

城乡建设电视中专教材

# 建 筑 结 构

(下 册)

郭继武 黎 钟 编

中国建筑工业出版社

## 前 言

本书是根据城乡建设电视中专“建筑施工与管理”专业一九八六级教学计划的要求编写的教材。全书分上下两册。下册包括：整体式钢筋混凝土楼盖设计，砌体结构，钢结构和木结构。

在编写本书时，力求做到内容由浅入深，循序渐近，少而精和理论联系实际的原则，为了便于读者掌握本书内容，每章均附有例题、思考题和习题。供读者参考。

本教材是参照我国《建筑结构设计统一标准》（GBJ68—84）和新修订的各种结构设计规范（送审稿）编写的。由于这些规范目前尚未最后定稿，本教材与正式颁布的规范内容可能有不一致之处。因此，工程设计应以正式颁布的规范内容为准。

本书下册整体式钢筋混凝土楼盖设计和砌体结构由郭继武编写，钢结构和木结构由黎钟编写。

本书钢筋混凝土结构和砌体结构部分由广州建筑工程学校庄广行审查，钢结构部分由国家标准钢结构设计规范管理组罗邦富审查，木结构部分由重庆建筑工程学院黄绍胤审查。

由于编写本教材时间仓促，同时限于编者的水平，书中可能有不少缺点和不妥之处，请使用本教材的老师 and 读者给予批评指正。

编 者

1987年8月于北京

本书是城乡建设电视中专“建筑施工与管理”专业教材。全书分上下两册。下册内容包括：整体式钢筋混凝土楼盖设计，砌体结构，钢结构及木结构。

本教材是参照我国《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)和新修订的各种结构设计规范(送审稿)编写的。书中全部采用国务院颁布的《法定计量单位》。为了便于读者熟悉法定计量单位，上册附有法定计量单位与习用非法定计量单位换算关系表。

为了便于读者掌握书中所介绍的基本理论与计算方法，各章附有例题、思考题和习题，供读者参考。

本书除供城乡建设电视中专师生使用外，亦可作为全日制中专工民建专业的试用教材和供土建专业工程技术人员参考。

城乡建设电视中专教材  
建 筑 结 构  
(下 册)  
郭继武 黎 钟 编

\*  
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

\*  
开本：787×1092毫米 1/16 印张：24<sup>3</sup>/<sub>4</sub>插页：1 字数：602 千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷

印数：1—30,080册 定价：4.80元

ISBN7—112—00296—6/G·56

统一书号：15040·5497

# 目 录

<b>第一篇 钢筋混凝土结构</b>		§ 3-5 单层房屋墙、柱强度的验算·····108
<b>第九章 整体式钢筋混凝土楼盖设计</b> ····· 1		§ 3-6 一般构造要求·····114
§ 9-1 概述····· 1		<b>第三篇 钢 结 构</b>
§ 9-2 肋形楼盖的受力体系····· 2		<b>第一章 钢结构的应用及按极限</b>
§ 9-3 单向板肋形楼盖的计算简图····· 3		<b>状态设计</b> ·····117
§ 9-4 钢筋混凝土连续梁的内力计算····· 3		§ 1-1 钢结构的特点·····117
§ 9-5 单向板的计算与构造·····12		§ 1-2 钢结构的应用·····117
§ 9-6 次梁的计算与构造·····15		§ 1-3 接近似概率极限状态设计·····118
§ 9-7 主梁的计算与构造·····16		<b>第二章 建筑钢材</b> ·····125
§ 9-8 单向板楼盖计算例题·····19		§ 2-1 钢材的生产·····125
§ 9-9 双向板的计算与构造·····29		§ 2-2 建筑钢材力学基本性能·····126
§ 9-10 现浇钢筋混凝土楼梯·····41		§ 2-3 钢材力学性能的主要指标·····127
<b>附录 I 均布荷载和集中荷载作用下等跨</b>		§ 2-4 钢材的化学成分·····129
<b>连续梁的内力系数</b> ·····49		§ 2-5 三向应力作用下钢材的受力性能·····130
		§ 2-6 其它因素对钢材性能的影响·····130
		§ 2-7 重复荷载作用下疲劳计算的概念·····132
		§ 2-8 建筑钢材的品种、标号和规格·····135
		<b>第三章 钢结构连接</b> ·····138
		§ 3-1 焊接连接的特点·····138
		§ 3-2 焊接的受力分析和计算·····144
		§ 3-3 普通螺栓连接·····154
		§ 3-4 高强度螺栓连接·····161
		<b>第四章 柱及受轴向力构件</b> ·····166
		§ 4-1 概述·····166
		§ 4-2 工字形轴心受压实腹柱·····167
		§ 4-3 轴心受压格构柱·····176
		§ 4-4 柱头和柱脚·····183
		§ 4-5 拉弯和压弯构件的计算·····191
		<b>第五章 梁的设计</b> ·····197
		§ 5-1 概述·····197
		§ 5-2 梁的强度计算·····198
		§ 5-3 梁的整体稳定·····201
		§ 5-4 梁的刚度·····207
		§ 5-5 型钢梁的设计·····208
		§ 5-6 工字形组合梁的设计·····211
		§ 5-7 梁的支座连接·····224
<b>第二篇 砌 体 结 构</b>		
<b>第一章 砌体材料及其力学性能</b> ·····57		
§ 1-1 块材 ·····57		
§ 1-2 砂浆·····59		
§ 1-3 砌体抗压强度·····60		
§ 1-4 砌体结构按承载能力计算基本 表达式·····62		
§ 1-5 砌体轴心抗拉、弯曲抗拉及 抗剪强度·····66		
§ 1-6 砌体的弹性模量·····68		
§ 1-7 块材及砂浆的选择·····68		
<b>第二章 砌体结构构件强度计算</b> ·····70		
§ 2-1 受压构件强度计算·····70		
§ 2-2 轴心受拉、受弯、受剪构件 的强度计算·····78		
§ 2-3 砌体局部受压强度计算·····81		
<b>第三章 混合结构房屋的墙、柱设计</b> ·····89		
§ 3-1 墙体承重体系·····89		
§ 3-2 房屋静力计算方案及其计算简图·····91		
§ 3-3 墙、柱高厚比的验算·····95		
§ 3-4 多层刚性方案房屋墙、 柱强度的验算·····99		

§ 5-8	檩条设计	225	§ 2-5	压弯构件	320
<b>第六章</b>	<b>钢屋架</b>	<b>230</b>	<b>第三章</b>	<b>屋面结构</b>	<b>324</b>
§ 6-1	钢屋盖系统	230	§ 3-1	屋面构造	324
§ 6-2	屋架的形式及尺寸	236	§ 3-2	屋面荷载	325
§ 6-3	屋架的荷载和内力的计算	238	§ 3-3	屋面板计算	327
§ 6-4	屋架杆件的计算长度和 容许长细比	240	§ 3-4	檩条计算	330
§ 6-5	杆件的截面设计	243	§ 3-5	檩条	332
§ 6-6	节点的设计	247	<b>第四章</b>	<b>木屋架</b>	<b>339</b>
§ 6-7	钢屋架施工图	255	§ 4-1	屋架概述	339
<b>第七章</b>	<b>普通梯形钢屋架设计例题</b>	<b>257</b>	§ 4-2	内力分析与荷载计算	342
附录Ⅲ-1	钢材及焊条的性能	268	§ 4-3	屋架杆件计算	343
附录Ⅲ-2	螺栓截面面积	274	§ 4-4	节点设计	345
附录Ⅲ-3	热轧普通型钢规格	275	§ 4-5	弦杆接头	353
附录Ⅲ-4	组合截面的几何特性	282	<b>第五章</b>	<b>屋架空间支撑及锚固</b>	<b>358</b>
附录Ⅲ-5	轴心受压构件的稳定系数	289	§ 5-1	概述	358
附录Ⅲ-6	疲劳计算的构件和连接分类	293	§ 5-2	横向水平支撑	358
			§ 5-3	垂直支撑	359
			§ 5-4	支撑的设置与锚固	360
			<b>第六章</b>	<b>方木屋架计算例题</b>	<b>364</b>
			附录Ⅳ-1	螺栓和圆钢拉杆规格	379
			附录Ⅳ-2	三角形豪式桁架内力表	379
			附录Ⅳ-3	整圆、半圆及割圆截面几何特征 系数表	382
			附录Ⅳ-4	上下边削深各为 $h_1$ 及 $h_2$ 时割圆截 面几何特征系数表	384
			附录Ⅳ-5	弓形截面面积及弦长表	386
			附录Ⅳ-6	板方材及原木规格	388
			附录Ⅳ-7	在承重木结构中使用新利用树种 木材的设计要求	389
			<b>参考文献</b>		<b>391</b>

#### 第四篇 木 结 构

<b>第一章</b>	<b>建筑结构用木材</b>	<b>297</b>
§ 1-1	结构用木材分类	297
§ 1-2	木材的力学性能	300
§ 1-3	影响木材强度的主要因素	304
§ 1-4	木结构的设计方法及木材设计强度	307
<b>第二章</b>	<b>基本构件计算</b>	<b>310</b>
§ 2-1	轴心受拉构件	310
§ 2-2	轴心受压构件	311
§ 2-3	受弯构件	314
§ 2-4	拉弯构件	319

# 第一篇 钢筋混凝土结构

## 第九章 整体式钢筋混凝土楼盖设计

### § 9-1 概 述

整体式楼盖是指在现场整体浇筑的楼盖。它具有整体性好、刚度大，防水性能好，可适应各种特殊的结构布置要求，施工不需要大型吊装机具等优点，常用于对抗震、防渗、防漏，和刚度要求较高以及平面形状复杂的建筑。但这种楼盖也存在着耗费模板多，工期长，受施工季节影响较大等缺点。

整体式钢筋混凝土楼盖常见的形式有：

#### 一、肋形楼盖

这种楼盖由板、次梁、主梁（有时没有主梁）组成（图9-1）。它是整体式楼盖中最常见的结构形式。除用于建造楼盖外，也用于建造筏形基础、挡土墙、储水池的顶板和底板以及桥梁等结构。因此，肋形楼盖的设计和计算原理在工程中具有普遍的意义。

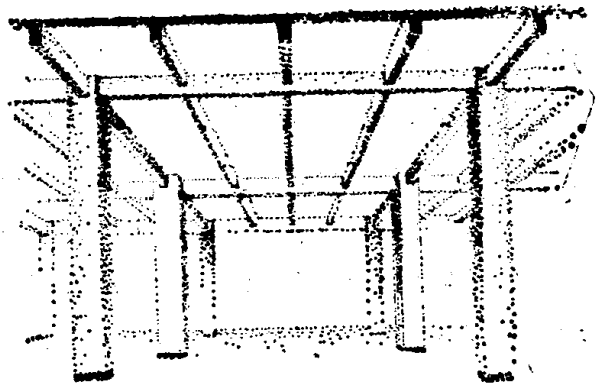


图 9-1 肋形楼盖

#### 二、井式楼盖

当房间平面形状接近正方形或柱网两个方向的尺寸接近相等时，由于建筑艺术的要求，常将两个方向的梁做成不分主次的等高梁，相互交叉，形成井式楼盖（图9-2）。这种楼盖的板和梁，在两个方向的受力比较均匀，常用于公共建筑的大厅等。

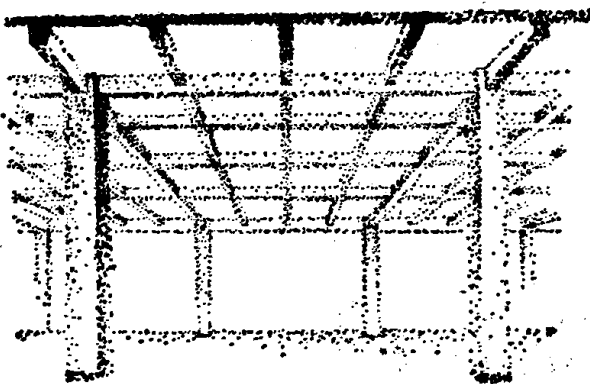


图 9-2 井式楼盖

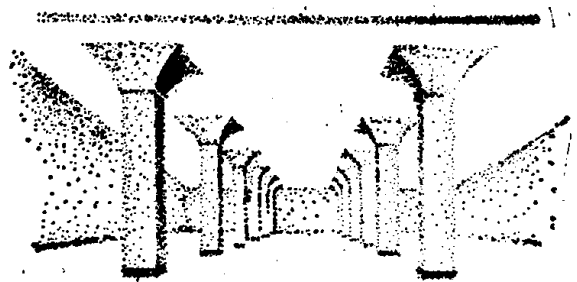


图 9-3 无梁楼盖

#### 三、无梁楼盖

这种楼盖没有梁，整个楼板直接支承在柱上（图9-3），因而比肋形楼盖和井式楼盖

的房间净空高，通风采光条件好。这种楼盖适用于厂房、仓库、商场等建筑。为了节约模板、加快施工进度，近年来常采用升板法施工来建造这种楼盖。

本章将重点介绍肋形楼盖的计算方法。

## § 9-2 肋形楼盖的受力体系

### 一、板

整体式肋形楼盖的板四边支承在梁或墙上，并将板上的荷载传给梁或墙。我们知道，板承受荷载后将发生弯曲，如果板的平面尺寸沿两个方向相等，即  $l_2 = l_1$  (图9-4a)，则板沿两个方向的曲率相同，也就是说，板在两个方向所承受的弯矩相等；如果板的尺寸沿两个方向不等，设  $l_2 > l_1$  (图9-4b)，则板沿两个方向的曲率将不同，沿板的短边  $l_1$  方向曲率大；而沿板的长边  $l_2$  方向曲率小，即板沿  $l_1$  方向所承受的弯矩大于  $l_2$  方向所承受弯矩。显然，当板两个方向的尺寸  $l_1$  与  $l_2$  相差愈大，板在两个方向所承受的弯矩相差也就愈悬殊。分析表明，当  $n = \frac{l_2}{l_1} > 2$  时，板沿长边方向所承受的弯矩将很小，可忽略不计，即认为板只沿短边弯曲，这时，板上的荷载绝大部分沿短边传给梁或墙，因此，工程上将  $n = \frac{l_2}{l_1} \geq 2$  的板称为单向板或梁式板。当板的长边尺寸与短边之比  $n = \frac{l_2}{l_1} \leq 2$  时，板沿长边方向所承受的弯矩不能忽略，板将双向发生弯曲，板上的荷载将沿两个方向传给梁或墙。这样的板称为双向板或四边支承板。

由单向板所组成的肋形楼盖称为单向板肋形楼盖；而由双向板组成的肋形楼盖称为双向板肋形楼盖。

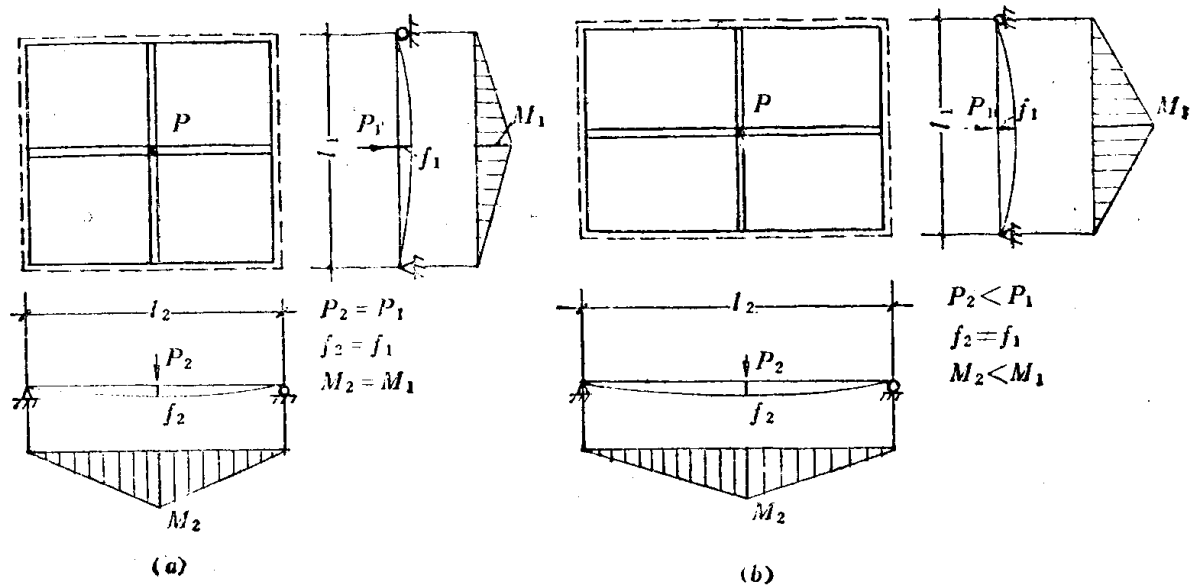


图 9-4 四边支承板的受力分析

### 二、梁

在整体式肋形楼盖中，根据荷载的传递路径，梁可分为次梁和主梁。在单向板肋形楼盖中，次梁直接承受板传来的荷载；而主梁则承受次梁传来的荷载 (图9-5)。在双向板

肋形楼盖中，主梁除承受次梁传来的荷载外，还承受板传来部分荷载（图9-6）。

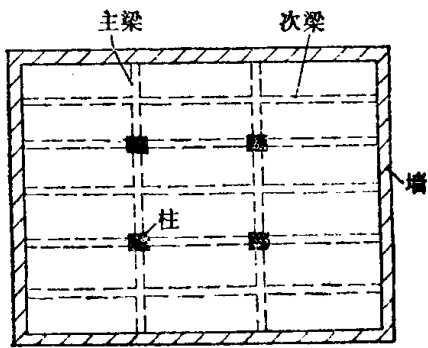


图 9-5 单向板肋形楼盖

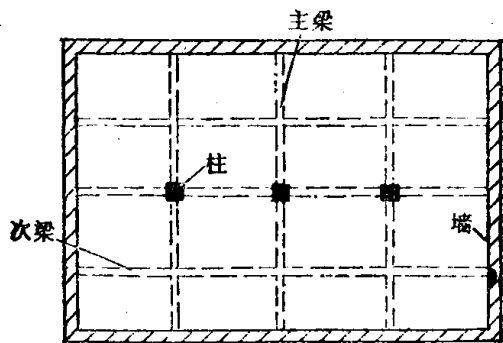


图 9-6 双向板肋形楼盖

### § 9-3 单向板肋形楼盖的计算简图

图9-7a为现浇钢筋混凝土单向板肋形楼盖，设承受恒载 $q(N/m^2)$ 和活荷载 $q(N/m^2)$ 。对于单向板肋形楼盖的板，可沿板短跨方向截出1m宽的板带作为计算单元。该板带可看作是支承在次梁上的多跨连续板，并假定次梁为板的铰支座。其计算简图和计算跨度取值方法参见图9-7b（边跨取图注中较小者）。次梁可看作是支承在主梁上的多跨连续梁，而主梁则根据梁柱线刚度比的数值，或简化成支承在柱（或墙）上的多跨连续梁，或看作是框架梁<sup>●</sup>。本章仅讨论将主梁简化成多跨连续梁的情形。次梁和主梁的计算简图及计算跨度的取值方法参见图9-7c。

### § 9-4 钢筋混凝土连续梁的内力计算

如上所述，现浇钢筋混凝土单向板肋形楼盖的板、次梁和主梁（当梁柱线刚度比大于或等于4时）都可视为多跨连续梁。因此，钢筋混凝土连续梁的内力计算便成了单向板肋形楼盖设计中的一个主要内容。钢筋混凝土连续梁的内力计算有两种方法：按弹性理论计算法和按内力塑性重分布计算法。兹分述如下：

#### 一、按弹性理论计算法

所谓弹性理论计算法，是将钢筋混凝土连续梁看作是由均匀的弹性材料所构成的构件，其内力按结构力学来分析的一种方法。

#### 1. 荷载及折算荷载

作用在梁上的荷载分为永久荷载（恒载）和可变荷载（活荷载），其中永久荷载经常作用在构件上，其位置是不变化的；而可变荷载的位置是经常变化的。因此在计算连续梁的内力时，要考虑可变荷载的最不利位置，即要考虑荷载的最不利组合及内力包络图。

在选择板和梁的计算简图时，认为板和梁的支座均为铰支座，没有考虑次梁对板以及主梁对次梁转动约束的影响。因而板和次梁跨中截面内的实际弯矩值将小于理论计算值。由于在计算中精确地考虑次梁和主梁这种约束作用是十分困难的，因此，在实际计算中，一

● 当梁柱线刚度比大于或等于4时，按多跨连续梁计算；当小于4时，按框架梁计算。



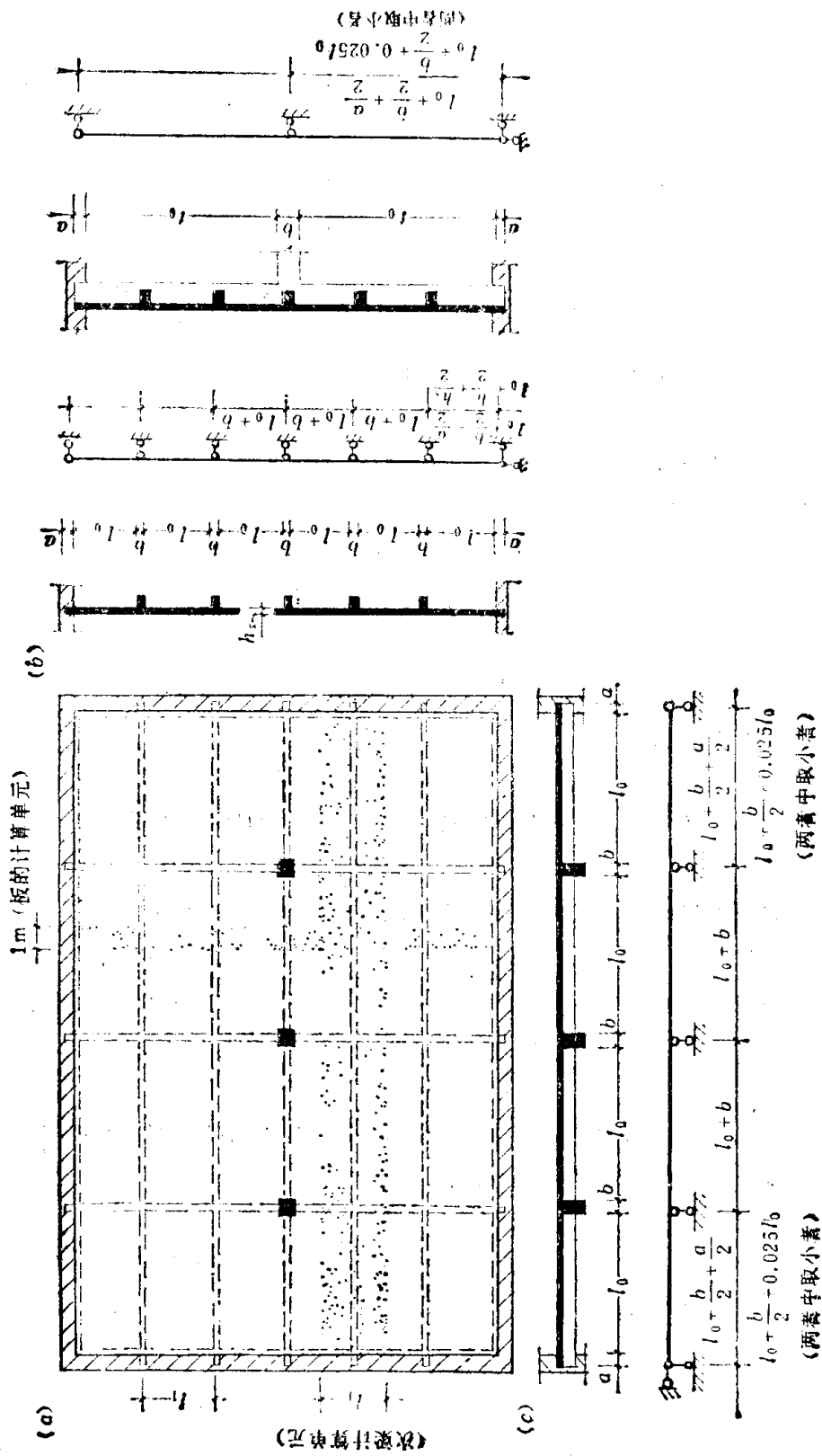


图 9-7

般通过增加永久荷载的比例和减小可变荷载的比例，即采取所谓折算荷载的办法近似地考虑这一约束影响。

图9-8a表示板或次梁的支座假定为铰支座时，在恒载 $g$ 和活荷载 $q$ 作用下的挠曲线。这时中间支座转角为 $\theta_1$ ，板或次梁的跨中弯矩计算值比实际值偏大；图9-8b表示由于支座的约束作用板或次梁的实际挠曲线，这时中间支座的转角将减小为 $\theta_2$ ，而跨中弯矩也将减小；图9-8c表示采用折算荷载办法近似考虑支座约束影响时板或次梁的挠曲线，显然，这时中间支座的转角 $\theta_3$ 将接近 $\theta_2$ ，同时板或次梁的跨中弯矩计算值也将接近实际值。

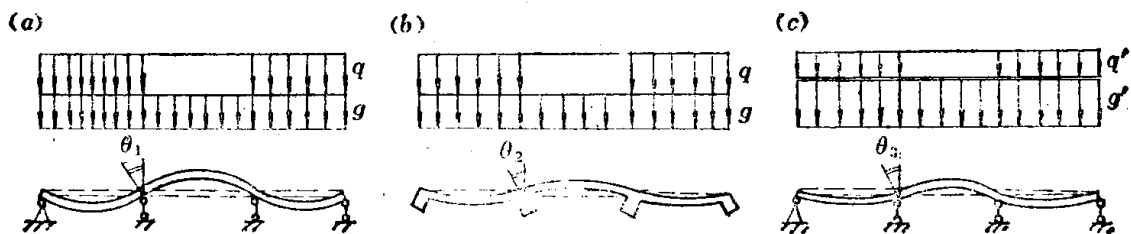


图 9-8

根据经验，在工程中一般按下列比例确定折算荷载：

板：
$$g' = g + \frac{q}{2}, \quad q' = \frac{q}{2}$$

次梁：
$$g' = g + \frac{q}{4}, \quad q' = \frac{3}{4}q$$

式中  $g'$ 、 $q'$ ——折算永久荷载和折算可变荷载；

$g$ 、 $q$ ——实际永久荷载和实际可变荷载。

按折算荷载计算连续梁跨中最大弯矩时，本跨的折算荷载与实际荷载相同：

$$g' + q' = g + q$$

而邻跨的折算永久荷载，以板为例，则为

$$g' = g + \frac{1}{2}q$$

其值大于实际永久荷载 $g$ 。这说明本跨跨中弯矩将减小。因此，采取调整永久荷载和可变荷载的比例，可以达到近似考虑次梁对板和主梁对次梁的转动约束的作用。

## 2. 荷载的最不利组合

永久荷载经常作用在梁上，并布满各跨；而可变荷载则不经常作用，可能不同时布满梁的各跨。为了保证结构在各种荷载作用下都安全可靠，就需要解决可变荷载如何布置将使梁各截面产生最大内力的问题。即荷载的最不利组合问题。

现以五跨连续梁为例，说明荷载的最不利组合（参见图9-9）。由图中可以看出，当可变荷载在1、3和5跨上出现时，均将在1、3和5跨上产生跨中正弯矩 $+M$ 。当可变荷载在2和4跨上出现时，将使1、3和5跨的正弯矩减小。因此，如求1、3和5跨的最大正弯矩 $+M_{\max}$ 就要将可变荷载布置在1、3和5跨上。当可变荷载在1、2和4跨上出现时，均将在B支座产生负弯矩 $-M$ 。所以如求B支座上最大负弯矩，就要将可变荷载布置在1、2和4跨上。同理，不准确定其它各跨跨中和支座截面上的最大正、负弯矩，以及

各支座截面最大剪力所对应的荷载不利组合位置。

由此，不难得出连续梁，控制截面最大内力的荷载组合原则：

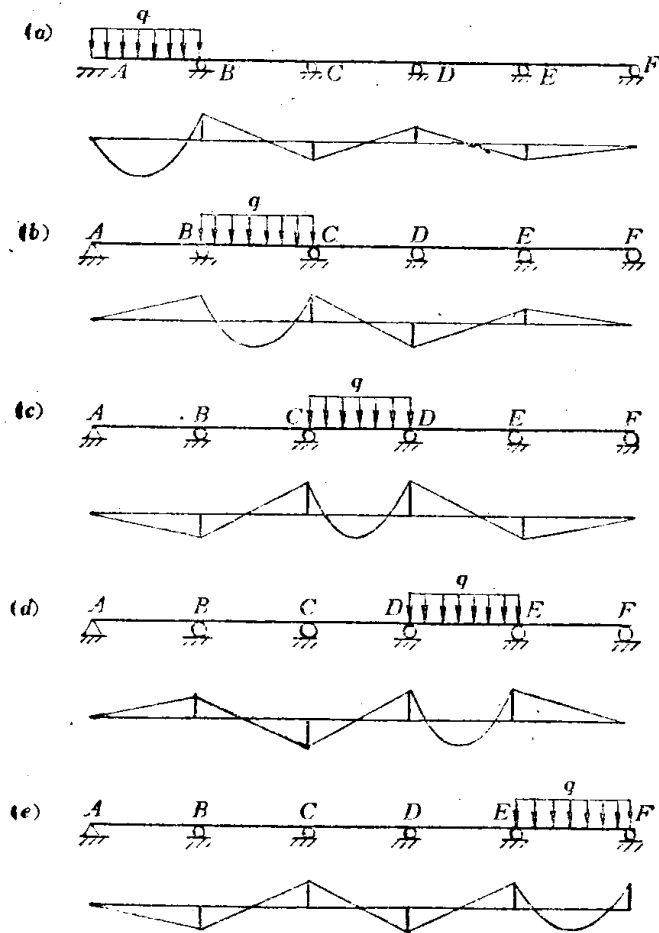


图 9-9

(1) 当求某跨跨中截面最大正弯矩  $+M_{\max}$  时，除将该跨布置可变荷载外，还应每隔一跨布置可变荷载；

(2) 当求某支座截面最大负弯矩  $-M_{\max}$  时，除应在该支座左、右两跨布置可变荷载外，还应每隔一跨布置可变荷载；

(3) 当求某支座截面上最大剪力时  $Q_{\max}$  时，可变荷载的布置原则与求该支最大负弯矩  $-M_{\max}$  的荷载布置原则相同。

在各种不同组合荷载作用下，连续梁的内力可按结构力学方法计算。对于两跨至五跨等跨<sup>①</sup>连续梁各控制截面最大弯矩和剪力可按下式计算：

均布荷载

$$\left. \begin{aligned} M &= K_1 gl^2 + K_2 ql^2 \\ V &= K_3 gl + K_4 ql \end{aligned} \right\} \quad (9-1)$$

集中荷载

$$\left. \begin{aligned} M &= K_1 Gl + K_2 Ql \\ V &= K_3 G + K_4 Q \end{aligned} \right\} \quad (9-2)$$

- 式中
- $g$  —— 单位长度上的均布恒载 (N/m)；
  - $q$  —— 单位长度上的均布活荷载 (N/m)；
  - $G$  —— 集中恒载 (N)；
  - $Q$  —— 集中活载 (N)；
  - $K_1 \sim K_4$  —— 由附录 I 表相应栏内查得的系数；
  - $l$  —— 计算跨度 (参见图 9-7)。

### 3. 内力包络图

将所算得的永久荷载和最不利布置的可变荷载在连续梁各截面内产生的最大正、负内力值 (弯矩、剪力) 标在图上，并连成曲线，这个图形就叫做内力包络图。由内力包络图便可十分方便地求得连续梁控制截面的最大内力值。

**【例 9-1】** 两跨等跨连续次梁，跨度  $l = 4 \text{ m}$ ，恒载  $g = 6 \text{ kN/m}$ ，活荷载  $q = 10 \text{ kN/m}$  (图 9-10a)，试绘出弯矩和剪力包络图。

**【解】**

(1) 确定折算荷载

① 如各跨计算跨度相差不超过 10%，则可按等跨连续梁计算。

折算恒载  $g' = g + \frac{1}{4}q = 6 + \frac{1}{4} \times 10 = 8.5 \text{ kN/m}$

折算活荷载  $q' = \frac{3}{4}q = \frac{3}{4} \times 10 = 7.5 \text{ kN/m}$

(2) 绘制在折算恒载下的弯矩图

在恒载作用下控制截面最大正弯矩和负弯矩

$$M_{1\max} = K_1 g' l^2 = 0.07 \times 8.5 \times 4^2 = 9.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$-M_{\text{Bmax}} = K_B g' l^2 = -0.125 \times 8.5 \times 4^2 = -17 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

折算恒载下的弯矩图参见图9-10b。

(3) 绘制折算活荷载在AB跨时的弯矩图

控制截面的弯矩:

$$M_{1\max} = K_2 q' l^2 = 0.096 \times 7.5 \times 4^2 = 11.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$-M_{\text{Bmax}} = K_B q' l^2 = -0.063 \times 7.5 \times 4^2 = 7.56 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

折算活荷载在AB跨时的弯矩参见图9-10c

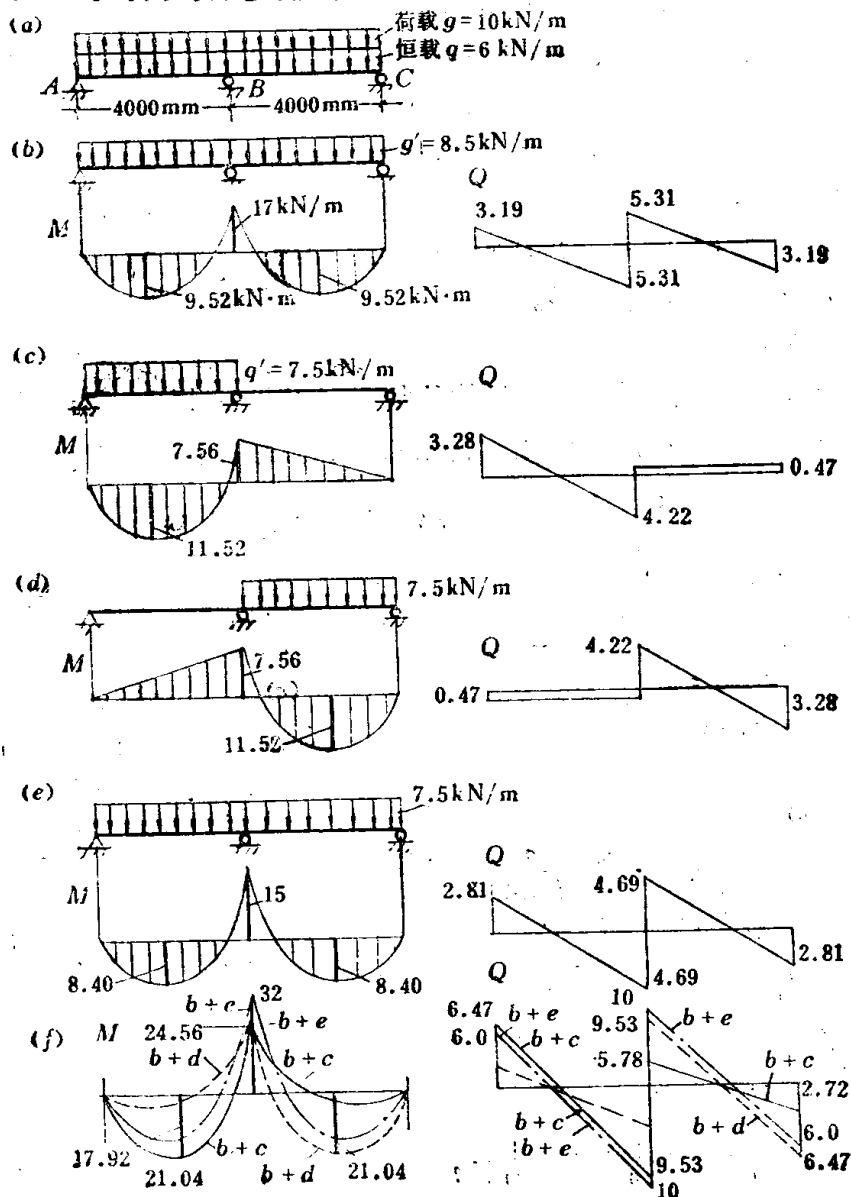


图 9-10 例9-1附图

(4) 绘制折算活荷载在BC跨时的弯矩图

这时控制截面的弯矩值与折算活荷载在AB跨时相应截面的弯矩值相同。弯矩图见图9-10d。

(5) 绘制折算活荷载满布两跨时的弯矩图

控制截面的弯矩

$$M_{1\max} = K_1 q' l^2 = 0.07 \times 7.5 \times 4^2 = 8.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$-M_{B\max} = K_2 q' l^2 = -0.125 \times 7.5 \times 4^2 = -15 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

弯矩图见图9-10e。

(6) 绘制弯矩包络图

将恒载下的弯矩图和活荷载不同布置时的弯矩图分别叠加，可得三个弯矩图，其中正弯矩和负弯矩图的外包线即为弯矩包络图（图9-11f）。

(7) 绘制剪力包络图

折算恒载和活荷载不同布置时的剪力图及包络图见图9-10。计算过程从略。

## 二、按考虑内力的塑性重分布计算法

在进行钢筋混凝土连续梁、板设计时，如果采用按上述弹性理论计算的内力包络图来选择构件截面及配筋，显然是安全的。因为这种计算理论的依据是，当构件任一截面达到极限强度时，即认为整个构件达到承载力极限状态。这种理论对静定构件是完全正确的。但是对具有一定塑性的超静定连续梁、板来说，就不完全正确，因为当这种构件任一截面达到极限强度时，并不会使构件丧失承载能力。

现在我们进一步讨论这个问题。

### 1. 塑性铰的概念

由第三章知道，钢筋混凝土受弯构件从加荷到正截面破坏，共经历三个阶段，每个阶段所承受的弯矩 $M$ 与正截面产生的相对转角 $\theta$ 之间的关系曲线如图9-11b所示。

由图9-11b中可以看出：

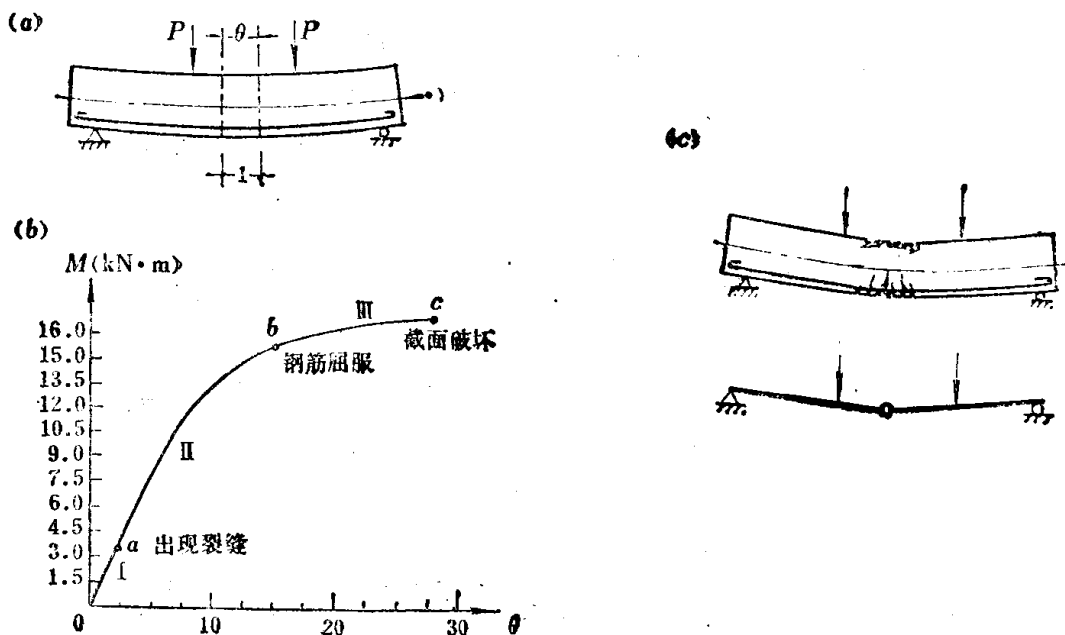


图 9-11

(1) 第 I 阶段: 从开始加荷至正截面拉区混凝土即将出现裂缝。这时弯矩  $M$  较小,  $M-\theta$  呈直线关系。

(2) 第 II 阶段: 受拉区混凝土出现裂缝至受拉钢筋屈服。这时,  $M-\theta$  关系呈曲线变化, 说明材料已表现出塑性性质。

(3) 第 III 阶段: 受拉钢筋屈服至压区混凝土达到极限应变而被压碎。

这时  $M-\theta$  关系基本上呈水平线, 即截面的弯矩几乎保持不变, 基本上等于  $M_u$ , 但正截面相对转角  $\theta$  却急剧增加, 即该截面发生转动。这时截面实际上处于“屈服”状态, 好象梁中出现一个铰一样 (图 9-11c), 这种铰称为塑性铰。

塑性铰与理想的铰不同, 前者能承担相应于极限弯矩  $M_u$ ; 而后者不能承受任何弯矩。

## 2. 超静定结构内力塑性重分布的概念

对于静定结构而言, 当出现塑性铰时, 就不能再继续加载, 因为静定结构出现塑性铰后便成为几何可变体系。但对超静定结构来说, 由于它存在多余联系, 所以, 结构某一截面出现塑性铰后, 不会变为几何可变体系, 仍能继续承受增加的荷载, 而构件将产生内力塑性重分布。

下面以图 9-10a 所示两跨连续梁为例, 说明超静定结构内力塑性重分布的概念。设该梁的截面尺寸  $bh = 200 \times 400 \text{mm}$ , 采用混凝土强度等级 C20、I 级钢筋。

由图 9-10f 包络图求得:

中间支座 B 处截面的最大负弯矩为

$$-M_{B_{\max}} = -(17 + 15) = -32 \text{kN}\cdot\text{m}$$

跨中截面最大正弯矩

$$+M_{1_{\max}} = 9.52 + 11.52 = 21.04 \text{kN}\cdot\text{m}$$

由此可见, 支座弯矩远大于跨中弯矩 (这是按弹性理论计算的一般规律), 显然, 若按此弯矩配置钢筋, 支座配筋势必远大于跨中配筋。这将使支座钢筋拥挤、不便施工; 此外, 包络图中的支座最大负弯矩与跨中最大正弯矩并不在同一时间出现, 也就是说所配的钢筋不能在同一时间内充分发挥它们的作用, 显然这是不经济的。

如果把内力塑性重分布的概念用于本例中, 则上述缺点将有所克服。现不用支座弯矩  $-M_{B_{\max}} = -32 \text{kN}\cdot\text{m}$  来配筋, 而用低于该值的某个数值, 例如取  $M_{B_u} = \beta M_{B_{\max}}$  ( $\beta$  称为调幅系数)。设  $\beta = 0.716$ <sup>①</sup>, 则  $M_{B_u} = 0.716 \times (-32) = -22.93 \text{kN}\cdot\text{m}$  进行配筋, 而跨中按  $M_{1_{\max}} = 21.57 \text{kN}\cdot\text{m}$ <sup>②</sup> 配筋。根据正截面强度计算, 支座和跨中各配置  $4\phi 14$  ( $A_s = 400 \text{mm}^2$ ), 参见图 9-12a。这时中间支座和跨中的极限弯矩均为  $22.93 \text{kN}\cdot\text{m}$ 。

下面说明按上述配筋后连续梁的破坏过程:

在荷载  $p_1 = g' + q' = 16 \text{kN/m}$  满布各跨时, 按弹性理论计算, 中间支座最大负弯矩为  $-M_{B_{\max}} = -32 \text{kN}\cdot\text{m}$ , 实际上, 中间支座极限弯矩只有  $-M_{uB} = -22.93 \text{kN}\cdot\text{m}$ , 它小于  $-M_{B_{\max}} = -32 \text{kN}\cdot\text{m}$ <sup>③</sup>, 故中间支座截面将形成塑性铰, 并产生转动 (图 9-12b)。随着荷载的增加, 当荷载增加到  $p_1 + p_2 = q + q' = 16.70 \text{kN/m}$  时, 中间支座截面的弯矩仍

① 在工程中, 一般取  $\beta = 0.7 \sim 0.9$ , 为了说明问题方便, 这里取  $\beta = 0.716$ 。

②  $M_{1_{\max}} = 21.57 \text{kN}\cdot\text{m}$  为相应于支座弯矩  $M_{B_u} = -22.93 \text{kN}\cdot\text{m}$  时的跨中最大弯矩。

③ 这里指绝对值。

保持  $-M_{uE} = -22.93 \text{ kN}\cdot\text{m}$  不变, 只是该截面转角继续增加, 而跨中截面弯矩恰好达到极限弯矩  $M_{u1} = 22.93 \text{ kN}\cdot\text{m}$ , 形成新的塑性铰, 这时, 连续梁变成几何可变体系, 因而

整个梁也就达到了承载力极限状态 (图9-12c)。

根据上面的分析, 可以得出以下结论:

(1) 钢筋混凝土超静定结构的破坏标志, 不是某个截面“屈服”, 而是整个结构开始变为几何可变体系。

(2) 结构变为几何可变体系时, 结构各截面的内力分布与塑性铰出现以前的弹性内力分布是完全不同的。随着荷载的增加, 塑性铰陆续出现, 结构内力将随之重新分布。这种现象称为内力塑性重分布。

(3) 超静定结构内力塑性重分布, 在一定范围内可以人为加以控制。例如在上面例题中, 在给定配筋情况下, 梁的弯矩图

如图9-12c所示。当改变配筋, 即采用不同的调幅系数  $\beta$ , 弯矩图就会发生变化。

### 3. 内力塑性重分布的条件

(1) 弯矩调幅截面的相对受压区高度应满足下列要求:

$$\xi = \frac{x}{h_0} \leq 0.35 \quad (9-3)$$

这是为了保证在调幅截面能形成塑性铰, 并具有足够的转动能力。由图9-13可见, 当  $\xi$  即  $x$  较小时, 才有可能使截面有较大的转角  $\theta$ 。实际上, 条件 (9-3) 也是调幅截面配筋的上限条件。只有配筋不超过某一限值, 即  $A_s \leq \xi b h_0 \frac{f_{cm}}{f_y} = 0.5 b h_0 \frac{f_{cm}}{f_y}$  时, 才能保证上述要求的实现。

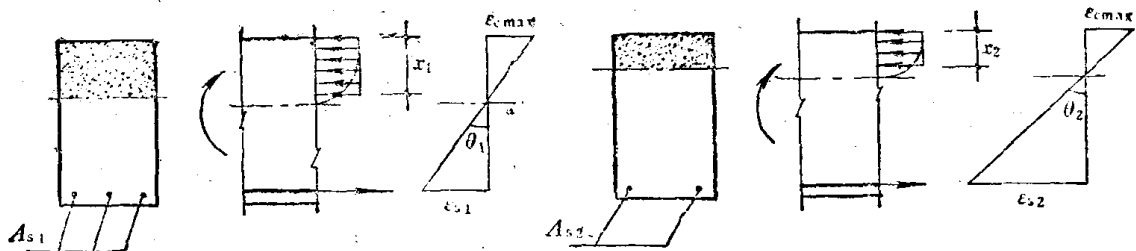


图 9-13

(2) 采用塑性性能较好的钢筋作为配筋

为了保证在构件调幅截面形成塑性铰，同时具有足够的转动能力，这就要求构件的配筋应具有良好的塑性性能，如 I、II 级钢筋。

(3) 弯矩调幅不宜过大，应控制在弹性理论计算弯矩的 30% 以内，即

$$M_{调} \geq 0.7 M_{弹} \quad (9-4)$$

式中  $M_{调}$ ——截面调幅后的弯矩；

$M_{弹}$ ——按弹性理论计算方法算得的调幅截面的弯矩。

条件 (9-4) 是为保证调幅截面不致因为弯矩调幅，使构件过早地出现裂缝和产生过大的挠度。

#### 4. 均布荷载下等跨连续梁、板内力的计算 (按塑性理论) ●

在均布荷载作用下，等跨连续梁、板按内力塑性重分布理论计算的弯矩和剪力包络图，已经给出计算公式及表格。可供设计查用，参见图 9-14。

控制截面的弯矩

$$M = \alpha (g + q) l^2 \quad (9-5)$$

控制截面的剪力

$$V = \beta (g + q) l_0 \quad (9-6)$$

式中  $\alpha$ ——弯矩系数，按图 9-14a 采用；

$\beta$ ——剪力系数，按图 9-14b 采用；

$l$ ——计算跨度，对于板，当支座为次梁时，取净跨；当端支座简支在砖墙上时，端跨取净跨加 1/2 板厚或加 1/2 支承长度，两者取较小者；对于次梁，当支座为主梁时，取净跨；当端支座简支在砖墙上时，端跨取净跨加 1/2 支承长度或 1.025 净跨，两者取较小值 (图 9-15)；

$l_0$ ——净跨。

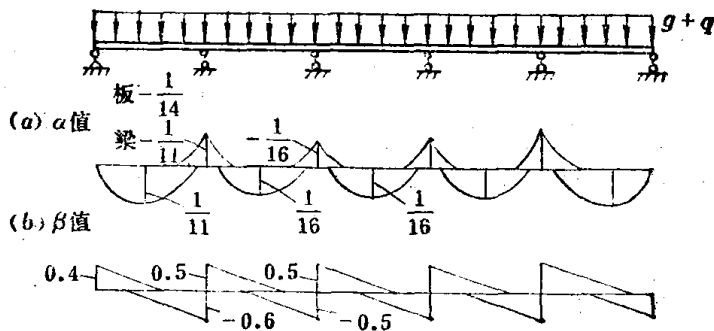


图 9-14

应当指出，按内力塑性重分布理论计算超静定结构虽然可以节约钢材，但在使用阶段钢筋应力较高，构件裂缝和变形均较大。因此，有些结构不能采用这种计算方法，而应采用弹性理论计算：

(1) 使用阶段不允许开裂的结构；

- 计算跨度相差不超过 10% 的不等跨连续梁、板，仍可按等跨计算。计算支座负弯矩时，计算跨度应按左右两跨中较大跨度取用。



- (2) 重要部位的结构, 要求安全度较高的结构(如主梁);
- (3) 受动力和疲劳荷载的结构;
- (4) 处于侵蚀性环境中的结构。

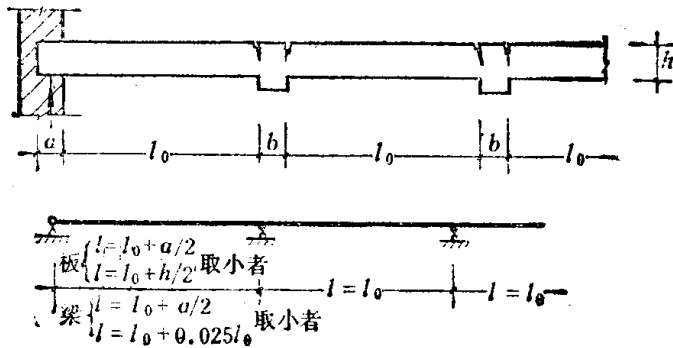


图 9-15

## § 9-5 单向板的计算与构造

### 一、单向板的计算步骤

现浇钢筋混凝土单向板的计算, 应根据板的用途、材料供应情况、荷载大小和性质等, 按下述步骤进行:

1. 根据板的刚度、荷载大小和性质确定板的厚度。

板的厚度, 对于简支板及连续板, 一般取  $l/35 \sim l/40$ ; 对于悬臂板一般取  $l/10 \sim l/12$  (其中  $l$  为板的计算跨度)。板的支承长度, 对于简支板及连续板要求不小于板厚, 亦不小于 90mm。

2. 根据板的构造及用途确定板的自重及使用荷载 ( $N/m^2$ )。

3. 沿板的受力方向切取 1m 宽的板带作为计算单元。

4. 将板看作支承在次梁(或墙)上的连续板(单跨板则视支承情况, 按简支板或嵌固板计算), 按式(9-5)、(9-6)计算内力。

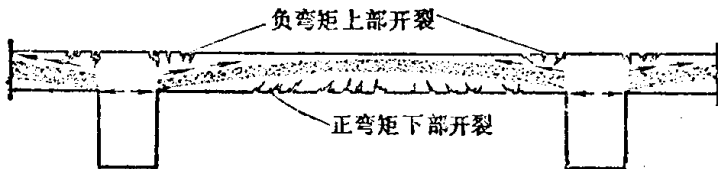


图 9-16

9-16)。因此, 板的内力将有所降低, 考虑到这种情况, 规范规定, 对于中间跨的跨中截面及中间支座(第一内支座除外)上的弯矩减小 20%。

5. 根据跨中和支座截面的弯矩计算各部分钢筋数量。

在选配钢筋时, 应使相邻跨及支座钢筋的直径和间距相互协调, 以利施工。

### 二、单向板的构造要求

关于单向板的混凝土强度等级、保护层厚度及板厚等要求, 已如前述。下面对板的配筋构造要求加以说明:

#### 1. 板的配方式