



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1章

梁板结构设计



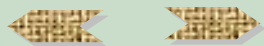
本章重点

1. 掌握整体式单向梁板结构的内力按弹性及考虑塑性内力重分布的计算方法；建立折算荷载、塑性铰、内力重分布、弯矩调幅等概念；掌握连续梁板截面设计特点及配筋构造要求。
2. 掌握整体式双向梁板结构的内力按弹性及按极限平衡法的设计方法；掌握其配筋构造要求。
3. 熟悉梁式楼梯和板式楼梯的受力特点、内力计算和配筋构造要求。
4. 了解雨篷梁的设计计算方法，特别是对其整体倾覆验算的要求。



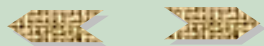
§ 1.1 概述

- 建筑结构的组成如下：
- 楼盖是建筑结构中的水平结构体系，它与竖向构件、抗侧力构件一起组成建筑结构的整体空间结构体系。
- 它将楼面竖向荷载传递至竖向构件，并将水平荷载(风力、地震力)传到抗侧力构件。根据不同的分类方法，可将楼盖分为不同的类别。



§ 1.1 概述

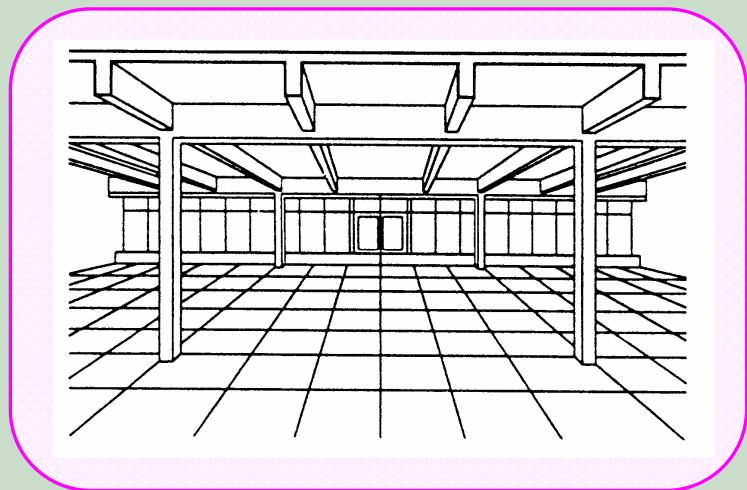
- 楼盖是建筑结构重要的组成部分，混凝土楼盖的造价占到**整个土建总造价的近30%**，其自重约占到总重量的一半。选择**合适的楼盖设计方案**，并采用正确的方法，合理地进行设计计算，**对于整个建筑结构都具有十分重要地作用**。
- 混凝土楼盖设计对于建筑隔热、隔声和建筑效果有直接的影响，对于保证建筑物的承载力、刚度、耐久性以及抗风、抗震性能起着十分重·要的作用。



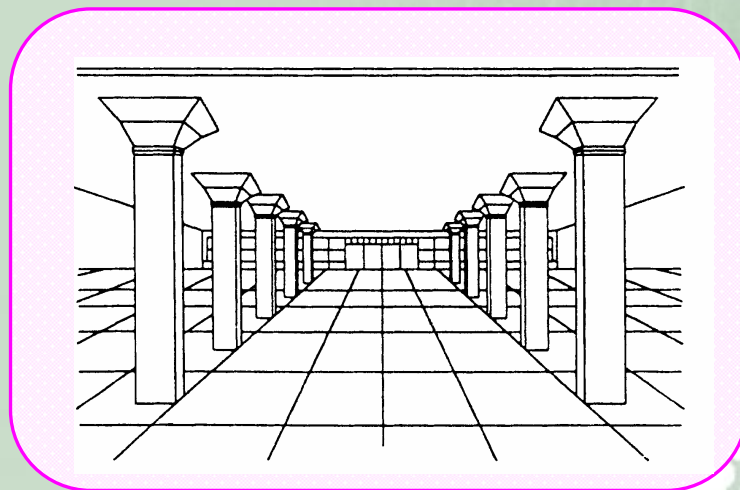
§ 1.1 概述

➤ 结构形式

- 结构组成：梁+板，可有板无梁。
- 应用形式：楼盖、屋盖、阳台、雨篷、楼梯、片筏基础等。



钢筋混凝土肋梁楼盖



钢筋混凝土无梁楼盖



§ 1.1

概述



§ 1.1

概述



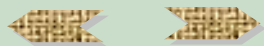
§ 1.1

概述



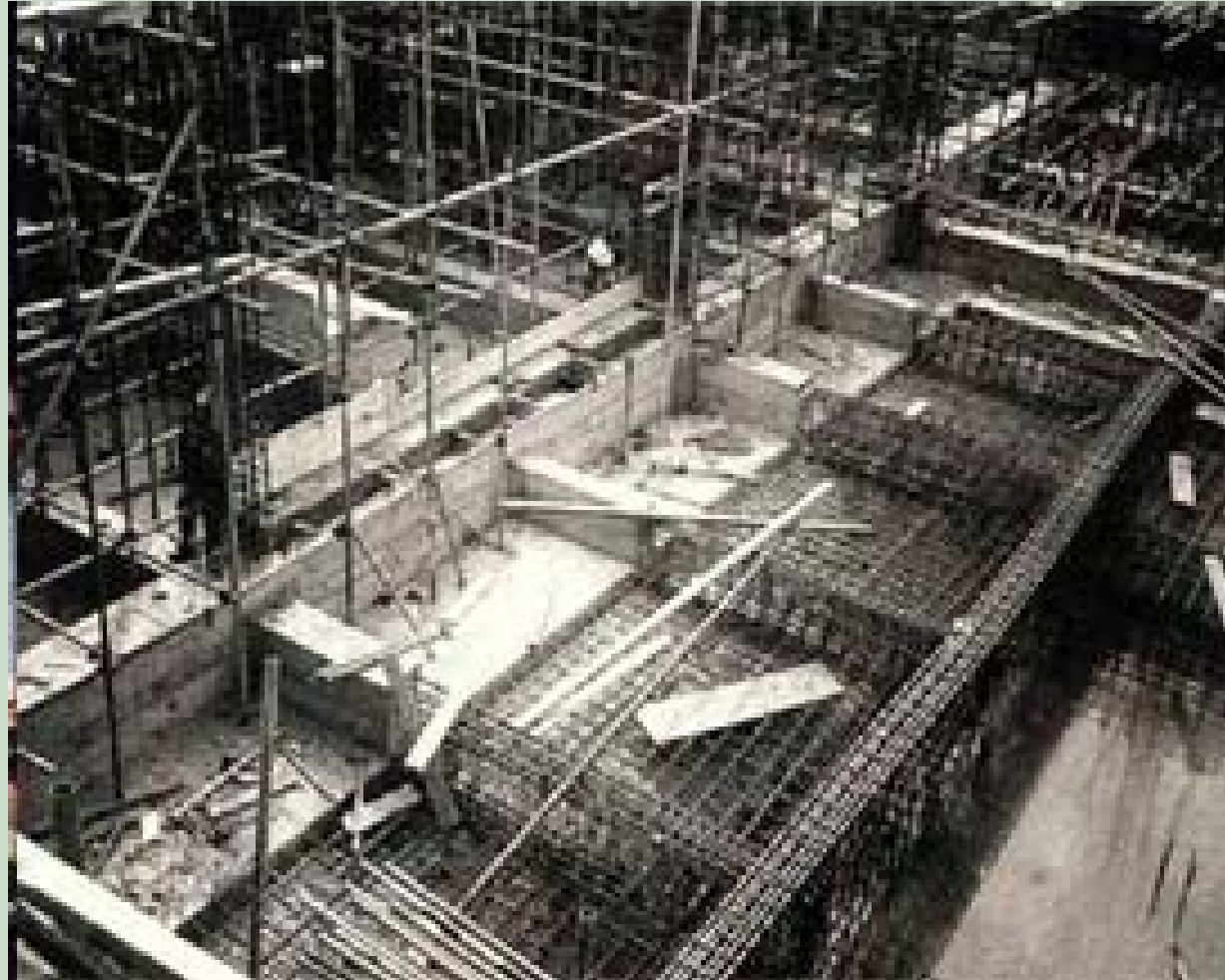
§ 1.1

概述



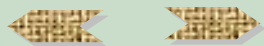
§ 1.1

概述



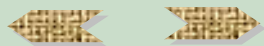
➤ 按施工方法分类

- 装配式：预制板+现浇（或预制）梁。
 - 装配式楼盖由预制构件装配而成，便于机械化生产和施工，可以缩短工期。但装配式楼盖结构的整体性较差，防水性较差，不便于板上开洞。多用于结构简单、规则的工业建筑。
- 装配整体式：预制楼面上做刚性面层。刚性面层： ≥ 40 mm混凝土层，内配钢筋网。
- 现浇式：板与梁钢筋交织，混凝土同时浇捣。这是本章学习的重点。



➤ 按施工方法分类

- 装配式：预制板+现浇（或预制）梁。
 - 装配式楼盖由预制构件装配而成，便于机械化生产和施工，可以缩短工期。但装配式楼盖结构的整体性较差，防水性较差，不便于板上开洞。多用于结构简单、规则的工业建筑。
- 装配整体式：预制楼面上做刚性面层。刚性面层： ≥ 40 mm混凝土层，内配钢筋网。
 - 装配整体式楼盖是由预制构件装配好后，现浇混凝土面层或连接部位以构成整体而成。它兼具现浇楼盖和装配式楼盖的部分优点，但施工较复杂。
- 现浇式

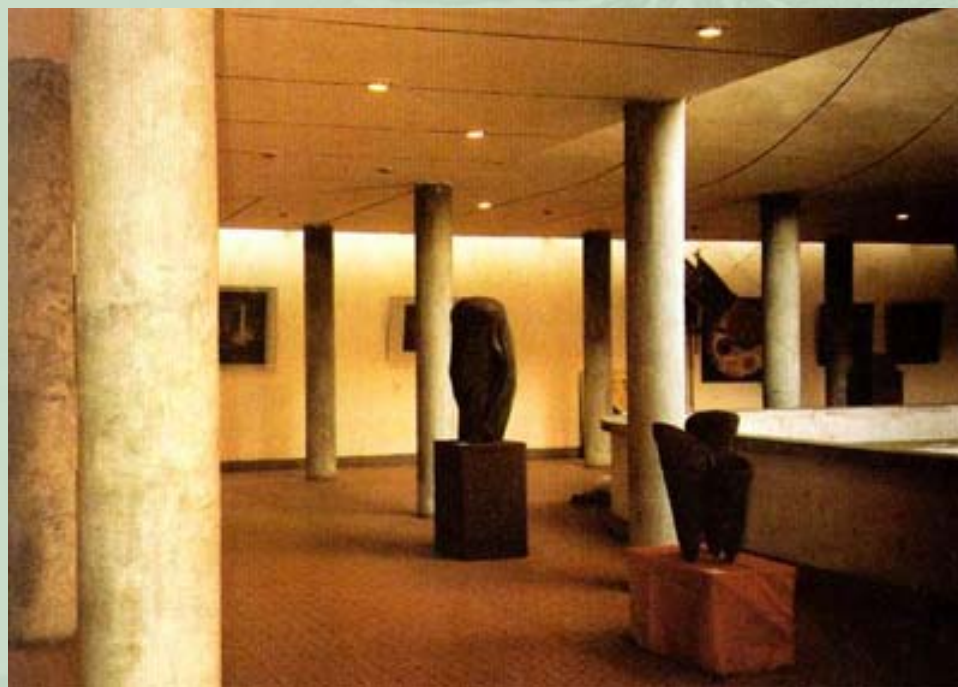
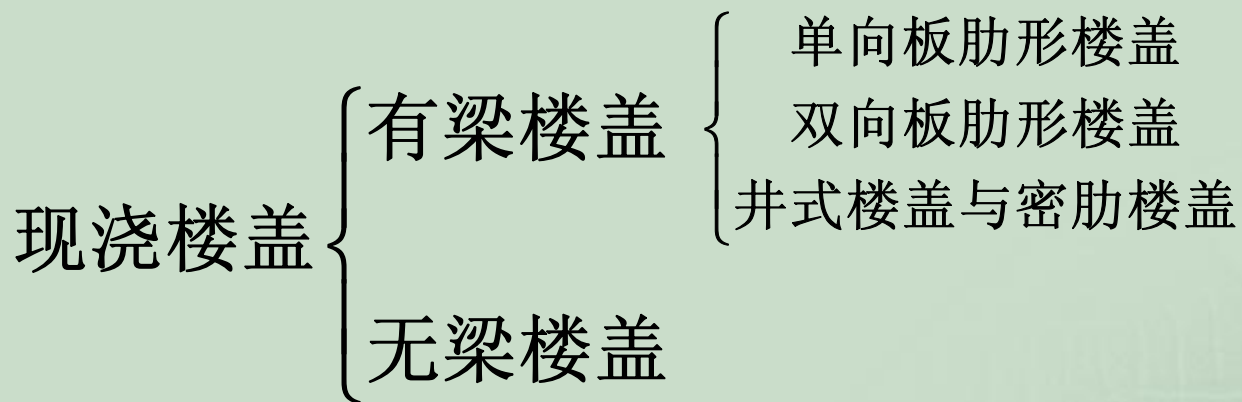


➤ 按施工方法分类

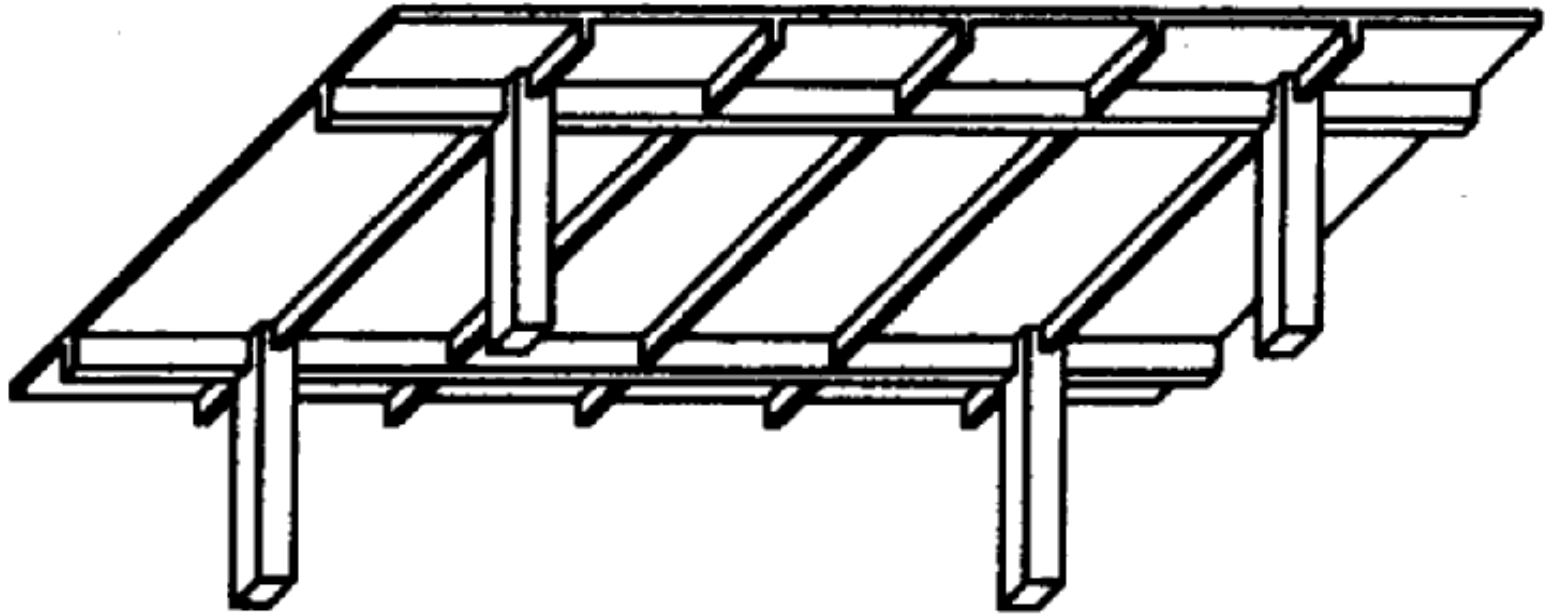
- **现浇式**：板与梁钢筋交织，混凝土同时浇捣。
 - 现浇楼盖整体性好，具有较好的抗震性能，并且结构布置灵活，适应性强。但现场浇注和养护比较费工，工期也相应加长。我国规范要求**在高层建筑中**宜采用现浇楼盖。近年来由于商品混凝土、混凝土泵送和工具模板的广泛应用，现浇楼盖的应用逐渐普遍。
- 这是**本章学习的重点**。



➤ 现浇式钢筋混凝土楼（屋）盖分类

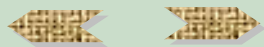


■ 1) 单向板肋梁楼盖

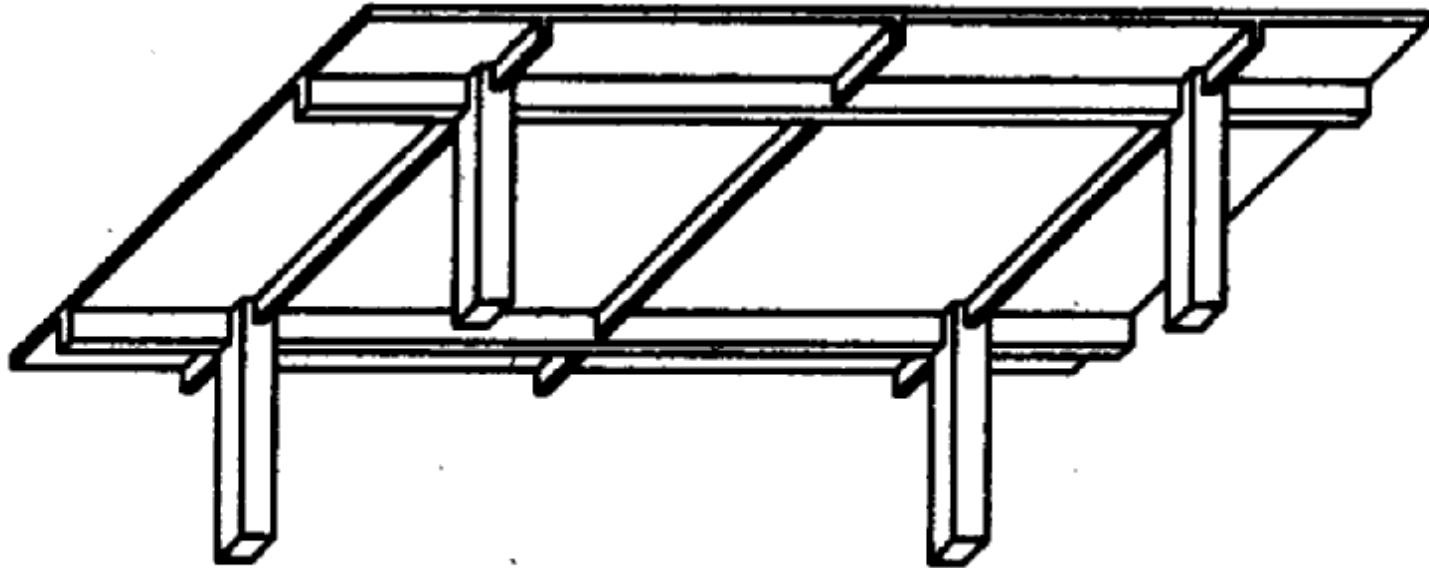


(a) 单向板肋梁楼盖

- 由主梁、次梁、单向板组成



■ 2) 双向板肋梁楼盖



(b) 双向板肋梁楼盖

- 由支承梁和双向板组成



■ 井式楼盖

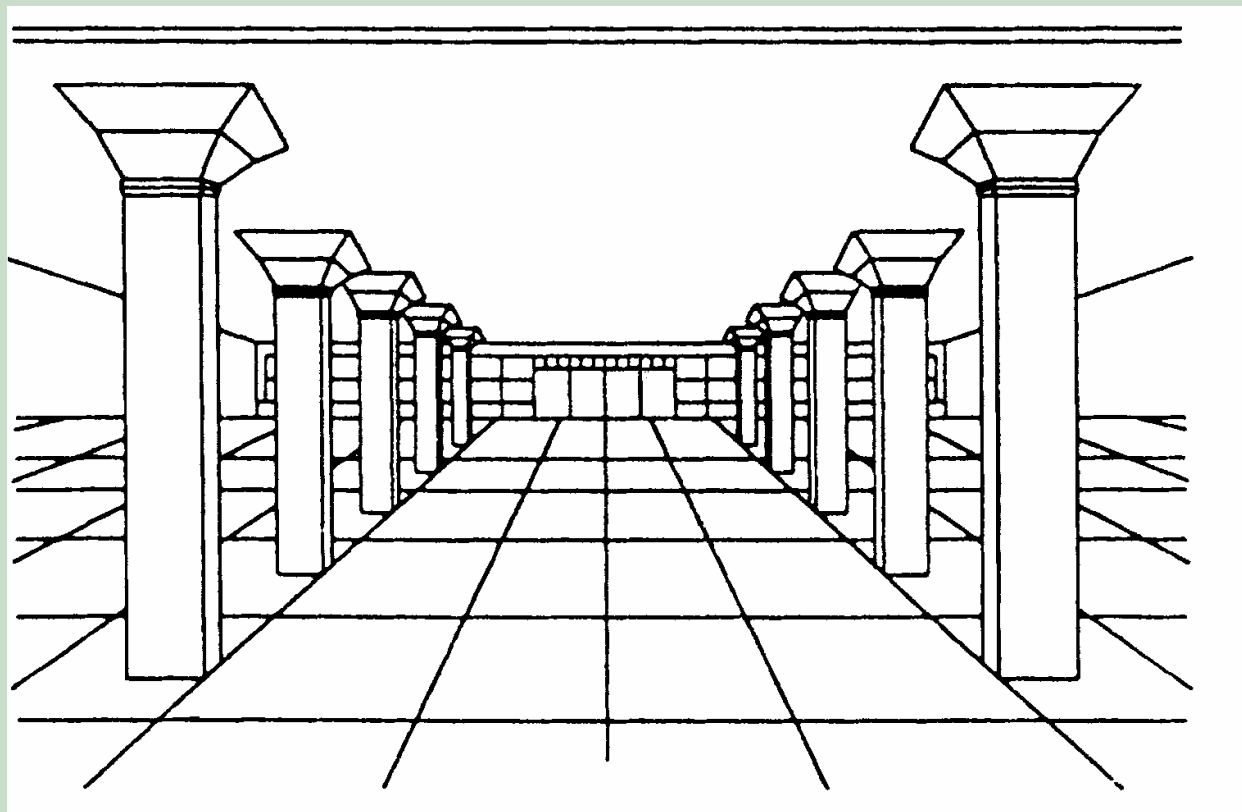


结构采用方形或近似方形(也有采用三角形或六边形)的板格，两个方向的梁的截面相同，不分主次梁。

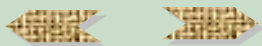
其**特点**是跨度较大，具有较强的装饰性，多用于公共建筑的门厅或大厅。



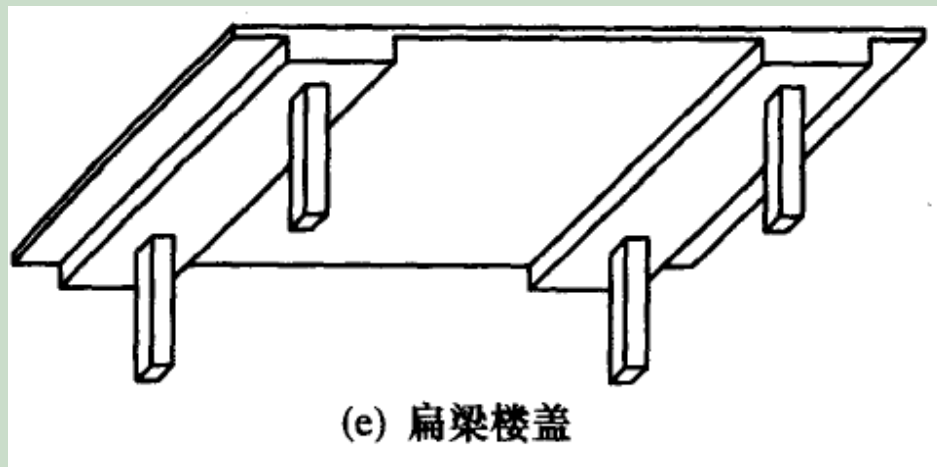
■ 无梁楼盖



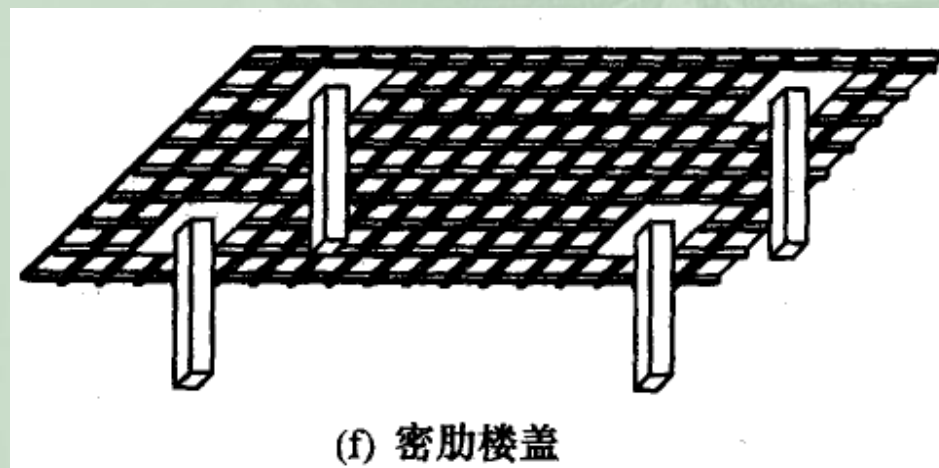
不设梁，将板直接支撑在柱上，通常在柱顶设置柱帽以提高柱顶处平板的冲切承载力及降低板中的弯矩。不设梁可以增大建筑的净高，故多用于对空间利用率要求较高的冷库、藏书库等建筑。



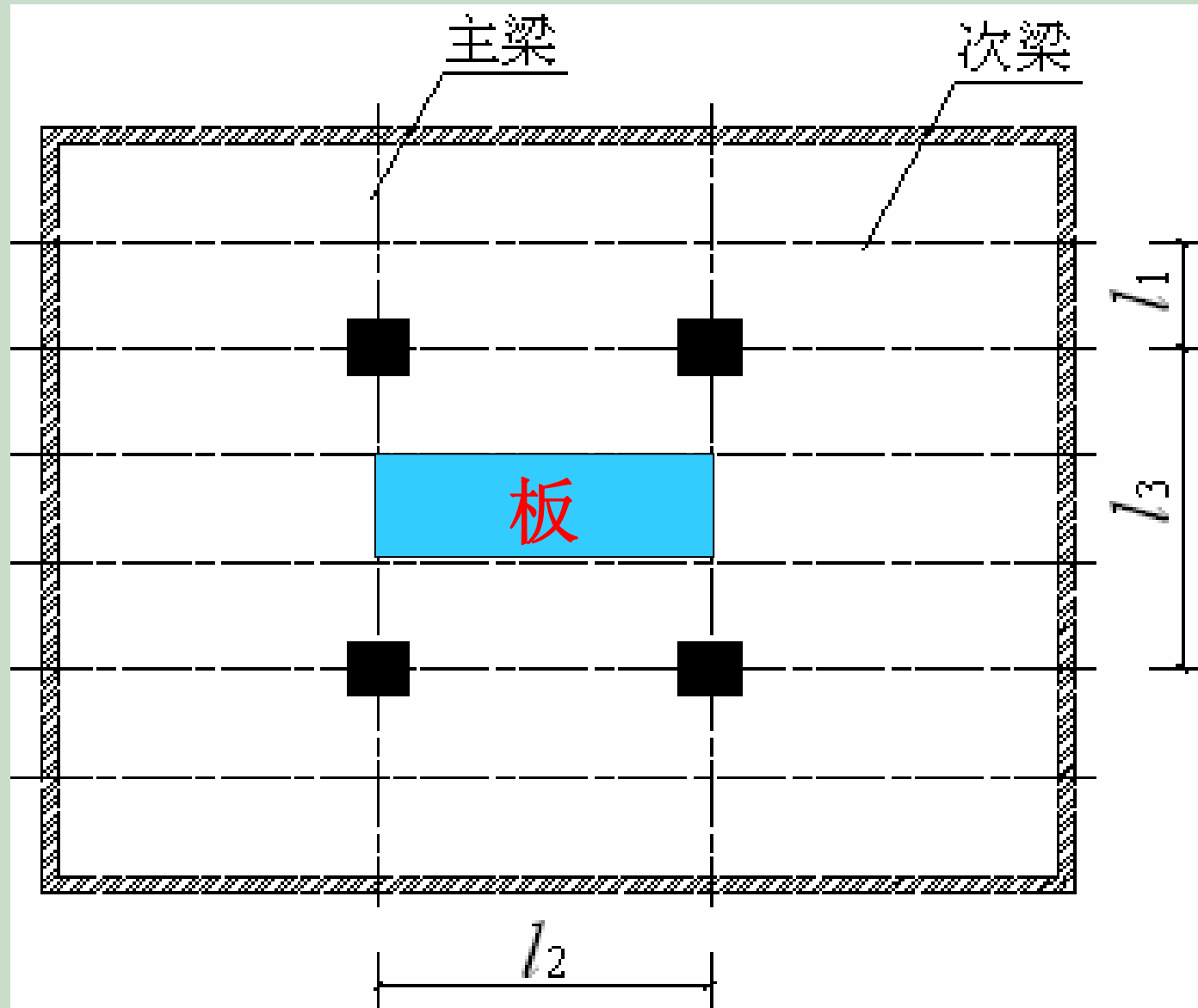
◆ **扁梁楼盖**：为了降低构件的高度，增加建筑的净高或提高建筑的空间利用率，将楼板的水平支承梁做成**宽扁梁**。



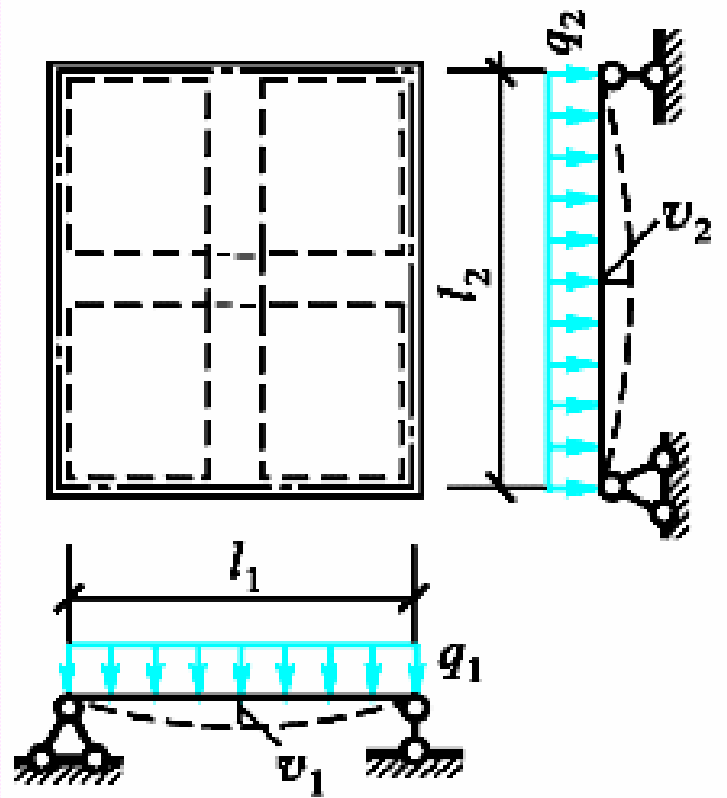
◆ **密肋楼盖**：又分为单向和双向密肋楼盖。密肋楼盖可视为在实心板中挖凹槽，省去了受拉区混凝土，没有挖空部分就是**小梁（或称为肋）**，而柱顶区域一般保持为实心，起到柱帽的作用。



■ 单向板肋形楼盖



■ 单向板与双向板



- 取出方向单位宽度的板带，不考虑板带间的相互影响：

$$q_1 + q_2 = q \quad \dots 1.1.1$$

$$v_1 = \frac{5q_1 l_1^4}{384EI}$$

$$v_2 = \frac{5q_2 l_2^4}{384EI}$$

$$v_1 = v_2 \quad \dots 1.1.2$$



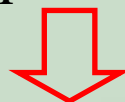
$$q_1 l_1^4 = q_2 l_2^4$$

$$q_1 = \frac{l_2^4}{l_1^4 + l_2^4} q \quad \dots 1.1.4$$

$$q_2 = \frac{l_1^4}{l_1^4 + l_2^4} q \quad \dots 1.1.4$$

当 $l_2 / l_1 = 2$ 时: $q_1 = 0.9412q, q_2 = 0.0588q$

当 $l_2 / l_1 = 3$ 时: $q_1 = 0.9878q, q_2 = 0.0122q$

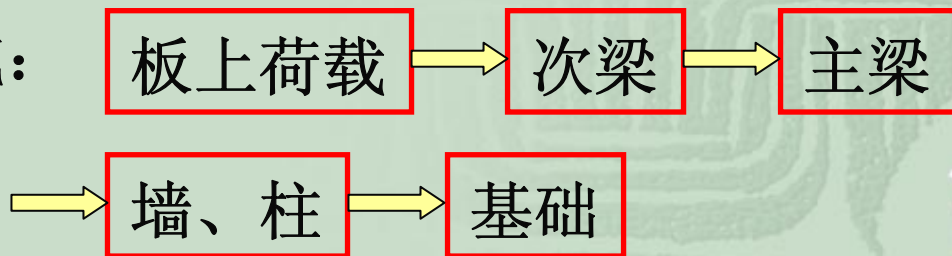


$l_2 / l_1 \geq 3$ 时按单向板设计

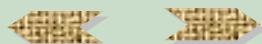
$l_2 / l_1 < 3$ 时按双向板设计

■ 单向板肋形楼盖

传力方式:



除与边长比有关外，还与支承梁的线刚度比有关。

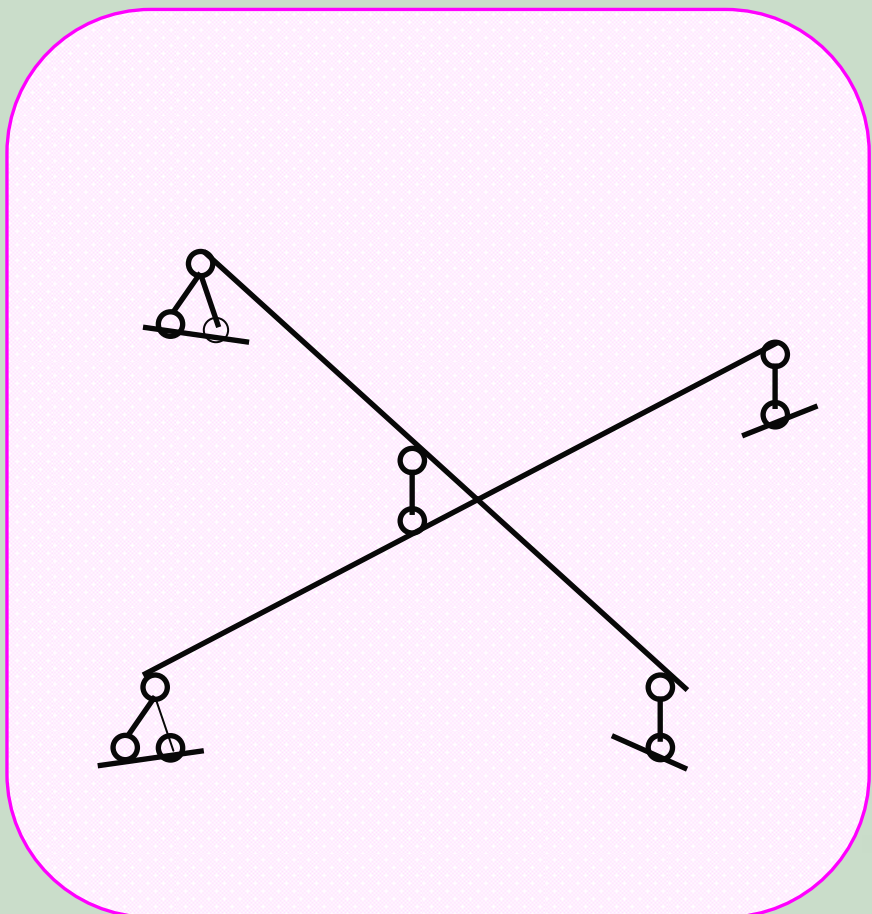


■ 单向板与双向板的计算规定

- 《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。

■ 主梁与次梁

- 两个正交方向的 x 、 y 梁系，集中力 F 作用与在跨中相交处：



$$F_x + F_y = F \quad \dots 1.1.5$$

$$v_x = \frac{\alpha_x F_x l_x^3}{EI_x}$$

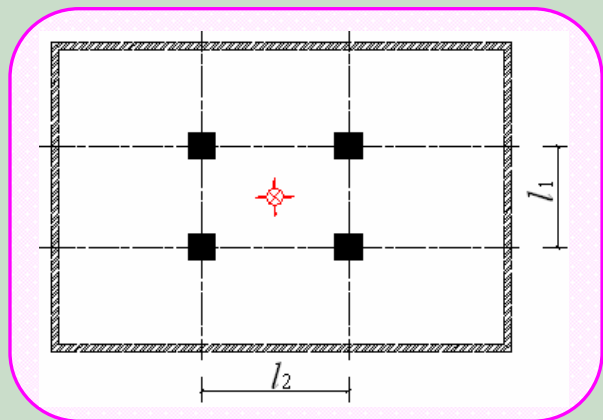
$$v_y = \frac{\alpha_y F_y l_y^3}{EI_y}$$

$$v_1 = v_2 \quad \dots 1.1.6$$

$$\frac{F_y}{F_x} = \left(\frac{h_y / h_x}{l_y / l_x} \right)^3 = \left(\frac{l_x / l_y}{h_x / h_y} \right)^3$$



■ 双向板肋形楼盖

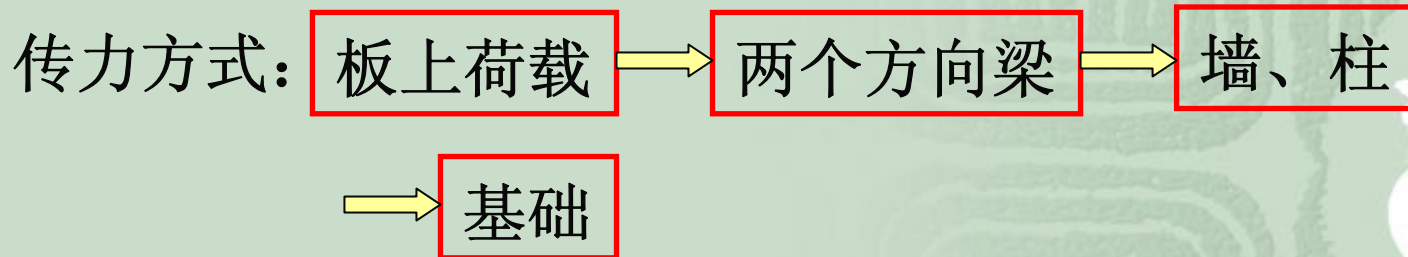


$l_2 / l_1 \leq 2$ 时按双向板设计

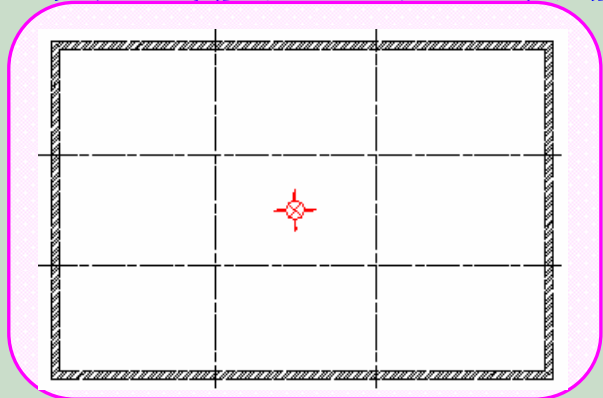
梁无主次之分，荷载两向传递。

$2 < l_2 / l_1 < 3$ 时宜按双向板设计

亦可按短边方向的单向板计算，但长边方向应布置足够的构造钢筋，只配分布钢筋不够。



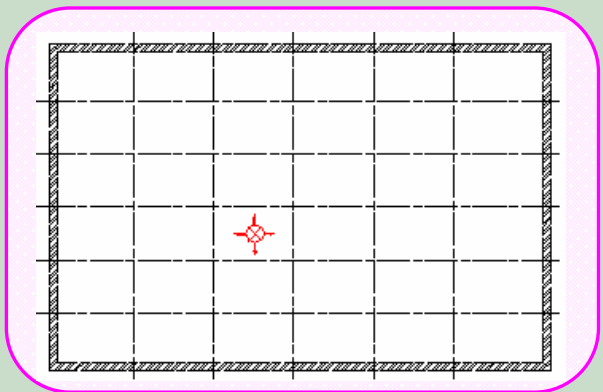
■ 井式楼盖与密肋楼盖



井式

可无柱，使用方便，但梁跨度大。楼面刚度弱，变形大。

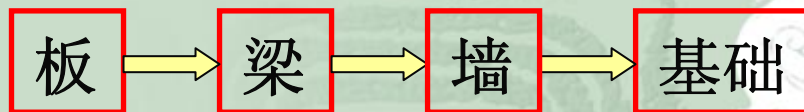
$$\text{梁高} h \geq \frac{1}{18} l_0。$$



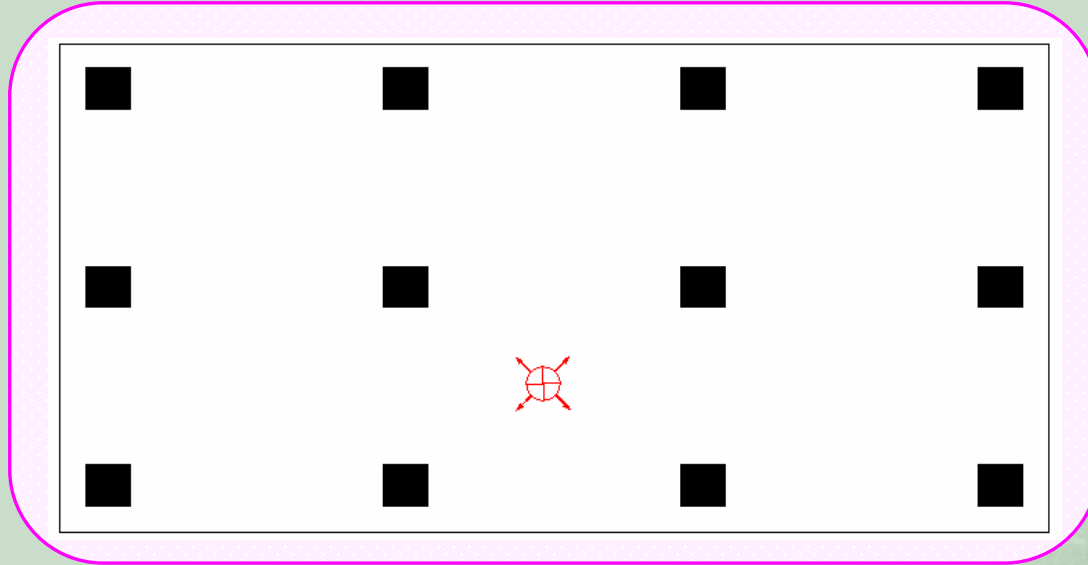
密肋

肋距 $\leq 1.5 \text{ m}$ ，楼面刚度比井式大，变形比井式小。

传力方式：

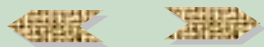


■ 无梁楼盖



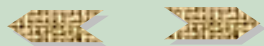
传力方式：**板** → **柱** → **基础**

板不宜薄， $h \geq 150\text{mm}$ 。柱距不宜大。



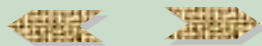
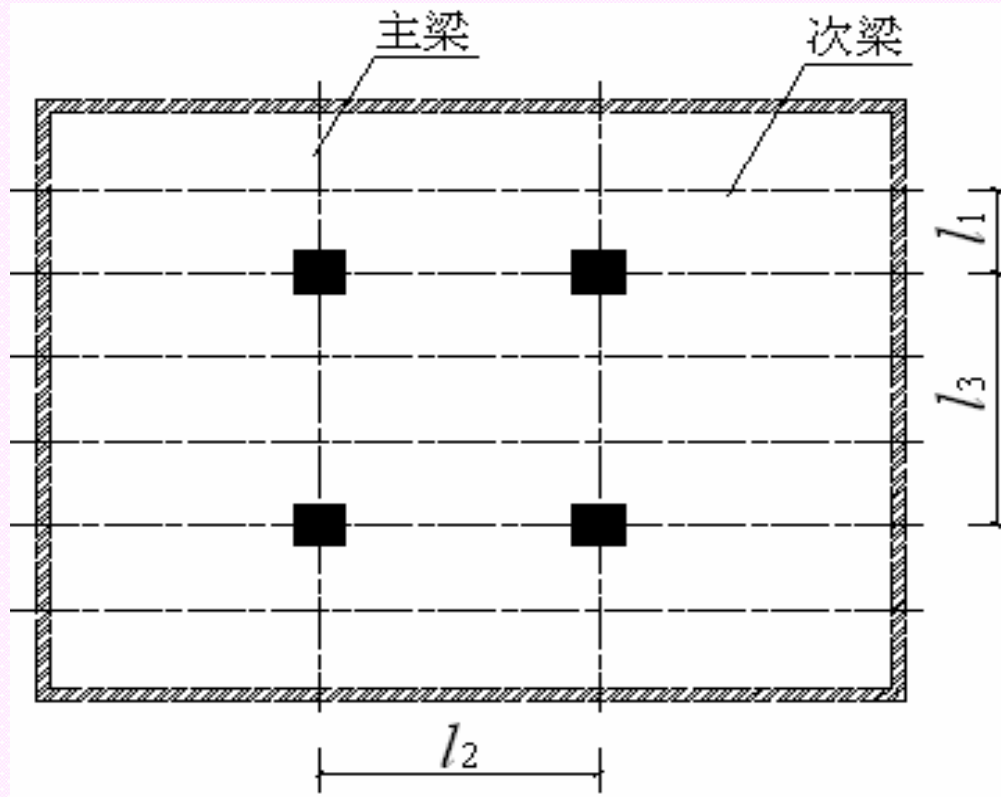
■ 楼盖结构体系的选择

- 建筑物的用途和要求，结构的平面尺寸(柱网布置)是确定楼盖结构体系的主要依据。
- 一般来说，**常规建筑多选用板肋梁楼盖结构体系**；对空间利用率要求较高的建筑，可采用无梁楼盖结构体系；大空间建筑，可选用井字楼盖、密肋楼盖、预应力楼盖等。



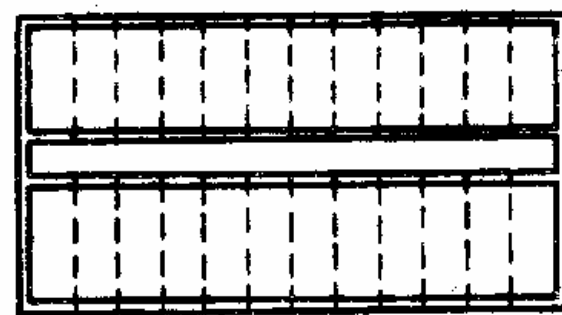
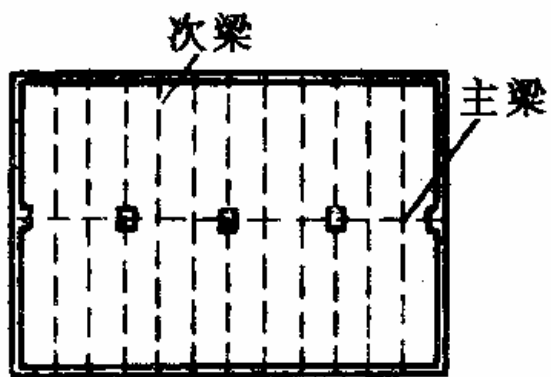
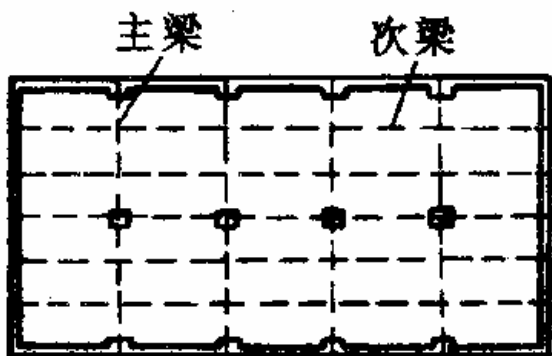
§ 1.2 现浇单向板肋形楼（屋）盖

➤ 结构布置方法



§ 1.2 现浇单向板肋形楼（屋）盖

➤单向板肋形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

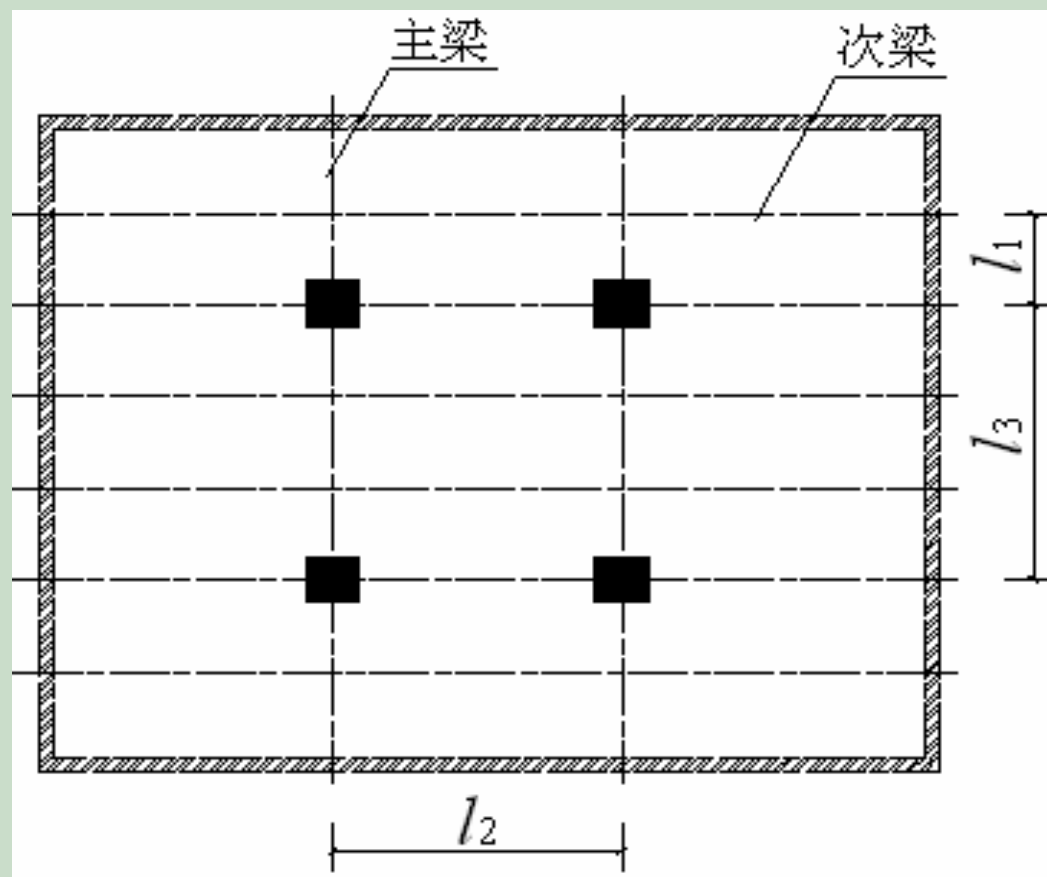
有中间走道



§ 1.2 现浇单向板肋形楼（屋）盖

➤ 1.2.1 结构布置方法

- (1) 柱网梁格划分尽可能规整；
- (2) 梁板结构尽可能划分为等跨，以便于设计和施工；(跨度相差10%以内)
- (3) 主梁跨度范围内次梁根数为偶数，以使主梁受力合理；



§ 1.2 现浇单向板肋形楼（屋）盖

➤ 1.2.1 结构布置方法

➤ (4) 梁板结构尺寸建议：

板跨 $l_1 = 2.0 \sim 3.0\text{m}$

主梁 $l_3 = 5 \sim 8\text{m}$

次梁 $l_2 = 4 \sim 6\text{m}$

$h = (1/8 \sim 1/14) l_3$

$b = (1/2 \sim 1/3) h$

$h = (1/12 \sim 1/18) l_2$

$b = (1/2 \sim 1/3) h$



➤ 1.2.1 结构布置方法

➤ (4) 梁板结构尺寸建议:

板厚

工业楼面: $h \geq 70 \text{ mm}$

民用楼面: $h \geq 60 \text{ mm}$

屋 面: $h \geq 70 \text{ mm}$

为使板有足够的刚度，
板厚尚应满足:

连续板

$$h \geq \frac{1}{40} l$$

简支板

$$h \geq \frac{1}{35} l$$

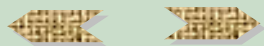
悬臂板

$$h \geq \frac{1}{12} l$$



➤ 梁板内力计算方法

- 按弹性理论计算——按结构力学方法计算。
- 下例情况下按弹性理论方法计算：
 - (1) 直接承受动力荷载和疲劳荷载作用的楼盖；
 - (2) 在使用阶段不允许出现裂缝或对裂缝开展有较高要求的楼盖；
 - (3) 处于侵蚀性环境及负温下的楼盖。
- 按塑性理论计算方法——常用方法：调幅法。



➤ 1.2.2 单向板肋形楼盖按线弹性的计算

■ 结构上的荷载

(1) 永久荷载

结构自重、地面及天棚抹灰、隔墙及永久性设备等；

(2) 可变荷载

人群、货物及雪荷载、屋面积灰荷载和施工或荷载等。

■ 荷载取值

(1) 永久荷载标准值：由构件尺寸及构造层作法按材料自重计算；

(2) 可变荷载标准值：查《荷载规范》。



■ 荷载计算

(1) 恒载：自重、抹灰重等。

恒载标准值 = 体积 × 材料自重

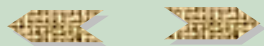
常用的材料和构件自重见教材附录2。

(2) 活荷载：人群、家具等。

民用建筑楼面活载标准值见教材附录3。

板和次梁一般以**均布荷载**为主。

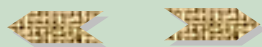
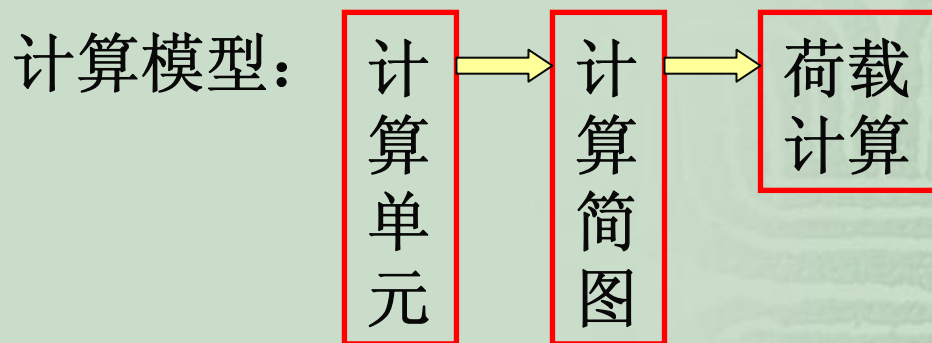
承载力计算：**荷载用设计值**，要将荷载标准值乘以荷载分项系数 γ_G 或 γ_Q 。



➤ 1.2.2 单向板肋形楼盖按线弹性的计算

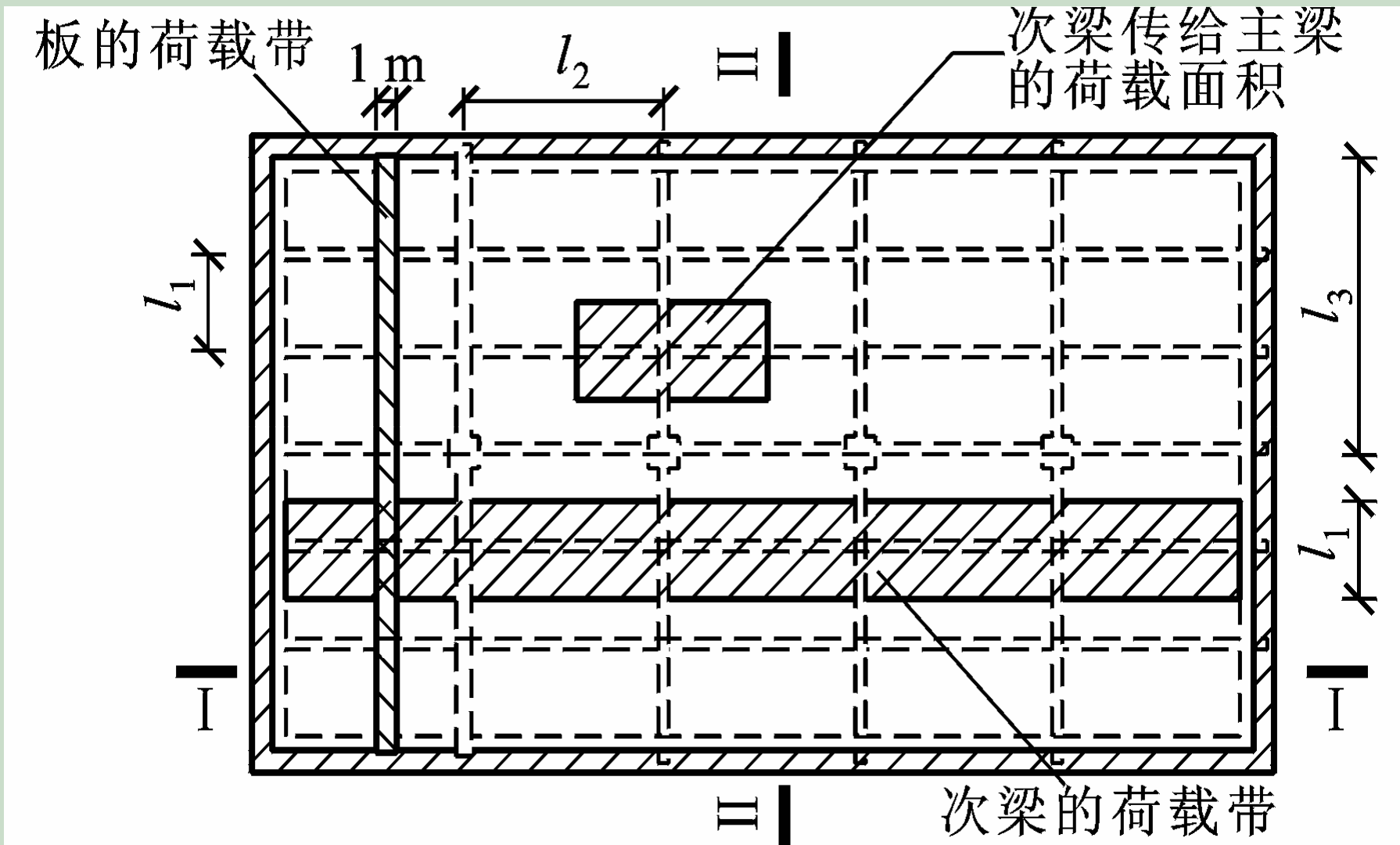
■ 计算单元的确定

■ 将实际的建筑结构抽象为可以进行分析计算的力学模型，是结构设计的重要任务。好的力学计算模型应该是在反映实际结构的主要受力特点前提下，尽可能的简单。



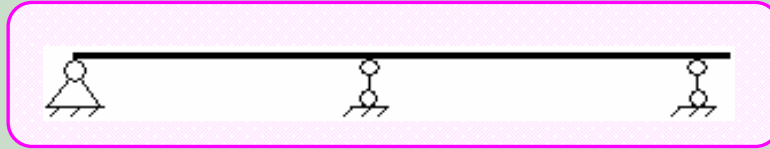
■ 计算单元的确定

荷载分配时不考虑结构的连续性

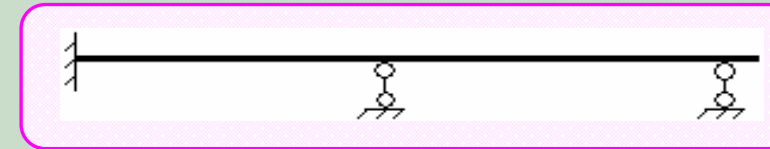


■ 计算简图

墙支承



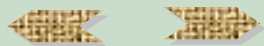
梁支承



支座的简化



- 计算简图
- **板、次梁**：当板的支座是次梁，次梁的支座是主梁，则次梁对板，主梁对次梁将有一定的嵌固作用，为简化计算通常亦假定为铰支座，由此引起的**误差将在内力计算时加以调整**。
- **主梁**：若主梁的支座是柱，其计算简图应根据梁柱抗弯刚度比而定，如果梁的抗弯刚度比柱的抗弯刚度大很多时(通常认为主梁与柱的线刚度比大于3~4)，可将主梁视为铰支于柱上的连续梁进行计算，否则应按**框架梁**进行设计。

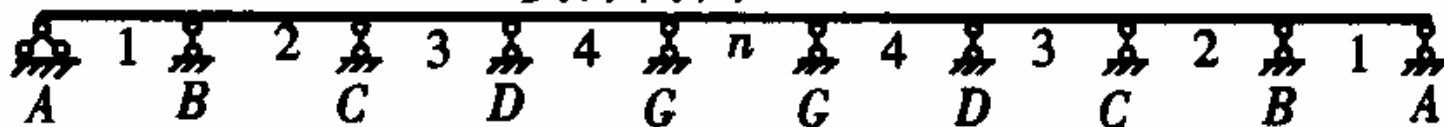


■ 计算简图

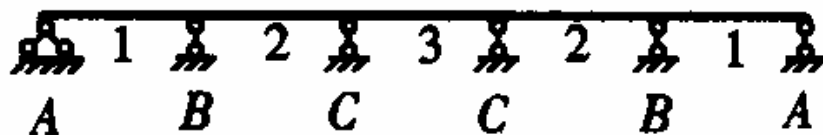
相邻两跨跨长相差 $\leq 10\%$ 时，按等跨计算。

五跨以上按五跨计算。

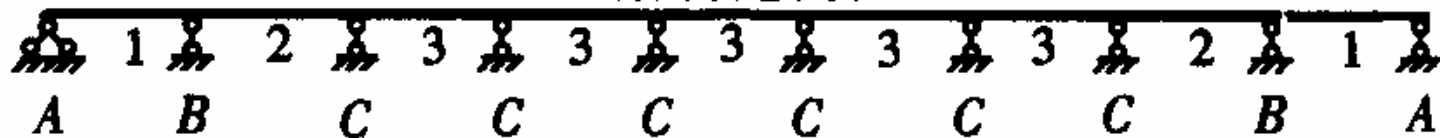
实际简图



计算简图

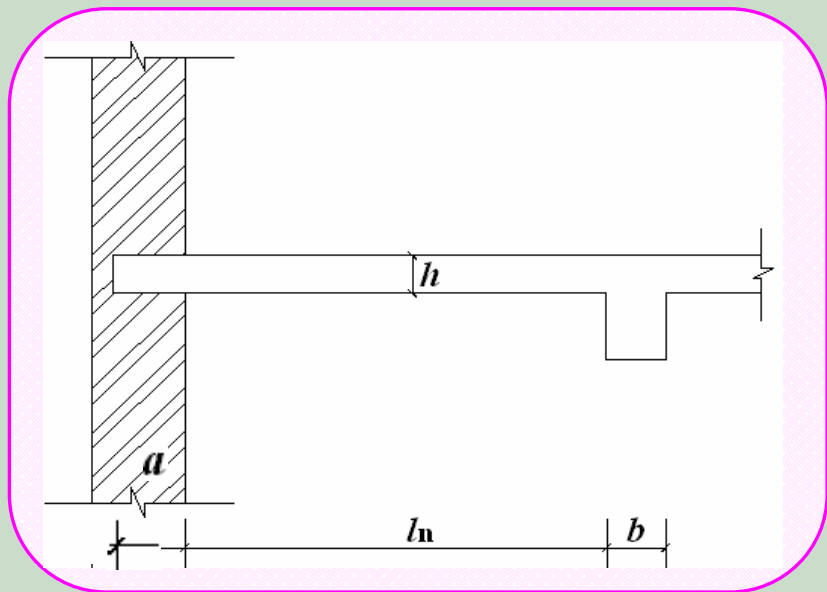


配筋构造简图



■ 计算跨度

对多跨连续梁板

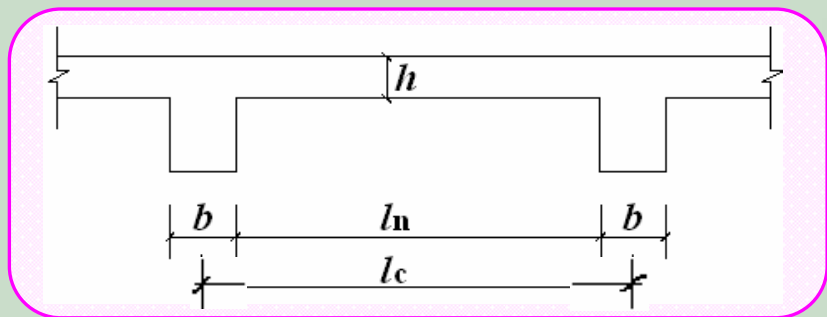


边跨

$$l_0 = l_n + \frac{a}{2} + \frac{b}{2}, \text{ 且}$$

$$l_0 \leq l_n + \frac{h}{2} + \frac{b}{2} \text{ (板)}$$

$$l_0 \leq 1.025l_n + \frac{b}{2} \text{ (梁)}$$



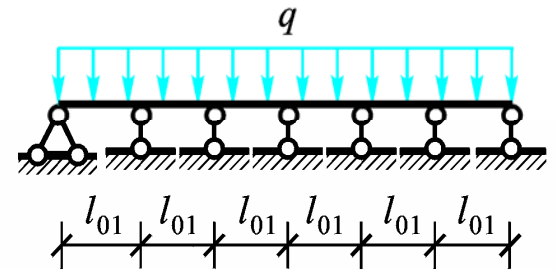
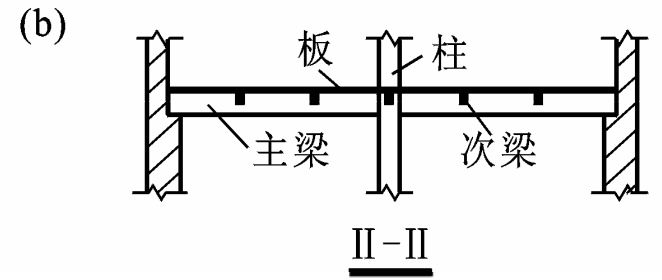
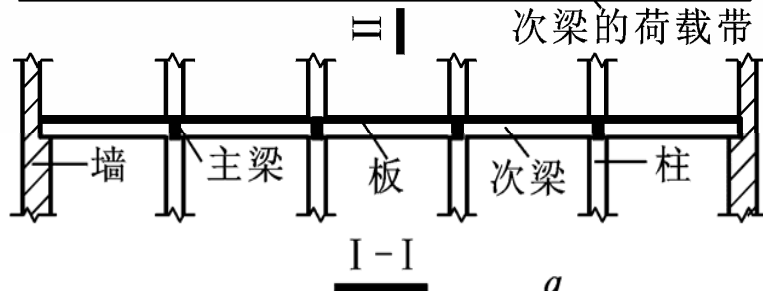
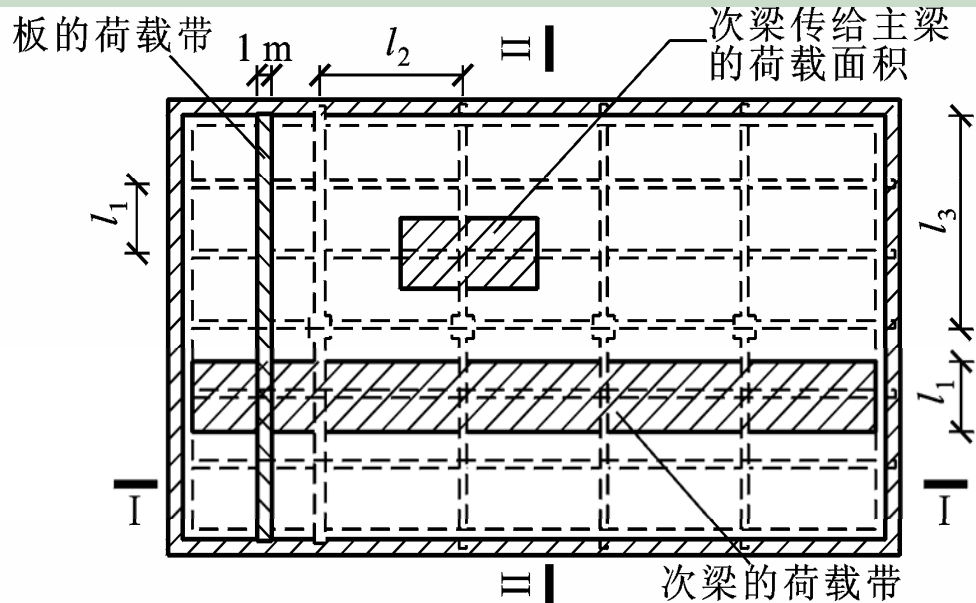
中间跨

$$l_0 = l_c$$

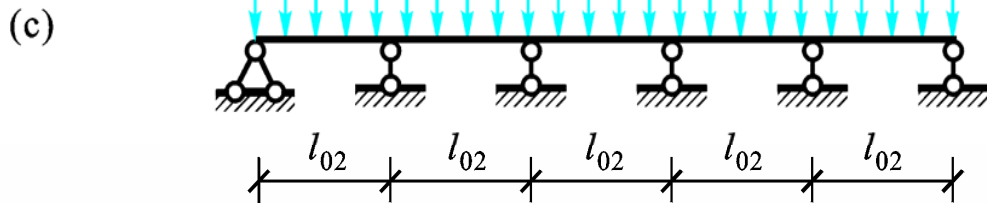
$$l_0 = l_n + h \text{ (板)}$$

$$l_0 \leq 1.025l_n \text{ (梁)}$$

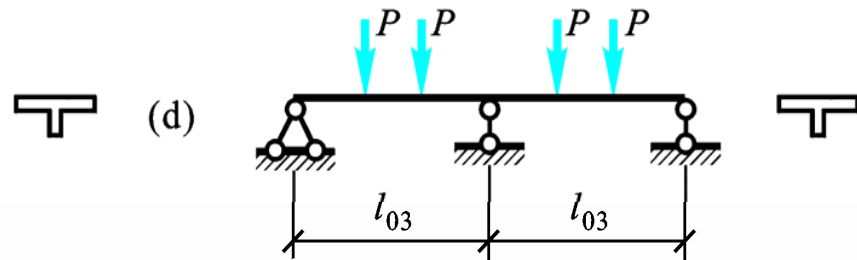




板计算简图

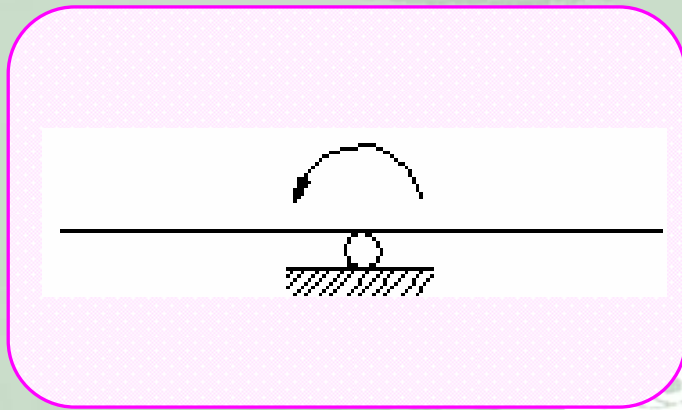
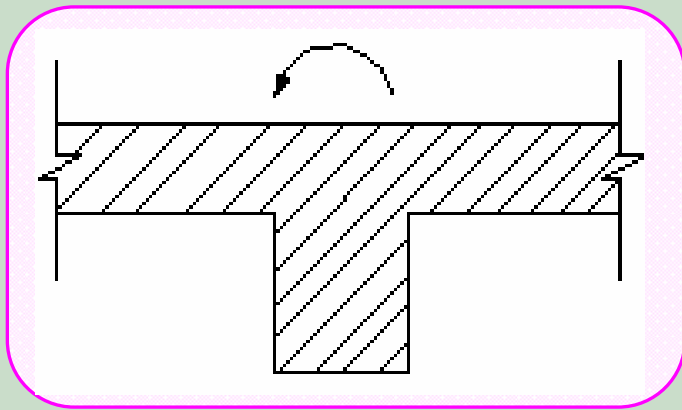
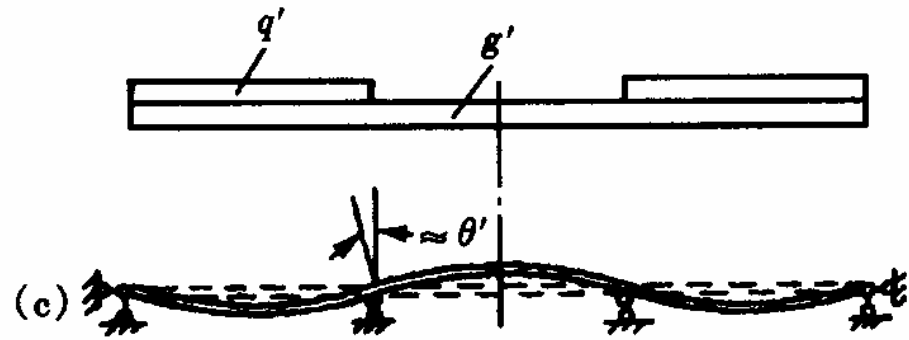
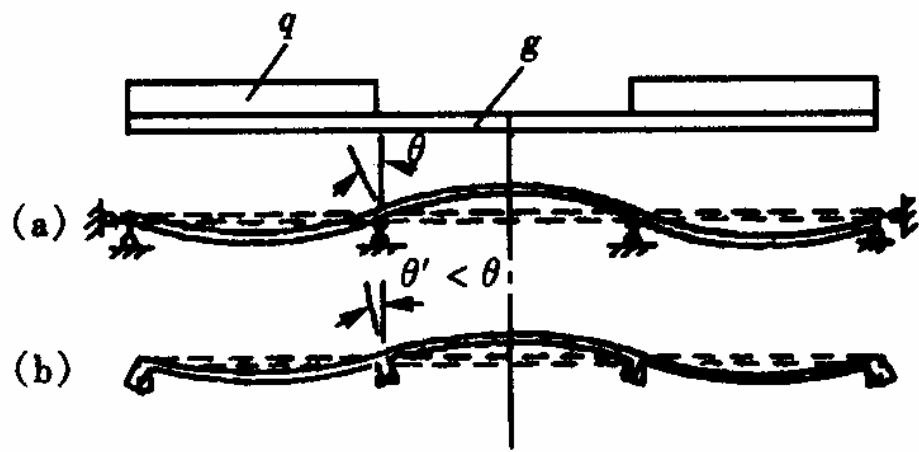


次梁计算简图



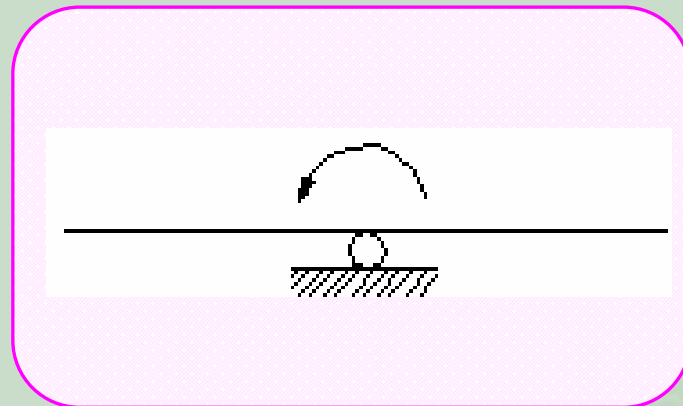
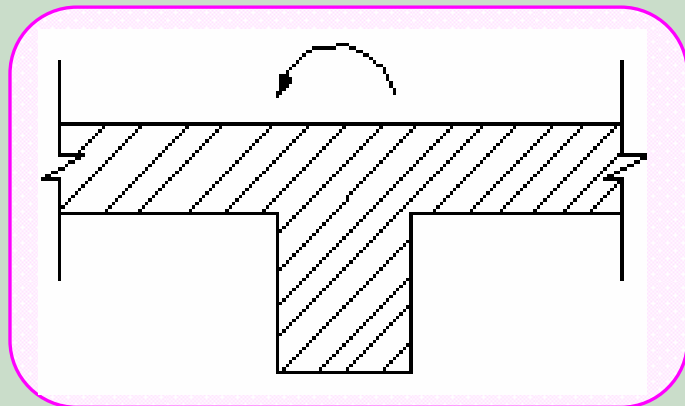
主梁计算简图

(3) 折算恒载与折算活载



主梁上的荷载不调整

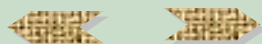
(3) 折算恒载与折算活载



考虑主梁对次梁、次梁对板的约束影响。

板	$g' = g + \frac{1}{2}q$	$q' = \frac{1}{2}q$
次梁	$g' = g + \frac{1}{4}q$	$q' = \frac{3}{4}q$

当梁板直接搁置在砖墙或钢梁上时，按实际恒载和实际活载计算。



■ 内力计算及组合

- 内力按结构力学方法计算。
- 2~5跨等跨梁板内力见教材附录7。

在均布及三角形荷载作用下：

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

$$V = k_3 gl + k_4 ql$$

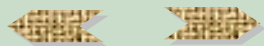
在集中荷载作用下：

$$M = k_5 Gl + k_6 Ql$$

$$V = k_7 G + k_8 Q$$

- 内力要根据荷载**最不利**布置组合计算。

恒载一次布置，活载分跨布置再组合



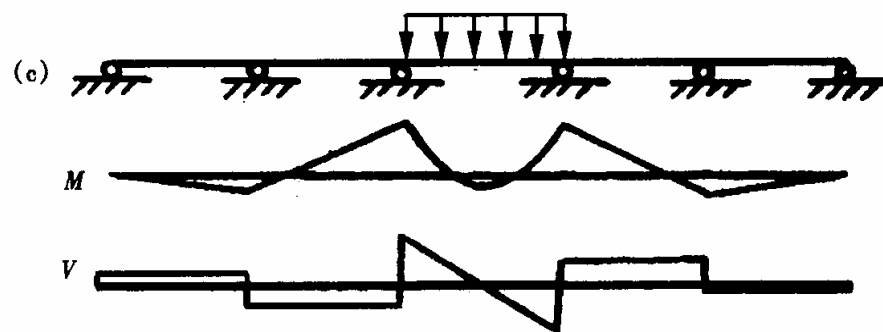
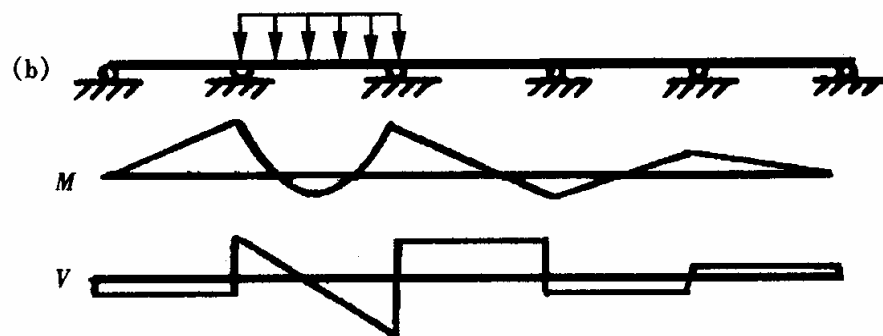
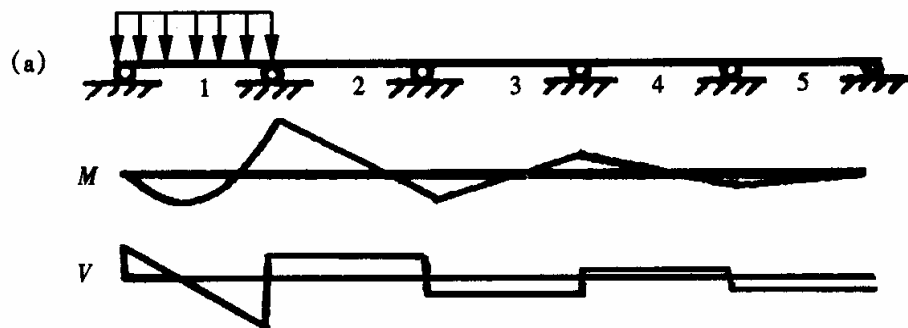
活荷载的最不利布置及荷载的最不利组合

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；

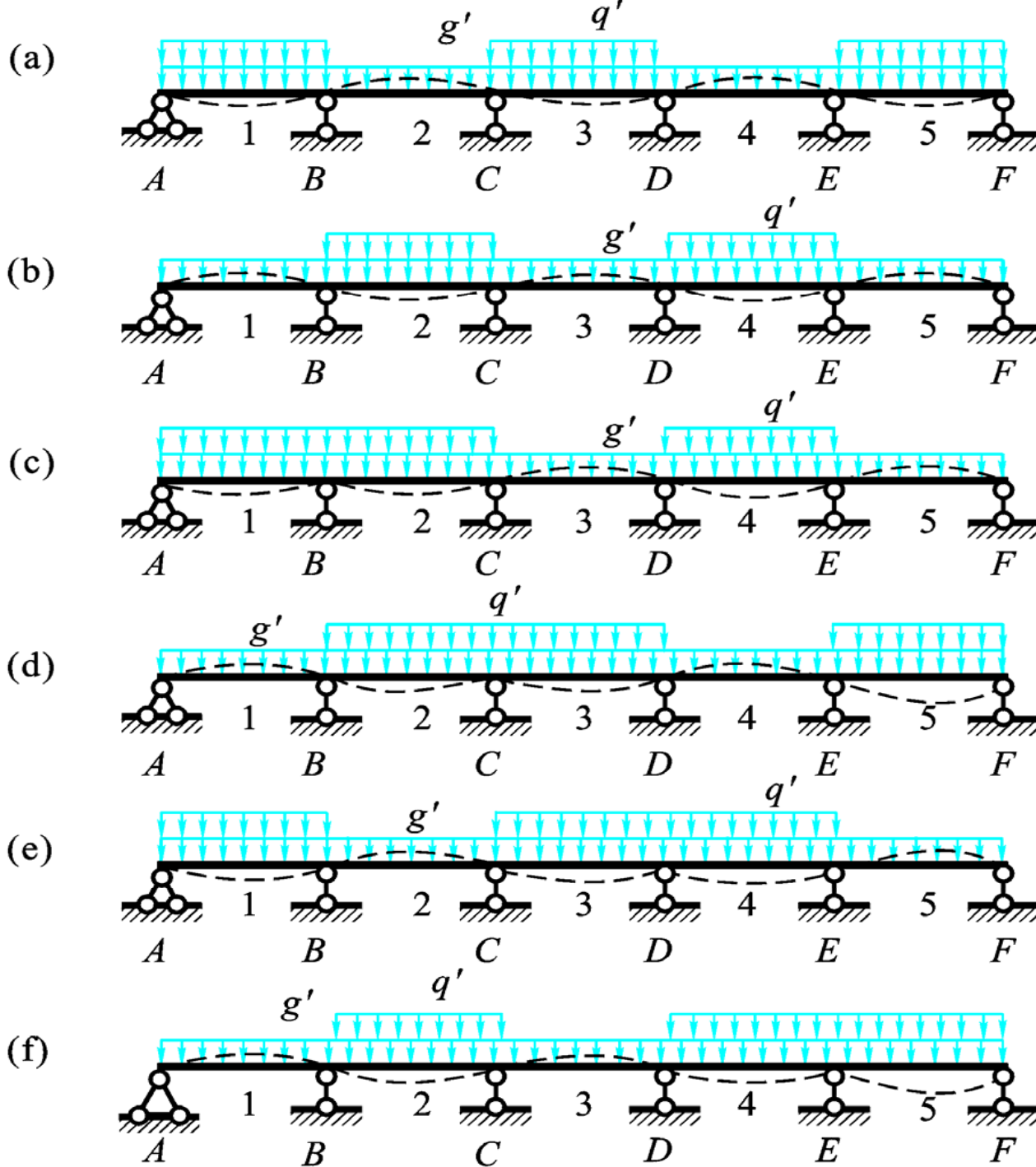
(3) 求某支座最大负弯矩或支座左、右截面最大剪力时，应在该支座左右两跨布置活荷载，然后隔跨布置。



混凝土结构设计

■ 活荷载最不利布置

■ 荷载的最不利组合

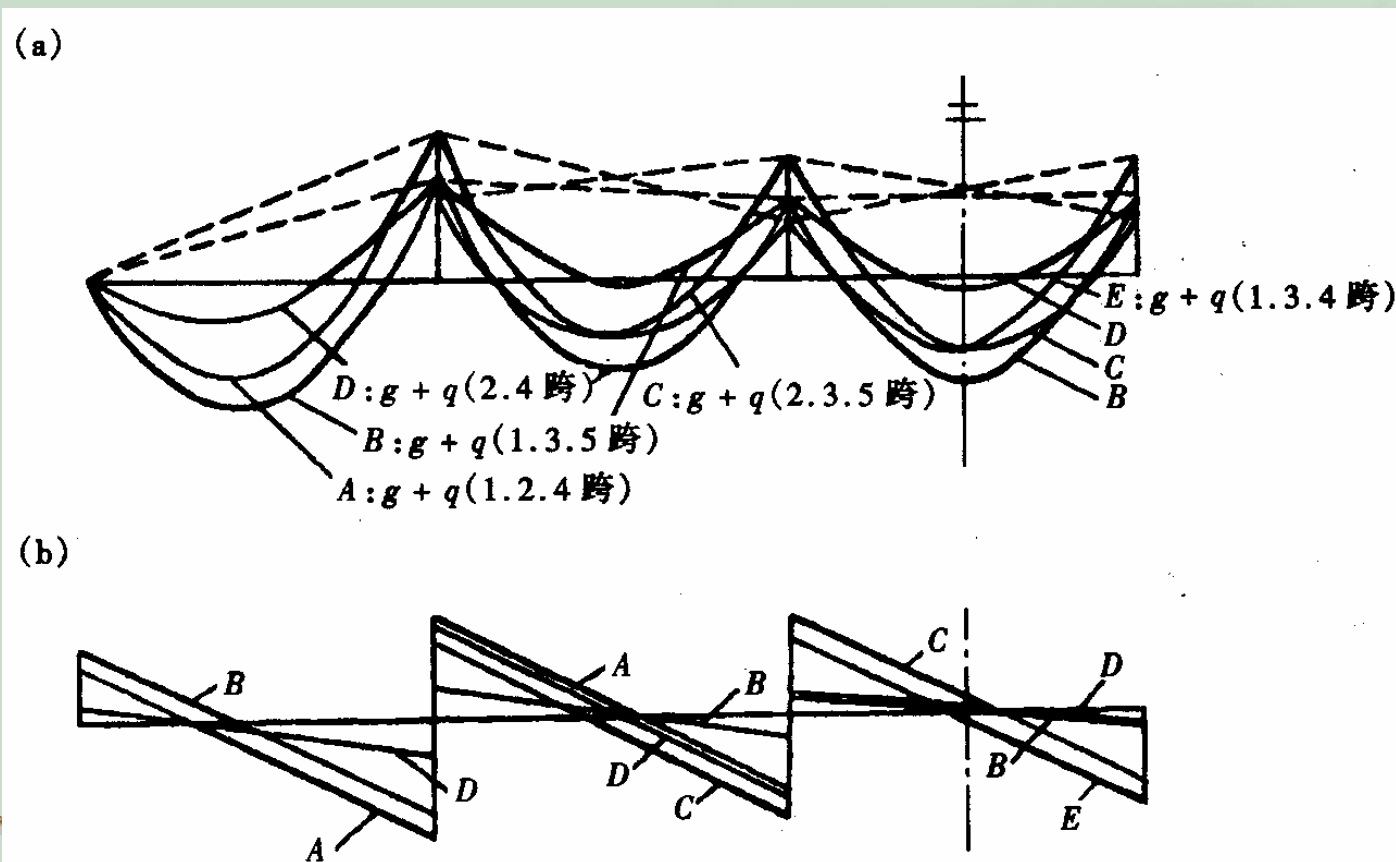


■ 内力包络图

■ 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(内力叠合图), 其外包线所形成的图形称为**内力包络图**。

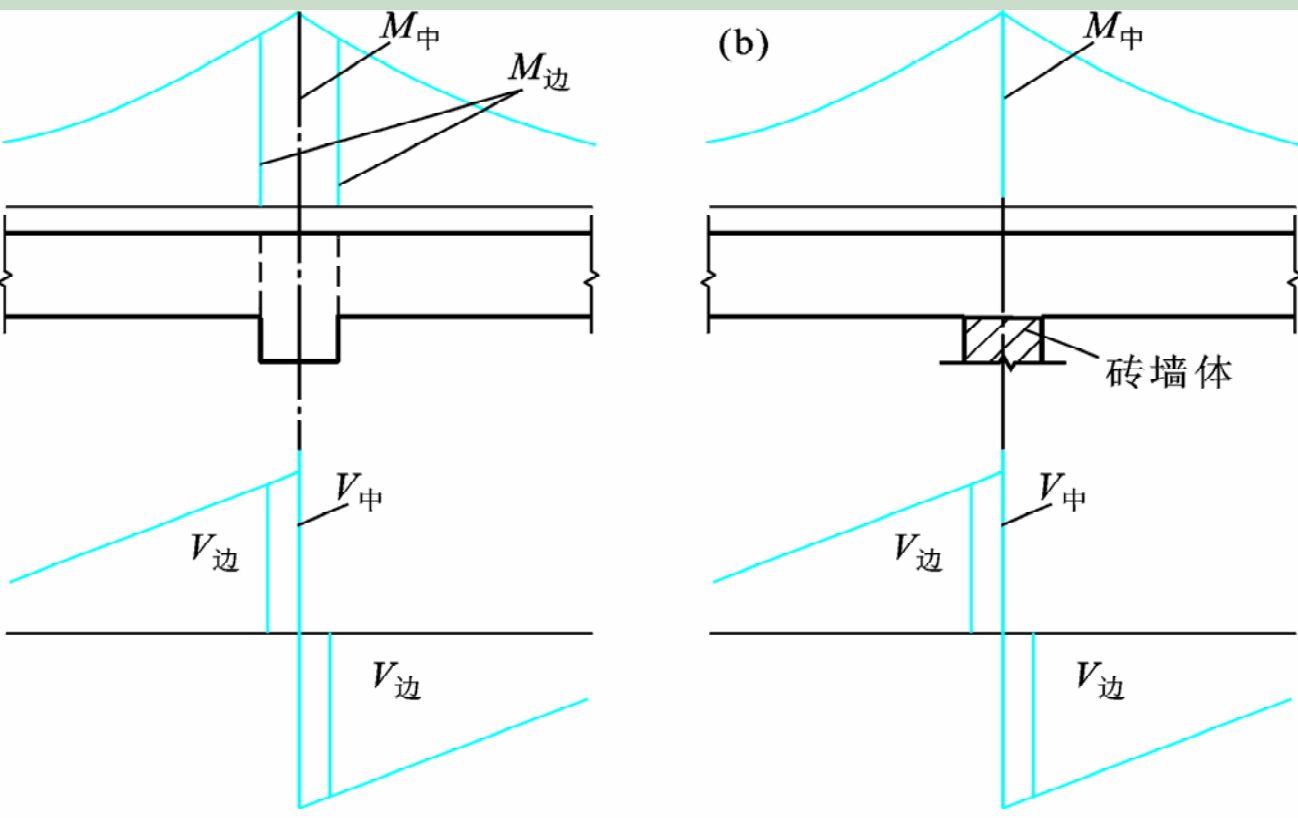
■ 绘制方法

■ 作用



■ 配筋计算

- 配筋计算方法按《混凝土结构设计原理》有关章节。
- 配筋时**支座截面内力设计值的修正**:



□ 弯矩设计值:

$$M_{边} = M_{中} - \frac{b}{2} V_0$$

□ 剪力设计值:

均布荷载:

$$V_{边} = V_{中} - \frac{b}{2} (g + q)$$

集中荷载:

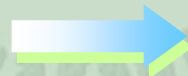
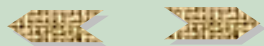
$$V_{边} = V_{中}$$



■ 按弹性理论方法计算单向板肋形楼盖的主要步骤

- ①确定计算简图（包括荷载的计算）；
- ②求出恒荷载作用下的内力和最不利活荷载作用下的内力，并分别进行组合；
- ③作出内力包络图；
- ④对整浇支座截面的弯矩和剪力进行调整；
- ⑤进行配筋计算；
- ⑥按弯矩包络图确定弯起钢筋和纵向钢筋截断位置，按剪力包络图确定腹筋。

思考：提出塑性内力重分布设计方法的原因？

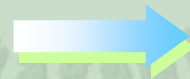


■ 按弹性理论方法计算存在的问题

①钢筋混凝土是由两种材料所组成，混凝土是一种弹塑性材料，钢筋在达到屈服强度后也表现出塑性特点，它不是均质弹性体；按弹性理论方法计算不能反映结构内材料的实际工作状况。

②按弹性理论方法计算连续梁，根据内力包络图进行配筋时，由于没有考虑包络图中各种最不利荷载组合，并布同时出现的特点，致使部分截面配筋量过大，钢筋不能充分发挥作用。

③按弹性方法计算的支座弯矩一般大于跨中弯矩，配筋计算结果是支座钢筋用量较多，不便于施工。



■ 按塑性理论计算方法的提出

为解决上述问题，充分考虑钢筋混凝土构件的塑性性能，挖掘结构潜在的承载力，达到节省材料和改善配筋的目的，提出按**塑性内力重分布**的计算方法，

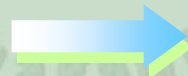
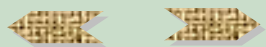
➤ 1.2.3 单向板肋形楼盖按塑性内力重分布方法设计

■ 计算单元及荷载

(1) 计算单元：与弹性方法相同。

(2) 荷载：用实际恒载与实际活载。

◆ 按塑性内力重分布分析方法在**确定内力系数时已考虑折算荷载**。



➤ 1.2.3 单向板肋形楼盖按塑性内力重分布方法设计

■ 计算跨度

边跨

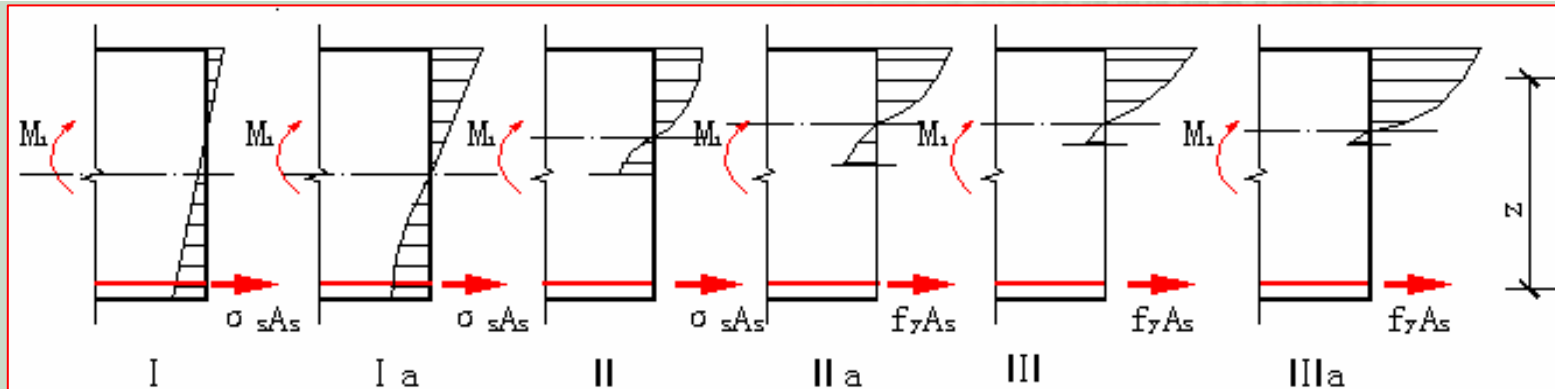
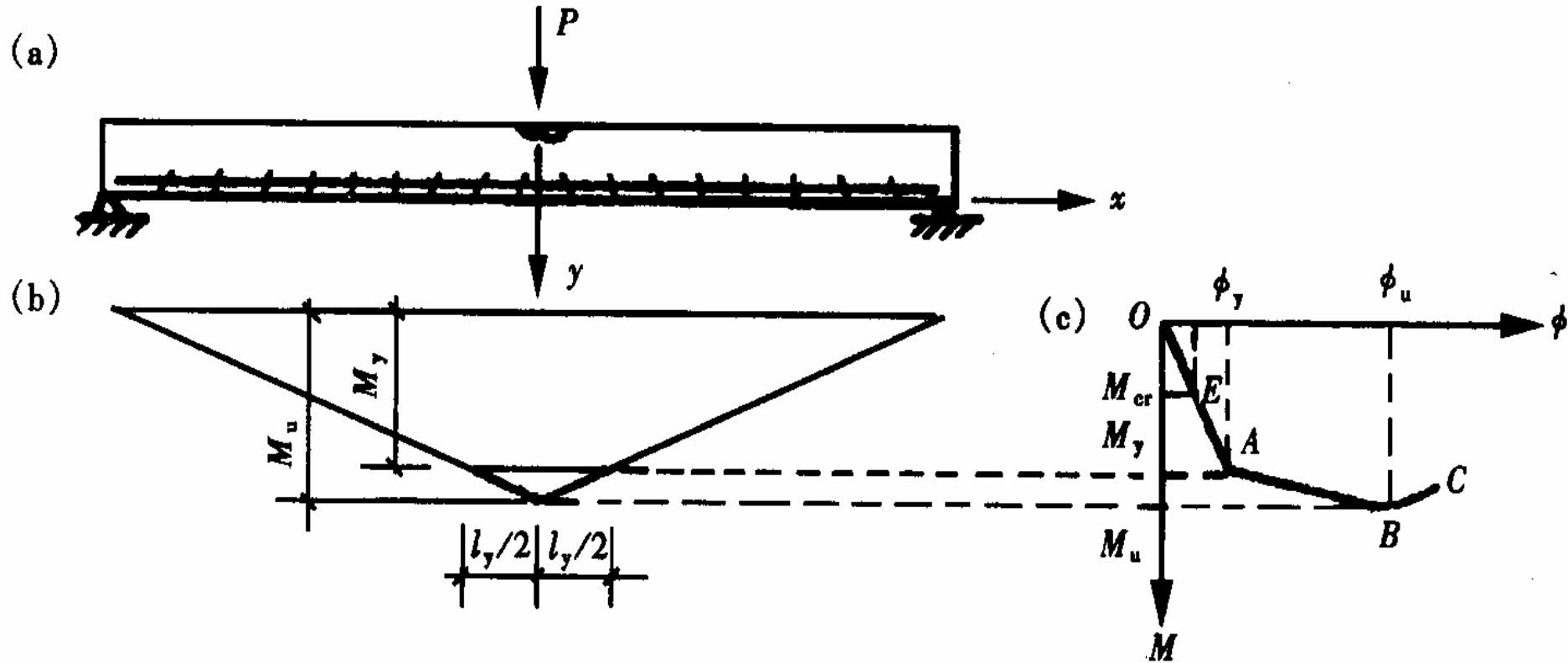
$$\left\{ \begin{array}{l} l = l_0 + \frac{a}{2}, \text{ 且} \\ l \leq l_0 + \frac{h}{2} \text{ (板)} \\ l \leq 1.025l_0 \text{ (梁)} \end{array} \right.$$

中间跨

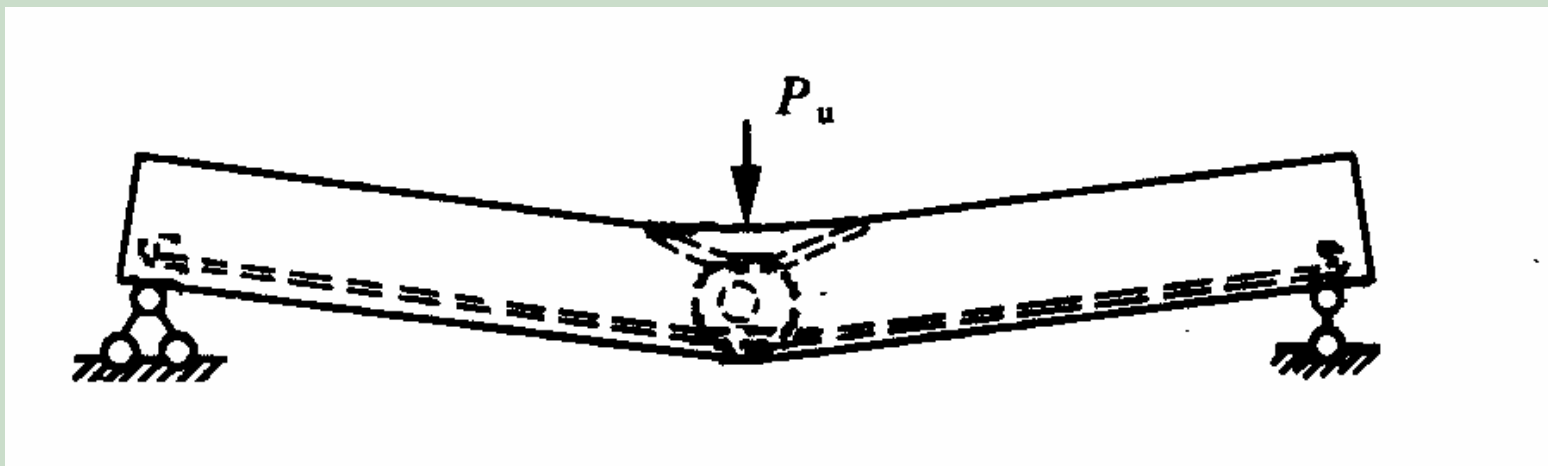
$$l = l_0 \text{ (梁)}$$



■ 塑性铰的概念及特点



■ 塑性铰的概念及特点



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较大幅度的转动，表现得犹如一个能够转动的“铰链”，转动是材料塑性变形及混凝土裂缝开展的表现，故称为“**塑性铰**”。

◆ 混凝土开裂后，截面的应力分布发生了变化，称**应力**发生了重分布。



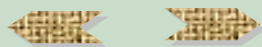
- 塑性铰与普通铰的区别是：
 - (a) 塑性铰是单向铰，只能沿 M_u 方向转动；
 - (b) 塑性铰可以传递弯矩， $M \leq M_u$ ；
 - (c) 塑性铰的转动是有限的：

$$\theta_p = (\varphi_u - \varphi_y) l_p$$

式中， φ_u 为极限曲率； φ_y 为屈服曲率； l_p 为塑性铰的等效长度。

◆理想铰集中于一点，塑性铰则有一定的长度。

◆塑性铰可分为拉铰（受拉钢筋屈服）和压铰（受拉钢筋不屈服），拉铰转动量大于压铰。



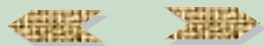
■ 超静定结构的塑性内力重分布

➤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：

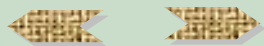
1. 截面间内力的分布规律是变化的。
2. 任一截面内力达到其内力设计值时，只是该截面达到其承载能力，出现了塑性铰。只要整个结构还是几何不变的，结构还能继续承受荷载。



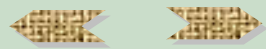
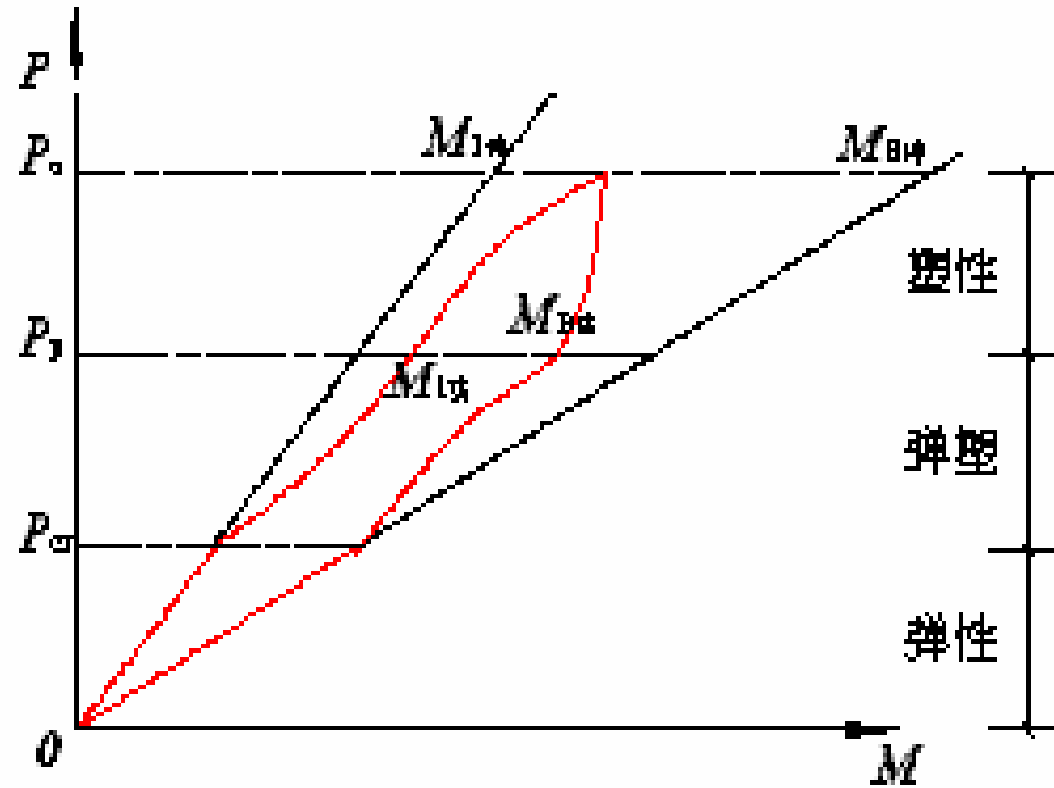
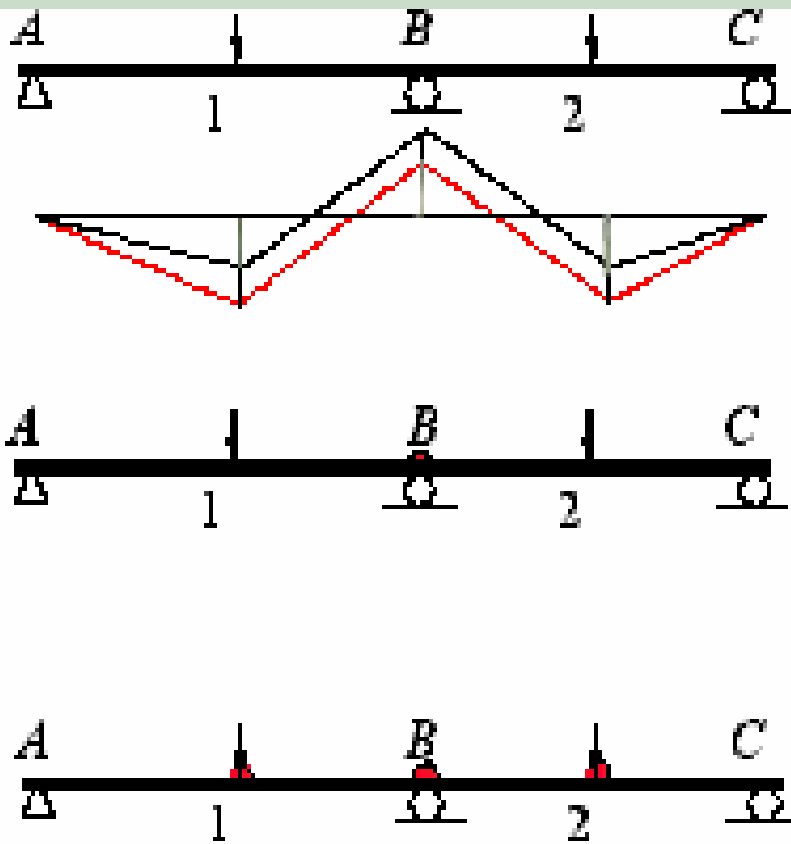
■ 超静定结构的塑性内力重分布

- 静定结构中，某一截面出现了塑性铰，结构变为几何可变体系，即达到承载力极限状态。
- 超静定结构中，某一截面由于裂缝出现、钢筋与混凝土粘结破坏、钢筋屈服等原因，使截面内力分布与按弹性理论分析时有所不同的现象，称为出现了**内力重分布**。
- **N次超静定结构**中，出现一个塑性铰即减少一次**超静定次数**，直到出现 **$N+1$** 个塑性铰，结构才变为几何可变体系，即达到承载力极限状态。

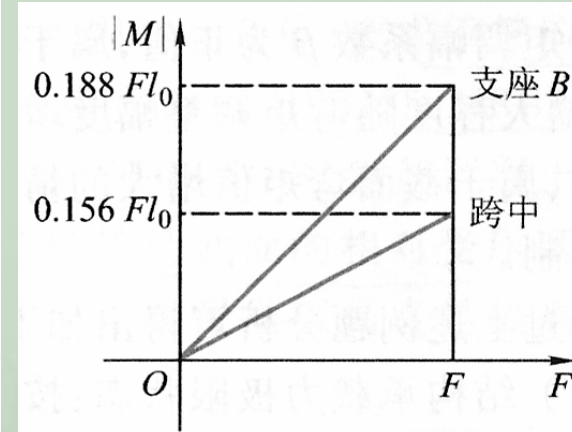
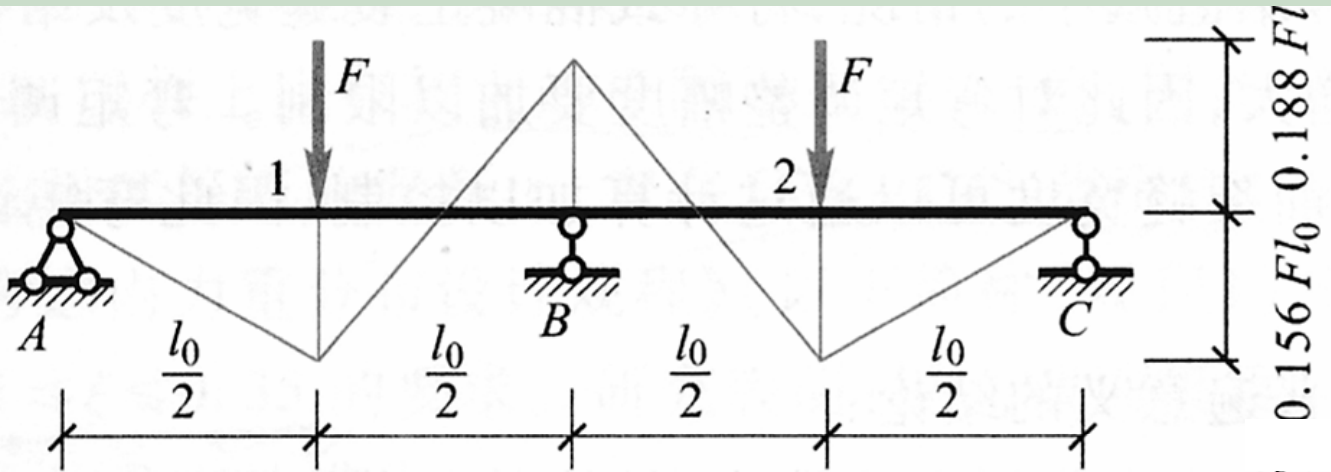
超静定结构才有**内力重分布**,静定结构只有**应力重分布**



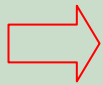
■ 塑性内力重分布



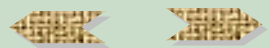
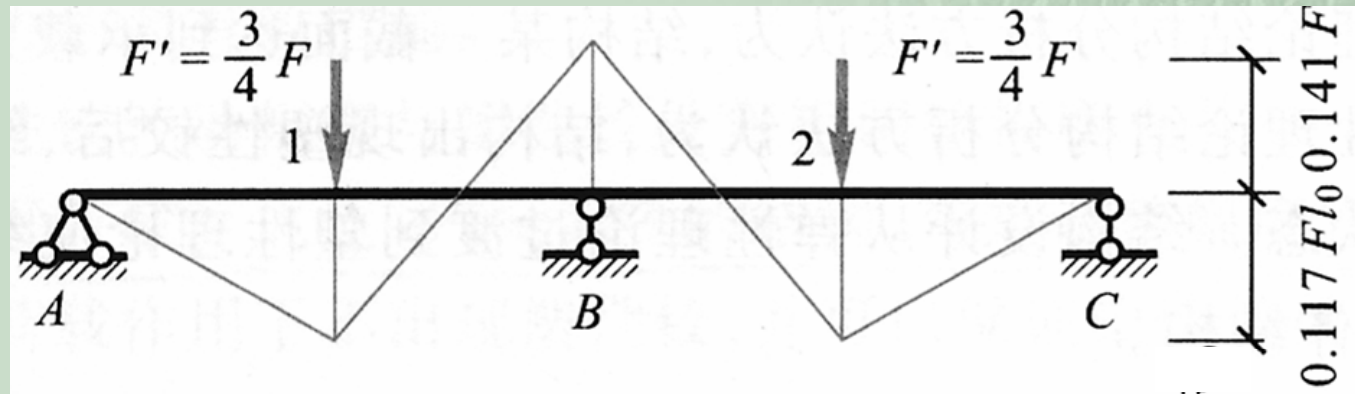
■ 两跨连续梁在集中荷载作用下的塑性内力重分布



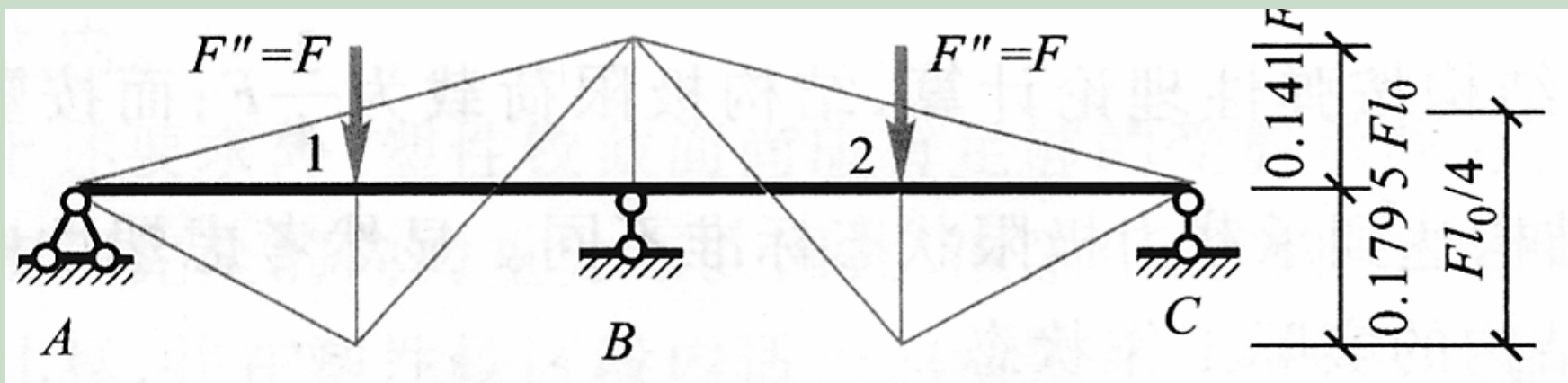
$$\frac{0.141}{0.188} = \frac{3}{4}$$



$$0.156 \times \frac{3}{4} = 0.117$$

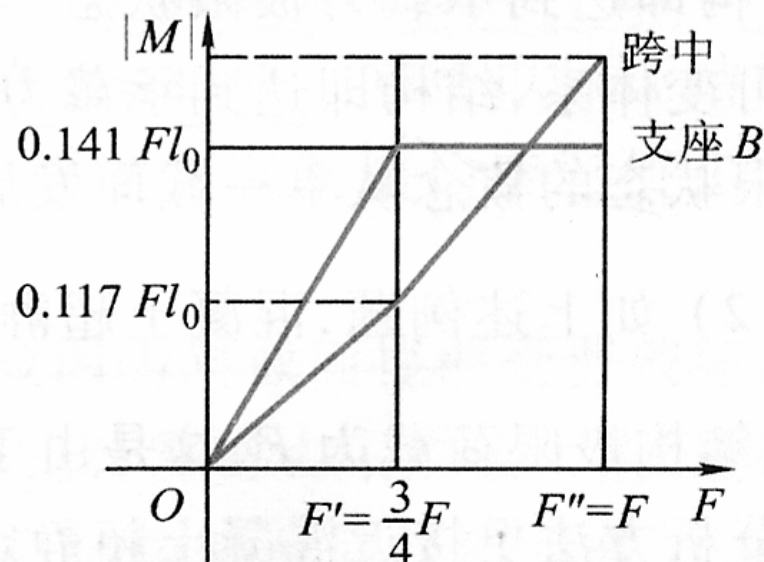


■ 两跨连续梁在集中荷载作用下的塑性内力重分布



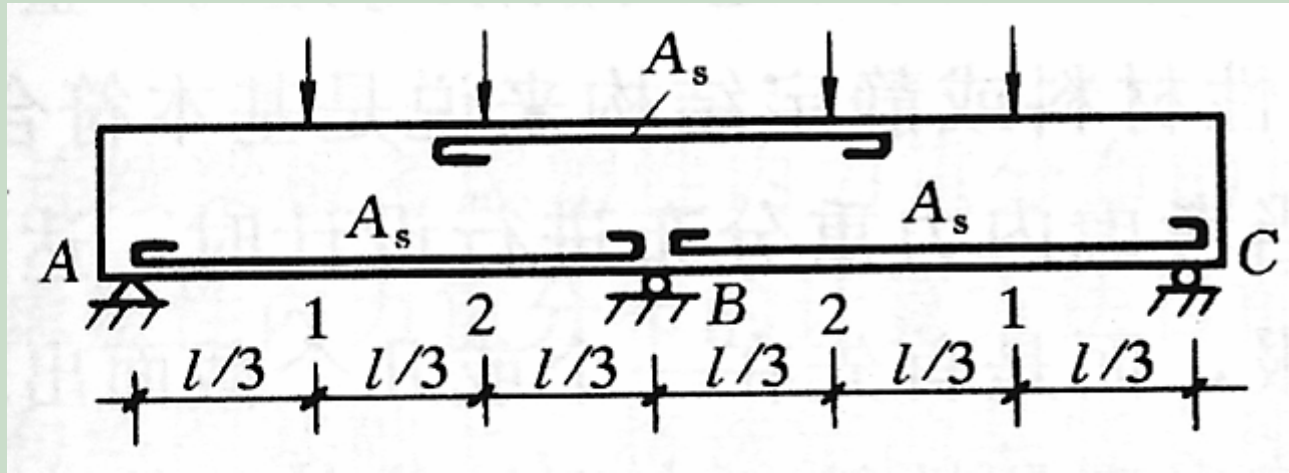
$$0.117Fl_0 + \frac{1}{4}\left(F - \frac{3}{4}F\right)l_0 = 0.117Fl_0 + 0.0625Fl_0 = 0.1795Fl_0$$

支座B截面配筋减小，连续梁的承载力仍然为F。

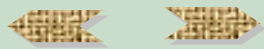
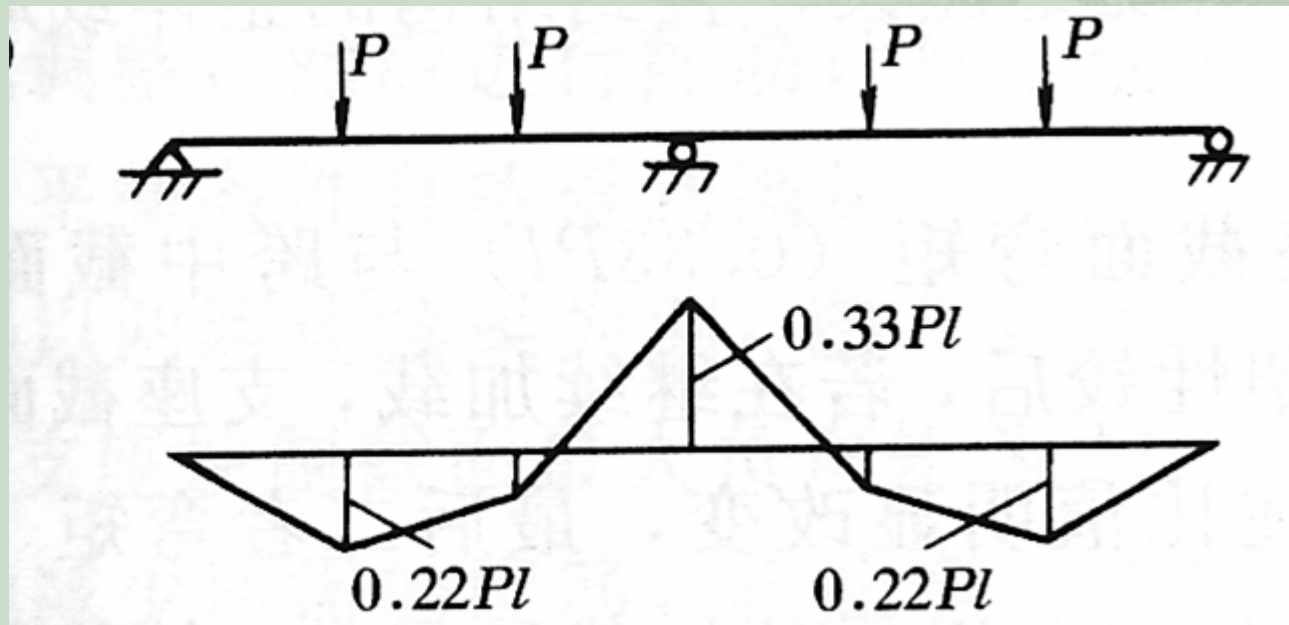


■ 两跨连续梁在集中荷载作用下的塑性内力重分布

按弹性计算配筋



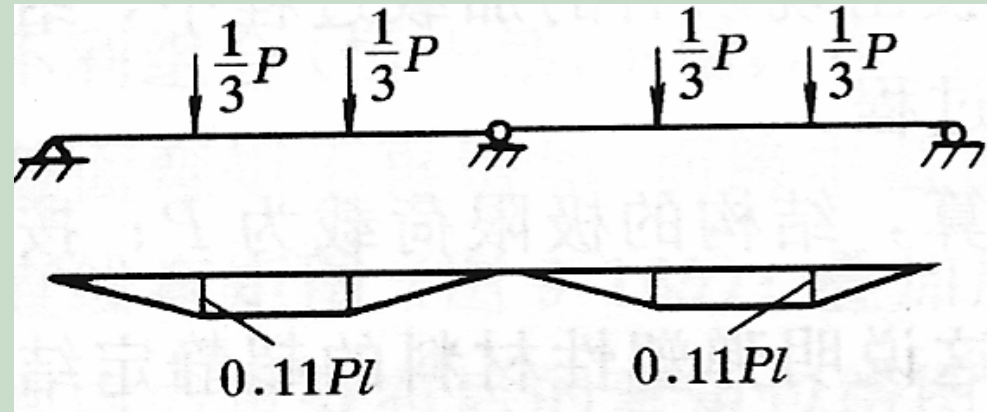
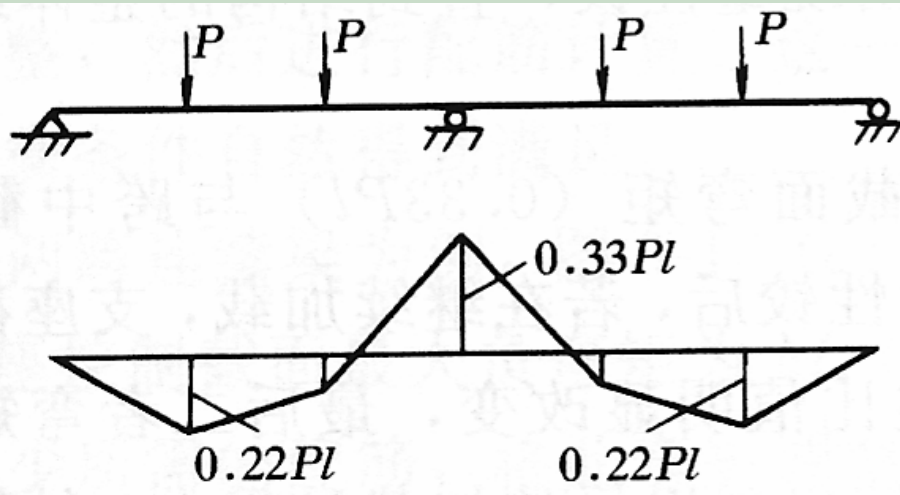
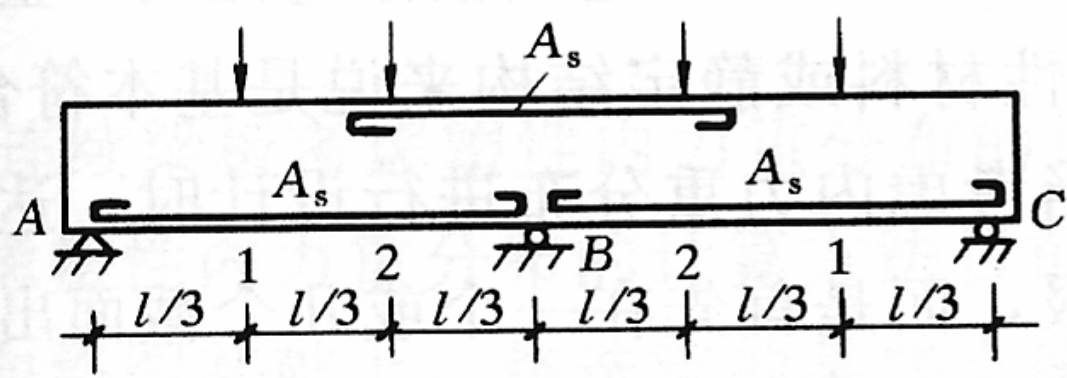
按弹性计算该梁所能承受的最大集中荷载为 P



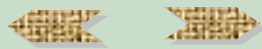
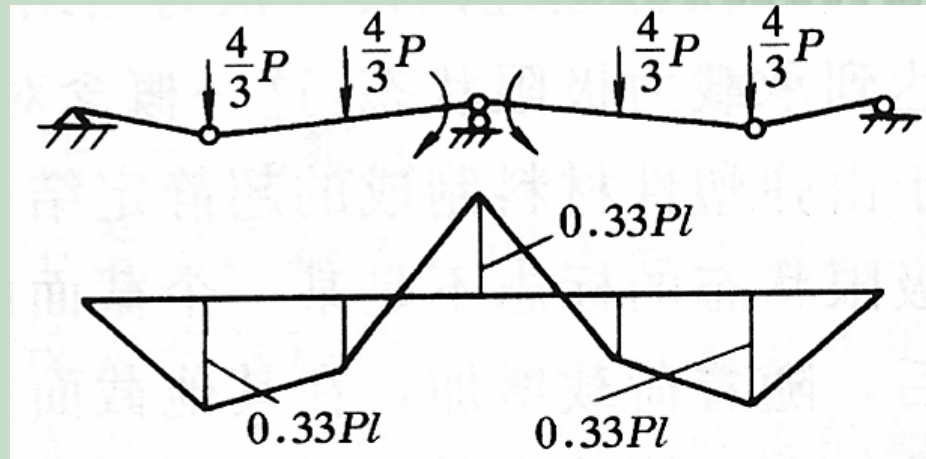
混凝土结构设计

■ 两跨连续梁

配筋不变

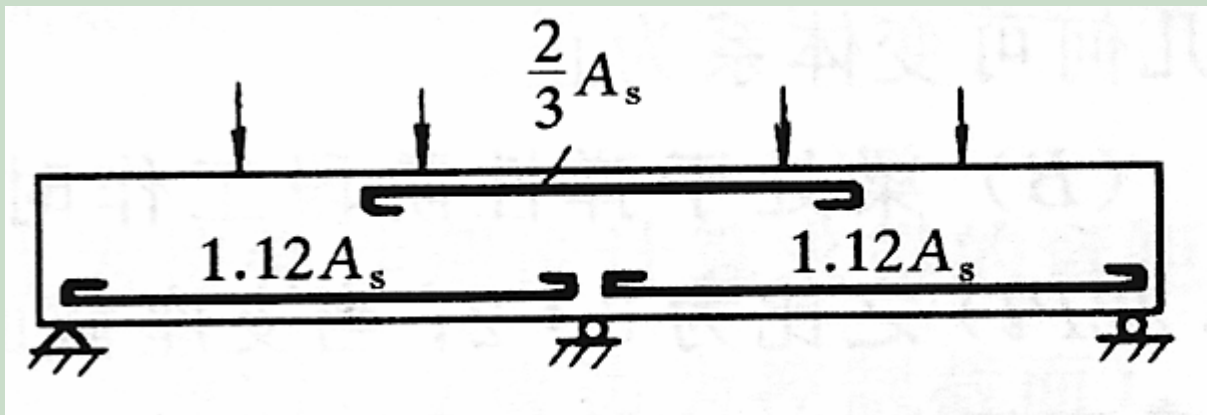


按塑性计算该梁所能承受的最大集中荷载为 $\frac{4}{3}P$



■ 两跨连续梁

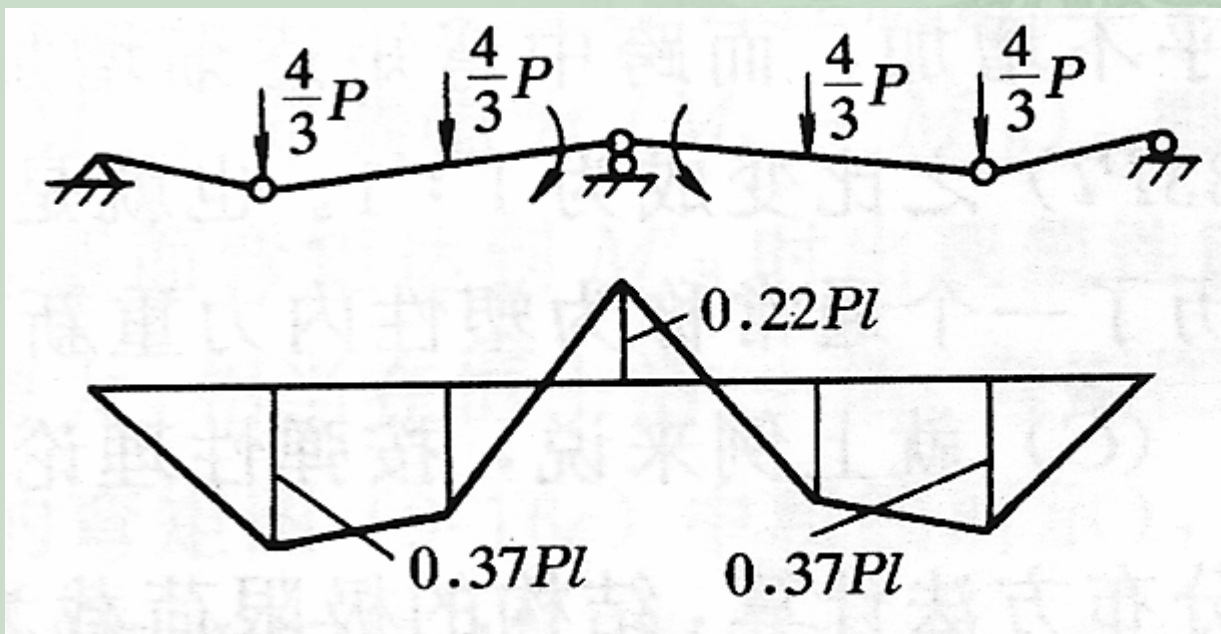
调整配筋



按塑性计算该梁所能承受的最大集中荷载为 $4/3P$



内力重分布的程度更大。



■ 结论

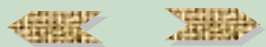
(1) 按弹性理论设计认为当结构任一截面的内力达到极限弯矩时，整个结构即达到承载力极限状态，这一概念对于脆性材料或静定结构来说是基本符合的。但对于由弹塑性材料制成的超静定结构，当考虑内力重分布进行设计时，达到承载力极限状态的标志不是某一个截面的屈服，而是首先在一个或几个截面出现塑性铰后，随着荷载增加，在其他截面亦陆续出现塑性铰，直到结构的整体或局部形成几何可变体系为止。

(2) 上述例题，按弹性理论计算，结构极限荷载为备 $3/4 F$ ；而按塑性理论计算，结构极限荷载为 F ，这是由于结构达到承载力极限状态标准不同。显然考虑塑性内力重分布的分析方法更接近混凝土超静定结构的实际工作状态。这说明弹塑性材料的超静定结构从出现塑性铰至形成破坏机构之间，其承载力还有相当的储备。

■ 结论

(3) 弹塑性混凝土材料的超静定结构出现塑性铰以前，结构内力与荷载近似为线性关系。当超静定结构“相继”出现塑性铰后，结构内力与荷载为非线性关系，按弹性和塑性两种理论计算的内力分布规律是显著不同的，即产生塑性内力重分布。

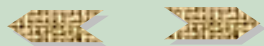
(4) 塑性铰出现的位置、次序及内力重分布程度可以根据需要人为地控制。在第二例中，如荷载不变，但将支座截面配筋减少为 $(2/3)A_s$ 。极限弯矩降为 $M_u=0.22Pl$ ，则经过塑性内力重分布后，跨中1截面总弯矩为 $M_1=0.37Pl$ 。如跨中配筋能满足 M_1 的要求，则梁同样可以承受 $4/3P$ 的集中荷载，只是内力重分布程度较大而已。通过这个数例可知当支座截面的极限弯矩 M_u 低于按弹性理论计算的弯矩 M_B 越多，则其塑性内力重分布程度越大。



■ 结论

(5) 要实现所期望的内力重分布，必须保证塑性铰具有足够的转动能力。从而使结构各截面中能先后出现足够数目的塑性铰，最后形成破坏机构，即实现内力的完全重分布。若最初形成的塑性铰转动能力不足，在其塑性铰尚未全部形成之前，已因某些截面受压区混凝土过早被压坏而导致构件破坏，则使其不能达到完全内力重分布的目的，在设计中应予以避免。

塑性铰的转动能力，主要取决于纵筋的配筋率 ρ (或以截面的相对受压区高度 ξ 表示)，其次是钢筋的种类及混凝土的极限压应变。随 ξ 的增大，塑性铰的转动能力急剧降低， ξ 较低时主要取决于钢筋的流幅， ξ 较高时，主要取决于混凝土的极限压应变。



■ 结论

(6) 按弹性理论计算，其内力分布不但符合平衡条件，而且符合变形协调条件。考虑塑性内力重分布计算，虽然仍符合平衡条件，但不再符合变形协调条件，在塑性铰截面处，梁的变形曲线不再连续。因此，梁在产生塑性内力重分布以后，由于塑性铰截面转动，梁的变形及塑性铰区各截面的裂缝开展都较大，所以要控制内力重分布的程度，决不应使梁在使用荷载作用下发生塑性内力重分布。



■ 结构内力重分布的限制条件

(1) 为了保证塑性铰具有足够的转动能力，截面的相对受压区高度 ξ 应满足 $0.1 \leq \xi \leq 0.35$ ；受力钢筋宜采用 HPB235、HRB400级、HRB335级热轧钢筋，混凝土强度等级宜在 C20~C45 范围；

(2) 调幅系数 β 不宜超过 0.2（当 $q/g \leq 1/3$ 时， β 不得超过 0.15）；以保证结构在正常使用荷载作用下不出现塑性铰；

(3) 为使配筋合理，且满足静力平衡条件，应保证：

调幅后跨中截面弯矩 M'_1 ：

$$\frac{|M'_B| + |M'_C|}{2} + M'_1 \geq 1.02M_0$$

调幅后支座、跨中截面弯矩：

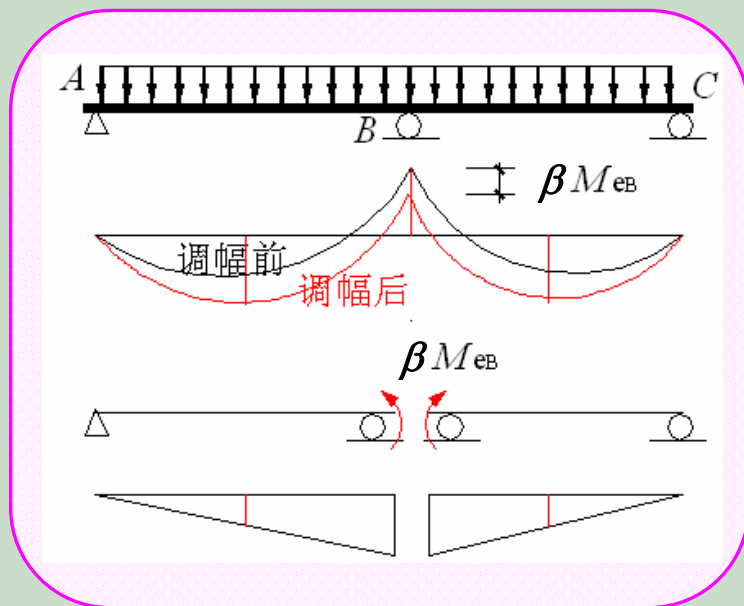
$$|M'| \geq \frac{1}{24}(g + q)l^2$$

(4) 采用按弹性和塑性理论计算剪力中的较大值进行抗剪计算。

- 下列情况不宜采用塑性内力重分布的计算方法
 - (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。

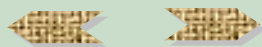


■ 弯矩调幅法



《钢筋混凝土连续梁和
框架考虑内力重分布设计
规程》(CECS51:93)
规定：调幅系数一般为
0.2，且不宜超过0.25。

内力重分布使弹性计算中弯矩最大截面内力减少，弯矩较小截面的内力增大，相当于弯矩调幅。由于塑性铰的转动是有限的，因此调幅量也有限。

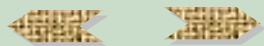


弯矩调幅法计算步骤

- (1) 按弹性分析方法计算内力，按活载最不利分布进行内力组合得出最不利弯矩图；
- (2) 按CECS51:93要求对**支座弯矩调幅**；
- (3) 计算支座弯矩调幅后相应的跨中弯矩值，且此弯矩值不得小于弹性弯矩值。

连续梁各控制截面的剪力设计值

可按荷载最不利布置，根据调整后的支座弯矩用静力平衡条件计算；也可近似取用考虑荷载最不利布置按弹性方法算得的剪力值。



◆ 等跨连续梁板按内力系数法计算

(1) 等跨连续梁

$$M = \alpha_m (g + q) l_0^2 \quad \dots 1.2.3$$

$$V = \alpha_v (g + q) l_n \quad \dots 1.2.4$$

式中， α_m 、 α_v 分别为等跨连续梁的弯矩系数和剪力系数，见表1.1和表1.2。

(2) 等跨连续板

$$M = \alpha_m (g + q) l_0^2 \quad \dots 1.2.3$$

式中， α_m 为等跨连续板的弯矩系数，见表1.1。

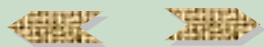


表1.2.1 连续梁和连续单向板的弯矩计算系数 α_m

支承情况		截面位置					
		端 支座	边跨 跨中	距端第二 支座	距端第二 跨跨中	中间 支座	中间跨 跨中
		A	I	B	II	C	III
梁、板搁置 在墙上		0	1/11	2跨连续: -1/10 3跨以上连续: -1/11	1/16	-1/14	1/16
板	-1/16	1/14					
梁	-1/24						
梁与柱整浇 连接		-1/16	1/14				



表1.2.2 连续梁的剪力计算系数 α_v

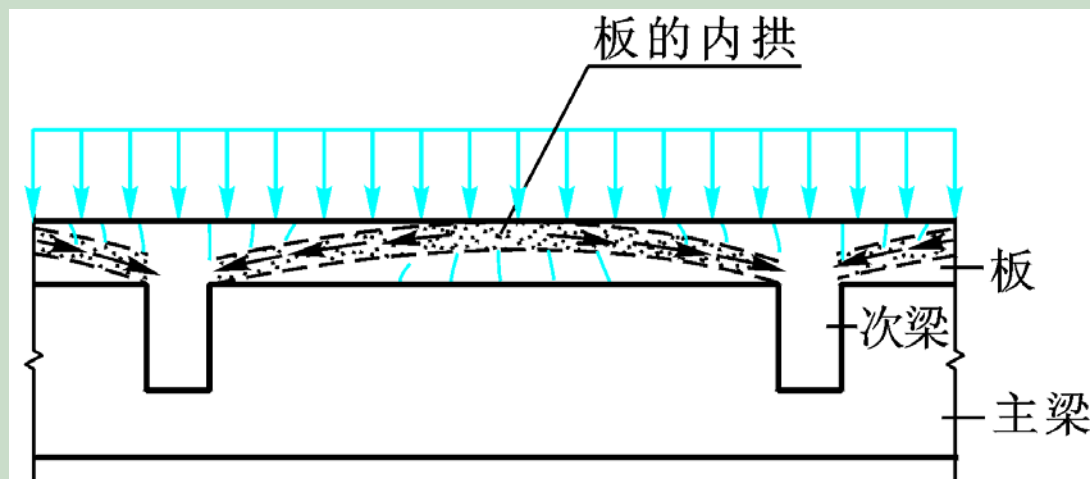
支承情况	截面位置				
	端支座内 侧 A_{in}	距端第二支座		中间支座	
		外侧 B_{ex}	内侧 B_n	外侧 C_{ex}	内侧 C_{in}
搁置 在墙上	0.45	0.60	0.55	0.55	0.55
与梁或柱 整浇连接	0.50	0.55			



➤ 1.2.4 配筋计算与构造要求

■ 1. 板

(1) 配筋计算特点

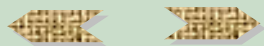


- ❖ 按照《混凝土结构设计原理》第4章所介绍的方法计算受力纵筋，受力纵筋沿短跨方向布置。
- ❖ 一般不验算斜截面承载力。
- ❖ 四周与梁整体连接的单向板，由于拱效应使板中各计算截面弯矩减少，中间跨的跨中截面和中间支座计算弯矩都按减少20%计算，其他截面不减少。



(2) 构造要求

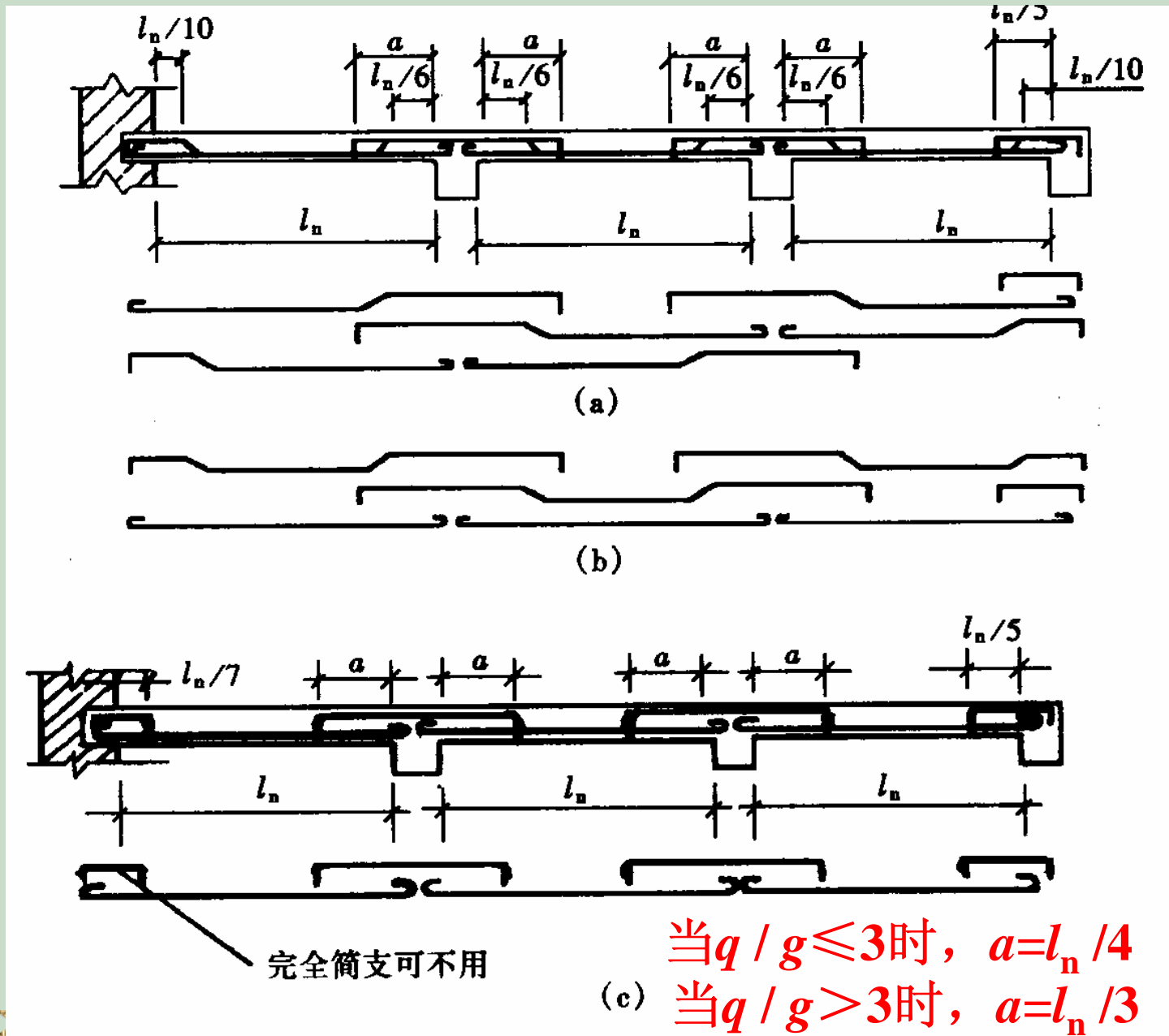
- ❖ 板厚宜尽量薄一些，但不得小于最小厚度。
- ❖ 板的支承长度应满足受力钢筋在支座内的锚固要求，且一般不小于板厚及120 mm。
- ❖ 受力钢筋一般用HPB235级钢筋和LL550级冷轧带肋钢筋，直径常用8 mm、10 mm、12 mm， $70 \text{ mm} \leq \text{间距} \leq 200 \text{ mm}$ 。
- ❖ 受力钢筋可用弯起式或分离式，钢筋的弯起、切断见教材第29页图1.2.14。



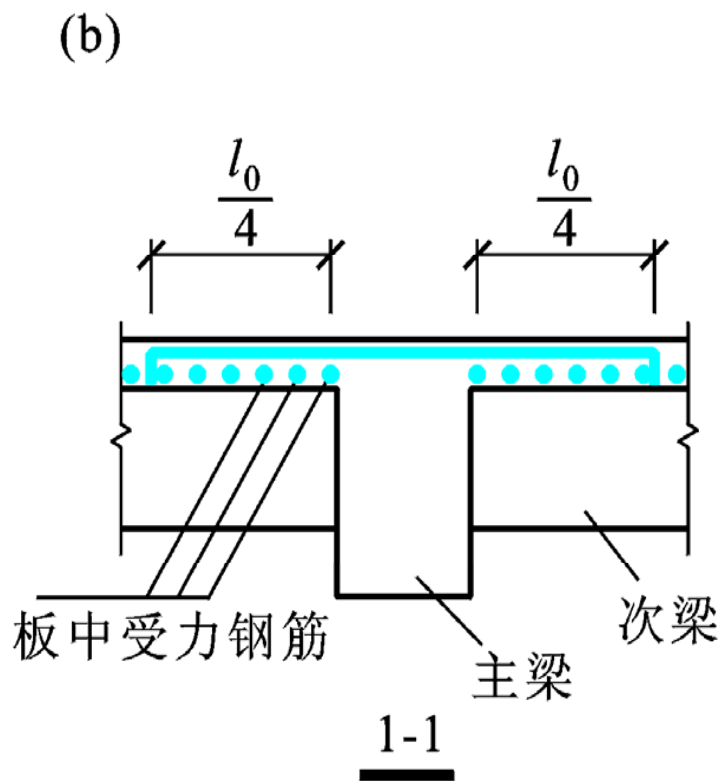
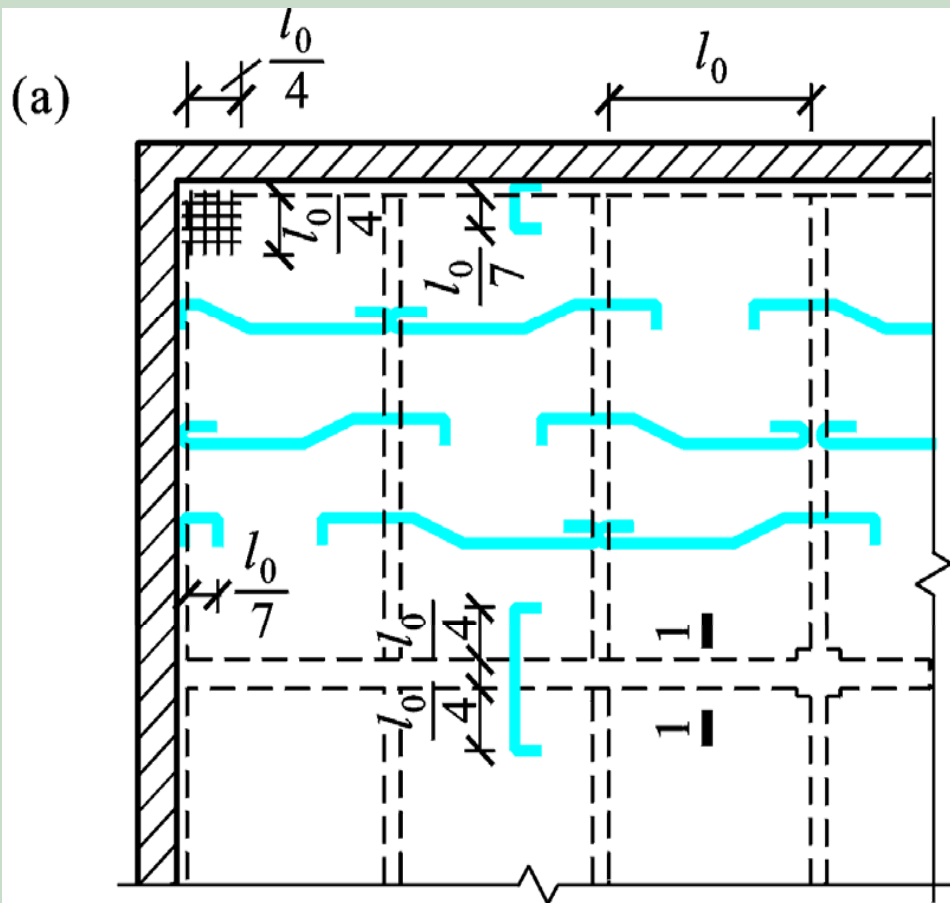
一端弯起式

两端弯起式

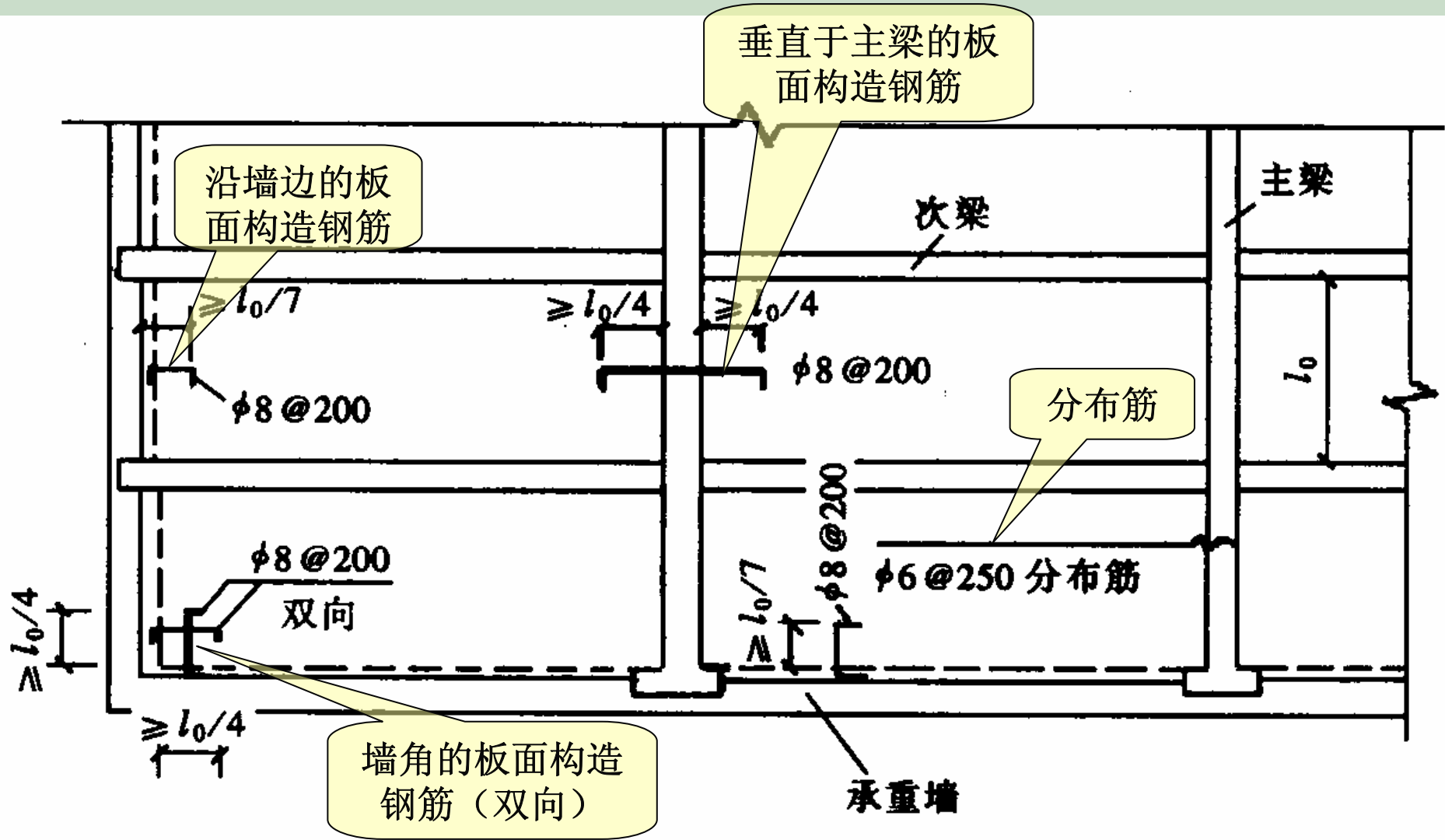
分离式



- ❖ **分布筋**与受力筋方向垂直，每米不小于4根，直径常为8 mm，且截面面积不小于受力钢筋截面面积的15%。
- ❖ 嵌入墙内的板，其**板面应配附加钢筋**。
- ❖ 垂直于主梁的板面应设附加钢筋。



❖ 板的构造钢筋



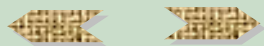
■ 2.次梁

(1) 配筋计算特点

- ❖ 跨中按T形截面计算，支座按矩形截面计算。
- ❖ 正截面按《混凝土结构设计原理》第4章计算，斜截面按该书第5章计算。

(2) 构造要求

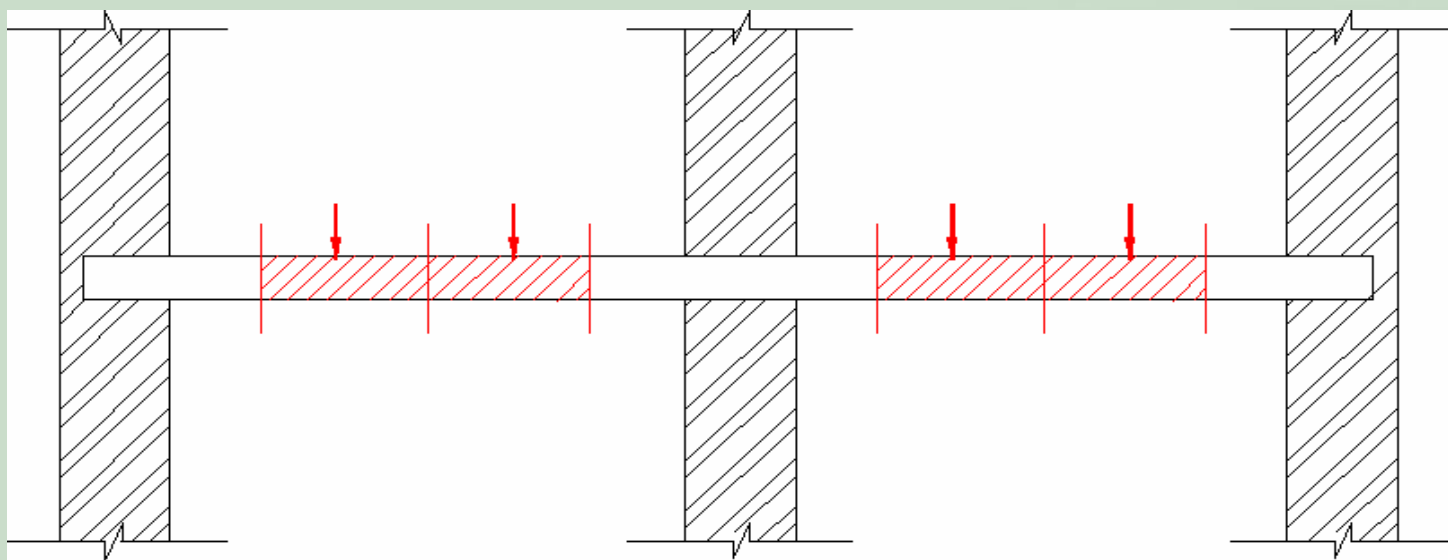
- ❖ 受力钢筋的弯起和切断原则上应按弯矩包络图确定。
- ❖ 对于跨度相差不超过20%、承受均布荷载的次梁，当 $q/g \leq 3$ 时，可按本教材中图1.2.16确定。



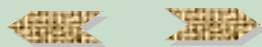
3.主梁

(1) 计算特点

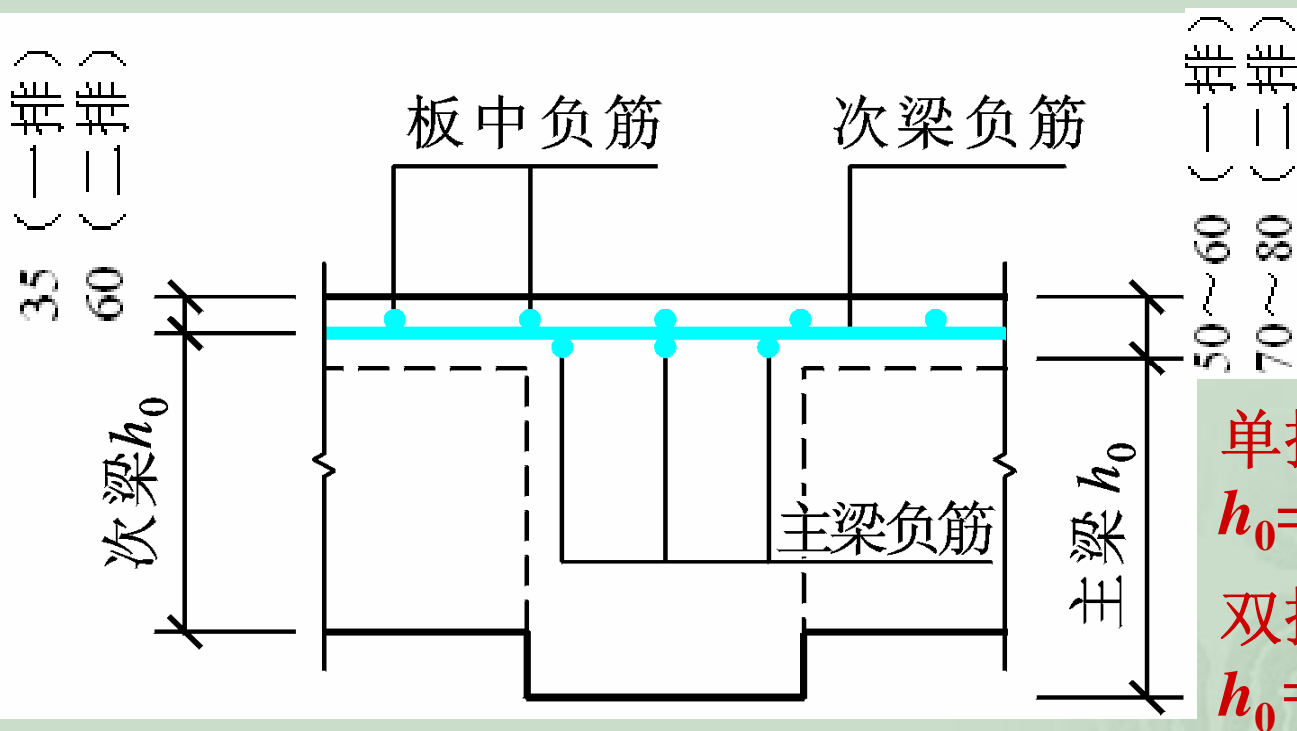
- ❖ 主梁以承受次梁传来的集中荷载为主，为简化计算，可将自重也折算成集中荷载计算。



- ❖ 跨中按T形截面计算，支座按矩形截面计算。
- ❖ 主梁支座处截面有效高度按下图确定。

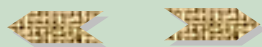


❖ 主梁支座处截面有效高度按下图确定。



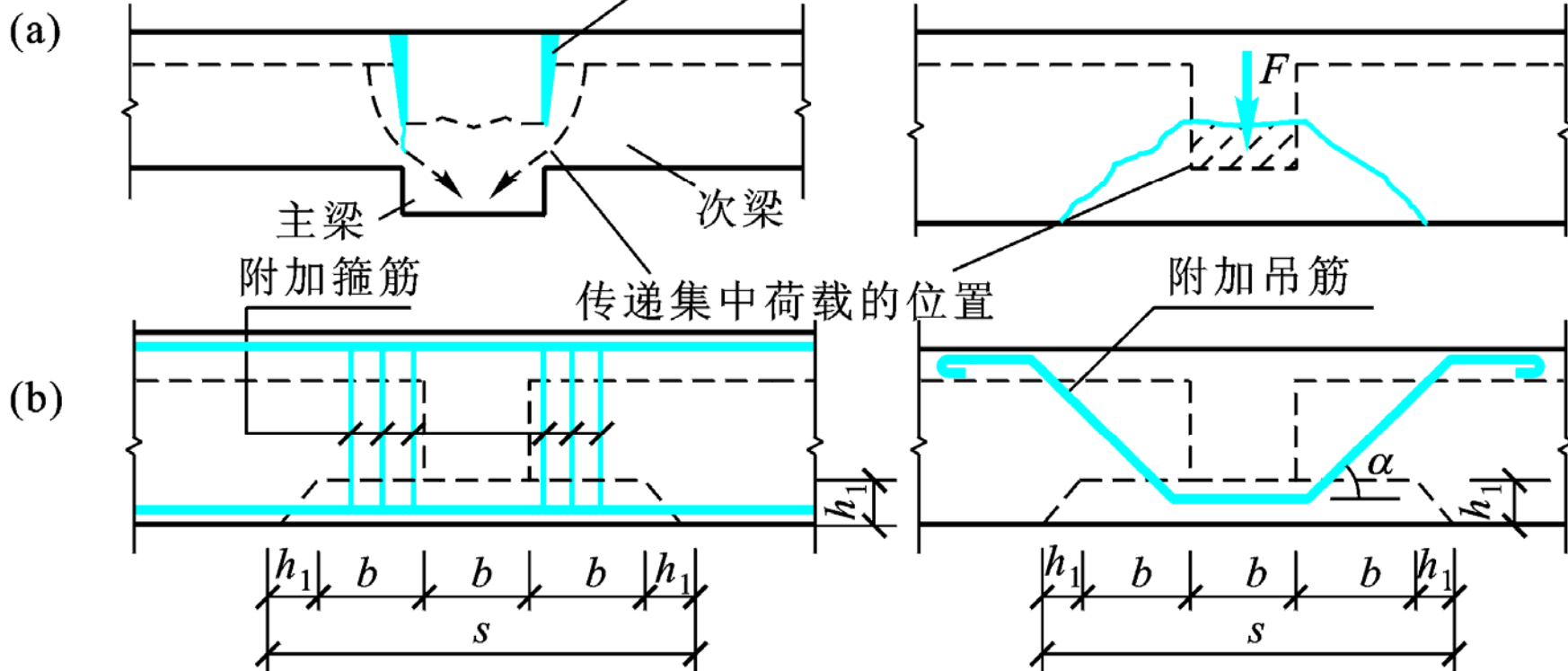
(2) 构造要求

- ❖ 主梁受力钢筋的切断位置要按弯矩包络图确定。
- ❖ 次梁与主梁相交处应设附加钢箍或吊筋。



附加横向钢筋

次梁受拉区裂缝



附加箍筋和吊筋的总截面面积按下式计算:

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

布置范围: $s = 3b + 2h_1$

h_1 ——主次梁的高差。



附加箍筋:

$$m \geq \frac{F}{nf_{yv}A_{sv1}}$$

附加吊筋:

$$A_s \geq \frac{F}{2f_y \sin \alpha}$$

式中, F 为次梁传递给主梁的集中荷载设计值;

f_{yv} 、 f_y 为附加箍筋、吊筋的抗拉强度设计值;

α 为附加吊筋与梁轴线的夹角;

m 、 n 为附加箍筋的排数和肢数。

