

///

高等学校教材

第二版

# 混凝土结构设计 基本原理

中南大学 袁锦根 余志武 主编



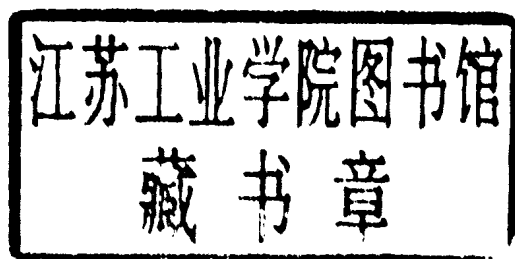
中国铁道出版社

高等学校教材

# 混凝土结构设计基本原理

(第二版)

中南大学 袁锦根 余志武 主编  
湖南大学 成文山 主审



中国铁道出版社

2003年·北京

## (京)新登字 063 号

### 内 容 简 介

本书主要包括:钢筋混凝土的力学性能、受弯构件正(斜)截面、受压构件、受拉构件、受扭构件、受冲切构件的承载力计算,构件裂缝宽度和变形验算及混凝土结构的耐久性;混凝土结构基本计算原则;预应力混凝土结构;铁路和公路桥涵混凝土结构设计基本原理等内容。

本书可作为大专院校土木类各专业的教材,也可供土建技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计基本原理/袁锦根,余志武编. —2  
版. 北京:中国铁道出版社,2003.2  
ISBN 7-113-05041-7

I. 混… II. ①袁…②余… III. 混凝土结构—结构设计 IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 100141 号

书 名:混凝土结构设计基本原理(第二版)  
作 者:中南大学 袁锦根 余志武 主编  
出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)  
责任编辑:程东海  
封面设计:马 利  
印 刷:中国铁道出版社印刷厂  
开 本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:610 千  
版 本:1997 年 8 月第 1 版 2003 年 2 月第 2 版第 3 次印刷  
印 数:5 501—9 000 册  
书 号:ISBN 7-113-05041-7/TU·715  
定 价:33.00 元

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。  
编辑部电话:51873135 发行部电话:63545969

## —— 第二版前言 ——

本书是在《混凝土结构设计基本原理》(第一版)的基础上,并根据我国颁布的《混凝土结构设计规范》GB50010—2002(文中简称《规范》)、《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范(TB10002.3—99)》(文中简称《铁规》)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(征求意见稿)(文中简称《公规》)编写的。

本书编写过程中,力求做到少而精,理论联系实际,文字叙述清楚。为便于教学和读者自学,每章有小结、思考题和习题。

本书由中南大学、华东交通大学、同济大学共同编写。中南大学袁锦根编写绪论,袁锦根、阎奇武编写第一章,杨建军、刘澍编写第三章,袁锦根、贺学军编写第四章,周朝阳编写第八章,余志武、刘澍编写第十章,刘澍、阎奇武编写第十一章,阎奇武编写第十二章;华东交通大学陆龙文编写第二章,徐海燕编写第七章、第九章;同济大学周建民、范沛棠编写第五章、第六章。全书由袁锦根教授、余志武教授主编,湖南大学成文山教授主审。

本书可与余志武、袁锦根主编的《混凝土结构与砌体结构设计》配套使用。

华东交通大学陆龙文教授,中南大学杨建军副院长除编写部分章节外,还对全书的编排、各章节内容协调提出很多宝贵意见,给本书以很大的支持,在此表示谢意。

限于作者水平,书中有不妥甚至错误之处恳请读者批评指正。

编者

2002年12月

※※※

## 第一版前言

※※※

本书是根据我国颁布的《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)(以下简称《规范》)及1996年局部修订条文编写的。

本书编写过程中,力求做到少而精,理论联系实际,文字叙述清楚。为便于教学和读者自学,每章有小结、思考题和习题。

本书由长沙铁道学院、华东交通大学、上海铁道大学共同编写。长沙铁道学院袁锦根编写绪论、第一章、第四章,杨建军编写第三章,周朝阳编写第八章,余志武编写第十章;华东交通大学陆龙文编写第二章,徐海燕编写第七章、第九章;上海铁道大学范沛棠编写第五章、第六章。全书由袁锦根,余志武主编,湖南大学成文山教授主审。

本书可与余志武、袁锦根主编的《混凝土结构与砌体结构设计》配套使用。

华东交通大学陆龙文教授除编写部分章节外,还对全书的编排,各章节内容协调提出很多宝贵意见,长沙铁道学院欧阳炎教授审阅了全书,给本书以很大的支持,在此表示谢意。

限于作者水平,书中有不妥甚至错误之处恳请读者批评指正。

编 者

1997年2月

# 目 录

绪 论	1
第一章 钢筋混凝土的力学性能	5
第一节 钢 筋	5
第二节 混 凝 土	7
第三节 钢筋和混凝土的共同工作	20
小 结	26
思考题	26
第二章 混凝土结构基本计算原则	27
第一节 结构的功能要求与极限状态概念	27
第二节 结构的作用、作用效应与结构抗力	28
第三节 结构按概率极限状态设计	30
第四节 实用设计表达式	34
第五节 数理统计特征值与正态分布概率密度曲线	37
小 结	39
思考题	40
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	41
第一节 概述	41
第二节 试验研究	42
第三节 单筋矩形截面受弯构件承载力计算	45
第四节 双筋矩形截面受弯构件承载力计算	60
第五节 T形截面受弯构件承载力计算	68
第六节 受弯构件截面的延性	75
第七节 构造要求	77
小 结	79
思考题	80
习 题	81
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	84
第一节 概 述	84
第二节 无腹筋简支梁斜裂缝的形成	84
第三节 无腹筋梁的破坏形态	87
第四节 影响斜截面受剪承载力的主要因素	89
第五节 斜截面受剪承载力计算	91
第六节 构造要求	104
小 结	107

思考题	108
习题	108
<b>第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算</b>	110
第一节 概 述	110
第二节 轴心受压构件	111
第三节 偏心受压构件	120
第四节 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	149
小 结	150
思考题	151
习题	152
<b>第六章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算</b>	153
第一节 概 述	153
第二节 轴心受拉构件承载力计算和构造要求	153
第三节 偏心受拉构件承载力计算	154
第四节 矩形截面偏心受拉构件斜截面承载力计算	158
小 结	159
思考题	159
习题	160
<b>第七章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算</b>	161
第一节 概 述	161
第二节 试验研究	161
第三节 纯扭构件的承载力计算	162
第四节 剪扭构件及弯扭构件的承载力计算	166
第五节 构造要求	170
小 结	174
思考题	175
习题	175
<b>第八章 钢筋混凝土受冲切构件承载力计算</b>	176
第一节 概 述	176
第二节 冲切破坏特征	176
第三节 影响冲切承载力的因素	177
第四节 抗冲切承载力设计	178
小 结	189
思考题	189
习题	189
<b>第九章 钢筋混凝土构件裂缝宽度和变形验算及混凝土结构的耐久性</b>	190
第一节 概 述	190
第二节 裂缝宽度验算	190
第三节 受弯构件挠度计算	198
第四节 耐久性规定	203

小 结	204
思考题	205
习 题	205
第十章 预应力混凝土结构	207
第一节 概 述	207
第二节 预应力混凝土结构设计的基础知识	210
第三节 预应力轴心受拉构件计算	230
第四节 预应力混凝土受弯构件计算	246
第五节 无黏结预应力混凝土结构设计	274
小 结	280
思考题	281
习 题	281
第十一章 铁路桥涵混凝土结构设计基本原理	283
第一节 概 述	283
第二节 受弯构件强度和变形计算	285
第三节 轴心受压构件的强度计算	312
第四节 偏心受压构件的强度计算	316
小 结	335
思考题	337
习 题	337
第十二章 公路桥涵混凝土结构设计基本原理	339
第一节 概 述	339
第二节 受弯构件承载力和变形计算	341
第三节 受压构件承载力的计算	355
小 结	366
思考题	368
习 题	368
附录一 《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)的有关规定	369
附表 1.1 混凝土强度标准值	369
附表 1.2 混凝土强度设计值	369
附表 1.3 混凝土的弹性模量和疲劳变形模量	369
附表 1.4 混凝土疲劳强度修正系数 $\gamma_p$	369
附表 1.5 普通钢筋强度标准值	369
附表 1.6 预应力钢筋强度标准值	370
附表 1.7 普通钢筋强度设计值	370
附表 1.8 预应力钢筋强度设计值	370
附表 1.9 钢筋弹性模量	371
附表 1.10 普通钢筋疲劳应力幅限值	371
附表 1.11 预应力钢筋疲劳应力幅限值	371
附表 1.12 受弯构件的挠度限值	371



附表 1.13	结构构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值 $w_{lim}$	372
附表 1.14	混凝土结构的使用环境类别	372
附表 1.15	纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度	372
附表 1.16	钢筋混凝土结构构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率	373
附表 1.17	钢筋混凝土矩形和 T 形截面受弯构件正截面抗弯能力计算表	373
附表 1.18	钢筋的计算截面面积及理论重量表	374
附录 1.19	钢绞线公称直径、截面面积及理论重量	374
附录 1.20	钢丝公称直径、公称截面面积及理论重量	374
附表 1.21	钢筋混凝土板每米宽的钢筋截面面积	375
附表 1.22	截面抵抗矩塑性影响系数基本值 $\gamma_m$	375

附录二 《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB10002.3—99)376

的有关规定..... 376

附表 2.1	混凝土极限强度	376
附表 2.2	混凝土弹性模量 $E_c$	376
附表 2.3	钢筋抗拉强度标准值 $f_{pk}$	376
附表 2.4	预应力钢丝抗拉强度标准值 $f_{pk}$	376
附表 2.5	预应力钢绞线抗拉强度标准值 $f_{pk}$	376
附表 2.6	钢筋计算强度	376
附表 2.7	钢筋弹性模量	377
附表 2.8	截面最小配筋率	377
附表 2.9	混凝土的容许应力	377
附表 2.10	钢筋的容许应力	378
附表 2.11	裂缝宽度容许值 $[w_f]$	378
附表 2.12	钢筋最小锚固长度	378

附录三 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(征求意见稿)的有关规定..... 379

附表 3.1	混凝土强度标准值	379
附表 3.2	混凝土强度设计值	379
附表 3.3	混凝土的弹性模量	379
附表 3.4	普通钢筋抗拉强度标准值	379
附表 3.5	预应力钢筋抗拉强度标准值	380
附表 3.6	普通钢筋抗拉、抗压强度设计值	380
附表 3.7	预应力钢筋抗拉、抗压强度设计值	380
附表 3.8	钢筋的弹性模量	381

参考文献..... 381

# 绪 论

## 一、混凝土结构的一般概念及特点

以混凝土为主制作的结构称为混凝土结构,它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。素混凝土结构是指不配置钢筋的混凝土结构。钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构是指配置非预应力钢筋和预应力钢筋的混凝土结构。本书着重介绍钢筋混凝土和预应力混凝土构件的材料性能、设计原则、计算方法和构造措施等内容。

混凝土由石子、水泥和水拌和而成,混凝土硬化后具有和天然石料相同的特点,其抗压强度很高,而抗拉强度则很低(约为抗压强度的  $1/8 \sim 1/17$ )。这样就使得没有配置钢筋的混凝土,在应用方面受到很大的限制。图 1 所示的简支梁,在外荷载作用下,中和轴上部受压,下部受拉。当荷载增加,中和轴下部的拉应力达到混凝土的极限抗拉强度,即出现裂缝,简支梁也随之破坏,这种破坏是很突然的,也就是说,当荷载达到梁的开裂荷载,梁立即发生破坏,属于脆性破坏。此时,受压区混凝土的抗压强度还未被充分利用,显然,材料的利用很不经济,而且破坏发展得太快,也不安全。图 1(a)为素混凝土梁及其破坏情况示意图。

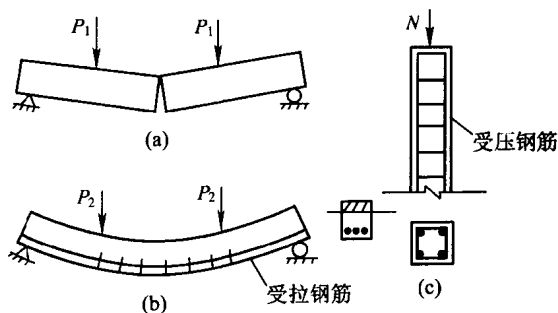


图 1 素混凝土梁及钢筋混凝土梁、柱

与混凝土材料相比,钢筋的抗拉强度很高,在混凝土梁的受拉区配置适当数量的纵向受拉钢筋,形成钢筋混凝土梁,钢筋混凝土梁的试验表明,在外荷载作用下,当截面受拉区混凝土开裂后,在裂缝处的截面上,受拉区混凝土的全部拉力由钢筋来承受。与素混凝土梁不同,钢筋混凝土梁开裂后仍可继续增加梁上所作用的外荷载,直至受拉钢筋应力达到屈服强度,随后截面受压区混凝土被压坏,此时,梁最终破坏,不难看出,配置在受拉区的钢筋显著地增强了受拉区的抗拉能力,并大大提高了梁的承载能力,梁中的钢筋和混凝土两种材料材料强度都得到了较为充分的利用,另外,梁在破坏之前,裂缝显著开展,挠度明显增加,这样的钢筋混凝土梁在破坏之前有明显的预兆,属于塑性破坏,图 1(b)为钢筋混凝土梁及其破坏情况的示意图。

在受压的混凝土柱中配置了抗压强度较高的钢筋,以协助混凝土承受压力,从而可以缩小柱截面尺寸,同时也改善混凝土的变形性能使其脆性有所降低。因此,即使在轴心受压柱中,亦常配置受压钢筋,如图 1(c)所示。

我们也可以在混凝土中配置其他善于抗拉的材料来承受拉力,如利用玻璃丝、竹材等,这样的结构称为玻璃丝混凝土、竹筋混凝土,或者通称为加筋混凝土。但所采用抗拉材料必须能够与混凝土很好地共同工作。

钢筋与混凝土两者所以能够很好地共同工作,其原因是:

(1)混凝土硬化后,钢筋与混凝土之间产生良好的黏结力,使两者结为整体,从而保证在外荷载作用下,钢筋与周围混凝土能协调变形,共同工作。

(2)钢筋与混凝土两者之间线膨胀系数几乎相同,钢筋为  $1.2 \times 10^{-5}$ ,混凝土为  $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ 。当温度变化时,两者之间不会发生相对的温度变形使黏结力遭到破坏。

(3)钢筋位于混凝土中,混凝土包围在钢筋外围可防止钢筋锈蚀,从而保证了钢筋混凝土具有良好的耐久性能。

钢筋混凝土结构有如下优点:

(1)合理利用混凝土抗压强度和钢筋抗拉强度,共同受力,节约钢材。

(2)就地取材。除钢筋和水泥外,其他组成材料,如砂、石子等皆可就地取材,节省造价,降低成本。

(3)适用性强。构件既可整体式现场浇筑,亦可在预制场或工地预制,然后进行装配。

(4)可模性。构件在造型艺术上容易处理,根据需要可浇制成各种形状和尺寸。

(5)耐火性好,整体性好,抗震性能亦较好。

(6)耐久性好。因混凝土强度随时间的增加而增大,钢筋经混凝土严密包裹而不易锈蚀,故使用寿命可很长,几乎不需要维修和养护。

钢筋混凝土结构缺点如下:

(1)自重大。应用于大跨度承重结构将受到限制。

(2)浪费木材。若现场浇筑混凝土,须用木模板和脚手架,因而要耗费一定数量木材。

(3)施工受季节和天气影响较大。在雨天或冬天进行混凝土施工,应对浇筑、振捣和养护等工艺采取相应措施,确保工程质量。

## 二、混凝土结构的应用与发展概况

钢筋混凝土是20世纪应用最广泛的建筑材料之一。1824年正式制成了波特兰水泥。由于它可以塑造成任意形状,强度高,并能很快结硬,因此得到了很大的发展,但这种材料抗拉强度很低。为了弥补这种缺点,就促使人们考虑以抗拉性能较好的材料来加强它,1850年在法国曾有人用铁丝网涂以水泥制造了小船,1861年法国花匠蒙尼(J. Monier)用铁丝加固砂浆制造了花盆,开创了钢筋混凝土发展的历史。后来,蒙尼又把这种新的材料正式推广到制造小型的梁、板及圆管等构件中去。当时因对这种材料结构的性能不十分了解,凭实践的经验将钢筋置于板的中心,这显然是不合理的。

1886年,德国人Koenen和Wayss发表了计算理论和计算方法;Wayss和J. Bauschinger于1887年发表了试验结果。Wayss等人提出了钢筋应配置在受拉区的概念和板的计算方法,此后,钢筋混凝土的推广应用才有了较快的发展。1891~1894年,欧洲各国的研究者发表了一些理论和试验研究结果。但是在1850~1900年的整整50年内,由于工程师们将钢筋混凝土的施工和设计方法视为商业机密,因此,公开发表的研究成果不多。

在美国,Thaddens Hyau于1850年进行了钢筋混凝土梁的试验,但他的研究成果直到

1877年才发表。E.L.Ransome在19世纪70年代初使用过某些形式的钢筋混凝土,并且于1884年成为第一个使用(扭转)钢筋和获得专利的人,1890年,Ransome在旧金山建造了一幢两层95 m长的钢筋混凝土美术馆,从此,钢筋混凝土在美国获得了迅速的发展。

从1850年到20世纪20年代,可以算是钢筋混凝土结构发展的初期阶段,从20世纪30年代开始,从材料性能的改善,结构形式的多样化,施工方法的革新,计算理论和设计方法的完善等多方面开展了大量的研究工作,工程应用十分普遍,使钢筋混凝土进入现代化阶段。

下面就材料、结构和计算原理3个方面简要地叙述钢筋混凝土的发展现状。

(1)材料方面:混凝土强度随生产的发展而不断提高,目前C50~C80级混凝土甚至更高强度混凝土的应用已不仅仅局限于个别工程,近年来,国内外采用加减水剂的方法已制成强度为 $200\text{ N/mm}^2$ 以上的混凝土,在特殊结构的应用中可配制出 $400\text{ N/mm}^2$ 的混凝土,各种特殊用途的混凝土不断研制成功,并获得应用。例如超耐久性混凝土可达500年,耐热混凝土可耐高温达 $1800\text{ }^\circ\text{C}$ ,我国已能生产400级和300级超轻陶粒混凝土,其传热系数小,重量轻。钢纤维增强混凝土和聚合物混凝土等在国内外都获得一定的应用。在模板方面,除木模板外,国内外正大量推广使用钢模板、硬塑料模板,现浇钢筋混凝土结构常采用大模板或泵送混凝土施工,以加快施工进度,国外泵送混凝土高度已达310 m,我国也达200 m。为了减轻结构自重,各国都在大力发展各种轻质混凝土,如加气混凝土、浮石混凝土等,轻质混凝土不仅可用作非承重构件,而且可用作承重结构。例如美国伊利诺大学122 m跨度的体育馆是用容重为 $1.7\text{ kN/m}^3$ 的轻质混凝土建成的圆拱结构;我国北京西便门建造的两栋20层高层住宅楼采用了容重为 $1.8\text{ kN/m}^3$ 的陶粒混凝土作为墙体材料。

1928年法国工程师E.Freyssinet成功地将高强钢丝用于预应力混凝土,使预应力混凝土的概念得以在工程实践中成为现实。预应力混凝土的概念在19世纪80年代即已提出。但是当时因钢筋强度偏低及对预应力损失缺乏深入研究,使预应力混凝土未能成功地实现。预应力混凝土的广泛应用是在1938年Freyssinet发明锥形楔式锚具(弗氏锚具)和1940年比利时的G.Magnel发明Magnel体系之后,预应力混凝土使混凝土结构的抗裂性得到根本的改善,使高强钢筋能够在混凝土结构中得到有效的利用,使混凝土结构能够用于大跨结构、压力储罐、核电站容器等领域。

(2)结构方面:由于材料强度的不断提高,钢筋混凝土和预应力混凝土的应用范围也不断扩大。近20年来,钢筋混凝土和预应力混凝土在大跨度结构和高层结构中的应用有了令人瞩目的发展。

世界上最高的混凝土建筑,也是世界最高的建筑是马来西亚吉隆坡City Center的双塔大厦,高450 m,为钢骨混凝土结构。我国目前最高的高层建筑是88层的上海金茂大厦,高382 m,最高的钢筋混凝土建筑有朝鲜平壤的柳京大厦(105层,高305 m),此外,还有1976年建成的美国芝加哥水塔广场大厦(74层,262 m),我国最高的钢筋混凝土建筑是广州的中天广场,80层,高度322 m。

目前世界上最高的钢筋混凝土构筑物为加拿大多伦多国际电视塔,高549 m。我国1993年已建成高度为468 m的上海东方明珠电视塔,其高度居亚洲第一。

目前世界上跨度最大的钢筋混凝土结构为法国巴黎国家工业与技术中心,它的平面为三角形,每边跨度为218 m,采用厚度仅120 mm的双层双曲钢筋混凝土薄壳结构。

钢筋混凝土和预应力混凝土在水利工程、海洋工程、桥隧工程、地下结构工程中的应用也极为广泛。南斯拉夫KRK钢筋混凝土拱桥,长跨390 m,短跨244 m,是目前世界上最长的拱

桥。跨度最大的斜拉桥是加拿大的 Annacis 桥, 跨度 465 m。我国 1987 年建成天津永和悬浮体系斜拉桥主跨已达 260 m, 此后, 又相继建成上海南浦大桥和铜陵长江大桥等, 后者位居亚洲第一。

近年来, 随着海洋石油的开发利用, 各种钢筋混凝土和预应力混凝土海洋构筑物, 如海上采油平台、码头沉箱、水下隧道、海上储油罐、海上机场等已经得到广泛的应用。

(3) 理论研究方面: 目前, 在建筑结构中已经开始采用以概率理论为基础的, 以可靠度指标度量构件可靠性的分析方法, 使极限状态设计方法向着更完善、更科学的方向发展。随着对混凝土变形性能的深入研究, 现代化测试技术的发展, 有限元法和电子计算机的应用, 钢筋混凝土构件的计算已开始走向采用将承载力、变形、延性贯串起来的全过程分析方法以及从个别构件的计算过渡到考虑整体结构的整体工作的分析方法。这样, 就使得钢筋混凝土的计算理论和设计方法更加日趋完善, 并向着更高的阶段发展。

# 第一章 钢筋混凝土的力学性能

## 第一节 钢 筋

### 一、钢筋的性能

#### (一)钢筋的作用

安置在钢筋混凝土构件中的钢筋,按其作用性质,可分为下面3类。

1. 受力钢筋:钢筋主要配置在受弯、受拉、偏心拉压构件的受拉区以代替或帮助混凝土承担拉力。其次,钢筋也可用来加强混凝土的抗压能力。这类钢筋均称为受力钢筋。它的断面由计算决定。如图1—1所示梁板及柱中的钢筋均属受力钢筋。

2. 架立钢筋:架立钢筋是用来保证受力钢筋的设计位置不因捣固混凝土而有所移动。图1—1所示的梁内钢筋2即为架立钢筋,它用来保证钢箍4的间距及保证整个受力钢筋骨架的稳定。

3. 分布钢筋:分布钢筋是用来将构件所受到的外力分布在较广的范围,以改善受力情况,这种钢筋多数在板中。如图1—1所示的板,除为抵抗弯矩而设置受力钢筋外,同时要使作用在板上的集中荷载分布在较大的宽度上,使钢筋受力较为平均,故须设置与受力钢筋相垂直的钢筋,该钢筋为分布钢筋。

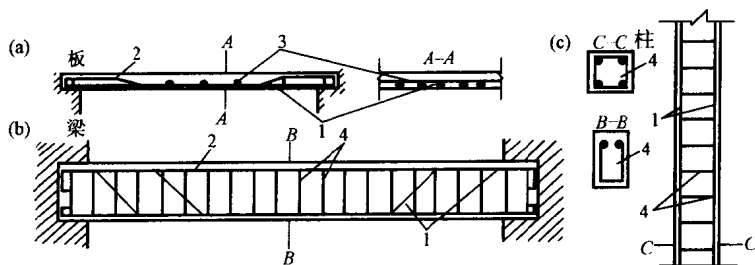


图1—1 钢筋混凝土构件中的钢筋

1—受力钢筋;2—架立钢筋;3—分布钢筋;4—箍筋。

受力、架立和分布钢筋并不一定能绝对区别开来,即同一钢筋往往可以同时起上述两种以上的作用。图1—1(a)中,板内分布钢筋,除了起分布作用外,另有固定受力钢筋位置的作用,梁中钢箍4同时起受力及架立的作用。

此外,钢筋往往还有其他的作用。例如,一般混凝土收缩及温度变化的应力通常就利用受力钢筋与分布钢筋来承受,但有时也要专设温度钢筋。

#### (二)钢筋的质量要求

钢筋混凝土工程中所用钢筋应具备:①有适当的强度;②与混凝土黏结良好;③可焊性好;④有足够的塑性。一般地,强度高的钢筋塑性和可焊性就差些。

## 二、钢筋的品种

钢筋的力学性能主要取决于它的化学成分,其主要成分是铁元素,此外还含有少量的碳、锰、硅、硫、磷等元素。增加含碳量可提高钢材的强度,但塑性和可塑性降低。根据钢材中含碳量的多少,可分为低碳钢(含碳量 $\leq 0.25\%$ )、中碳钢(含碳量 $0.25\% \sim 0.6\%$ )及高碳钢(含碳量 $0.6\% \sim 1.4\%$ )。锰、硅元素可提高钢材强度,并保持一定的塑性;磷、硫是有害元素,其含量超过一定限度时,钢材塑性明显降低。磷使钢材冷脆,硫使钢材热脆,且焊接质量也不易保证。在低碳钢中加入少量锰、硅、铌、钒、钛、铬等元素,便制成低合金钢。低合金钢元素能显著改善钢筋的综合性能,根据所加元素的不同,低合金钢可分的锰系、硅钒系等多种。

目前我国常用的钢筋品种有热轧钢筋、钢绞线、消除应力钢丝和热处理钢筋等种类,其中应用量最大的是热轧钢筋。

热轧钢筋按其强度由低到高分为 HPB235、HRB335、HRB400 和 RRB400 三个等级,即以前所说的 I、II、III 级钢筋,标注符号分别为  $\Phi$ 、 $\Phi$ 、 $\Phi$  ( $\Phi^R$ ), 屈服强度标准值分别为 235 MPa、335 MPa、400 MPa, 屈服强度设计值分别为 210 MPa、300 MPa、360 MPa, 直径为 6 mm~40 mm。我国常用钢筋直径及钢筋面积见附表。热轧钢筋中 HPB235 钢筋为低碳钢,其余各级钢筋均为低合金钢。HPB235 钢筋的外形为光圆钢筋,其余两级均在表面轧有肋纹,称为变形钢筋(图 1—2)。过去通用的肋纹有螺纹[图 1—2(b)]和人纹[图 1—2(c)]。近年来变形钢筋的螺纹形式已逐步被月牙纹[图 1—2(d)]取代。

预应力钢筋常采用钢绞线和消除应力钢丝,也可采用热处理钢筋。高强钢丝和钢绞线的抗拉强度可达 1 470 MPa~1 860 MPa, 钢丝直径 4 mm~9 mm, 外形有光面、刻痕和螺旋肋 3 种,另有 3 股和 7 股钢绞线,外接圆直径 8.5 mm~15.2 mm。

热处理钢筋由某些特定钢号钢筋经加热、淬火和回火等调质工艺处理,使强度得到较大幅度的提高,而延伸率降低不多。

由热轧钢筋经冷拉、冷拔、冷轧、冷轧扭加工后制成冷加工钢筋。对钢筋进行冷加工是为了提高强度,节约钢材。但钢筋冷加工后,其延伸率降低,尤其是用于预应力构件时,易造成脆性断裂。

## 三、钢筋的强度和变形

根据钢筋在单调受拉时应力—应变曲线特点的不同,可将钢筋分为有明显屈服点和无明显屈服点两类。

### 1. 有明显屈服点的钢筋

工程上这类钢筋习惯称为软钢,软钢从加载到拉断,有 4 个阶段。图 1—3(b)为软钢的应力—应变曲线,自开始加载至应力达到  $a$  点以前,应力应变成线性关系, $a$  点称为比例极限, $oa$  段属于线弹性工作阶段,应力达到  $b$  点后,钢筋进入屈服阶段,产生很大的塑性变形, $b$  点应力称为屈服强度或流限,在应力—应变曲线中呈现一水平段,称为流幅或屈服台阶,超过  $c$  点后,应力应变关系重新表现为上升的曲线, $cd$  称为强化段。曲线最高点的  $d$  应力称为极限

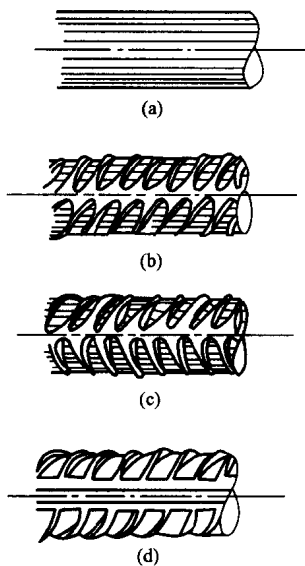


图 1—2 钢筋的形式

强度,此后钢筋试件产生颈缩现象[图 1—3(c)],应力—应变关系成为下降曲线,应变继续增加,到  $e$  点断裂, $de$  段为破坏阶段。

$e$  点所对应的横坐标称为伸长率,它标志钢筋的塑性,伸长率越大,塑性越好,钢筋的塑性除用伸长率标志外,还用冷弯试验来检验。冷弯就是把钢筋围绕直径为  $D$  的钢辊弯转  $\alpha$  角而要求不发生裂纹[图 1—3(a)]。钢筋塑性越好,冷弯角  $\alpha$  就越大。

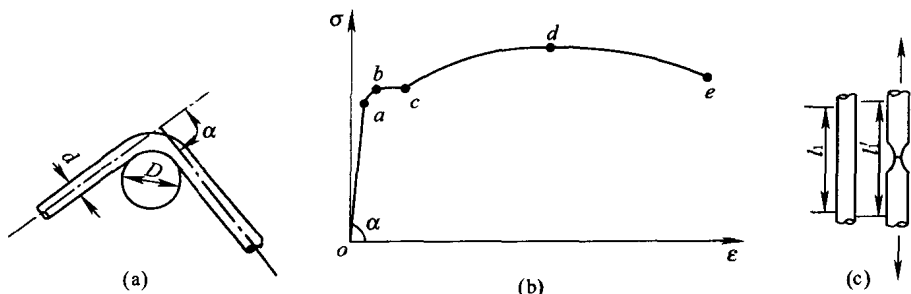


图 1—3 有明显屈服点钢筋的应力应变曲线

屈服强度是钢筋混凝土构件中设计时钢筋强度取值的依据。因为钢筋屈服后产生较大的塑性变形,这将使构件变形和裂缝宽度大大增加,以致无法使用。所以在计算中采用屈服强度作为钢筋的强度取值,钢筋的强化段只作为一种安全储备考虑。但是在检验钢筋质量时仍然要求它的极限强度符合检验标准。

### 2. 无明显屈服点的钢筋

无明显屈服点的钢筋工程上习惯称为硬钢,硬钢强度高,但塑性差,脆性大。从加载到拉断,不像软钢那样有明显的阶段,基本上不存在屈服台阶(流幅)。图 1—4 为硬钢的应力—应变曲线。

由图 1—4 可知,这类钢筋只有一个强度指标,即极限抗拉强度,如前所述,在设计中,极限抗拉强度不能作为钢筋强度取值的依据。因此工程上一般取残余应变为 0.2% 所对应的应力  $\sigma_{0.2}$  作为无屈服点钢筋的强度取值,通常称为条件屈服强度。对于高强钢丝,条件屈服强度相当于极限抗拉强度的 0.86 倍,对于热处理钢筋,则为 0.9 倍。为了简化计算,《规范》统一取  $\sigma_{0.2} = 0.85\sigma_b$ ,其中  $\sigma_b$  为无明显屈服点钢筋的极限抗拉强度。

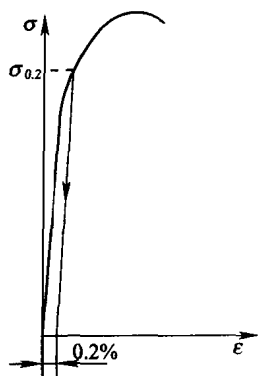


图 1—4 无明显屈服点钢筋的应力—应变曲线

## 第二节 混 凝 土

### 一、混凝土强度

#### (一) 混凝土立方体强度

混凝土立方体强度是衡量混凝土强度的主要指标,简称立方体强度,它不仅与养护时的温度、湿度、水灰比、施工方法、龄期等因素有关,而且与试验方法和试件尺寸也有密切关系。因此在建立混凝土强度时,需要规定一个统一的标准作为依据。

我国《规范》规定:采用边长为 150 mm 的立方体试块,在温度为 17~23℃,相对湿度在 90% 以上的潮湿空气中养护 28 d,按照标准试验方法加压到破坏,所测得的具有 95% 保证率的



抗压极限强度值,作为混凝土的立方体标准强度,用 $f_{cu,k}$ 表示,混凝土的强度等级即由立方体抗压标准强度来确定,它是混凝土各种力学指标的基本代表值,《规范》列出的混凝土强度等级有C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75和C80共14个等级。例如,C40表示立方体抗压强度标准值为 $40\text{ N/mm}^2$ ,C50级及以上等级为高强度混凝土。

试验表明,混凝土在压力机上受压,试件纵向压缩,横向膨胀,由于压力机垫块与试件上下端表面间有摩擦力存在,试件二端表面将不能自由地横向扩张,试件实际上处在三向受力状态,从而提高了试件的抗压能力。若在试件表面涂以油脂,摩擦力将大为减少,所得混凝土抗压强度的数值,就不涂油脂者小。

这两种试验方法所得出的立方体试件破坏特征,也不相同(图1—5所示)。不涂油脂者[图1—5(a)]在破坏时,块体四周剥落,成两个锥形体,涂油脂者[图1—5(b)],则出现垂直裂缝。

为统一标准起见,在试验中均采用较为方便的不涂油脂的试件。

试件的形状与尺寸也在很大程度上影响所测得抗压强度的数值。世界各国测定混凝土强度的标准试件形状有圆柱体试块和立方体试块,美国、日本和欧洲混凝土协会(CEB)采用直径 $d$

$=150\text{ mm}$ ,高度 $h=300\text{ mm}$ 的圆柱体试块的抗压强度作为混凝土强度指标,符号为 $f'_c$ (美国)或 $f_c$ (CEB)。 $f'_c$ 与我国边长为 $150\text{ mm}$ 的立方体强度 $f_{cu}$ 的换算关系为 $f'_c=0.79f_{cu}$ 。

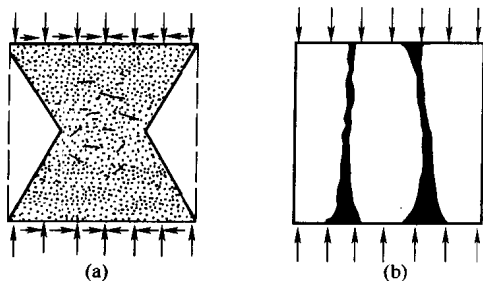


图1—5 立方体试件破坏特征

试验表明,混凝土立方体试块尺寸愈大,实测破坏强度愈低,反之愈高,这种现象称为尺寸效应。这是由混凝土内部缺陷和试件承压面摩擦力影响等因素造成的,试件尺寸大,内部缺陷(微裂缝、气泡等)相对较多,端部摩擦力影响相对较小,故强度较低。根据我国的试验结果,当采用边长为 $200\text{ mm}$ 和 $100\text{ mm}$ 的立方体试块时,实测的立方体抗压强度应分别乘以 $1.05$ 和 $0.95$ 的换算系数,以便得到相当于边长为 $150\text{ mm}$ 的标准试块的立方体抗压强度。

在钢筋混凝土结构中,混凝土强度等级的选用除与结构受力状态和性质有关外,还应考虑与钢筋强度相匹配。根据工程经验和经济等方面的要求,《规范》规定:钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于C15,当采用HRB400和RRB400级钢筋时,混凝土强度等级不宜低于C20,当采用HRB335级钢筋以及对于承受重复荷载作用的构件,混凝土强度等级不得低于C20。预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于C30,当采用碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力钢筋时,混凝土强度等级不宜低于C40。冷轧带肋钢筋用于钢筋混凝土结构,混凝土强度等级不宜低于C20,用于预应力混凝土结构,不宜低于C25。

## (二) 棱柱体抗压强度 $f_c$ (轴心抗压强度)

通常,钢筋混凝土受压构件的实际长度比它的截面尺寸大得多,因此棱柱体试件比立方体试块能更好地反映受压构件中混凝土的实际工作状态。

棱柱体试件所测得的抗压强度称为棱柱体抗压强度 $f_c$ ,又称轴心抗压强度。 $f_c$ 低于立方体强度,这是因为当试件高度增大后,两端接触面摩擦力对试件中部的影响逐渐减弱所致。图1—6中 $f_c/f_{cu}$ 与 $h/b$ 的关系说明随棱柱体高宽比 $h/b$ 增加,棱柱体强度 $f_c$ 逐渐降低,当 $h/b>3$ 时, $f_c$ 趋于稳定,因此我国规范采用 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}\times 450\text{ mm}$ 或 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}\times$