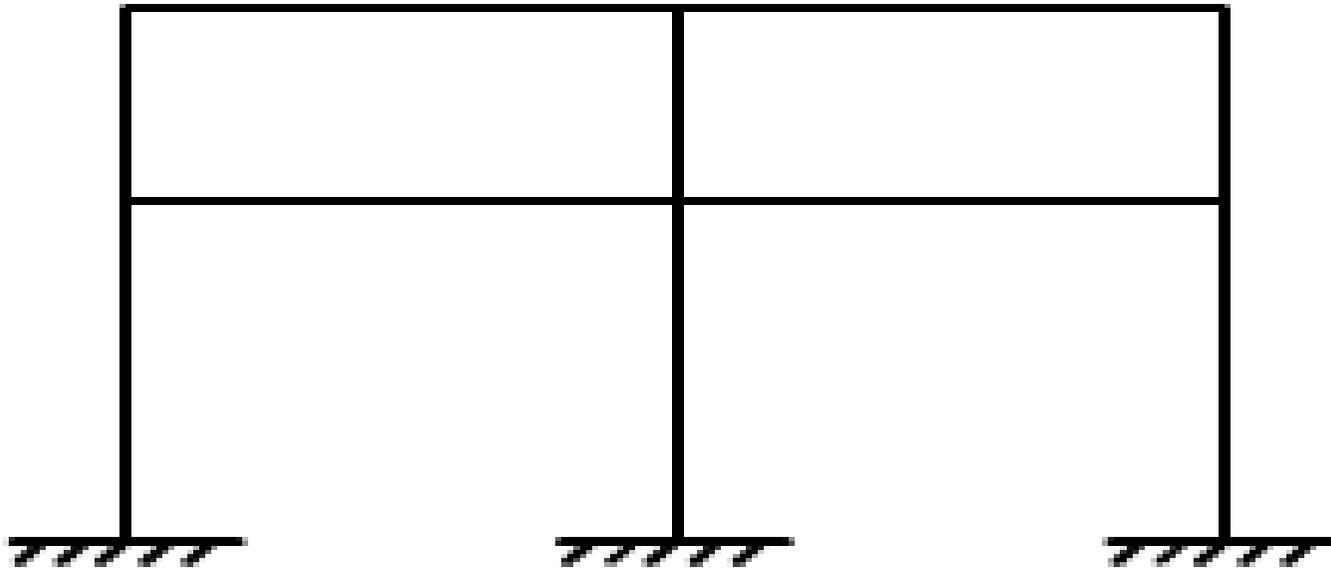


第13章 多层框架结构

§ 13.1 多层框架结构的组成与布置

13.1.1 多层框架结构的组成

所谓框架结构即结构由梁柱构件连接而成，一般情况这种连接的节点为刚接，但必要时也可做成铰接或半铰接，柱底一般为固定支座，通常框架梁宜拉通、对直，框架柱上下对中，纵横对齐，梁柱轴成在同一平面内。



但因特殊需要也可做成下列形式

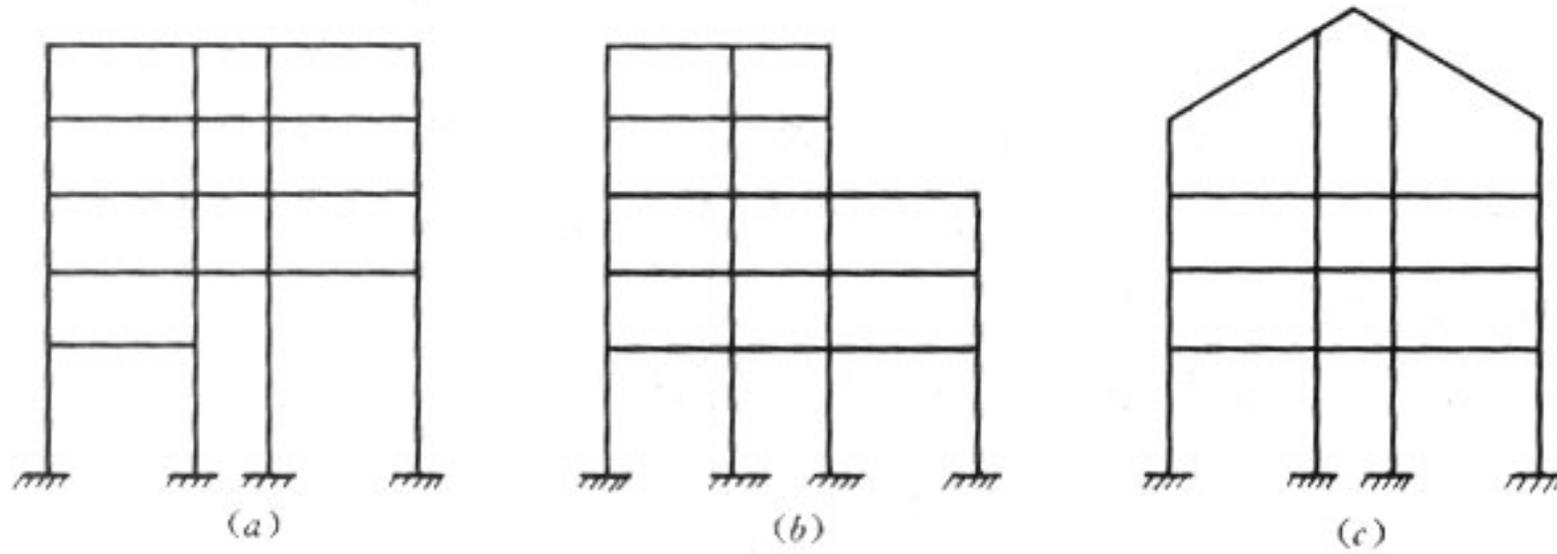


图 14-1 框架结构示例

(a) 缺梁的框架；(b) 内收的框架；(c) 有斜梁的框架

1、框架结构分类

1) 现浇框架

其做法为--每层柱与其上层的梁板同时支模、绑扎钢筋，然后一次浇筑混凝土，是目前最常用的形式

优点：整体性，抗震性好

缺点：施工周期长，费料、费力

2) 装配式框架

其做法为--梁、柱、楼板均为预制，通过预埋件焊接形成整体的框架结构

优点：工业化，速度化，成本低

缺点：整体性，抗震性差

3) 装配整体式

其做法为--梁、柱、板均为预制，在构件吊装就位后，焊接或绑扎节点区钢筋，浇筑节点区混凝土，从而将梁、柱、楼板连成整体框架。

其性能介于现浇和全装配框架之间。

2、框架中刚性填充墙的作用

框架现浇受竖向力，又承担水平荷载，通常为了分隔在框架内应浇筑填充墙，填充墙存在使框架或为砖墙钢筋混凝土复合结构。所以在计算中如何考虑其作用是值得讨论的。

如果填充墙与梁采用柔性连接（仅通过钢筋连接）可不考虑填充墙抗侧作用

如果填充墙与梁采用刚性连接（侧切顶砖或类砌墙后浇梁），则可考虑填充墙的抗侧作用（抽象斜压杆）

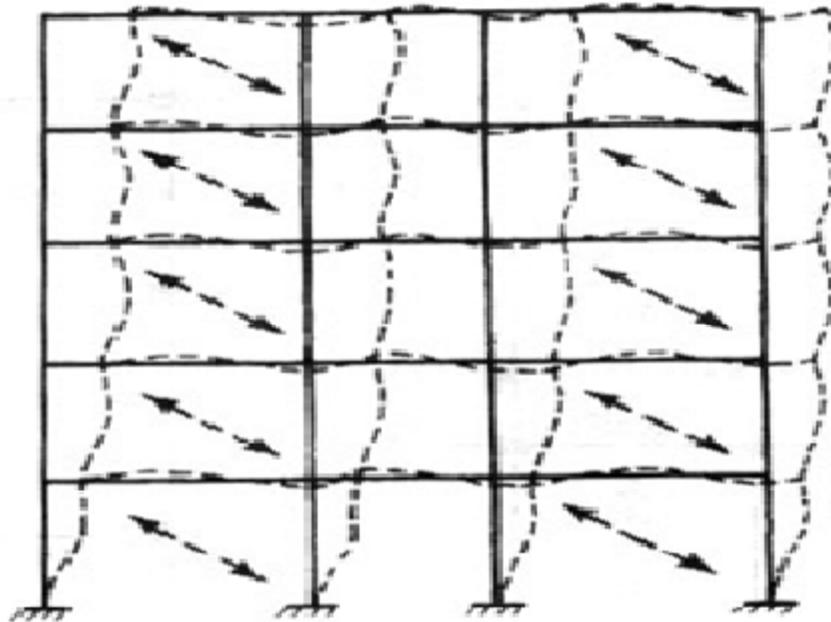


图14-2 刚性填充墙的作用

一般填充墙竖向承载作用不予考虑

13. 1. 2 框架结构布置

1、柱网布置

1) 要求

(1) 满足生产工艺要求

有内廊式、等跨式、对称不等跨式之分

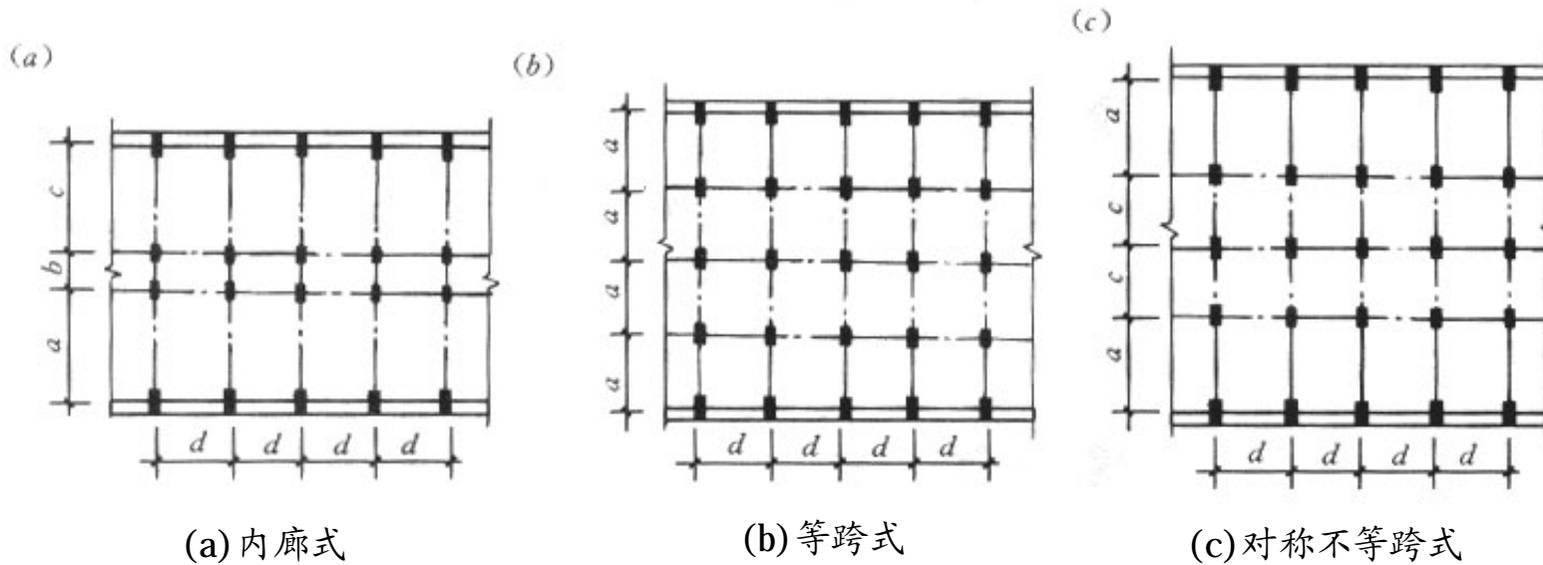


图14-3 多层厂房柱网布置

(2) 满足建筑平面要求

应将柱子尽量设在纵横建筑隔墙交叉点上，梁跨度一般在6-9M之间
对于旅馆建筑可以有两种方案：柱子立在走道或客房内侧

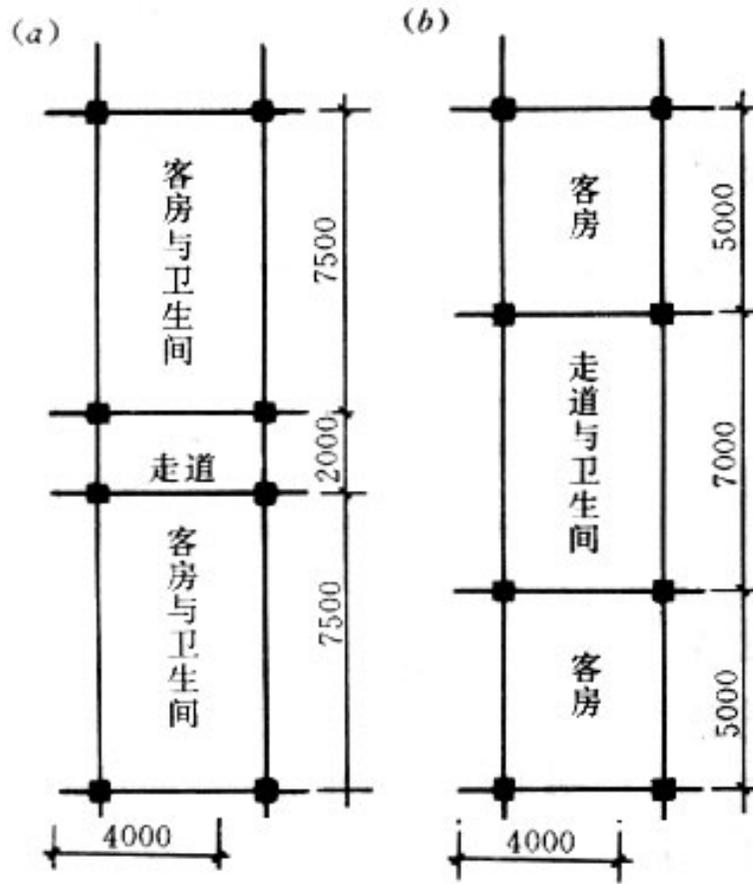


图 14-4 旅馆横向柱列布置

对于办公建筑可设计成三跨和两跨框架

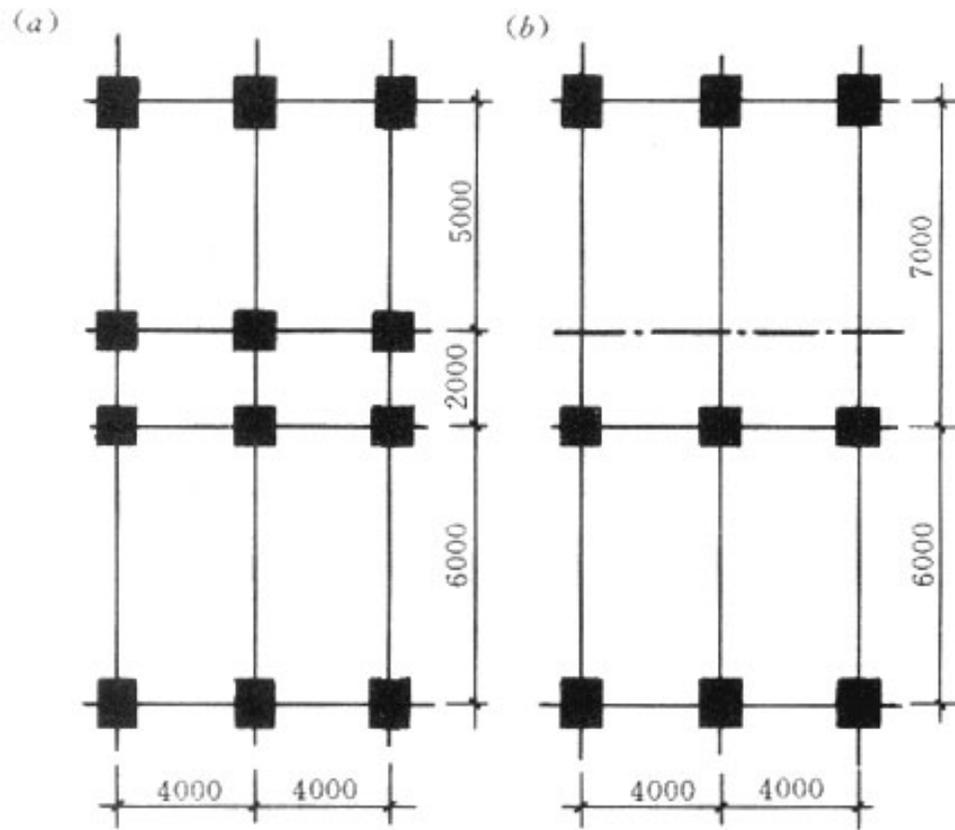


图 14-5 办公楼横向柱列布置

(3) 受力合理

主要考虑内力分布均匀、合理，材料强度能予以充分利用

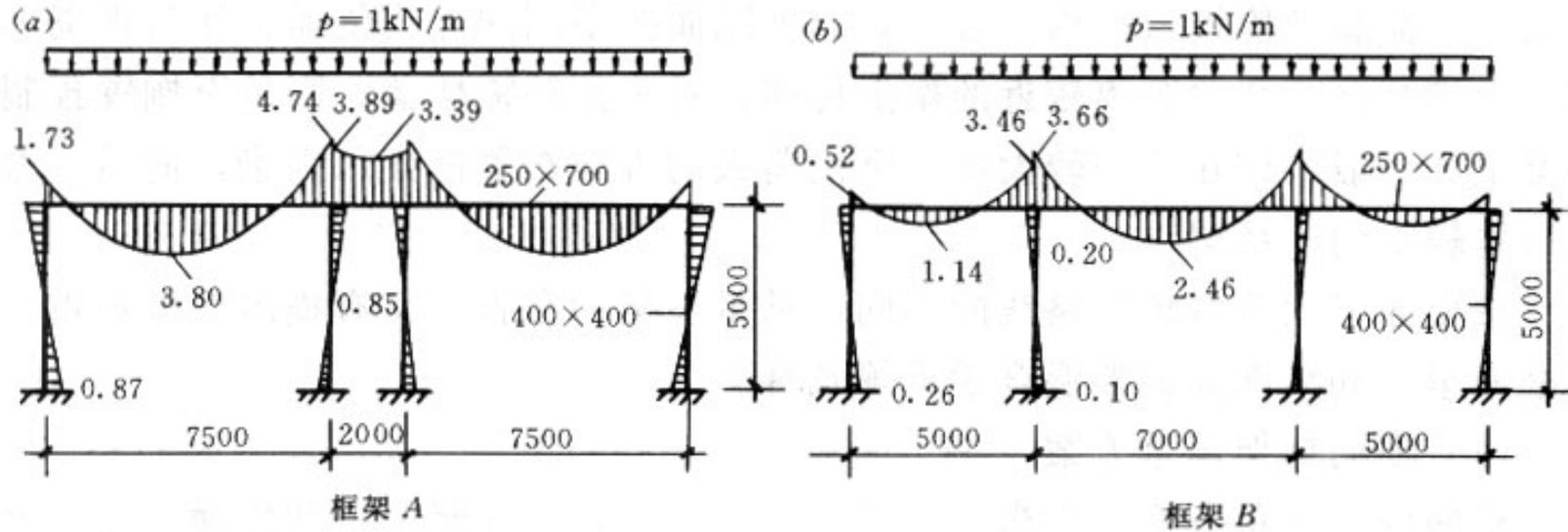


图 14-6 框架弯矩图 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

同样17M长度，框架B的弯矩分布显得比较均匀
对于图14-6 (b)的材料用量省

纵向柱列的柱距一般为房屋的建筑开间，但在开间过小时，柱子截面设计常按构造配筋，材料强度不能充分利用，且过小的柱距难以灵活布置，为此柱距可取两个开间。

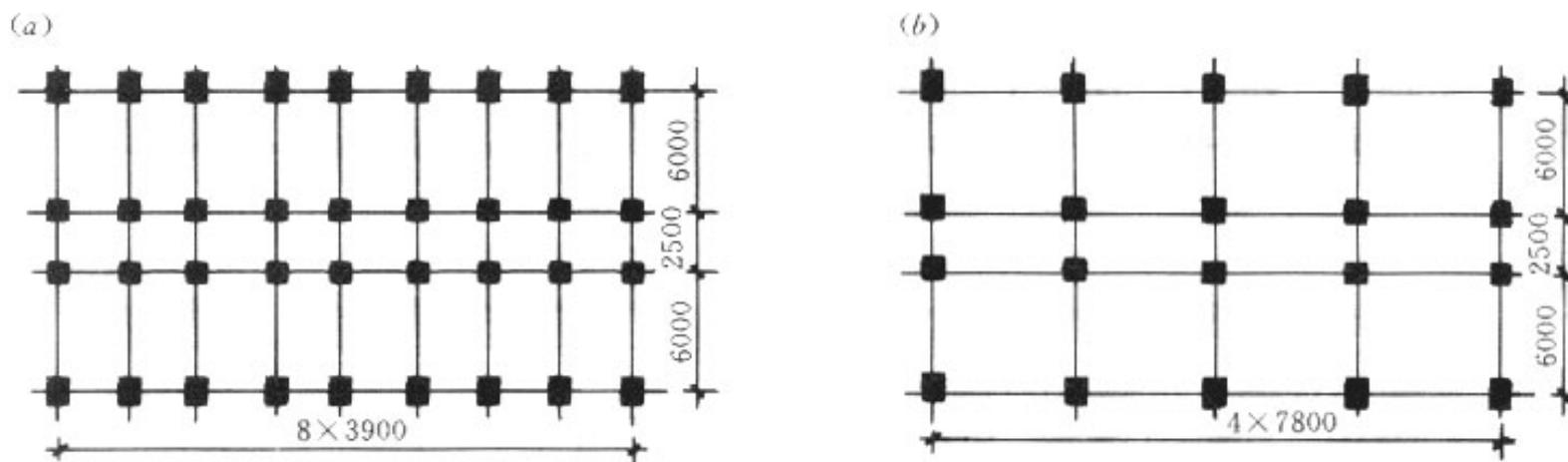


图 14-7 纵向柱列布置

(4) 柱网布置应方便施工

主要预制构件满足标准化、易于施工，现浇框架受力尽量直接，简单，以方便施工

2、承重框架的布置

实际平面布置应两个方向均为框架，即为空间结构，但为简便可简化为横向平面框架和纵向平面框架，水平荷载按不同方向分别承担，而竖向荷载根据力的传递原则进行，应注意对预制板，其板上荷载直接传给柱子，通常将主要承受竖向荷载的平面框架算为承重框架，而另一方向在平面尺寸方向明显大于另一方向时，可按连系梁设计

2) 框架承重方案

(1) 横向框架承重方案

特点：横向布置承重框架，竖向荷载由横向梁支承，纵向按连系梁布置。有利于通风采光

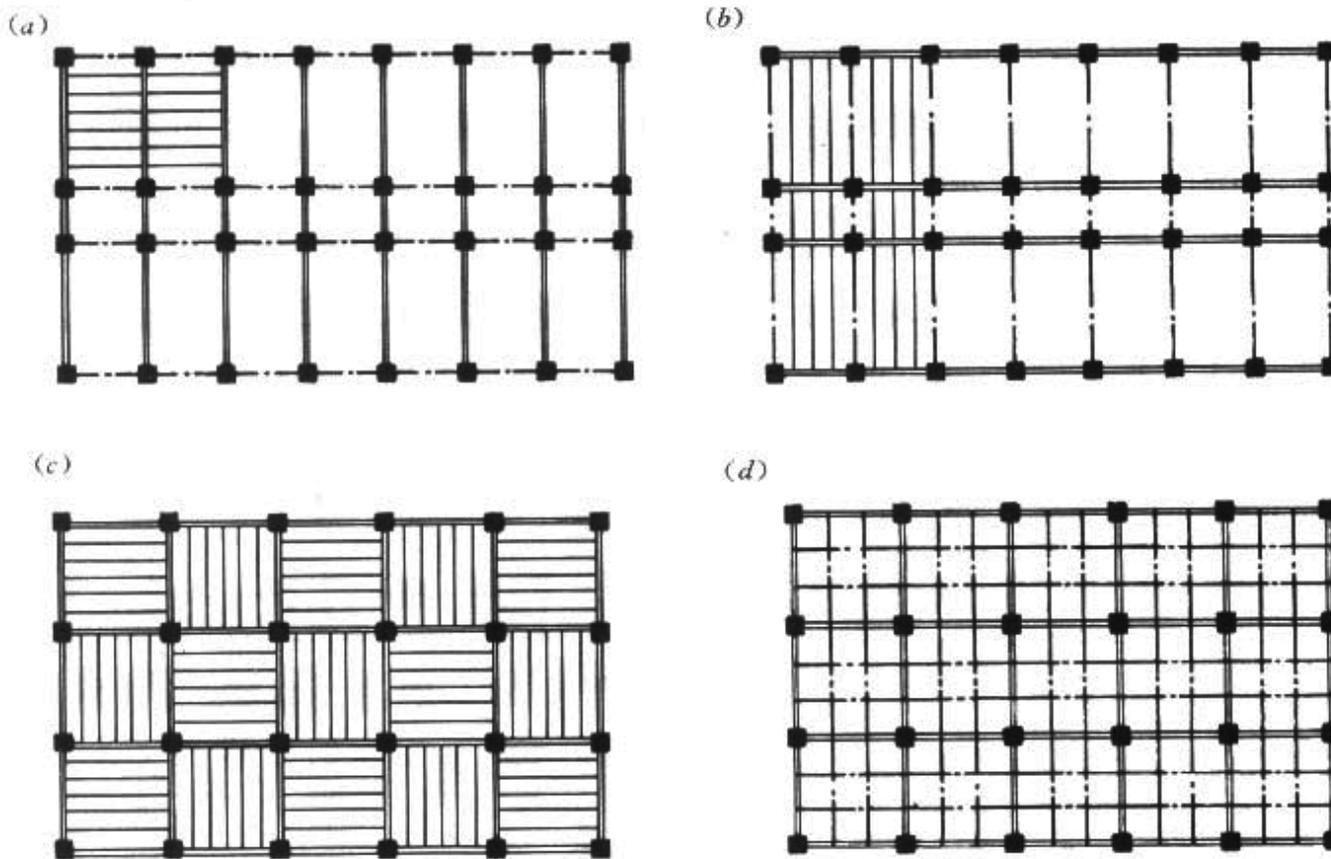


图14-8 承重框架布置方案

(2) 纵向框架承重方案

特点：纵向布置承重框架，横向布置连系梁，对于开间方向可获得较大的净空，对于纵向不均匀沉降，可用纵向框架予以调整，但其横向刚度差，进深大时很难采用预制板

(3) 纵横向框架混合承重方案

即在两个方向均布置为承重框架，这种方案整体性好，适用于承受较大的荷载以及开洞。

3、变形缝设置

在前述变形缝的基本概念，在此不予重复

应注意：在多高层建筑结构中应尽量避免设置变形缝

以便于施工，降低成本，为此应采取以下措施：

- ① 在建筑设计时，应调整平面形状、尺寸、体型；
- ② 在结构设计时，应通过选择节点连接方式，配置构造钢筋以及设置刚性层等；
- ③ 在施工时，设后浇带，做好保温隔热层。

规范规定：结构的长度超过伸缩缝最大间距容许值时，应设伸缩缝，或地基土物理力学指标相差较大时，应设沉降缝，做法见图，缝宽 $\leq 50\text{mm}$ 。

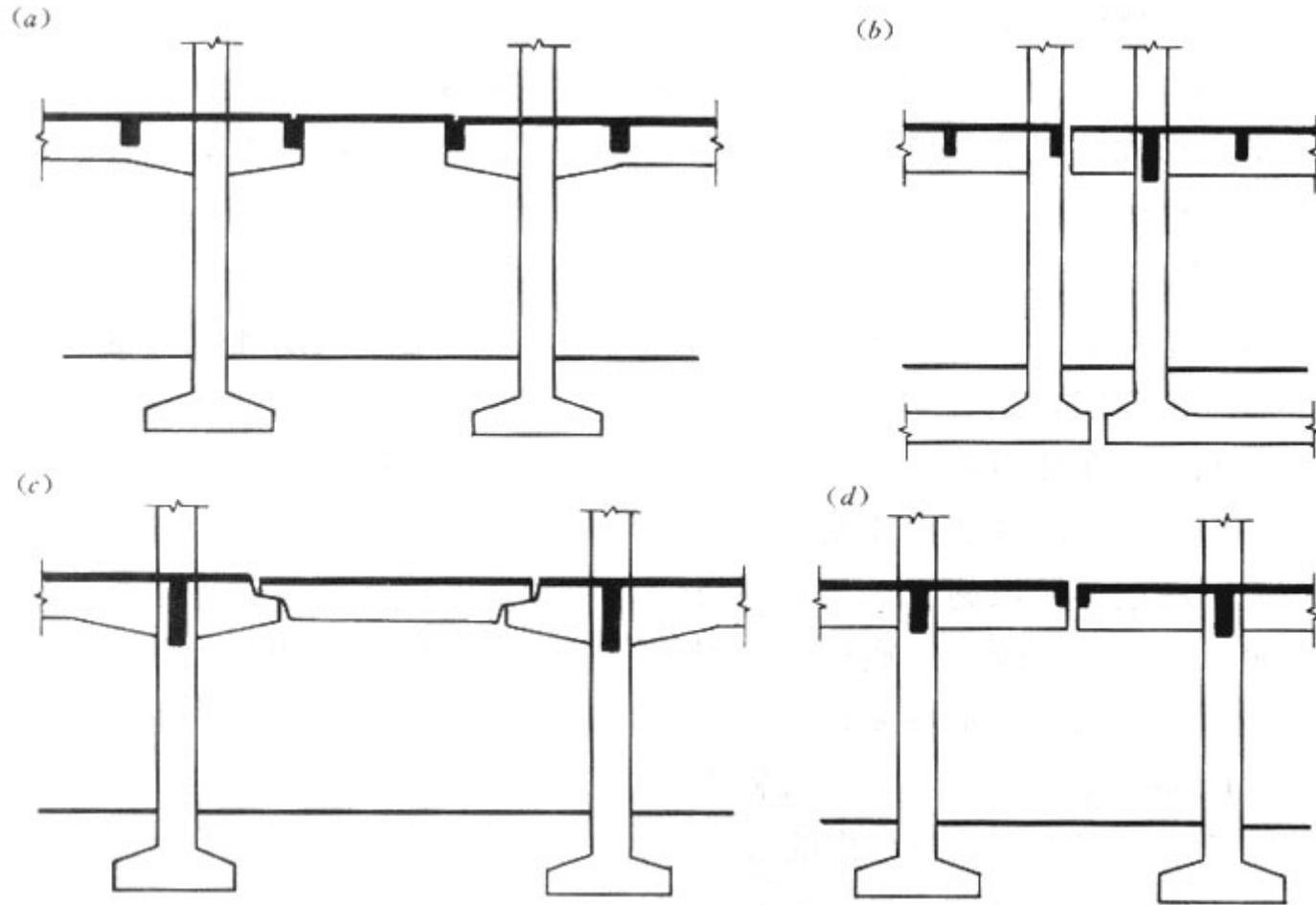


图14-9 沉降缝构造

(a) 简支版式；(b) 单悬挑式；(c) 简支梁式；(d) 双悬挑式

防震缝设置，目的在于使各单元简单、规则，刚度和质量分布均匀，以防相互碰撞，防震缝的宽度 $\geq 70\text{mm}$ ，且同时满足表14-1要求。

防震缝最小宽度 (mm)

表 14-1

结构类型	设 防 烈 度			
	6 度	7 度	8 度	9 度
框 架	$4H+10$	$5H-5$	$7H-35$	$10H-80$
框架-剪力墙	$3.5H+9$	$4.2H-4$	$6H-30$	$8.5H-68$
剪 力 墙	$2.8H+7$	$3.5H-3$	$5H-25$	$7H-55$

注：表中 H 为相邻结构单元中较低单元的屋面高度，以 m 计。当 $H < 15\text{m}$ 时，取 $H = 15\text{m}$ 。

注意：在非地震区的沉降缝，可兼作伸缩缝；在地震区的伸缩缝或沉降缝宽度应满足防震缝要求，若只设防震缝，其基础可不开。

§ 13.2 框架结构内力与水平位移的近似计算方法

框架结构是空间结构体系，目前利用电算程序可以直接计算，但对于手算一般需将空间结构简化为两个相互垂直方向的。这些近似方法主要包括竖向荷载作用下的分层法，水平荷载作用下的反弯点法和改进反弯点法（D值法）。

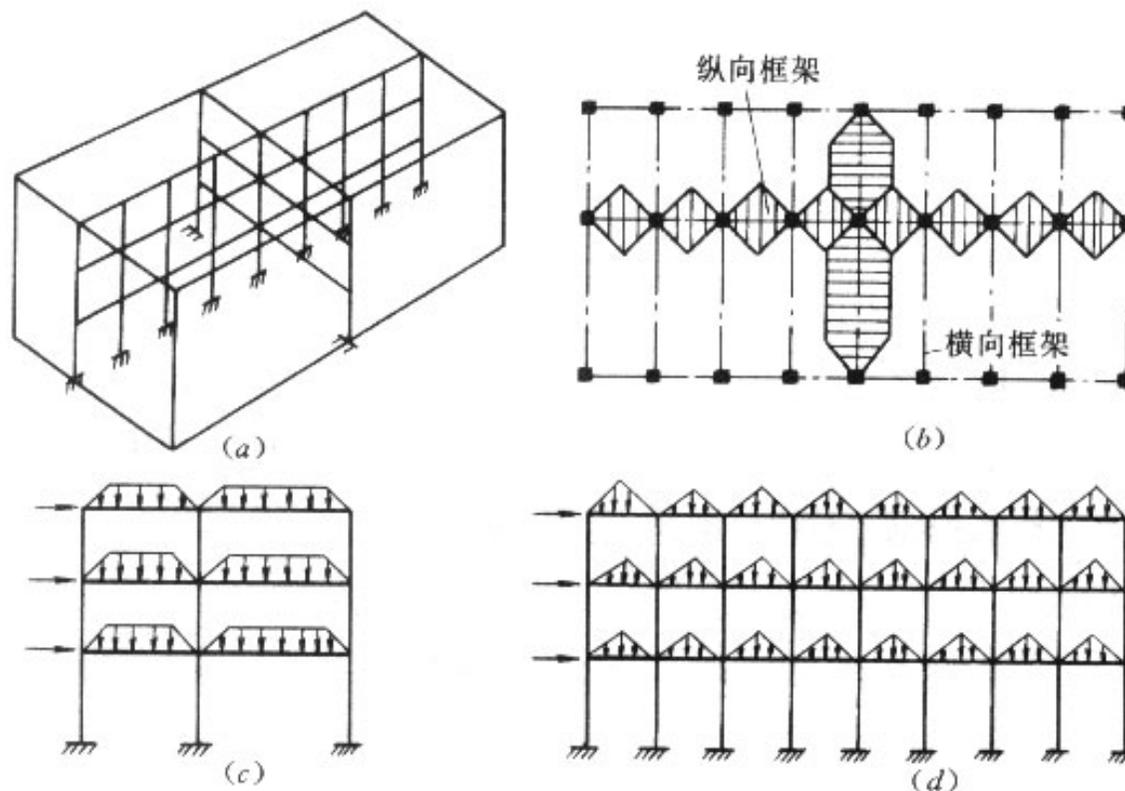


图 14-10 框架结构计算简图

13.2.1 框架结构的计算简图

1. 计算单元的确定

横向单位框架应在中间取一单元即可。（有代表性）

纵向平面框架应视受力情况不同，分别取几个单元。

对于现浇楼盖，楼面分布荷载按角平分线传至梁，水平荷载简化为节点集中力。

2. 节点的简化

对于现浇钢筋混凝土结构，因梁和柱的纵向受力钢筋穿过节点，整体性强，且有较大抗转动刚度，故简化为刚接节点。

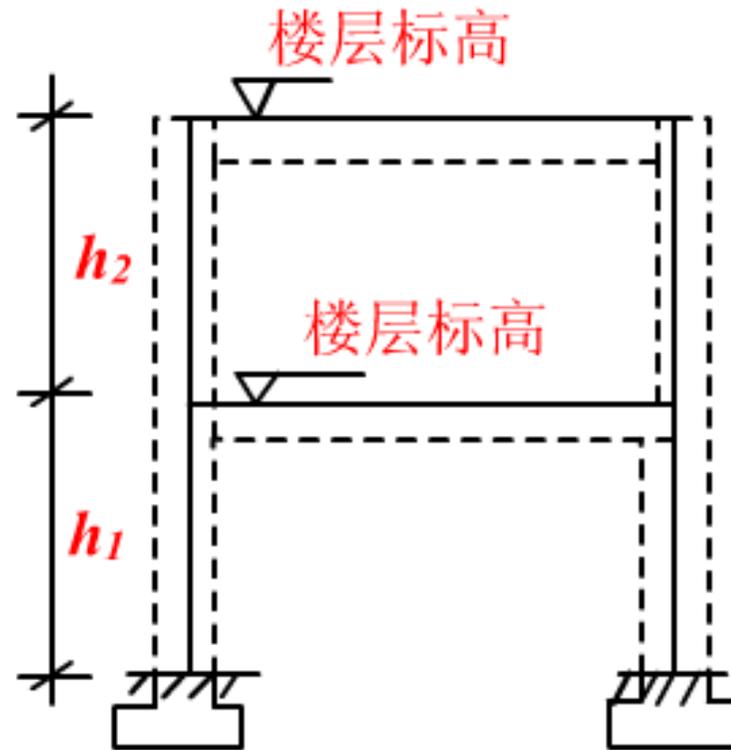
装配式框架结构在梁底和柱的某些部位焊接连接，抗转动刚度小，故简化为铰接。

装配整体式框架，梁（柱）中的钢筋在节点处或为焊接或为搭接，并现场浇筑节点部分砼，故也可认为刚接。

柱与基础连接，故柱为现浇的一般认为刚接，柱为预制的，则应视其与基础之间构造措施决定是刚接还是铰支座。

3. 跨度与层高的确定

计算简图中杆件用轴线表示，跨度取柱子轴线之间的距离，有上下柱截面不同时，轴线为最小截面的形心线。框架的层高取建筑层高，那本层楼面至上层楼面的高度，底层的层高应取基础顶面到一层楼板顶面之间的距离。



4. 截面抗弯刚度中的惯性矩计算值

型式	中框架	边框架
现浇楼盖	I_0	$1.5I_0$
装配整体式楼盖	$1.5I_0$	$1.2I_0$
装配式楼盖	I	I

其中： I_0 为矩形截面梁的惯性矩， I 为装配梁实际截面惯性矩。

5. 荷载计算

荷载分为恒载和活载，又可分为竖向与水平方向。

(1) 楼（屋）面活载

楼面活载视建筑用途不同，可以查表（荷载规范）得到，它一般是均布荷载，即规范给出的是折算后的等效均布荷载，显然对于多层，层高层房屋结构而言，各层楼面活载同时满布的可能性不大，故可以考虑折减。对于住宅、办公楼、幼儿园、旅馆的楼面梁，当其负荷面积大于 25m^2 时，折减系数为 **0.9**。

对于墙、柱、基础等竖向构件，则应视计算截面以上楼层数目同，分别予以折减，层数愈多，折减幅度愈大（ ≤ 0.55 ）。

活荷载按楼层数的折减系数

表 14-2

墙、柱、基础计算截面以上层数	1	2~3	4~5	6~8	9~20	>20
计算截面以上各楼层活荷载总和的折减系数	1.00 (0.9)	0.85	0.70	0.65	0.60	0.55

注：当楼面梁的从属面积超过 25m^2 时，采用括号内系数。

活荷载按楼层数的折减系数

表 14-2

墙、柱、基础计算截面以上层数	1	2~3	4~5	6~8	9~20	>20
计算截面以上各楼层活荷载总和的折减系数	1.00 (0.9)	0.85	0.70	0.65	0.60	0.55

注：当楼面梁的从属面积超过 25m² 时，采用括号内系数。

活荷载按楼层数的折减系数 表14-2

墙、柱、基础计算截面以上层数 1 2~3 4~5 6~8 9~20 >20

计算截面以上各楼层活荷载总和的折减系数 1.00 (0.9) 0.85 0.70
0.65 0.60 0.55

(2) 风荷载

同单层厂房

(3) 水平地震作用

见抗震课程

13.2.2 竖向荷载作用下的分层法

通常在竖向荷载作用下框架（对称结构）的侧移较小。可按无侧移框架进行分析。另外在某层作用荷载时，只会对该层梁及相连接的柱子产生较大的弯矩，对其它楼层的梁柱弯矩影响是通过弯矩传递进行的。其传递是逐渐衰减的。故在内力近似计算时，可假定作用在某一层框架梁上的竖向荷载只对本楼层的梁以及与本层梁相连的框架柱产生弯矩和剪力。

分层法计算原理见下图

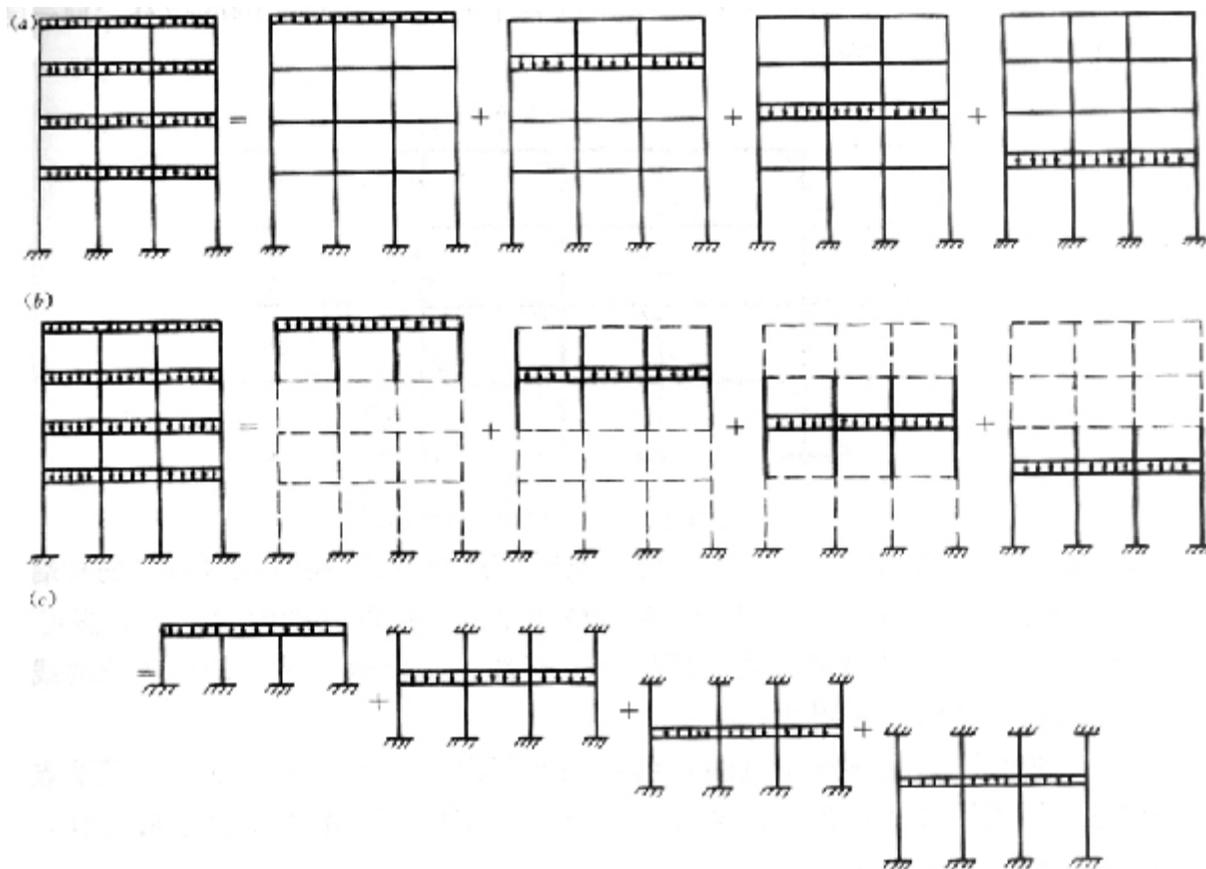


图14-11 分层法计算简图

除底层柱的下端以外，柱端实际均有一定的转动，即为弹性支承，故需进行如下修正：

- 1) 除底层以外其他各层柱的线刚度均乘0.9的折减系数。
- 2) 除底层以外其他各层柱的弯矩传递系数为1/3。

显然，最后柱的内力应由相邻两个开口刚架中同层同柱号的柱内力叠加，而梁的内力则直接为原框架的梁的内力，由该法算得的节点弯矩一般不为零，故将此不平衡弯矩再进行分配，然后迭加到各杆端弯矩。

13. 2. 3 水平荷载作用下的反弯点法

通常风荷载，地震作用等水平荷载均可消化为作用于框架节点上的水平力。在这种力作用下，框架内力图及变位图情形如下图所示

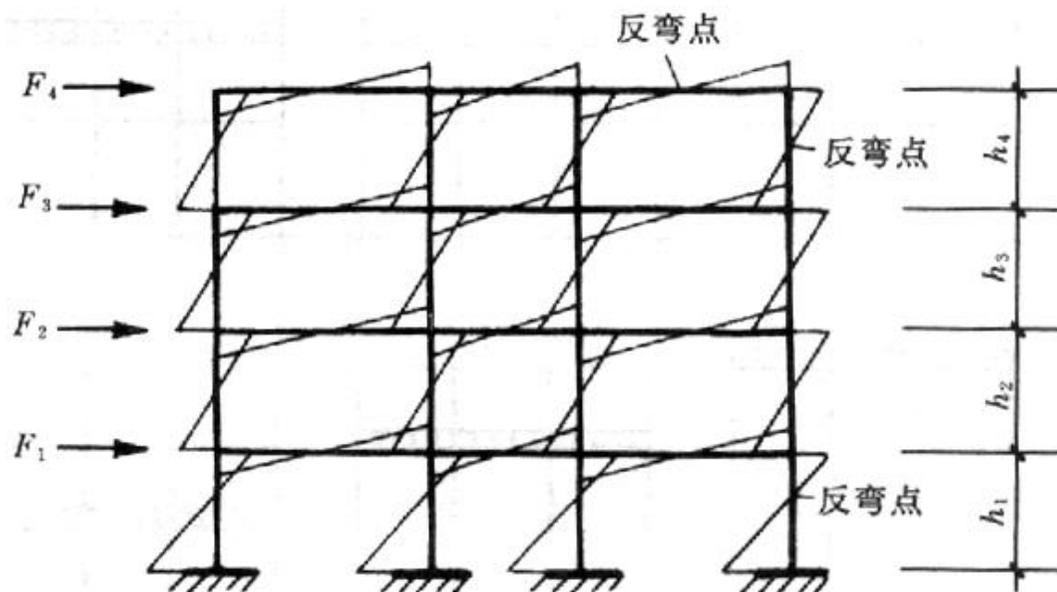
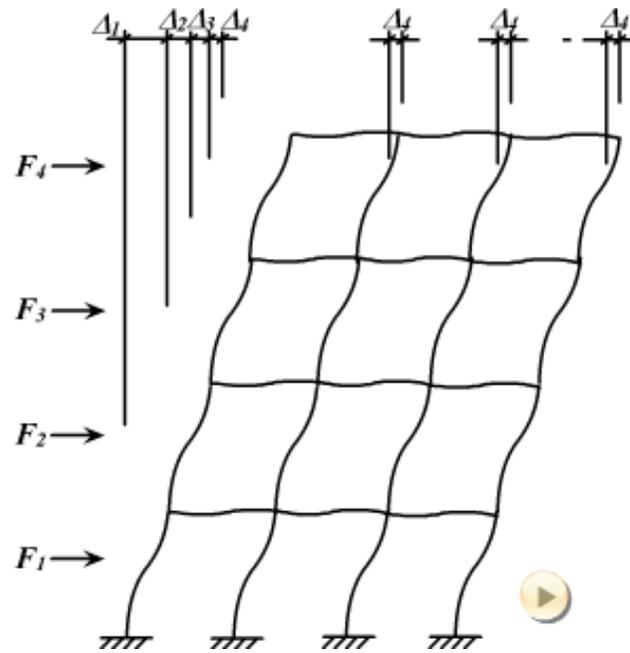


图 14-12 框架在水平力作用下的弯矩图



由上面定性分析知：

- 1) 各杆的弯矩图为直线形
- 2) 反弯点除底层外，一般在中间
- 3) 同一层面各点侧移相同（忽略梁的轴向变形）

显然，求解各柱的剪力及反弯点位置，即求得框架内力图。

1、基本假定

- 1) 式柱剪力时, 认为梁的线刚度与柱的减刚度之比为 ∞ , 即柱上下端不发生转动。
- 2) 底层柱的反弯点在距支座 $2/3$ 层高处, 其余柱为 $1/2$ 层高。
- 3) 梁端弯矩可由节点平衡得到总值, 然后按刚度分配给各梁。
- 4) 忽略梁的轴向变形, 即同一层节点水平侧移相等。

2、公式推导

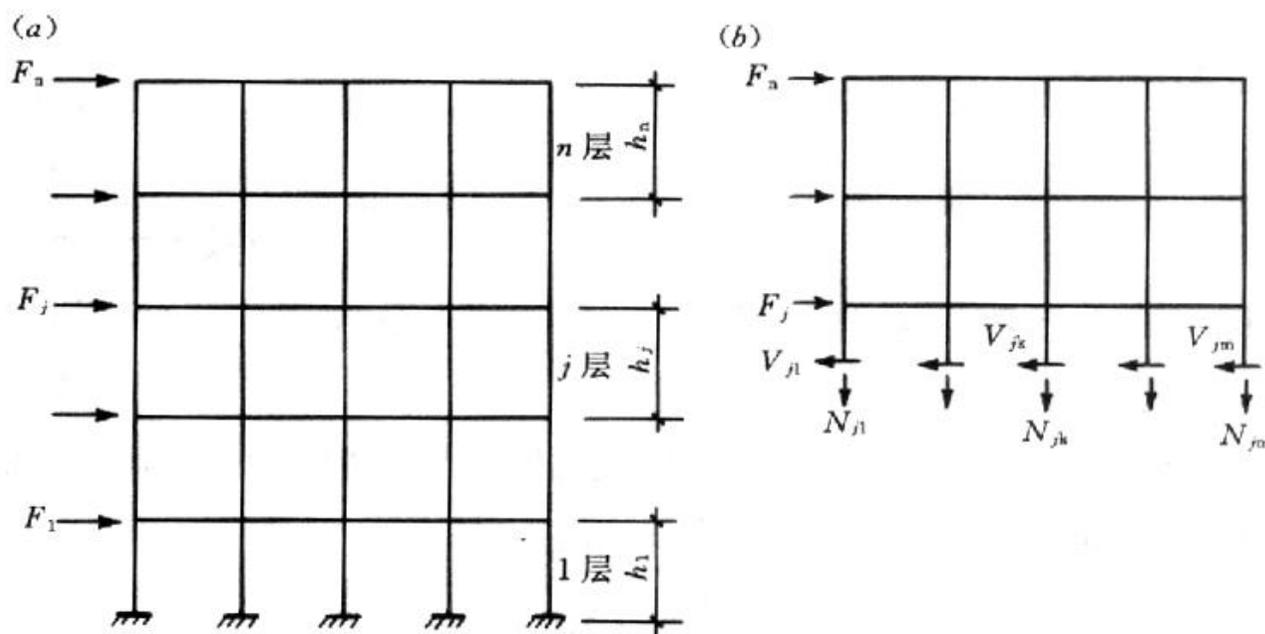


图 14-14 反弯点法推导

由隔离体平衡得

$$V_j = \sum_{k=1}^m V_{jk} = \sum_{i=j} F_i$$

式中： F_i -- 作用在楼层的水平力

V_j -- 水平力 F 在第 j 层所产生的层间剪力

V_{jk} -- 第 j 层第 k 柱所承受的剪力

m -- 第 j 层内的柱子数

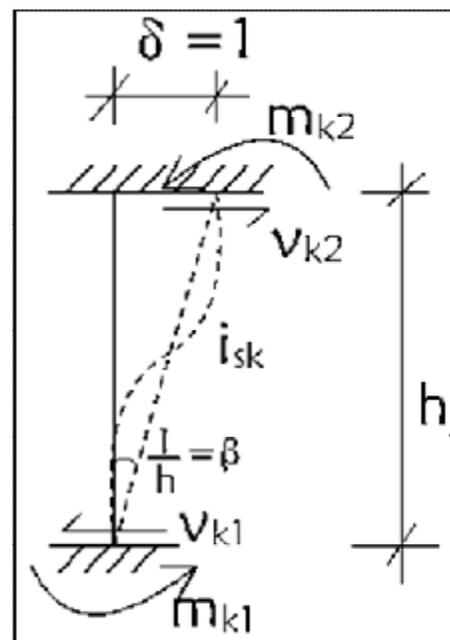
由假定1) 得： 在单位水平侧移 $\delta=1$ 时，柱的变形情况为图所示，相应的杆端力为：

$$m_{k2} = 6i_j \beta = 6i_j \frac{1}{h_j}$$

$$m_{k1} = 6i_j \beta = \frac{6i_j}{h_j}$$

$$V_{k2} = \frac{m_{k2} + m_{k1}}{h_j} = \frac{12i_{jk}}{h_j^2} \text{ -- 称为柱 } k \text{ 的水平侧移刚度}$$

$$V_{k1} = \frac{12i_{jk}}{h_j^2}$$



式中: i_{jk} -- 第 j 层 k 柱的线刚度 $\frac{EI}{h_{jk}}$

h_j -- 第 j 层柱子高度

若该层柱线生水平侧移为 Δu_j , 则在该柱顶的水平剪力 V_{jk} :

由假定4) 得 $V_{jk} = \frac{12i_{jk}}{h_j^2} \Delta u_j$

$$V_j = \sum_{k=1}^m V_{jk} = \Delta u_j \sum_{k=1}^m \frac{12i_{jk}}{h_j^2} \Rightarrow \Delta u_j = \frac{V_j}{\sum_{k=1}^m \frac{12i_{jk}}{h_j^2}}$$

$$V_{jk} = \frac{12i_{jk}}{h_j^2} \Delta u_j = \frac{\frac{12i_{jk}}{h_j^2}}{\sum_{k=1}^m \frac{12i_{jk}}{h_j^2}} \cdot V_j$$

由假定2) 得各层柱弯矩为:

$$\text{底层柱: } M_{cjk}^i = V_{jk} \cdot \frac{h_1}{3}$$

$$M_{cjk}^b = V_{jk} \cdot \frac{2h_1}{3}$$

$$\text{其余柱: } M_{cjk}^i = M_{cjk}^b = V_{jk} \cdot \frac{h_j}{2}$$

$$\text{由假定3) 得: } M_b^L = \frac{i_b^L}{i_b^L + i_b^r} (M_c^u + M_c^L)$$

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

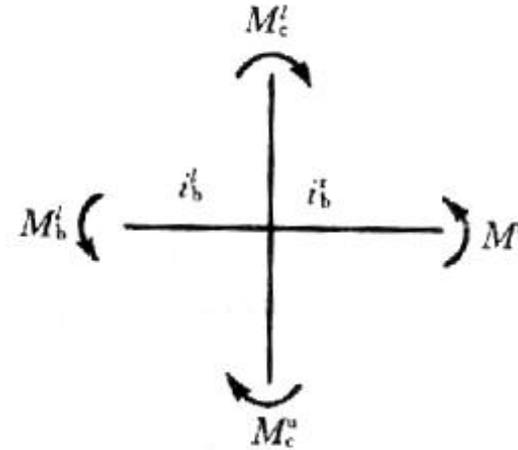


图 14-16 节点平衡条件

式中: M_b^L, M_b^r -- 节点处左右的梁端弯矩

M_c^u, M_c^L -- 节点处柱上、下端弯矩

i_b^L, i_b^r -- 节点左右梁的线刚度

梁剪力、柱轴力的计算: 可由梁的隔离体求梁的剪力, 然后由节点平衡, 求柱的轴力, 整个计算应从顶层开始。

3. 适用范围

层数少，楼面荷载大，梁的线刚度与柱子的线刚度之比大于3。

13. 2. 4 水平荷载作用下的D值法

当不满足反弯点范围时，必须对反弯点法进行修正。

在高层结构计算以及抗震计算时，柱子的线刚度较大，梁对柱节点的约束为弹性支承，故水平侧移刚度不等于 $\frac{12i_{jk}}{h^2}$ ，应用修正值D，另外柱的反弯点高度也不是一个常值，应随梁柱线刚度比值、上下层横梁的线刚度比、上下层高等的变化。故反弯点法中侧向刚度即反弯点位置应予以修正，也即称为改进反弯点法或D值法。

1、 侧向刚度D的推导

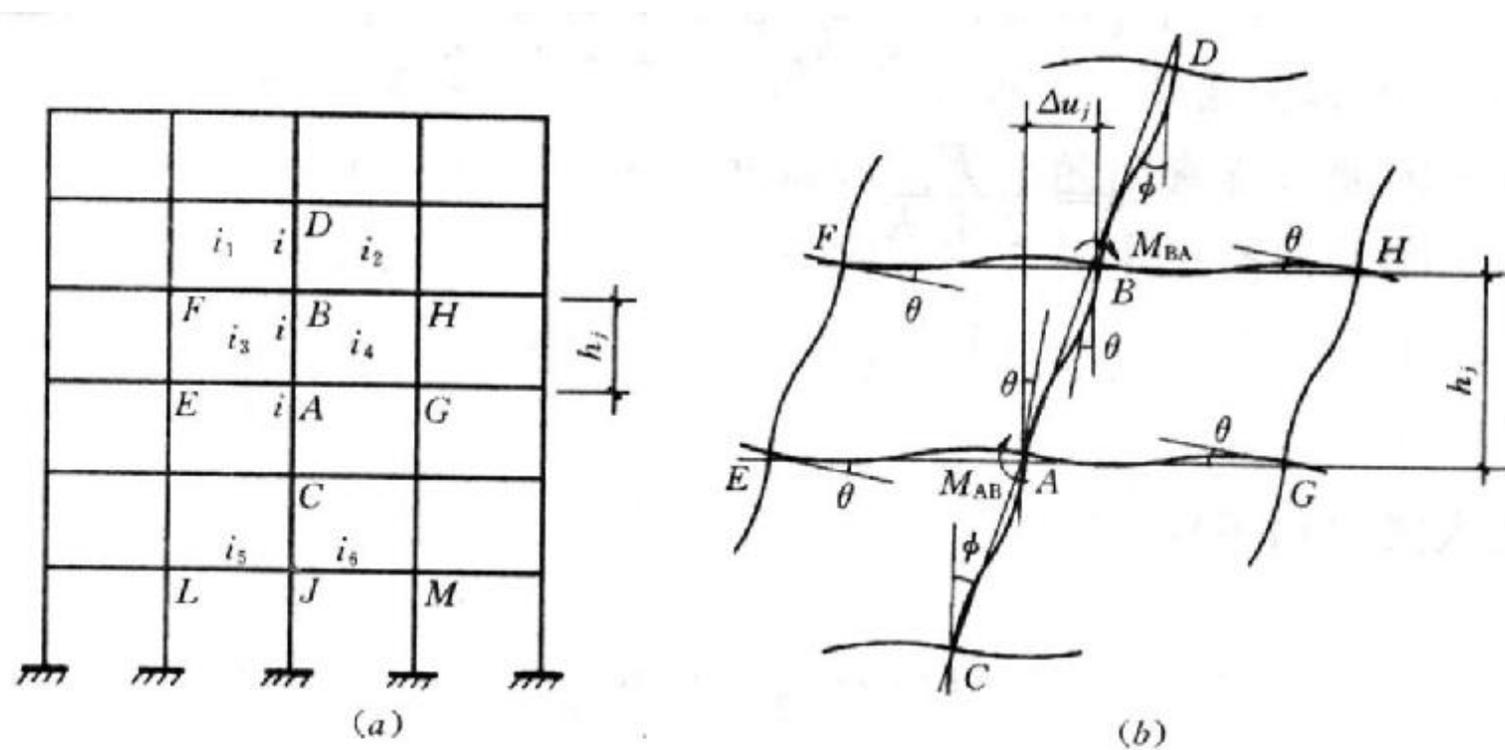


图 14-17 D 值的推导

(a) 整体框架结构；(b) 中间梁柱单元的变形

1) 假定

- (1) 柱AB及其上下相邻柱的线刚度为 i_c
- (2) 柱AB及其上下相邻柱的层间水平位移均为 Δu_i
- (3) 柱AB两端节点及与其上下左右相邻的各个节点的转角均为 θ
- (4) 与柱AB相交的横梁的线刚度分别为 i_1, i_2, i_3, i_4

利用结构力学的知识，得节点A和节点B的力矩平衡条件为：

$$\text{A节点: } 4(i_3 + i_4 + i_c + i_c)\theta + 2(i_3 + i_4 + i_c + i_c)\theta - 6(i_3\phi + i_c\phi)\theta = 0$$

$$\text{B节点: } 4(i_1 + i_2 + i_c + i_c)\theta + 2(i_1 + i_2 + i_c + i_c)\theta - 6(i_1\phi + i_c\phi)\theta = 0$$

$$\text{两式相加得: } \theta = \frac{2}{2 + \frac{\sum i}{2i_c}} \phi = \frac{2}{2 + K} \phi$$

$$\text{其中: } \sum i = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 \quad K = \frac{\sum i}{2i_c}$$

若AB两端固定，其侧移角为 θ ，但AB两端有一转角 α ，故对实际侧移角为

$$\alpha' = \phi - \theta = \phi \left(1 - \frac{2}{2 + K}\right) = \frac{2}{2 + K} \phi$$

因此，相应地有AB柱所受的剪力 V_{jk} 为：
$$V_{jk} = \frac{12i_c}{h_j} \alpha' = \frac{12i_c}{h_j} \cdot \frac{K}{2+K} \phi$$

$$\therefore \phi = \frac{\Delta u_j}{h_j}$$

$$\therefore V_{jk} = \frac{K}{2+K} \cdot \frac{12i_c}{h_j^2} \Delta u_j$$

令 $\alpha = \frac{K}{2+K}$ 则 $V_{jk} = \alpha \cdot \frac{12i_c}{h_j^2} \Delta u_j$

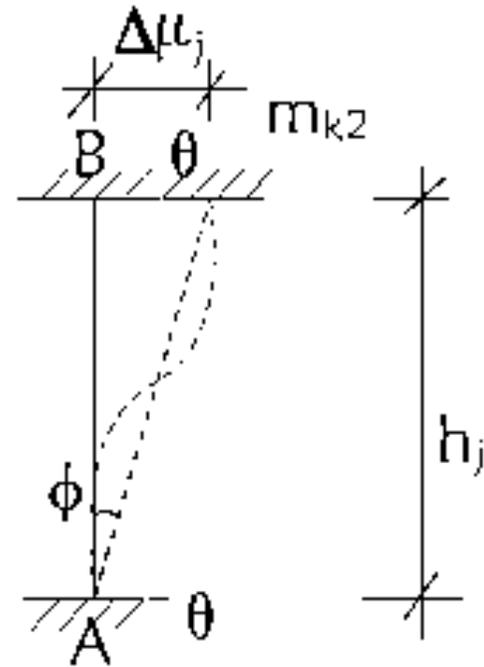
$$D_{jk} = \frac{V_{jk}}{\Delta u_j} = \alpha \cdot \frac{12i_c}{h_j^2}$$

α -- 反映梁柱线刚度比值影响的修正系数

$\frac{12i_c}{h_j^2}$ -- 不考虑转角的侧移刚度

显然，梁的刚度无穷大，即 $K = \infty$ ，则

即 $D_{jk} = \frac{12i_c}{h_j^2}$ -- 反弯点法中的侧移刚度
$$\alpha = \frac{K}{2+K} = \frac{1}{\frac{2}{K} + 1} = \infty$$



下面考虑底层柱的情况:

$$J \text{节点: } 4(i_5 + i_6 + i_c + i_c)\theta - 3(i_c\phi + i_c\phi)\theta = 0$$

$$\theta = \frac{3 \times 2 \cdot i_c}{4(i_5 + i_6 + 2i_c)} = \frac{3}{4\left(\frac{\sum i}{2i_c} + 1\right)} \phi$$

$$\theta = \frac{3}{2\left(\frac{\sum i}{i_c} + 2\right)} \phi$$

$$\text{令 } K = \frac{\sum i}{i_c} \text{ 则 } \theta = \frac{3}{2(2+K)}$$

$$\alpha' = \phi - \theta = \phi \left(1 - \frac{3}{2(2+K)}\right) = \phi \frac{1+2K}{2(2+K)}$$

$$\alpha' = \frac{0.5+K}{2+K} \phi$$

$$V_{jk} = \frac{12i_c}{h_j} \cdot \alpha' = \frac{12i_c}{h_j} \cdot \frac{0.5+K}{2+K} \phi$$

$$D_{jk} = \alpha' \cdot \frac{12i_c}{h_j} = \frac{0.5+K}{2+K}$$

各柱剪力分配按反弯点法进行，即

$$V_{jk} = \frac{D_{jk}}{\sum_{k=1}^m D_{jk}}$$

V_{jk} -- 第 j 层第 k 柱所分配到的剪力

D_{jk} -- 第 j 层第 k 柱的侧向刚度 D 值

m -- 第 j 层框架柱数

V_j -- 第 j 层的层向剪力

2. 柱反弯点高度的修正

反弯点高度实际上取决于柱的两端转角。反弯点总是偏向于转角大的一侧，在分析时，可假定框架在节点水平力作用下横梁的反弯点在个横梁宽度的中央，且该点又无竖向位移，然后分别考虑梁柱线刚度比，上下横梁刚度比以及层高变化等对反弯点的影响。

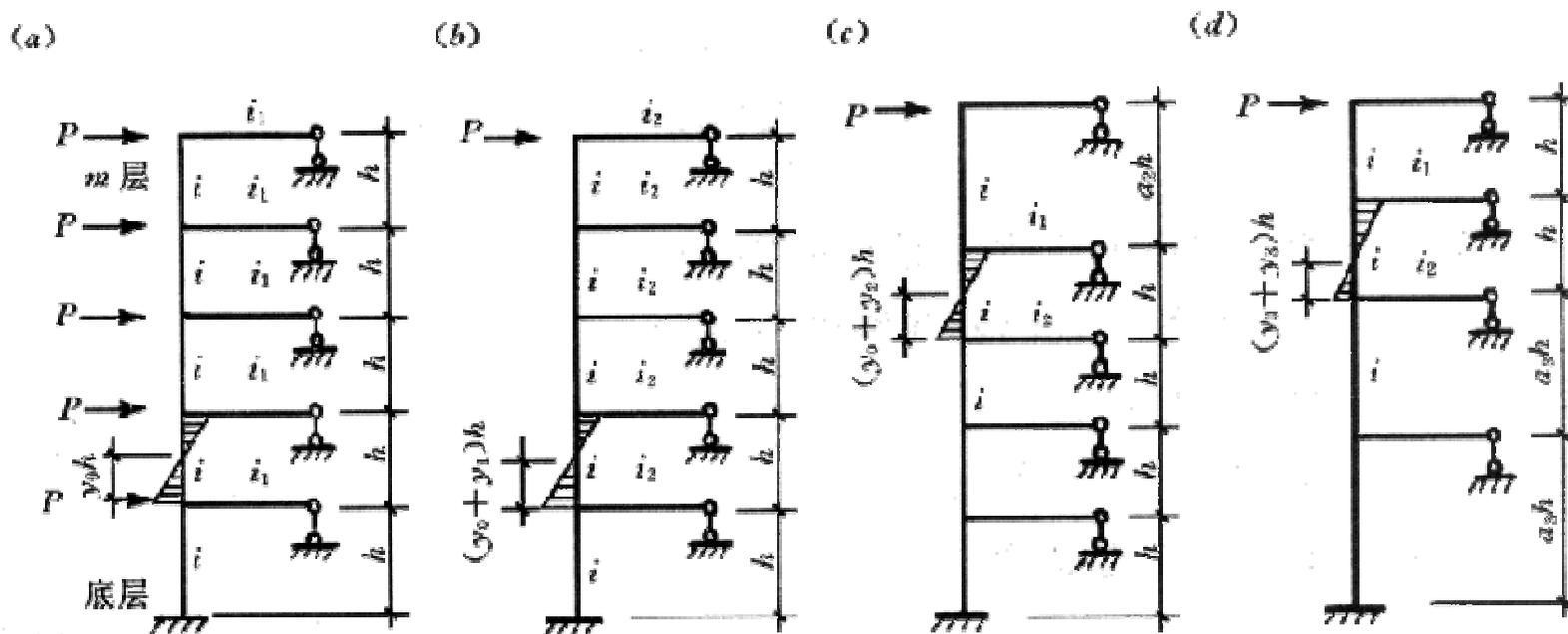


图 14-18 柱的反弯点高度

经过修正后，柱底至反弯点的高度 y_h 为： $y_h = (y_0 + y_1 + y_2 + y_3)h$

(1) 梁柱线刚度比及层数、层次的影响

先假定横梁的线刚度、框架柱的线刚度和层高沿框架高度保持不变，即先求 μ_0 -- 标准反弯点高度比，由附录11得

(2) 上下横梁线刚度比对反弯点的高度影响

反弯点位置偏向于横梁刚度较小一侧，用 $\mu_1 h$ 考虑其变化，对于底层柱 $\mu_1 = 0$ 。

(3) 层高变化对反弯点的影响

当上层层高发生变化时，反弯点高度变化量为 $\mu_2 h$ ；

当下层层高发生变化时，反弯点高度变化量为 $\mu_3 h$ 。

当然，对于顶层 $\mu_2 = 0$ ；

对于底层 $\mu_3 = 0$ 。

3. 框架内力图 同反弯点法

13.2.5 框架结构侧移计算及限值

1. 侧移的近似计算

$$\Delta u_j = \frac{V_j}{\sum_{k=1}^m D_{jk}} \quad \left(V_j = \sum_{k=1}^m D_{jk} \Delta u_j \right)$$

式中： D_{jk} -- 第 j 层第 k 号柱的侧向刚度；

m -- 框架第 j 层的总柱数。

框架顶点的总水平位移 u 为： $u = \sum_{j=1}^n \Delta u_j$

上述计算的位移是由梁柱弯曲变形引起

框架结构的侧向位移曲线如图所示

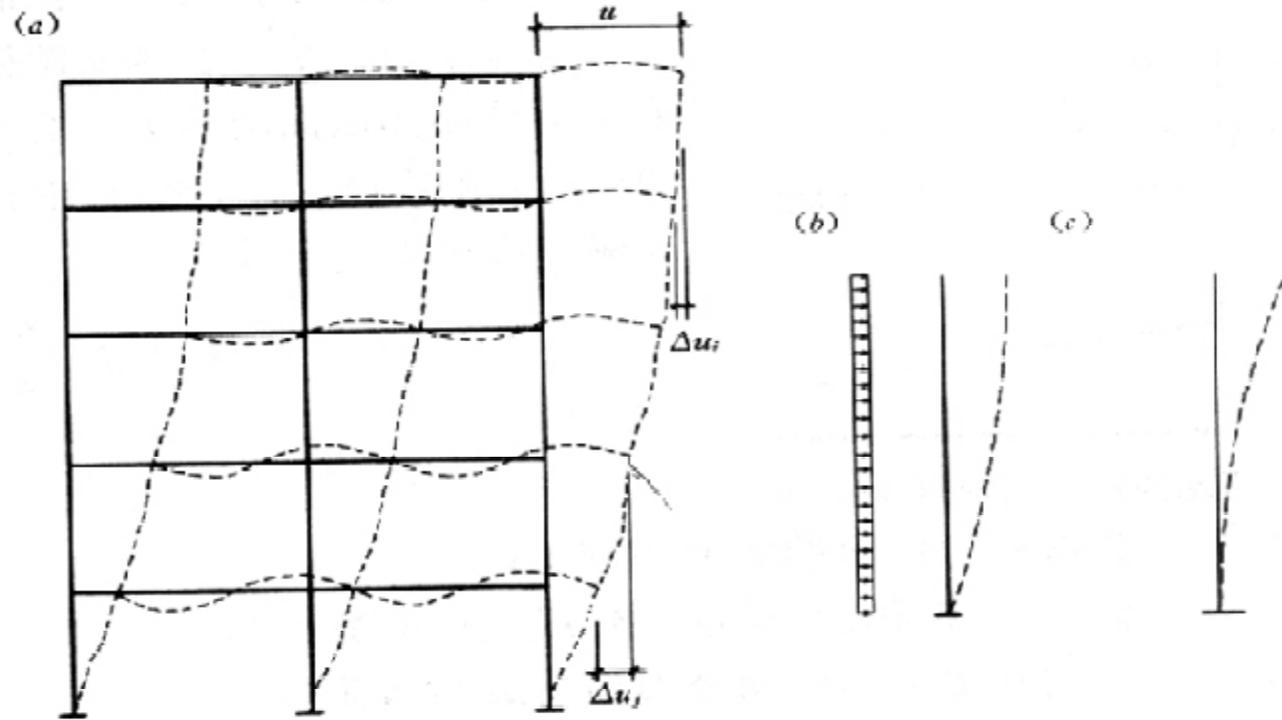


图14-19 结构的侧向位移曲线

其侧移曲线同悬臂柱剪力产生的剪切变形曲线相似，故此类结构称为剪切形结构。

2. 弹性层间位移角限值

弹性层间位移角 $\theta_e = \frac{\Delta u}{h}$ ，该角过大将引起使用性问题，故规范给予下列

限制：
$$\theta_e = \frac{\Delta u}{h} \leq \left[\frac{\Delta u}{h} \right]$$

式中： Δu --按弹性方法计算所得的楼层层间水平位移；

h --层高；

$\left[\frac{\Delta u}{h} \right]$ -- 1/550。

§ 13.3 多层框架内力组合

在单层厂房我们已讲过内力组合问题，下面我们讨论多层框架内力组合。

13.3.1 控制截面

柱子控制截面：各层柱子的上下端截面（弯矩最大）

横梁控制截面：梁的两端（负弯矩和剪力最大）另外还应取跨中弯矩最大截面，一般取跨中间处截面。

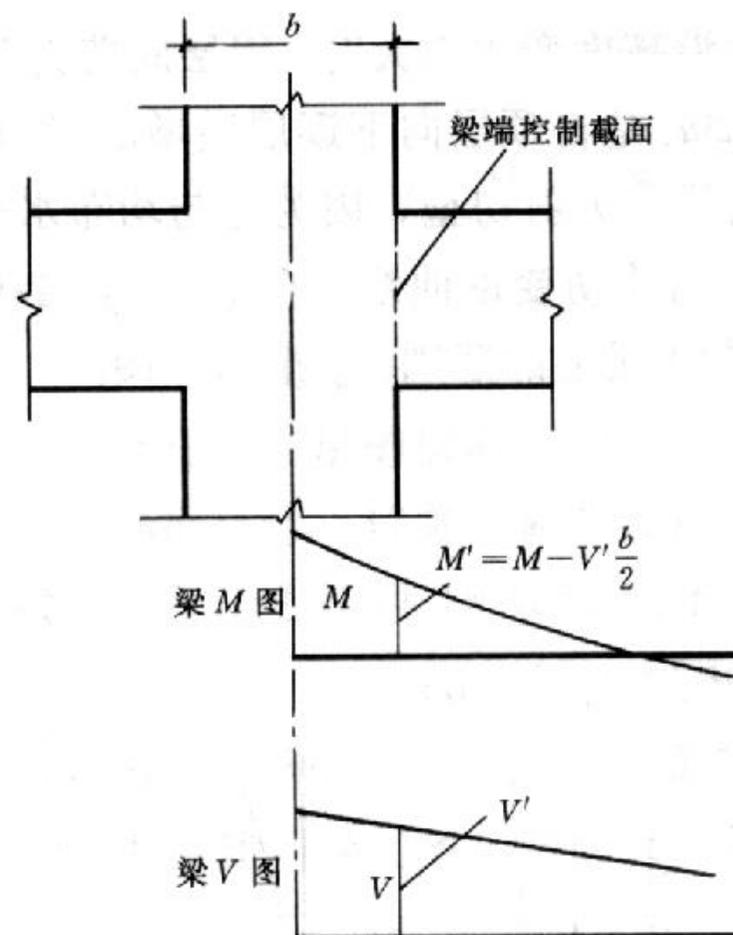


图 14-20 梁端控制截面弯矩及剪力

梁支座计算表面应取柱边缘，那

$$V' = V - (g + p) \frac{b}{2}$$

$$M' = M - V' \frac{b}{2}$$

式中： V', M' -- 梁端柱边截面的剪力和弯矩；
 V, M -- 内力计算得到的梁端柱轴线截面的剪力和弯矩；
 g, p -- 作用在梁上的竖向分布恒荷载和活荷载。

这里应注意：若计算水平荷载或竖向集中荷载产生的剪力时，因剪力分布均匀，故

$$V' = V$$

13.3.2 荷载效应组合

按规范，采用简化的荷载效应表达式

$$S = \gamma_0 \left(\gamma_G C_G G_k + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_Q C_{Qi} Q_{ik} \right)$$

式中 ψ --组合系数为0.9。

13.3.3. 最不利内力组合

框架结构最不利内力组合可以考虑以下几方面:

梁端截面: $+M_{\max}, -M_{\max}$ (水平力作用下可能产生)
 V_{\max} } 受弯构件

跨中截面: $+M_{\max}$
故对于框架梁就有4种荷载组合情况:

柱端截面: $|M|_{\max}$ 及相应的 N, V
 N_{\max} 及相应的 M
 N_{\min} 及相应的 M } 弯压构件

13.3.4 竖向活载的最不利位置

上述最不利内力组合计算较复杂，这里活载竖向的变异性较大，因此竖向活载的最不利位置一般按以下几种方法确定。

1. 分跨计算组合法（逐跨计算组合法）

该方法是水平或载（均布）逐跨不止在横梁中每一根梁上，并分别计算其结果内力图。对于前述最不利内力组合目标采取逐项法，取得最后的最不利内力组合值，以及相应的竖向活载的最不利位置。显然，对于简单、层数少、跨数少，可用手法，否则，只能电算计算，其特点是能算出精确的组合值，有时为了减少计算量，可将屋面活载满跨布置。

2. 最不利活载位置法

采用该方法，应事先对所求某一截面的最不利内力时，用影响线方法，画出变形曲线，然后确定最不利荷载位置。

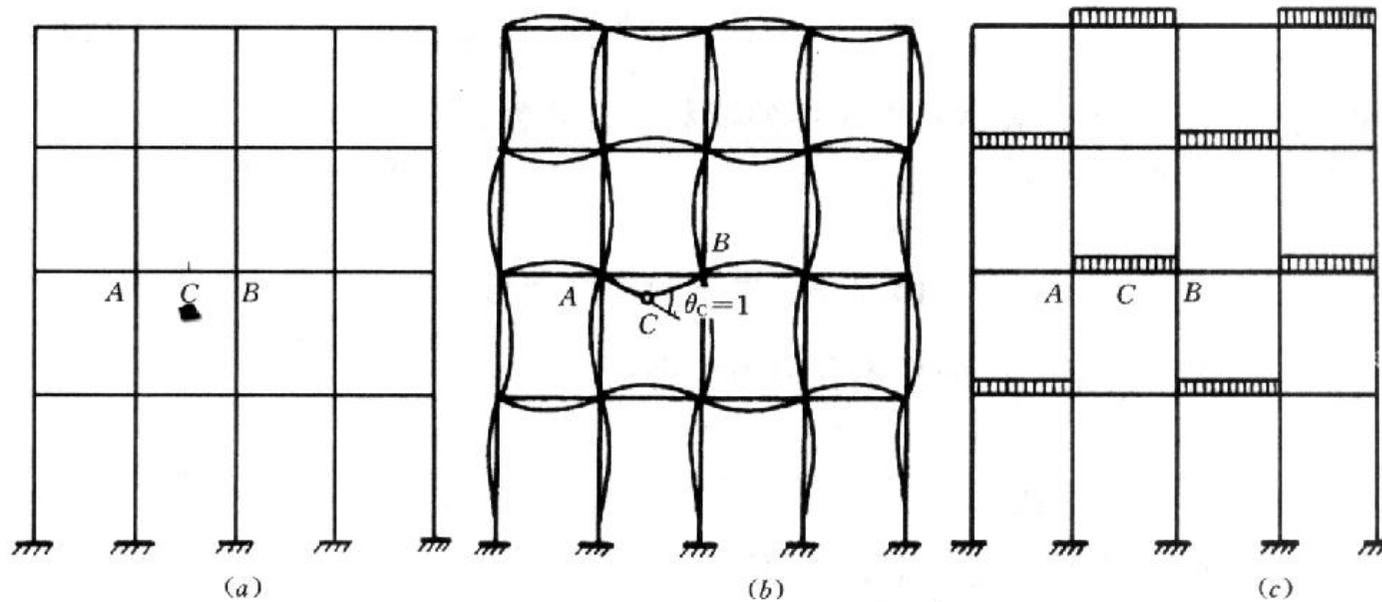


图 14-21 最不利荷载的布置

求 **AB** 梁跨中 M_C 截面最大正弯矩 **C**，应先作 M_C 的影响线，即先解除 M_C 相应的约束，使 $\theta_C = 1$ 成为铰，并加正向约束力，现在使结构沿该约束力方向产生单位虚位移 **C**，由此得到其虚位移图。显然，只有在产生正向虚位移的跨间布置活载，即可得到使该跨跨中弯矩最大的最不利竖向活载布置。在邻跨布置相同的棋盘活载，即得到邻跨的最大跨中弯矩的活载布置，所以对于跨中弯矩最大，只需进行二次棋盘活载布置。

弯端最大负弯矩或柱端最大弯矩在理论上按上述办法确定，但其影响线很难画出。

对于柱的最大轴向力，其活载布置位置，肯定是在该柱以上的各层，并与该柱相邻跨同时布置活载。

3. 分层组合法

按分层法先将结构分层，然后对分层结构考虑内力组合，利用连续梁内力组合规律进行活载布置。

- ① 梁：只考虑本层活载，按多跨连续梁考虑内力组合；
- ② 柱端弯矩：只考虑相邻上下层的活载影响；
- ③ 柱轴力：只考虑在该层以上、与柱相邻梁的活载布置。

4. 满布活载

上述方法均复杂，故在实际计算中，通常将活载满跨布置。显然，这对支座弯矩最不利值是偏于安全，而对跨中不安全，故乘以1.1~1.2的系数予以增大。

13. 5 无抗震设防要求时框架结构构件设计

13. 5. 1 柱的计算长度

这方面内容在上册已提及, L_0 不仅同侧向支承条件有关, 荷载二阶效应都将对其影响, 规范规定: L_0

1、无侧移的框架

无侧移的框架条件:

对于具有非轻质隔墙的多层房屋, 当大于三跨以上或为两跨但房屋宽度 \times 房屋高度 $1/3$ 。

(即重心比较低的情况) 的结构。

$$\left. \begin{array}{l} \text{现浇楼盖 } L_0 = 0.7H \\ \text{装配式楼盖 } L_0 = 1.0H \end{array} \right\} H - \text{层高}$$

2、一般多层房屋的框架结构

$$\text{现浇楼盖} \begin{cases} \text{底层 } L_0 = 1.0H \\ \text{其他层 } L_0 = 1.25H \end{cases}$$

$$\text{装配式楼盖} \begin{cases} \text{底层 } L_0 = 1.25H \\ \text{其他层 } L_0 = 1.5H \end{cases}$$

其包括房屋类型有:

- 1) 无任何隔墙的空框架结构
- 2) 墙体是由轻质材料组成
- 3) 只在一端内刚性墙
- 4) 刚性隔墙间距过大 (现浇>3倍房屋宽度,
装配式楼盖>2.5倍房屋宽度)

13. 5. 2 框架节点的构造要求

节点是框架结构设计中很重要的内容，该处梁柱钢筋交叉受力复杂，是结构容易发生破坏的地方，对于抗震区应进行专门的设计，对于非抗震区一般通过采取适当的构造措施来保证。

1、 材料强度

柱子混凝土强度等级一般同节点，也就是浇筑时节点应放在柱子一起浇，对于个别要提高了节点，则其强度要高于柱的强度，对于装配整体式结构，节点的砼强度要比柱提高 $5N/mm^2$ 。

- 2、截面尺寸

- 节点过小，钢筋施工困难，而且会引起破坏，故规范规定，对于顶层端节点处，梁上部钢筋的配筋特征 ξ_j 应 $\xi_j \leq 0.35$

$$\xi_j = \frac{f_y A_s}{f_c b_b h_{b0}}$$

- 式中：

A_s -- 顶层端节点处梁上部计算所需纵向钢筋截面面积

b_b -- 梁腹板宽度

h_{b0} -- 梁截面有效高度

3、 箍筋

在节点处应设水平箍筋，间距除符合柱子的要求外，还应满足不大于250mm，当顶层端节点内设有梁上部纵筋和柱外侧纵筋的搭按接头时，节点内水平箍筋的布置应根据纵筋搭接范围内箍筋的布置要求。

4、 梁柱纵筋在节点区的锚固

中间节点梁上部纵向钢筋在柱两侧伸向跨中的截断位置应根据负弯矩图形确定，下部钢筋的锚固形式见图14-23

(a) 为适用于柱截面高度大的情况

(b) 为截面高度小的情况

(c) 为节点处搭接

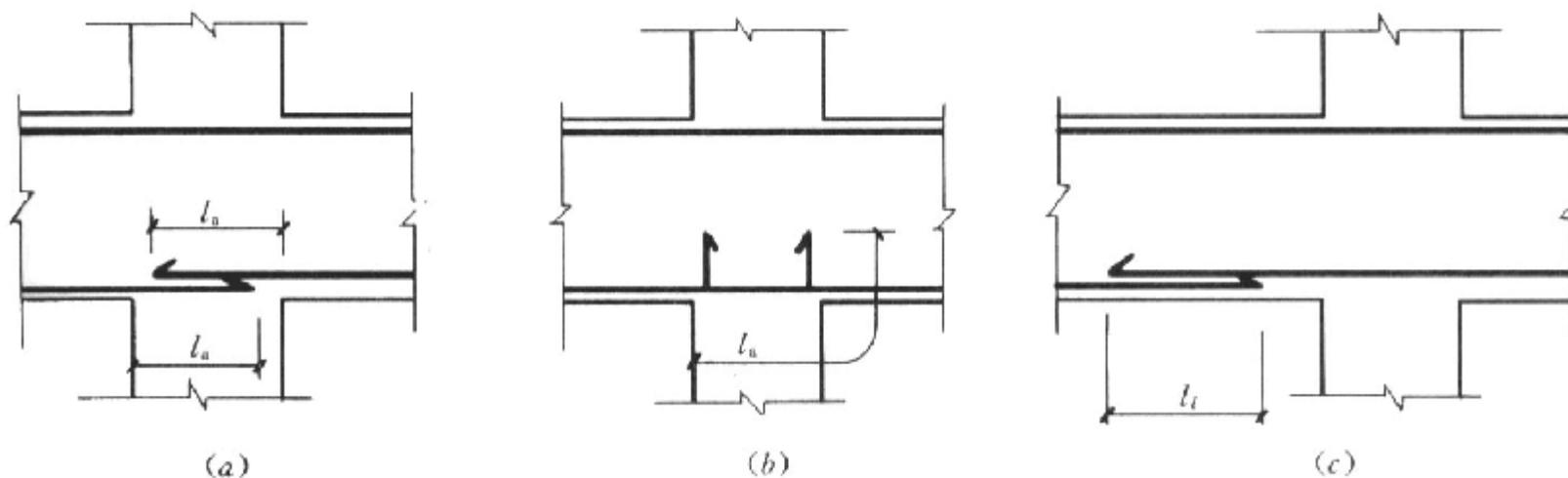


图 14-23 框架中间节点梁纵向钢筋的锚固

边柱节点处钢筋锚固，当截面高度较大时，采用直线式，当截面高度较小时，采用弯筋式。

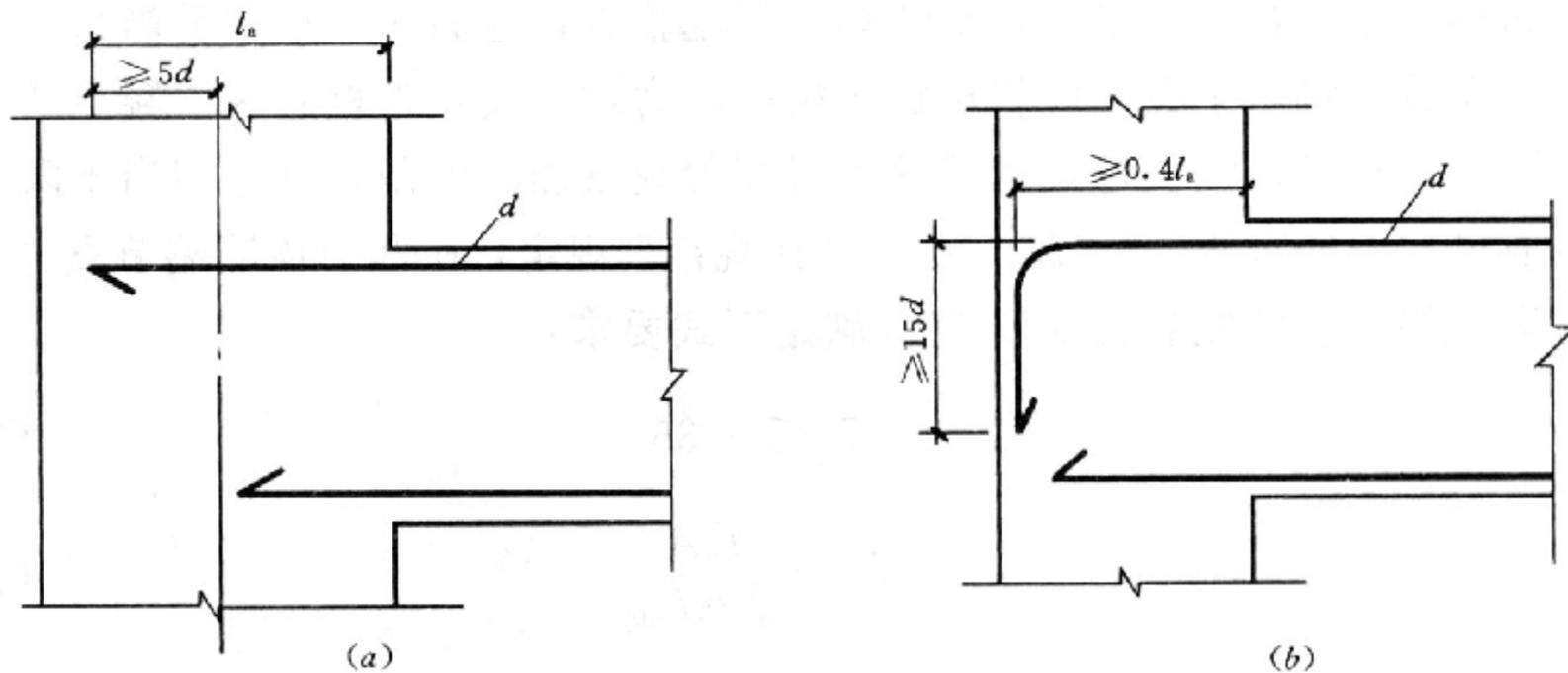


图 14-24 框架中间层端节点梁纵向钢筋的锚固

框架柱的搭接宜在施工缝处，但接头应错开，顶层中节点柱纵向钢筋的锚固见图 14-25

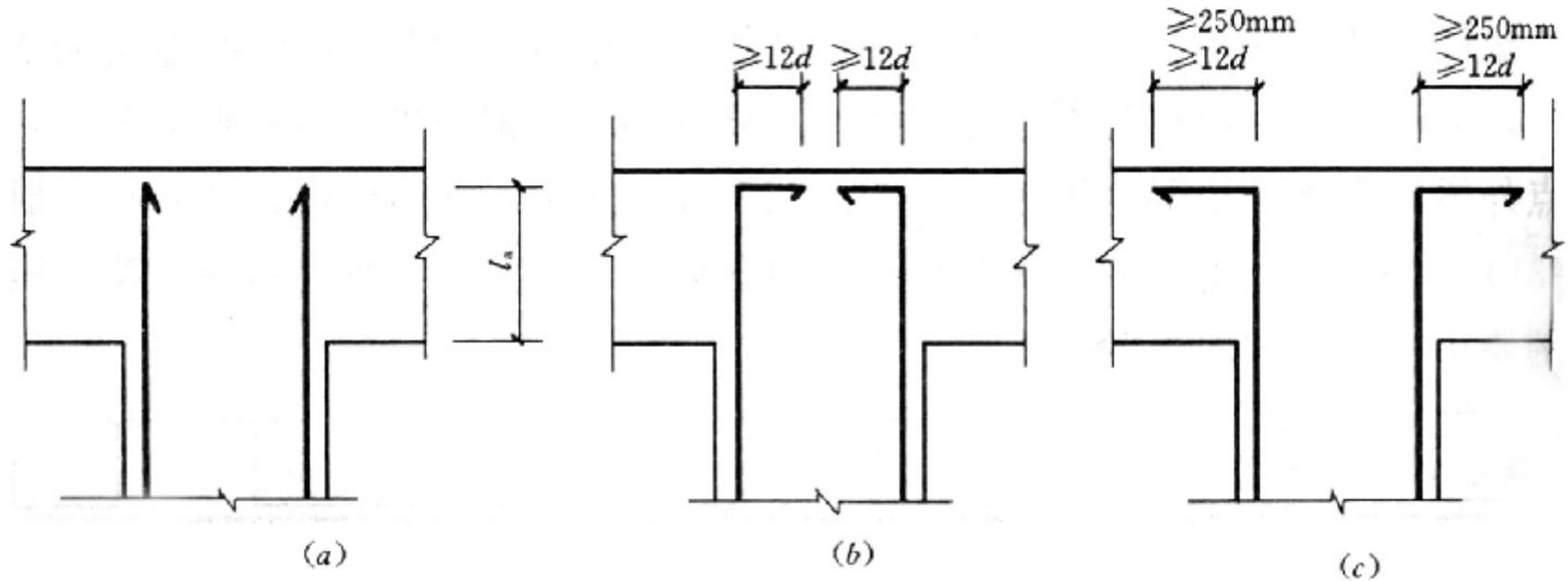


图 14-25 顶层中节点柱纵向钢筋的锚固

顶层端节点应将柱外侧纵向钢筋弯入梁内作为梁上部纵向受力钢筋使用或将梁钢筋弯入柱内

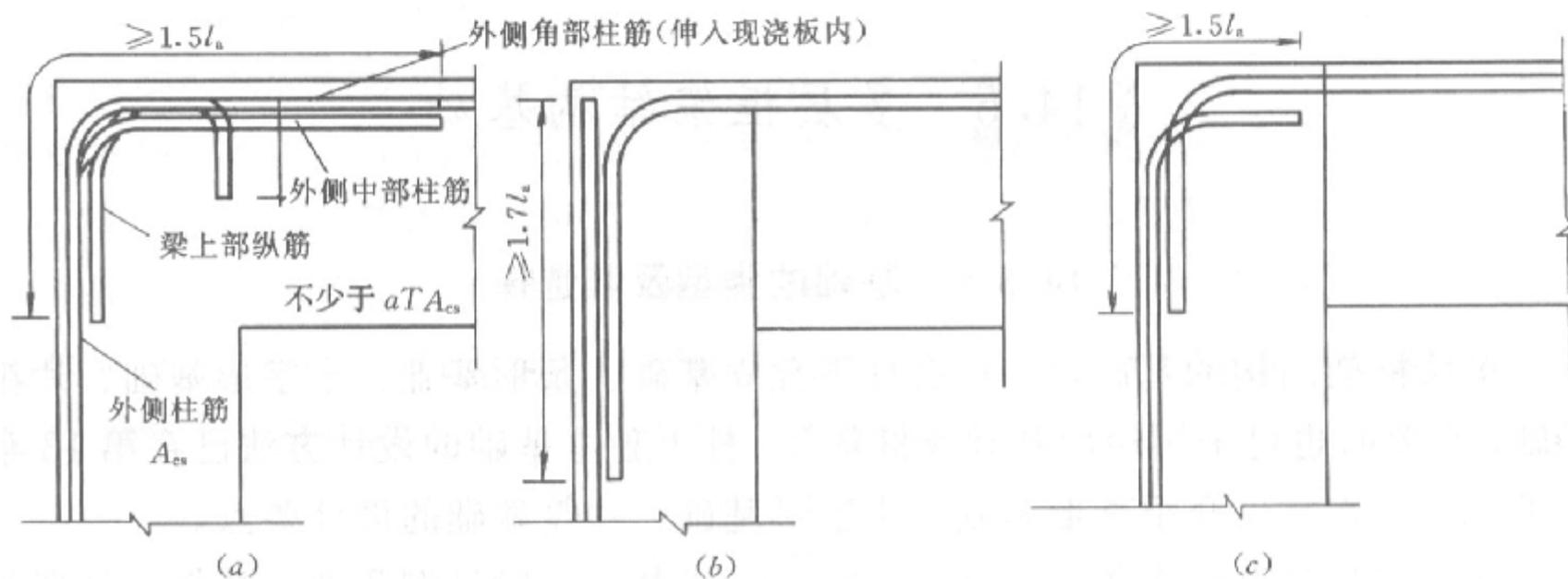


图 14-26 梁上部纵向钢筋与柱外侧纵向钢筋在顶层端节点的搭接

(a) 位于节点外侧和梁端顶部的带 90°弯折搭接接头；

(b) 位于柱顶外侧的直线搭接接头；

(c) 位于节点外侧和顶部的带 90°弯折搭接接头

5、 框架梁与顶制楼板的连接构造

为加强整体性，应设配 $\phi 6@250$ 的双向钢筋的整浇层，
预制板搁入梁墙长度， $\geq 30mm$ 板端伸出的锚固筋长度 ≤ 100

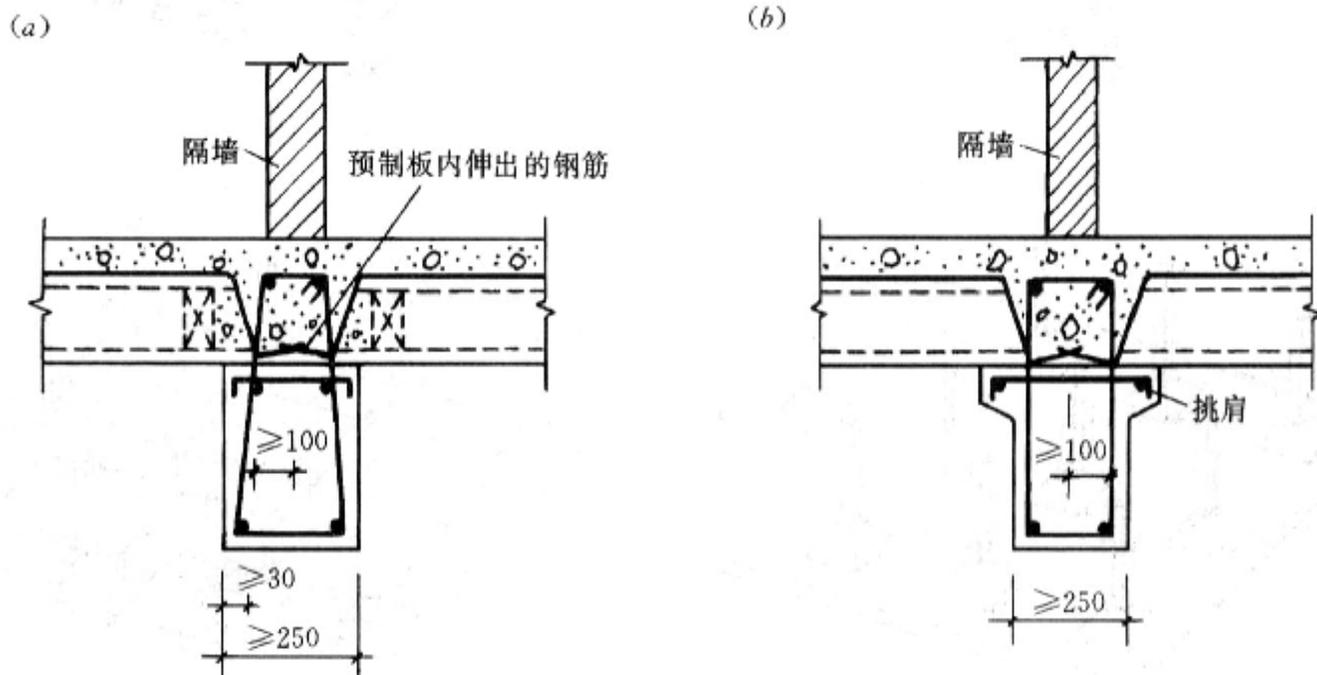


图 14-27 预制板与框架的连接

6、 框架柱与填充墙的连接构造

将柱伸出 $2\phi 6$ 钢筋与墙体整体砌筑

13. 5 多层框架结构基础

13. 5. 1 基础的类型及其选择

前述房屋基础有柱下独立基础，条形基础，十字形基础，片筏基础，箱基，桩基等，本章主要讨论条形，十字形，片筏基础等

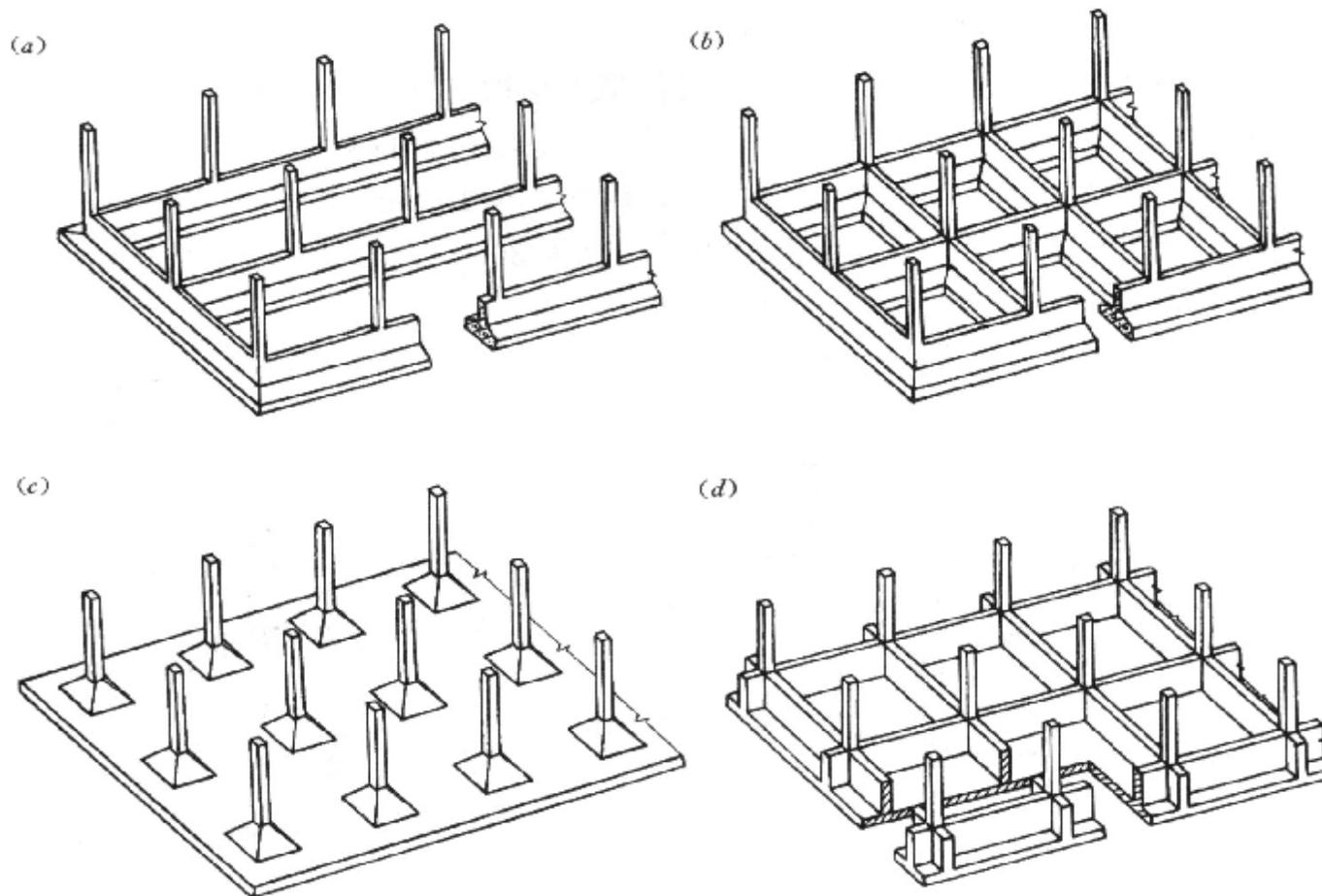


图 14-28 基础类型

(a) 条形基础；(b) 十字形基础；(c) 平板式片筏基础；(d) 梁板式片筏基础

- 条形--材料省
- 十字形--整体性好
- 片筏--地基压力小，但造价高（适用于地基差情况）
- 梁板式--比片筏基省材，但施工复杂

• 13. 5. 2 条形基础的内力计算

- 对于地基压力可有下列3种假定：
 - (1) 呈线性分布
 - (2) 地基压应力与沉降成正比（文克勒假定）
 - (3) 半无限弹性体
- 相应于上述不同假定，
- 可以得到静定分析法，
- 倒梁法，地基系数法，
- 有限差分法等

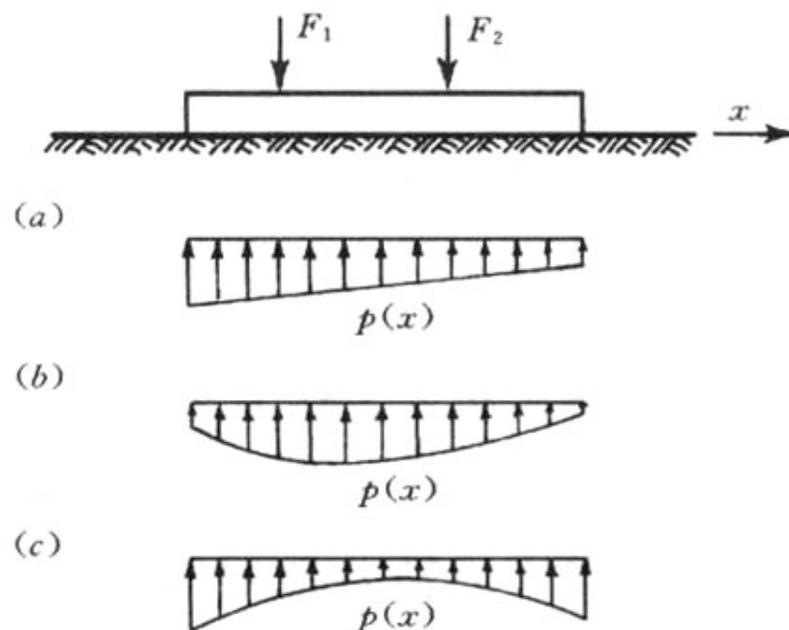


图 14-29 地基反力

- (a) 线性分布假定；(b) 文克勒假定；
(c) 半无限弹性体假定

1、 静定分析法--P呈线性分布

此处为净反力
$$p_{\max/\min} = \frac{\sum N}{BL} \pm \frac{6\sum M}{BL^2}$$

式中： $\sum N$ -各竖向荷载（不包括基础自重及覆土重）的总和（**KN**）

$\sum M$ 各外土对基底形心的偏心力矩的总和（**KN-M**）

BL -分别为基础底面的宽度和长度

因为此时梁被认为一个静立平衡隔离体，故可简单地求得若干截面上的内力（即认为是一个刚体）

2、倒梁法--P呈线性分布

此时以净向力作用基础梁，但梁作为多跨连接梁处理，在计算时会发现，支座向力与柱的轴力有较大差异形成不平衡力，此时可将不平衡力进行局部调整，即将不平衡力均匀分布在相应支座两侧各 $1/3$ 跨范围内，作为地基内力的调整值，再进行分配计算，直至最后与柱轴力相近为止。

一般来说用静定分析法，倒梁法等计算的结果并不一致，故在平面设计中有时参考上述两种计算结果，并作内力包络图作为计算弯矩图

在这两种计算办法中地基实际反力分布应与假定要基本符合，否则计算结果缺乏可信性，一般认为在较均匀的地基上，上下结构刚度较荷载分布均匀条件下，一般满足地基内力线性分布的假定

3、地基系数法

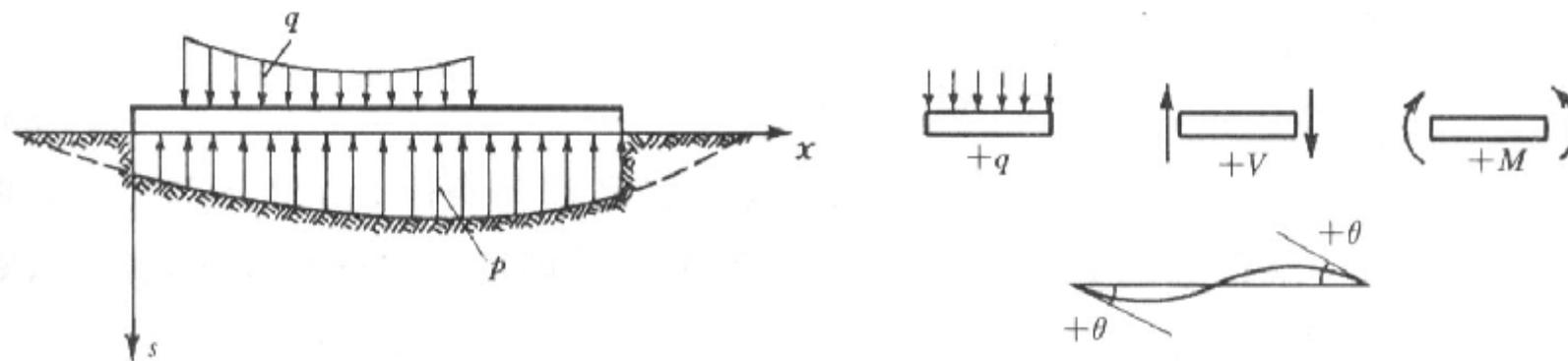


图 14-32 地基系数法计算简图

由文克勒假定知 $P = K \cdot S$

式中: P -- 基础底面某点的地基内力 (N/mm^2)

K -- 地基系数 (N/mm^3)

S -- 地基在该点的沉降量 (mm)

由微段隔离体平衡得 $EI \frac{d^4 s}{dx^4} = q - Bp$

对于无线荷载 q 的梁段 $EI \frac{d^4 s}{dx^4} = -Bp$

式中： EI -- 条形基础梁的截面弯曲刚度
 q -- 上部结构传给基础梁的线荷载
 B -- 基础梁底面宽度

$$EI \frac{d^4 s}{dx^4} = q - B \cdot KS \Rightarrow \frac{d^4 s}{dx^4} + \frac{KB}{EI} S = \frac{q}{EI} \Rightarrow \frac{d^4 s}{dx^4} + 4\lambda^4 S = \frac{q}{EI}$$

$$\frac{d^4 s}{dx^4} + \frac{KB}{EI} S = 0 \Rightarrow \frac{d^4 s}{dx^4} + 4\lambda^4 S = 0$$

式中： $\lambda = \sqrt[4]{\frac{KB}{4EI}}$ -- 弹性地基梁的柔度特征值

上述微分方程的解为：

$$s = e^{\lambda x} (c_1 \cos \lambda x + c_2 \sin \lambda x) + e^{-\lambda x} (c_3 \cos \lambda x + c_4 \sin \lambda x) + C$$

$c_1 - c_4$ 为特定常数，其解较困难，地基系数法主要适用于受剪承载力低的土层，以及上有薄的软土，下为坚硬土层等类似于弹簧的土质情况。若求得 s ，则由材料力学中微分关系，求得 θ, M, V

13.5.3 十字形基础的内力计算

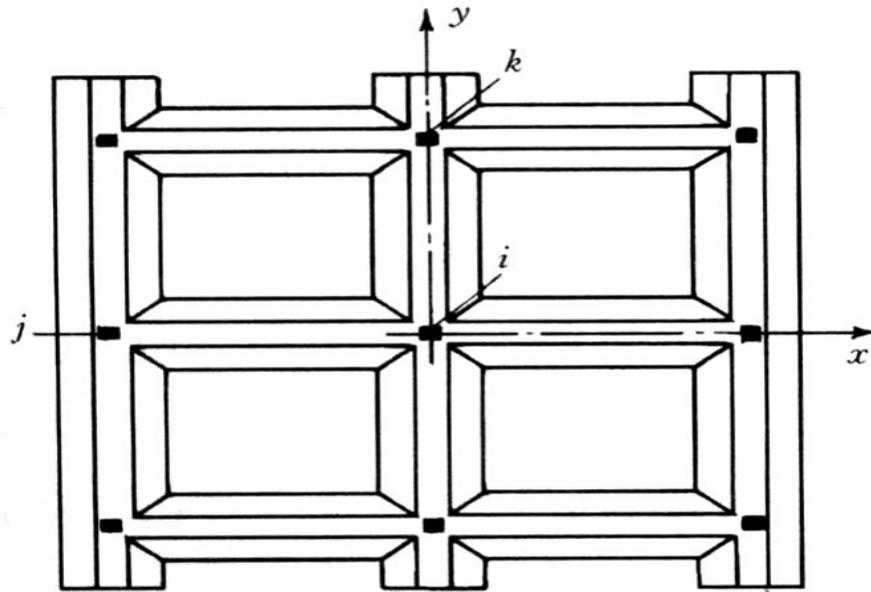


图 14-33 十字形基础

显然柱子的集中力包括力矩都是作用在十字梁的结点上，若将十字梁脱离开来，即变成两个方向的条形基础由前述方法予以计算，但节点处荷载分配比例必须已知，所以求得荷载的分配关系是十字梁基础的关键。

1. 节点力的分配

满足条件为:

- ① 静力平衡条件 -- 纵横梁上的力之和等于节点荷载
- ② 变形协调条件 -- 纵横梁在节点处的位移相等

为简化计算, 一般假定在十字交叉点处纵横两方向梁上下为铰接, 即节点上两个方向的力矩分别由相应方向上的基础梁承担, 并采用文克勒地基假定。

设 F_i 为节点上集中力, x, y 方向基础梁分配的力为 F_{ix}, F_{iy}

即: $F_i = F_{ix} + F_{iy}$ (①条件)

由②条件得: $S_{ix} = S_{iy}$ (②条件)

若节点上梁既有 F_i , 又有弯矩 M_{ix}, M_{iy} , 见②条件为:

式中: $\sum F_{ix} S'_{ix} + \sum M_{ix} S''_{ix} = \sum F_{iy} S'_{iy} + \sum M_{iy} S''_{iy}$

F_{ix}, F_{iy} -- j 节点上 x 方向梁所承担的集中荷载和 k 节点 y 方向梁所承担的集中荷载;

M_{ix}, M_{iy} -- 作用在 j 节点上的 M_x 和作用在 k 节点上的 M_y ;

S'_{ix}, S''_{ix} -- 在 x 方向梁的 j 节点处分别作用单位集中力和单位弯矩所引起的 i 节点处的沉降;

S'_{iy}, S''_{iy} -- 在 y 方向梁的 k 节点处分别作用单位集中力和单位弯矩所引起的 i 节点处的沉降。

显然几个节点, 则有 $2n$ 个未知数 (M_{ix}, M_{iy} 均为已知值), 两方程也有 $2n$ 个, 故有唯一解, 但计算十分繁复, 若不考虑相邻荷载影响, 则可简化计算。

1) 中柱节点

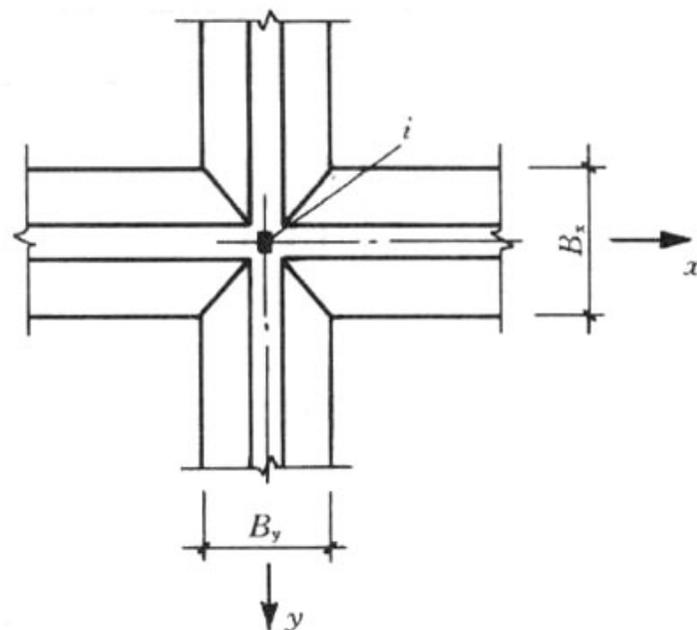


图 14-34 中柱节点

设于 i 在两个方向分解为 F_x 和 F_y ，并将两个 x, y 方向梁视为无限长梁，故可列出

下列方程式：
$$F_x + F_y = F_i \quad F_x = \frac{I_x \lambda_x^3}{I_x \lambda_x^3 + I_y \lambda_y^3} \cdot F_i$$

$$\frac{F_x}{8\lambda_x^3 EI_x} = \frac{F_y}{8\lambda_y^3 EI_y} \quad F_y = \frac{I_y \lambda_y^3}{I_x \lambda_x^3 + I_y \lambda_y^3} \cdot F_i$$

其中： $\lambda = \sqrt[4]{\frac{KB}{4EI}}$ -- 柔度特征值

K -- 地基系数； B -- 基础梁底面宽度； EI -- 条形基础梁的截正弯曲刚度。

2) 边柱节点

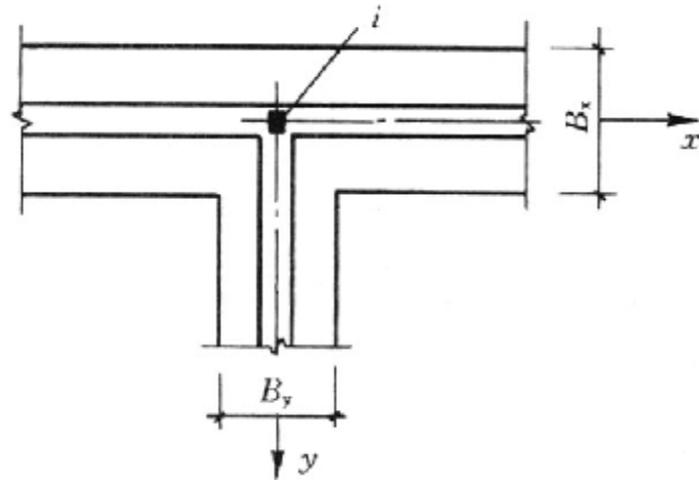


图 14-35 边柱节点

此时与上述区别是： x 方向为无限长梁，而 y 方向为半无限长梁。

$$F_{ix} + F_{iy} = F_i$$

$$F_{ix} = \frac{4I_x \lambda_x^3}{4I_x \lambda_x^3 + I_y \lambda_y^3} \cdot F_i$$

$$\frac{F_{ix}}{8\lambda_x^3 EI_x} = \frac{F_{iy}}{2\lambda_y^3 EI_y}$$

$$F_{iy} = \frac{I_y \lambda_y^3}{4I_x \lambda_x^3 + I_y \lambda_y^3} \cdot F_i$$

3) 角柱节点

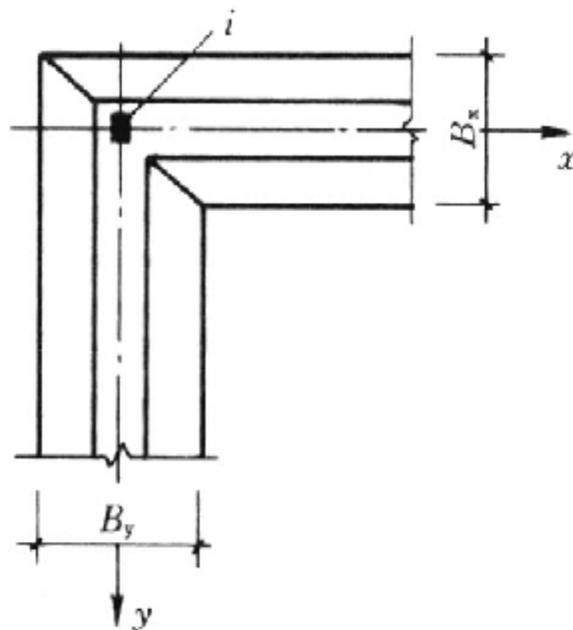


图 14-36 角柱节点

该时 x 方向, y 方向均为半无限长梁, 即:

$$F_{ix} + F_{iy} = F_i$$

$$F_{ix} = \frac{I_x \lambda_x^3}{I_x \lambda_x^3 + I_y \lambda_y^3} \cdot F_i$$

$$\frac{F_{ix}}{2\lambda_x^3 EI_x} = \frac{F_{iy}}{2\lambda_y^3 EI_y}$$

$$F_{iy} = \frac{I_y \lambda_y^3}{I_x \lambda_x^3 + I_y \lambda_y^3} \cdot F_i$$

13.5.5 片筏基础的计算与构造

在地基承载力低、或上部荷载大时，为满足要求可放大基础底面尺寸，形成片筏式基础。片筏式基础分为平板式和梁板式两类，内力计算有倒楼盖法、地基系数法、链杆法等。在此仅介绍用倒楼盖法计算的基本概念。

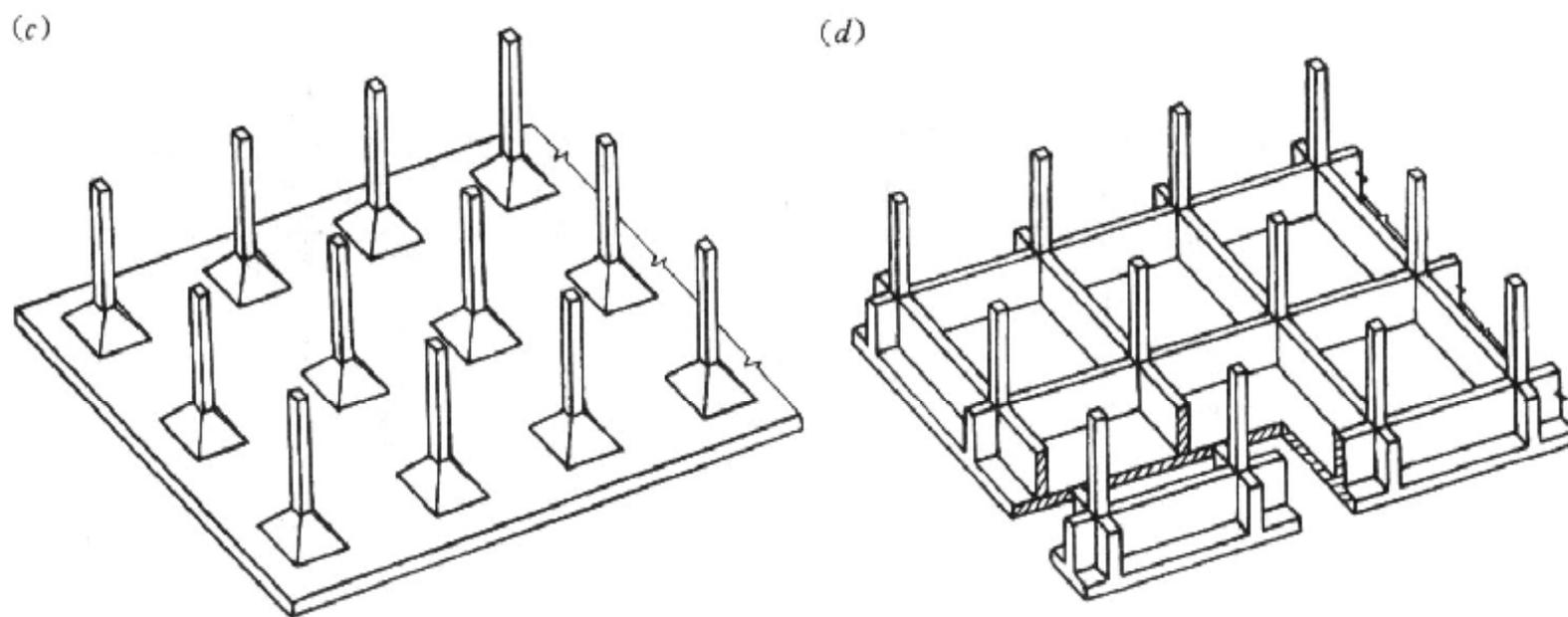


图 14-28 基础类型

(c) 平板式片筏基础；(d) 梁板式片筏基础

1. 地基反力计算

对于上部结构刚度较大情况，可假定地基反力在两个方向上都按直线分布，由静力平衡条件确定地基净反力，即：
$$p_{\max} = \frac{\Sigma N}{LB} \pm \frac{6\Sigma M_x}{BL^2} \pm \frac{6\Sigma M_y}{LB^2}$$

式中： ΣN -- 为上部结构传来的所有竖向荷载的合力；

ΣM_x -- 为上部结构传来的荷载对基底中心在 x 方向上的偏心力矩之和；

ΣM_y -- 为上部结构传来的荷载对基底中心在 y 方向上的偏心力矩之和；

L -- 筏基长度；

B -- 筏基宽度。

在确定 B 、 L 时应尽量使基础受中心压反力，即应该调整底板各边的外挑长度，使上部受力中心与下面底面积中心重合。

2. 梁板内力计算

将基础板视为倒置楼盖，柱为支座，荷载即为地基净反力（一般为均布），按下述情况分别处理。

- 1) 平板式筏基础--按无梁楼盖计算;
- 2) 梁板式筏基础，柱网为接近正方形--按井字楼盖计算，即底板为双向连续板，横纵向肋梁为多跨连续梁;
- 3) 梁板式筏基础，柱网为矩形--按肋梁楼盖考虑，即底板为单向连续板计算。
同条形基础一样，支座的力与柱轴力也有不等情况，需要调整。

3. 构造要求

(1) 板厚

一般为0.5~1.5 m

(2) 梁的布置

次肋不应比主肋过小

(3) 配筋构造

基本同肋梁楼盖，但在底板上下两层面宜布置双向的通长钢筋，每层每方向 $\geq \phi 10 @ 200$ ，以防开裂。

板底的四角应布置 45° 斜向 $5\phi 12$ 的放射形钢筋，防止开裂。