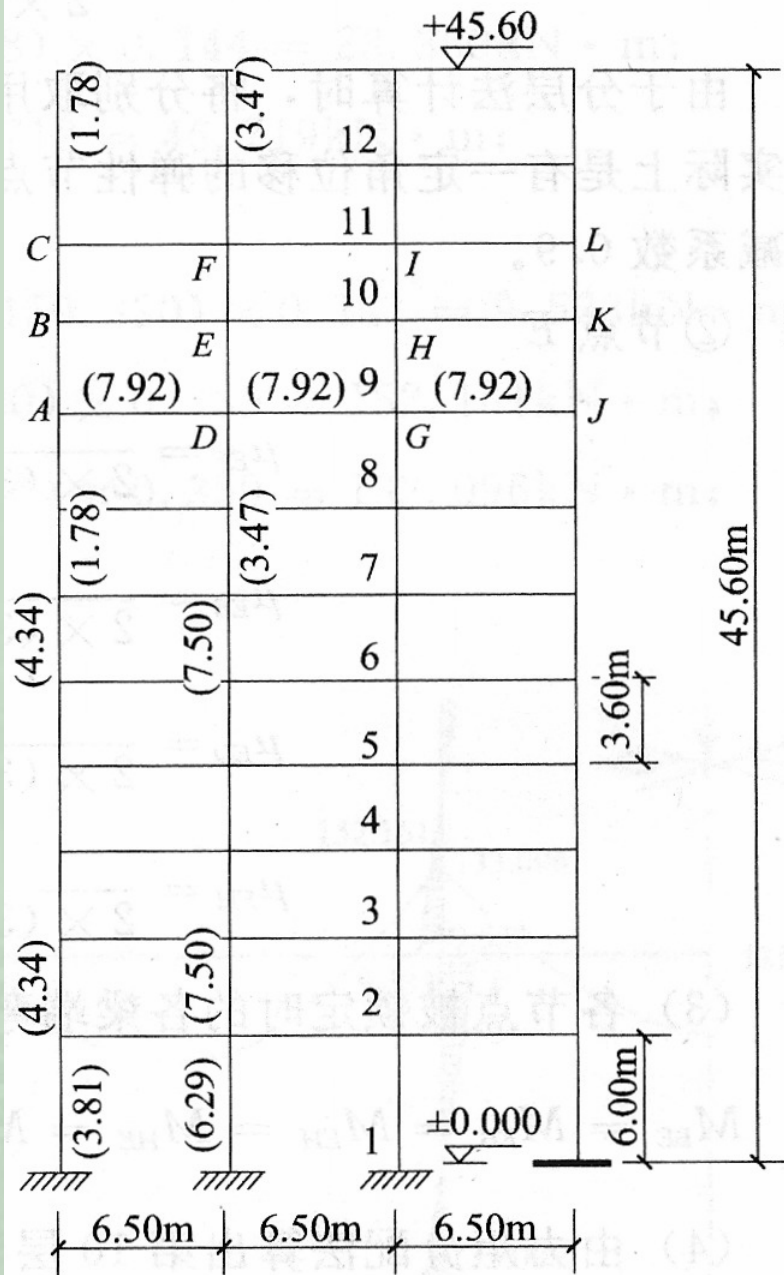
$N_{下} = N_{上} +$ 该层柱的自重

- $N_{上}$ 、 $N_{下}$ ——所计算层柱的上端、下端轴力；
- $N_{下(上层)}$ ——所计算层的上一层柱的下端轴力；
- V_l ——计算层柱上端所在节点的梁端剪力。



例题讲解

『例题3.1』今有一高层钢筋混凝土客房楼的框架结构高 45.60m，共 12 层，底层高 6m，其他各层层高 3.6 m。梁柱的混凝土强度等级均采用 C30，弹性模量 $E = 3.0 \times 10^4 \text{N} / \text{mm}^2$ 。框架结构的剖面尺寸，见图。横梁的跨度为 6.50m，截面尺寸为 300mm × 700 mm，与板整浇，线刚度 $7.92 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{mm}$ ；柱的截面尺寸及其线刚度，见下表。



例题讲解

『例题3.1』

表 7-3-1 柱截面尺寸及其线刚度

项 目	边 柱	中 柱
第 7~12 层		
截面尺寸	400mm×400mm	400mm×500mm
线刚度	$1.78 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$	$3.47 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$
第 2~6 层		
截面尺寸	500mm×500mm	500mm×600mm
线刚度	$4.34 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$	$7.50 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$
底层		
截面尺寸	550mm×550mm	550mm×650mm
线刚度	$3.81 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$	$6.29 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$

例题讲解

【例题3.1】 已知该楼各层横梁承受了竖向荷载设计值为 35kN/m 。试用分层法求该楼在上述荷载时第10层各杆的弯矩值。

【解】：（1）梁、柱线刚度

① 梁的线刚度

框架横梁与楼板为现浇整体连接，板作为梁的翼缘起增大梁刚度的作用。假定本榀框架为中间框架，横梁两侧均与板相整浇，因此，梁的线刚度可近似地计算如下：

$$i_{BE} = \frac{300 \times (700)^3 \times 2 \times (3.0 \times 10^4)}{12 \times 6500} = 7.92 \times (10)^{10} \text{N} \cdot \text{mm}$$

例题讲解

『例题3.1』

② 柱的线刚度

$$i_{BC} = i_{BA} = \frac{400 \times (400)^3 \times (3.0 \times 10^4)}{12 \times 3600} = 1.78 \times (10)^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$i_{EF} = i_{ED} = \frac{400 \times (500)^3 \times (3.0 \times 10^4)}{12 \times 3600} = 3.47 \times (10)^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(2) 第 10 层框架各节点处的各杆分配系数

① 节点 B

$$\mu_{BC} = \frac{(1.78 \times 0.9)}{2 \times (1.78 \times 0.9) + 7.92} = 0.144 \quad = \mu_{BA}$$

$$\mu_{BE} = \frac{7.92}{2 \times (1.78 \times 0.9) + 7.92} = 0.712$$

除底层以外的各层框架柱，均需乘以柱的线刚度折减系数 **0.9**。

例题讲解

『例题3.1』

(2) 第 10 层框架各节点处的各杆分配系数

② 节点 E

$$\mu_{EF} = \frac{(3.47 \times 0.9)}{2 \times (3.47 \times 0.9) + 2 \times 7.92} = 0.141$$

$$\mu_{EB} = \frac{7.92}{2 \times (3.47 \times 0.9) + 2 \times 7.92} = 0.359$$

$$\mu_{ED} = \frac{(3.47 \times 0.9)}{2 \times (3.47 \times 0.9) + 2 \times 7.92} = 0.141$$

$$\mu_{EH} = \frac{7.92}{2 \times (3.47 \times 0.9) + 2 \times 7.92} = 0.359$$

例题讲解

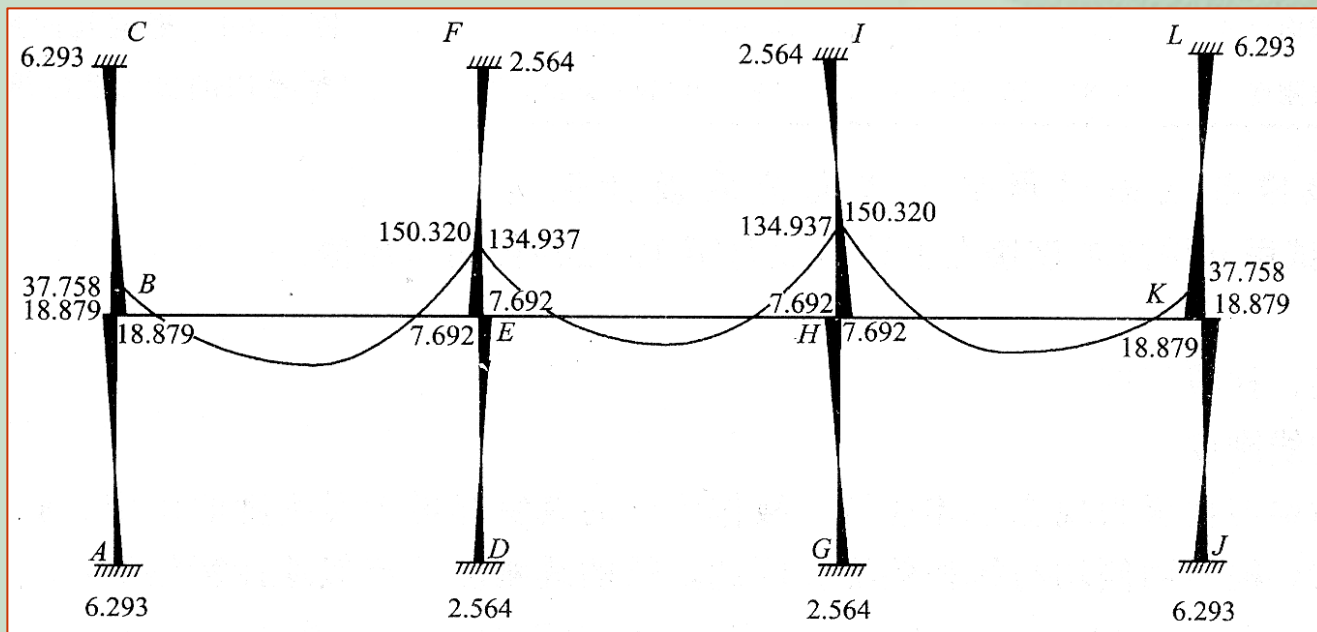
『例题3.1』

(3) 各节点被锁定时的各梁端弯矩

$$M_{BE} = M_{EB} = M_{EH} = M_{HE} = M_{HK} = M_{KH}$$

$$= \frac{1}{12} \times 35 \times (6.50)^2 = 123.229 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

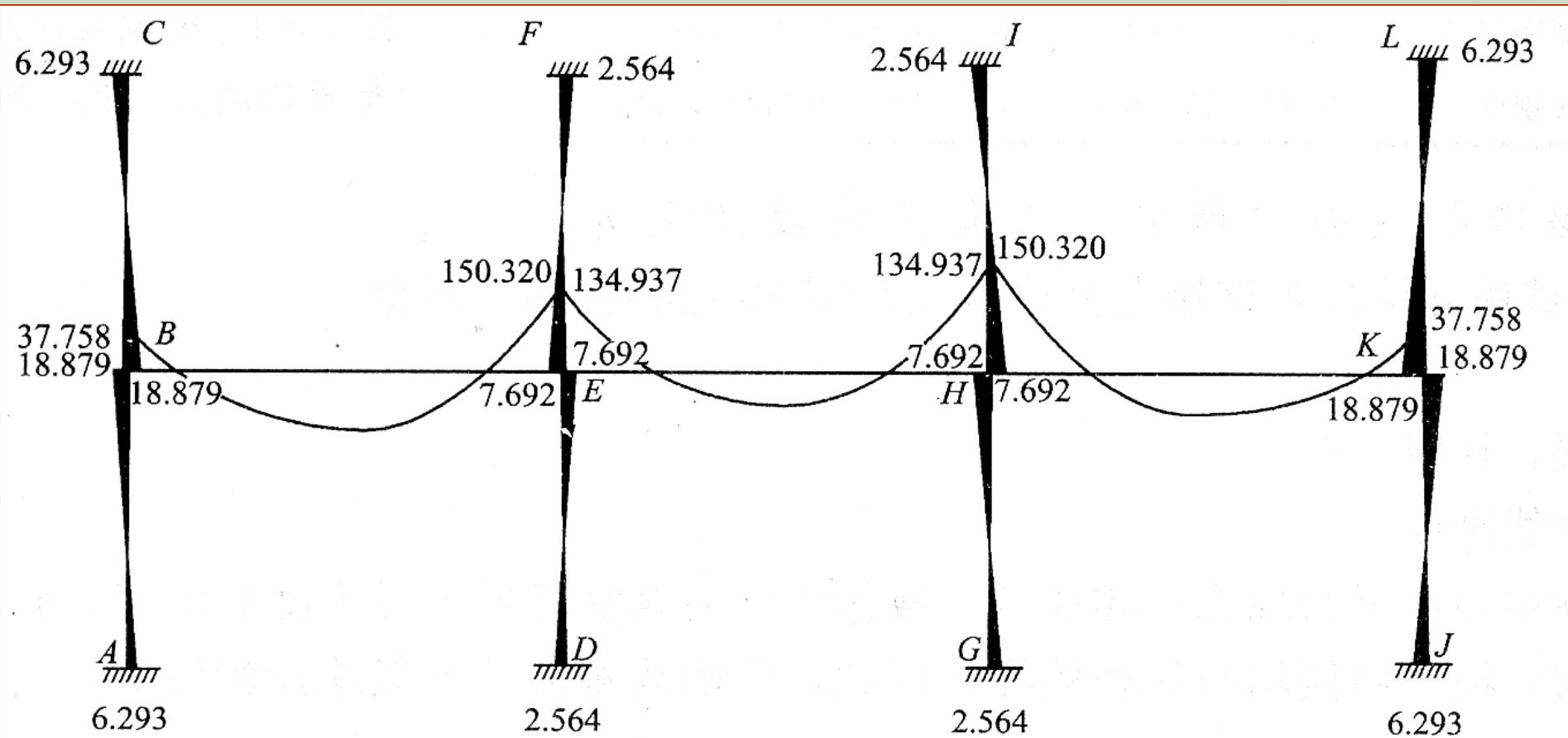
(4) 由力矩分配法算出第 10 层各杆的弯矩



例题讲解

『例题3.1』

(4) 由力矩分配法算出第 10 层各杆的弯矩



例题讲解

『例题3.1』

(5) 叠加上、下层柱端弯矩

① 对节点 B

• 由于第 9 层边柱上端弯矩 $6.293\text{kN}\cdot\text{m}$ 的加入, 使 $M_{BA} = 18.879 + 6.293 = 25.172\text{kN}\cdot\text{m}$;

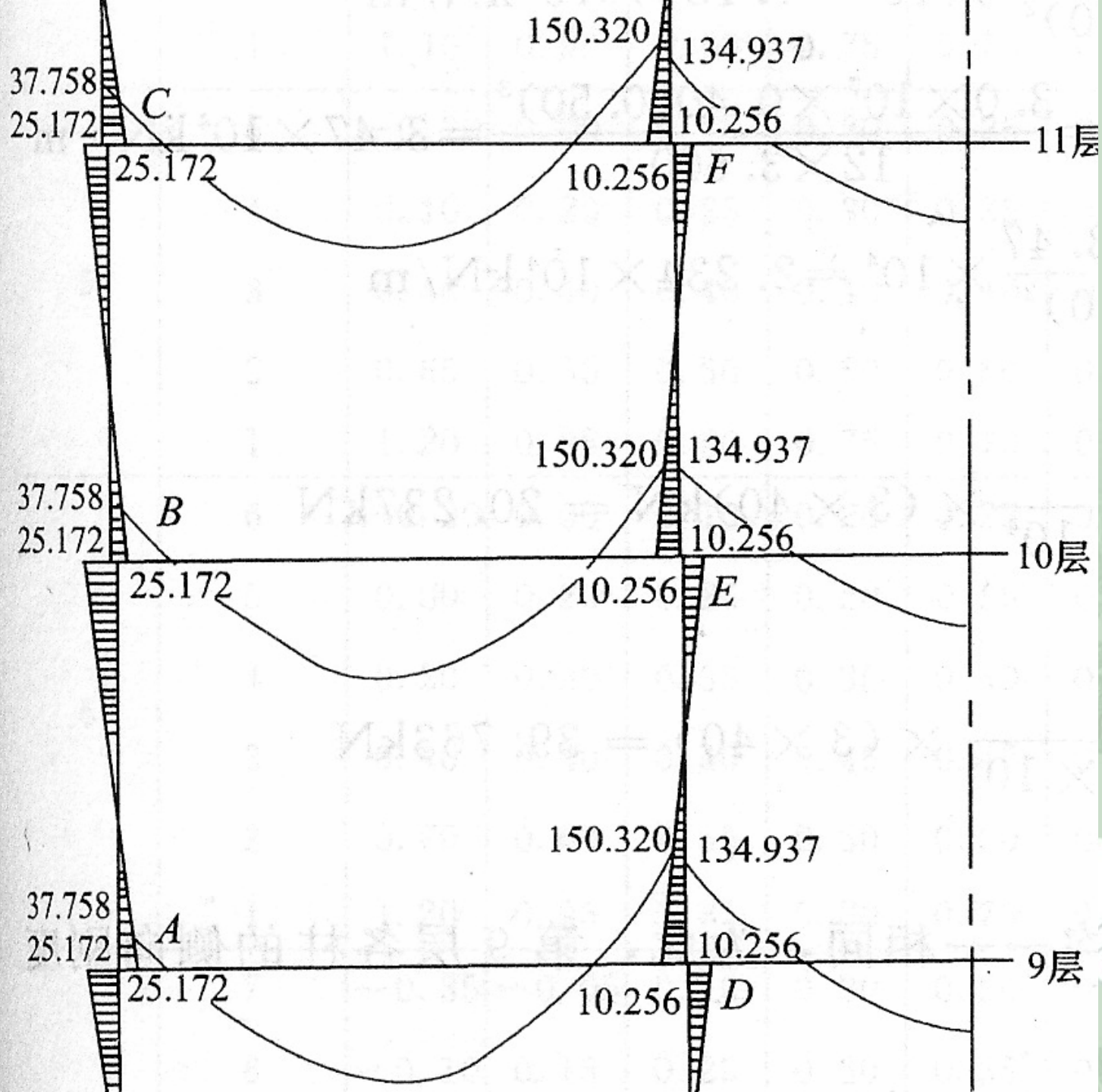
• 同理, 由于第 11 层边柱下端弯矩 $6.293\text{kN}\cdot\text{m}$ 的加入, 使 $M_{BC} = 18.879 + 6.293 = 25.172\text{kN}\cdot\text{m}$;

② 对节点 E

• 由于第 9 层中柱上端弯矩 $2.564\text{kN}\cdot\text{m}$ 的加入, 使 $M_{ED} = 7.692 + 2.564 = 10.256\text{kN}\cdot\text{m}$;

• 同理, 由于第 11 层中柱下端弯矩 $2.564\text{kN}\cdot\text{m}$ 的加入, 使 $M_{EF} = 7.692 + 2.564 = 10.256\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

叠加后的第10层各杆弯矩图



例题讲解

『例题3.1』

(6) 对节点的不平衡弯矩再进行调整, 得最终结果

① 对节点 B

$$\bullet M_{BA} = M_{BC} = 25.172 - (25.172 + 25.172 - 37.758) * 0.144 = 23.360 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

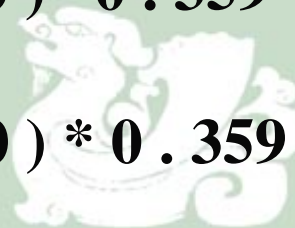
$$\bullet M_{BE} = 37.758 + (25.172 + 25.172 - 37.758) * 0.712 = 46.719 \text{ kN} \cdot \text{m} ;$$

② 对节点 E

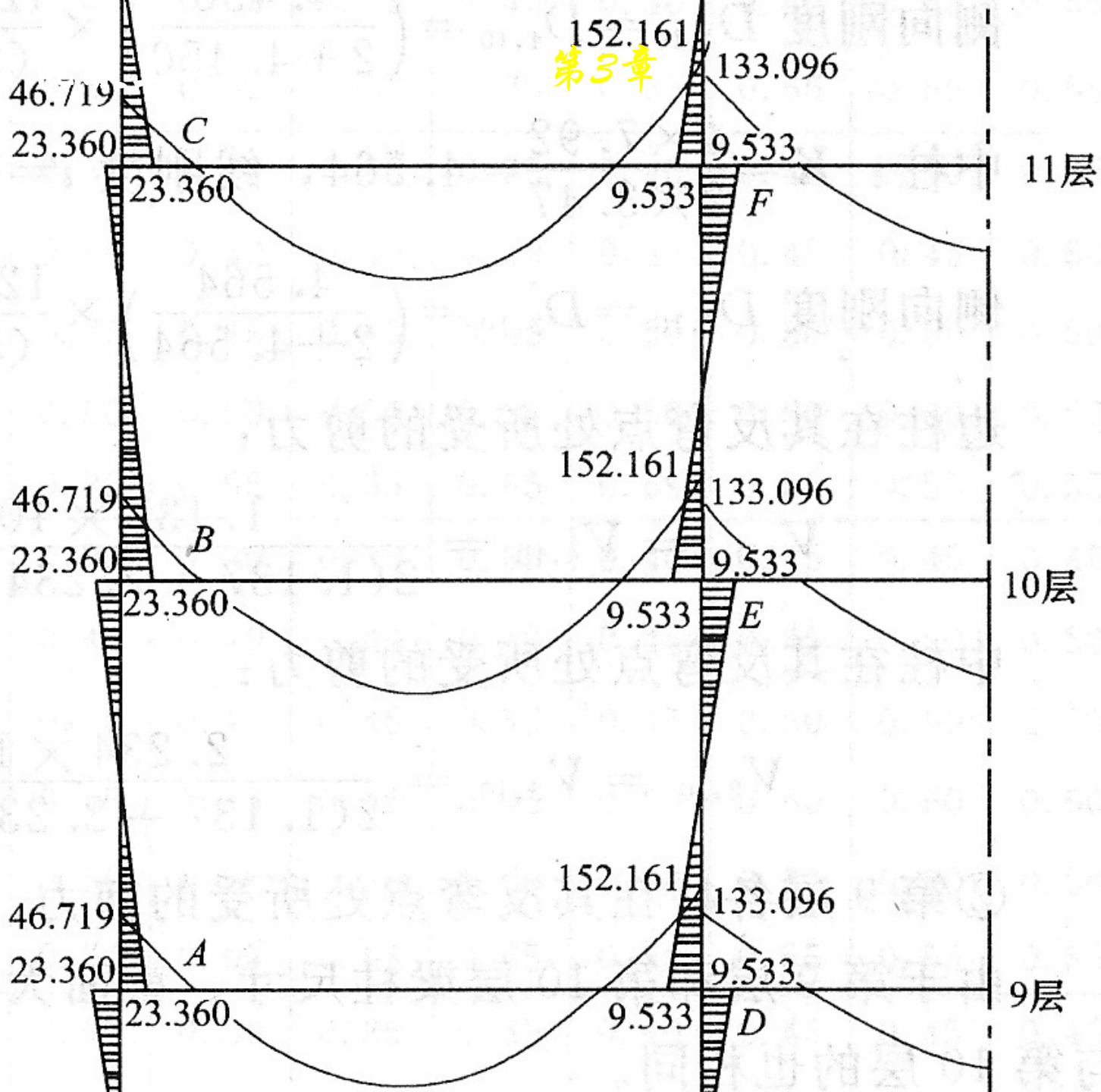
$$M_{ED} = M_{EF} = 10.256 - (134.937 + 10.256 + 10.256 - 150.320) * 0.144 = 9.533 \text{ kN} \cdot \text{m} ;$$

$$M_{EB} = 150.320 + (134.937 + 10.256 + 10.256 - 150.320) * 0.359 = 152.161 \text{ kN} \cdot \text{m} ;$$

$$M_{EH} = 134.937 - (134.937 + 10.256 + 10.256 - 150.320) * 0.359 = 133.096 \text{ kN} \cdot \text{m} ;$$



调整后的第10层各杆的弯矩图



(2) 弯矩二次分配法

- 1) 第一次分配：对所有节点求不平衡弯矩后，反号分配至该节点的各杆近端；
- 2) 将第一次分配的弯矩向各杆件远端传递（传递系数均为 $1/2$ ）；
- 3) 第二次分配：求出新的不平衡弯矩反号后再分配一次（注：不再传递）；
- 4) 叠加固端弯矩及上述分配和传递的弯矩（求代数和）即得梁、柱最终弯矩。

◆注意与分层法的不同之处：

◆各层各柱线刚度均*无需考虑折减系数*；

◆各层柱的传递系数均为 $1/2$ 。

(3) 系数法

系数法是**UNIFORM BUILDING CODE**（统一建筑规范）中介绍的方法。当框架结构满足下列条件时可按系数法计算框架结构的内力：

- 两个相邻跨的跨长相差不超过短跨跨长的**20%**；
- 活载与恒载之比不大于**3**；
- 荷载均匀布置；
- 框架梁截面为矩形。



■ 框架梁内力

(1) 弯矩

$$M = \alpha \omega_u l_n^2 \quad \dots 3-13$$

式中， α ——弯矩系数，查表3.6.1；

ω_u ——框架梁上恒载与活载设计值之和；

l_n ——净跨跨长，求支座弯矩时用相邻两跨净跨跨长的均值。

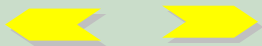
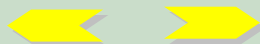


表3.6.1 弯矩系数 α 表

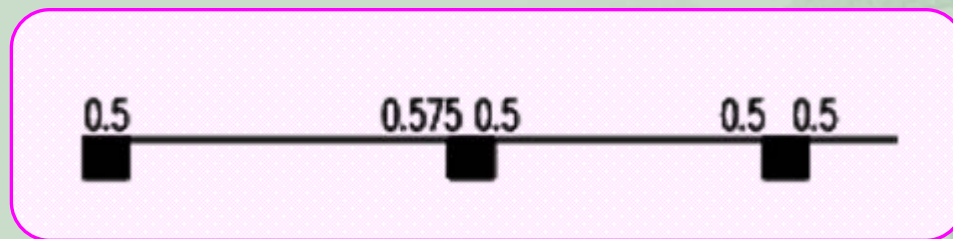
正弯矩	端部无约束时： 端部有约束时：	
负弯矩	内支座 两跨时： 两跨以上时：	
	内支座（板跨数在3跨和3跨以上， 跨长不大于3.048m或柱刚度与梁 刚度之比大于8的梁）：	
	外支座： 梁支承时： 柱支承时：	



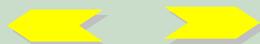
(2) 剪力

$$V = \beta \omega_u l_n \quad \dots 3-14$$

式中 β ——剪力系数，查下图。



框架梁剪力系数 β 图



■ 框架柱内力

(1) 轴力

$$\text{框架柱的轴力} = p_u A$$

式中 p_u —— 楼面单位面积上恒载与活载设计值之和；

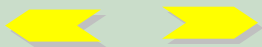
A —— 柱的负荷面积。

(2) 弯矩

$$M_{\text{柱端}} = -\frac{1}{2} \sum M_{\text{梁端}}$$

...3-15

当横梁不在立柱形心线上时，要考虑由于偏心引起的不平衡弯矩，并将这个弯矩也平均分配给上、下柱柱端。



■ 竖向荷载下框架梁端弯矩的调幅

- 在超静定结构中，构件的内力与刚度大小有关。在某些情况下，构件很容易开裂(有时出现塑性铰)，开裂后刚度降低，该杆件的内力分配比例减小，另一些构件内力增大，这种现象称为**塑性内力重分布**。
- 框架梁在竖向荷载作用下，梁端负弯矩允许考虑塑性变形内力重分布予以适当降低，可采用**调幅系数**。

调幅的原因

框架结构梁端允许出现塑性铰；

减少节点处梁的负钢筋，方便施工；

装配式或装配整体式框架节点并非绝对刚性。

■ 竖向荷载下框架梁端弯矩的调幅

在竖向荷载作用下，可以考虑梁端塑性变形内力重分布，减小梁端负弯矩，相应增大梁跨中弯矩。

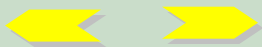
调幅后的支座弯矩为：

$$M' = \beta M$$

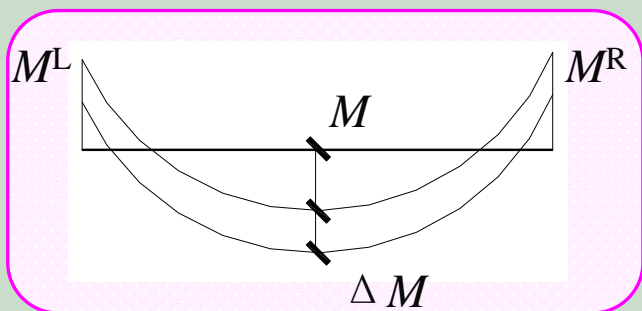
式中 M' —— 梁支座截面调幅后的弯矩；

M —— 梁支座调幅前按弹性方法计算的弯矩；

β —— 调幅系数，现浇框架：0.8~0.9 装配式框架：0.7~0.8。



调幅后相应增大梁跨中弯矩：



$$M = M^C + \Delta M$$

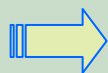
$$\Delta M = (1 - \beta) \frac{M^L + M^R}{2}$$

截面设计时，梁跨中正弯矩至少应取按简支梁计算的跨中弯矩之半。如为均布荷载，则

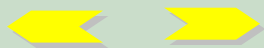
$$M_{\text{中}} \geq \frac{1}{16} (g + q) l^2$$

竖向荷载产生的梁的弯矩应先调幅，再与风荷载和水平地震作用产生的弯矩进行组合。

先调幅

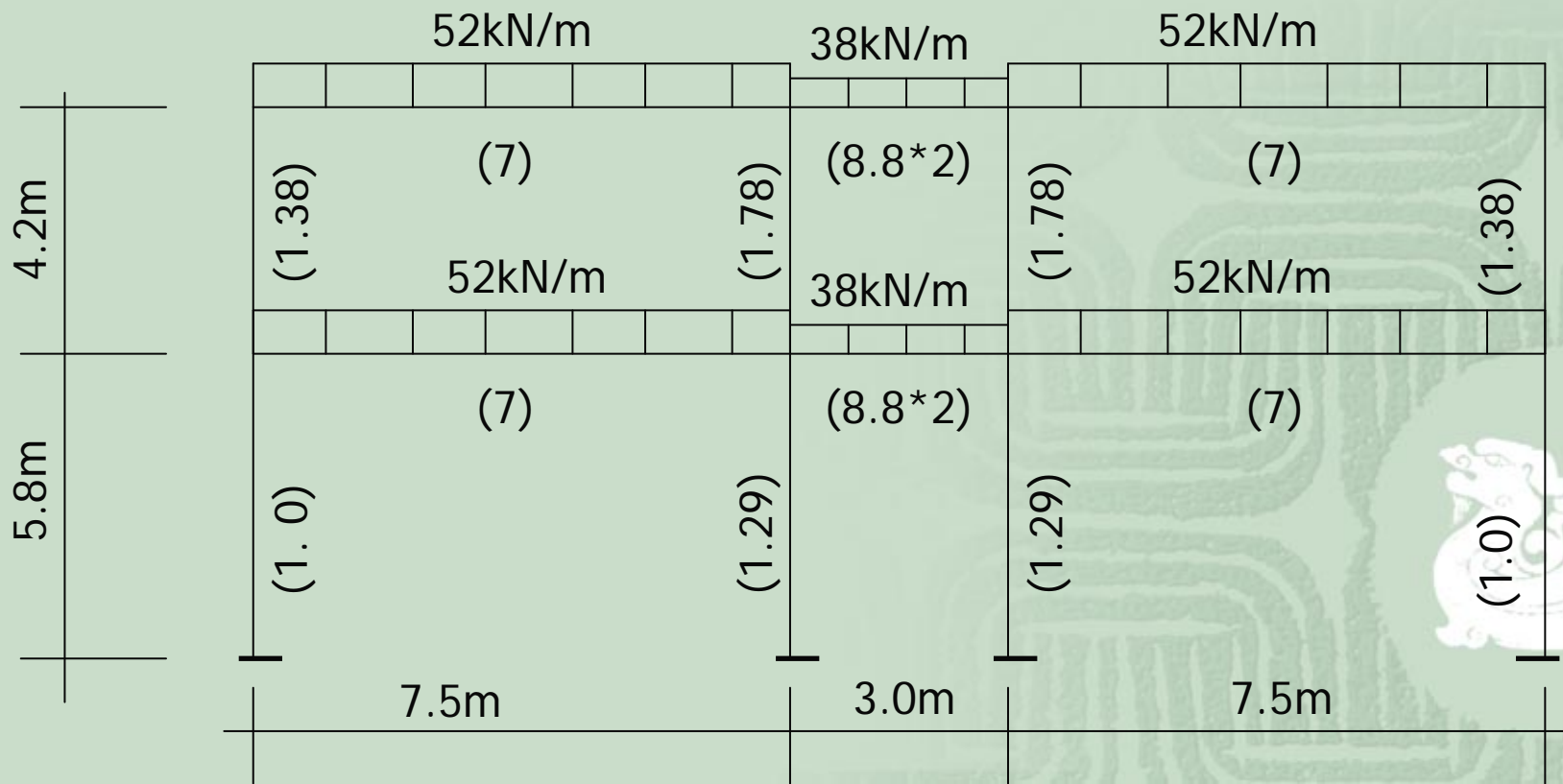


后组合



框架结构——习题

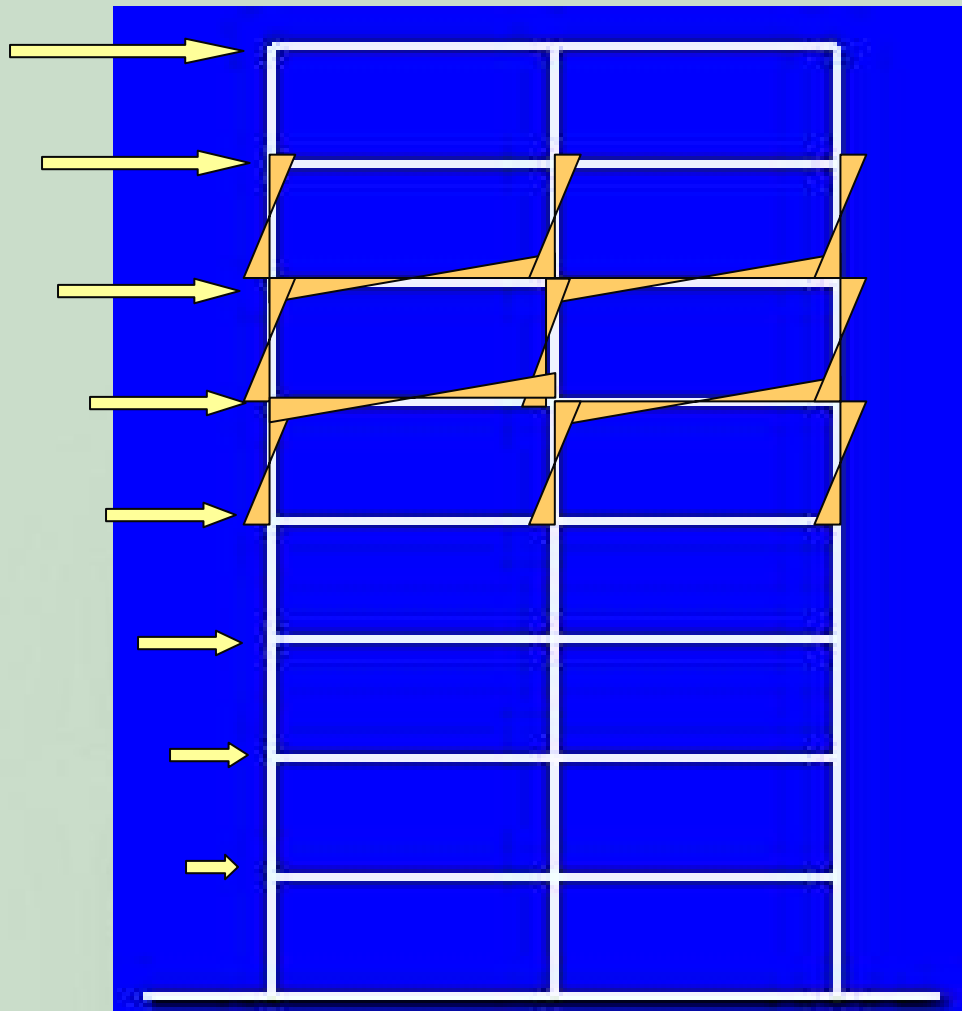
- 【习题3.1】 试用分层法计算图所示框架结构的弯矩，并绘出弯矩图。图中括号内数值为相对线刚度。



3.6.2 水平荷载作用下的内力近似计算方法

■ 定性分析：

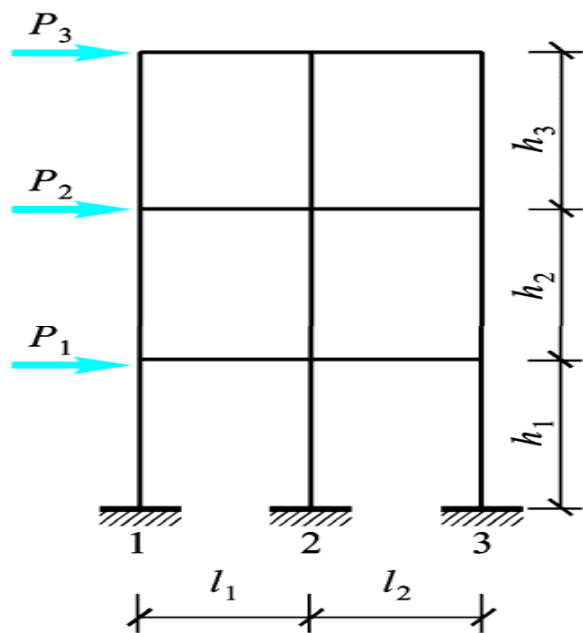
☞ 框架结构在节点水平作用力下定性的弯矩图：各杆弯矩图都呈直线形，且一般都有一个反弯点。（如右图所示）



3.6.2 水平荷载作用下的内力近似计算方法

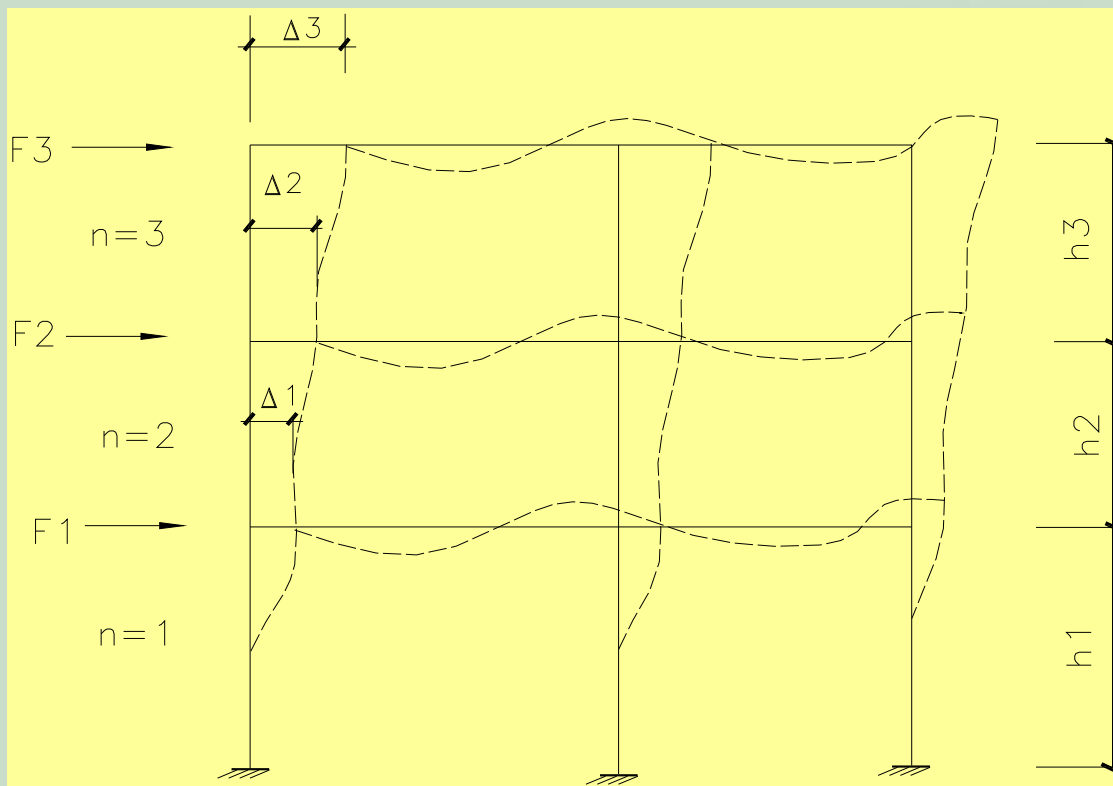
■1. 反弯点法

- 适用于梁柱线刚度比不小于3的框架结构；
- 常用于在初步设计中估算梁和柱在水平荷载作用下的弯矩值。



基本假定:

- 1) 不考虑梁轴向变形, 同层柱顶位移相等;
- 2) 柱上下端转角相等(底层除外);
- 3) 梁端弯矩由节点平衡确定且按刚度分配。



水平荷载作用下的框架变形

(1) 反弯点位置

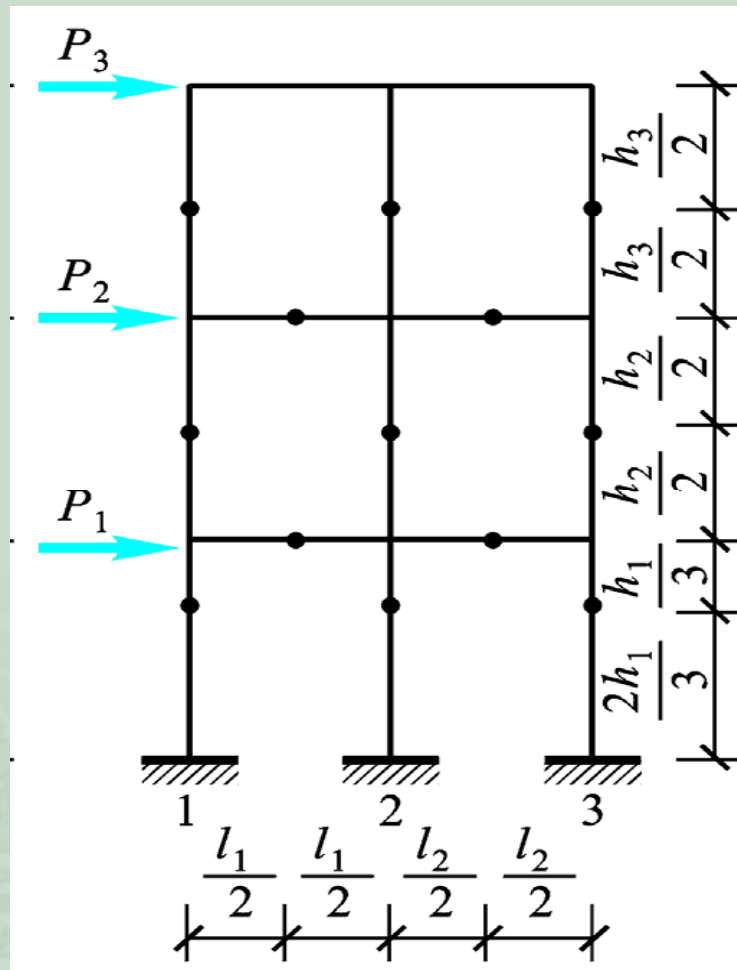
弯矩为零的点（反弯点）的位置按下图取值（以 $EI_{梁}=\infty$ 为前题）。

y 定义为反弯点至柱子下端距离：

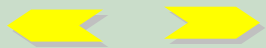
(上部各层柱)
$$y = \frac{1}{2}h$$

(底层柱)
$$y = \frac{2}{3}h$$

式中： h ——层高。



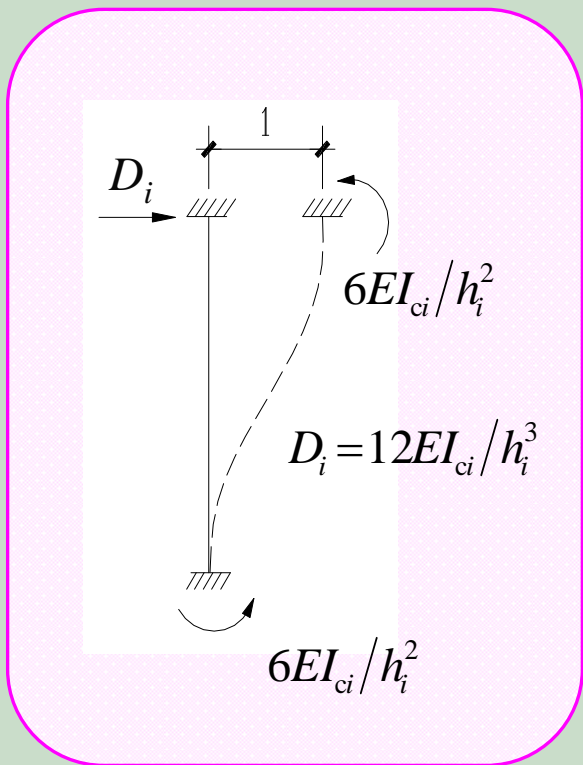
反弯点位置图



(2) 反弯点处的剪力计算

柱的剪力按同层柱的抗侧移刚度之比分配。柱的

抗侧移刚度为：



$$D_i = \frac{12EI_{ci}}{h_i^3} \quad \dots 3-16$$

EI_{ci} —— 第*i*根柱的刚度；

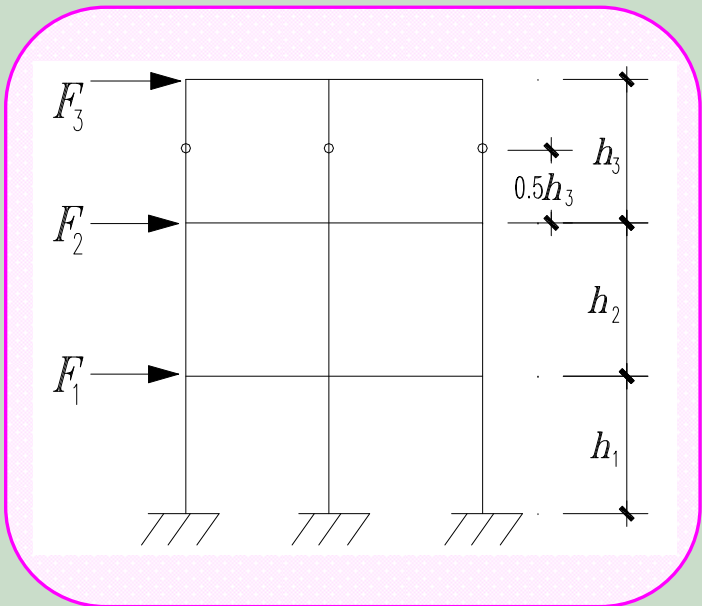
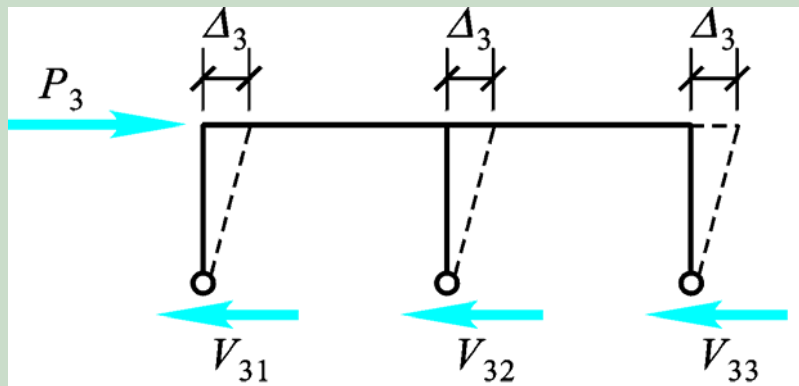
h_i —— 第*i*根柱的柱高。



以三层框架为例，用反弯点法计算水平荷载作

用下框架的内力。

◆ 顶层



$$\sum X = 0 \quad V_{31} + V_{32} + V_{33} = F_3$$

$$V_{31} = D_{31}\Delta_3 \quad V_{32} = D_{32}\Delta_3 \quad V_{33} = D_{33}\Delta_3$$

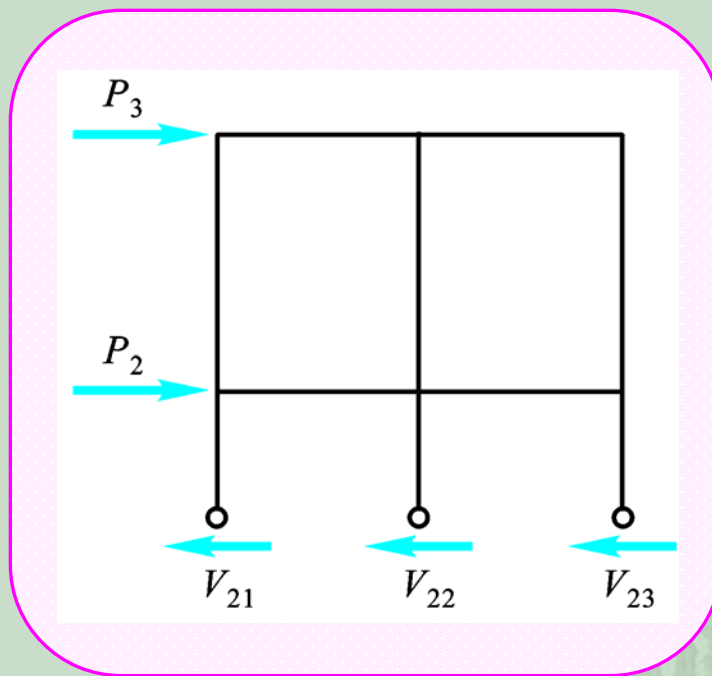
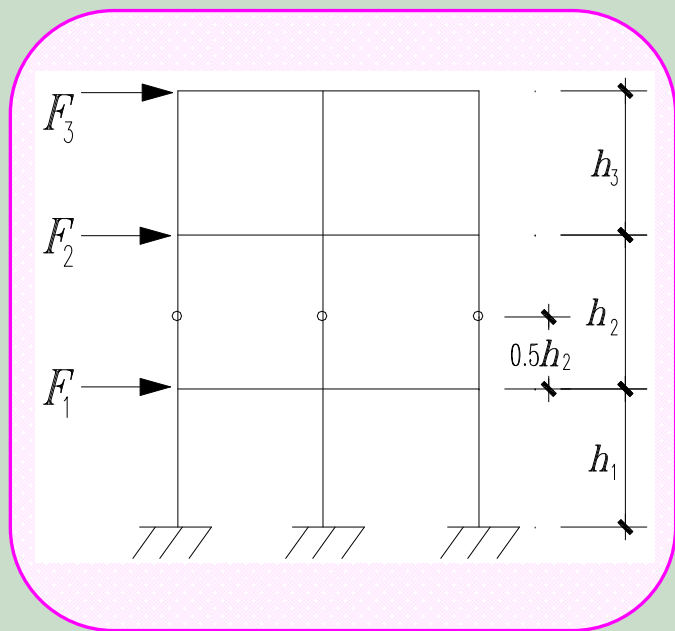
$$\Delta_3 = \frac{F_3}{D_{31} + D_{32} + D_{33}} = \frac{F_3}{\sum_{j=1}^3 D_{3j}}$$

因此各柱的剪力为：

$$V_{3j} = \frac{D_{3j}}{\sum_{j=1}^3 D_{3j}} F_3$$



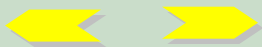
◆ 第二层



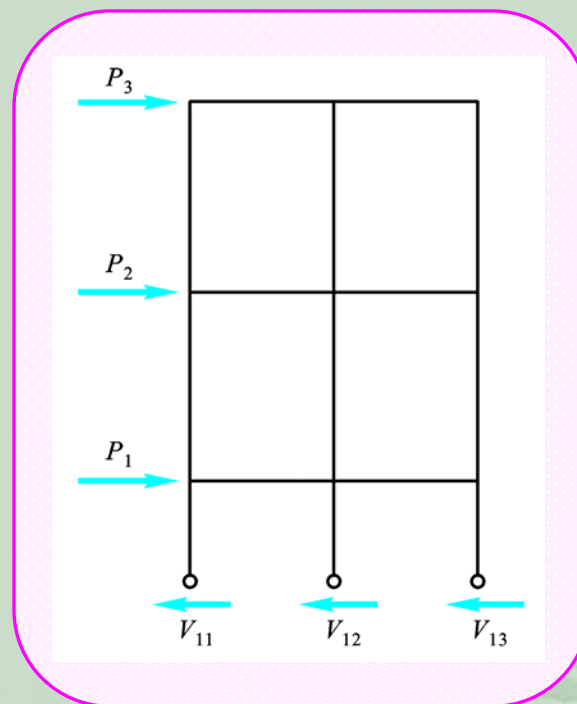
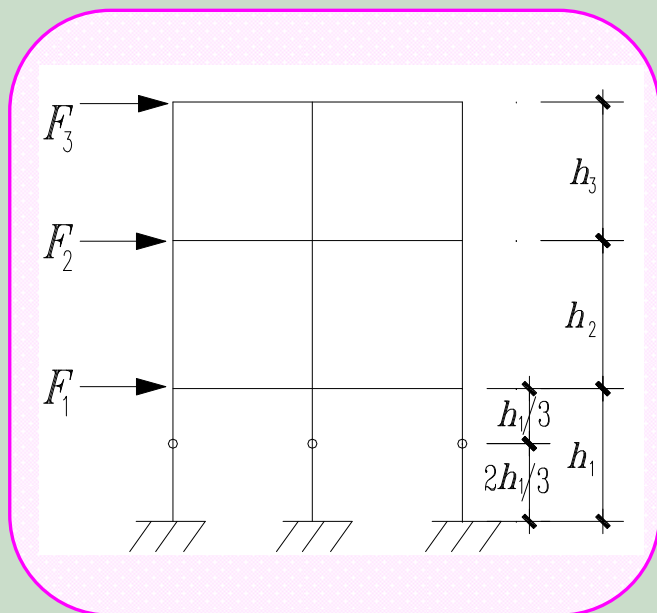
各柱的剪力为：

$$V_{2j} = \frac{D_{2j}}{\sum_{j=1}^3 D_{2j}} (F_3 + F_2)$$

3.6.18



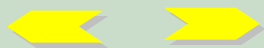
◆ 第一层



各柱的剪力为：

$$V_{1j} = \frac{D_{1j}}{\sum_{j=1}^3 D_{1j}} (F_3 + F_2 + F_1)$$

3.6.19

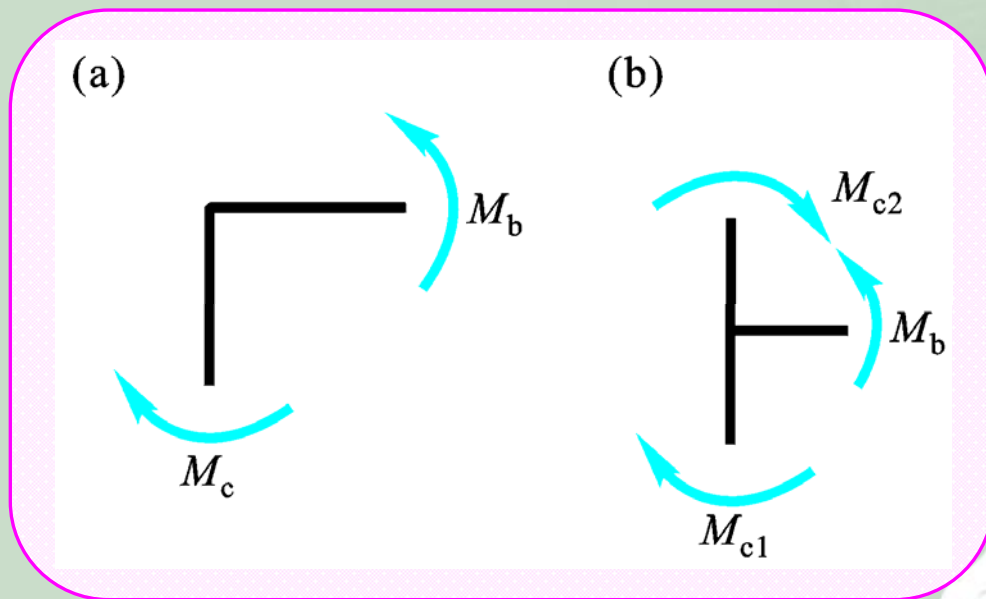


(3) 弯矩图绘制

柱端弯矩：已知反弯点处的剪力值便可以求出每一根柱各截面的弯矩。

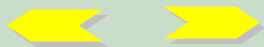
梁端弯矩：分边柱节点和中间柱节点两种情况处理。

边节点：

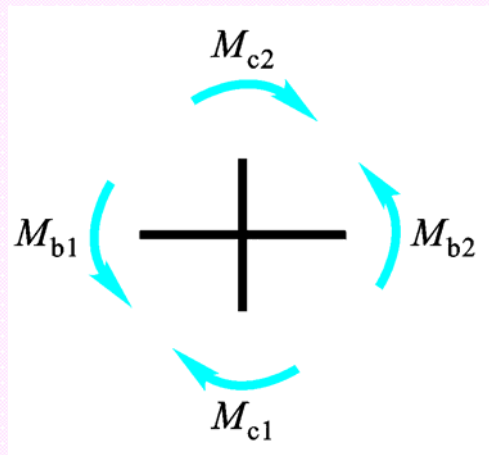
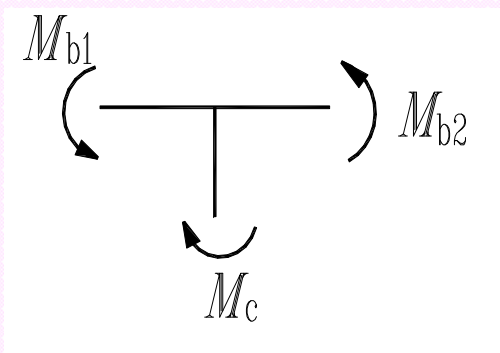


$$M_b = M_c$$

$$M_b = M_{c1} + M_{c2}$$



中节点:



$$M_{b1} = \frac{i_{b1}}{i_{b1} + i_{b2}} M_c$$

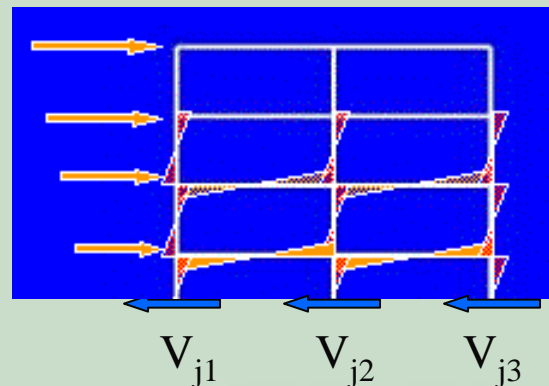
$$M_{b2} = \frac{i_{b2}}{i_{b1} + i_{b2}} M_c$$

$$M_{b1} = \frac{i_{b1}}{i_{b1} + i_{b2}} (M_{c1} + M_{c2})$$

$$M_{b2} = \frac{i_{b2}}{i_{b1} + i_{b2}} (M_{c1} + M_{c2})$$



反弯点法的方法及步骤:



水平力平衡

$$\sum F_j = \sum_{k=1}^m V_{jk}$$

刚度分配柱剪力

$$V_{jk} = \frac{D_{jk}}{\sum D_{jk}} \sum F_j \quad \text{或} \quad V_{jk} = \frac{i_{jk}}{\sum i_{jk}} \sum F_j$$

柱平衡求柱端弯矩

$$M_{i下} = V_i \overline{y_i}$$

$$M_{i上} = V_i (h_i - \overline{y_i})$$

节点平衡求梁端弯矩

$$M_b^l = \frac{i_b^l}{i_b^l + i_b^r} (M_c^u + M_c^d)$$

$$M_b^r = \frac{i_b^r}{i_b^l + i_b^r} (M_c^u + M_c^d)$$

梁平衡求梁剪力

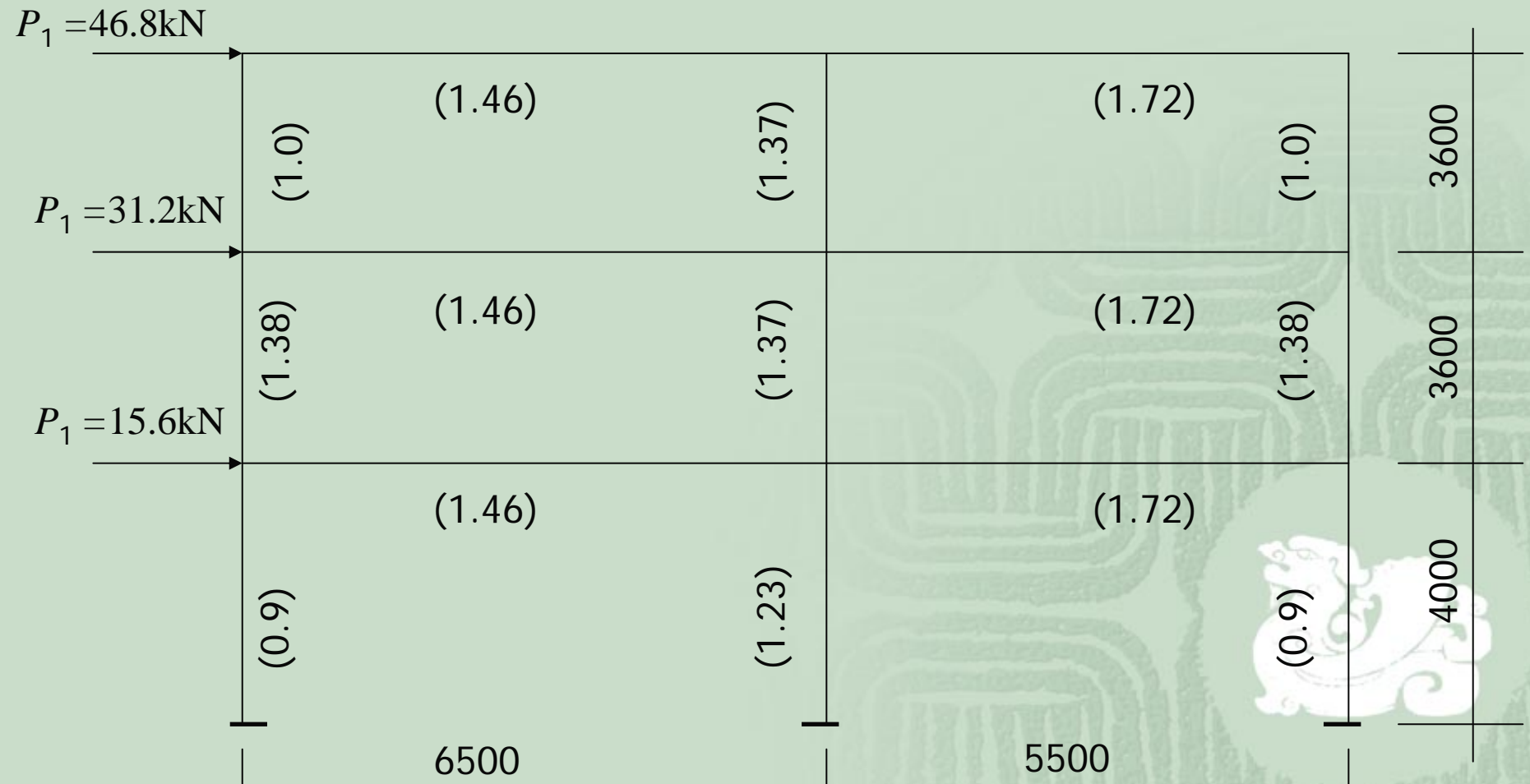
$$V_b = (M_b^l + M_b^r) / l_b$$

节点平衡柱轴力

$$N_c = N_c^{\pm} + V_b$$

框架结构——例题

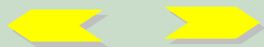
- 【例题】** 试用反弯点法计算图所示框架结构（中框架）的弯矩，并绘出弯矩图。边柱：450×450；中柱：450×500；梁：250×600。混凝土C20， $E_c=2.55 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ ，按 $0.85E_c$ 计算。



■2. D值法

(1) 反弯点法的问题

- 柱的抗侧刚度只考虑了柱的线刚度和柱高，未考虑节点梁柱线刚度比的影响；
- 认为反弯点的位置是固定不变的，实际上它与梁柱线刚度之比、柱的位置、上下层梁的线刚度大小、上下层层高、框架的总层数等因素有关。



(2) D值法的基本思想

与反弯点法相比：

- 相同之处 先确定反弯点位置
- 不同之处 考虑了上述因素的影响，对柱的抗侧刚度和柱的反弯点位置进行了修正。

因此，D值法又称为修正的反弯点法，适用于梁柱线刚度比小于3的情况。

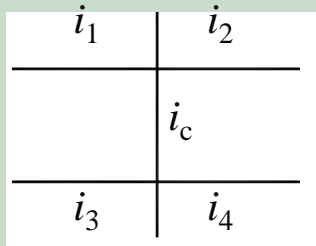
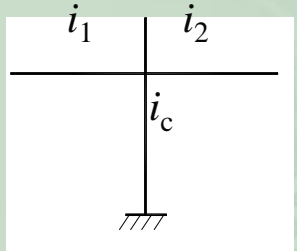
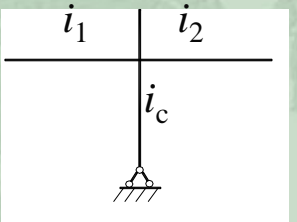


(3) 柱的抗侧刚度

$$D = \alpha_c D_1 = \alpha_c \frac{12EI}{h^3}$$

...3-21

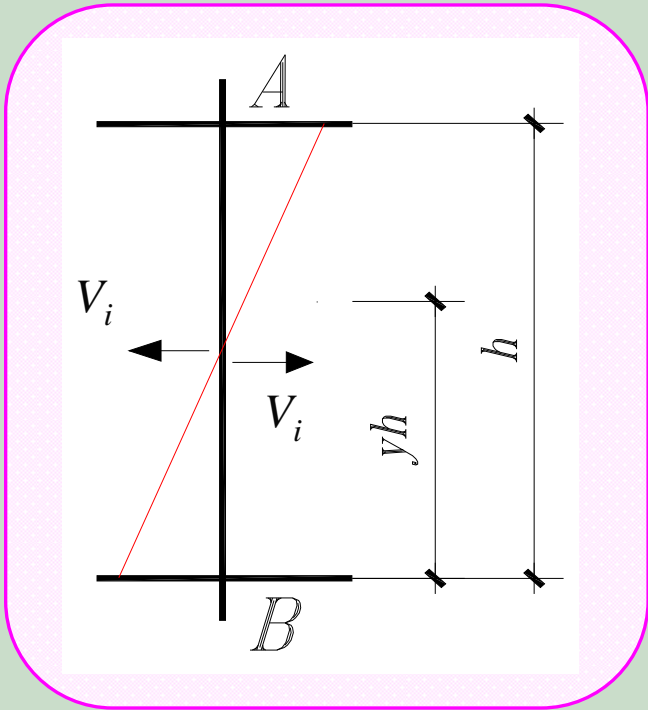
式中， α_c ——柱抗侧移刚度修正系数，按下表的公式计算。

	一般层	底层，下面固支	底层，下端铰支
柱的部位及固定情况			
	$\bar{i} = \frac{i_1 + i_2 + i_3 + i_4}{2i_c}$	$\bar{i} = \frac{i_1 + i_2}{i_c}$	$\bar{i} = \frac{i_1 + i_2}{i_c}$
α_c	$\alpha_c = \frac{\bar{i}}{2 + \bar{i}}$	$\alpha_c = \frac{0.5 + \bar{i}}{2 + \bar{i}}$	$\alpha_c = \frac{0.5\bar{i}}{1 + 2\bar{i}}$

(4) 修正的反弯点高度

$$y = y_0 + y_1 + y_2 + y_3$$

...3-22



柱端弯矩

式中

y_0 ——标准反弯点高度比；

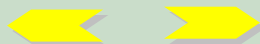
y_1 ——因上、下层梁刚度比变化的修正值；

y_2 ——因上层层高变化的修正值；

y_3 ——因下层层高变化的修正值。

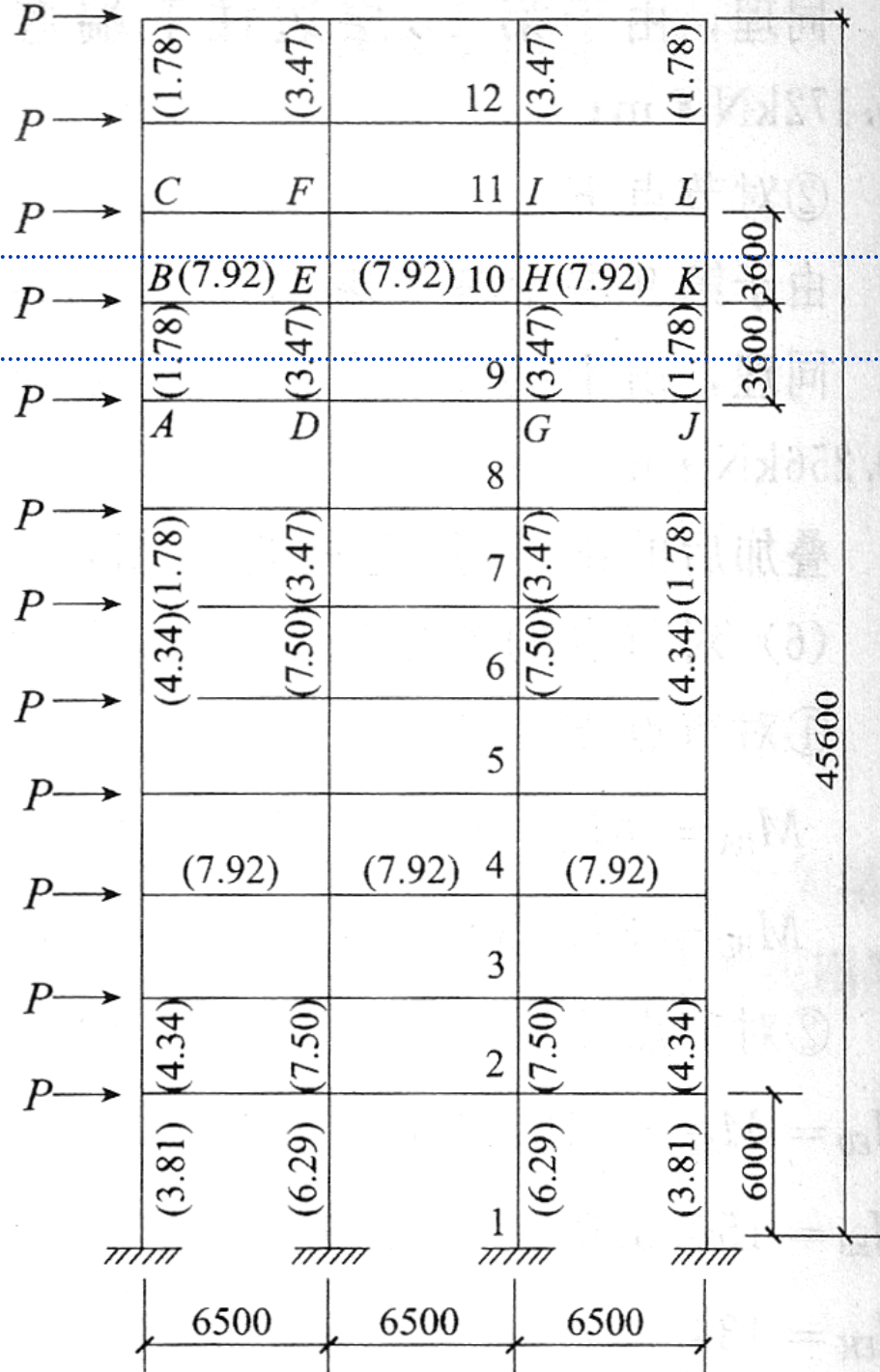
$$M_{BA} = V_i \cdot yh$$

$$M_{AB} = V_i(1 - y)h$$



例题讲解

- 【例题】** 用改进反弯点法求出如图所示框架的第 10 层各杆的弯矩值， $P = 40\text{kN}$ 。已知第 7 层以上各层的梁柱线刚度比均同，即边柱：中柱：各跨横梁 = 1.78 : 3.47 : 7.92，边柱截面 $0.40\text{m} \times 0.40\text{m}$ ，中柱截面 $0.40\text{m} \times 0.50\text{m}$ 。



例题讲解

■ 【解】：

(1) 求出各柱在其反弯点处所受的剪力 V 。

$$V_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_{i=1}^m D_{ij}} V_{pj}$$

•对非底层柱：

$$D_{ij} = \left(\frac{K}{2+K} \right) \frac{12i}{h^2}$$
$$K = \frac{i_1 + i_2 + i_3 + i_4}{2i}$$

•对底层柱，当柱固接于基础时，

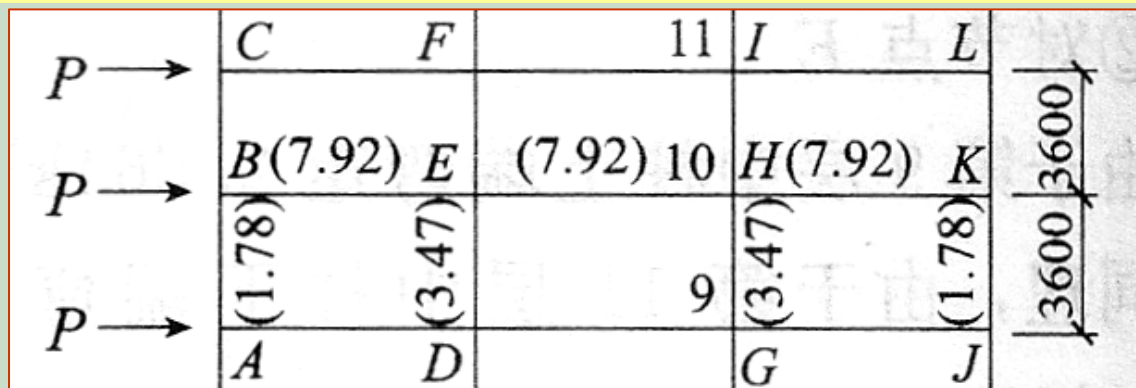
$$D_{i1} = \left(\frac{0.5+K}{2+K} \right) \frac{12i}{h^2},$$

$$K = \frac{i_5 + i_6}{i}$$



例题讲解

- (1) 求出各柱在其反弯点处所受的剪力 V 。
- ① 第 10 层各柱在其反弯点处所受的剪力
 - 现已知第 9、10、11 层各跨梁、边柱、中柱的线刚度比均为 $7.92 : 1.78 : 3.47$ 。



边柱： $K = \frac{2 \times 7.92}{2 \times 1.78} = 4.450$ ，线刚度 $i = \frac{EI}{h} =$

$$\frac{3.0 \times 10^7 \times (0.40)^4}{12 \times 3.600} = 1.78 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{侧向刚度 } D_{1,10} = D_{4,10} = \left(\frac{4.450}{2 + 4.450} \right) \times \frac{12 \times 1.78}{(3.60)^2} \times 10^4 = 1.137 \times 10^4 \text{ kN/m}$$

例题讲解

- (1) 求出各柱在其反弯点处所受的剪力 V 。

- ① 第 10 层各柱在其反弯点处所受的剪力

$$\text{中柱: } K = \frac{4 \times 7.92}{2 \times 3.47} = 4.564,$$

$$\text{线刚度 } i = \frac{EI}{h} = \frac{3.0 \times 10^7 \times 0.40(0.50)^3}{12 \times 3.600} = 3.47 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{侧向刚度 } D_{2,10} = D_{3,10} = \left(\frac{4.564}{2 + 4.564} \right) \times \frac{12 \times 3.47}{(3.60)^2} \times 10^4 = 2.234 \times 10^4 \text{ kN/m}$$

$$V_{1,10} = V_{4,10} = \frac{1.137 \times 10^4}{2(1.137 + 2.234) \times 10^4} \times (3 \times 40) \text{ kN} = 20.237 \text{ kN}$$

$$V_{2,10} = V_{3,10} = \frac{2.234 \times 10^4}{2(1.137 + 2.234) \times 10^4} \times (3 \times 40) = 39.763 \text{ kN}$$

例题讲解

- (1) 求出各柱在其反弯点处所受的剪力 V 。
- ②第 9 层各柱在其反弯点处所受的剪力
由于第 9 层和第 10 层梁柱尺寸、截面大小均一一相同，
为此第 9 层各柱的侧向刚度与第 10 层的也相同。

边柱的侧向刚度： $D_{1,9} = D_{4,9} = 1.137 \times 10^4 \text{ kN/m}$

中柱的侧向刚度： $D_{2,9} = D_{3,9} = 2.234 \times 10^4 \text{ kN/m}$

- 边柱在其反弯点处所受的剪力：

$$V_{1,9} = V_{4,9} = \frac{1.137 \times 10^4}{2(1.137 + 2.234) \times 10^4} \times (4 \times 40) \text{ kN} = 26.983 \text{ kN}$$

- 中柱在其反弯点处所受的剪力：

$$V_{2,9} = V_{3,9} = \frac{2.234 \times 10^4}{2(1.137 + 2.234) \times 10^4} \times (4 \times 40) \text{ kN} = 53.017 \text{ kN}$$

例题讲解

- (2) 求第 10 层及第 9 层各柱的反弯点高度 yh

① 第 10 层各柱的反弯点高度边柱:

边柱: 按 $n=12$, $j=10$ 及 $K=4.450$, 查 (表

• 得在均布水平荷载作用下第 10 层各柱的反弯点高度比 $y=0.5$

又由于上、下梁相对线刚度不变, 均相同, 因而 $I=1.0$, 则 $y_1=0$;
又由于上、下层的层高与本层 (即第 10 层) 相同, 因而 $y_2=y_3=0$ 。

• 因此, 边柱反弯点高度

$$yh = (y_0 + y_1 + y_2 + y_3) h = 0.5 \times 3.60\text{m} = 1.80\text{m}$$

中柱: 按 $n=12$, $j=10$ 及 $K=4.564$, • 查表得: $y=0.5$

同理, $y_1=0$, $y_2=y_3=0$ 。

因此, 中柱反弯点高度 $yh = (y_0 + y_1 + y_2 + y_3) h = 0.5h = 1.80\text{m}$

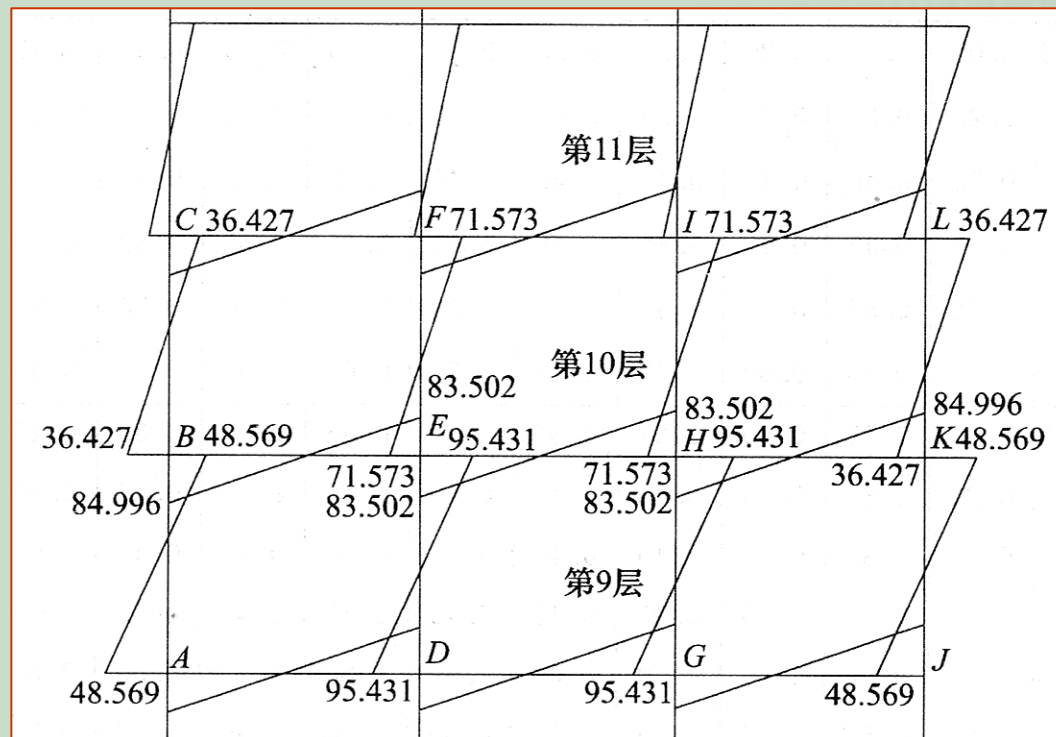
例题讲解

- (2) 求第 10 层及第 9 层各柱的反弯点高度 y_h

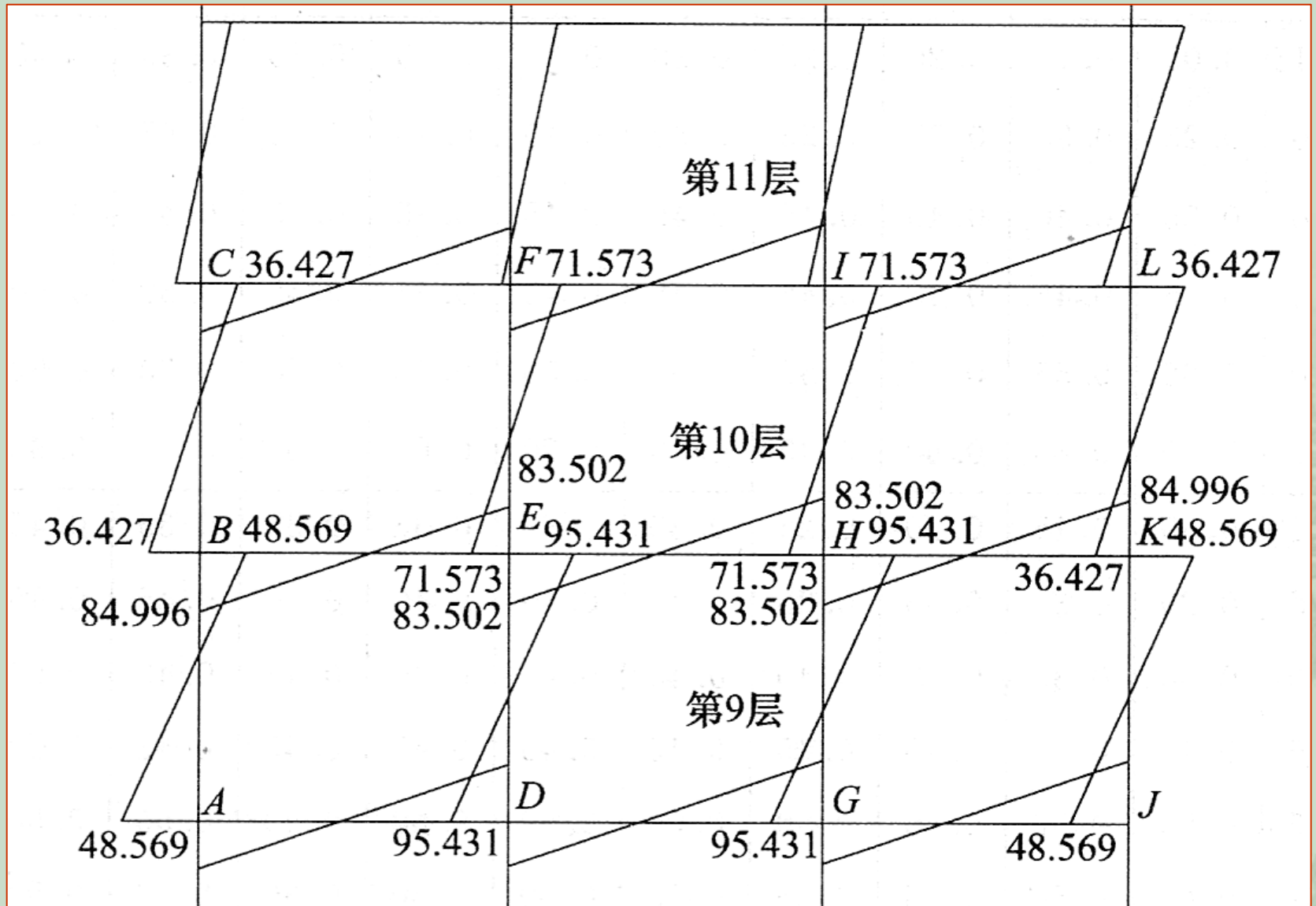
②第 9 层各柱的反弯点高度边柱:

- 边柱和中柱的反弯点高度, 均与第 10 层时同。

- (3) 求第 10 层各梁柱的弯矩



例题讲解

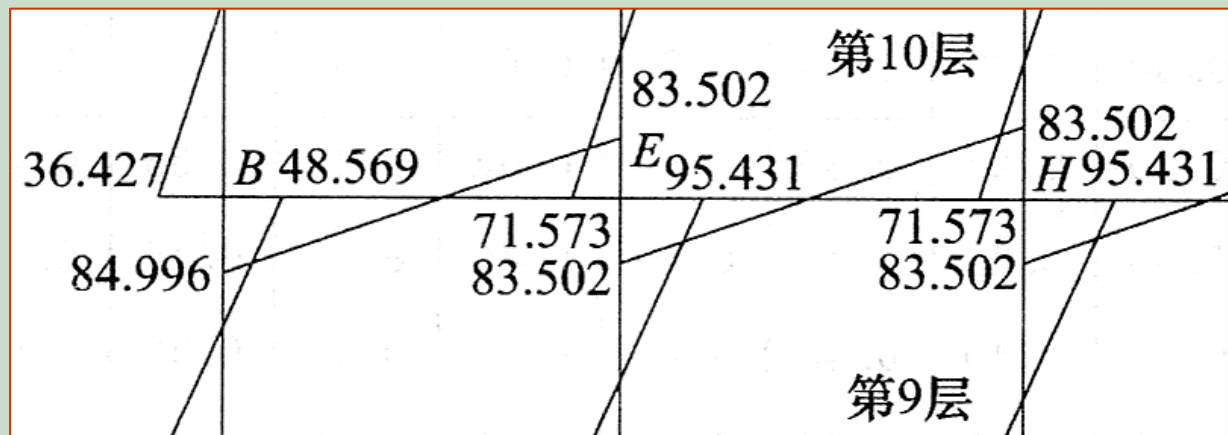


第 10 层各梁柱的弯矩图

例题讲解

■ (3) 求第 10 层各梁柱的弯矩

• 各柱的弯矩:



$$M_{BC} = 20.237\text{kN} \times 1.80\text{m} = 36.427\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{EF} = 39.763\text{kN} \times 1.80\text{m} = 71.573\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA} = 26.983\text{kN} \times 1.80\text{m} = 48.569\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ED} = 53.017\text{kN} \times 1.80\text{m} = 95.431\text{kN} \cdot \text{m}$$

• 各梁的弯矩:

$$M_{BE} = M_{BC} + M_{BA} = 36.427 + 48.569 = 84.996\text{kN} \cdot \text{m};$$

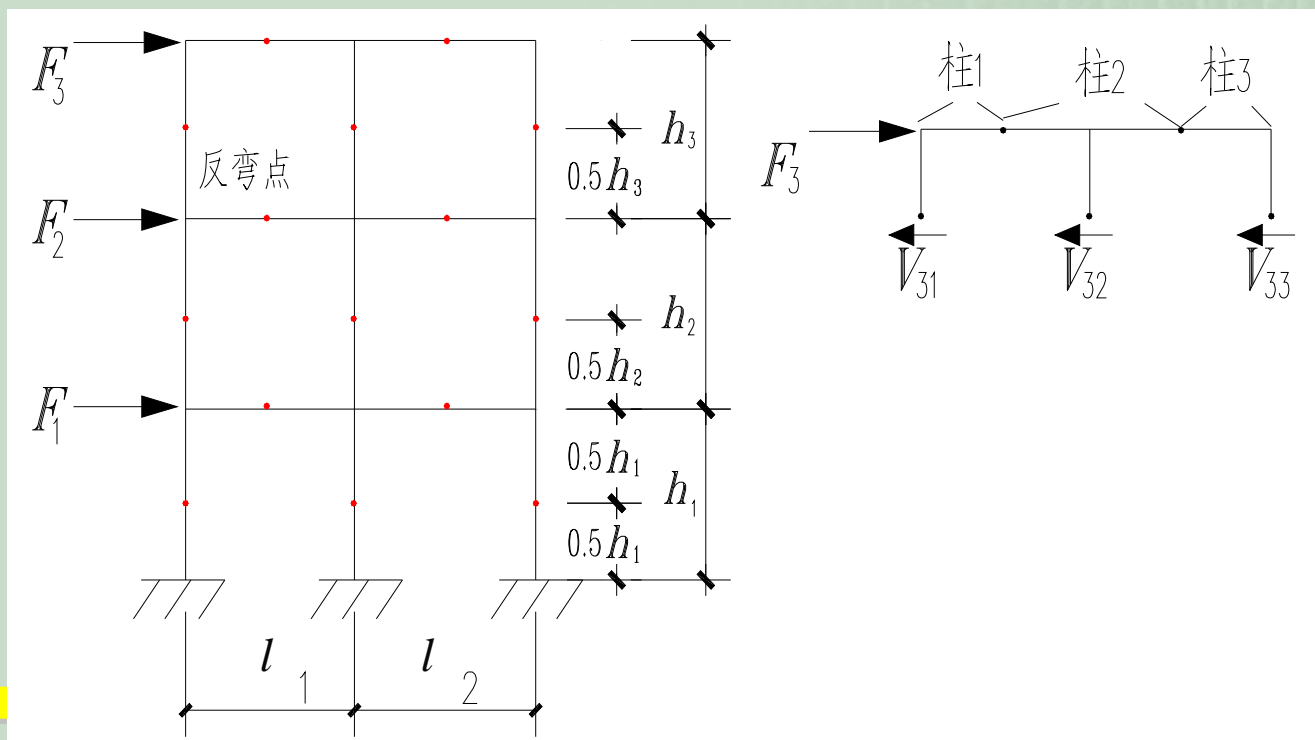
$$M_{EB} = \frac{1}{2}(M_{EF} + M_{ED}) = \frac{1}{2}(71.573 + 95.431) = 83.502\text{kN} \cdot \text{m};$$

$$M_{EH} = M_{HE} = \frac{1}{2}(M_{EF} + M_{ED}) = 83.502\text{kN} \cdot \text{m}。$$

■3. 门架法

(1) 基本假定

- 梁柱的反弯点位于它们的中点处；
- 柱中点处的水平剪力按各柱支承框架梁的长度与框架总宽度之比进行分配。



■3. 门架法

(2) 计算步骤

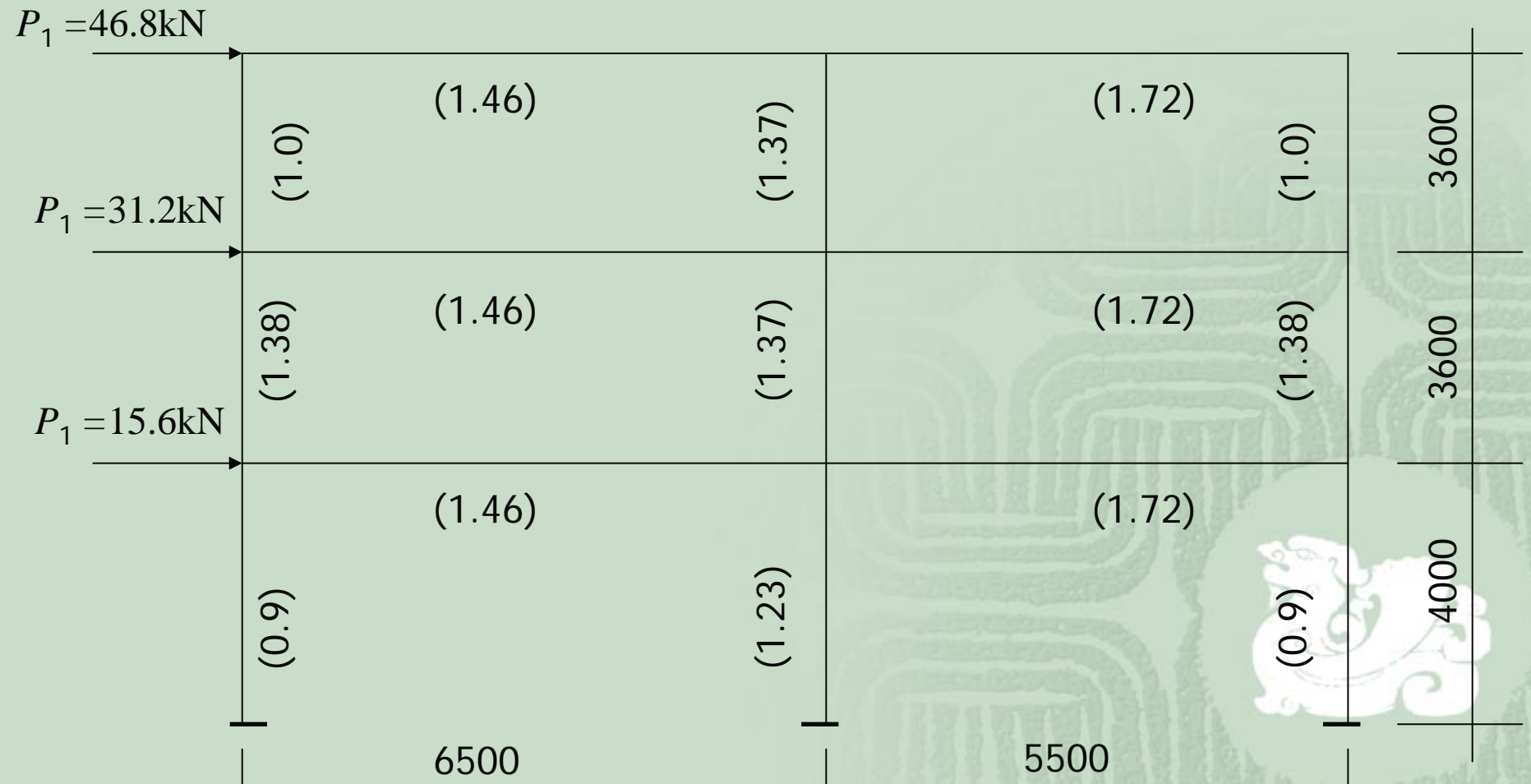
- 1) 求各层柱中点处的总剪力；
- 2) 求顶层各柱剪力；
- 3) 计算顶层各柱弯矩；
- 4) 计算顶层梁端弯矩；
- 5) 求框架梁剪力；
- 6) 求其它各层梁、柱的内力。

(3) 例题



框架结构——习题

- 【习题3.2】** 试用D值法计算图所示框架结构（中框架）的弯矩，并绘出弯矩图。边柱：450×450；中柱：450×500；梁：250×600。混凝土C20， $E_c=2.55 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 。按 $0.85E_c$ 计算。

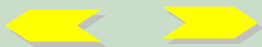
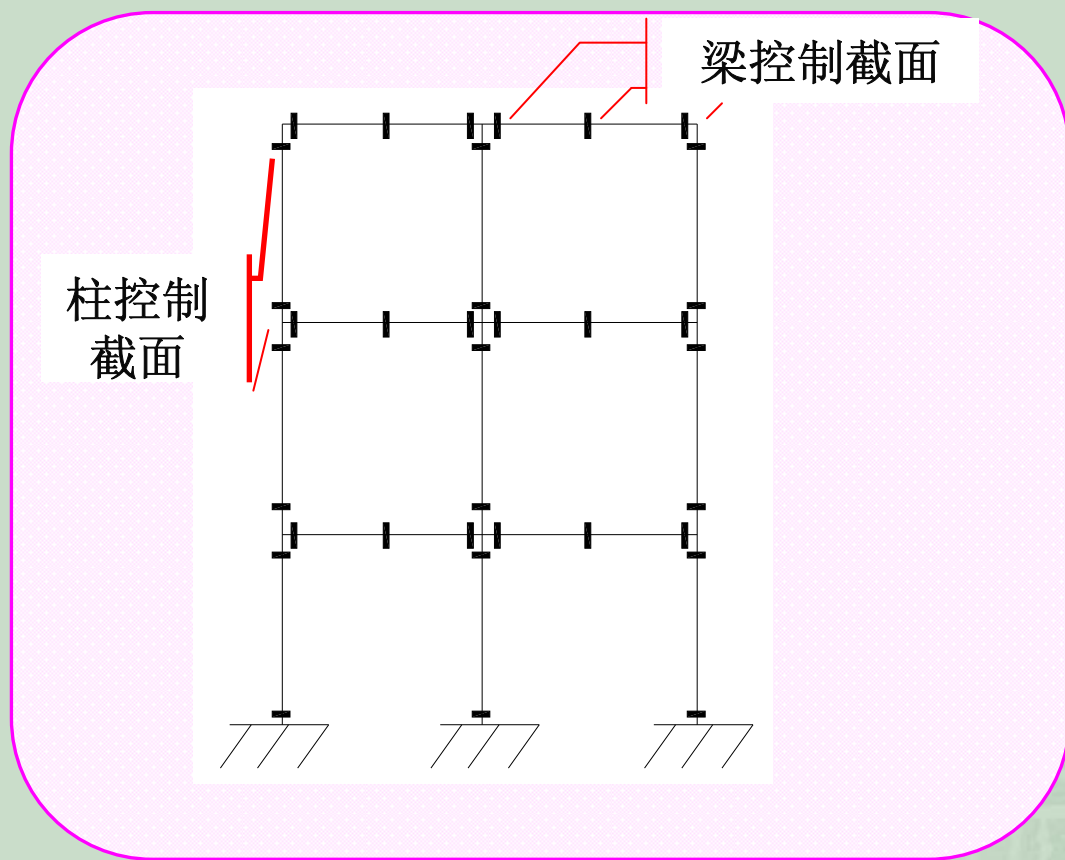


§ 3.7 内力组合

梁：跨中、支座截面

柱：柱顶、柱底截面

3.7.1 控制截面



3.7.2 控制截面最不利内力类型

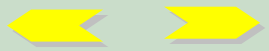
梁跨中截面： $+M_{\max}$ 及相应的 V （正截面设计）

梁支座截面： $--M_{\max}$ 及相应的 V （正截面设计）

V_{\max} 及相应的 M （斜截面设计）

- 梁端控制截面在柱边，按轴线计算简图得到的弯矩和剪力值应换算到**设计控制截面处**的相应值。

$$\left\{ \begin{array}{l} V' = V - (g + p) \frac{b}{2} \\ M' = M - V' \frac{b}{2} \end{array} \right.$$



3.7.2 控制截面最不利内力类型

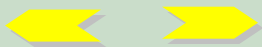
柱 截 面： $+M_{\max}$ 及相应的 N 、 V

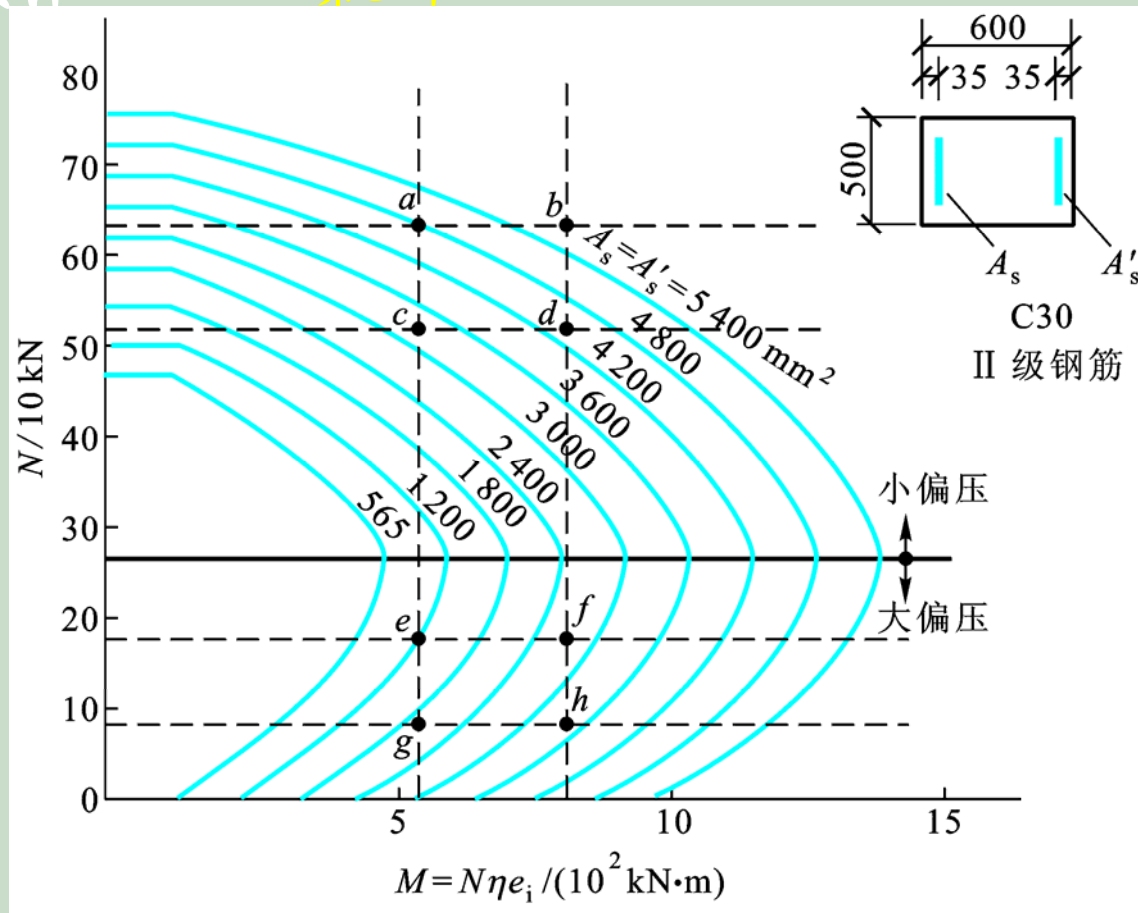
$--M_{\max}$ 及相应的 N 、 V

N_{\max} 及相应的 M 、 V

N_{\min} 及相应的 M 、 V

V_{\max} 及相应的 M 、 N





由图可见：

- 对于大偏压， M 相等或相近时， N 越小越不利；
- 对于小偏压， M 相等或相近时， N 越大越不利；
- 无论大小偏压，当 N 相等或相近时， M 越大越不利。

3.7.3 控制截面最不利内力计算

框架结构的基本组合可采用简化规则，并按下列组合值中取最不利值确定：

1. 由可变荷载效应控制的组合

一般情况1.2；
标准值大4kN/m²
的工业房屋楼面
1.3

当其效应对结构不利时1.2

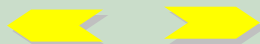
当其效应对结构有利时1.0或0.9

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

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

...3-23

...3-24



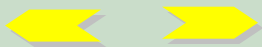
2. 由永久荷载效应控制的组合

可变荷载 Q_i 的组合
值系数

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

...3-25

当其效应对结构
不利时**1.35**
当其效应对结构
有利时**1.0或0.9**



■ 非抗震设计时，荷载效应组合的设计值

$$S = \gamma_G S_{GK} + \psi_Q \gamma_Q S_{Qk} + \psi_w \gamma_w S_{wk}$$

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_Q ——楼面活荷载分项系数；

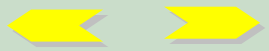
γ_w ——风荷载的分项系数；

S_{GK} ——永久荷载效应标准值；

S_{Qk} ——楼面活荷载效应标准值；

S_{wk} ——风荷载效应标准值；

- ❖ γ_Q 、 γ_w 一般取1.4；
- ❖ 位移计算 γ_G 、 γ_Q 、 γ_w 均取1.0；
- ❖ 活载与恒载合并计算取 $\gamma_G = 1.25$



■ 考虑荷载效应和地震作用效应组合

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk}$$

γ_G ——重力荷载分项系数，一般情况应采用1.2，当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应大于1.0；

γ_w ——风荷载分项系数，应采用1.4；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应，

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；

S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；

S_{wk} ——风荷载标准值的效应；

ψ_w ——风荷载组合值系数，一般结构取0， $H > 60\text{m}$ 的高层建筑应采用0.2。



$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk}$$

- γ_{Eh} 、 γ_{Ev} ——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按下表采用：

所考虑的组合	γ_G	γ_{Eh}	γ_{Ev}	γ_w	说 明
重力荷载及水平地震作用	1.2	1.3	/	/	
重力荷载及竖向地震作用	1.2	/	1.3	/	9度抗震设计时考虑；水平长悬臂结构8度、9度抗震设计时考虑
重力荷载、水平地震及竖向地震作用	1.2	1.3	0.5	/	9度抗震设计时考虑；水平长悬臂结构8度、9度抗震设计时考虑
重力荷载、水平地震作用及风荷载	1.2	1.3	/	1.4	60m以上的高层建筑考虑
重力荷载、水平地震作用、竖向地震作用及风荷载	1.2	1.3	0.5	1.4	60m以上的高层建筑，9度抗震设计时考虑；水平长悬臂结构8度、9度抗震设计时考虑

§ 3.8 侧移验算

框架在水平荷载作用下的侧移由梁柱弯曲变形和柱的轴向变形产生。一般情况下，可只考虑由于梁柱弯曲变形产生的侧移。

■ 侧移值的计算

框架层间侧移

第j层的总剪力

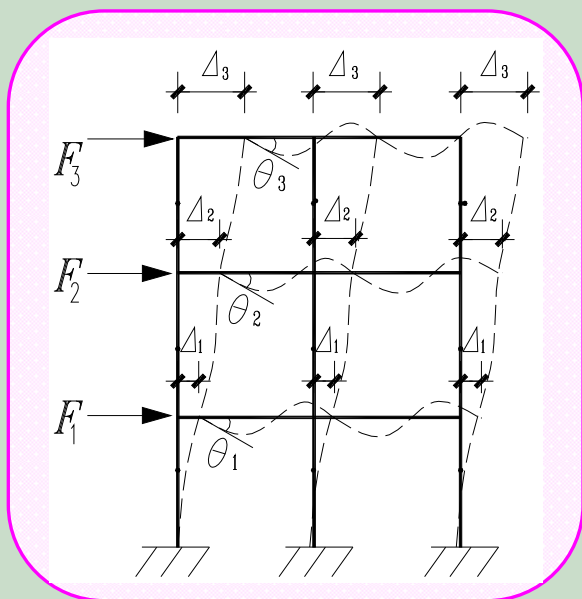
$$\Delta u_j = \frac{V_{pj}}{\sum D_{ij}} \quad \dots 3-26$$

$$\frac{\Delta u}{h} \leq \frac{1}{550}$$

第j层各柱侧向总刚度

j层侧移

$$\Delta_j = \sum_{j=1}^j \Delta u_j \quad \dots 3-27$$

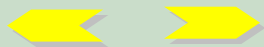


§ 3.9 框架结构配筋计算及构造要求

进行框架结构设计时，框架梁、柱的正截面和斜面截面的配筋计算可按《混凝土结构设计原理》中的钢筋混凝土受弯和偏心受压构件的配筋计算方法计算。

在配筋计算的过程中，有以下问题需注意：

- 当楼板与框架整体浇灌时，梁的跨中应按T形截面计算，支座处按矩形截面计算。



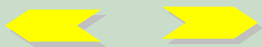
§ 3.9

框架结构配筋计算及构造要求

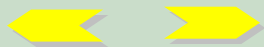
- 梁端破坏时，破坏截面位于柱的边缘处，梁端的控制截面在柱边，应以柱边的弯矩和剪力值作为配筋计算的内力值：

$$M_{\text{支计}} = M_{\text{支组}} - V_{\text{支组}} \cdot \frac{b}{2} \quad \dots 3-28$$

$$V_{\text{支计}} = V_{\text{支组}} - (g+q) \frac{b}{2} \quad \dots 3-29$$

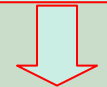


- 有次梁时注意配附加钢箍或设吊筋；
- 柱上端控制截面在梁底，柱下端控制截面在梁顶。为了简化计算，可采用轴线处内力值；
- 柱的计算长度按教材附录11确定；
- 框架柱一般采用对称配筋，除平面内按偏心受压构件计算外，还要进行平面外按轴心受压构件的验算；
- 当偏心距 $e_0 > 0.55h_0$ 时，尚应进行裂缝宽度验算。



3.9.1 框架梁承载力计算

$$S \leq R/\gamma_{RE}$$



$$\gamma_{RE} = 0.75$$



承载力抗震调整系数

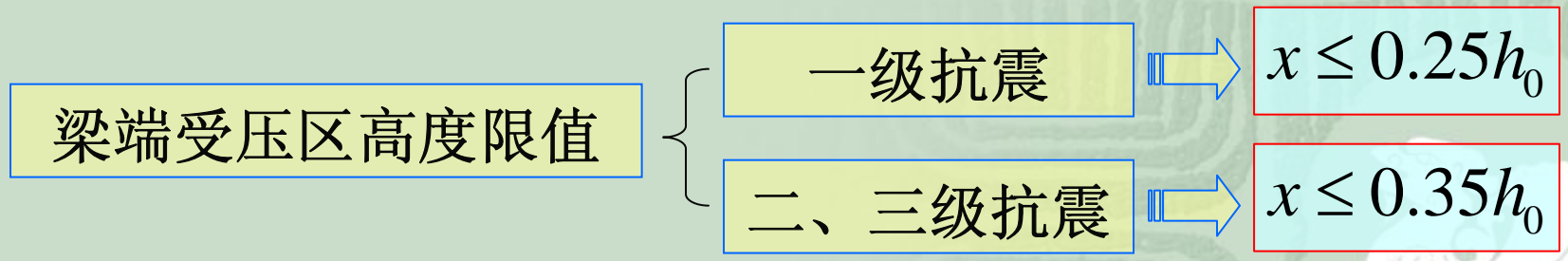
1、梁正截面受弯承载力计算

按《混凝土结构设计原理》教材

抗震设计（矩形截面）：

$$M_b \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} [\alpha_1 f_c b x (h_o - \frac{x}{2}) + f_y' A_s' (h_o - a_s')]$$

为保证框架的延性，梁端必须配置受压钢筋。



纵向受拉钢筋的配筋率：

$$\rho \leq 2.5\%$$

3.9.1 框架梁承载力计算

■ 2、梁斜截面受剪承载力计算（“强剪弱弯”）

∞ ①梁端剪力设计值（注：左右端的剪力分别计算）

$$V_b = \eta_{vb} \frac{(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb}$$

式中： M_b^l 、 M_b^r ——考虑地震作用组合的框架梁左、右端弯矩设计值；抗震等级为一级且梁两端弯矩为负弯矩时，绝对值较小一端的弯矩应取零。

V_{Gb} ——重力荷载代表值（9度时包括竖向地震作用标准值）作用下，按简支梁计算的梁端剪力。

——梁剪力增大系数，一级抗震1.3，二级抗震1.2；三级抗震1.1。

3.9.1 框架梁承载力计算

■ 2、梁斜截面受剪承载力计算 (“强剪弱弯”)

∞ ①梁端剪力设计值 (注: 左右端的剪力分别计算)

$$V_b = \eta_{vb} \frac{(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb}$$

❖ 当梁端弯矩方向为逆时针方向时, 梁左端剪力最大;

❖ 当梁端弯矩方向为顺时针方向时, 梁右端剪力最大;



❖ 对四级抗震等级, 取地震作用组合下的剪力设计值。

3.9.1 框架梁承载力计算

■ 2、梁斜截面受剪承载力计算（“强剪弱弯”）

∞ ①梁端剪力设计值（注：左右端的剪力分别计算）

对于9度和一级框架结构尚应符合：

$$V = 1.1(M_{bua}^l + M_{bua}^r) / l_n + V_{Gb}$$

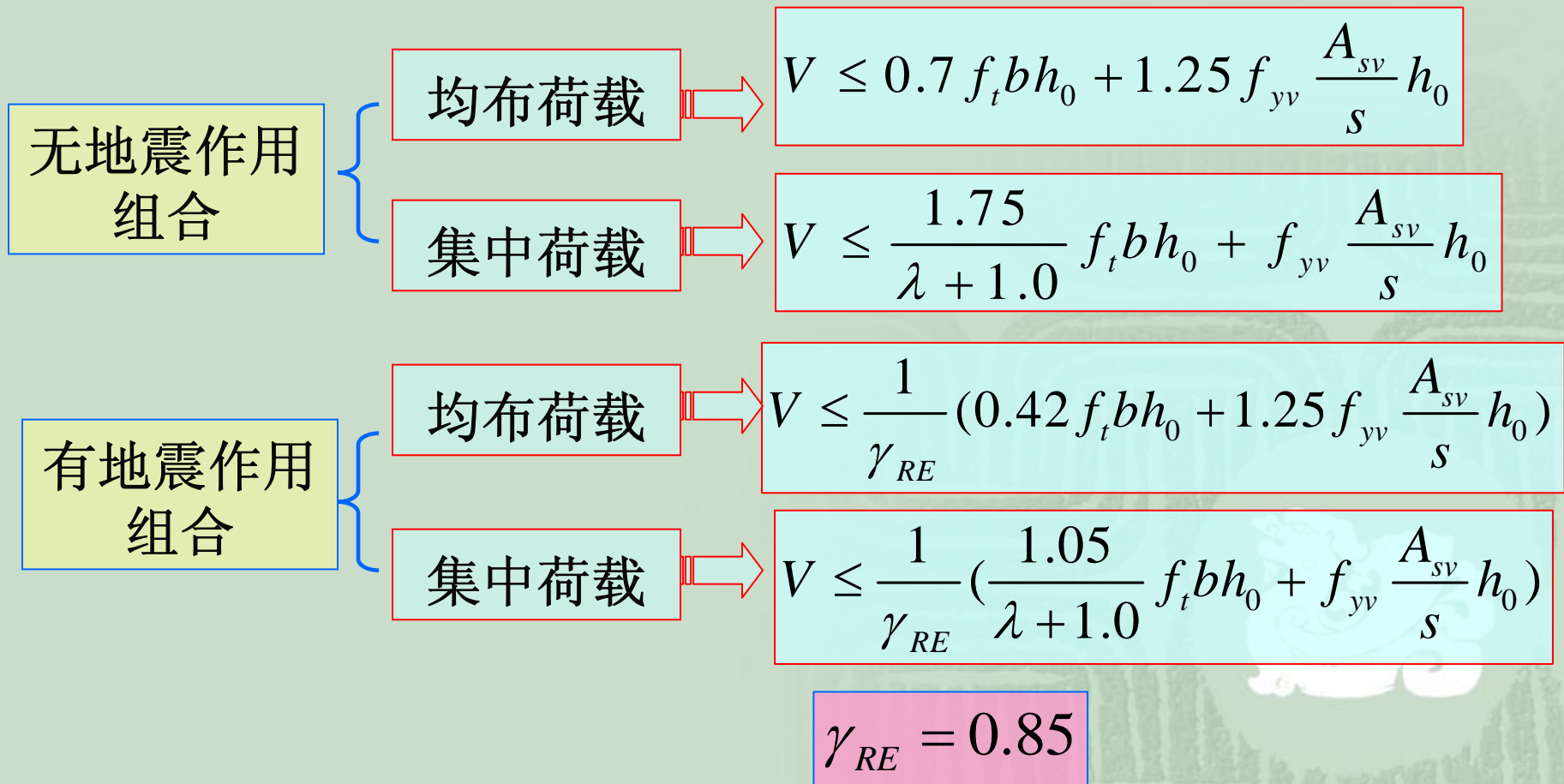
式中： M_{bua}^l 、 M_{bua}^r ——实配的正截面受弯承载力所对应的框架梁左、右端弯矩值；

实际正截面受弯承载力：

$$M_{cua} = \frac{1}{\gamma_{RE}} f_{yk} A_s^a (h_0 - a'_s)$$

2、梁斜截面受剪承载力计算

②梁斜截面受剪承载力计算



2、梁斜截面受剪承载力计算

- ③梁截面限制条件（剪压比限值）

无地震作用组合 $\Rightarrow V_b \leq 0.25 \beta_c f_c b h_0$

有地震作用组合

- 跨高比 > 2.5 $\Rightarrow V_b \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.2 \beta_c f_c b h_0)$
- 跨高比 ≤ 2.5 $\Rightarrow V_b \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 \beta_c f_c b h_0)$

$\gamma_{RE} = 0.85$

3.9.2 框架梁构造要求

- 1、材料强度
- 2、截面尺寸
- 3、纵向钢筋
- 4、箍筋



1、材料强度

材料

- (1) 砼强度等级 \geq C30 (一级抗震)
 \geq C20 (二、三级抗震)

不宜大于C40。

- (2) 纵向受力钢筋: **HRB335 (II) 级**
HRB400 (III) 级
箍筋: **HPB235 (I) 级**
HRB335 (II) 级



2、截面尺寸

截面尺寸 $b_b \times h_b$

- (1) $b_b \geq 200\text{mm}$, 且 $\geq 1/2b_c$ (加强节点区)
- (2) $h_b/b_b \leq 4$ (或 $h_b/b_b \geq 0.25$) (薄腹梁容易发生剪切破坏)
- (3) $l_n/h_b \geq 4$ (深梁容易产生剪切破坏)
- (4) $h_b \geq (\frac{1}{8} \sim \frac{1}{14})l$ (刚度要求)
- (5) $h_b^{\text{横}} - h_b^{\text{纵}} \geq 50\text{mm}$ (便于纵向、横向梁底纵筋通过)
- (6) 采用宽扁梁时, $b_b \leq 2b_c$, $b_b \leq h_c + h_b$, $h_b \geq 16d$

3、纵向钢筋

- 框架梁纵向受拉钢筋最小配筋百分率（表4.2）
- 梁端截面的受压筋与受拉筋面积比
- 梁顶面和底面的通长钢筋
- 梁中贯通中柱节点的纵筋直径 d
- 梁端截面相对受压区高度

一级 $x \leq 0.25 h_0$

二、三级 $x \leq 0.35 h_0$

同时 $x \geq 2a_s'$



4、箍筋

- 配箍率的规定
- 加密区的长度、箍筋直径、箍筋间距（见表4.3）。
- 加密区的箍筋肢距
 - $\leq 200\text{mm}$ 和 $20d_{\text{箍}}$ 中大者（一级）
 - $\leq 250\text{mm}$ 和 $20d_{\text{箍}}$ 中大者（二、三级）
 - $\leq 300\text{mm}$ （四级）



框架柱延性设计

■ 柱的设计原则

- ∞ (1) 强柱弱梁，使柱尽量不出现塑性铰。
- ∞ (2) 在弯曲破坏之前不发生剪切破坏。
- ∞ (3) 控制柱的轴压比不要太大，防止小偏心受压破坏。
- ∞ (4) 加强约束，配置必要的约束箍筋。



3.9.3 框架柱承载力计算

(1) 正截面偏心受压承载力计算

∞ 见《混凝土结构设计原理》。

∞ 抗震设计

$$S \leq R/\gamma_{RE}$$

$$\gamma_{RE} = 0.8 \text{ 或 } 0.75$$

- 柱的内力设计值调整（强柱弱梁）
- ——使框架实现梁铰侧移机构。要求除顶层和轴压比小于0.15的柱之外，节点处梁柱弯矩设计值应按下式调整：

$$M_c^u + M_c^d = \eta_c (M_b^l + M_b^r)$$



η_c : 柱端弯矩增大系数。 一级为1.4，二级为1.2，三级为1.1。

(1) 正截面偏心受压承载力计算

- 9度和一级框架尚应符合：

$$M_c^u + M_c^d = 1.2(M_{bua}^l + M_{bua}^r)$$

- 一、二、三级框架结构的底层，柱下端截面组合弯矩设计值，应分别乘以增大系数**1.5**，**1.25**，**1.15**。底层是指无地下室的基础以上或地下室以上的首层。
- 一、二级框架结构的角柱，按调整后的弯矩、剪力设计值，尚应乘以增大系数**1.1**。



(2) 斜截面受剪承载力计算

■ ①柱剪力设计值

强剪弱弯——框架柱和框支柱端部组合剪力设计值应

按下式调整： $V_c = \eta_{Vc} (M_c^t + M_c^b) / H_n$

9度和一级框架结构尚应符合：

$$V_c = 1.2(M_{cua}^t + M_{cua}^b) / H_n$$

η_{Vc} ：柱端剪力增大系数。一级为1.4，二级为1.2，三级为1.1。

实际正截面受弯承载力按下式计算

$$M_{cua} = \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[f_{yk} A_s^a (h_0 - a_s') + 0.5 \gamma_{RE} N h \left(1 - \frac{\gamma_{RE} N}{\alpha_1 f_{ck} b h} \right) \right]$$

(2) 斜截面受剪承载力计算

■ ②计算公式

∞ 有地震组合（柱受压）

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sy}}{S} h_0 \right) + 0.056N$$

$$\gamma_{RE} = 0.85$$

■ 有地震组合（柱受拉）

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sy}}{S} h_0 \right) - 0.2N$$



(2) 斜截面受剪承载力计算

■ ③受剪截面限制条件

■ 抗震设计

■ 对于一般柱，应符合
$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.20 f_c b h_0)$$

■ 对于短柱，应符合：
$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 f_c b h_0)$$

$$\gamma_{RE} = 0.85$$



3.9.4 框架柱的构造要求

(1) 材料强度

- 一级抗震不低于**C30**；其他不低于**C20**。
- 9度时不宜大于**C60**；8度时不宜大于**C70**。

(2) 截面尺寸

- 矩形柱 b_c 或 $h_c \geq 300\text{mm}$ ，长边/短边 ≤ 3 ，一般取正方形。
- 圆形或多边形截面的内接圆直径 $\geq 350\text{mm}$ 。
- 柱净高 $H_n/h_c > 4$ （避免短柱）。
- 偏心距。柱中线于梁中线之间的偏心距不宜大于柱截面宽度的 $1/4$ 。（偏心距过大将导致节点区受剪面积不足）

3.9.4 框架柱的构造要求

轴压比的限值

表4.4 柱轴压比的限值

结构类型	抗震等级		
	一级	二级	三级
框架结构	0.7	0.8	0.9
框架-抗震墙、板柱-抗震墙及筒体	0.75	0.85	0.95
部分框支抗震墙	0.6	0.7	—

3.9.4 框架柱的构造要求

(3) 纵向钢筋配置

- 1) 框架柱截面宜采用对称配筋。截面尺寸大于400mm的柱，纵向钢筋间距不宜大于200mm。
- 2) 最大配筋率限制：总配筋率不应大于5%；一级且剪跨比不大于2的柱，每侧纵向钢筋配筋率不宜大于1.2%。
- 3) 最小配筋率限制：柱截面最小总配筋率应符合表5-11要求。

柱纵向钢筋的最小总配筋率 (%)

类别	抗震等级			
	一级	二级	三级	四级
中柱和边柱	1.0	0.8	0.7	0.6
角柱、框支柱	1.2	1.0	0.9	0.8



3.9.4 框架柱的构造要求

(4) 箍筋

柱箍筋加密区的范围

- ① 柱子两端取截面高度（圆柱直径）、柱净高的 $1/6$ 和 500mm 三者的最大值。
- ② 底层柱，当有刚性地面时，除柱端外尚应取刚性地面上下各 500mm 。
- ③ 剪跨比不大于 2 的柱和因非结构墙的约束形成的柱净高大于柱截面高度之比不大于 4 的柱，取全高。
- ④ 框支柱，取全高。
- ⑤ 一级、二级框架柱的角柱，取全高。



3.9.4 框架柱的构造要求

柱箍筋加密区的箍筋间距、直径和肢数

- ① 一般情况下，箍筋的最大间距和最小直径，应按表5-12取用。
- ② 二级框架柱的箍筋直径不小于10mm且肢距不大于200mm时，除柱根外最大间距允许采用150mm；三级框架柱的截面尺寸不大于400mm时，箍筋最小直径允许采用6mm；四级框架柱剪跨比不大于2时，箍筋直径不应小于8mm。



3.9.4 框架柱的构造要求

柱箍筋加密区的箍筋间距、直径和肢数

③ 框支柱和剪跨比不大于2的柱，箍筋间距不应大于100mm。

④ 柱箍筋加密区的箍筋肢距，一级不宜大于200mm，二、三级不宜大于250mm和 $20d_{\text{箍}}$ 较大者，四级不宜大于300mm。至少每隔一根纵筋宜在两个方向有箍筋或拉筋约束；当采用拉筋组合箍筋时，拉筋宜紧靠纵向钢筋并勾住箍筋。

3.9.4 框架柱的构造要求

柱箍筋加密区的箍筋最小配箍率和最小配箍特征值

① 约束箍筋的用量随轴压比的增大而增加，这样才能起到对混凝土的约束作用。因此，《抗震规范》依据柱轴压比的不同，规定了柱箍筋加密区的**箍筋体积配箍率**应符合下式要求：

$$\rho_V \geq \lambda_V f_c / f_{yV}$$

② 为了避免配箍率过小还规定了最小配箍率：
一级为0.8%，二级为0.6%，三、四级为0.4%。

3.9.4 框架柱的构造要求

$$\rho_V \geq \lambda_V f_c / f_{yV}$$

式中记号的意义：

ρ_V ：柱箍筋加密区的体积配箍率。

f_c ：混凝土轴心抗压强度，低于C35时，应按C35计算。

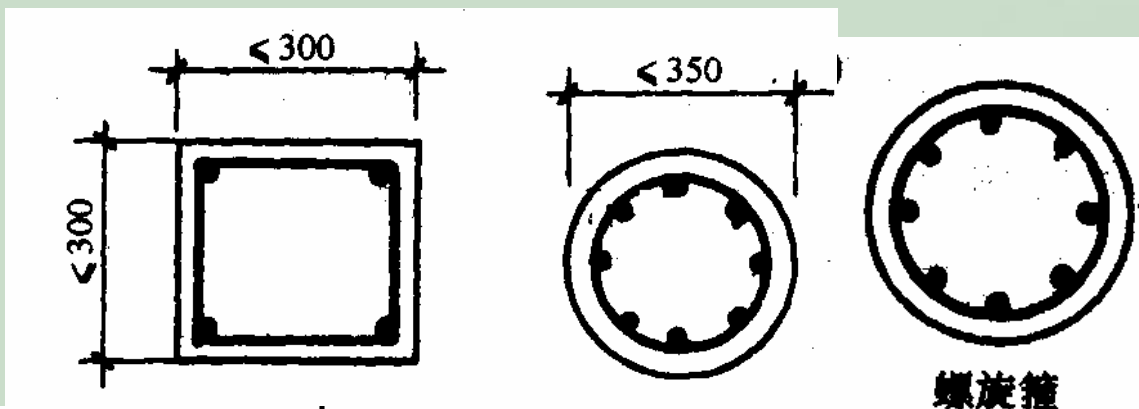
f_{yV} ：箍筋或拉筋抗拉强度，大于 $360\text{N}/\text{mm}^2$ ，取 $360\text{N}/\text{mm}^2$ 计算。

λ_V ：最小配箍特征值，按表4.7采用。



3.9.4 框架柱的构造要求

柱的各类箍筋参考图

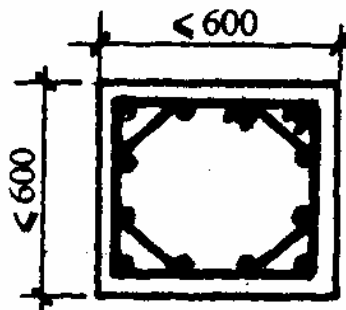


(b)

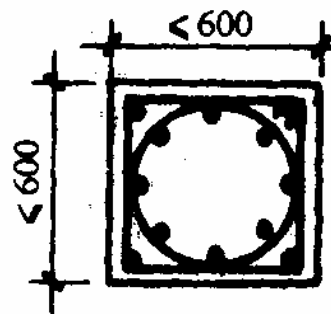
矩形箍或拉筋



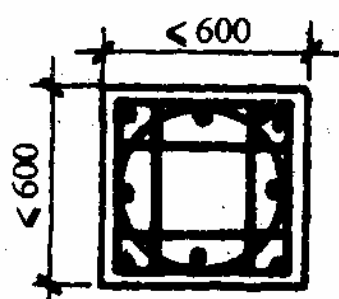
井字形复合箍



多边形复合箍



方、圆形复合箍



3.9.4 框架柱的构造要求



框架柱节点的设计（略）

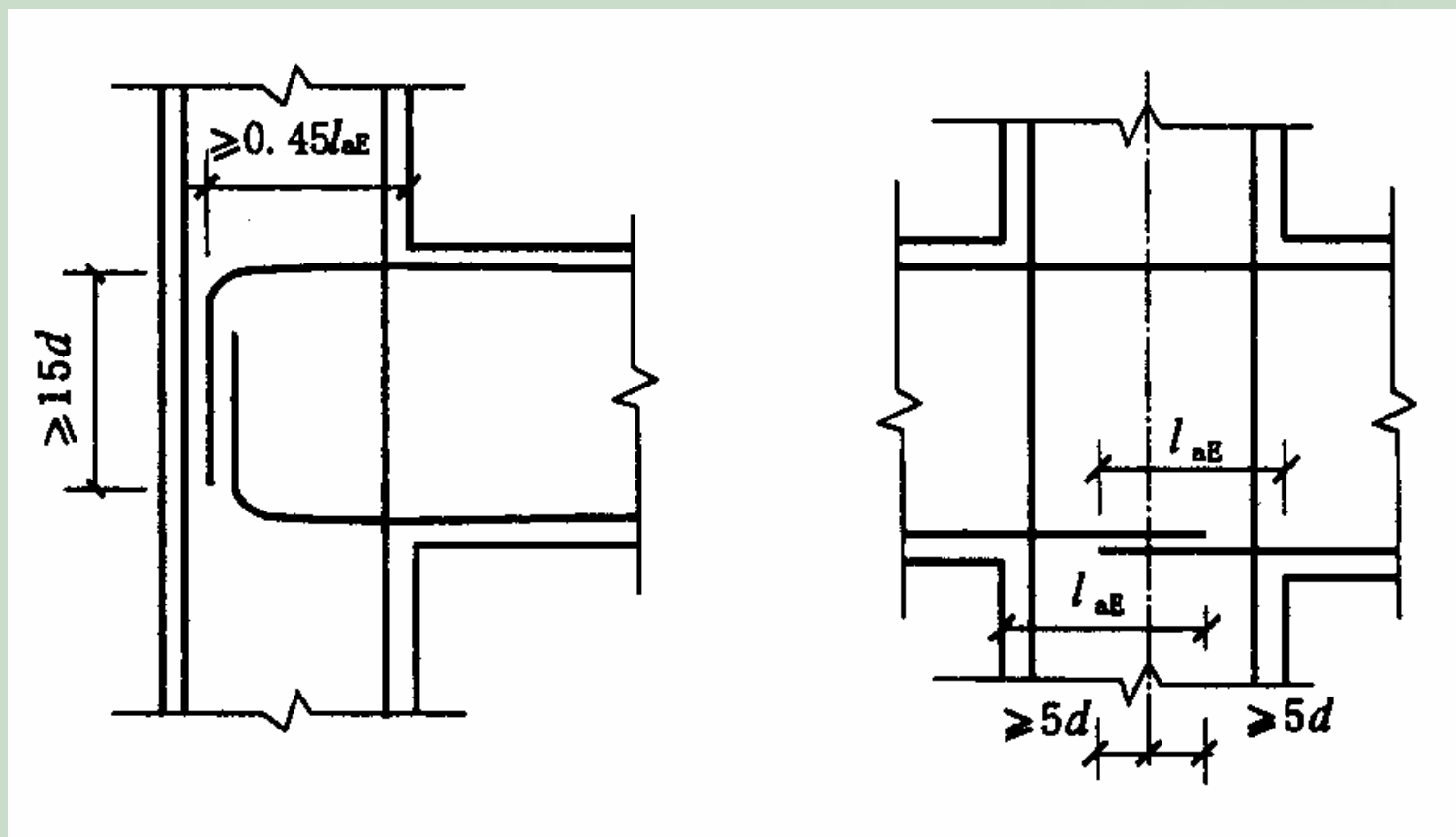
■ 框架节点抗震设计原则

- (1) 强节点弱杆件。使节点的承载力不低于与其相连的构件（梁、柱）的承载力。
- (2) 多遇地震时，节点应在弹性范围内工作。
- (3) 罕遇地震时，节点的承载力的降低不得危及竖向荷载的传递。
- (4) 梁、柱纵筋在节点区应有可靠的锚固。
- (5) 节点配筋不应使施工过分困难。



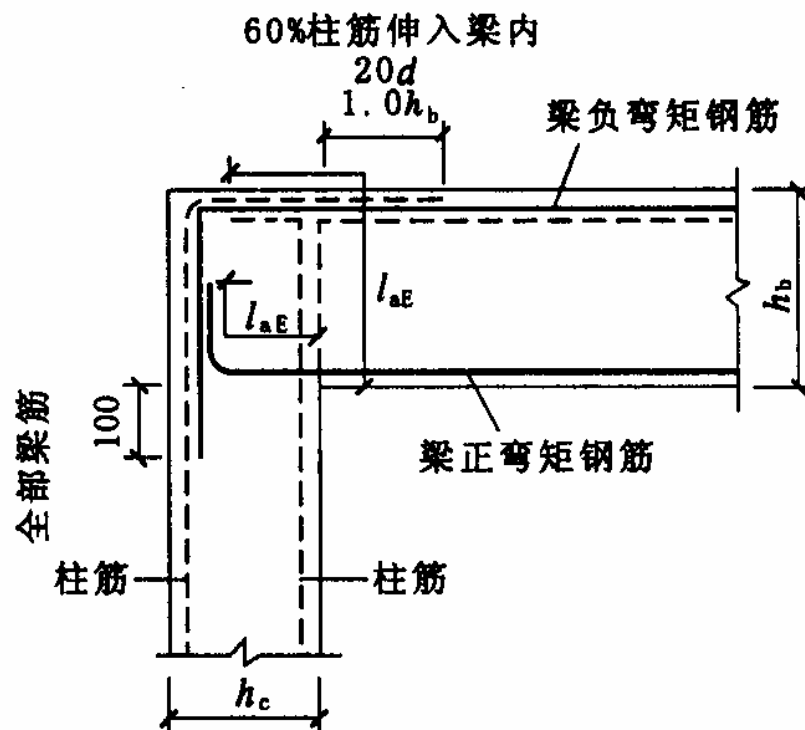
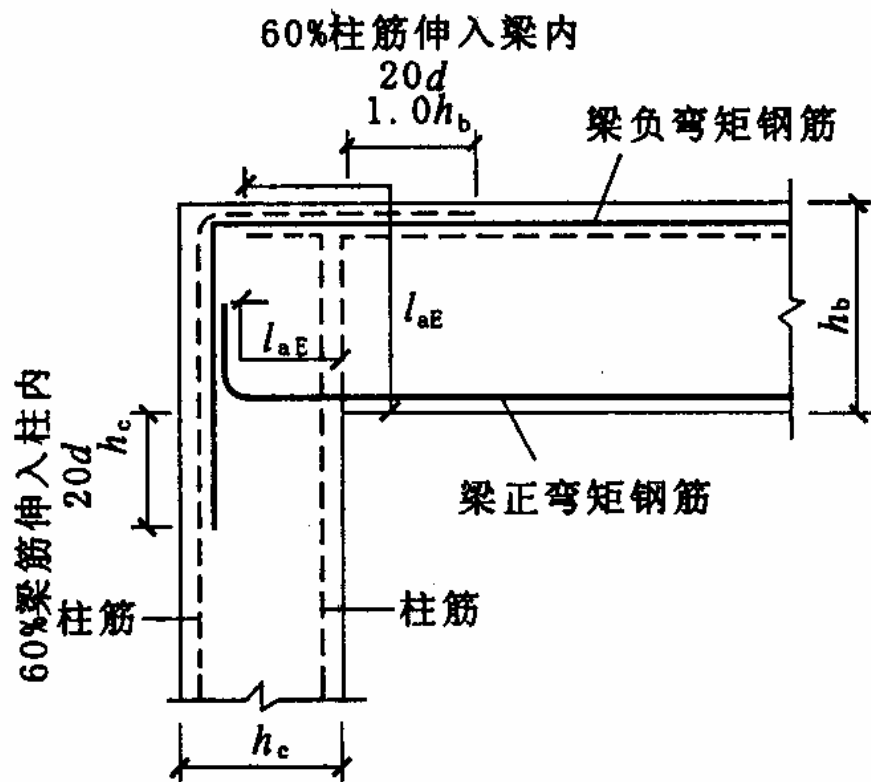
框架节点的构造要求

- 边柱节点和中柱节点钢筋锚固：

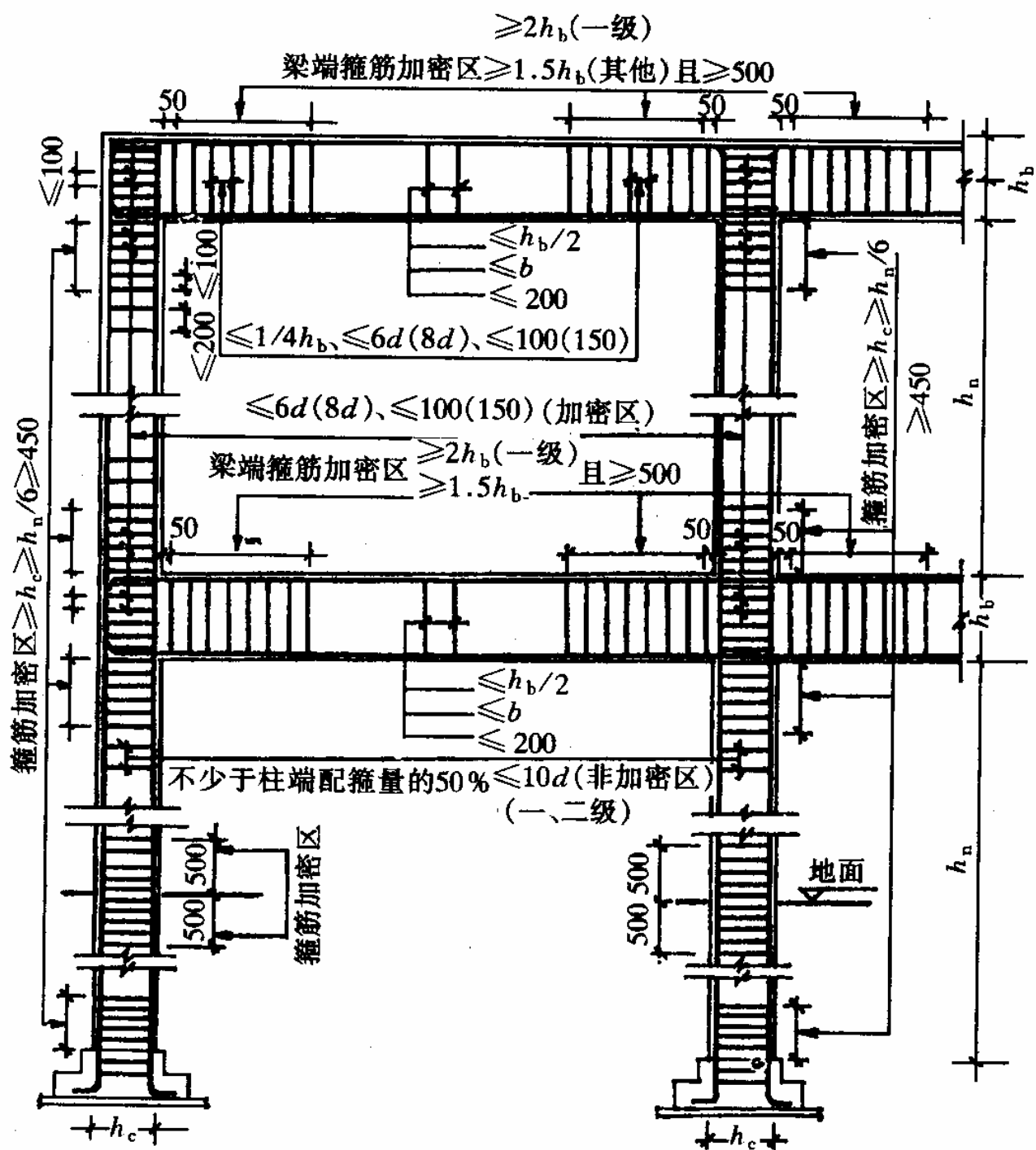


框架节点的构造要求

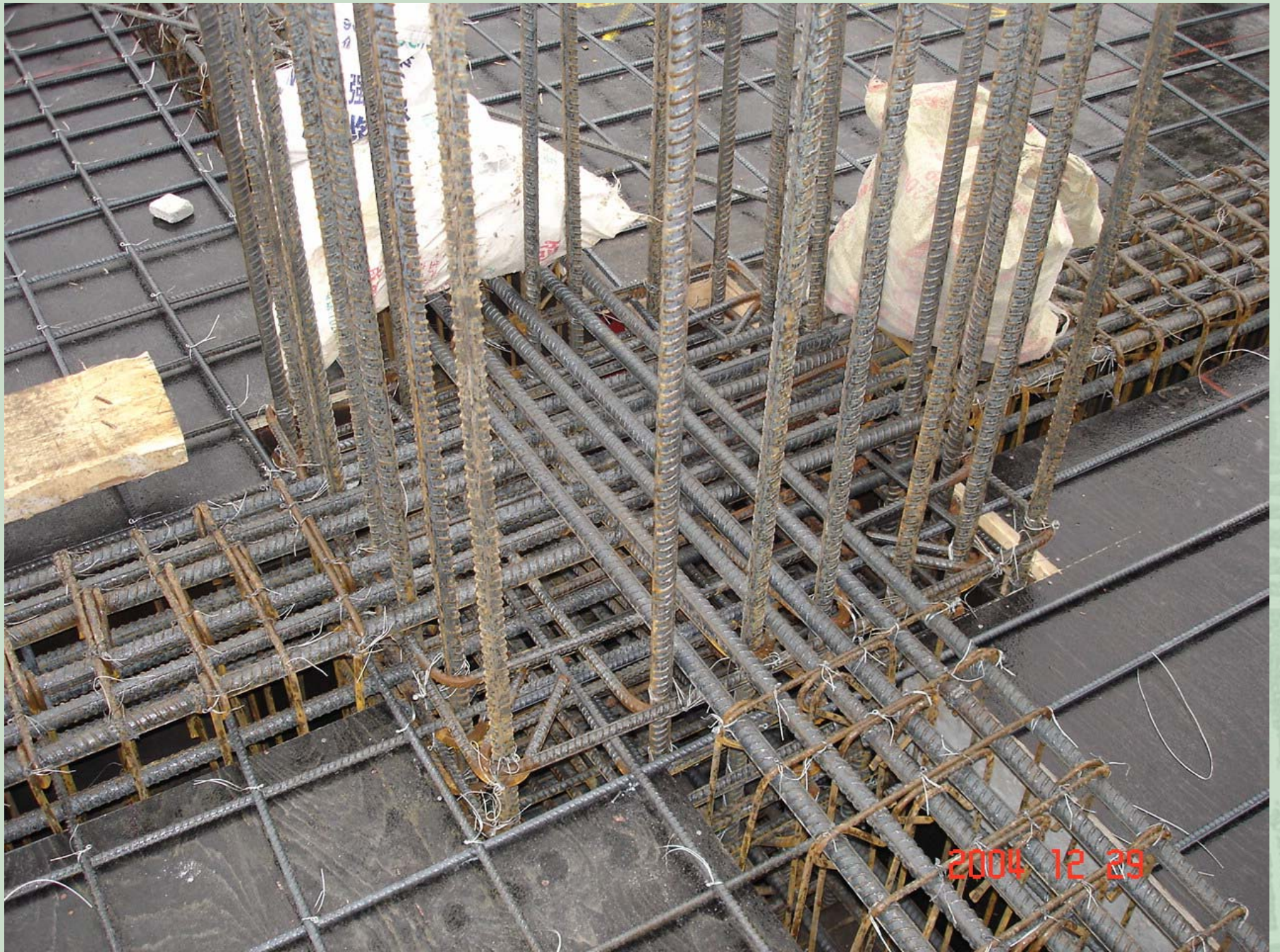
■ 顶部边柱节点钢筋锚固



框架配筋图







2004 12 29



2004 12 29



2004 12 29

荷载效应组合——例题

- **【例题1】** 今有一在非地震区的办公楼顶层柱。经计算，已知在永久荷载标准值、屋面活荷载标准值、风荷载标准值及雪荷载标准值分别作用下得其柱的轴向力为 $N_{GK} = 40\text{kN}$ 、 $N_{Q1K} = 12\text{kN}$ 、 $N_{Q2K} = 4\text{kN}$ 、 $N_{Q3K} = 1\text{kN}$ 、

这里： N_{GK} ——永久荷载标准值所引起的该柱轴向压力标准值；
 N_{Q1K} ——屋面活荷载标准值所引起的该柱轴向压力标准值；
 N_{Q2K} ——风荷载标准值所引起的该柱轴向压力标准值；
 N_{Q3K} ——雪荷载标准值所引起的该柱轴向压力标准值。

◆ 试确定该柱在按承载能力极限状态基本组合时的轴向压力设计值 N ，取以下何项为正确？

- ◆ (A) 64.80kN (B) 65.76kN (C) 66.76kN (D) 70.10kN

荷载效应组合——例题

- ◆ 试确定该柱在按承载能力极限状态基本组合时的轴向压力设计值N，取以下何项为正确？
- ◆ (A)64.80kN (B)65.76kN (C)66.76kN (D)70.10kN

[解题分析]:

由题可知，当该柱按承载能力极限状态作基本组合时，永久荷载效应将起控制作用。这样，参与组合的可变荷载中仅限于竖向荷载而风荷载不参与组合。此外，屋面活荷载不与雪荷载同时组合。

这样，该柱的轴压力设计值将为：

$$N=1.35 \times 40+0.7 \times 1.4 \times 12=65.76\text{kN}$$

答案：(B)

荷载效应组合——例题

• 对上题的办公楼顶层柱作正常使用极限状态准永久组合时，其轴压力设计值 N 应为下列的何项？

(A)44.80kN (B)46.00kN (C)48.20kN (D)52.70kN

[解题分析]：按正常使用极限状态准永久组合时：**风荷载**的准永久值为零，且**屋面活荷载不与雪荷载同时组合**。

$$N=40+0.4 \times 12=44.80\text{kN}$$

答案：(A)



习题

- 【习题3.3】今在7度抗震设防区有一高45m的钢筋混凝土办公楼。经计算，已知其顶层柱在重力荷载代表值、水平地震作用标准值、风荷载标准值及雪荷载标准值分别作用下得其柱的轴压力为：
 - $N_{GK}=46kN$ 、 $N_{Ehk}=7.67kN$ 、 $N_{wk}=4kN$ 、 $N_{sk}=0.5kN$ 。
 - 试确定按承载力极限状态设计时，该柱的轴压力设计值 N ，取下列何项为正确？
 - (A)65.17kN (B)66.29kN (C)70.77kN (D)71.47kN



习题

- 【习题3.4】 在8度抗震设防区有一高50m、三跨、12层的钢筋混凝土框架大楼。在永久荷载、楼面活荷载、风荷载及水平地震作用**标准值**的作用下，已算得位于第6层的横梁边跨端弯矩分别为 $-25\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $-9\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $\pm 18\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $-30\text{kN}\cdot\text{m}$ 。试求第6层该横梁边跨端弯矩设计值 M_A 。

