

高等院校土木工程专业规划教材

# 混凝土结构设计原理

杨俊杰 主编  
李家康 朱天志 副主编



科学出版社  
www.sciencep.com

TU370.4/34

2007

高等院校土木工程专业规划教材

# 混凝土结构设计原理

杨俊杰 主 编

李家康 朱天志 副主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本教材力求做到理论与实践相结合,从整体概念出发,加强基本原理与设计方法的协调统一,坚持以实际应用为导向的原则。本书主要介绍钢筋与混凝土的基本材料性能,混凝土结构设计的基本原理和设计方法,受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件正截面和斜截面的承载力计算与配筋设计,钢筋的锚固与布置,预应力混凝土结构设计的原理与基本计算方法,正常使用阶段裂缝与变形的验算以及混凝土结构的耐久性设计原则等。

本教材可作为本科土木工程专业的专业基础课教材,也可供从事混凝土结构与施工的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

混凝土结构设计原理 / 杨俊杰主编. —北京:科学出版社,2007  
(高等院校土木工程专业规划教材)  
ISBN 978-7-03-019106-9

I. 混… II. 杨… III. 混凝土结构-结构设计-高等学校-教材  
IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 086144 号

---

责任编辑:何舒民 张雪梅 / 责任校对:耿 耘  
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年7月第一版 开本:787×1092 1/16

2007年7月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—3 000 字数:380 000

定价:23.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(HA03)

## 前 言

本教材是根据教育部对土木工程专业的培养要求,结合多所高校土木工程专业的教学计划以及当前土木工程发展的方向和社会需求而编写的。本书结合作者多年来的理论教学与工程实践经验,注重基本概念的完整性与教学内容精炼相结合,教学重点和难点与工程应用相结合。

本书共 13 章,包括混凝土结构的基本概念,钢筋和混凝土的基本材料性能,结构设计原理与设计方法,轴心受压与受拉构件正截面承载力计算,受弯构件正截面和斜截面承载力计算,偏心受压与偏心受拉构件正截面承载力计算,受扭构件承载力计算,预应力混凝土结构的基本原理与受拉、受弯构件承载力计算,正常使用阶段裂缝与变形的验算,混凝土结构耐久性设计原理等。为了满足不同层次读者的需求以及不同学校教学时数差别,书中除了基本教学内容外,还编入了少量难度较大的内容(用 \* 标出)。同时,本教材注重反映一些学科的最新发展,如高性能混凝土、耐久性设计方法等。在编写过程中还注重混凝土结构原理与工程设计规范[《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)]间的协调性,以便使读者能灵活使用和掌握规范的计算方法和工程处理原则。

为了便于读者自学和较好地掌握本课程的内容,编写时力求语言通俗易懂、结合实际。主要章节均配有各种类型的例题,例题均努力做到与工程设计程序相同。大部分章末均对本章主要内容做出归纳总结,同时配有不定数量的思考题和习题,便于读者掌握和理解。

参加本书编写的有杨俊杰(第一、三章)、李家康(第四、五、八、九、十三章)、朱天志(第二章)、张贵寿(第六章)、杨旭东(第七章)、孟宪强(第十章)、杨桂华(第十一章)、薛志成(第十二章)。

由于编者的经验和水平限制,本书还会存在缺点甚至错误,敬请读者批评指正,以便改正。

# 目 录

## 前言

<b>第一章 混凝土结构的基本概念</b> .....	1
1.1 混凝土结构的组成与特点 .....	1
1.1.1 混凝土结构的定义与一般概念 .....	1
1.1.2 钢筋与混凝土的共同工作原因 .....	1
1.1.3 钢筋混凝土结构的优缺点 .....	2
1.1.4 混凝土结构的基本组成及配筋形式 .....	3
1.2 结构设计的基本方法 .....	3
1.2.1 容许应力法 .....	4
1.2.2 破损阶段设计法 .....	5
1.3 混凝土结构工程的应用与发展 .....	7
1.3.1 混凝土结构工程的应用 .....	7
1.3.2 混凝土结构的发展历程 .....	7
1.4 本课程的主要内容与学习特点 .....	8
思考题 .....	9
<b>第二章 混凝土结构材料性能</b> .....	10
2.1 钢筋的物理力学性能 .....	10
2.1.1 钢筋的成分、级别、品种及表示方式 .....	10
2.1.2 钢筋的强度和变形性能 .....	11
2.1.3 焊接钢筋网 .....	13
2.1.4 混凝土结构对钢筋的性能要求 .....	13
2.2 混凝土的物理力学性能 .....	14
2.2.1 混凝土的组成及工程应用要求 .....	14
2.2.2 单轴应力条件下的性能 .....	15
2.2.3 多轴应力条件下的性能 .....	17
2.2.4 徐变、收缩与温度变形 .....	17
2.2.5 反复加载下的变形与疲劳 .....	19
2.2.6 高性能混凝土概念 .....	20
2.3 混凝土与钢筋的粘结 .....	21
2.3.1 粘结的意义 .....	21
2.3.2 粘结力的组成 .....	22
2.3.3 粘结强度 .....	23
2.3.4 影响粘结强度的因素 .....	23
思考题 .....	24

<b>第三章 结构设计的概念、原则与方法</b> .....	25
3.1 结构整体性概念.....	25
3.1.1 整体化概念的含义.....	25
3.1.2 结构整体化的假定.....	25
3.1.3 结构内部的传力关系及结构抗力的形成.....	27
3.2 结构的组成体系及基本单元.....	33
3.2.1 结构的水平分体系.....	33
3.2.2 结构的竖向分体系.....	35
3.3 结构、构件及材料的多样性与统一性.....	37
3.3.1 结构、分体系、构件间的统一性.....	37
3.3.2 结构材料类型的多样性与统一性.....	38
3.4 结构的破坏形态与可靠性.....	39
3.4.1 结构的脆性破坏与延性破坏.....	39
3.4.2 结构失稳破坏.....	41
3.4.3 结构的可靠性概念.....	41
3.5 结构设计原理与设计表达式.....	43
3.5.1 概率极限状态设计方法.....	43
3.5.2 实用设计表达式.....	44
小结.....	47
思考题.....	48
<b>第四章 轴心受压构件正截面承载能力极限状态设计</b> .....	49
4.1 短柱的受力及破坏过程.....	49
4.2 长柱的纵向弯曲影响.....	51
4.3 正截面极限承载力计算.....	51
4.4 密排箍筋柱正截面极限承载力计算.....	53
4.5 构造要求.....	55
4.6 设计例题.....	56
小结.....	59
思考题.....	59
习题.....	59
<b>第五章 轴心受拉构件正截面承载能力极限状态设计</b> .....	60
5.1 正截面受力特征.....	60
5.2 正截面承载力计算.....	61
5.3 构造要求.....	62
5.4 设计例题.....	62
小结.....	63
思考题.....	63
习题.....	63

<b>第六章 受弯构件正截面承载能力计算</b> .....	64
6.1 概述 .....	64
6.2 受弯构件正截面破坏过程和破坏形态 .....	64
6.2.1 适筋梁的正截面破坏过程 .....	64
6.2.2 配筋率对正截面破坏形态的影响 .....	67
6.3 受弯构件基本假定和计算模型 .....	69
6.3.1 基本假定 .....	69
6.3.2 等效矩形应力图形 .....	70
6.3.3 相对界限受压区高度 .....	70
6.3.4 界限配筋率和最小配筋率 .....	72
6.4 受弯构件正截面承载力计算 .....	73
6.4.1 单筋矩形截面承载力计算 .....	73
6.4.2 双筋矩形截面承载力计算 .....	77
6.4.3 T形截面承载力计算 .....	81
6.5 构造及其基本原理 .....	88
6.5.1 梁的构造要求 .....	88
6.5.2 板的构造要求 .....	89
小结 .....	90
思考题 .....	91
习题 .....	92
<b>第七章 构件斜截面承载能力极限状态设计</b> .....	94
7.1 概述 .....	94
7.2 受弯构件的抗剪性能 .....	95
7.2.1 斜裂缝 .....	95
7.2.2 剪跨比 .....	96
7.2.3 斜裂缝出现前后的应力状态 .....	96
7.2.4 斜截面受剪破坏的三种主要形态 .....	98
7.3 斜截面受剪承载力计算公式 .....	100
7.3.1 影响斜截面受剪承载力的主要因素 .....	100
7.3.2 斜截面受剪承载力计算公式 .....	101
7.4 斜截面受剪承载力的设计计算 .....	104
7.4.1 设计计算 .....	104
7.4.2 计算例题 .....	106
7.5 保证斜截面受弯承载力的构造措施 .....	109
7.5.1 材料抵抗弯矩图 .....	109
7.5.2 纵筋的弯起 .....	110
7.5.3 纵筋的锚固 .....	111
7.5.4 纵筋的截断 .....	113
7.5.5 箍筋的间距 .....	115

7.5.6 梁、板内钢筋的其他构造要求 .....	115
7.6 有轴力作用构件的抗剪承载力 .....	118
7.6.1 偏心受压构件的斜截面受剪承载力计算 .....	118
7.6.2 偏心受拉构件的斜截面受剪承载力计算 .....	120
7.7 深受弯构件的斜截面受剪承载力* .....	120
7.7.1 计算公式 .....	120
7.7.2 截面尺寸要求 .....	121
小结 .....	121
思考题 .....	122
习题 .....	122
<b>第八章 偏心受压构件正截面承载能力极限状态设计</b> .....	<b>125</b>
8.1 正截面破坏特征及其分类 .....	125
8.1.1 受拉破坏形态 .....	125
8.1.2 受压破坏形态 .....	126
8.1.3 界限破坏 .....	126
8.2 截面的平均应变平截面变形假定 .....	127
8.3 偏心受压截面承载力 $M-N$ 相关关系 .....	127
8.4 偏心受压长柱的纵向弯曲影响 .....	128
8.4.1 二阶弯曲 .....	128
8.4.2 偏心距增大系数 $\eta$ .....	130
8.5 矩形截面偏心受压构件正截面承载力基本计算公式 .....	130
8.5.1 受拉破坏正截面承载力计算公式 .....	130
8.5.2 受压破坏正截面承载力计算公式 .....	131
8.5.3 区分正截面两种破坏形态的界限 .....	132
8.6 不对称配筋矩形截面偏心受压承载力计算 .....	133
8.6.1 截面设计 .....	133
8.6.2 截面复核 .....	135
8.6.3 计算图表 .....	135
8.7 对称配筋矩形截面偏心受压承载力计算 .....	136
8.7.1 受拉破坏正截面承载力计算公式 .....	136
8.7.2 受压破坏正截面的承载力计算公式 .....	137
8.7.3 正截面承载力计算 .....	137
8.8 对称配筋 I 形截面偏心受压承载力计算 .....	138
8.8.1 受拉破坏对称配筋 I 形截面偏心受压承载力计算公式 .....	138
8.8.2 受压破坏对称配筋 I 形截面偏心受压承载力计算公式 .....	139
8.8.3 截面计算 .....	139
8.9 双向偏心受压截面受压承载力计算* .....	140
8.10 设计例题 .....	143
8.11 一些问题的说明* .....	150



8.11.1 偏心距 $e_0$ 的计算 .....	150
8.11.2 当 $e_0$ 很小时截面受压承载力计算 .....	150
8.11.3 关于构件计算长度 $l_0$ 的取值 .....	151
小结 .....	152
思考题 .....	152
习题 .....	152
<b>第九章 偏心受拉构件正截面承载能力极限状态设计</b> .....	155
9.1 小偏心受拉正截面承载力计算 .....	155
9.2 大偏心受拉正截面承载力计算 .....	156
9.3 设计例题 .....	157
小结 .....	158
思考题 .....	159
习题 .....	159
<b>第十章 受扭构件扭曲截面承载力计算</b> .....	160
10.1 混凝土结构中的受扭构件 .....	160
10.2 纯扭构件扭曲截面承载力计算 .....	161
10.2.1 纯扭构件的试验研究 .....	161
10.2.2 纯扭构件的开裂扭矩 .....	162
10.2.3 纯扭构件的受扭承载力计算模型 .....	164
10.2.4 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)采用的受扭承载力计算公式 .....	165
10.3 复合受扭构件承载力计算 .....	168
10.3.1 复合受扭构件的破坏形态 .....	168
10.3.2 剪扭构件承载力计算 .....	169
10.3.3 弯剪扭构件承载力计算 .....	172
10.3.4 压弯剪扭构件承载力计算 .....	172
10.3.5 受扭构件计算公式的适用条件和构造要求 .....	173
10.3.6 超静定结构中的扭转问题 .....	174
小结 .....	180
思考题 .....	180
习题 .....	181
<b>第十一章 预加应力混凝土结构设计基础</b> .....	182
11.1 预加应力混凝土基本概念 .....	182
11.1.1 概述 .....	182
11.1.2 施加预应力的方法 .....	183
11.1.3 预应力混凝土构件的分类 .....	184
11.1.4 预应力混凝土结构材料 .....	185
11.1.5 预应力锚具 .....	187
11.1.6 张拉控制应力和预应力损失 .....	188
11.1.7 预应力混凝土构件的构造要求 .....	197

11.2 预应力混凝土轴心受拉构件截面应力分析	200
11.2.1 轴心受拉构件各阶段的应力分析	200
11.2.2 轴心受拉构件使用阶段的计算	205
11.2.3 后张法构件端部局部受压承载力验算	206
11.2.4 预应力混凝土轴心受拉构件施工阶段的验算	209
11.3 预应力受弯构件截面应力分析	213
11.3.1 预应力受弯构件正截面承载力计算	213
11.3.2 预应力受弯构件斜截面承载力计算	215
11.3.3 预应力混凝土受弯构件抗裂度验算	215
11.3.4 预应力受弯构件变形验算	217
11.3.5 预应力受弯构件施工阶段验算	218
11.4 无粘结预应力混凝土的基本概念	220
11.4.1 无粘结预应力混凝土的概念	220
11.4.2 无粘结预应力筋和锚具	220
11.4.3 无粘结预应力混凝土结构的特点	221
11.4.4 无粘结预应力混凝土的应用	222
11.5 预加应力混凝土整体结构*	222
11.5.1 预应力整体结构的概念与设计思想	222
11.5.2 整体预应力结构设计的工程应用	225
小结	227
思考题	228
习题	228
<b>第十二章 构件正常使用极限状态设计</b>	<b>230</b>
12.1 裂缝验算	230
12.1.1 裂缝控制的目的和要求	230
12.1.2 裂缝宽度的计算理论和方法	231
12.1.3 裂缝宽度计算	232
12.1.4 影响裂缝宽度的主要因素	238
12.1.5 裂缝宽度验算	239
12.2 变形验算	240
12.2.1 变形控制的目的	240
12.2.2 截面抗弯刚度的定义及特点	241
12.2.3 受弯构件的短期刚度	242
12.2.4 考虑荷载长期作用影响的受弯构件长期刚度	245
12.2.5 影响截面受弯刚度的主要因素	246
12.2.6 变形验算	246
小结	248
思考题	249
习题	250

---

第十三章 结构的耐久性设计.....	251
小结.....	255
思考题.....	255
附录 1 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)规定的材料力学指标 .....	256
附录 2 钢筋的计算截面面积及公称质量 .....	260
附录 3 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)部分几何量的有关规定 .....	262
参考文献.....	264

# 第一章 混凝土结构的基本概念

## 1.1 混凝土结构的组成与特点

### 1.1.1 混凝土结构的定义与一般概念

混凝土结构是以混凝土作为主要材料制作的结构。在混凝土结构中配置不同的其他材料,就形成了不同种类的混凝土结构。如配置普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土结构称为钢筋混凝土结构;配置受力的预应力钢筋或钢绞线等的称为预应力混凝土结构;当将型钢或钢管等钢材加入混凝土中时,则其结构称为钢骨混凝土结构或钢管混凝土结构;单由混凝土组成的结构称为素混凝土结构。其中以钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构在工程中应用最为广泛。本书着重讲述钢筋混凝土结构的设计原理,在第十一章中介绍预应力混凝土结构。

钢筋混凝土结构是指在混凝土中加入钢筋作为配筋的混凝土结构。混凝土材料的抗压强度较高,而抗拉强度很低。与混凝土材料相比,钢筋的抗拉强度和抗压强度均很高。将混凝土和钢筋这两种材料结合在一起,混凝土主要承受压力,而钢筋主要承受拉力,可使两种材料各尽所能,相得益彰,这就构成了混凝土结构的基本受力特征。下面用一个对比试验来说明。

图 1.1(a)所示为一根素混凝土梁,梁受集中荷载  $P$  作用。梁截面下部受拉边缘产生的拉应力一旦达到混凝土的抗拉强度,此处的混凝土就会开裂,开裂后梁立即断开。素混凝土梁承受荷载的能力低,仅为开裂荷载  $P_{cr}$ ,且破坏具有突然性。若在梁中受拉区布置适量的钢筋[如图 1.1(b)所示],梁的受拉区达到开裂荷载  $P_{cr}$ 后也会开裂,但开裂后拉力由钢筋承担,因此梁不但不会断开,还可以承担更大的荷载,直至钢筋达到屈服强度。由于钢筋屈服后有较长的屈服台阶,当梁上荷载达到屈服荷载后并不会立即断裂,仍可以继续一段较长的变形过程,梁所承受的荷载也会稍有增加,梁上的裂缝也会进一步扩展,最后因受压区混凝土受压破坏而达到梁的极限状态。由此可见,在素混凝土中加入适量的钢筋,不但提高了梁的承载能力,还提高了梁的变形能力,梁的破坏过程也会具有明显的预兆。同时也可以看到,钢筋的加入并不能阻止混凝土裂缝的产生,但可以使裂缝的扩展速度大大减缓,因此混凝土结构往往是带裂缝工作的。要想结构在超过开裂荷载后不出现裂缝,或者控制裂缝的宽度,应当采用预应力技术。

### 1.1.2 钢筋与混凝土的共同工作原因

钢筋和混凝土两种材料之所以能共同工作,是因为:①钢筋与混凝土之间具有良好的粘结力,两者能可靠地结合在一起,共同受力,共同变形;②混凝土和钢筋两种材料的温度

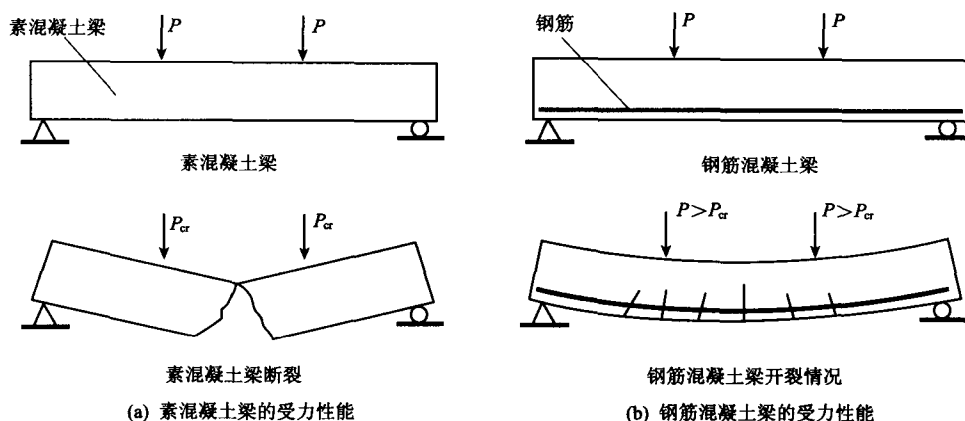


图 1.1 混凝土梁的受力性能

线膨胀系数很接近[混凝土为 $(1.0\sim 1.5)\times 10^{-5}$ , 钢材为 $1.2\times 10^{-5}$ ], 因此当温度变化时, 两种材料不会因产生过大的变形差而导致两者间的粘结力破坏; ③混凝土将钢筋包裹在其中, 可避免钢筋的锈蚀和高温软化。虽然钢筋与混凝土的这些基本性质有利于它们实现共同工作的目标, 但在混凝土结构的设计与施工中还是要采取很多措施来保证它们的这种共同承载效果。例如, 钢筋端部要留有一定的锚固长度, 钢筋的布置和数量有一定的构造限制等。

### 1.1.3 钢筋混凝土结构的优缺点

#### 1. 钢筋混凝土结构的主要优点

1) 易于就地取材。混凝土结构中所用的大量砂、石等材料易于就地取材。还可将工业废料(如矿渣、粉煤灰等)制成人工骨料用于混凝土结构, 实现变废为宝。

2) 材料利用合理。钢筋和混凝土的材料强度可以得到充分发挥。结构的承载能力与其刚度比例合理, 基本无局部稳定问题出现。单位造价较低, 与钢结构相比, 经济指标占优。

3) 良好的耐久性。混凝土结构中混凝土的强度随着时间的增长而增长。当钢筋外的混凝土保护层厚度足够时, 混凝土能保护钢筋免于锈蚀。无需经常的保养与维修。

4) 良好的耐火性。混凝土是不良导体, 一般 30mm 厚的混凝土保护层可耐火 2h, 使钢筋不致因升温过快而丧失强度。与钢结构和木结构相比, 其耐火性能较好。

5) 良好的整体性。现场整浇的混凝土结构各构件之间连接牢固, 具有良好的整体工作性能, 适用于抗震、抗爆结构; 同时, 其防震性和防辐射性能较好, 适用于防护结构。

6) 可模性好。混凝土结构可根据需要浇筑成各种不同的形状, 适用于各种复杂的结构, 如曲线形的梁与拱、曲面塔体、空间薄壳等。

#### 2. 钢筋混凝土结构的缺点

1) 自重过大。过大的自重不适用于建造大跨、高层结构, 但对重力坝, 自重大则成了优点。

2) 抗裂性差。普通钢筋混凝土结构,在正常使用阶段往往会出现裂缝,在工作条件较恶劣的环境下,如露天、沿海、化学侵蚀等,会影响结构的耐久性,对防渗、防漏要求较高的结构也不适用。

3) 承载能力有限。与钢材相比,混凝土的强度还是较低的,因此,普通钢筋混凝土构件的承载力有限。用作承受重载结构和高层建筑底部结构时,往往会导致构件尺寸太大,使用空间减小。

4) 施工复杂。工序多、工期长、施工受季节和天气的影响较大。

#### 1.1.4 混凝土结构的基本组成及配筋形式

混凝土结构是指由不同的混凝土结构构件组合而成的结构体系,这些结构构件主要由板、梁、柱、墙和基础组成。以钢筋混凝土多层房屋为例(图 1.2),其中的主要结构构件有:

- 1) 钢筋混凝土楼板,主要承担楼板面上的竖向荷载和楼板的自重。
- 2) 钢筋混凝土楼梯,主要承担楼梯面上的竖向荷载和楼梯段的自重。
- 3) 钢筋混凝土梁,主要承担楼板传来的竖向荷载和梁的自重。
- 4) 钢筋混凝土柱,主要承担梁传来的荷载及柱的自重。
- 5) 钢筋混凝土墙,主要承担楼板、梁、楼梯传来的荷载,墙体的自重及土的侧向压力。
- 6) 钢筋混凝土墙下基础,主要承担墙下传来的荷载并将其传给地基。
- 7) 钢筋混凝土柱下基础,主要承担柱传来的荷载并将其传给基础。

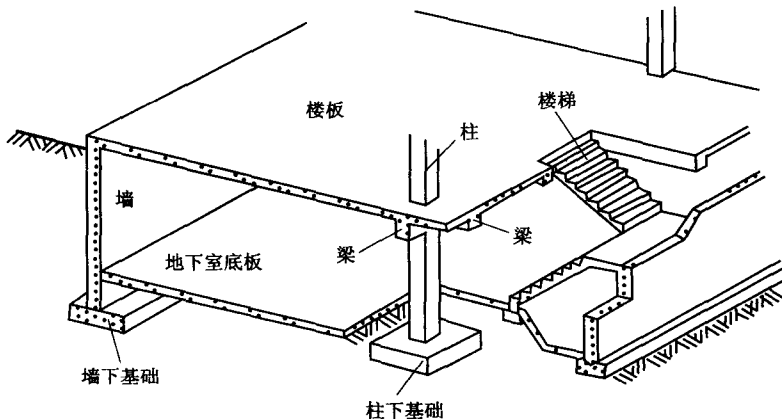


图 1.2 钢筋混凝土多层房屋中的结构构件

几种主要结构构件钢筋配置的基本形式如图 1.3 所示。

## 1.2 结构设计的基本方法

结构设计的基本目标是安全可靠、适用耐久而又经济合理。一般来说,若多用一些材料,即结构截面大一些,利用材料的强度水平高一些,结构的安全度就大一些,但这会造成

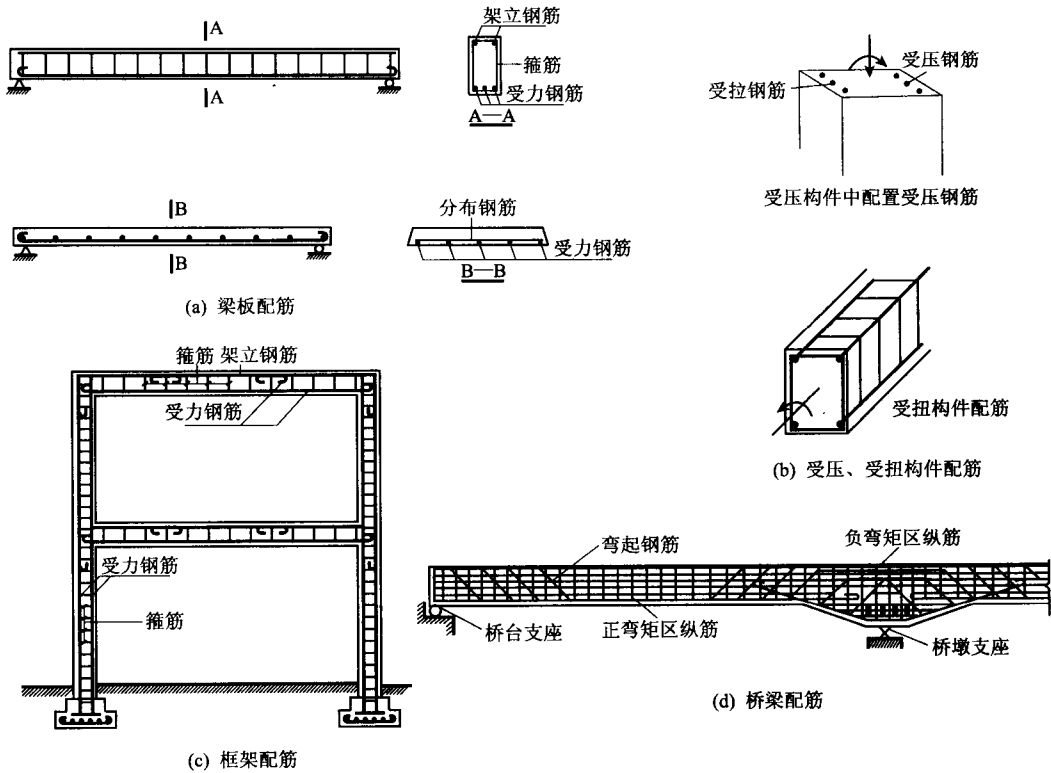


图 1.3 常见钢筋混凝土结构构件的配筋示例

经济上不合理。结构工程师就是要用最经济的手段,设计并建造出安全可靠的结构,使之在预定的使用期内满足各种预定功能的要求。

在早期的结构中,保证结构的安全主要依赖经验。随着科学技术的进步,钢筋混凝土设计在结构理论上经历了从弹性理论到极限状态理论的转变,在设计方法上经历了从定值法到概率法的发展,下面简要回顾一下其发展历程。

### 1.2.1 容许应力法

19 世纪后,基于胡克定律的弹性力学迅速发展并得到广泛应用,其在钢筋混凝土中的应用也为大家所接受,并延续了很长一段时间。

针对混凝土在抗拉、抗压上的特性,将弹性理论应用于混凝土构件时,一般采用如下假定:

- 1) 弹性假定。钢筋和混凝土均为弹性材料,其弹性模量  $E_s$  及  $E_c$  为常量。应力应变关系服从胡克定律。
- 2) 平截面假定。变形前的平截面变形后仍保持平面。
- 3) 假定混凝土为不抗拉材料,即当混凝土为拉伸应变时,其应力为零。
- 4) 钢筋与周围相接触的混凝土的应变相等。

根据以上假定,受弯构件截面变形及应力分布情况如图 1.4 所示。因钢筋的应变  $\epsilon_s$ 。

与周围混凝土的应变  $\varepsilon_{ci}$  完全相等,所以钢筋应力为

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s = E_c \varepsilon_{ci} = E_s \frac{\sigma_{ci}}{E_c} = \alpha_E \sigma_{ci} \quad (1.1)$$

即钢筋的应力相当于混凝土应力的  $\alpha_E$  倍。由此,在具体计算时,可以将钢筋截面面积折算为  $\alpha_E$  倍的混凝土面积,从而可按单一弹性材料的计算方法进行计算。

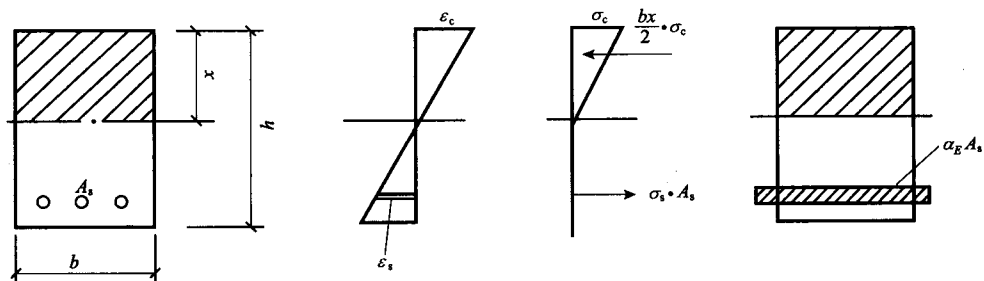


图 1.4 容许应力设计计算简图

按容许应力设计时,认为构件在外界条件作用下,某一截面中的最大应力  $\sigma$  达到或超过材料的容许应力  $[\sigma]$  时,构件即失效(破坏)。为避免构件失效,应满足

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1.2)$$

容许应力  $[\sigma]$  由材料的破坏试验所确定的强度  $f$  除以一安全系数  $k$  得到,即钢筋与混凝土的容许应力分别可表示为

$$\left. \begin{aligned} [\sigma_c] &= \frac{f_c}{k_c} \\ [\sigma_s] &= \frac{f_s}{k_s} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

式中,  $k_c$ 、 $k_s$ ——安全系数,根据经验确定。

容许应力法的缺点是显而易见的,主要表现在以下几个方面:

- 1) 钢筋和混凝土并非完全弹性材料。
- 2) 由于钢筋及混凝土具有塑性变形能力,当某一截面的最大应力达到容许应力时,该截面的其余位置的应力未必都达到了容许应力,构件也未必就引起破坏,故采用容许应力法不能充分发挥材料的潜力。
- 3) 安全系数的确定主要凭借经验,缺乏严格的科学依据。

容许应力法沿用了很长时间,目前在我国一些部门仍采用这种方法。虽然它有不少缺陷,但在对钢筋混凝土的基本假定和设计的思路,仍为现行设计方法所采用。同时,这种方法简便易行,概念明确,尤其适用于对一些简单结构的估算性设计分析。

### 1.2.2 破损阶段设计法

针对容许应力法不能充分发挥材料潜力的缺陷,许多学者加强了对构件极限强度的研究,提出了构件破坏时按截面承载力作为强度设计的方法,即破损阶段设计法。

破损阶段设计法与容许应力设计法的主要区别在于极限承载力的计算。容许应力法



中,假定某一截面的最大应力达到容许应力时构件即告失效;而破损阶段设计法中是以整个截面的内力达到某极限内力时构件才引起失效。单一安全系数  $k$  的概念仍然保留。以受弯构件为例,其设计表达式的形式为

$$M \leq \frac{M_u}{k} \quad (1.4)$$

式中,  $M$ ——截面承担的弯矩;

$M_u$ ——截面所能承受的极限弯矩。

在确定极限弯矩  $M_u$  时,放弃了平截面假定,在考虑材料塑性性能的基础上,采用极限平衡的方法确定。如图 1.5 所示,在达到极限状态时,受压区混凝土的应力分布不是倒三角形,而是曲边形的,其压应力合力显然比倒三角形要大,从而可以充分地发挥材料的性能。在具体计算中,假定受压区混凝土应力图形可用等效矩形图形来代替,钢筋可以达到规定的屈服极限,受拉区混凝土仍不考虑其作用,计算所得的极限弯矩可以比较容易地用整梁试验加以验证,从而调整计算中的参数,使之更符合实际。

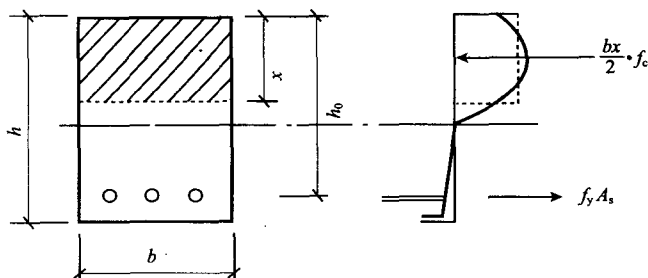


图 1.5 破损阶段设计法计算简图

按破损阶段设计法考虑了钢筋与混凝土的塑性变形性能,可以充分发挥材料的性能。其极限荷载可直接由试验验证,计算所得的结果给出了一个清晰简明的总安全度概念。这是这一方法的优点,但也存在着明显的缺点:

1) 安全系数的确定仍然依赖于经验,且是一个定值。

2) 由于采用了极限平衡理论,对荷载作用下结构的应力分布及位移变化无法作出适当的预计。

上述两种设计方法已不再应用,但其基本设计思想仍在新的设计方法中得到延续和体现。新的设计方法主要是基于可靠性理论的极限状态设计法。1989年实施的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)标志了我国的混凝土结构新设计理论从研究阶段进入到工程应用阶段。虽然新规范(《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002))仍没有能对混凝土结构设计采用全概率方式,但它是建立在系统的统计规律基础上的近似概率方法,比上述的设计方法更科学、更合理。这种概率极限状态设计法将在第三章中进一步加以讨论。