



面向 21 世纪 课程教材

高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

# 混凝土结构

下册 混凝土结构设计

东南大学	程文瀾	
同济大学	颜德姮	主编
天津大学	康谷贻	
清华大学	江见鲸	主审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构·下册, 混凝土结构设计/东南大学, 同济大学, 天津大学主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2002

面向 21 世纪课程教材·高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-04843-5

I. 混… II. ①东…②同…③天… III. 混凝土结构-结构设计-高等学校-教材 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 006219 号

本教材分上、下册。上册混凝土结构设计原理, 主要讲述基本理论和基本构件。下册混凝土结构设计, 主要讲述楼盖、单层厂房、多层框架、高层建筑、公路桥梁等的设计方法。

下册共分 5 章, 主要结合新修订的《混凝土结构设计规范》、《建筑荷载规范》、《高层建筑混凝土结构技术规程》报批稿, 以及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》编写。内容有: 楼盖、单层厂房、多层框架、高层建筑、公路桥梁设计的一般原则、梁式桥、拱桥等。

本教材可作为大学本科土木工程专业的专业课教材, 也可供从事混凝土结构设计、制作、施工技术人员参考。

## 面向 21 世纪课程教材

高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

### 混凝土结构

下册 混凝土结构设计

东南大学 程文瀾

同济大学 颜德姮 主编

天津大学 康谷贻

清华大学 江见鲸 主审

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

有色曙光印刷厂印刷

\*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 42 字数: 843 千字

2002 年 4 月第一版 2002 年 4 月第一次印刷

印数: 1—5,000 册 定价: 65.00 元

ISBN 7-112-04843-5

TU·4320 (10322)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

# 目 录

<b>第 12 章 楼盖</b> .....	1
§ 12.1 概述 .....	1
§ 12.2 现浇单向板肋梁楼盖 .....	3
§ 12.3 双向板肋梁楼盖 .....	38
§ 12.4 无梁楼盖 .....	54
§ 12.5 装配式与装配整体式楼盖 .....	62
§ 12.6 楼梯与雨篷 .....	68
思考题 .....	77
习题 .....	80
<b>第 13 章 单层厂房</b> .....	82
§ 13.1 单层厂房的结构型式、结构组成和结构布置 .....	82
§ 13.2 排架计算 .....	96
§ 13.3 单层厂房柱 .....	125
§ 13.4 柱下独立基础 .....	136
§ 13.5 单层厂房屋盖结构 .....	148
§ 13.6 吊车梁 .....	166
思考题 .....	170
习题 .....	170
<b>第 14 章 多层框架结构</b> .....	172
§ 14.1 多层框架结构的组成与布置 .....	172
§ 14.2 框架结构内力与水平位移的近似计算方法 .....	178
§ 14.3 多层框架内力组合 .....	190
§ 14.4 无抗震设防要求时框架结构构件设计 .....	193
§ 14.5 多层框架结构基础 .....	198
§ 14.6 现浇混凝土多层框架结构设计示例 .....	207
思考题 .....	224
习题 .....	224
<b>第 15 章 高层建筑结构</b> .....	226
§ 15.1 概述 .....	226
§ 15.2 高层建筑结构体系与布置原则 .....	230
§ 15.3 高层建筑结构上的作用 .....	240

§ 15.4	剪力墙结构 .....	245
§ 15.5	框架-剪力墙结构 .....	280
§ 15.6	筒体结构 .....	299
§ 15.7	高层建筑结构基础 .....	311
思考题	.....	329
习题	.....	330
<b>第 16 章</b>	<b>混凝土公路桥结构设计</b> .....	<b>332</b>
§ 16.1	桥梁结构设计的一般原则 .....	332
16.1.1	桥梁的结构组成和分类 .....	332
16.1.2	桥梁的总体规划和设计要点 .....	335
16.1.3	公路桥梁的荷载 .....	342
§ 16.2	梁式桥 .....	350
16.2.1	梁式桥的主要类型及适用范围 .....	350
16.2.2	桥面构造 .....	354
16.2.3	板桥 .....	360
16.2.4	装配式 T 形截面简支梁桥的设计与构造 .....	368
16.2.5	装配式组合梁桥 .....	373
§ 16.3	简支梁桥的计算 .....	379
16.3.1	恒荷载产生的主梁内力 .....	379
16.3.2	荷载的横向分布计算 .....	381
16.3.3	活荷载产生的主梁内力 .....	415
16.3.4	主梁内力组合与包络图 .....	420
16.3.5	横隔梁内力计算 .....	421
16.3.6	行车道板内力计算 .....	427
§ 16.4	梁式桥的支座 .....	437
16.4.1	橡胶支座的类型、构造及力学性能 .....	438
16.4.2	盆式橡胶支座 .....	441
16.4.3	板式橡胶支座的设计与计算 .....	442
§ 16.5	拱桥 .....	444
16.5.1	拱桥的特点、组成、类型及适用范围 .....	444
16.5.2	拱桥的构造 .....	453
16.5.3	拱桥的结构设计方案 .....	475
16.5.4	拱桥的计算 .....	493
<b>附录 6</b>	<b>民用建筑楼面活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数</b> ..	<b>518</b>
<b>附录 7</b>	<b>等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表</b> .....	<b>519</b>
附表 7-1	两跨梁 .....	519

附表 7-2	三跨梁 .....	520
附表 7-3	四跨梁 .....	522
附表 7-4	五跨梁 .....	525
<b>附录 8</b>	<b>双向板弯矩、挠度计算系数 .....</b>	<b>529</b>
附表 8-1	四边简支 .....	529
附表 8-2	三边简支一边固定 .....	530
附表 8-3	对边简支对边固定 .....	531
附表 8-4	四边固定 .....	531
附表 8-5	邻边简支邻边固定 .....	532
附表 8-6	三边固定一边简支 .....	532
<b>附录 9</b>	<b>钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距 (m) .....</b>	<b>534</b>
<b>附录 10</b>	<b>单阶柱柱顶反力与水平位移系数值 .....</b>	<b>535</b>
<b>附录 11</b>	<b>规则框架承受均布及倒三角形分布水平力作用时反弯点的 高度比 .....</b>	<b>540</b>
<b>附录 12</b>	<b>箱形基础基底反力系数 .....</b>	<b>546</b>
<b>附录 13</b>	<b>铰接板荷载横向分布影响线竖标表 .....</b>	<b>547</b>
<b>附录 14</b>	<b>G-M 法 <math>K_0</math>、<math>K_1</math>、<math>\mu_0</math>、<math>\mu_1</math> 值的计算用表 .....</b>	<b>559</b>
<b>附录 15</b>	<b>三角形影响线等代荷载表 (<math>\mu=1</math>) .....</b>	<b>566</b>
<b>附录 16</b>	<b>等截面悬链线无铰拱计算用表 .....</b>	<b>573</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>664</b>

# 第 12 章 楼 盖

## § 12.1 概 述

### 12.1.1 单向板与双向板

按受力特点，混凝土楼盖中的周边支承板可分为单向板和双向板两类。只在一个方向弯曲或者主要在一个方向弯曲的板，称为单向板；在两个方向弯曲，且不能忽略任一方向弯曲的板称为双向板。

在图 12-1 所示的承受竖向均布荷载  $q$  的四边简支矩形板中， $l_{02}$ 、 $l_{01}$  分别为其长、短跨方向的计算跨度，现在来研究荷载  $q$  在长、短跨方向的传递情况。取出跨度中点两个相互垂直的宽度为 1 的板带来分析。设沿短跨方向传递的荷载为  $q_1$ ，沿长跨方向传递的荷载为  $q_2$ ，则  $q = q_1 + q_2$ 。当不计相邻板对它们的影响时，这两条板带的受力如同简支梁，由跨度中心点  $A$  处挠度  $f_A$  相等的条件：
$$\frac{5q_1 l_{01}^4}{384EI} =$$

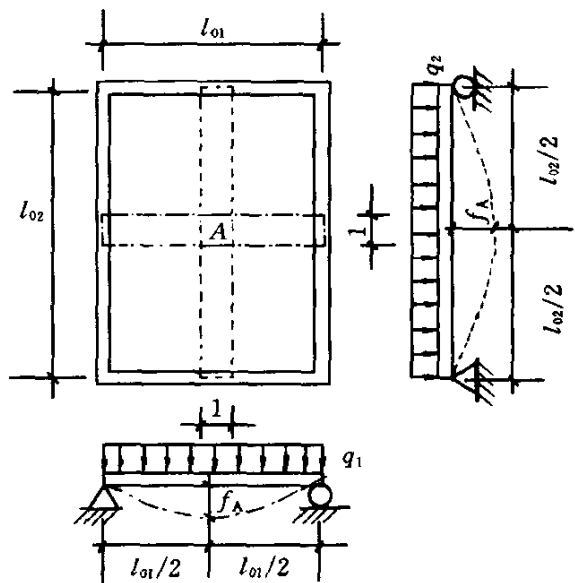


图 12-1 四边支承板的荷载传递

$\frac{5q_2 l_{02}^4}{384EI}$ ，可求得两个方向传递的荷载比值

$$q_1/q_2 = (l_{02}/l_{01})^4$$

故

$$q_1 = \eta_1 q, q_2 = \eta_2 q$$

$$\eta_1 = \frac{l_{02}^4}{l_{01}^4 + l_{02}^4}, \eta_2 = \frac{l_{01}^4}{l_{01}^4 + l_{02}^4}$$

式中  $\eta_1$ 、 $\eta_2$ ——短跨、长跨方向的荷载分配系数。

当  $l_{02}/l_{01} = 2$  时， $\eta_1 = 0.941$ ， $\eta_2 = 0.059$ 。可见，尽管近似地忽略了相邻板的影响，但其受力特性已很显然，即当  $l_{02}/l_{01} > 2$  时，荷载主要沿短跨方向传递，可忽略荷载沿长跨方向的传递。因此当按弹性理论分析时，称  $l_{02}/l_{01} \geq 2$  的板为单向板，即主要在一个跨度方向弯曲的板； $l_{02}/l_{01} < 2$  的板为双向板，即在两个跨度方向弯

曲的板。

荷载分配系数  $\eta_1$ 、 $\eta_2$  也可由板带的竖向弯曲刚度的原理得出。在上册第9章中讲过，使构件截面产生单位曲率需施加的弯矩值称为截面的弯曲刚度。同理可知，使板带产生单位挠度需施加的竖向均布荷载称为此板带的竖向弯曲刚度。因此，两个方向板带的竖向弯曲刚度分别为  $K_1 = \frac{384EI}{5l_{01}^4}$ 、 $K_2 = \frac{384EI}{5l_{02}^4}$ ，故  $\eta_1 = \frac{K_1}{K_1 + K_2} = \frac{l_{02}^4}{l_{01}^4 + l_{02}^4}$ ， $\eta_2 = \frac{l_{01}^4}{l_{01}^4 + l_{02}^4}$ 。可见，竖向均布荷载是按板带竖向弯曲刚度来分配的，竖向弯曲刚度大的分配得多些，反之则少些。

荷载按构件刚度来分配的原理是结构设计中一个重要的概念，在第13章单层厂房、第14章多层框架、第15章高层建筑结构设计中将进一步讲述这个概念。

单向板的计算方法与梁相同，故又称梁式板，一般包括以下三种情况：①悬臂板；②对边支承板；③主要在一个方向受力的四边支承板。

### 12.1.2 楼盖的结构类型

楼盖的结构类型有三种分类方法。

按结构型式，楼盖可分为单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖、井式楼盖、密肋楼盖和无梁楼盖（又称板柱结构），见图12-2。其中，单向板肋梁楼盖和双向板肋梁楼盖用得最普遍。

按预加应力情况，楼盖可分为钢筋混凝土楼盖和预应力混凝土楼盖两种。预

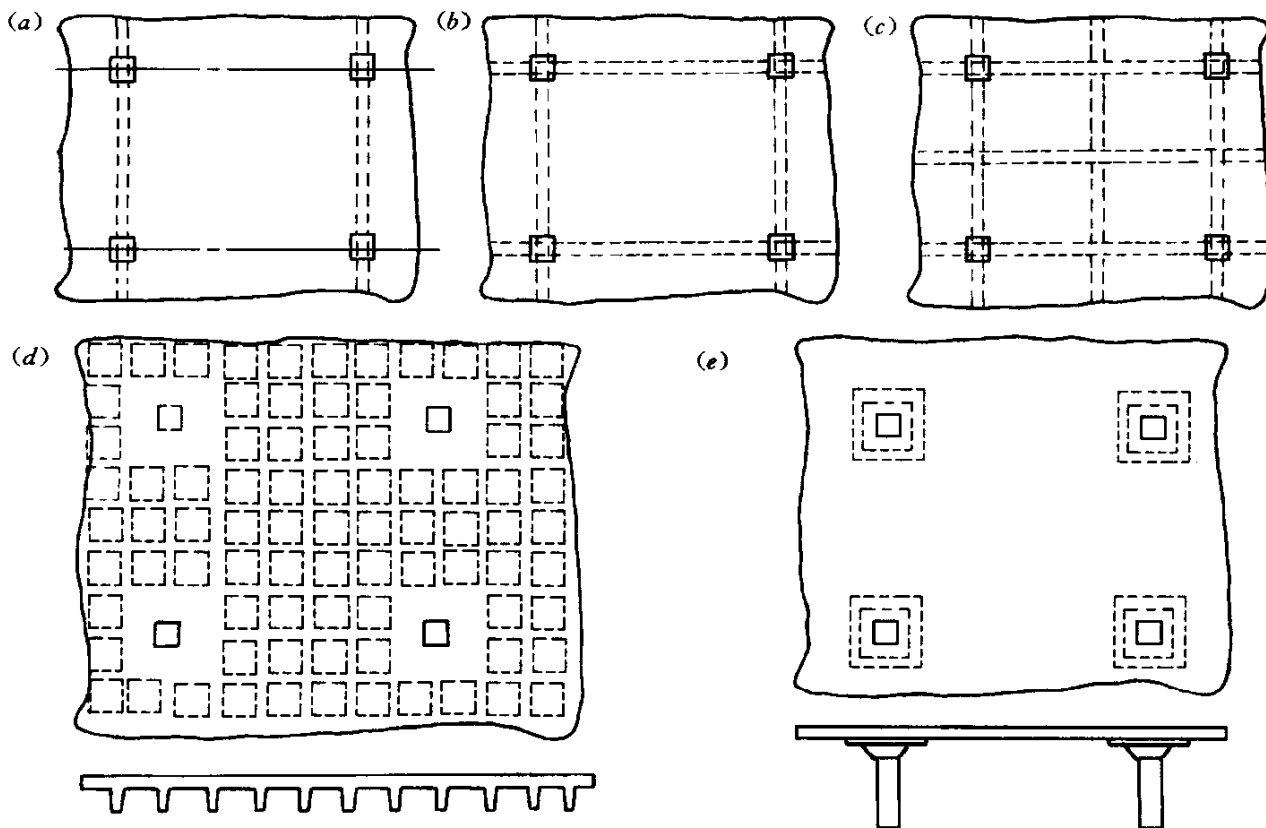


图 12-2 楼盖的结构类型

(a)单向板肋梁楼盖；(b)双向板肋梁楼盖；(c)井式楼盖；(d)密肋楼盖；(e)无梁楼盖



应力混凝土楼盖用得最普遍的是无粘结预应力混凝土平板楼盖；当柱网尺寸较大时，预应力楼盖可有效减小板厚，降低建筑层高。

按施工方法，楼盖可分为现浇楼盖、装配式楼盖和装配整体式楼盖三种。现浇楼盖的刚度大，整体性好，抗震抗冲击性能好，防水性好，对不规则平面的适应性强，开洞容易。缺点是需要大量的模板，现场的作业量大，工期也较长。我国《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程》规定，在高层建筑中，楼盖宜现浇；对抗震设防的建筑，当高度 $\geq 50\text{m}$ 时，楼盖应采用现浇；当高度 $\leq 50\text{m}$ 时，在顶层、刚性过渡层和平面复杂或开洞过多的楼层，也应采用现浇楼盖。

随着商品混凝土、泵送混凝土以及工具式模板的广泛使用，钢筋混凝土结构，包括楼盖在内，大多采用现浇。

目前，我国装配式楼盖主要用在多层砌体房屋，特别是多层住宅中。在抗震设防区，有限制使用装配式楼盖的趋势。装配整体式楼盖是提高装配式楼盖刚度、整体性和抗震性能的一种改进措施，最常见的方法是在板面做40mm厚的配筋现浇层。

## § 12.2 现浇单向板肋梁楼盖

现浇单向板肋梁楼盖的设计步骤为：①结构平面布置，并初步拟定板厚和主、次梁的截面尺寸；②确定梁、板的计算简图；③梁、板的内力分析；④截面配筋及构造措施；⑤绘制施工图。

### 12.2.1 结构平面布置

单向板肋梁楼盖由板、次梁和主梁组成。楼盖则支承在柱、墙等竖向承重构件上。其中，次梁的间距决定了板的跨度；主梁的间距决定了次梁的跨度；柱或墙的间距决定了主梁的跨度。工程实践表明，单向板、次梁、主梁的常用跨度为  
单向板：(1.7~2.5) m，荷载较大时取较小值，一般不宜超过3m；

次梁：(4~6) m；

主梁：(5~8) m。

单向板肋梁楼盖结构平面布置方案通常有以下三种：

(1) 主梁横向布置，次梁纵向布置，如图12-3(a)所示。其优点是主梁和柱可形成横向框架，横向抗侧移刚度大，各榀横向框架间由纵向的次梁相连，房屋的整体性较好。此外，由于外纵墙处仅设次梁，故窗户高度可开得大些，对采光有利。

(2) 主梁纵向布置，次梁横向布置，如图12-3(b)所示。这种布置适用于横向柱距比纵向柱距大得多的情况。它的优点是减小了主梁的截面高度，增加室内净高。

(3) 只布置次梁，不设主梁，如图12-3(c)所示。它仅适用于有中间走道的

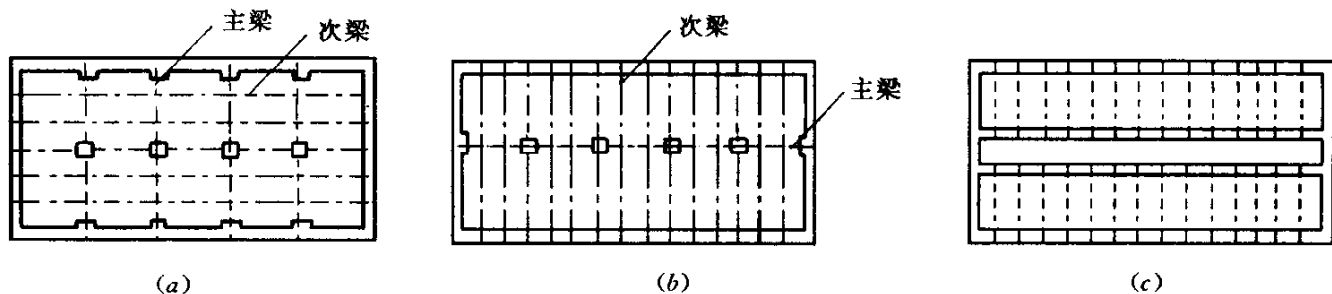


图 12-3 梁的布置

(a) 主梁沿横向布置；(b) 主梁沿纵向布置；(c) 不设主梁

砌体墙承重的混合结构房屋。

在进行楼盖的结构平面布置时，应注意以下问题：

(1) 受力合理。荷载传递要简捷，梁宜拉通，避免凌乱；主梁跨间最好不要只布置 1 根次梁，以减小主梁跨间弯矩的不均匀；尽量避免把梁，特别是主梁搁置在门、窗过梁上；在楼、屋面上有机器设备、冷却塔、悬挂装置等荷载比较大的地方，宜设次梁；楼板上开有较大尺寸（大于 800mm）的洞口时，应在洞口周边设置加劲的小梁。

(2) 满足建筑要求。不封闭的阳台、厨房间和卫生间的板面标高宜低于其他部位 30~50mm（现时，有室内地面装修的，也常做平）；当不做吊顶时，一个房间平面内不宜只放 1 根梁。

(3) 方便施工。梁的截面种类不宜过多，梁的布置尽可能规则，梁截面尺寸应考虑设置模板的方便，特别是采用钢模板时。

### 12.2.2 计算简图

结构物的计算简图包括计算模型及计算荷载两个方面。

#### 1. 计算模型及简化假定

在现浇单向板肋梁楼盖中，板、次梁、主梁的计算模型为连续板或连续梁，其中，次梁是板的支座，主梁是次梁的支座，柱或墙是主梁的支座。为了简化计算，通常作如下简化假定：

- (1) 支座可以自由转动，但没有竖向位移；
- (2) 不考虑薄膜效应对板内力的影响；
- (3) 在确定板传给次梁的荷载以及次梁传给主梁的荷载时，分别忽略板、次梁的连续性，按简支构件计算支座竖向反力；
- (4) 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。

假定支座处没有竖向位移，实际上忽略了次梁、主梁、柱的竖向变形对板、次梁、主梁的影响。柱子的竖向位移主要由轴向变形引起，在通常的内力分析中都是可以忽略的。忽略主梁变形，将导致次梁跨中弯矩偏小、主梁跨中弯矩偏大。当

主梁的线刚度比次梁的线刚度大得多时,主梁变形对次梁内力的影响才比较小。次梁变形对板内力的影响也是这样。如要考虑这种影响,需按交叉梁系进行内力分析,比较复杂。

假定支座可自由转动,实际上忽略了次梁对板、主梁对次梁、柱对主梁的转动约束能力。在现浇混凝土楼盖中,梁、板是整浇在一起的,当板发生弯曲转动时,支承它的次梁将产生扭转,次梁的抗扭刚度将约束板的弯曲转动,使板在支承处的实际转角 $\theta'$ 比理想铰支承时的转角 $\theta$ 小,如图12-4所示。同样的情况发生在次梁和主梁之间。由此假定带来的误差将通过折算荷载的方式来弥补,见下述。

通常混凝土柱是与主梁刚接的,柱对主梁弯曲转动的约束能力取决于主梁线刚度与柱子线刚度之比,当比值较大时,约束能力较弱。一般认为,当主梁的线刚度与柱子线刚度之比大于5时,可忽略这种影响,按连续梁模型计算主梁,否则应按梁、柱刚接的框架模型计算。



图 12-5 板的内拱作用

力一般称为薄膜力。由偏心受压构件正截面承载力理论可知,在一定程度内轴压力将提高构件的受弯承载力。特别是在受拉混凝土开裂后,实际中和轴成拱形(图12-5),板的周边支承构件提供的水平推力将减少板在竖向荷载下的截面弯矩。但是,为了简化计算,在内力分析时,一般不考虑板的薄膜效应。这一有利作用将在板的截面设计时,根据不同的支座约束情况,对板的计算弯矩进行折减,见后述。

在荷载传递过程中,忽略梁、板连续性影响的假定(3),主要是为了简化计算,且误差也不大。

等跨连续梁,当其跨数超过五跨时,中间各跨的内力与第三跨非常接近,为了减少计算工作量,所有中间跨的内力和配筋都可以按第三跨来处理。等跨连续梁的内力有现成的图表可以利用,非常方便。对于非等跨,但跨度相差不超过10%的连续梁也可借用等跨连续梁的内力图表,以简化计算。

## 2. 计算单元及从属面积

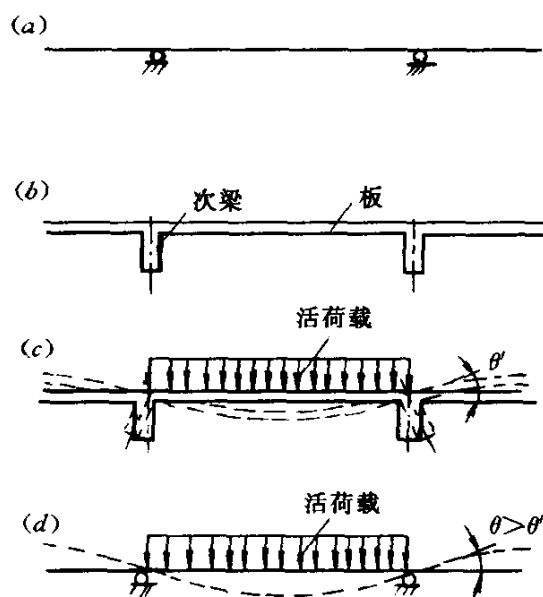


图 12-4 支座抗扭刚度的影响

四周与梁整体连接的低配筋率板,临近破坏时其中和轴非常接近板的表面。因此,在纯弯矩作用下,板的中平面位于受拉区,因周边变形受到约束,板内将存在轴向压力,这种轴向

为减少计算工作量，结构内力分析时，常常不是对整个结构进行分析，而是从实际结构中选取有代表性的一部分作为计算的对象，称为计算单元。

对于单向板，可取 1m 宽度的板带作为其计算单元，在此范围内，即图 12-6 中用阴影线表示的楼面均布荷载便是该板带承受的荷载，这一负荷范围称为从属面积，即计算构件负荷的楼面面积。

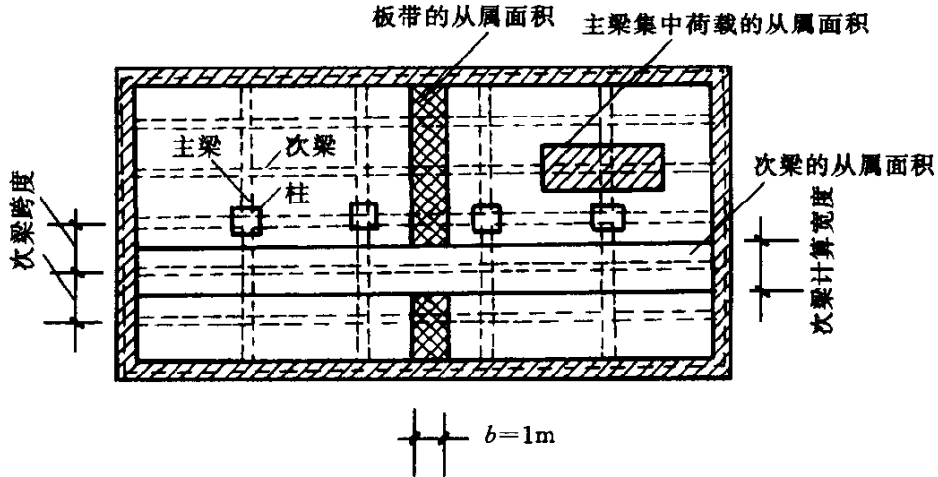


图 12-6 板、梁的荷载计算范围

楼盖中部主、次梁截面形状都是两侧带翼缘（板）的 T 形截面，每侧翼缘板的计算宽度取与相邻梁中心距的一半。次梁承受板传来的均布线荷载，主梁承受次梁传来的集中荷载，由上述假定（3）可知，一根次梁的负荷范围以及次梁传给主梁的集中荷载范围如图 12-6 所示。

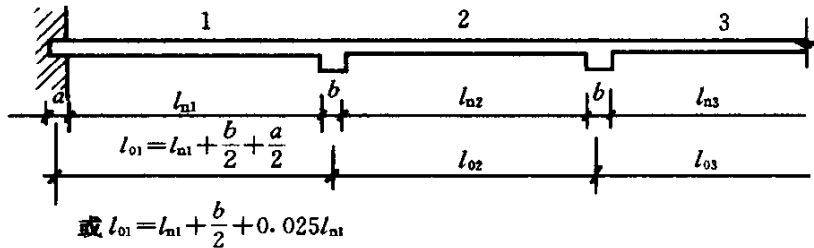


图 12-7 计算跨度

### 3. 计算跨度

由图 12-6 知，次梁的间距就是板的跨长，主梁的间距就是次梁的跨长，但不一定就等于计算跨度。梁、板的计算跨度  $l_0$  是指内力计算时所采用的跨

间长度。从理论上讲，某一跨的计算跨度应取为该跨两端支座处转动点之间的距离。所以当按弹性理论计算时，中间各跨取支承中心线之间的距离；边跨由于端支座情况有差别，与中间跨的取值方法不同。如果端部搁置在支承构件上，支承长度为  $a$ ，则对于梁，伸进边支座的计算长度可在  $0.025l_{n1}$  和  $a/2$  两者中取小值，即边跨计算长度在  $\left(1.025l_{n1} + \frac{b}{2}\right)$  与  $\left(l_{n1} + \frac{a+b}{2}\right)$  两者中取小值，如图 12-7 所示；对于板，边跨计算长度在  $\left(1.025l_{n1} + \frac{b}{2}\right)$  与  $\left(l_{n1} + \frac{h+b}{2}\right)$  两者中取小值。梁、板在边支座与支承构件整浇时，边跨也取支承中心线之间的距离。这里， $l_{n1}$  为梁、板边跨的净跨长， $b$  为第一内支座的支承宽度， $h$  为板厚。

### 4. 荷载取值

楼盖上的荷载有恒荷载和活荷载两类。恒荷载包括结构自身重力、建筑面层、固定设备等。活荷载包括人群、堆料和临时设备等。

恒荷载的标准值可按其几何尺寸和材料的重力密度计算。民用建筑楼面上的均布活荷载标准值可以从《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的有关表格中查得。工业建筑楼面活荷载,在生产、使用或检修、安装时,由设备、管道、运输工具等产生的局部荷载,均应按实际情况考虑,可采用等效均布活荷载代替。

确定荷载效应组合的设计值时,恒荷载的分项系数取为:当其效应对结构不利时,对由活荷载效应控制的组合,取 1.2,对由恒荷载效应控制的组合,取 1.35;当其效应对结构有利时,对结构计算,取 1.0,对倾覆和滑移验算取 0.9。活荷载的分项系数一般情况下取 1.4,对楼面活荷载标准值大于  $4\text{kN/m}^2$  的工业厂房楼面结构的活荷载,取 1.3。

对于民用建筑,当楼面梁的负荷范围较大时,负荷范围内同时布满活荷载标准值的可能性相当小,故可以对活荷载标准值进行折减。折减系数依据房屋的类别和楼面梁的负荷范围大小,从 0.6~1.0 不等。

已如前述,计算假定(1)忽略了支座对被支承构件的转动约束,这对等跨连续梁、板在恒荷载作用下带来的误差是不大的,但在活荷载不利布置下,次梁的转动将减小板的内力。为了使计算结果比较符合实际情况,且为了简单,采取增大恒荷载、相应减小活荷载,保持总荷载不变的方法来计算内力,以考虑这种有利影响。同理,主梁的转动势必也将减小次梁的内力,故对次梁也采用折算荷载来计算次梁的内力,但折算得少些。

折算荷载的取值如下:

$$\text{连续板} \quad g' = g + \frac{q}{2}; \quad q' = \frac{q}{2} \quad (12-1)$$

$$\text{连续梁} \quad g' = g + \frac{q}{4}; \quad q' = \frac{3q}{4} \quad (12-2)$$

式中  $g$ 、 $q$ ——单位长度上恒荷载、活荷载设计值;

$g'$ 、 $q'$ ——单位长度上折算恒荷载、折算活荷载设计值。

当板或梁搁置在砌体或钢结构上时,则荷载不作调整。

### 12.2.3 连续梁、板按弹性理论的内力计算

#### 1. 活荷载的不利布置

活荷载是以一跨为单位来改变其位置的,因此在设计连续梁、板时,应研究活荷载如何布置将使梁、板内某一截面的内力绝对值最大,这种布置称为活荷载的最不利布置。

由弯矩分配法知,某一跨单独布置活荷载时,①本跨支座为负弯矩,相邻跨支座为正弯矩,隔跨支座又为负弯矩;②本跨跨中为正弯矩,相邻跨跨中为负弯矩,隔跨跨中又为正弯矩。

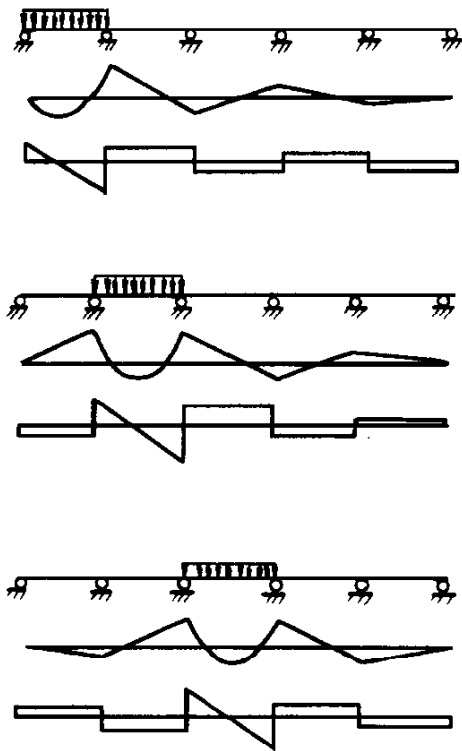


图 12-8 单跨承载时  
连续梁的内力图

图 12-8 是五跨连续梁，单跨布置活荷载时的弯矩  $M$  和剪力  $V$  的图形。研究图 12-8 的弯矩和剪力分布规律以及不同组合后的效果，不难发现活荷载最不利布置的规律：

(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) 求某支座绝对值最大的负弯矩时，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。

## 2. 内力计算

明确活荷载不利布置后，可按《结构力学》中讲述的方法求出弯矩和剪力。对于等跨连续梁，可由附录 7 查出相应的弯矩、剪力系数，利用下列公式计算跨内或支座截面的最大内力

均布及三角形荷载作用下：

$$\left. \begin{aligned} M &= k_1 g l^2 + k_2 q l^2 \\ V &= k_3 g l^2 + k_4 q l^2 \end{aligned} \right\} \quad (12-3)$$

集中荷载作用下：

$$\left. \begin{aligned} M &= k_5 G l + k_6 P l \\ V &= k_7 G + k_8 P \end{aligned} \right\} \quad (12-4)$$

式中  $g$ 、 $q$ ——单位长度上的均布恒荷载设计值、均布活荷载设计值；

$G$ 、 $P$ ——集中恒荷载设计值、集中活荷载设计值；

$l$ ——计算跨度；

$k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_5$ 、 $k_6$ ——附录 7 中相应栏中的弯矩系数；

$k_3$ 、 $k_4$ 、 $k_7$ 、 $k_8$ ——附录 7 中相应栏中的剪力系数。

## 3. 内力包络图

求出了支座截面和跨内截面的最大弯矩值、最大剪力值后，就可进行截面设计。但这只能确定支座截面和跨内的配筋，而不能确定钢筋在跨内的变化情况，例如上部纵向筋的切断与下部纵向钢筋的弯起，为此就需要知道每一跨内其他截面最大弯矩和最大剪力的变化情况，即内力包络图。

内力包络图由内力叠合图形的外包线构成。现以承受均布线荷载的五跨连续梁的弯矩包络图来说明。根据活荷载的不同布置情况，每一跨都可以画出四个弯矩图形，分别对应于跨内最大正弯矩、跨内最小正弯矩（或负弯矩）和左、右支座截面的最大负弯矩。当端支座是简支时，边跨只能画出三个弯矩图形。把这些

弯矩图形全部叠画在一起，就是弯矩叠合图形。弯矩叠合图形的外包线所对应的弯矩值代表了各截面可能出现的弯矩上、下限，如图 12-9 (a) 所示。由弯矩叠合图形外包线所构成的弯矩图称作弯矩包络图，即图 12-9 (a) 中用加黑线表示的。

同理可画出剪力包络图，如图 12-9 (b) 所示。剪力叠合图形可只画两个：左支座最大剪力和右支座最大剪力。

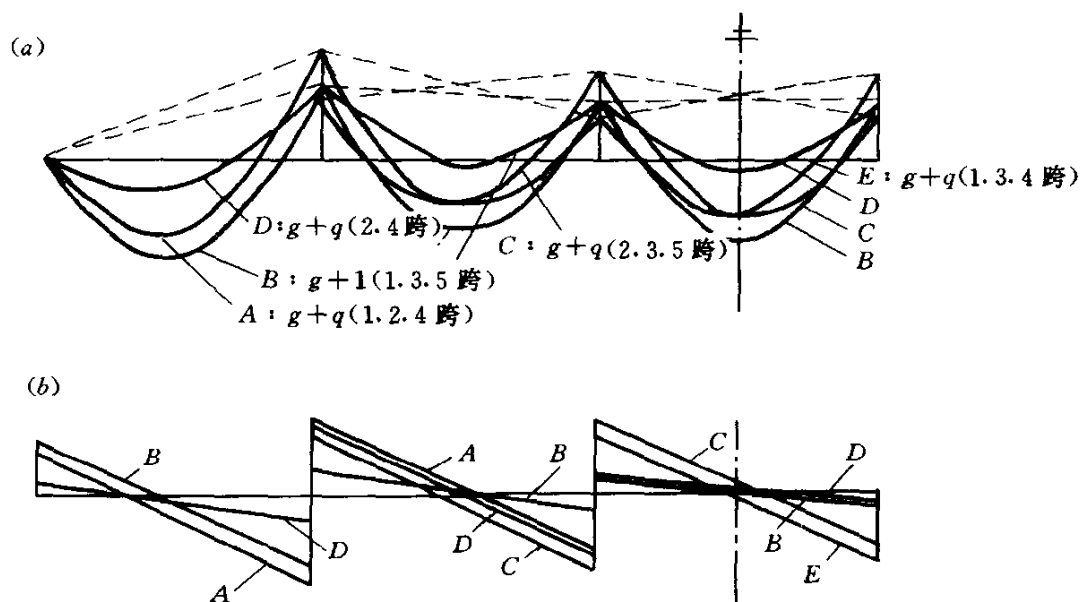


图 12-9 内力包络图

#### 4. 支座弯矩和剪力设计值

按弹性理论计算连续梁内力时，中间跨的计算跨度取为支座中心线间的距离，故所求得的支座弯矩和支座剪力都是指支座中心线的。实际上，正截面受弯承载力和斜截面承载力的控制截面应在支座边缘，内力设计值应以支座边缘截面为准，故取

$$\text{弯矩设计值: } M = M_c - V_0 \cdot \frac{b}{2} \quad (12-5)$$

剪力设计值:

$$\text{均布荷载 } V = V_c - (g+q) \cdot \frac{b}{2} \quad (12-6)$$

$$\text{集中荷载 } V = V_c \quad (12-7)$$

式中  $M_c$ 、 $V_c$ ——支承中心处的弯矩、剪力设计值；

$V_0$ ——按简支梁计算的支座剪力设计值（取绝对值）；

$b$ ——支座宽度。

### 12.2.4 超静定结构塑性内力重分布的概念

#### 1. 应力重分布与内力重分布

上册第 4 章中讲过，适筋梁正截面受弯的全过程分为三个阶段：弹性阶段、带裂缝工作阶段、破坏阶段。在弹性阶段，应力沿截面高度的分布近似为直线，到

了带裂缝阶段和破坏阶段，应力沿截面高度的分布就不再是直线了。这种由于钢筋混凝土的非弹性性质，使截面上应力的分布不再服从线弹性分布规律的现象，称为应力重分布。

应力重分布是指截面上应力之间的非弹性关系，它是静定的和超静定的钢筋混凝土结构都具有的一种基本属性。

支座反力和内力可以由静力平衡条件确定的结构是静定结构。静定结构中，各截面内力，如弯矩、剪力、轴向力等是与荷载成正比的，各截面内力之间的关系是不会改变的。

除静力平衡条件外，还需按变形协调条件才能确定内力的结构是超静定结构。超静定钢筋混凝土结构在弹性工作阶段各截面内力之间的关系是由各构件弹性刚度确定的；到了带裂缝工作阶段，刚度就改变了，裂缝截面的刚度小于未开裂截面的；当内力最大的截面进入破坏阶段出现塑性铰后，结构的计算简图也改变了，致使各截面内力间的关系改变得更大。这种由于超静定钢筋混凝土结构的非弹性性质而引起的各截面内力之间的关系不再遵循线弹性关系的现象，称为内力重分布或塑性内力重分布。

可见，塑性内力重分布不是指截面上应力的重分布，而是指超静定结构截面内力间的关系不再服从线弹性分布规律而言的，静定的钢筋混凝土结构不存在塑性内力重分布。

## 2. 混凝土受弯构件的塑性铰

为了简单，先以简支梁来说明。图 12-10 (a) 为混凝土受弯构件截面的  $M-\phi$  曲线，图 12-10 (b) 为简支梁跨中作用集中荷载，在不同荷载值下的弯矩图。图中， $M_y$  是受拉钢筋刚屈服时的截面弯矩， $M_u$  是极限弯矩，即截面受弯承载力； $\phi_y$ 、 $\phi_u$  是对应的截面曲率。在破坏阶段，由于受拉钢筋已屈服，塑性应变增大而钢筋应力维持不变。随着截面受压区高度的减小，内力臂略有增大，截面的弯矩也有所增加，但弯矩的增量 ( $M_u - M_y$ ) 不大，而截面曲率的增值 ( $\phi_u - \phi_y$ ) 却很大，在  $M-\phi$  图上大致是一条水平线。这样，在弯矩基本维持不变的情况下，截面曲率激增，形成了一个能转动的“铰”，这种铰称为塑性铰。

当跨中截面弯矩从  $M_y$  发展到  $M_u$  的过程中，与它相邻的一些截面也进入“屈服”产生塑性转动。在图 12-10 (b) 中， $M \geq M_y$  的部分是塑性铰的区域（由于钢筋与混凝土间粘结力的局部破坏，实际的塑性铰区域更大）。通常把这一塑性变形集中产生的区域理想化为集中于一个截面上的塑性铰，该范围称塑性铰长度  $l_p$ ，所产生的转角称为塑性铰的转角  $\theta_p$ 。

可见，塑性铰在破坏阶段开始时形成，它是有一定长度的，它能承受一定的弯矩，并在弯矩作用方向转动，直至截面破坏。

与结构力学中的理想铰相比较，塑性铰有三个主要区别：①理想铰不能承受任何弯矩，而塑性铰则能承受基本不变的弯矩 ( $M_y \sim M_u$ )；②理想铰集中于一点，



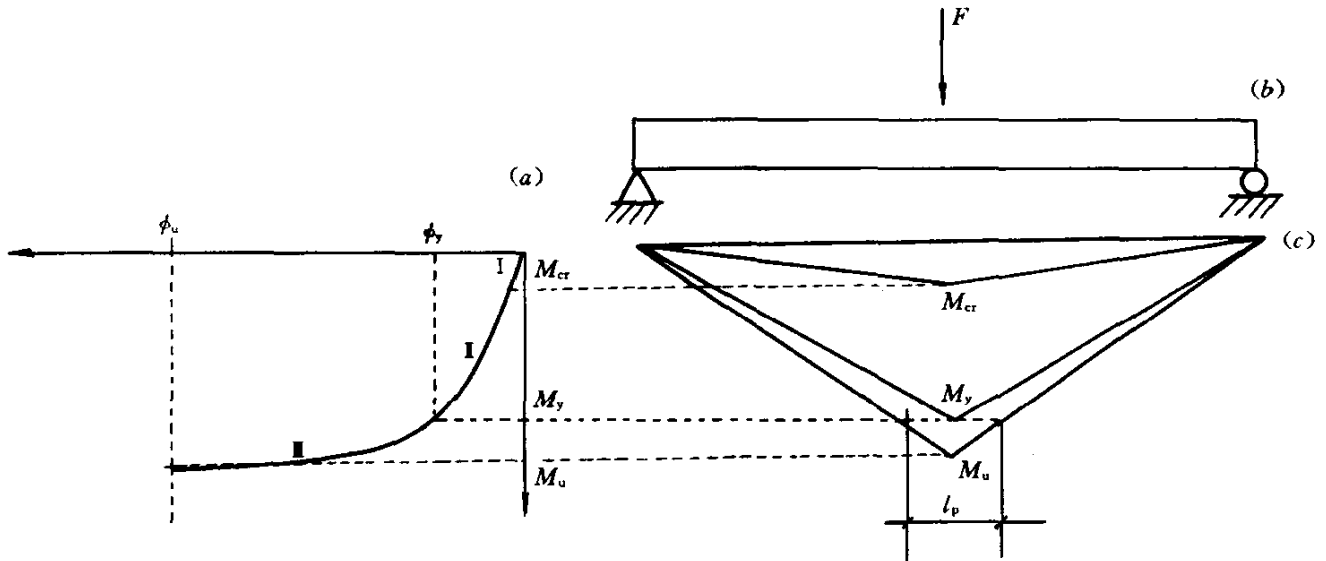


图 12-10 塑性铰的形成

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。

塑性铰有钢筋铰和混凝土铰两种。对于配置具有明显屈服点钢筋的适筋梁，塑性铰形成的起因是受拉钢筋先屈服，故称为钢筋铰。当截面配筋率大于界限配筋率，此时钢筋不会屈服，转动主要由受压区混凝土的非弹性变形引起，故称混凝土铰，它的转动量很小，截面破坏突然。混凝土铰大都出现在受弯构件的超筋截面或小偏心受压构件中，钢筋铰则出现在受弯构件的适筋截面或大偏心受压构件中。

显然，在混凝土超静定结构中，塑性铰的出现就意味着承载能力的丧失，是不允许的，但在超静定混凝土结构中，不会把结构变成几何可变体系的塑性铰是允许的。为了保证结构有足够的变形能力，塑性铰应设计成转动能力大，延性好的钢筋铰。

下面讨论塑性铰的转角和等效塑性铰长度。

图 12-11 示出了连续梁的一部分，A 是梁弯矩图形的反弯点，B 是中柱边缘。现在来研究当截面 B 的弯矩达到极限弯矩  $M_u$  时，截面 B 附近塑性铰的情况。图 12-11(c) 中的实线是 B 截面弯矩达到  $M_u$  时（相应曲率为  $\phi_u$ ），沿梁长各截面曲率的实际分布曲线。可以看出，曲线是波动的：在梁的开裂截面处，出现峰值；两裂

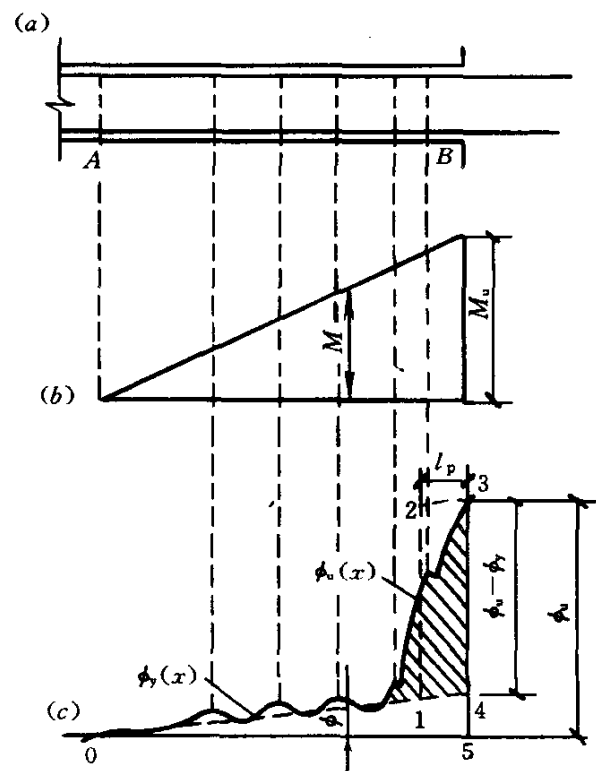


图 12-11 极限弯矩时梁的曲率分布