

建筑结构

第3版

◎主编 曹孝柏 伊安海 张建新

◎主审 王运政

课外借

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

建筑结构

(第3版)

主 编 曹孝柏 伊安海 张建新
副主编 肖 毅 吴海燕 张忠良
参 编 杨文兵 唐玉智
主 审 王运政



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书按照高等院校人才培养目标以及专业教学改革的需要进行编写。全书共分为十二章，主要内容包括钢筋和混凝土的力学性能，建筑结构的基本设计原则，受弯构件承载力计算，受扭构件承载力计算，受压构件承载力计算，受拉构件承载力计算，预应力混凝土构件，钢筋混凝土梁、板结构，单层厂房排架结构，多高层框架结构，砌体结构，钢结构等。

本书可作为高等院校土木工程类相关专业的教材，也可作为函授和自考辅导用书，还可供建筑工程施工现场相关技术和管理人员工作时参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构 / 曹孝柏, 伊安海, 张建新主编. —3版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.1
ISBN 978-7-5682-6642-0

I. ①建… II. ①曹… ②伊… ③张… III. ①建筑结构—高等学校—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第009963号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北鸿祥信彩印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 18

字 数 / 426千字

版 次 / 2019年1月第3版 2019年1月第1次印刷

定 价 / 59.00元

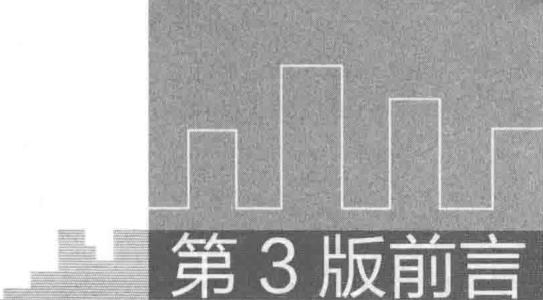
责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



第3版前言

建筑结构是高等院校土木工程类相关专业的主干课程之一,主要包括混凝土结构、砌体结构和钢结构三类结构体系,主要研究一般房屋建筑结构的特点、结构布置原则、结构构件受力特点及破坏形态、简单结构构件的设计原理和设计计算、建筑结构的有关构造要求及结构施工图等内容。

近年来,随着我国建筑结构技术及其应用的迅速发展,新材料、新技术、新工艺、新设备在建筑工程中得到了广泛应用。为此,国家对建筑结构设计相关规范进行了全面修订。本次修订以建筑工程设计与施工最新标准规范为依据,以适应社会需求为目标,以培养学生的技术能力为主线,结合高等院校建筑结构课程教学大纲的要求进行。修订时充分考虑了建筑工程相关专业的深度和广度,以“必需、够用”为度,以“讲清概念、强化应用”为重点,力求目标明确,内容精炼,由浅入深,循序渐进,从而为“工程造价管理”“结构软件设计”“建筑工程质量检测”等后续课程的学习打下牢固的基础。

通过对本书内容的学习,学生可了解建筑结构的基本设计原理,掌握钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能,以及钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构中各种基本构件的受力特点,掌握一般房屋建筑的结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法,正确理解国家建筑结构设计规范中的相关规定,正确进行截面设计等,同时能处理建筑结构施工中的一般问题,逐步培养和提高综合应用能力,为今后从事房屋建筑工程设计、施工及项目管理工作打下良好的基础。

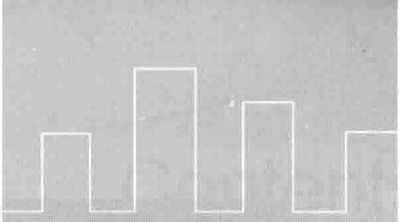
本次修订后的主要内容包括钢筋和混凝土的力学性能,建筑结构的基本设计原则,受弯构件承载力计算、受扭构件承载力计算,受压构件承载力计算,受拉构件承载力计算,预应力混凝土构件,钢筋混凝土梁、板结构,单层厂房排架结构,多高层框架结构,砌体结构,钢结构等,全面介绍了建筑结构设计原理、计算方法等基础知识,并配有大量例题,帮助学生理解、消化所学内容。

本书由曹孝柏、伊安海、张建新担任主编,肖毅、吴海燕、张忠良担任副主编,杨文兵、唐玉智参与编写。具体编写分工为:曹孝柏编写第一章、第二章、第六章,伊安海编写第三章、第四章、附录,张建新编写第七章、第十章,肖毅编写第十二章,吴海燕编写第八章,张忠良编写第九章,杨文兵编写第十一章,唐玉智编写第五章,王运政对全书主审定稿。

本书在修订过程中参阅了国内同行多部著作,部分高等院校教师提出了宝贵意见,在此向他们表示由衷的感谢!

虽经推敲校正,但由于编者的专业水平和实践经验有限,书中仍难免有疏漏或不妥之处,恳请广大读者指正。

编 者



第1版前言

建筑结构是高等院校土建学科工程管理类专业的主干课程之一,包括混凝土结构、砌体结构和钢结构三类结构体系,主要研究一般房屋建筑结构的特点、结构构件布置原则、结构构件的受力特点及破坏形态、简单结构构件的设计原理和设计计算、建筑结构的有关构造要求以及结构施工图等内容。

近年来,随着我国建筑结构技术及其应用的迅速发展,新材料、新技术、新工艺得到了广泛应用。为此,国家对建筑结构设计相关规范进行了全面修订。本教材以适应社会需求为目标,以国家现行建筑结构设计相关规范为依据,以培养技术能力为主线组织编写。在编写时充分考虑工程管理类专业的深度和广度,以“必需、够用”为度,以“讲清概念、强化应用”为重点,深入浅出,注重实用。

通过对本教材的学习,学生可了解建筑结构的基本设计原理,掌握钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能,以及钢筋混凝土结构、砌体结构和各种基本构件的受力特点,掌握一般房屋建筑的结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法,正确理解国家建筑结构设计规范中的有关规定,正确进行截面设计等,同时能处理建筑结构施工中的一般问题,逐步培养和提高综合应用能力,为从事房屋建筑工程设计、施工及项目管理工作打下良好的基础。

本教材共分为十三章,从钢筋和混凝土的力学性能,建筑结构的基本设计原则,受弯构件,受扭构件,受压构件,受拉构件,预应力混凝土构件,钢筋混凝土梁、板结构,单层厂房排架结构,多高层框架结构,钢结构,砌体结构以及建筑结构抗震设计等方面详细讲解了建筑结构设计原理、计算方法等基础知识,并配有大量例题,以帮助学生理解、消化所学内容。

本教材内容翔实,系统全面,并注重理论联系实际以及教学互动。为方便教学,在各章前设置【学习重点】和【培养目标】,各章后设置【本章小结】和【思考与练习】,从更深层次给学生以思考、复习的提示,由此构建了“引导—学习—总结—练习”的教学模式。

本教材由刘雁宁、郭清燕、张秀丽担任主编,申桂英、孙敏、汪一鸣、高秀青担任副主编,靳雪梅、刘建帮参与编写。本教材既可作为高等院校工程管理类专业教材,也可作为建筑工程技术人员的参考用书。

本教材在编写过程中参阅了国内同行多部著作,部分高等院校教师提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

本教材虽经推敲核证,但由于编者的专业水平和实践经验有限,仍难免有疏漏或不妥之处,恳请广大读者指正。

编者

第一章 钢筋和混凝土的力学性能	1	第二节 受弯构件正截面承载力计算	25
第一节 钢筋	1	一、受弯构件正截面的受力性能	25
一、钢筋的种类和级别	1	二、受弯构件正截面承载力计算基本 原则	28
二、钢筋的力学性能	2	三、单筋矩形截面受弯构件正截面 承载力计算	31
三、钢筋的强度指标	4	四、双筋矩形截面受弯构件正截面 承载力计算	34
第二节 混凝土	6	五、T形截面受弯构件正截面承载力 计算	37
一、混凝土的强度	6	第三节 受弯构件斜截面承载力计算	43
二、混凝土的变形	7	一、受弯构件斜截面的工作性能	43
三、混凝土的选用原则	10	二、受弯构件斜截面破坏的主要形态	43
第三节 钢筋与混凝土的粘结	10	三、受弯构件斜截面受剪承载力计算	44
一、粘结作用	10	第四节 受弯构件裂缝及变形验算	47
二、粘结强度	10	一、概述	47
三、影响粘结强度的因素	11	二、裂缝宽度验算	49
第二章 建筑结构设计的基本原则	13	三、受弯构件挠度验算	55
第一节 建筑结构荷载	13	第四章 受扭构件承载力计算	61
一、荷载分类	13	第一节 纯扭构件承载力计算	61
二、荷载代表值	14	一、混凝土构件受到扭转的种类	61
三、荷载效应	15	二、钢筋混凝土矩形截面受扭构件 的破坏形态	61
第二节 极限状态设计法	16	三、受扭钢筋的形式	63
一、极限状态方程	16	四、矩形截面纯扭构件的受扭承载力 计算	63
二、承载能力极限状态设计表达式	16	第二节 弯剪扭构件承载力计算	63
三、正常使用极限状态计算设计表达式	17		
第三章 受弯构件承载力计算	20		
第一节 受弯构件构造要求	20		
一、梁的一般构造要求	21		
二、板的一般构造要求	24		

一、弯剪扭构件截面限制条件	63
二、矩形截面构件弯剪扭承载力 计算	65
三、受扭构件配筋构造要求	66

第五章 受压构件承载力计算 71

第一节 受压构件概述 71

一、受压构件的概念和分类	71
二、钢筋混凝土轴心受压构件的构造 要求	72
三、钢筋混凝土偏心受压构件的构造 要求	73

第二节 轴心受压构件承载力计算 75

一、配置普通箍筋的轴心受压构件 承载力计算	75
二、配置螺旋式或焊接环式间接钢筋 的轴心受压构件承载力计算	76

第三节 偏心受压构件承载力计算 77

一、偏心受压构件的受力性能	77
二、矩形截面偏心受压构件正截面 受压承载力计算	83
三、偏心受压构件斜截面承载力计算	89

第六章 受拉构件承载力计算 93

第一节 轴心受拉构件承载力计算 93

一、轴心受拉构件的受力特点	93
二、轴心受拉构件承载力计算	93
三、轴心受拉构件构造要求	94

第二节 偏心受拉构件承载力计算 94

一、偏心受拉构件的构造要求	95
二、偏心受拉构件的分类	95
三、矩形截面偏心受拉构件正截面 承载力计算	95

第七章 预应力混凝土构件 99

第一节 预应力混凝土概述 99

一、预应力混凝土构件	99
二、预应力混凝土的种类	100
三、预应力混凝土材料	100

第二节 施加预应力的方法、锚具

和夹具 102

一、施加预应力的方法	102
二、锚具和夹具	103

第三节 张拉控制应力和预应力损失 104

一、张拉控制应力	104
二、预应力损失	104

第四节 预应力混凝土构件的构造

要求 108

一、先张法预应力混凝土构件的构 造要求	108
二、后张法预应力混凝土构件的构 造要求	109

第八章 钢筋混凝土梁、板结构 113

第一节 钢筋混凝土梁、板结构概述 113

一、钢筋混凝土平面楼盖的组成及 结构类型	113
二、楼盖上作用的荷载	115
三、单向板和双向板	115

第二节 单向板肋梁楼盖的设计 116

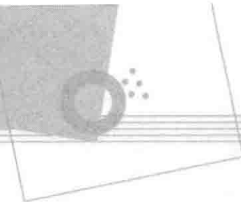
一、楼盖结构布置及设计步骤	116
二、单向板肋梁楼盖结构内力的 计算	117
三、弯矩调幅	124
四、梁和板的截面设计与配筋计算	127

第三节 双向板肋梁楼盖的设计 144

一、双向板肋梁楼盖的结构平面 布置	144
二、双向板的受力特点及试验结果	144

三、双向板肋梁楼盖结构内力的 计算	145
四、双向板的截面设计	147
五、双向板楼盖支承梁设计	148
第四节 装配式楼盖的设计	150
一、预制板与预制梁	150
二、装配式楼盖计算注意事项	151
三、位于非抗震设防区的连接构造	152
四、抗震设防区的连接构造	153
第五节 楼梯设计	154
一、现浇梁式楼梯	155
二、现浇板式楼梯	156
第九章 单层厂房排架结构	160
第一节 单层厂房的组成和布置	160
一、单层厂房的结构组成与传力 途径	160
二、单层厂房的结构布置	162
第二节 排架结构荷载及内力计算	169
一、排架结构的计算单元与计算简 图	169
二、排架的荷载计算	170
三、排架的内力计算	174
四、排架结构的控制截面与内力 组合	177
第三节 单层厂房柱的设计	178
一、柱下独立基础	178
二、柱截面的设计	184
三、牛腿的设计	185
第十章 多高层框架结构	190
第一节 多高层框架结构的组成 和布置	190
一、多高层建筑常用的结构体系	190
二、框架结构的类型和布置	193

第二节 框架结构的计算简图与荷载 分类	194
一、多高层框架结构的计算简图	194
二、多高层建筑结构的荷载	195
第三节 框架结构的构造要求	196
一、框架梁、柱的截面形状及尺寸	196
二、框架柱的配筋	196
三、框架的节点构造	197
第十一章 砌体结构	202
第一节 砌体结构概述	202
一、砌体结构的概念及特点	202
二、砌体结构的分类	203
第二节 砌体材料及砌体的力学性能	204
一、砌体材料	204
二、砌体力学性能	206
第三节 砌体结构构件承载力计算	208
一、无筋砌体受压构件承载力计算	208
二、无筋砌体局部受压承载力计算	210
三、其他构件的承载力计算	213
第四节 砌体构件的构造要求	217
一、墙、柱高厚比的验算	217
二、过梁	219
三、墙梁	221
第十二章 钢结构	228
第一节 钢结构概述	228
一、钢结构的类型及特点	228
二、钢材的力学性能	229
三、钢材的种类及规格	229
第二节 钢结构的连接	231
一、钢结构的连接方法	231
二、焊接连接的构造与计算	232
三、螺栓连接的设计与计算	241
第三节 轴心受力构件计算	246



一、轴心受力构件的强度计算.....	247	三、局部稳定性计算.....	252
二、轴心受力构件的刚度验算.....	247	附录 常用数据.....	257
三、轴心受压构件的稳定计算.....	249	参考文献.....	278
第四节 受弯构件计算.....	250		
一、梁的强度计算.....	250		
二、整体稳定性计算.....	251		

第一章 钢筋和混凝土的力学性能

知识目标

- (1) 了解钢筋的强度指标；熟悉钢筋的力学性能；掌握钢筋的种类和级别；
- (2) 熟悉混凝土的变形、混凝土的选用原则；掌握混凝土的强度；
- (3) 了解钢筋与混凝土的粘结作用、粘结强度；熟悉影响粘结强度的因素。

能力目标

根据工程实际情况，能选择合适的钢筋类型、混凝土强度。

第一节 钢 筋

一、钢筋的种类和级别

我国用于混凝土结构的钢筋，按加工工艺不同，主要包括热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋、冷轧钢筋（冷轧带肋钢筋、冷轧扭钢筋）、冷拔低碳钢丝、消除应力钢丝、钢绞线等。按化学成分不同可分为碳素钢和普通低合金钢。钢筋的含碳量越高，强度越高，但塑性和可焊性下降。工程中常用低碳钢。普通低合金钢是在碳素钢的基础上，再加入微量的合金元素，如硅、锰、钒、钛、铌等，目的是提高钢材的强度，改善钢材的塑性性能。按其外形不同可分为光圆钢筋和变形钢筋。按在结构中是否施加预应力，可分为普通钢筋和预应力钢筋。

1. 普通钢筋

我国《混凝土结构设计规范(2015年版)》(GB 50010—2010)(以下简称《设计规范》)对混凝土结构用钢做了调整，目前钢筋混凝土结构用钢筋主要包括 HPB300、HRB335、HRB400、RRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500 等类别，见表 1-1。其中 HPB300 级钢筋为光圆钢筋，其余钢筋均为变形钢筋(钢筋的外形如图 1-1 所示)；HRB335、HRB400、HRB500 级钢筋分别是指强度级别为 335 MPa、400 MPa、500 MPa 的普通热轧带肋钢筋；RRB400 级钢筋是指强度级别为 400 MPa 的余热处理带肋钢筋；HRBF400、HRBF500 级钢筋分别是指强度级别为 400 MPa、500 MPa 的细晶粒热轧带肋钢筋。

表 1-1 普通钢筋强度标准值

种类	符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 $f_{yk}/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	极限强度标准值 $f_{stk}/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$
HPB300	Φ	6~14	300	420
HRB335	Φ	6~14	335	455
HRB400	Φ	6~50	400	540
HRBF400	Φ^F			
RRB400	Φ^R			
HRB500	Φ	6~50	500	630
HRBF500	Φ^F			

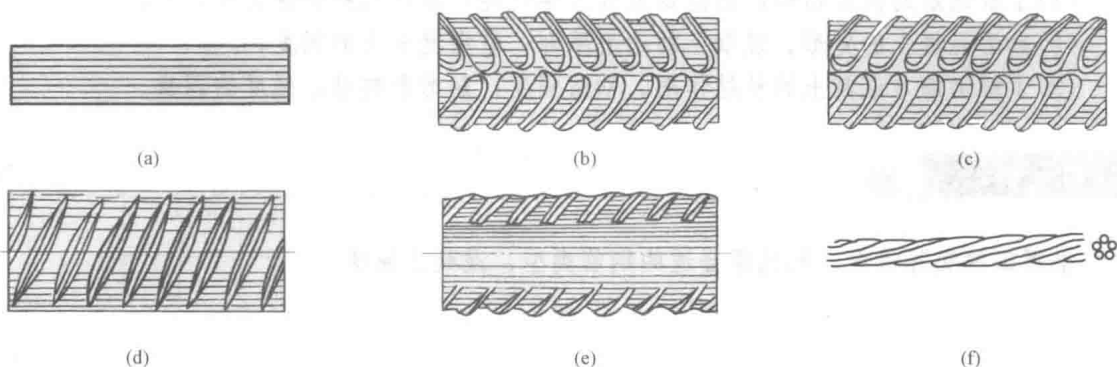


图 1-1 钢筋的外形

(a)光圆钢筋；(b)人纹钢筋；(c)螺纹钢；(d)月牙纹钢筋；(e)刻痕钢筋；(f)钢绞线

《设计规范》中规定纵向受力普通钢筋可采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、HRB335、RRB400、HPB300 级钢筋；梁、柱和斜撑构件的纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 级钢筋。

2. 预应力钢筋

预应力混凝土结构所用钢材一般为预应力钢丝、钢绞线和预应力螺旋钢筋。钢绞线是由多根高强度钢丝交织在一起而形成的，有 3 股和 7 股两种，多用于后张法大型构件。预应力钢丝主要是消除应力钢丝，其外形有光圆、螺旋肋、三面刻痕三种。



钢筋混凝土结构
图例符号的认识

二、钢筋的力学性能

1. 钢筋的强度和变形

钢筋的强度和变形方面的性能主要通过钢筋的应力-应变曲线来表示。

有明显屈服点的钢筋的典型应力-应变曲线如图 1-2(a)所示。图中在 a 点以前，钢筋处于弹性阶段，应力与应变成正比， a 点的钢筋应力即为钢筋的屈服强度 f_y ，直线 Oa 的斜率为钢筋的弹性模量 E_s 。过 a 点后，应变较应力增长快。到达 b 点，钢筋开始屈服，其强度与加荷速度、截面形式、试件表面光洁度等多种因素有关，很不稳定， b 点称为屈服上限。超过 b 点后，进入强化阶段，钢筋的应力下降到 c 点，在应力基本保持不变的情况下，应变显著增加产生较大的塑性变形，但比较稳定， c 点称为屈服下限或屈服点。与 c 点对应的

应力称为屈服强度，以 σ_s 表示，水平 cd 段称为屈服台阶或流幅。过 d 点后，钢筋还能继续承载，应力应变继续加大，到达 e 点后钢筋产生颈缩现象，应力开始下降，但应变仍能继续增长，至 f 点试件被拉断。 e 点对应的应力称为抗拉强度极限 σ_b ，曲线的 de 段称为强化阶段， ef 段称为颈缩下降阶段。

在钢筋混凝土构件计算中，一般取钢筋的屈服强度作为强度计算指标。

无明显屈服点的钢筋的应力-应变曲线如图 1-2(b) 所示。由图中可见，它没有明显的屈服平台，其强度很高，但延伸率大为降低，塑性性能减弱。设计上取相应于残余应变为 0.2% 的应力为名义屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ，约为国家标准的抗拉强度极限 σ_b 的 85%。

图 1-2(c) 所示为各级钢筋的应力-应变曲线。从图中可以看出，普通钢筋应力-应变曲线都有明显的屈服点，这种钢筋即为低碳钢，也称软钢。没有明显屈服点的热处理钢筋和钢丝，称为硬钢。

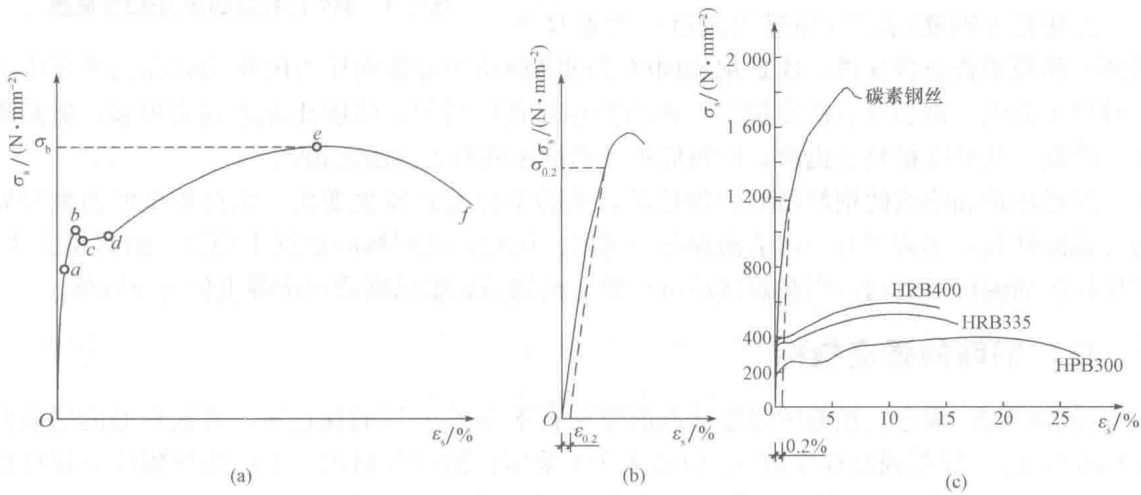


图 1-2 钢筋的应力-应变曲线

(a) 有明显屈服点；(b) 无明显屈服点；(c) 各级钢筋的应力-应变曲线

对于抗震结构，钢筋应力在地震作用下可考虑进入强化阶段，为了保证结构在强震下“裂而不倒”，对钢筋的极限抗拉强度与屈服强度的比值有一定的要求，一般不小于 1.25。钢筋在弹性阶段应力与应变的比值，称为弹性模量，用 E_s 表示。

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\epsilon_s} \tag{1-1}$$

2. 钢筋的塑性性能

钢筋拉断后的伸长值与原长的比率称为伸长率，它是横梁钢材塑性的重要指标，代表材料断裂前具有的塑性变形能力。伸长率大，则钢筋性能好，拉断前有明显的预兆，属于延性破坏；伸长率小，说明钢筋塑性较差，拉断前变形小，破坏突然，属于脆性破坏。伸长率按下式计算：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 δ ——伸长率；

L_1 ——试件拉断后长度；

L_0 ——试件原长度。

3. 钢筋的冷加工

为了节约钢材，在常温下对有明显屈服点的钢筋(软钢)进行机械冷加工，可以使钢材内部组织结构发生变化，从而提高钢材的强度，但其塑性会有所降低。

冷拉是在常温条件下，把钢筋应力拉到超过其原有的屈服点，然后完全放松，使钢材内部组织结构发生变化，从而提高其强度(图 1-3)。冷拉只能提高钢筋的抗拉屈服强度，却不能提高其抗压屈服强度。故当用冷拉钢筋作受压钢筋时，其屈服强度与母材相同。

冷拔是将钢筋(盘条)用强力拔过比它本身直径还小的硬质合金拔丝模，这是钢筋同时受到纵向拉力和横向压力的作用以提高其强度的一种加工方法。钢筋经多次冷拔后，截面变小而长度增加，强度比原来提高很多，但其塑性会降低。其硬度得到了提高，冷拔后钢丝的抗压强度也会随之提高。

经过冷拉和冷拔的钢筋(钢丝)加热后，其力学性能将发生变化。钢材硬化的消失和原有性能的恢复，都需要有一定的高温延续时间。因此，在焊接时如果采用适当的焊接方法，严格控制高温持续时间，则在焊接后可有效避免钢筋屈服强度或极限强度值过分降低。

三、钢筋的强度指标

《设计规范》规定，钢筋的强度标准值应具有不小于 95%的保证率。普通钢筋的屈服强度标准值 f_{yk} 、极限强度标准值 f_{stk} 应按表 1-1 采用；预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋的极限强度标准值 f_{ptk} 及屈服强度标准值 f_{pyk} 应按表 1-2 采用。

表 1-2 预应力筋强度标准值

种类		符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 $f_{\text{pyk}}/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	极限强度标准值 $f_{\text{ptk}}/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$
中强度预应力钢丝	光面	ϕ^{PM}	5、7、9	620	800
	螺旋肋	ϕ^{HM}		780	970
				980	1 270
预应力螺纹钢筋	螺纹	ϕ^{T}	18、25、32、 40、50	785	980
				930	1 080
				1 080	1 230
消除应力钢丝	光面	ϕ^{P}	5	—	1 570
				—	1 860
	螺旋肋	ϕ^{H}	7	—	1 570
			9	—	1 470
				—	1 570

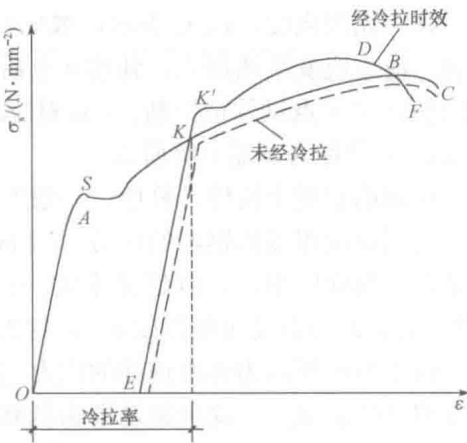


图 1-3 钢筋冷拉后的应力-应变曲线

续表

种类		符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 $f_{\text{pyk}}/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	极限强度标准值 $f_{\text{ptk}}/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$
钢绞线	1×3 (三股)	ϕ^{S}	8.6、10.8、 12.9	—	1 570
				—	1 860
				—	1 960
	1×3 (七股)		9.5、12.7、 15.2、17.8	—	1 720
				—	1 860
				—	1 960
	21.6	—	1 860		

注：极限强度标准值为 1 960 N/mm² 的钢绞线作后张预应力配筋时，应有可靠的工程经验。

普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 、抗压强度设计值 f'_y 应按表 1-3 采用；预应力筋的抗拉强度设计值 f_{py} 、抗压强度设计值 f'_{py} 应按表 1-4 采用。

当构件中配有不同种类的钢筋时，每种钢筋应采用各自的强度设计值。

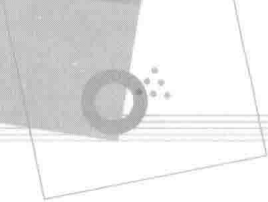
对轴心受压构件，当采用 HRB500、HRBF500 钢筋时，钢筋的抗压强度设计值 f'_y 应取 400 N/mm²。横向钢筋的抗拉强度设计值 f_{yv} 应按表中 f_y 的数值采用；但用作受剪、受扭、受冲击承载力计算时，其数值大于 360 N/mm² 时应取 360 N/mm²。普通钢筋及预应力筋在最大力下的总伸长率 δ_{gt} 不应小于表 1-5 规定的数值。普通钢筋和预应力筋的弹性模量 E_s 可按表 1-6 采用。

表 1-3 普通钢筋强度设计值 N·mm⁻²

牌号	抗拉强度设计值 f_y	抗压强度设计值 f'_y
HPB300	270	270
HRB335	300	300
HRB400、HRBF400、RRB400	360	360
HRB500、HRBF500	435	435

表 1-4 预应力筋强度设计值 N·mm⁻²

种类	极限强度标准值 f_{ptk}	抗拉强度设计值 f_{py}	抗压强度设计值 f'_{py}
中强度预应力钢丝	800	510	410
	970	650	
	1 270	810	
消除应力钢丝	1 470	1 040	410
	1 570	1 110	
	1 860	1 320	
钢绞线	1 570	1 110	390
	1 720	1 220	
	1 860	1 320	
	1 960	1 390	



续表

种类	极限强度标准值 f_{ptk}	抗拉强度设计值 f_{py}	抗压强度设计值 f'_{py}
预应力螺纹钢筋	980	650	400
	1 080	770	
	1 230	900	

注：当预应力筋的强度标准值不符合表 1-4 的规定时，其强度设计值应进行相应的比例换算。

表 1-5 普通钢筋及预应力筋在最大力下的总伸长率限值

钢筋品种	普通钢筋			预应力筋
	HPB300	HRB335、HRB400 HRBF400、HRB500、HRBF500	RRB400	
$\delta_{gt}/\%$	10.0	7.5	5.0	3.5

表 1-6 钢筋的弹性模量 $N \cdot mm^{-2}$

牌号或种类	弹性模量 E_s
HPB300	2.10
HRB335、HRB400、HRB500 HRBF400、HRBF500、RRB400 预应力螺纹钢筋	2.00
消除应力钢丝、中强度预应力钢丝	2.05
钢绞线	1.95

第二节 混 凝 土

一、混凝土的强度

1. 混凝土立方体抗压强度及强度等级

立方体抗压强度是衡量混凝土强度高低的基准标准值，是确定混凝土强度等级的依据。《设计规范》规定，按照标准方法制作养护边长为 150 mm 的立方体试件，以在 28 d 龄期以标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度作为混凝土的立方体抗压强度标准值，用 $f_{cu,k}$ 表示，单位为 N/mm^2 (MPa)。

《设计规范》根据混凝土立方体抗压强度标准值，将混凝土划分为 14 个强度等级，分别以 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80 表示。一般将 C50 以上的混凝土称为高强度混凝土。

2. 混凝土轴心抗压强度

在工程中，钢筋混凝土受压构件的尺寸，往往是高度 h 比截面的边长 b 大很多，形成棱柱体，用棱柱体试件测得的抗压强度称为轴心抗压强度。试验时，棱柱体试件的高宽比 h/b 通常为 3~4，常用试件尺寸为 100 mm×100 mm×300 mm 和 150 mm×150 mm×450 mm。

轴心抗压强度的试件是在与立方体试件相同条件下制得的，经测试其数值要小于立方体抗压强度，根据我国所做的混凝土棱柱体与立方体抗压强度对比试验的结果，它们的比值大致在 0.70~0.92 的范围内变化，强度大的比值大一些。

3. 混凝土轴心抗拉强度

混凝土的抗拉强度很低，与立方体抗压强度之间为非线性关系，一般只有其立方体抗压强度的 1/17~1/8。

混凝土强度标准值见表 1-7。

表 1-7 混凝土强度标准值 N · mm⁻²

强度 种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

注： f_{ck} 是指混凝土轴心抗压强度标准值， f_{tk} 是指混凝土轴心抗拉强度标准值。

4. 复合应力状态下的混凝土强度

在实际混凝土结构中，混凝土处于单向应力状态的情况很少，往往都处于三向复合压应力状态。在复合应力状态下，混凝土的强度和变形性能与单轴应力状态下有明显的不同。

当混凝土三向受压时，不仅混凝土一向的抗压强度随另两向压应力的增加而增大，并且混凝土的极限压应变也会大大增加。这是由于侧向压力约束了混凝土的横向变形，抑制了混凝土内部裂缝的出现和发展，使得混凝土的强度和延性均有明显提高。利用三向受压可使混凝土抗压强度得以提高这一特性，在实际工程中可将受压构件做成“约束混凝土”，以提高混凝土的抗压强度和延性。常用的有配置密排侧向箍筋、螺旋箍筋柱及钢管混凝土柱等。

二、混凝土的变形

混凝土的变形可分为两类：一类是在荷载作用下的受力变形，如单调短期加荷、多次重复加荷以及荷载长期作用下的变形；另一类与受力无关，称为体积变形，如混凝土收缩、膨胀，以及由于温度变化所产生的变形等。

1. 混凝土在一次短期荷载下的变形

(1)混凝土在单调短期加荷作用下的应力-应变曲线是其最基本的力学性能，曲线的特征是研究钢筋混凝土构件的强度、变形、延性(承受变形的能力)和受力全过程分析的依据。

图 1-4 所示为混凝土棱柱体试件在受压时的应力-应变曲线，曲线由上升段 Oc 和下降段 ce 两部分组成。

上升段 Oc 大致可分为以下三段：

1)曲线 Oa 段($\sigma_c \leq 0.3f_c$)。此时混凝土压应力较小，混凝土基本处于弹性阶段工作，应力-应变关系呈直线，卸载后应变可恢复到零。

2)曲线 ab 段($0.3f_c < \sigma_c \leq 0.8f_c$)。随着混凝土压应力继续增大，应变增加的速度比应力快，混凝土呈现出塑性

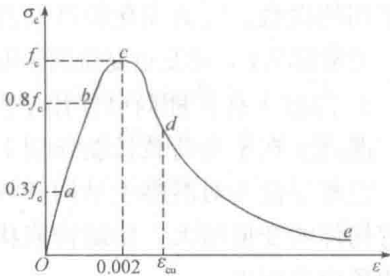


图 1-4 混凝土受压时的应力-应变曲线

性质, 应力-应变关系偏离直线, 此阶段混凝土内部微裂缝开始延伸、扩展。

3) 曲线 bc 段 ($0.8f_c < \sigma_c \leq f_c$)。混凝土的塑性变形显著增大, c 点达到峰值应力 ($\sigma_c = f_c$), 相应的峰值压应变 $\epsilon_0 \approx 0.002$ 。此阶段混凝土内裂缝不断扩展, 裂缝数量及宽度急剧增加, 最后形成相互贯通并与压力方向平行的裂缝, 试件即将破坏。

4) 下降段 ce 。当压应力达到 c 点峰值应力后, 曲线开始下降, 试件承载力逐渐降低, 应变继续增大, 并在 d 点出现拐点, d 点相应的应变称为混凝土的极限压应变 ϵ_{cu} , 一般为 0.0033 。 ϵ_{cu} 值越大, 说明混凝土的塑性变形能力越强, 即材料的延性越好, 抗震性能越好。

(2) 混凝土的横向变形系数。混凝土试件在一次短期加压时, 其纵向产生压缩应变 ϵ_{cv} , 而横向产生膨胀应变 ϵ_{ch} , 其比值 $\nu_c = \epsilon_{ch} / \epsilon_{cv}$ 称为横向变形系数 (又称泊松比), 在混凝土应力 $\sigma_c < 0.5f_c$ 时, 其值基本为常数, 《设计规范》取 $\nu_c = 0.2$, 当 $\sigma_c > 0.5f_c$ 时, 横向变形突然增加, 表明混凝土内部微裂缝开始迅速发展。

(3) 混凝土的弹性模量、变形模量和剪变模量。混凝土的应力与其弹性应变之比称为混凝土的弹性模量, 用符号 E_c 表示。根据大量试验统计结果, 《设计规范》采用经验公式计算混凝土的弹性模量:

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu,k}}} \quad (1-2)$$

混凝土的应力与其弹塑性总应变之比称为混凝土的变形模量, 用符号 E'_c 表示。该值小于混凝土的弹性模量 E_c 。混凝土的弹性模量 E_c 与变形模量 E'_c 的关系为

$$E'_c = \nu E_c \quad (1-3)$$

式中 ν ——混凝土弹性特征系数, 当 $\sigma_c \leq 0.3f_c$ 时, $\nu = 1.0$; $\sigma_c = 0.5f_c$ 时, $\nu = 0.8 \sim 0.9$; $\sigma_c = 0.9f_c$ 时, $\nu = 0.4 \sim 0.7$ 。

混凝土的剪变模量是指剪应力和剪应变的比值, 用 G_c 表示。《设计规范》取 $G_c = 0.4E_c$ 。

2. 混凝土在多次重复加载时的变形

工程中的某些构件, 如工业厂房中的起重机梁, 在其使用期限内要承受 200 万次以上的重复荷载作用, 在多次重复荷载作用下, 混凝土的强度和变形性能都会出现重要变化。在多次重复加荷情况下, 混凝土将产生“疲劳”现象, 混凝土由于荷载重复作用而引起的破坏称为疲劳破坏。疲劳破坏的产生取决于加载时应力是否超过混凝土疲劳强度 f_c^f 。试验表明, 混凝土疲劳强度 f_c^f 低于轴心抗压强度 f_c , 为 $(0.4 \sim 0.5)f_c$, 此值的大小与荷载重复作用的次数、应力变化幅度及混凝土强度等级有关。

通常情况下, 承受重复荷载作用并且荷载循环次数不少于 200 万次的构件必须进行疲劳验算。

3. 混凝土在长期荷载作用下的变形

混凝土在不变荷载长期作用下, 其应变随时间而继续增长的现象称为混凝土的徐变。

混凝土徐变对混凝土结构和构件的工作性能有很大的影响。由于混凝土的徐变, 会使受弯构件的变形增大, 使结构或构件产生内力重分布。在预应力混凝土结构中还会产生较大的预应力损失。

产生徐变的原因通常认为有两个方面: 一是混凝土中尚未形成水泥石晶体的水泥石凝胶体的黏性流动所致; 二是由于混凝土内部微裂缝在长期荷载作用下不断发展和增长,