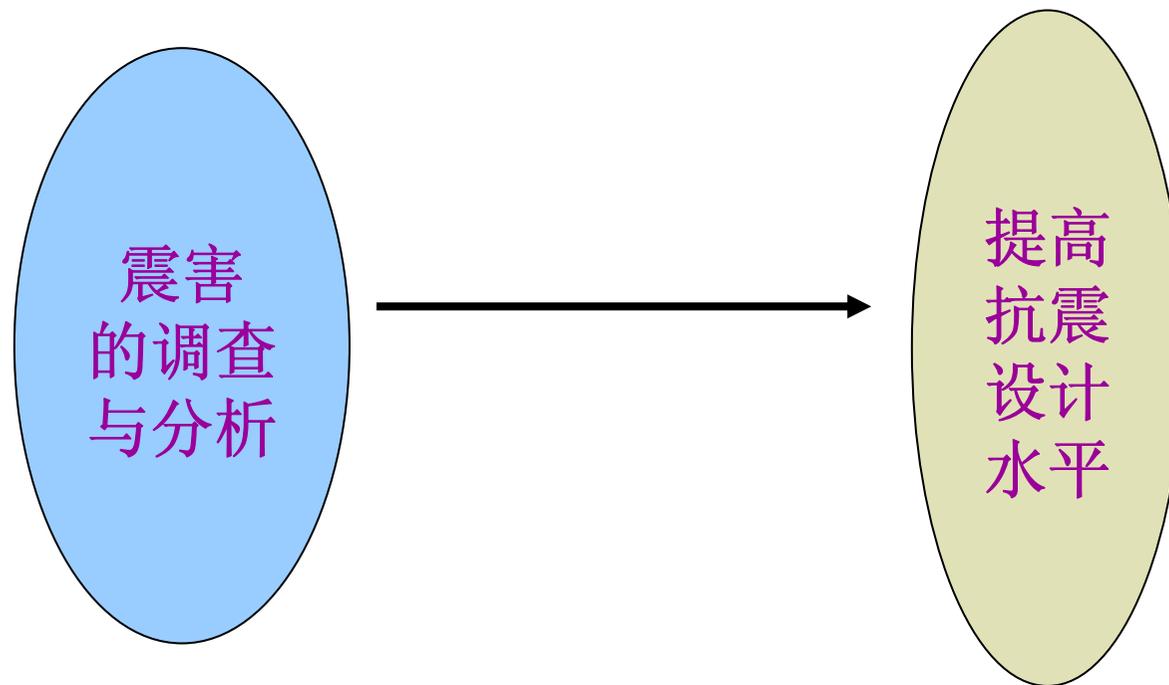


第5章 多层钢筋混凝土框架结构抗震设计

- 5.1 震害及其分析
- 5.2 选型、结构布置和设计原则
- 5.3 钢筋混凝土框架结构的抗震设计

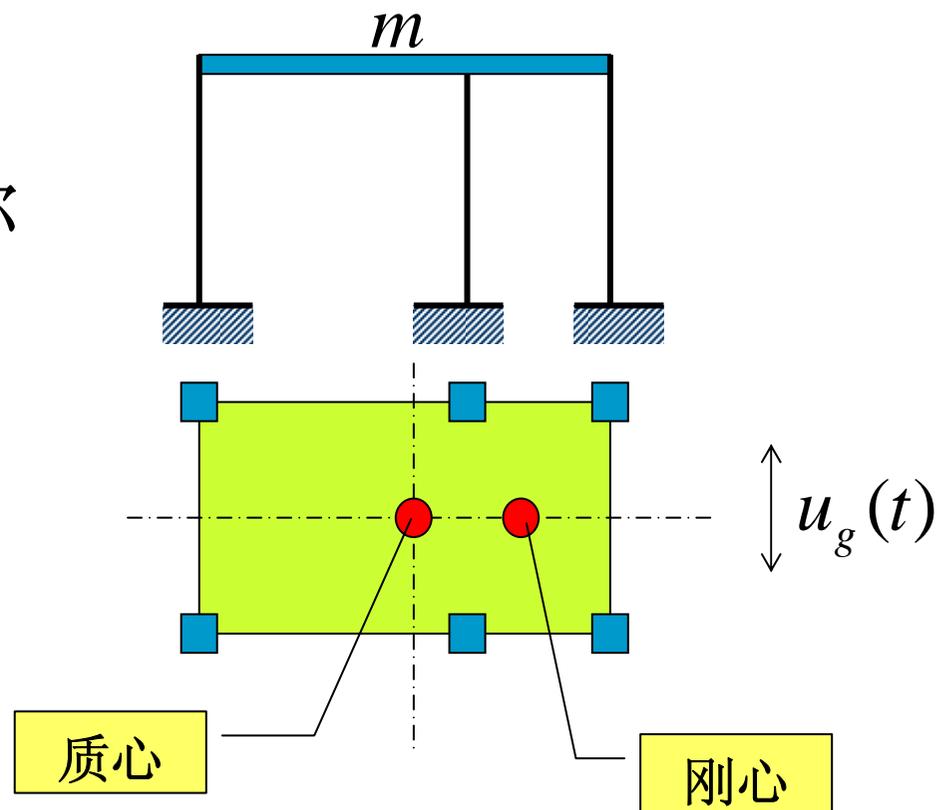
5.1 震害及其分析



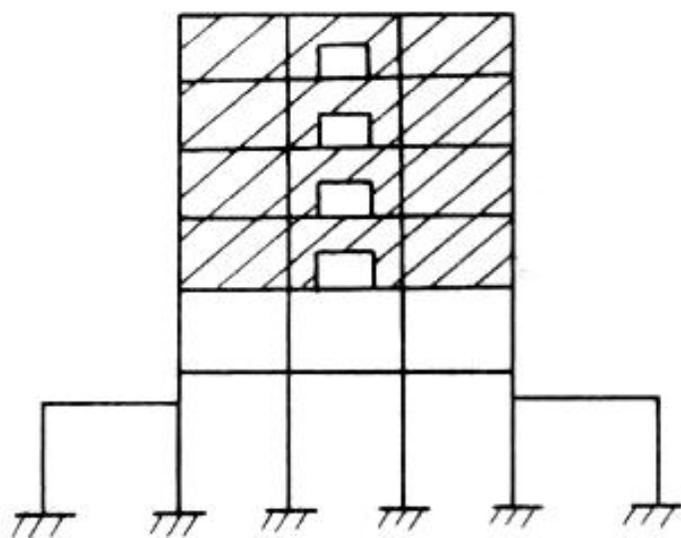
5.1.1 结构布置不合理而产生的震害

■ 扭转破坏

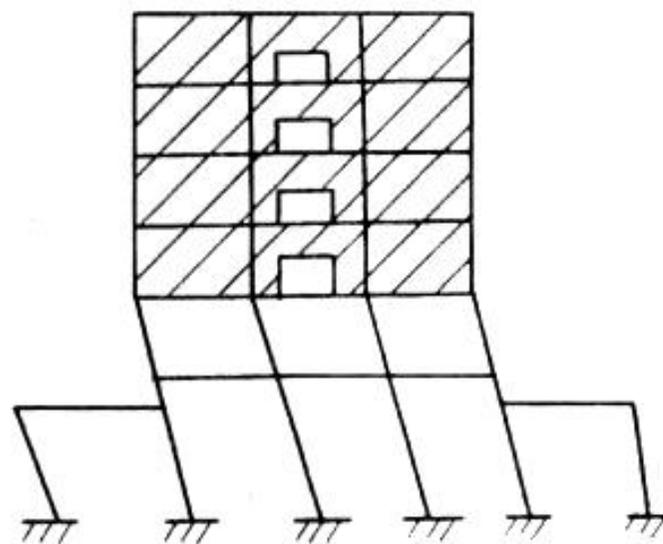
- 1、平面形状不对称
- 2、刚度不对称



薄弱层破坏



(a)



(b)

底部框架结构的变形

薄弱层破坏



彰化县员林镇邦富贵名门大楼座落在中山路惠明街口，为16层钢筋混凝土集合住宅大楼。地震时其中一栋倾倒靠在呈L型平面大楼上，柱子间距7至10米。造成倾倒的原因是底层柱子数量少，间距太大。

薄弱层破坏



底部框架砖房

薄弱层破坏

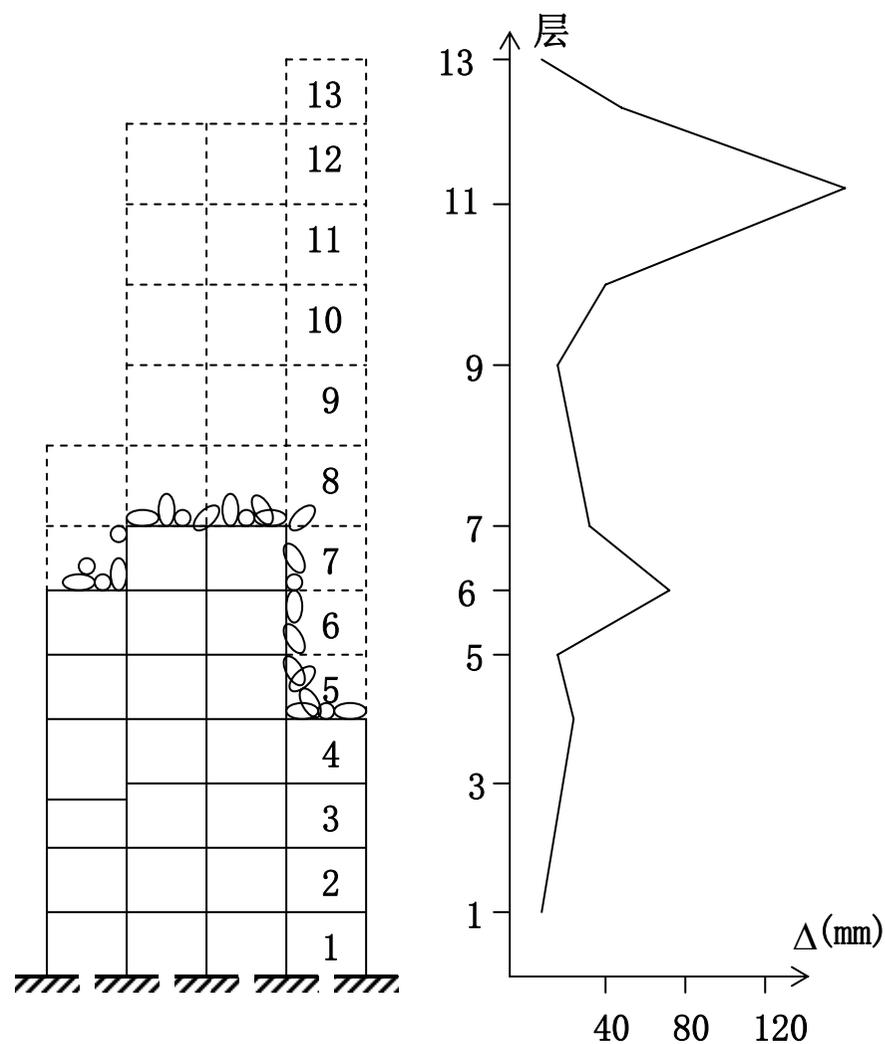


伊兹米特市一楼房底层空旷，结构不合理，房屋整体倾斜，二楼成了一楼。

薄弱层破坏

1976年唐山大地震中，位于天津塘沽区的天津碱厂十三层蒸吸塔框架，该结构楼层屈服强度分布不均匀，造成6层和11层的弹塑性变形集中，导致6层以上全部倒塌。

右图为该结构输入天津波的弹塑性分析结果。



应力集中

- 结构竖向布置有突变时，突变处会出现应力集中引起的震害。



图 5-3 竖向刚度突变引起的破坏

防震缝处碰撞

- 防震缝宽度不够时，其两侧的结构单元在地震时会相互碰撞产生震害。

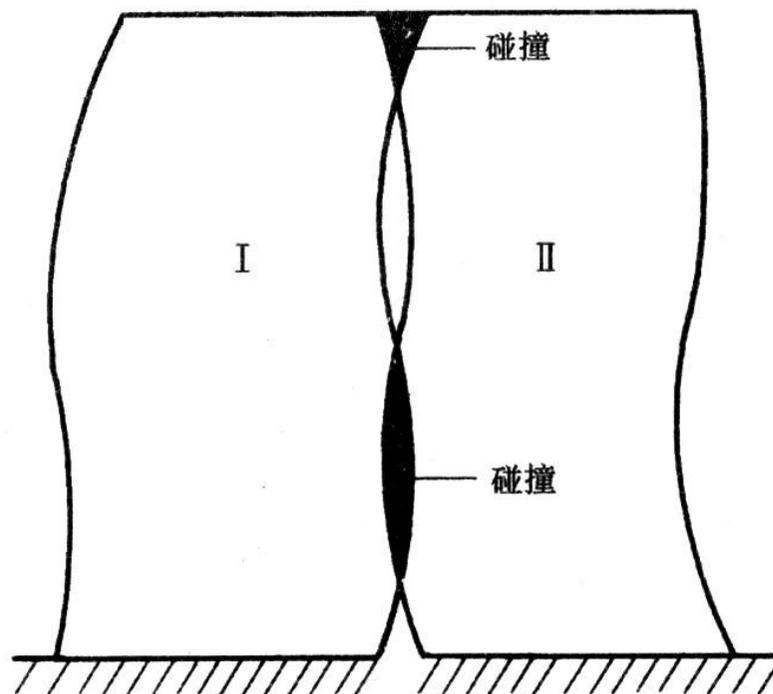
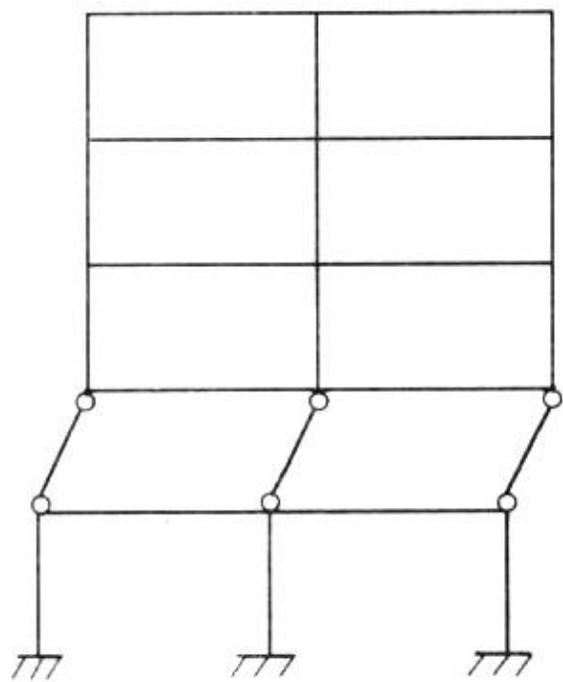


图 5-8 防震缝两侧结构单元的碰撞

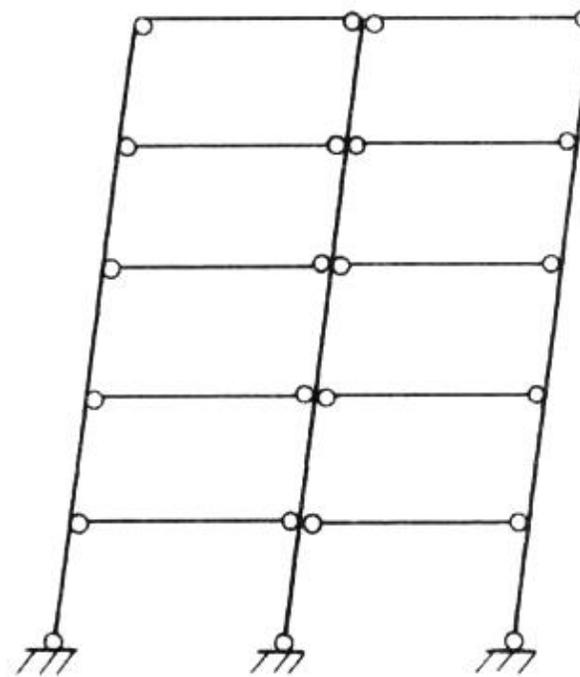
5.1.2 框架结构的震害

■ 整体破坏形式



(a)

强梁弱柱型



(b)

强柱弱梁型

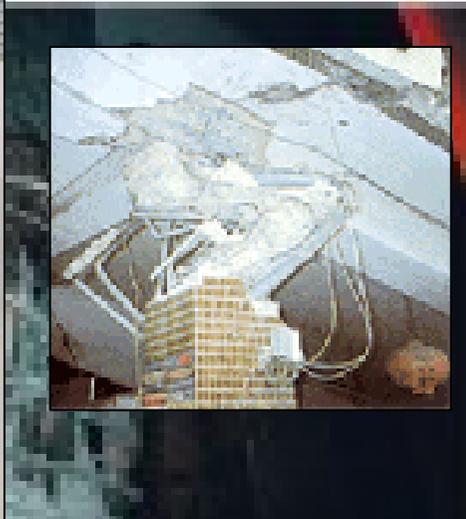
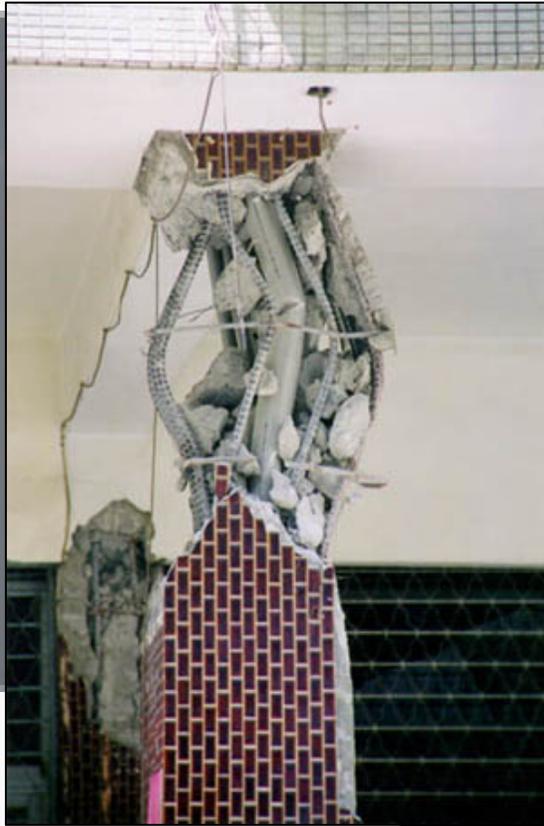
局部破坏形式

■ 框架柱

1. 柱端弯剪（塑性铰）破坏 图5-10、5-11
2. 柱身剪切破坏 图5-12
3. 角柱破坏 弯，剪，扭破坏
4. 短柱剪切破坏 刚度大、剪力大
($H/h_c \leq 4$) 图5-14
5. 柱牛腿破坏 水平力较大

原因：抗弯和抗剪承载力不足

塑性铰



短柱

角柱

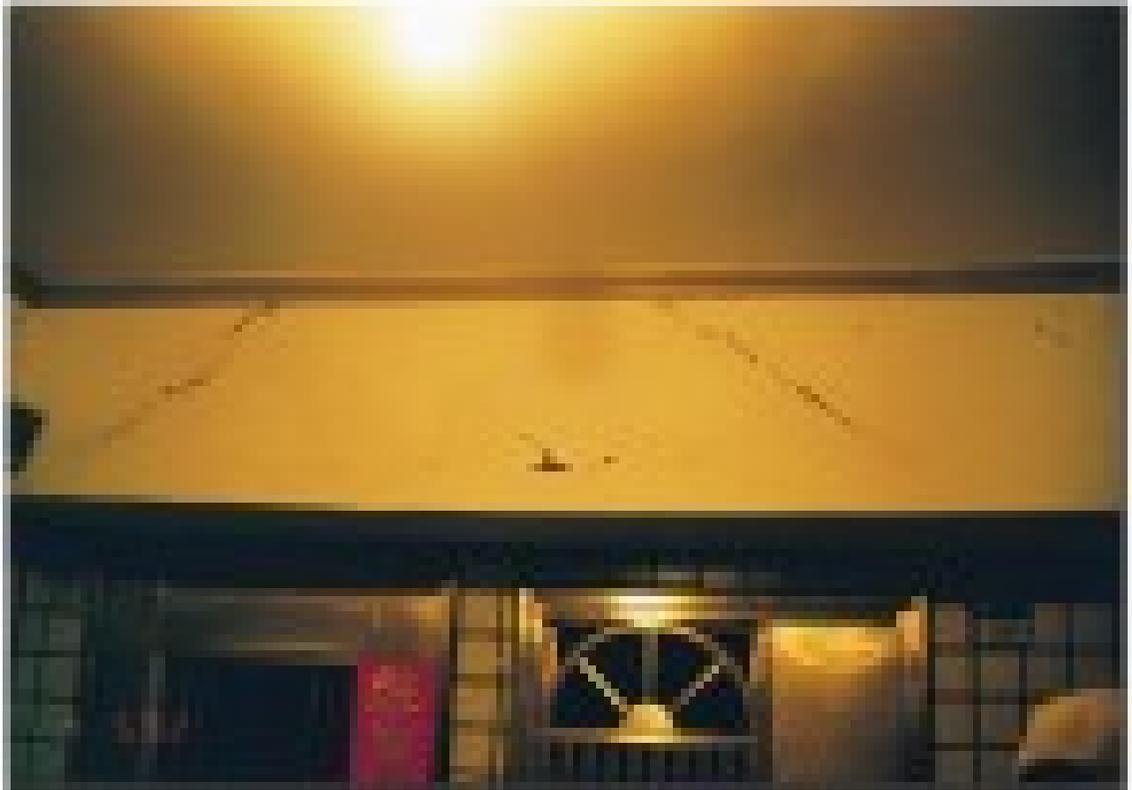
由于双向受弯、受剪, 加上扭转作用, 震害比内柱重。



框架梁

- 1、梁端弯曲破坏
- 2、梁端剪切破坏

纵筋屈服
箍筋不足



节点 (图5-13)

剪切破坏

V_u 不足、箍筋少、混凝土压碎、纵筋压屈

梁筋锚固破坏

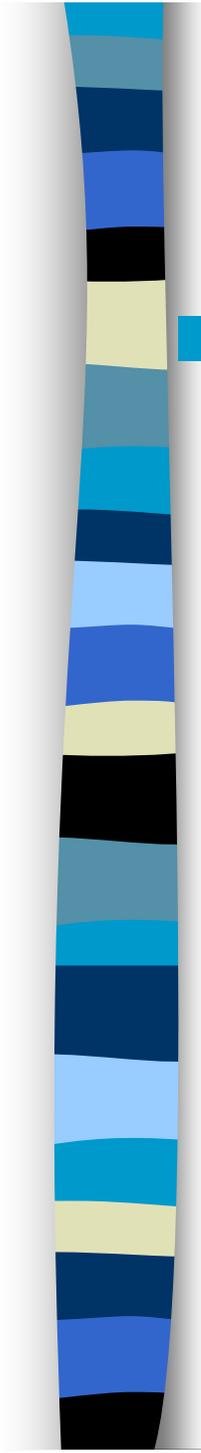
锚固长度不

连接破坏

施工质量差



Fig. 1. Exterior joint failure during the 1999 Kocaeli (Turkey) earthquake.



■ 框架填充墙的震害

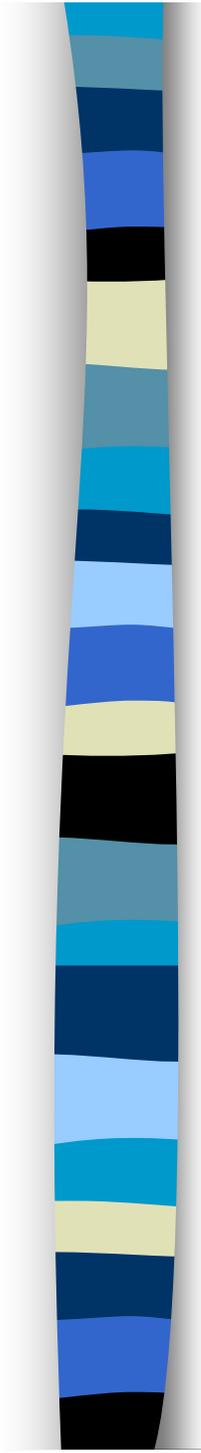
震害： 墙面斜裂缝、沿柱周边开裂、倒塌

特点： “下重上轻”

原因： 二者之间的变形不协调，非整体；
墙体的受剪承载力低、拉结不紧。

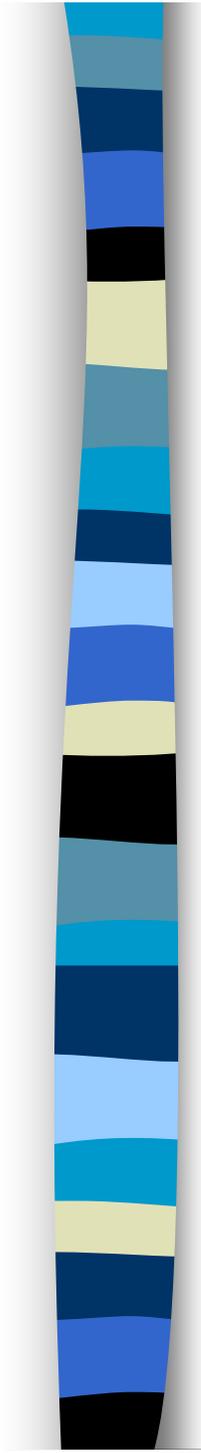


填充墙破坏的主要原因是：墙体受剪承载力低，变形能力小，墙体与框架缺乏有效的拉结，在往复变形时墙体易发生剪切破坏和散落。



总结震害经验，结构设计应注意：

- 1、结构刚度分布要均匀、规则；
- 2、构件要有足够的承载力与延性；
- 3、重视构造设计；
- 4、保证施工质量。



5.2 选型、结构布置和设计原则

5.2.1 选型

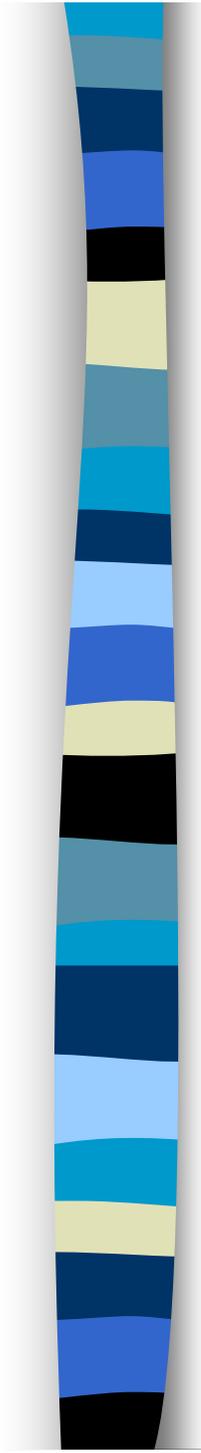
1、房屋高度

- 综合考虑结构类型、抗震性能、地基条件和震害经验等因素，从使用合理和经济的角度出发，来确定房屋的最大适用高度。

现浇钢筋混凝土房屋适用的最大高度（m）

结构类型		6度	7度	8度	9度
框架		60	55	45	25
框架-抗震墙		130	120	100	50
抗震墙	全部落地	140	120	100	60
	部分框支	120	100	80	/
筒体	框架-核心筒	150	130	100	70
	筒中筒	180	150	120	80
板柱—抗震墙		40	35	30	/

- 1 房屋高度指室外地面至檐口或屋面顶板的高度（不计局部突出）
- 2 框架-核心筒结构指周边稀柱框架与核心筒组成的结构
- 3 部分框支抗震墙结构指首层或底部两层框支抗震墙结构
- 4 超过表内高度的房屋，应进行专门研究，采取必要的加强措施
- 5 平面和竖向均不规则或IV类场地的结构，适用最大高度应适当降低（20%）



5.2.1 选型

- 2、优先选用现浇式或装配整体式框架，且双向刚接。
- 3、加强楼盖的整体性。 浇面层，叠合构件
- 4、选取合适的填充墙。
- 5、选择合理的基础形式。

5.2.2 结构布置

1、平立面布置宜规则对称

平面：尽量规则

[图5-18、表5-3](#)

立面：竖向刚度均匀、最大高宽比限值

[表5-4](#)

对于不规则结构，适当降低房屋高度，采用较为精确的内力分析方法，按较高抗震等级采取抗震措施。



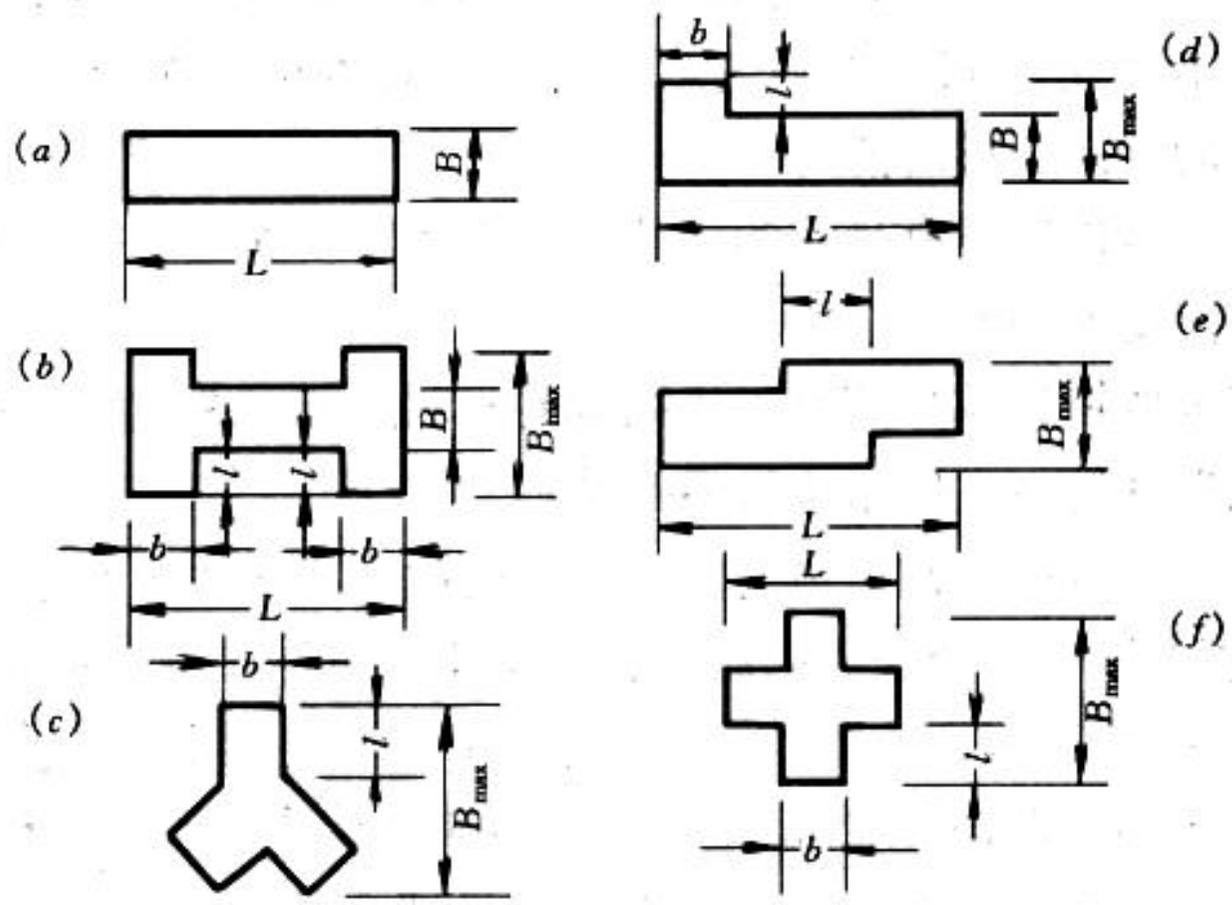
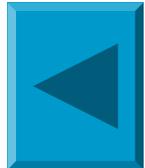


图 5-18 高层建筑平面

L 、 l 、 l' 的限值

表 5-3

设防烈度	L/B	L/B_{max}	l/b	l'/B_{max}
6度和7度	≤ 6	≤ 5	≤ 2	≥ 1
8度和9度	≤ 5	≤ 4	≤ 1.5	≥ 1

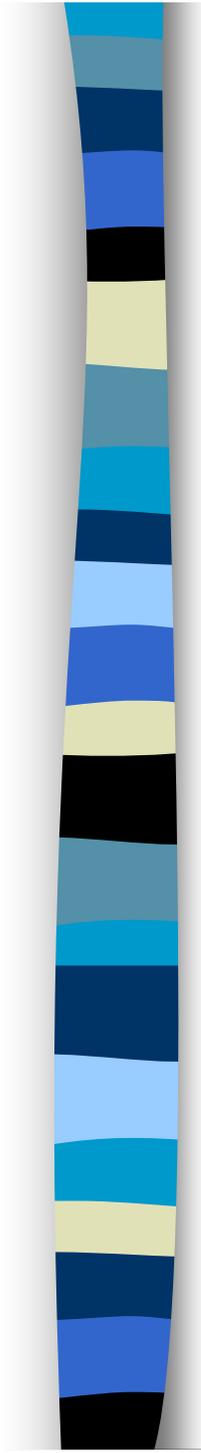


适用的房屋高宽比

结构类型	6度	7度	8度	9度
框架、板柱-抗震墙	4	4	3	2
框架—抗震墙	5	5	4	3
筒体，抗震墙	6	6	5	4

- 注：1.当有大底盘时，计算高宽比的高度从大底盘的顶部算起；
2.超过表内高宽比的体型复杂的房屋，应进行专门研究。





2、柱网布置要简单规整

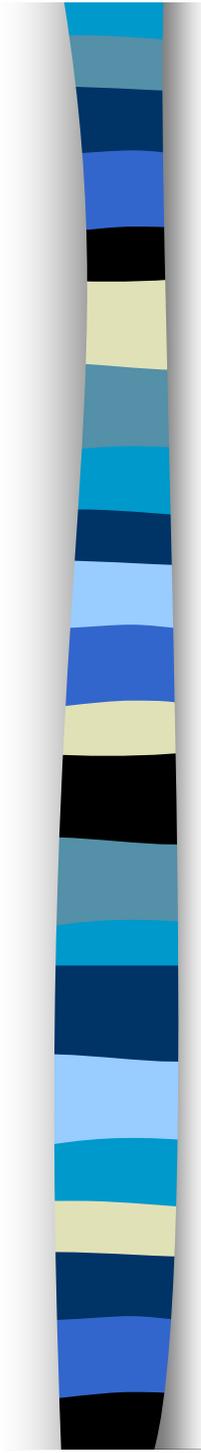
楼梯间尽量不放在端头，拐弯处。

梁，柱中线宜重和（ $e \leq 1/4h_c$ ）。

3、填充墙布置要上下、左右均衡，优先选用轻质材料。

填充墙与框架柱之间宜脱开或采用柔性连接

4、砌体女儿墙中宜设构造柱，墙顶设压顶，在人流出入口与主体结构锚固。



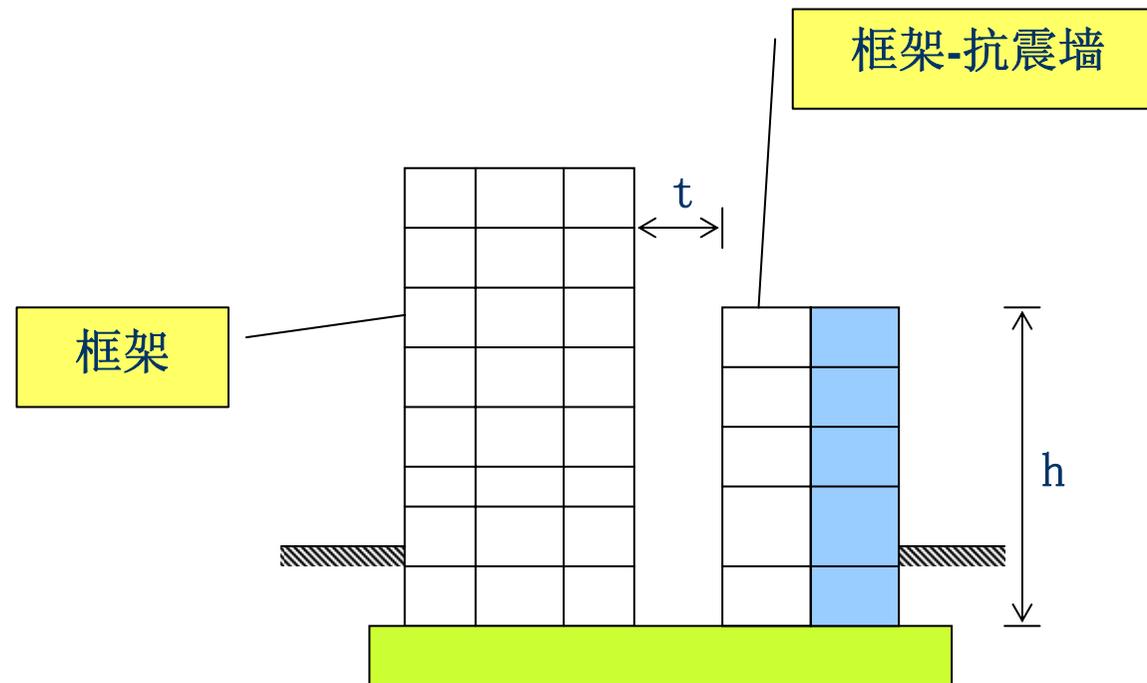
4.防震缝

- 设缝将不规则结构划为规则结构
- 足够的缝宽。
- 设防撞墙

钢筋混凝土框架房屋的防震缝宽度，当高度不超过15m时可采用70mm，超过15m时，6、7、8、9度相应每增加高度5m、4m、3m、2m，宜加宽20mm。

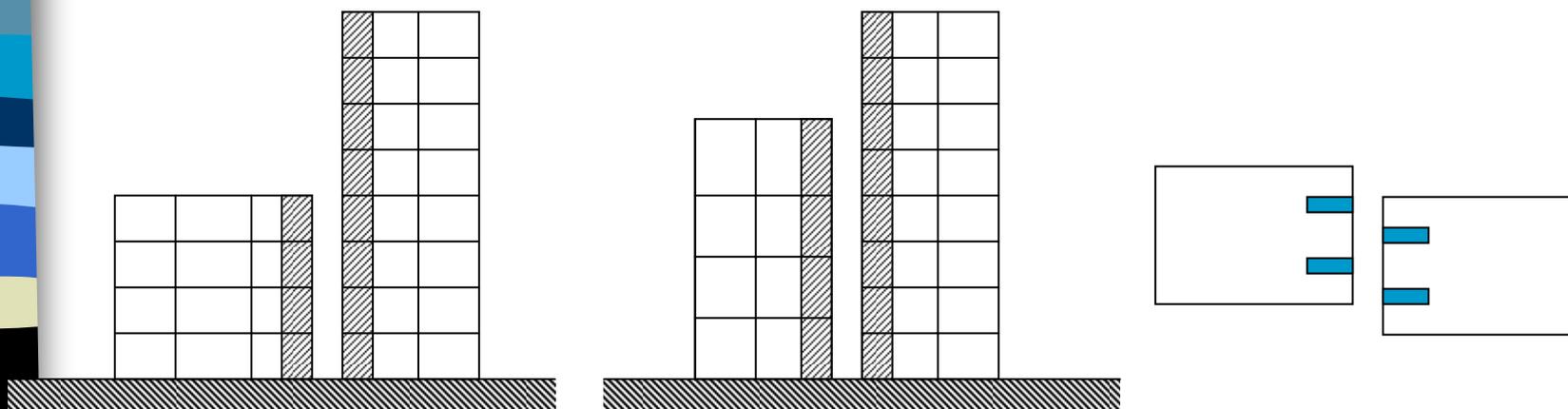
4. 防震缝

防震缝两侧结构类型不同时，按不利体系考虑，并按低的房屋高度计算缝宽。



抗撞墙

8、9度设防的钢筋混凝土框架房屋防震缝两侧的结构，当结构高度、刚度或层高相差较大时，可在防震缝两侧房屋的尽端设垂直于防震缝的抗撞墙。



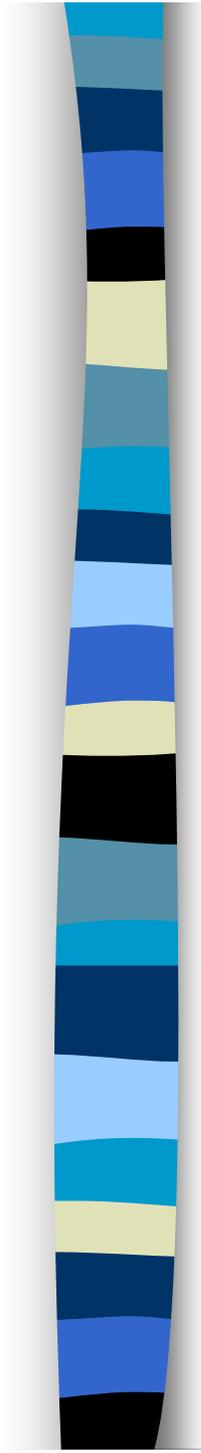
高度、刚度相差较大

层高不同

每一侧的数量不应少于两道。宜分别对称布置，墙肢的长度可不大于一个柱距。

内力应按考虑和不考虑抗撞墙两种情况进行分析，按不利情况取值。

抗撞墙的端柱和框架边柱箍筋应沿房屋全高加密。



5.2.3 材料

■ 混凝土强度等级

一级框架主体构件不低于**C30**；

构造柱、圈梁等构件不低于**C20**。

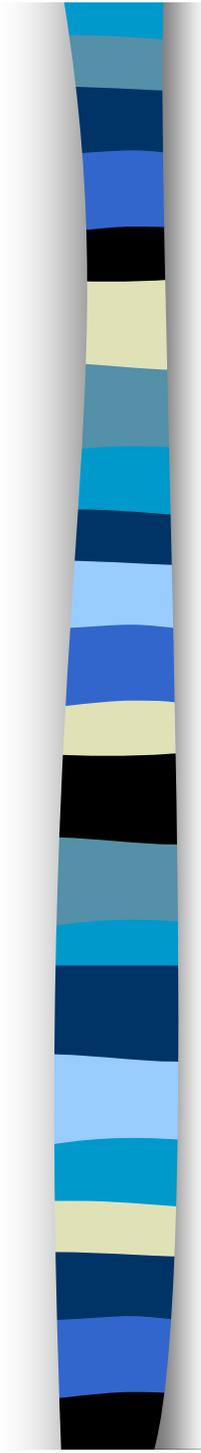
■ 钢筋强度等级

受力筋：**HRB335、HRB400**

箍筋：**HPB235、HRB335、HRB400**

强屈比 ≥ 1.25 $f_{y\text{实测}}/f_{yk} \leq 1.3$

■ 施工中替换钢筋要遵循承载力相等的原则



5.2.4 抗震等级

- 确定抗震分析及抗震措施的宏观标准。
- 根据**设防烈度、房屋高度、结构类型**等因素确定。
- 四个等级 丙类建筑按表**5-5**确定

下表为丙类建筑抗震等级的划分：

现浇钢筋混凝土房屋的抗震等级

结构类型		烈 度							
		6		7		8		9	
框架结构	高度 (m)	≤ 30	>30	≤ 30	>30	≤ 30	>30	≤ 25	
	框架	四	三	三	二	二	一	一	
	剧场,体育馆等大跨度公共建筑	三		二		一		一	
框架-抗震墙结构	高度 (m)	≤ 60	>60	≤ 60	>60	≤ 60	>60	≤ 50	
	框架	四	三	三	二	二	一	一	
	抗震墙	三		二		一	一	一	

- 注：1. 建筑场地为 I 类时，除6度外可按表内降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施，但相应的计算要求不应降低；
2. 接近或等于高度分界时，应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

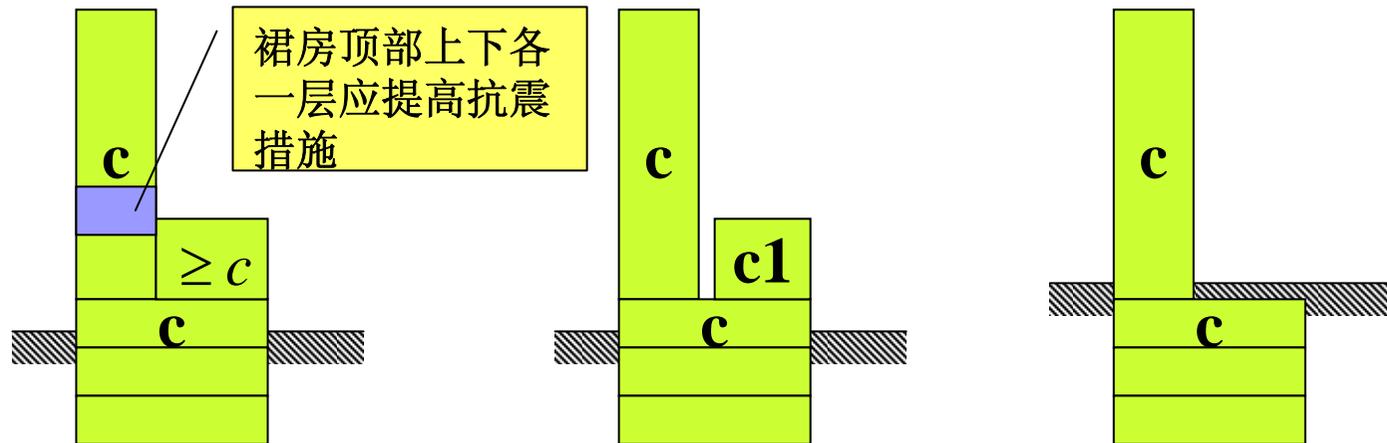
甲、乙、丁类建筑应按抗震设防标准中的抗震措施所要求的设防烈度按上表确定抗震等级。

建筑物重要性分类与设防标准

建筑类别	建筑的重要性	抗震措施	地震作用计算
甲类	重大建筑工程和可能发生严重次生灾害的建筑	提高一度 (9度适当提高)	应高于本地区设防烈度的要求，其值按批准的安评结果确定
乙类	地震时使用不能中断或需尽快恢复的建筑	提高一度(9度适当提高)；小规模建筑改变结构型式时可不提高	原设防烈度
丙类	甲、乙、丁类以外的一般建筑	原设防烈度	原设防烈度
丁类	抗震次要的建筑	适当降低(6度不降)	原设防烈度

裙房与主楼的抗震等级

图中c为抗震等级



多层与高层建筑的地下室

一层以下根据具体情况按三级或按更低等级。9度时应专门研究。

5.2.5 按抗剪要求的截面限制条件

对于跨高比大于**2.5**的梁、剪跨比大于**2**的柱：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.20 f_c b h_0)$$

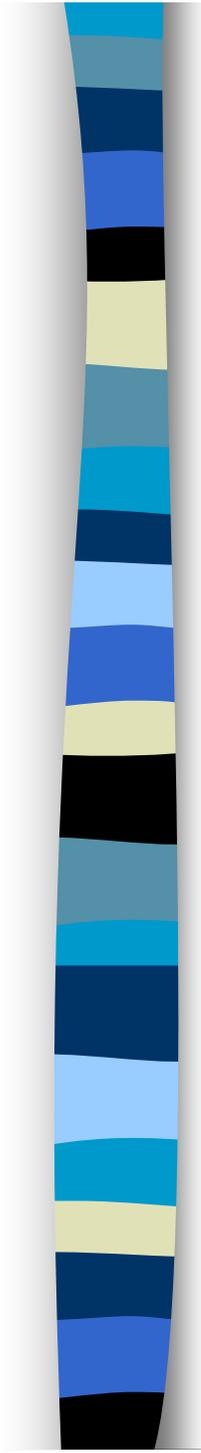
对于跨高比不大于**2.5**的梁、剪跨比不大于**2**的柱：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 f_c b h_0)$$

$$\lambda = M^c / (V^c h_0)$$

对于框架结构的
中间层柱

$$\lambda \approx \frac{H_n}{2h}$$



5.3 钢筋混凝土框架结构的抗震设计

5.3.1 框架结构的设计要点

- 一般结构在纵横两个主轴方向进行抗震计算
- 框架柱的边长一般不小于**300mm**
- 避免形成短柱
- 采用柱下单独基础时，某些情况需要沿两个主轴方向设置基础系梁
- 在竖向荷载作用下的结构内力可以调幅；**现浇框架：0.8~0.9；装配整体式：0.7~0.8**
- 地震作用产生的结构内力不能调幅

地震作用及框架内力的计算

一、水平地震作用的计算

1、用顶点位移法计算基本自振周期：

$$T_1 = 1.7\psi_T \sqrt{u_T} \quad (\text{s}) \quad \psi_T: 0.6\sim 0.7$$

2、用底部剪力法求水平地震作用；

$$F_{EK} \quad F_i$$

3、求层间地震剪力 V_i ，并分配到每个柱。

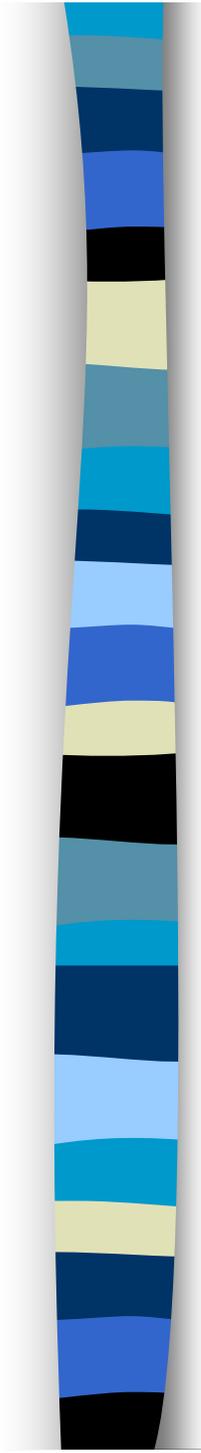
二、水平地震作用下框架内力计算

反弯点法 D值法

三、竖向荷载作用下框架内力计算（分层法）

重力荷载代表值

分层法（弯矩分配法）；梁上的内力可进行调幅。



5.3.2 地震作用在结构各部分的分配 及内力计算

1、地震作用在结构各部分的分配

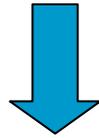
$$V_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_{k=1}^m D_{ik}} V_i$$

2、内力计算

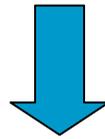
反弯点法、**D**值法

5.3.3 截面设计和构造

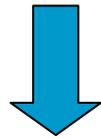
各种荷载作用下结构的内力



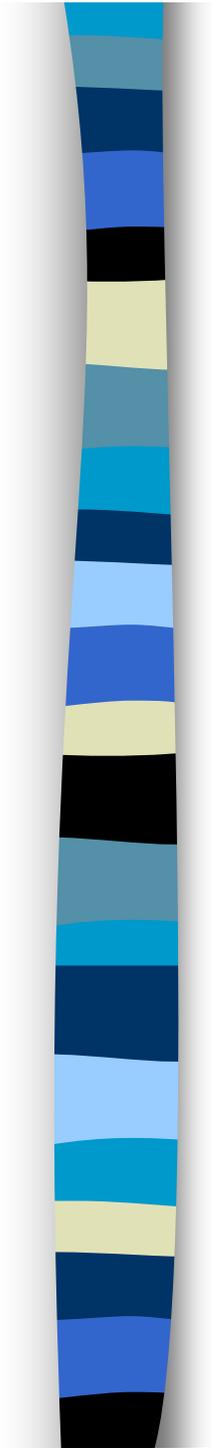
内力组合

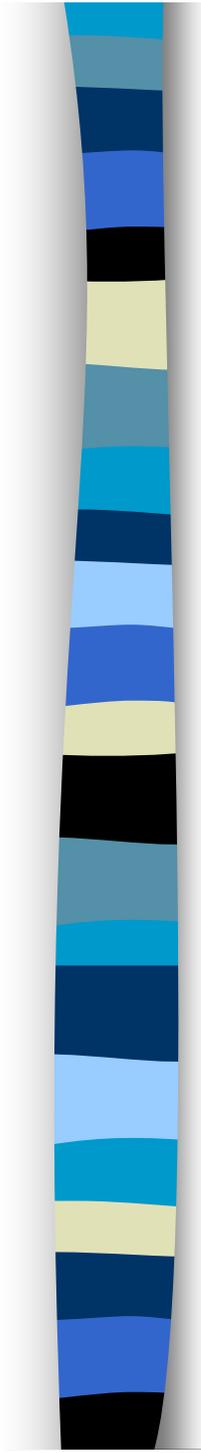


控制截面的最不利的内力



截面计算配筋和构造设计



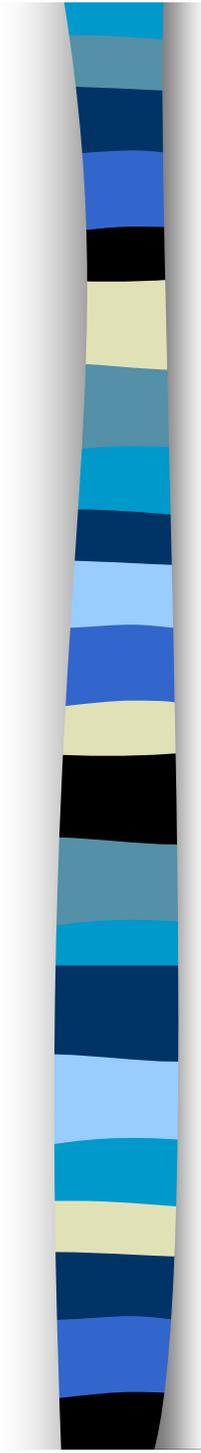


内力组合

$$S_1 = 1.2S_{GE} + 1.3S_{Eh} \leq R / \gamma_{RE}$$

$$S_2 = 1.2S_G + 1.4S_Q \leq R$$

最不利组合指截面配筋量较大的组合，并非 S_{\max} 。



延性框架的概念

- **延性**：指结构的后期变形能力。

指标： $\Delta u - \Delta y$ 或 $\Delta u / \Delta y$

- **延性框架**：

在地震作用效应下，具有一定的承载力、刚度、变形能力和耗能能力的框架。

- **延性框架的设计措施**：

强柱弱梁；

强剪弱弯；

强节点、强锚固。

地震作用效应的调整

1、“强柱弱梁”

一、二、三级框架的梁柱节点处除框架顶层和柱轴压比小于**0.15**者外，柱端组合的弯矩设计值应符合下式要求：

$$\sum M_c = \eta_e \sum M_b$$

$$\eta_e = 1.4、1.2、1.1$$

对于底层柱下端截面：

$$\eta_e = 1.5、1.25、1.15$$

9度和一级框架结构，尚应符合：

$$\sum M_c = 1.2 \sum M_{bua}$$

$\sum M_{bua}$ ——节点左右截面反时针或顺时针方向按实配钢筋（考虑受压钢筋）正截面抗震受弯承载力，所对应的弯矩值之和，可根据实际配筋面积和材料强度标准值确定。

一、二级框架角柱调整后的弯矩、剪力设计值应扩大**1.3**倍；

2、“强剪弱弯”

防止梁柱端部在弯曲屈服前出现剪切破坏是抗震概念设计的要求，它意味着构件的受剪承载力要大于构件弯曲时实际达到的剪力。

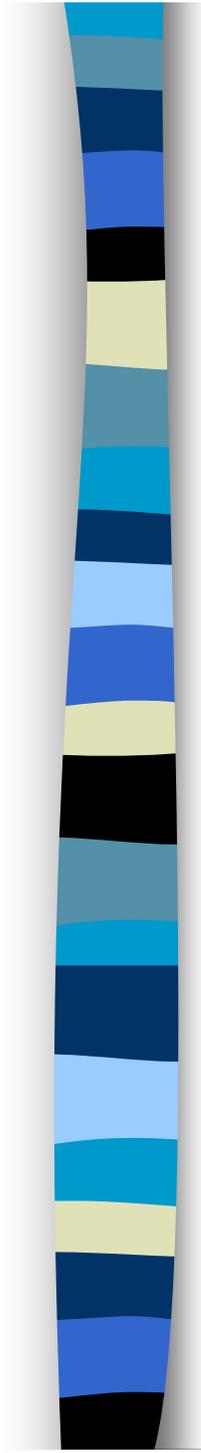
1) 框架梁的梁端截面组合的剪力设计值

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

$$\eta_{vb} = 1.3, 1.2, 1.1$$

9度时和一级框架尚应符合：

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



2) 框架柱设计剪力的调整

$$V = \eta_{vc} (M_c^t + M_c^b) / H_n$$

$$\eta_{vc} = 1.4, 1.2, 1.1$$

9度时和一级框架结构尚应符合：

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

配筋和构造

(1) 截面尺寸限制条件

梁端截面的混凝土受压区高度 x ，当考虑受压钢筋的作用时，应满足：

$$x \leq 0.25h_0 \text{ (一级)}$$

$$x \leq 0.35h_0 \text{ (二、三级)}$$

对于跨高比大于**2.5**的梁、剪跨比大于**2**的柱：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.20 f_c b h_0)$$

对于跨高比不大于**2.5**的梁、剪跨比不大于**2**的柱：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 f_c b h_0)$$

(2) 抗剪承载力的折减

梁

$$V_b \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.6V_c + V_s)$$

受压柱

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.056N \right]$$

受拉柱

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 - 0.2N \right]$$

构造要求

1. 框架梁

1) 普通框架梁

截面宽度不宜小于200mm；截面高宽比不宜大于4；净跨与截面高度之比不宜小于4。

2) 扁梁

扁梁指梁截面高度不大于梁截面宽度的梁。

扁梁宽度大于柱宽时，楼板应采用现浇；梁中线宜与柱中线重合；扁梁宜双向布置；扁梁的截面尺寸应符合：

$$b_b \leq 2b_c; \quad b_b \leq b_c + h_b; \quad h_b \geq 16d$$

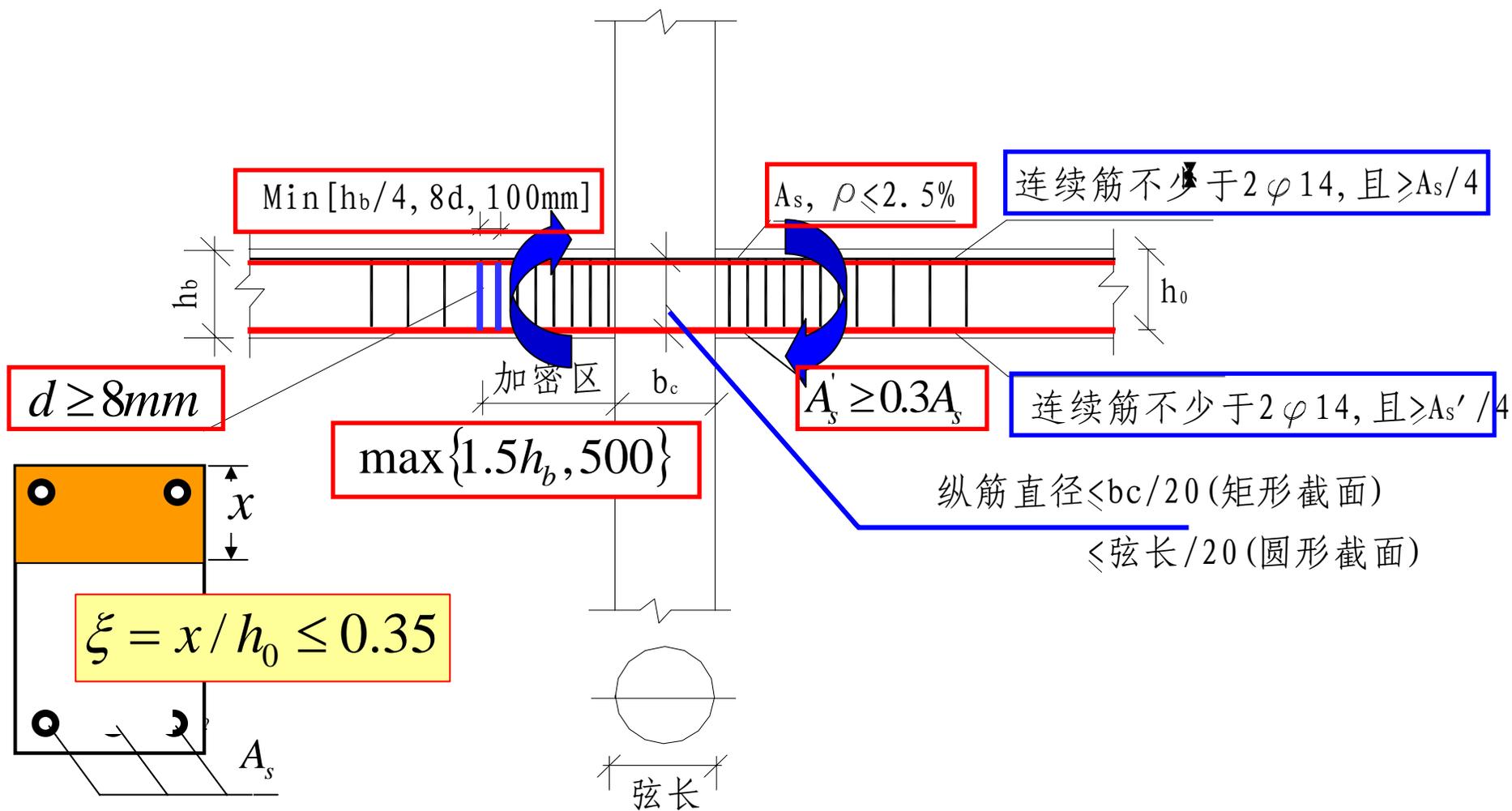
式中： b_c —柱截面宽度，圆形截面取柱直径的0.8倍；

b_b ， h_b ——分别为梁截面宽度和高度；

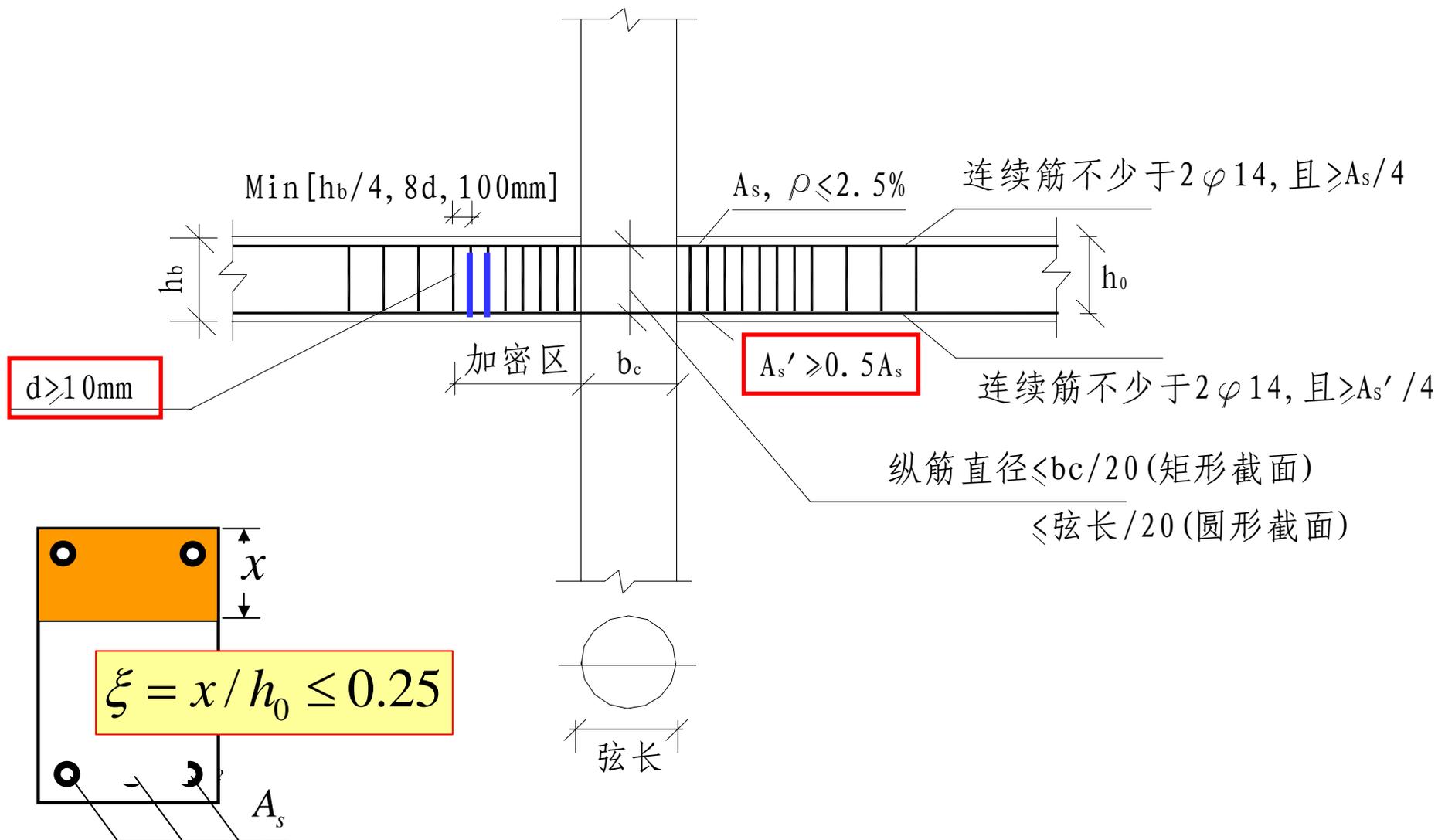
d ——柱纵筋最大直径。

扁梁的截面高度应满足挠度和裂缝宽度的有关规定。

二级抗震框架梁端的配筋构造



一级抗震框架梁端的配筋构造



抗震框架梁端箍筋加密区的长度、箍筋最大间距和最小直径

抗震等级	加密区长度(mm) 采用较大值	箍筋最大间距(mm) 采用较小值	箍筋小直径(mm)
一	$2h_b, 500$	$H_b/4, 6d, 100$	10
二	$1.5h_b, 500$	$H_b/4, 8d, 100$	8
三	$1.5h_b, 500$	$H_b/4, 8d, 150$	8
四	$1.5h_b, 500$	$H_b/4, 8d, 150$	6

2、框架柱

1) 截面尺寸:

截面宽度及高度均不宜小于**300mm**;

圆柱直径及多边形的截面内切圆不宜小于**350mm**;

剪跨比宜大于**2**;

截面的长边与短边的边长比不宜大于**3**;

2) 框架柱中线与框架梁中线之间的偏心距不宜大于柱截面宽度的**1/4**。

3) 轴压比限值

$$n = \frac{N}{f_c A}$$

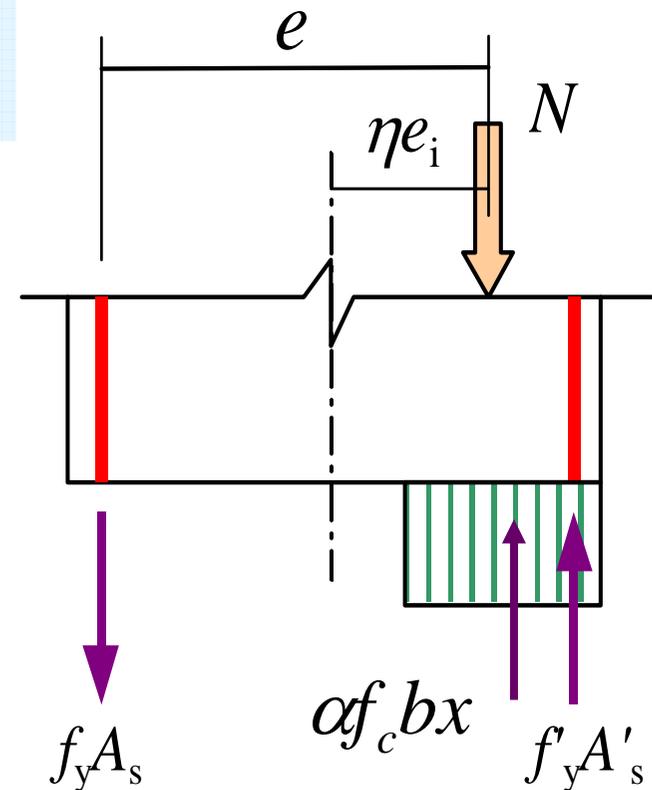
$$\xi = x / h_0$$

对称配筋的压弯构件

$$N = \alpha_1 f_c b x = \alpha_1 f_c b \xi h_0$$

$$\approx 1.0 f_c A \xi$$

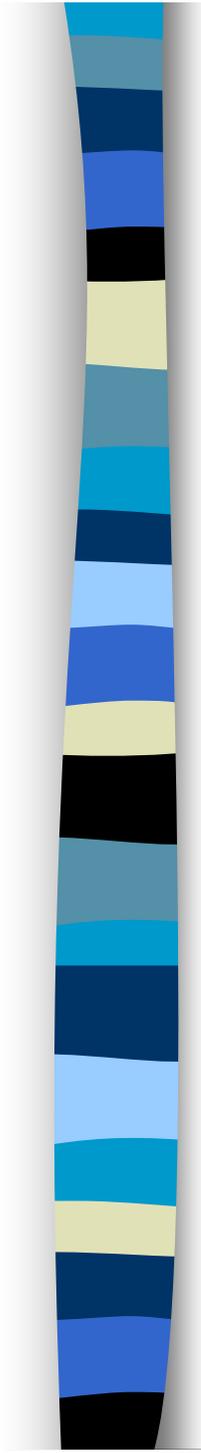
$$n = \frac{N}{f_c A} \approx \xi \begin{cases} \leq \xi_b \text{ 为大偏压} \\ > \xi_b \text{ 为小偏压} \end{cases}$$



$$n = \frac{N}{f_c A} \leq [n]$$

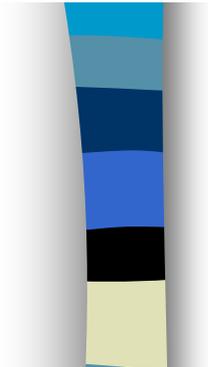
结论

- 轴压比越大，脆性越大
- 延性框架需要控制轴压比在合理的范围内
- 一、二、三级抗震框架柱[n]分别为**0.7、0.8、0.9**；
- 非抗震框架柱的[n]取为**1.0**。



4) 柱的纵向配筋（矩形和圆形截面柱）

- ① 纵筋宜对称配置；
- ② 截面大于**400mm**的柱，纵筋间距不宜大于**200mm**；
- ③ 柱纵筋的最小配筋率按规范规定采用，每侧不小于**0.2%**，建造于IV类场地上较高的高层建筑（接近适用最大高度），最小总配筋率宜增加**0.1**；
- ④ 柱总配筋率不大于**5%**；
- ⑤ 剪跨比 ≤ 2 的柱，每侧纵筋配筋率不宜大于**1.2%**；
- ⑥ 边柱、角柱考虑地震作用组合产生拉力时，柱内纵筋总截面面积计算值应增加**30%**；



框架柱全部纵向钢筋最小配筋百分率 (%)

表 5-8

柱 类 型	抗 震 等 级			
	一	二	三	四
中柱、边柱	1.0	0.8	0.7	0.6
角柱、框支柱	1.2	1.0	0.9	0.8

注：当框架柱采用 HRB400 级热轧钢筋应允许减少 0.1，采用混凝土强度等级高于 C60 时，应增加 0.1。



5) 柱的箍筋加密范围及用量

- 柱端取截面高度（圆柱直径），柱净高的1/6，和500mm三者的最大值；
- 底层柱嵌固部位的箍筋加密范围不小于柱净高的1/3；当有刚性地面时，除柱端外尚应取刚性地面上、下各500mm；
- 剪跨比不大于2的柱和固非结构墙的约束形成的净高与柱截面高度之比不大于4的柱，取全高。箍筋间距不应大于100mm。梁柱之间偏心较大，宜取全高；

柱加密区的箍筋最大间距和最小直径

表 5-9

抗震等级	箍筋最大间距（采用较小值） (mm)	箍筋最小直径	箍筋加密区长度（采用较大者）
一	6d, 100	φ10	h（或 D）， H _n /6， 500mm
二	8d, 100	φ8	
三	8d, 150（柱根 100）	φ8	
四	8d, 150（柱根 100）	φ6（柱根 φ8）	

注：h 为矩形截面长边尺寸，D 为圆形截面直径，H_n 为柱净高，d 为纵向钢筋最小直径。

6) 柱的最小配箍特征值 λ_v 及体积配箍率 ρ_v

$$\rho_v \geq \lambda_v \frac{f_c}{f_{yv}}$$

式中： ρ_v —体积配箍率为箍筋体积与不包括净保护层混凝土体积的比值。计算复合箍的体积配箍率，应扣除重叠部分的箍筋体积；

λ_v —最小配箍特征值，按[表5-10](#)采用。

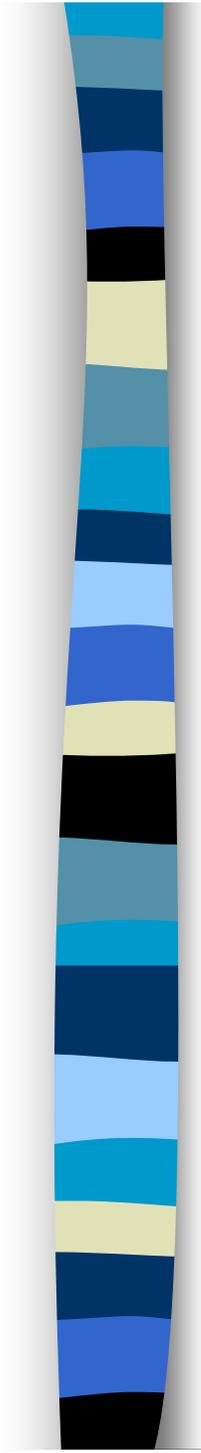
对一~四级的框架柱，箍筋加密区的 ρ_v 分别不小于**0.8%、0.6%、0.4%、0.4%**。

柱箍筋加密区的箍筋最小配箍特征值 λ_v

表 5-10

抗震等级	箍筋形式	轴 压 比								
		≤ 0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.05
一级	普通箍筋、复合箍筋	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.23	—	—
	螺旋箍筋、复合或连续复合螺旋箍	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.21	—	—
二级	普通箍筋、复合箍筋	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24
	螺旋箍筋、复合或连续复合螺旋箍	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.22
三级	普通箍筋、复合箍筋	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.22
	螺旋箍筋、复合或连续复合螺旋箍	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20

注：1. 普通箍筋系指单个矩形箍筋和单个圆形箍筋；复合箍筋系指由矩形、多边形、圆形箍筋或拉筋组成的箍筋；复合螺旋箍指由螺旋箍与矩形、多边形、圆形箍筋或拉筋组成的箍筋；连续复合螺旋箍指全部螺旋箍为同一根钢筋加工成的箍筋。



7) 柱非加密区的配筋要求

箍筋的体积配筋率不宜小于加密区配筋率的**50%**;

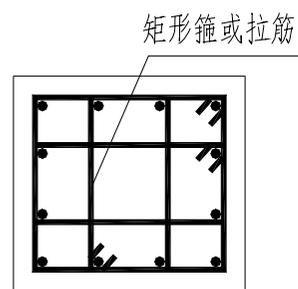
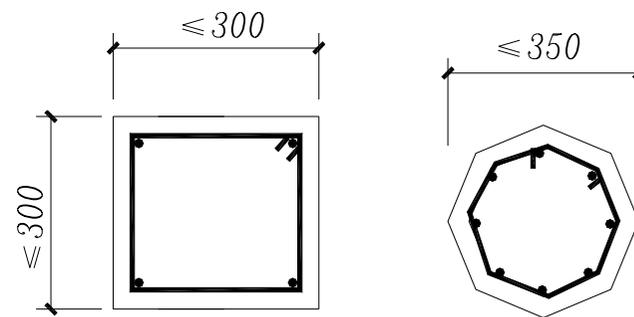
箍筋间距对一、二级抗震不应大于**10d**，对三、四级不应大于**15d**;

柱中纵筋总配筋率超过**3%**时，箍筋应焊成封闭形式。

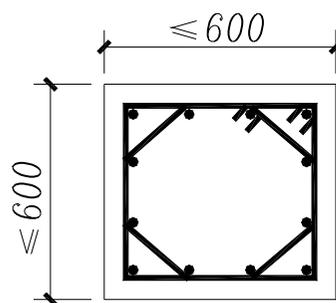
8) 常用的柱截面箍筋类别:

① 普通箍

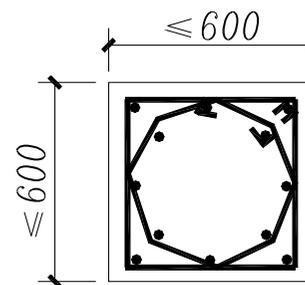
② 复合箍



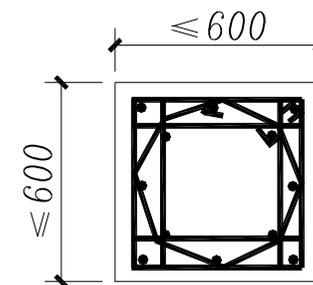
井字形复合箍



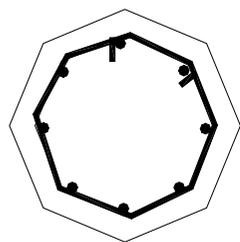
井字形复合箍



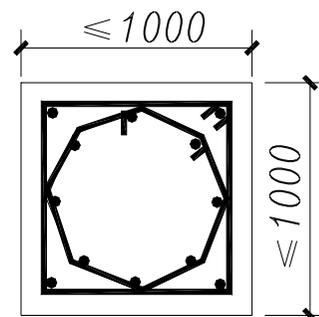
方、圆形复合箍



③ 螺旋箍



螺旋箍



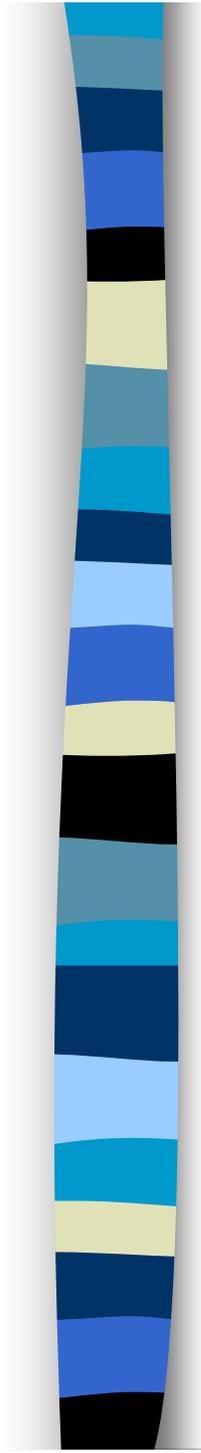
复合螺旋箍

框架柱加密区的箍筋最大肢距：

一级： 200mm

二、三级： $\max(250\text{mm}, 20d)$

四级： 300mm



5.3.4 框架节点核心区的设计

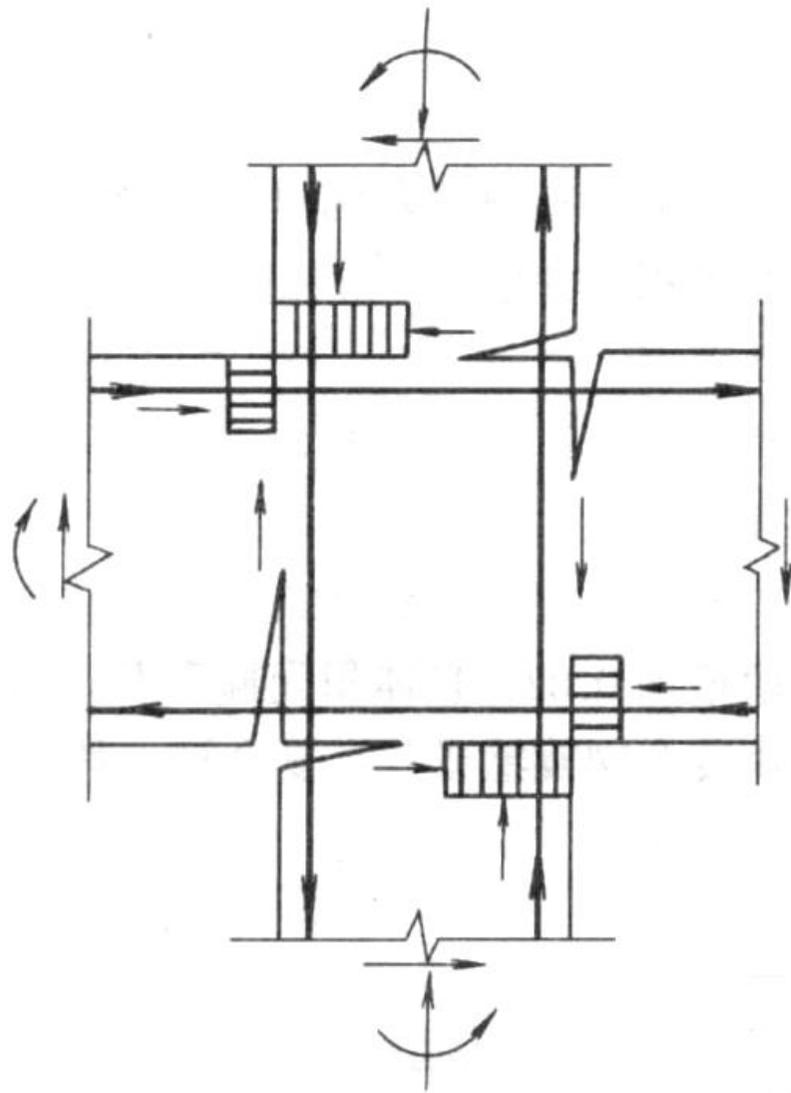
■ 设计原则:

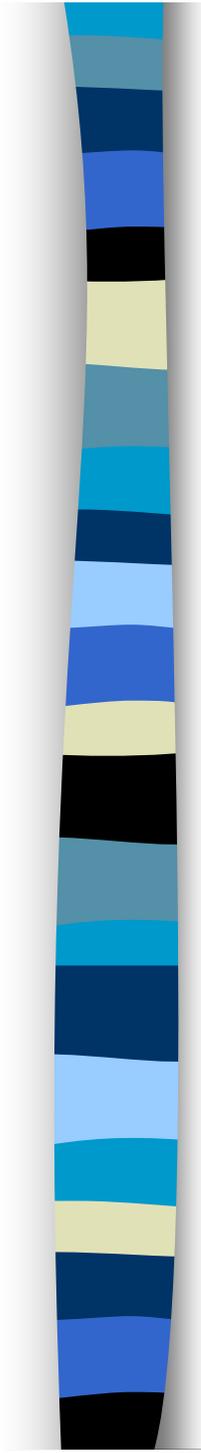
- 1、节点承载力不低于其他构件的承载力;
- 2、多遇地震时, 节点应在弹性范围内工作;
- 3、罕遇地震时, 应保证竖向荷载的传递;
- 4、节点配筋不应使施工困难。

1、破坏形态

节点核心区的主要破坏形式为剪切破坏；

破坏特征：交叉斜裂缝、混凝土被压碎、柱纵筋压屈





2、节点抗剪强度和延性的影响因素

■ 梁板对节点区的约束作用

四边有梁且带现浇楼板的中节点抗剪强度约能提高**50%**。

■ 轴压力的影响

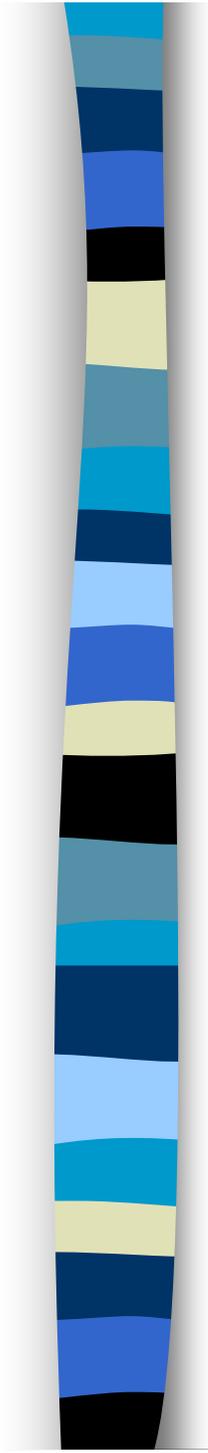
轴压比较小时，**N**提高，**V**就提高；

轴压比大于**0.6~0.8**时，**N**提高，**V**就下降。

轴压力的存在会使节点延性降低。

■ 剪压比和配箍率

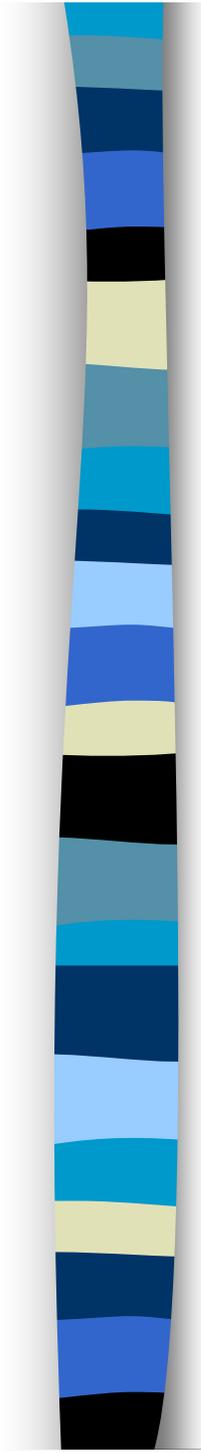
限制配箍率，尽量保证纵筋先屈服，通过限制水平截面上的剪压比来实现。剪压比不能大于**0.35**。



■ 梁纵筋滑移

在循环反复荷载作用下，纵筋滑移会降低节点的抗剪强度、刚度、延性、耗能能力。

限制纵筋直径，保证锚固长度，增强锚固性能



3、节点核心区的抗震验算要求

- 核心区混凝土强度等级与柱相同时，一、二级框架节点应进行抗震验算；三、四级可不进行验算，但应符合构造要求；三级框架高度接近二级的下限时应验算。
- 节点核心区混凝土强度等级不宜低于柱，否则应进行正斜截面承载力验算。

4、节点核心区抗震验算方法

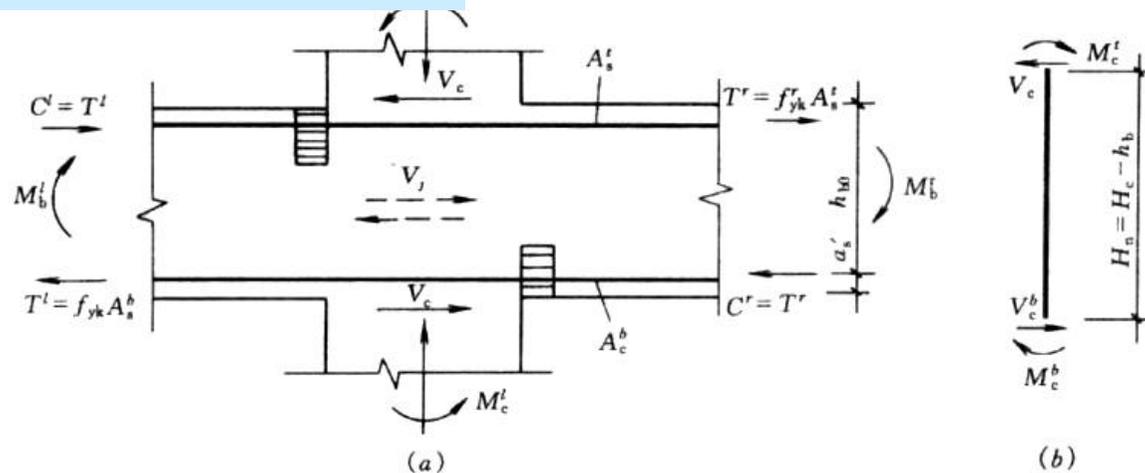
(1) 节点剪力设计值

柱剪力:

$$V_c = \frac{M_c^b + M_c^t}{H_n} \approx \frac{M_c^l + M_c^u}{H_n} = \frac{M_b^l + M_b^r}{H_n} = \frac{(f_{yk} A_s^b + f_{yk} A_s^t)(h_{bo} - a_s')}{H_n}$$

由节点平衡:

$$\begin{aligned} V_j &= C^l + T^r - V_c = f_{vk} A_s^b + f_{vk} A_s^t - V_c \\ &= f_{yk} (A_s^b + A_s^t) \left(1 - \frac{h_{bo} - a_s'}{H_n}\right) \end{aligned}$$



规范规定:

1) 一级框架和9度区:

顶层节点: $V_j = 1.15 f_{yk} (A_s^b + A_s^t)$

其他层节点: $V_j = 1.15 f_{yk} (A_s^b + A_s^t) \left(1 - \frac{h_{bo} - a_s'}{H_n}\right)$

2) 其他情况:

顶层节点: $V_j = \eta_b \frac{M_b^l + M_b^r}{H_n}$ $\eta_b = 1.35, 1.2$

其他层节点: $V_j = \eta_b \frac{M_b^l + M_b^r}{H_n} \left(1 - \frac{h_{bo} - a_s'}{H_n}\right)$

各抗震等级的顶层端节点和三、四级的所有节点，可不进行抗剪计算，仅按构造配箍筋就行。

(2) 节点受剪承载力的设计要求

$$V_j \leq V_{ju}$$

$$V_{ju} = \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[1.1\eta_j f_t b_j h_j + 0.05\eta_j N \frac{b_j h_j}{b_c h_c} + f_{yv} \frac{A_{svj}}{s} (h_{bo} - a'_s) \right]$$

9度区:

$$V_{ju} = \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[0.9\eta_j f_t b_j h_j + f_{yv} \frac{A_{svj}}{s} (h_{bo} - a'_s) \right]$$

(3) 节点受剪截面限制条件

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.3\eta_j \beta_c f_c b_j h_j)$$

- 1)、节点箍筋的设置同框架柱端加密区;
- 2)、柱中的纵筋不能在节点中截断。

5.3.5 预应力混凝土框架的抗震设计要求

适用于6、7、8度区

1、一般要求

抗震设计时，框架的后张预应力构件宜采用有粘结预应力筋；后张预应力筋的锚具不宜设置在梁柱节点核心区。

地震作用和重力荷载组合下产生的弯矩，一级框架至少有75%、二三级至少有65%由非预应力筋承担时，无粘结预应力筋可在框架中应用。

主梁与裙房相连时，二者不宜共用预应力筋。

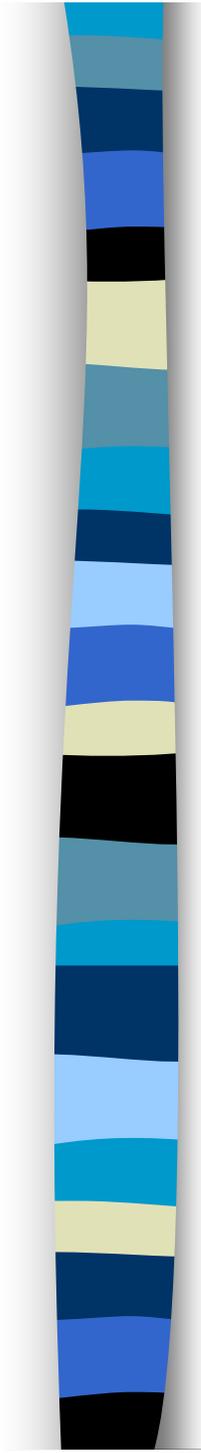
2、 框架梁

后张预应力混凝土框架梁中应采用预应力筋和非预应力筋混合配筋方式，按下式计算的预应力度 λ ，一级不宜大于**0.55**，二三级不宜大于**0.75**。

$$\lambda = \frac{A_p f_{py}}{A_p f_{py} + A_s f_y}$$

预应力混凝土框架梁端纵向受拉钢筋按非预应力钢筋抗拉强度设计值换算的配筋率不应大于**2.5%**，且考虑受压钢筋的梁端混凝土受压区高度和有效高度之比，一级不应大于**0.25**，二、三级不应大于**0.35**。

梁端截面的底面和顶面非预应力钢筋配筋量的比值除按计算确定外，一级不应小于**1.0**，二、三级不应小于**0.8**，同时，底面非预应力钢筋配筋量不应低于毛截面面积的**0.2%**。



3、悬臂构件

悬臂梁的预应力度限值、考虑受压钢筋的混凝土受压区高度和有效高度之比的限值与上述相同。

悬臂梁梁底和梁顶非预应力筋配筋量的比值，除按计算确定外，不应小于**1.0**，且底面非预应力筋配筋量不应低于毛截面面积的**0.2%**。

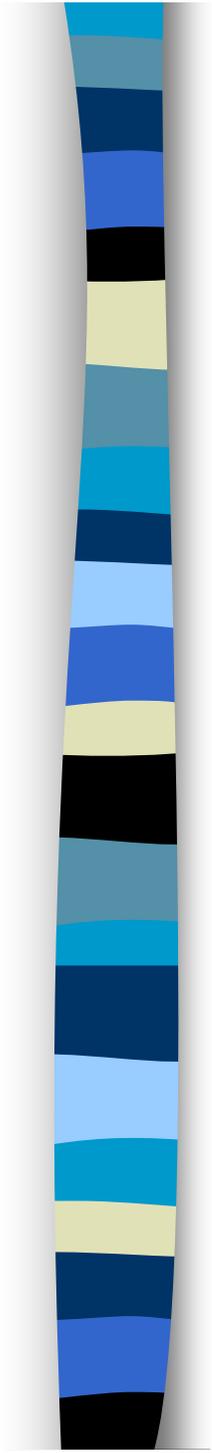
4、框架柱和梁柱节点

预应力混凝土大跨度框架顶层边柱宜采用非对称配筋，一侧采用混合配筋，另一侧仅配置普通钢筋。

预应力混凝土框架柱的截面受压区高度和有效高度之比，一级不应大于**0.25**，二、三级不应大于**0.35**。

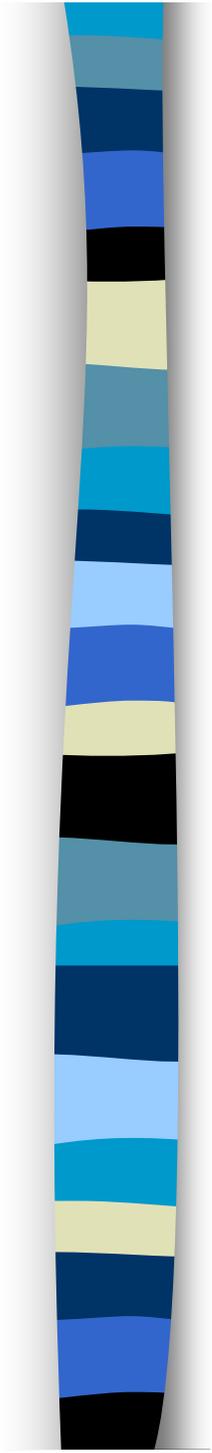
预应力框架柱箍筋应沿柱全高加密。

抗震等级	预应力度	截面受压区高度
一级	≤ 0.5	$\leq 0.25h_0$
二、三级	≤ 0.6	$\leq 0.35h_0$



思考题

- 5.4 为什么要限制柱的轴压比？
- 5.6 框架结构在什么部位应加密箍筋？有何作用？
- 5.7 对水平地震作用产生的弯矩可以调幅吗？为什么？



作业题 (P180)

■ 5.3

■ 5.5