

混凝土结构

Concrete Structure

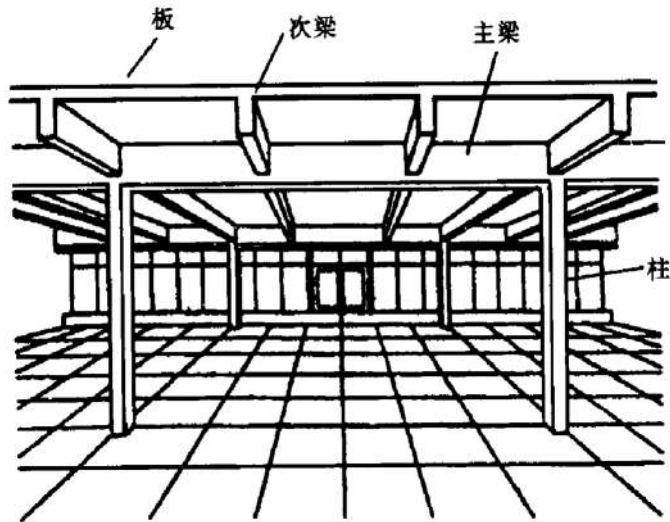
主讲教师：孙修礼 盖玉龙

建筑工程学院工程结构教研室

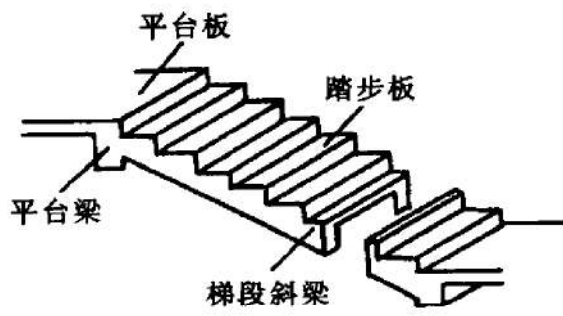
11 梁板结构

• 11.1 概述

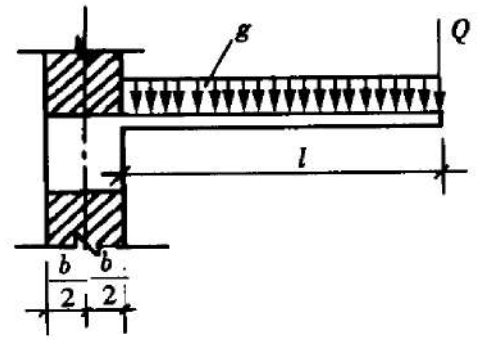
梁板结构是土木工程中常见的结构形式



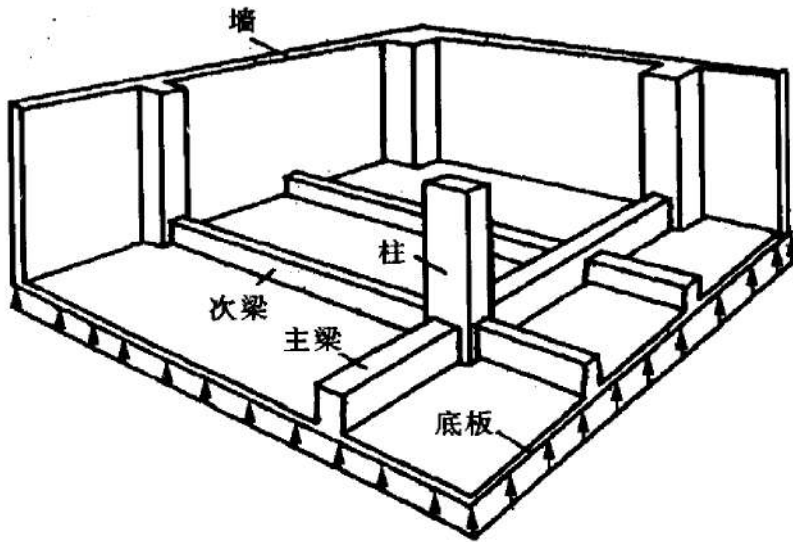
楼盖（屋盖）



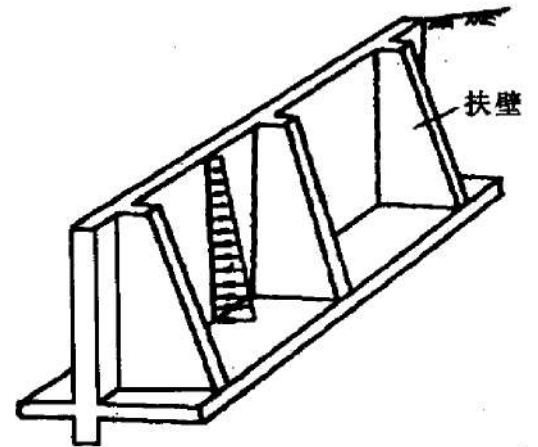
(b)



(c)



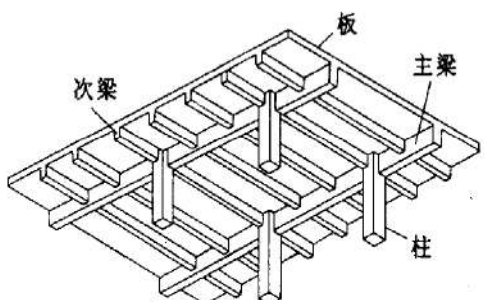
(d)



(e)

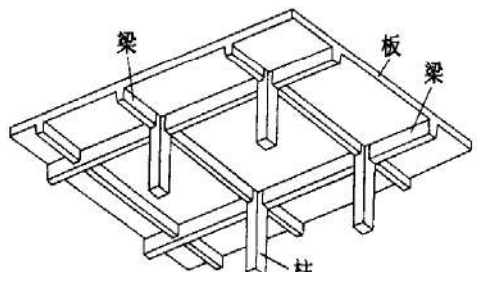
11.1.1 楼盖类型

- 混凝土楼盖按施工方法可分为：
 - 现浇式楼盖
 - 装配式楼盖
 - 装配式整体式楼盖
- 混凝土楼盖按预加应力情况可分为：
 - 钢筋混凝土楼盖
 - 预应力混凝土楼盖
- 混凝土楼盖按结构型式可分为：
 - 单向板肋梁楼盖
 - 双向板肋梁楼盖
 - 井式楼盖
 - 密肋楼盖
 - 无梁楼盖

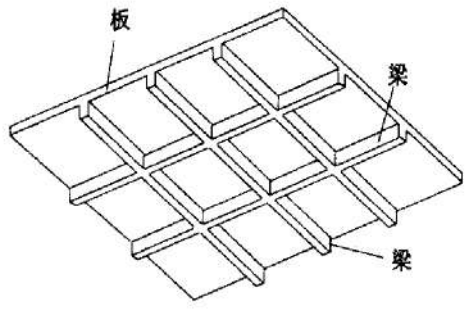


单向板肋梁楼盖

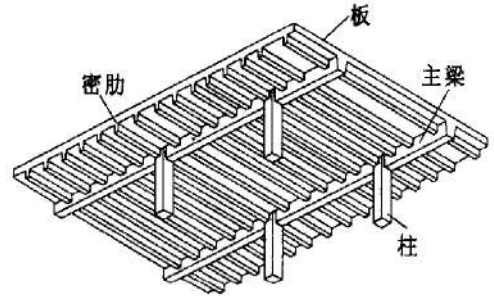
(a)



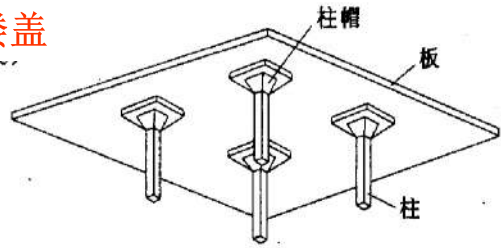
双向板肋梁楼盖



井式楼盖



密肋楼盖



无梁楼盖

11.1.2 单向板和双向板

- 单向板——在荷载作用下，只在一个方向弯曲 或者主要在一个方向弯曲的板
- 双向板——在荷载作用下，在两个方向弯曲， 且不能忽略任一方向弯曲的板

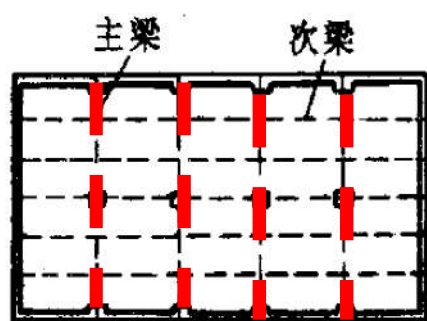
- 《规范》规定：混凝土板应按下列原则进行计算：
- 1. 两对边支承的板和单边嵌固的悬臂板，应按单向板计算；
- 2. 四边支承的板（或邻边支承或三边支承）应按下列规定计算：
 - （1）当长边与短边长度之比大于或等于3时，可按沿短边方向受力的单向板计算；
 - （2）当长边与短边长度之比小于或等于2时，应按双向板计算；
 - （3）当长边与短边长度之比介于2和3之间时，宜按双向板计算；当按沿短边方向受力的单向板计算时，应沿长边方向布置足够数量的构造钢筋。

11.2 现浇单向板肋梁楼盖

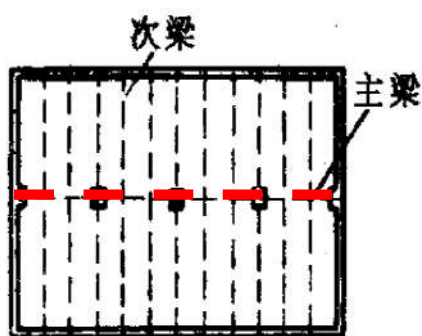
- **单向板肋梁楼盖的设计步骤为：**
 - (1) 结构平面布置，并对梁板进行分类编号，初步确定板厚和主、次梁的截面尺寸；
 - (2) 确定板和主、次梁的计算简图；
 - (3) 梁、板的内力计算及内力组合；
 - (4) 截面配筋计算及构造措施；
 - (5) 绘制施工图。

11.2.1 结构平面布置

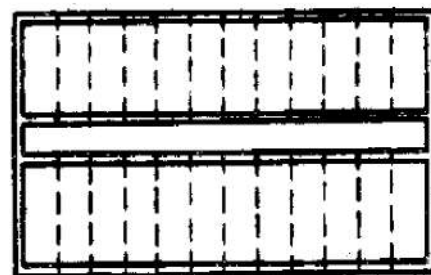
1. 单向板肋梁楼盖结构平面布置通常有以下三种方案：



主梁沿横向布置



主梁沿纵向布置



有中间走道

• **2. 进行楼盖的结构平面布置时，应注意以下问题：**

(1) 单向板、次梁和主梁的经济跨度为：

单向板： **(1.7~2.5) m**

次 梁 ： **(4~6) m**

主 梁 ： **(5~8) m**

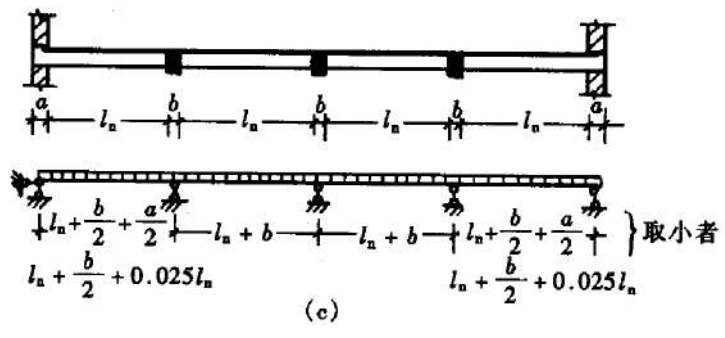
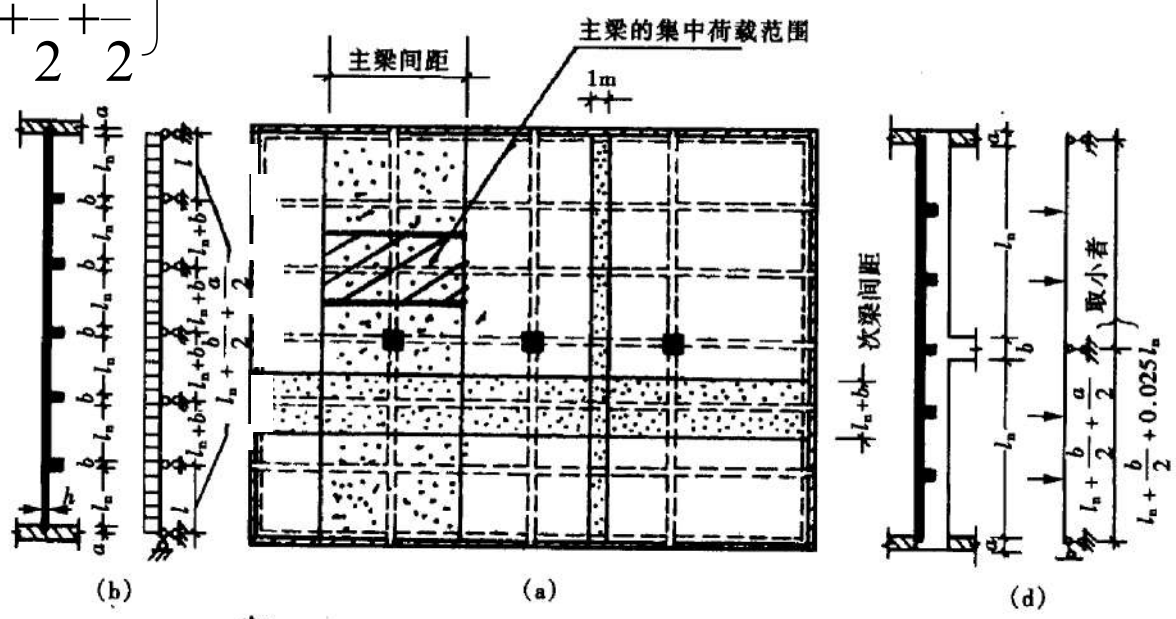
(2) 受力合理

(3) 满足建筑要求

(4) 方便施工

11.2.2 计算简图

$$l = \left. \begin{matrix} l_{nl} + \frac{b}{2} + \frac{a}{2} \\ l_{nl} + \frac{b}{2} + \frac{h}{2} \end{matrix} \right\} \text{取小值}$$



计算跨度:

(1) 当按弹性理论计算时:

1) 当板、梁边跨端部搁置在支承构件上

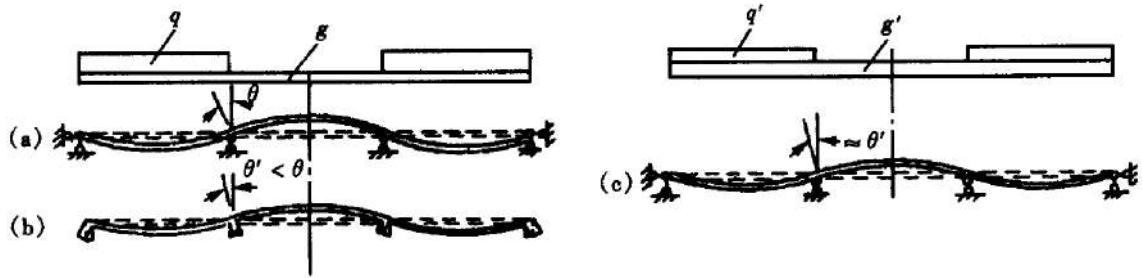
中间跨: $l_0 = l_n + b$ (板和梁)

边跨: $l_{01} = \left. \begin{array}{l} l_{n1} + \frac{b}{2} + \frac{a}{2} \\ l_{n1} + \frac{b}{2} + \frac{h}{2} \end{array} \right\} \text{取小值 (板)}$

$l_{01} = \left. \begin{array}{l} l_{n1} + \frac{b}{2} + \frac{a}{2} \\ 1.025l_{n1} + \frac{b}{2} \end{array} \right\} \text{取小值 (梁)}$

梁板的计算跨度也可按表1-2采用

折算荷载：板和次梁现浇在一起时考虑



连续板 $g' = g + \frac{q}{2}$

$q' = \frac{q}{2}$

连续次梁 $g' = g + \frac{q}{4}$

$q' = \frac{3q}{4}$

11.2.3 连续梁、板按弹性理论方法的内力计算

1. 活荷载的最不利布置及荷载的最不利组合

连续梁活荷载最不利布置的原则:

- (1) 求某跨跨内最大正弯矩时，应在本跨布置活荷载，然后隔跨布置
- (2) 求某跨跨内最大负弯矩时，本跨不布置活荷载，而在其左右邻跨布置，然后隔跨布置
- (3) 求某支座最大负弯矩或支座左、右截面最大剪力时，应在该支座左右两跨布置活荷载，然后隔跨布置。

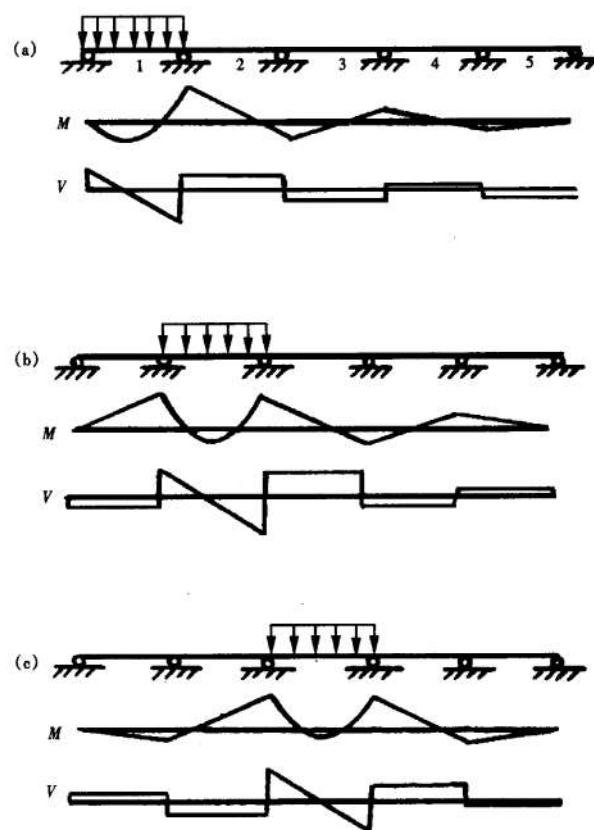


图 1-9 荷载不同布置时连续梁的内力图

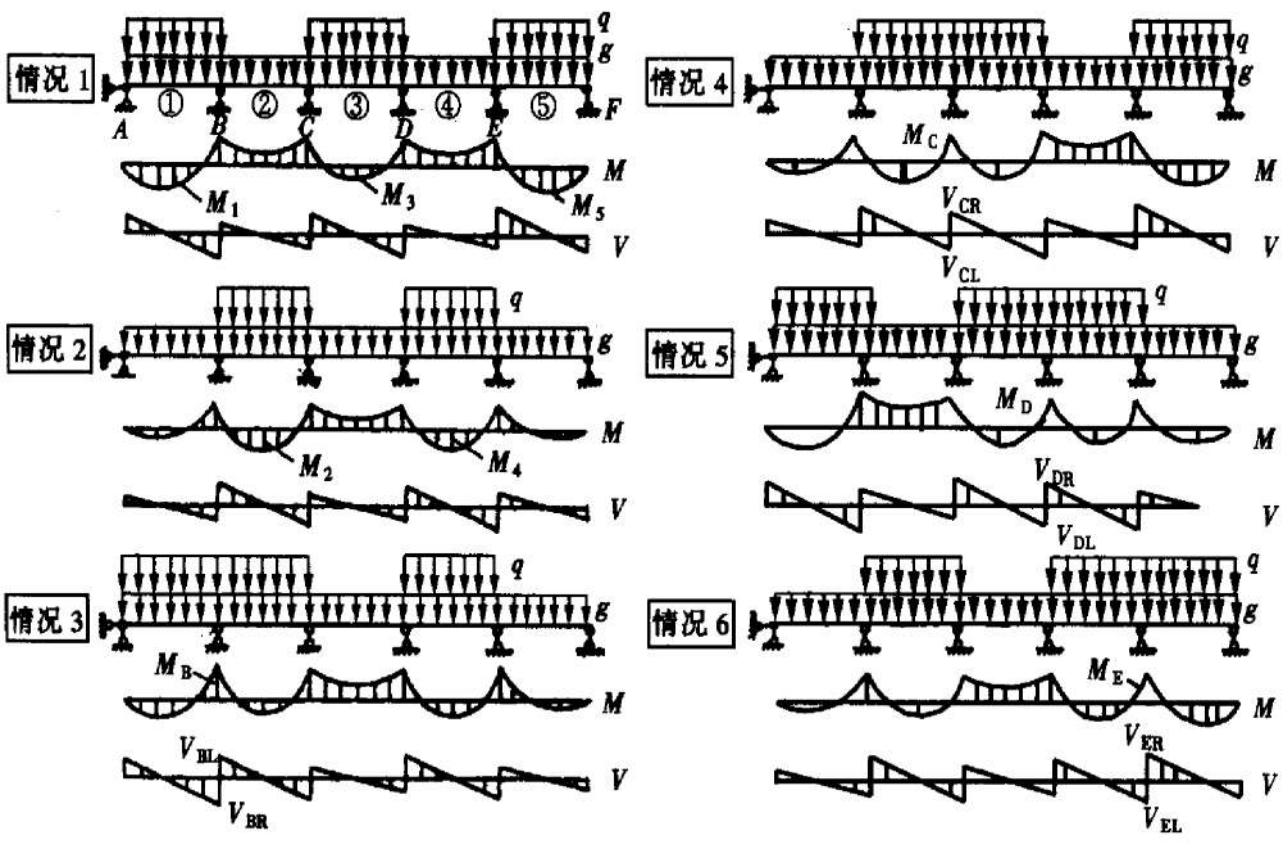


图 1-10 五跨连续梁六种荷载的最不利组合及内力图

2. 内力计算

跨数超过五跨的连续梁、板，当各跨荷载相同，且跨度相差不超过**10%**时，可按五跨的等跨连续梁、板计算



(1) 在均布及三角形荷载作用下：

$$M = k_1 gl^2 + k_2 ql^2$$

$$V = k_3 gl + k_4 ql$$

(2) 在集中荷载作用下：

$$M = k_5 Gl + k_6 Ql$$

$$V = k_7 G + k_8 Q$$

3.内力包络图:

将同一结构在各种荷载的最不利组合作用下的内力图(弯矩图或剪力图)叠画在同一张图上,其外包线所形成的图形称为内力包络图

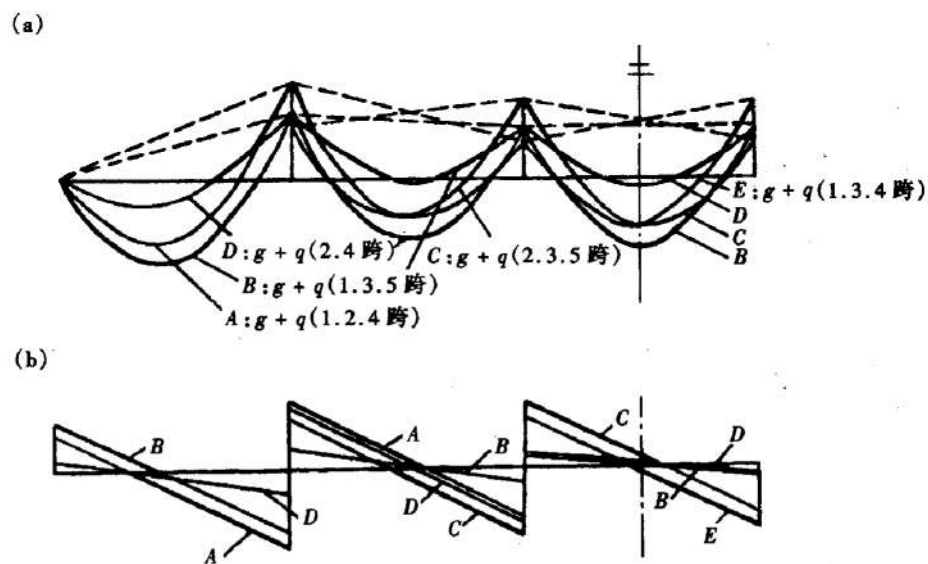
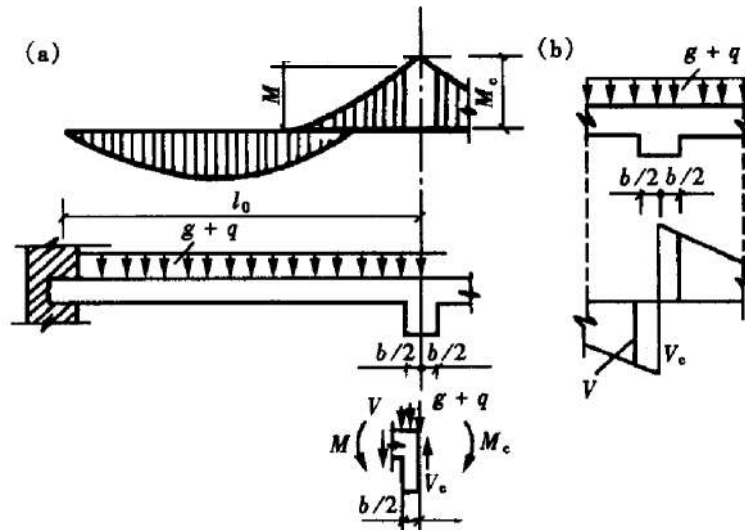


图 1-11 均布荷载下五跨连续梁的内力包络图

(a) 弯矩包络图; (b) 剪力包络图

4. 支座弯矩和剪力设计值



弯矩设计值:

$$M = M_c - V_c \frac{b}{2} \approx M_c - V_0 \frac{b}{2}$$

剪力设计值:

均布荷载

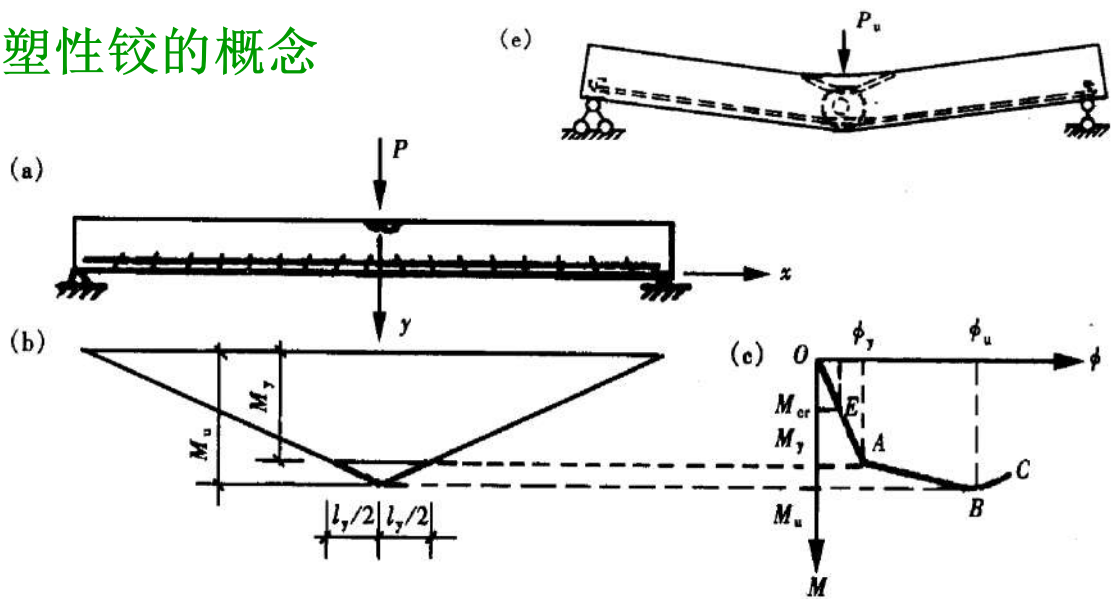
$$V = V_c - (g + q) \frac{b}{2}$$

集中荷载

$$V = V_c$$

11.2.4 连续梁、板按塑性理论方法的内力计算

1. 塑性铰的概念



在钢筋屈服截面，从钢筋屈服到达到极限承载力，截面在外弯矩增加很小的情况下产生很大转动，表现得犹如一个能够转动的铰，称为“**塑性铰**”。

• 塑性铰与理想铰的区别

- ①理想铰不能承受任何弯矩，而塑性铰则能承受一定的弯矩（ $M_y \leq M \leq M_u$ ）；
- ②理想铰集中于一点，塑性铰则有一定的长度
- ③理想铰在两个方向都可产生无限的转动，而塑性铰则是有限转动的单向铰，只能在弯矩作用方向作有限的转动。

• 2. 超静定结构的塑性内力重分布现象

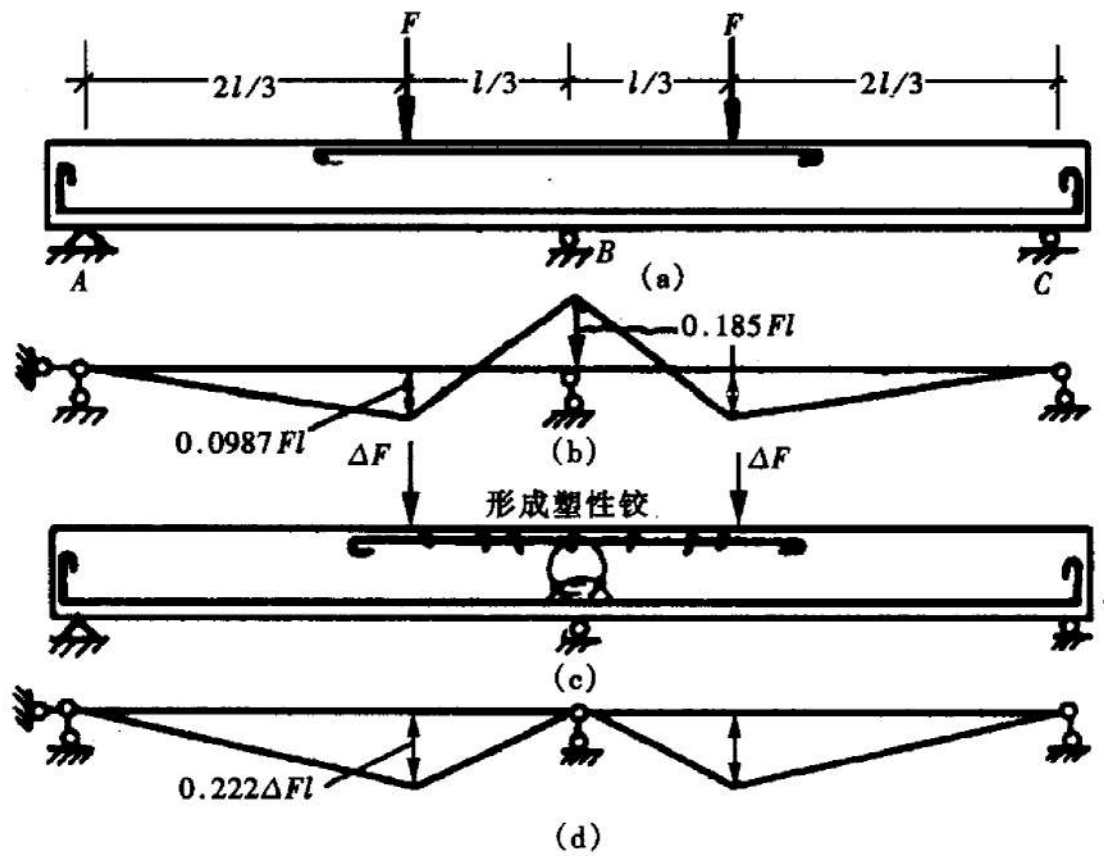
按弹性理论方法：

1. 截面间内力的分布规律是不变的；

2. 任一截面内力达到其内力设计值时，认为整个结构达到其承载能力。

实际上：1. 截面间内力的分布规律是变化的。

2. 任一截面内力达到其内力设计值时，只是该截面达到其承载能力，出现了塑性铰。只要整个结构还是几何不变的，结构还能继续承受荷载。



对于超静定结构，当结构的某个截面出现塑性铰后，结构的内力分布发生了变化，经历了一个重新分布的过程，这个过程成为“塑性内力重分布”。

• 3. 考虑塑性内力重分布的意义

- (1) 内力计算方法与截面设计方法相协调；
- (2) 可以人为地调整截面的内力分布情况，更合适地布置钢筋；
- (3) 充分利用结构的承载力，取得一定的经济效益。

- 4. 影响塑性内力重分布的因素

- ① 塑性铰的转动能力

- ② 斜截面承载能力

- ③ 正常使用条件

截面要有合适的受压区高度；构件必须要有足够的受剪承载力。

• 5. 考虑内力重分布的适用范围

下列情况不宜采用

- (1) 在使用阶段不允许出现裂缝或对裂缝开展控制较严的混凝土结构；
- (2) 处于严重侵蚀性环境中的混凝土结构；
- (3) 直接承受动力和重复荷载的混凝土结构
- (4) 要求有较高承载力储备的混凝土结构；
- (5) 配置延性较差的受力钢筋的混凝土结构。

6. 连续梁、板考虑塑性内力重分布的内力计算 ——弯矩调幅法

(1) 弯矩调幅法

弯矩调幅法简称调幅法，它是在弹性弯矩的基础上，根据需要，适当调整某些截面弯矩值。通常对那些弯矩绝对值较大的截面进行弯矩调整，然后按调整后的内力进行截面设计和配筋构造，是一种适用的设计方法。

截面弯矩调整的幅度用调幅系数 β 表示

$$\beta = \frac{|M_e| - |M_a|}{|M_e|}$$

$$M_a = (1 - \beta)M_e$$

(2) 采用调幅法应注意的问题

①受力钢筋宜采用HRB400级、HRB335级热轧钢筋，混凝土强度等级宜在C20~C45范围；截面的相对受压区高度 ξ 应满足 $0.1 \leq \xi \leq 0.35$ ；

②调幅系数 β 不宜超过0.2；

③连续梁、板各跨中截面的弯矩应不小于包络图及下式计算的值

$$M = 1.02M_0 - \left| \frac{M_l + M_r}{2} \right|$$

④调幅后支座和跨中截面的弯矩值均不宜小于 M_0 的1/3；

⑤剪力设计值按荷载最不利布置和调幅后的支座弯矩由静力平衡条件计算确定

(3) 用调幅法计算等跨连续梁、板

等跨连续梁

承受均布荷载时：

$$M = \alpha_M (g + q) l_0^2$$

$$V = \alpha_V (g + q) l_n$$

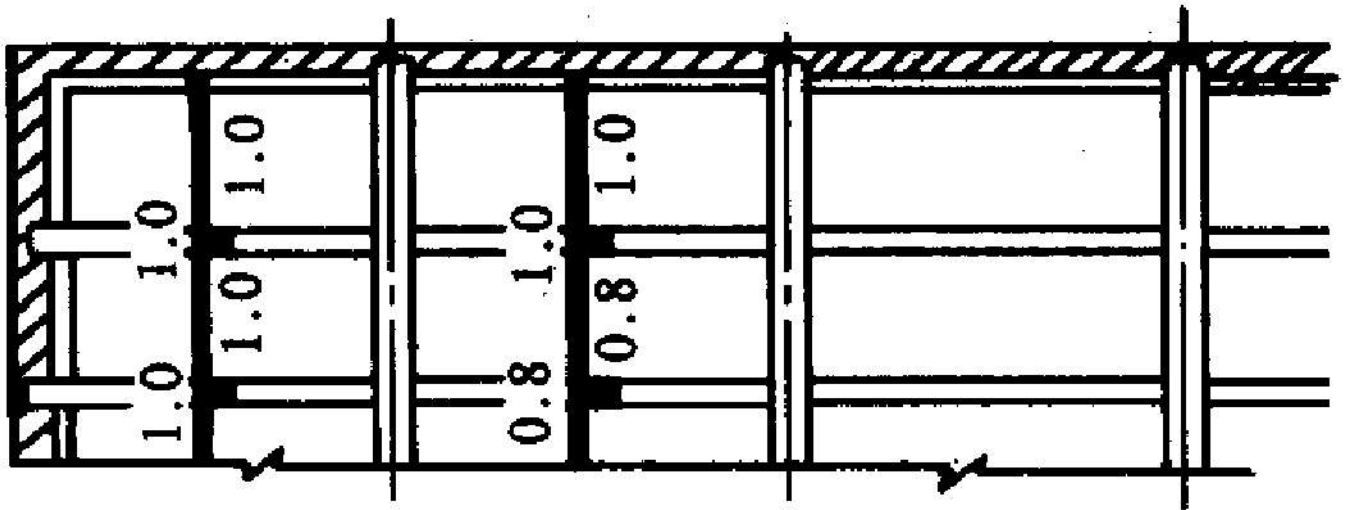
承受间距相同、大小相等的集中荷载时：

$$M = \eta \alpha_M (G + Q) l_0$$

$$V = n \alpha_V (G + Q)$$

等跨连续板

$$M = \alpha_M (g + q) l_0^2$$



折减系数

对四周与梁整体连接的单向板 (现浇连续板的内区格就属于这种情况), 其中间跨的跨中截面及中间支座截面的计算弯矩可减少20%, 其它截面则不予降低 (如板的角区格、边跨的跨中截面及第一内支座截面的计算弯矩则不折减)。

11.2.5 单向板肋梁楼盖的截面设计与构造要求

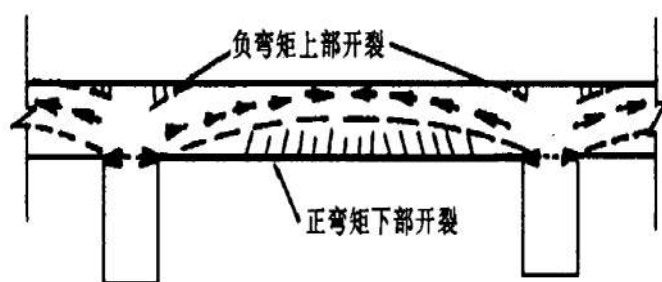
1. 单向板的截面设计与构造要求

(1) 截面设计要点

1) 板的计算单元通常取为**1m**，按单筋矩形截面设计；

2) 板一般能满足斜截面受剪承载力要求，设计时可不进行受剪承载力验算；

3) 板的内拱作用



(2) 构造要求

1) 板的厚度

2) 板的支承长度

3) 板中受力钢筋

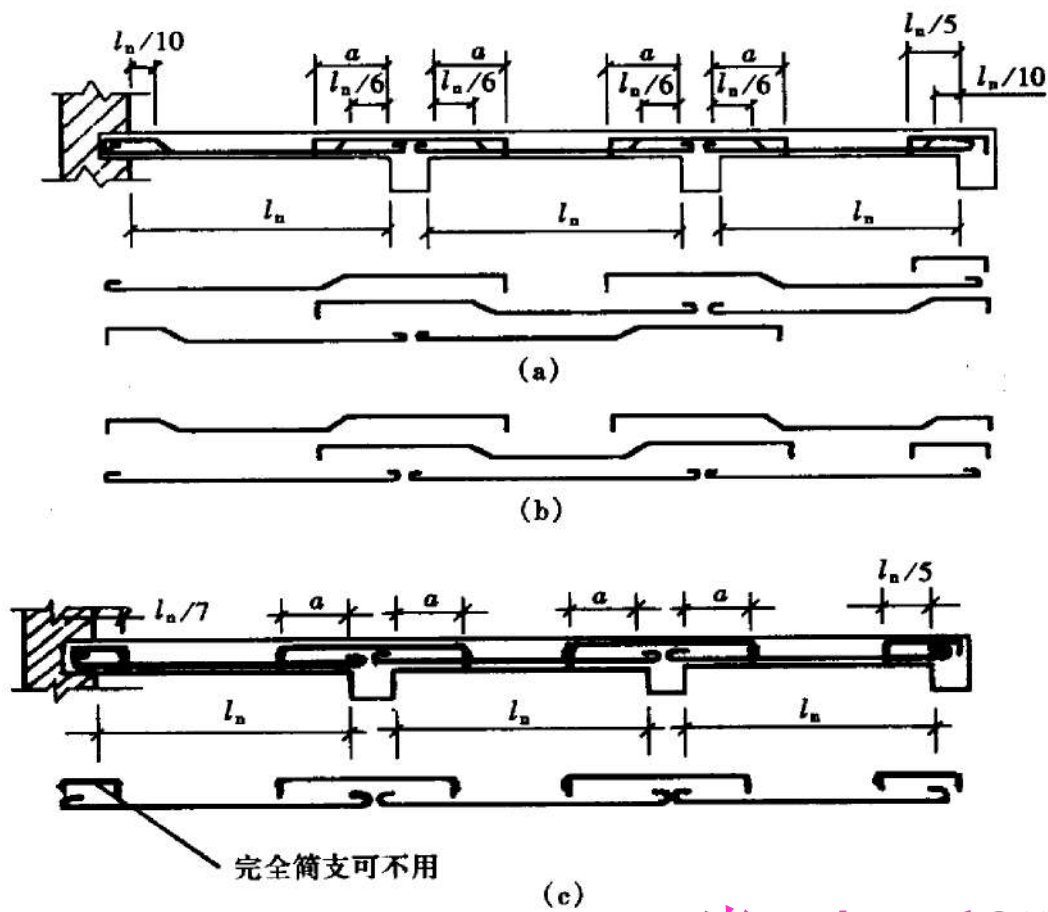
① 钢筋的直径

② 钢筋的间距

③ 配筋方式

{ 分离式配筋
弯起式配筋

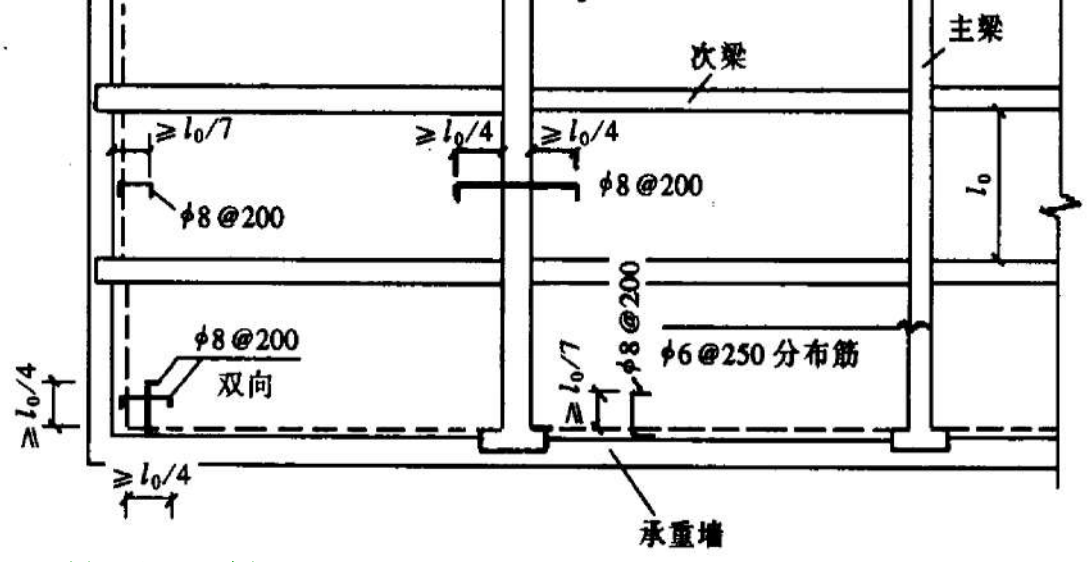
④ 钢筋的弯起和截断



当 $q/g \leq 3$ 时, $a = l_n/4$
 当 $q/g > 3$ 时, $a = l_n/3$

4) 板中构造钢筋

① 分布钢筋



② 垂直于主梁的板面构造钢筋

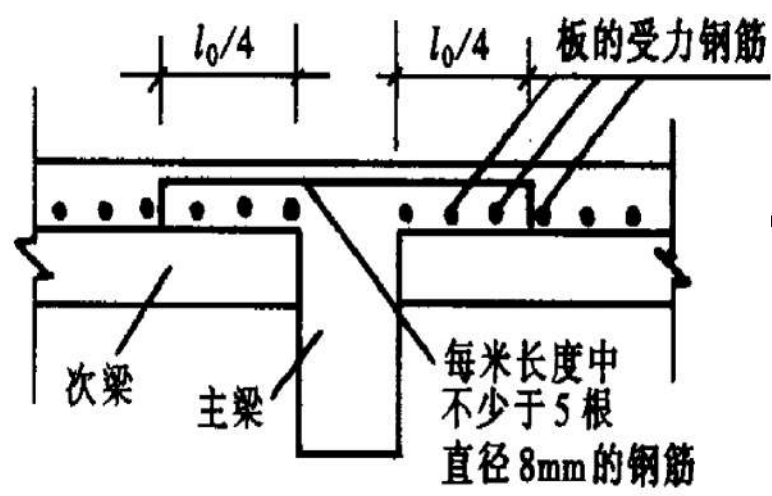
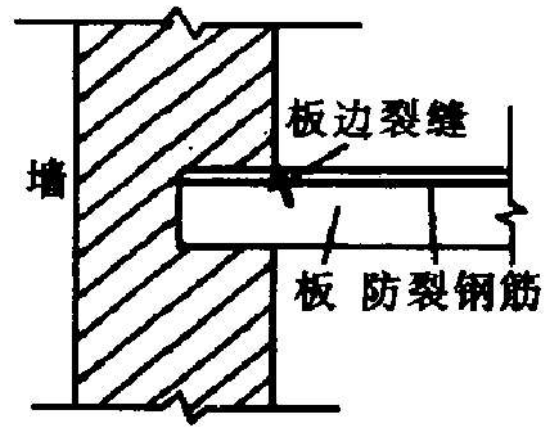


图 1-24 板的构造钢筋



③ 嵌入承重墙内的板面构造钢筋

2. 次梁的截面设计与构造要求

(1) 截面设计要点

1) 截面形式

2) 考虑塑性内力重分布时，在下列区段内应将计算所需的箍筋面积增大**20%**：**对集中荷载，取支座边至最近一个集中荷载之间的区段；对均布荷载，取支座边至距支座边为 $1.05h_0$ 的区段**，此处 h_0 为梁截面有效高度。此外，箍筋的配箍率 ρ_{sv} 不应小于 **$0.3 f_t / f_{yv}$** 。

3) 当次梁的截面尺寸满足表**1-5**的要求时，一般不必作使用阶段的挠度和裂缝宽度验算。

(2) 构造要求

1) 截面尺寸

2) 支承长度

3) 钢筋的直径

4) 钢筋的间距

5) 梁侧的纵向构造钢筋

6) 配筋方式

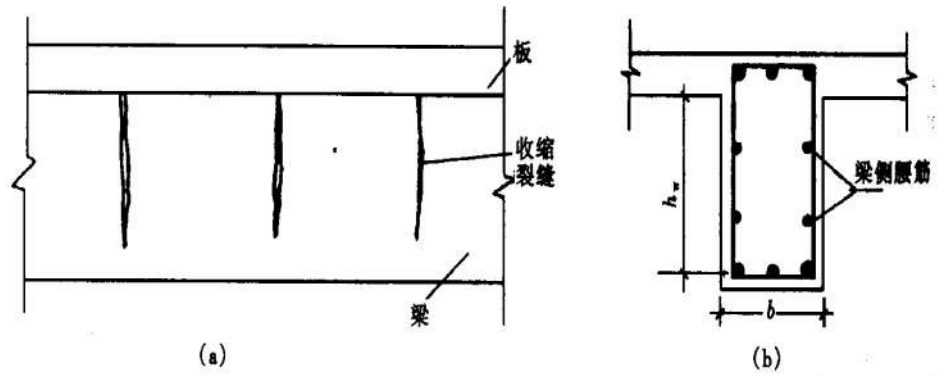


图 1-27 梁侧防裂的纵向构造钢筋

(a) 梁侧裂缝；(b) 梁侧腰筋

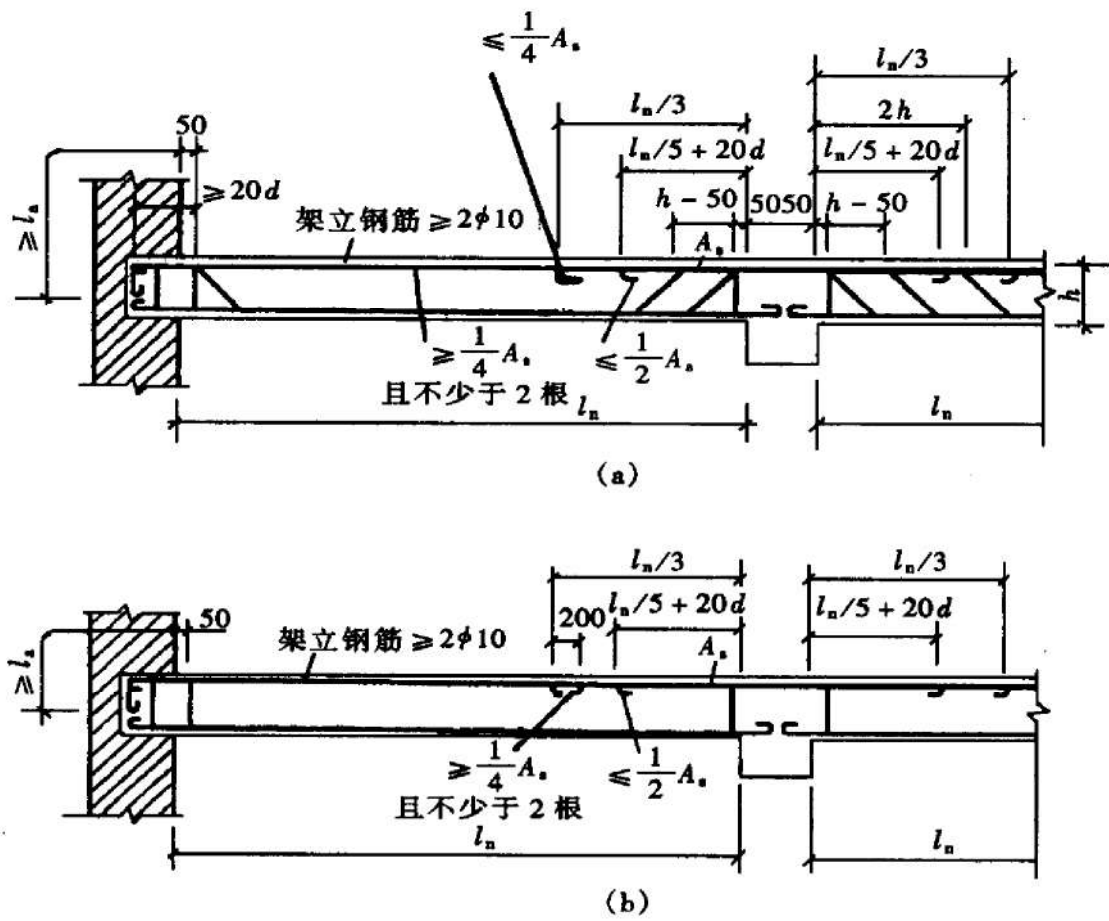


图 1-28 次梁配筋示意图

(a) 设弯起钢筋；(b) 不设弯起钢筋

3. 主梁的截面设计与构造要求

(1) 截面设计要点

1) 截面形式

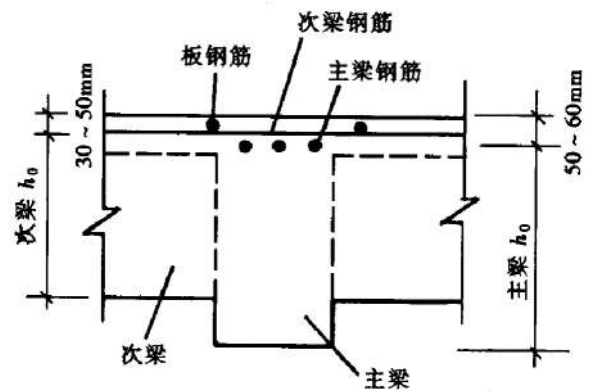
2) 主梁支座截面的有效高度 h_0

单排钢筋时 $h_0 = h - (50 \sim 60) \text{mm}$

双排钢筋时 $h_0 = h - (70 \sim 80) \text{mm}$

3) 主梁的内力计算通常按弹性理论方法进行，不考虑塑性内力重分布

4) 当主梁的截面尺寸满足表1-5的要求时，一般不必作使用阶段的挠度和裂缝宽度验算。



(2) 构造要求

1) 截面尺寸

2) 支承长度

3) 钢筋的直径

4) 钢筋的间距

5) 梁侧的纵向构造钢筋

6) 梁纵筋的弯起和截断——按弯矩包络图确定

7) 主梁附加横向钢筋

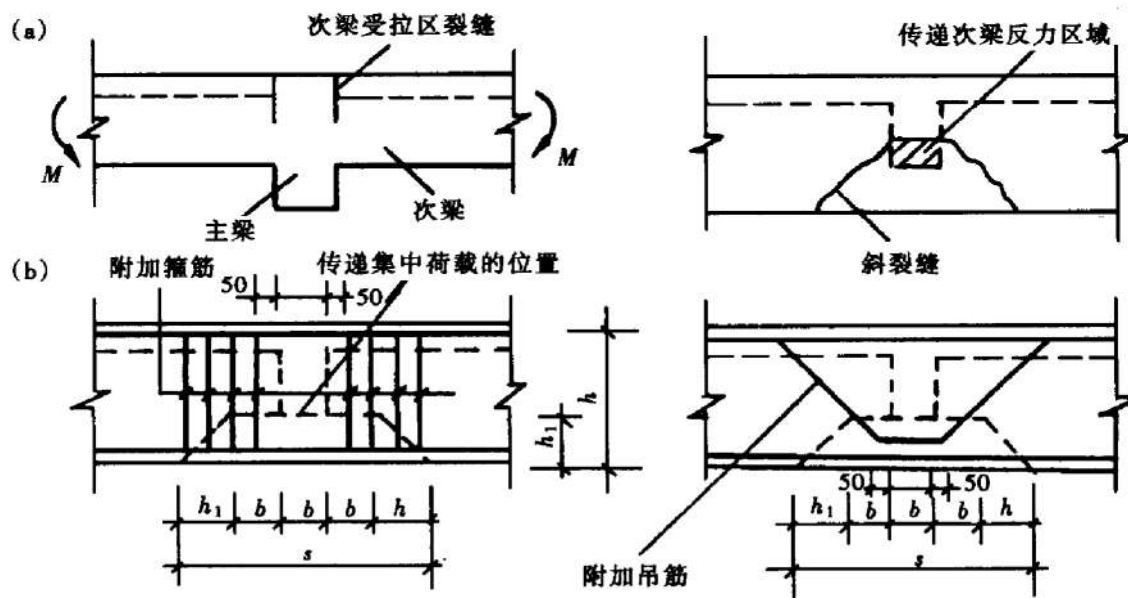


图 1-30 附加横向钢筋的布置

(a) 次梁和主梁相交处的裂缝情况；(b) 承受集中荷载处附加横向钢筋的布置

附加箍筋和吊筋的总截面面积按下式计算：

$$F \leq 2 f_y A_{sb} \sin \alpha + m \times n \times f_{yv} A_{sv1}$$

11.4 双向板肋梁楼盖

11.4.1 双向板的受力和试验研究

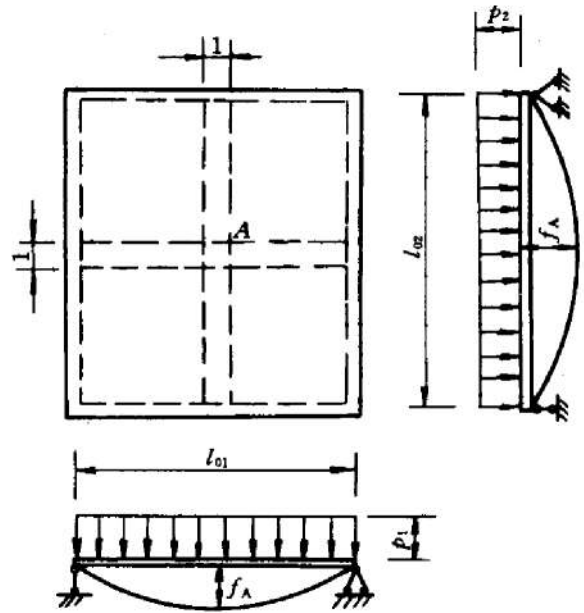
在荷载的作用下,在两个方向上弯曲,且不能忽略任一方向弯曲的板称为双向板

1. 双向板的受力分析

$$p = p_1 + p_2$$

$$f_A = \frac{5 p_1 l_{01}^4}{384 E_c I_1} = \frac{5 p_2 l_{02}^4}{384 E_c I_2}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{l_{02}}{l_{01}} \right)^4$$



$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{l_{02}}{l_{01}} \right)^4$$

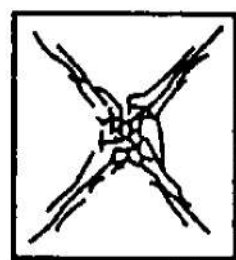
① 当 $\frac{l_{02}}{l_{01}} = 1$ 时, 得: $p_1 = p_2 = \frac{p}{2}$

② 当 $\frac{l_{02}}{l_{01}} = 2$ 时, 得: $p_2 = \frac{p}{17}, p_1 = \frac{16p}{17}$

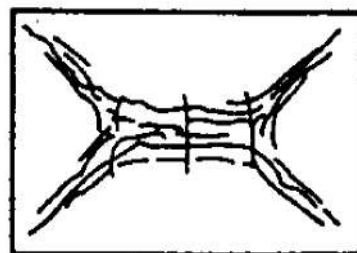
③ 当 $\frac{l_{02}}{l_{01}} = 3$ 时, 得: $p_2 = \frac{p}{81}, p_1 = \frac{80p}{81}$

当 $\frac{l_{02}}{l_{01}} \geq 3$, 按单向板计算; 而当 $\frac{l_{02}}{l_{01}} \leq 2$ 按双向板计算

2. 双向板的试验研究



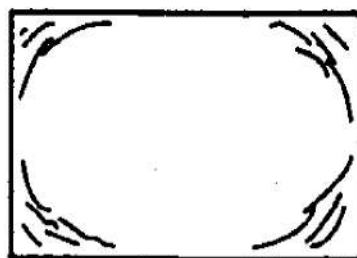
底面



底面

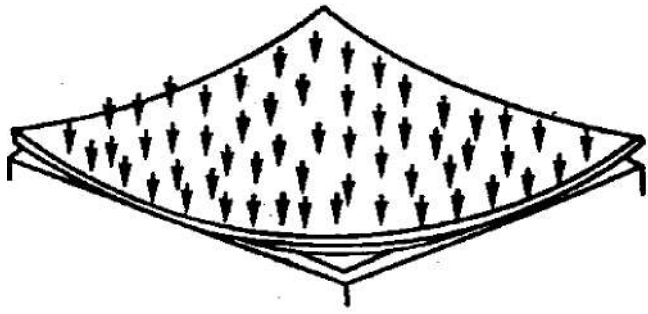


顶面

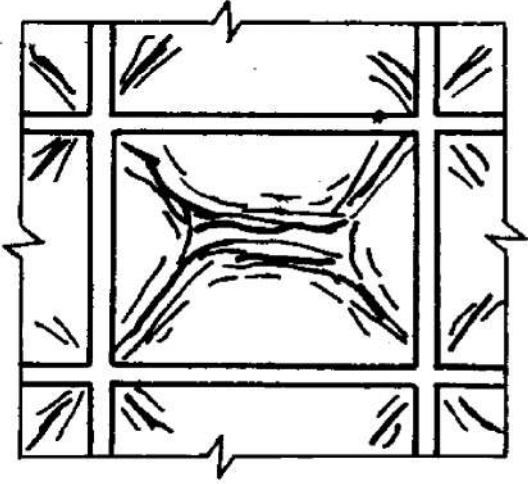


顶面

四边简支板

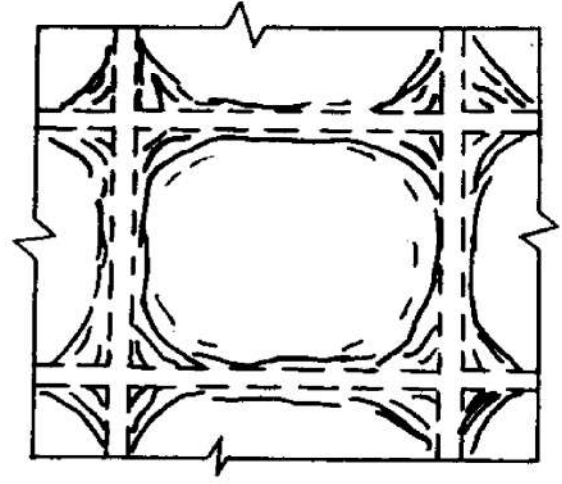


四边搁置无约束



板底裂缝

肋形楼盖



板顶裂缝

11.4.2 双向板内力计算

1. 弹性理论计算方法

单块双向板的内力计算

四边支承的板,有六种边界条件:

- (1) 四边简支;
- (2) 一边固定, 三边简支;
- (3) 两对边固定, 两对边简支;
- (4) 四边固定;
- (5) 两邻边固定, 两邻边简支;
- (6) 三边固定, 一边简支。

单位板宽内的弯矩设计值为： $m = \alpha \cdot p \cdot l_{01}^2$

m ——跨中或支座单位板宽内的弯矩设计值(kN·m / m)；

p ——板上作用的均布荷载设计值(kN / m²)，

l_{01} ——短跨方向的计算跨度(m)

α ——查附录7附表7-1~7-6所得弯矩系数。

需指出：附录2中附表是根据材料的波桑比 $\nu = 0$ 制定的。当 $\nu \neq 0$ 时，可按下式计算跨中弯矩

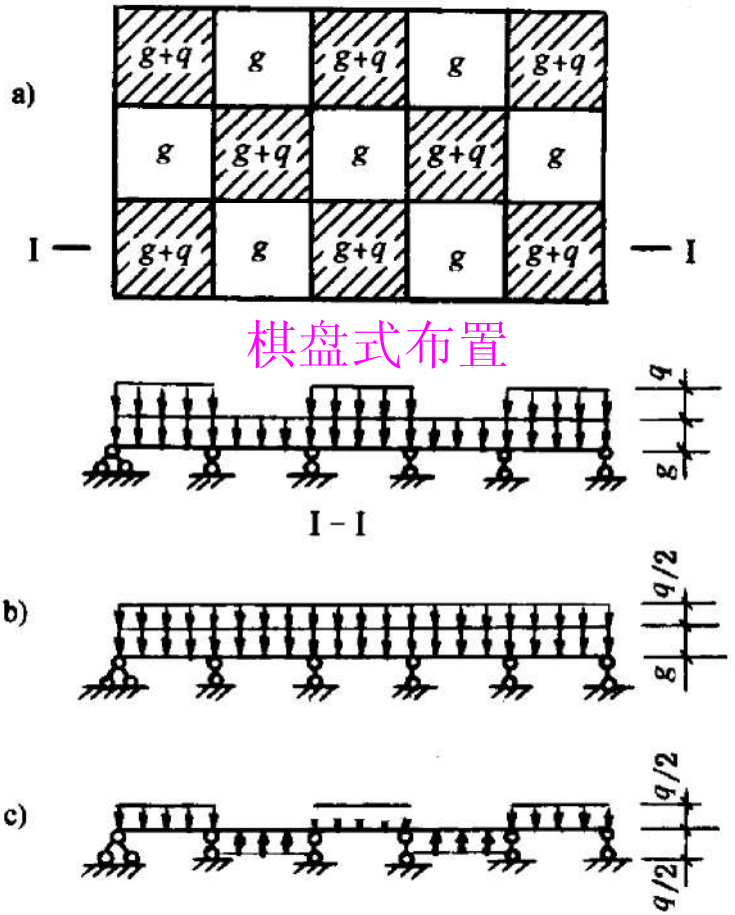
$$\left\{ \begin{array}{l} m_1^{(\nu)} = m_1 + \nu m_2 \\ m_2^{(\nu)} = m_2 + \nu m_1 \end{array} \right.$$

对钢筋混凝土， $\nu = 0.2$

连续双向板的内力计算

(1) 跨中最大弯矩的计算

活荷载的不利布置如图所示：
两个方向隔跨布置



在正对称荷载 $(g+q/2)$ 作用下：

中间支座近似的看作固定支座

中间区格均可视为四边固定的双向板

在反对称荷载 $(q/2)$ 作用下：

中间支座视为简支支座，中间各区格板均可视为四边简支板的双向板。

- 按附表六种支承情况求跨中弯矩，然后叠加，得跨中最大弯矩。

(2) 支座最大弯矩的计算

- 假定永久荷载和可变荷载都满布连续双向板所有区格时，支座弯矩出现最大值 即在正对称荷载 $(g+q)$ 作用下：

中间区格均可视为四边固定的双向板

对于边、角区格，外边界条件应按实际情况考虑。

同一支座负弯矩不相等，按绝对值大的为支座负弯矩

11.4.3 双向板的截面设计与构造要求

1. 双向板的截面设计要点

(1) 截面的弯矩设计值

考虑板内拱作用，对弯矩进行折减

- ① 连续板中间区格的跨中及中间支座截面，折减系数为**0.8**；
- ② 边区格的跨中及自楼板边缘算起的第二支座截面，当 $l_b/l < 1.5$ 时，折减系数为**0.8**；当 $1.5 \leq l_b/l < 2.0$ 时，折减系数为**0.9**。 l_b 为区格沿楼板边缘方向的跨度， l 为区格垂直于楼板边缘方向的跨度。
- ③ 角区格的各截面不折减。

(2) 截面有效高度

短跨方向 $h_{01} = h - 20(\text{mm})$

长跨方向 $h_{02} = h - 30(\text{mm})$

(3) 配筋计算

取**1m**板带，按单筋矩形截面设计

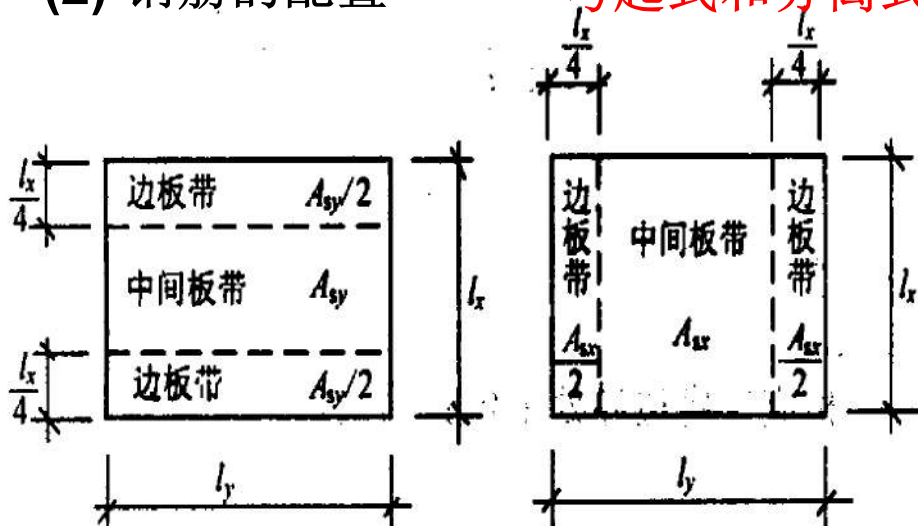
2. 双向板的构造要求

(1) 双向板的厚度

不宜小于**80mm**

(2) 钢筋的配置

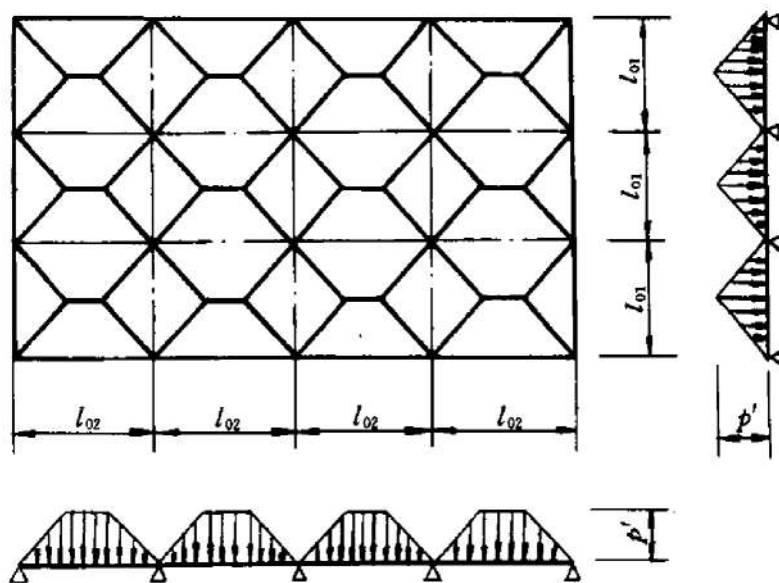
弯起式和分离式



受力钢筋的直径、间距、弯起点及截断点的位置等均可参照单向板配筋的有关规定

沿墙边及墙角的板内构造钢筋与单向板楼盖相同。

11.4.4 双向板支承梁的设计



板传给梁的荷载：
$$p' = p \cdot \frac{l_{01}}{2} = (g + q) \cdot \frac{l_{01}}{2}$$
 l_{01} 为板的短边

次梁和主梁的设计方法和构造要求同单向板肋梁楼盖

- 一. 判断题 (每题 1 分共 2 0 分)
- 二. 选择题 (每题 1 分共 2 0 分)
- 三. 填空题 (每题 1 分共 1 0 分)
- 四. 简答题 (每题 4 分共 2 0 分)
- 五. 计算题 (每题 1 0 分共 3 0 分)