

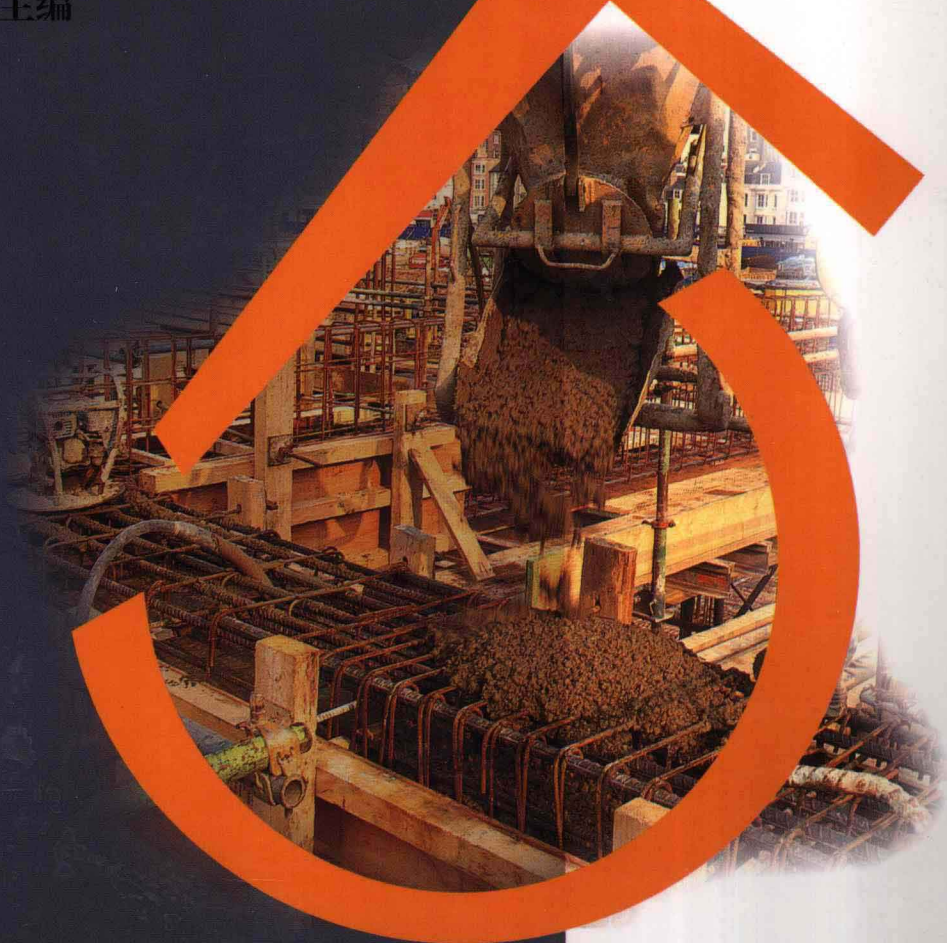
■ 21世纪成人高等教育特色专业教材

水工钢筋混凝土 结构

REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
IN HYDRAULIC ENGINEERING

■ 陈礼和 主编

陈文义 副主编



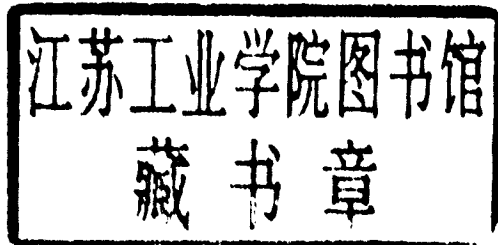
■ 河海大学出版社

21 世纪成人高等教育特色专业教材

水工钢筋混凝土结构

陈礼和 主 编

陈文义 副主编



河海大学出版社

内 容 提 要

本书是参照《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96)编写的。全书共 10 章,主要内容为钢筋混凝土与预应力混凝土结构构件设计的基本理论及其应用。为便于自学,每章均附有学习指导及思考题。

本书系高等学校函授教育水利水电类专业“水工钢筋混凝土结构”课程的教材,也可作为水利水电工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水工钢筋混凝土结构 / 陈礼和主编. —南京: 河海大学出版社, 2003. 5

ISBN 7-5630-1243-5

I. 水... II. 陈... III. 水工结构: 钢筋混凝土结构—高等教育: 函授教育—教材 IV. TV332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 035172 号

书 名 / 水工钢筋混凝土结构

书 号 / ISBN 7-5630-1243-5/TU·36

责任编辑 / 潘仲华

特约编辑 / 陈吉平

责任校对 / 潘 丽 朱 文

封面设计 / 张世立

出 版 / 河海大学出版社

地 址 / 南京市西康路 1 号(邮编: 210098)

电 话 / (025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

经 销 / 江苏省新华书店

印 刷 / 常州市武进第三印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16 21.50 印张 496 千字

版 次 / 2005 年 8 月第 2 版第 2 次印刷

定 价 / 29.00 元(册)

前 言

本书系高等学校函授教育水利水电类专业本、专科“水工钢筋混凝土结构”课程的教材。内容主要为钢筋混凝土与预应力混凝土结构构件设计的基本理论及其应用。考虑到成人教育的特点,本书除编写了大量的计算例题外,每章均附有学习指导、思考题及习题。

教材中采用的计算公式、符号及基本数据,主要依据 1997 年颁布的中华人民共和国行业标准《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96),并参考了我国其他部委的有关规范。但在内容的取舍与观点的论述上不受规范的限制。

本书由河海大学、华北水利水电学院、北京水利电力函授学院三校合编。参加本书编写工作的有:河海大学陈礼和(绪论,第 1 章,第 4 章,附录)、吴胜兴(第 2 章)、巫昌海(第 3 章),华北水利水电学院祝昭荣(第 5 章,第 7 章)、王伟锋(第 6 章)、陈文义(第 10 章),北京水利电力函授学院刘强(第 8 章)、魏涛(第 9 章)。本书由河海大学陈礼和任主编,华北水利水电学院陈文义任副主编。本书由河海大学刘瑞教授主审。

本教材的编写工作较为仓促,可能有不少不当或错误之处,恳请读者批评指正。


编 者

目 录

◆ 绪论	1
0.1 钢筋混凝土的特点	1
0.2 钢筋混凝土结构的发展简况	3
0.3 学习本课程应注意的几个问题	4
◆ 第 1 章 钢筋混凝土结构的材料	6
1.1 钢筋的品种和力学性能	6
1.2 混凝土的物理力学性能	10
1.3 钢筋与混凝土的粘结	17
1.4 水工混凝土结构的耐久性要求	19
学习指导	23
思考题	24
◆ 第 2 章 钢筋混凝土结构设计计算原理	25
2.1 设计计算理论的发展	25
2.2 近似概率极限状态设计法	27
2.3 《水工混凝土结构设计规范》的实用设计表达式	34
学习指导	41
思考题	42
习题	43
◆ 第 3 章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	45
3.1 受弯构件正截面的试验研究	45
3.2 正截面受弯承载力计算原则	47
3.3 单筋矩形截面承载力计算	50
3.4 受弯构件的一般构造说明	53

3.5 双筋矩形截面承载力计算	60
3.6 T形截面承载力计算	65
学习指导	71
思考题	72
习题	73
◆ 第4章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	77
4.1 斜裂缝的形成	77
4.2 无腹筋梁斜截面上的应力状态及破坏形态	79
4.3 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	82
4.4 钢筋混凝土梁的斜截面受弯承载力	93
4.5 钢筋骨架的构造	97
4.6 钢筋混凝土构件施工图	100
4.7 钢筋混凝土伸臂梁设计例题	102
学习指导	107
思考题	109
习题	109
◆ 第5章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	112
5.1 受压构件的构造要求	112
5.2 轴心受压构件正截面承载力计算	116
5.3 偏心受压构件正截面承载力计算	120
5.4 对称配筋矩形截面偏心受压构件	137
5.5 偏心受压构件截面承载能力 N 与 M 的关系	143
5.6 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	145
5.7 双向偏心受压构件正截面承载力计算	147
学习指导	148
思考题	150
习题	151
◆ 第6章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	153
6.1 大小偏心受拉的界限	153
6.2 小偏心受拉构件的计算	154
6.3 大偏心受拉构件的计算	156
6.4 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	158
学习指导	159
思考题	159
习题	159
◆ 第7章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	161
7.1 钢筋混凝土受扭构件的破坏形态及开裂扭矩	161

7.2	钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	165
7.3	钢筋混凝土构件在弯、剪、扭共同作用下的承载力计算	171
	学习指导	178
	思考题	179
	习题	179
◆	第 8 章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	181
8.1	概述	181
8.2	抗裂验算	182
8.3	裂缝开展宽度的验算	190
8.4	变形验算	204
	学习指导	209
	思考题	209
	习题	210
◆	第 9 章 钢筋混凝土梁板结构及刚架结构	211
9.1	概述	211
9.2	整体式单向板肋形结构	213
9.3	整体式双向板肋形结构	238
9.4	钢筋混凝土刚架结构	241
9.5	钢筋混凝土牛腿设计	244
9.6	钢筋混凝土柱下基础	247
	学习指导	253
	思考题	253
	习题	255
◆	第 10 章 预应力混凝土结构	257
10.1	概述	257
10.2	预应力混凝土材料与锚具	259
10.3	预应力筋张拉控制应力及预应力损失	263
10.4	预应力混凝土受弯构件应力分析	268
10.5	预应力混凝土受弯构件承载力计算	274
10.6	预应力混凝土受弯构件的抗裂、裂缝宽度、变形验算	278
10.7	预应力混凝土受弯构件设计实例	285
10.8	预应力混凝土构件的构造要求	300
	学习指导	302
	思考题	304
	习题	304
◆	附录	307
	附录 1 结构安全级别、结构环境条件类别、结构系数及荷载分项系数	307

附录 2	材料强度的标准值、设计值及材料的弹性模量	309
附录 3	钢筋的计算截面面积表	312
附录 4	一般构造规定	314
附录 5	构件抗裂、裂缝宽度、挠度验算中的有关限值及系数值	316
附录 6	均布荷载作用下等跨连续板梁的跨中弯矩、支座弯矩及支座截面剪力的计算系数表	318
附录 7	端弯矩作用下等跨连续板梁各截面的弯矩及剪力计算系数表	321
附录 8	移动的集中荷载作用下等跨连续梁各截面的弯矩系数及支座截面剪力系数表	323
附录 9	承受均布荷载的等跨连续梁各截面最大及最小弯矩(弯矩包络图)的计算系数表	330
附录 10	按弹性理论计算在均布荷载作用下矩形双向板的弯矩系数表	332
附录 11	各种荷载化成具有相同支座弯矩的等效均布荷载表	335
 参考文献		336

绪论

0.1 钢筋混凝土的特点

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的共同受力的结构。

混凝土是一种抗压能力较强而抗拉能力很弱的建筑材料。这就使得素混凝土结构的应用受到很大限制。例如，一根截面为 $200\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 、跨长为 2.5 m 、混凝土立方体强度为 22.5 N/mm^2 的素混凝土简支梁，跨中承受 13.5 kN 的集中力，就会因混凝土受拉而断裂(图 0-1(a))。但是，如果在这根梁的受拉区配置 2 根直径 20 mm 、屈服强度为 318.2 N/mm^2 的钢筋(图 0-1(b))，用钢筋来代替开裂的混凝土承受拉力，则梁能承受的集中力可增加到 72.3 kN 。由此说明，同样截面形状、尺寸及混凝土强度的钢筋混凝土梁比素混凝土梁可承受大得多的外荷载。

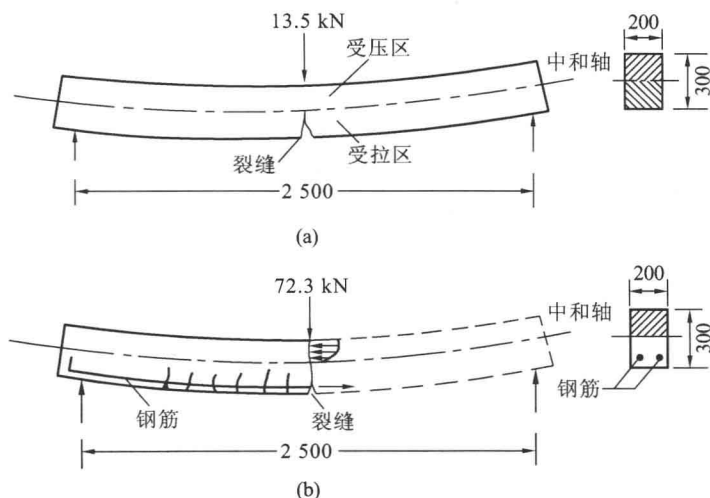


图 0-1 混凝土及钢筋混凝土简支梁的承载力

一般来说，钢筋混凝土由混凝土承担压力、钢筋承担拉力，因此，钢筋混凝土结构能

比较充分地利用混凝土和钢筋这两种材料的力学性能。

钢筋和混凝土这两种材料的力学性能很不相同,但能共同工作,主要是由于以下三点:

(1) 钢筋与混凝土之间存在有粘结力,保证在荷载作用下,钢筋和外围混凝土能够协调变形,共同受力。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数接近,当温度变化时,两者间不会产生很大的相对变形而破坏它们之间的结合。

(3) 钢筋至构件边缘之间的保护层混凝土,使钢筋不易发生锈蚀。

钢筋混凝土结构除了能充分利用钢筋和混凝土两种材料的受力性能外,尚具有许多优点,主要有:

(1) 强度较高。和砖、木结构相比,其强度较高,在某些情况下可以代替钢结构,因而能节约钢材。

(2) 耐久性好。在一般环境下,钢筋受混凝土的保护而不易生锈,混凝土的强度随着时间的增长还有所提高,所以其耐久性好,几乎不需要经常的维修和保养。

(3) 耐火性好。混凝土是不良导热体,遭火灾时,钢筋因有混凝土包裹而不至于很快升温到失去承载力的程度,因而比钢、木结构的耐火性好。

(4) 可模性好。混凝土可根据设计需要浇筑成各种形状和尺寸的结构,因而适用于建造形状复杂的大体积结构及空间薄壁结构。这一特点是砖石、钢、木等结构所不能代替的。

(5) 整体性好。整体浇筑的钢筋混凝土结构整体性好,有利于抗震、防爆。

(6) 易于就地取材。混凝土所用的原材料中占很大比例的石子和砂子,产地普遍,便于就地取材,因而材料运输费用少,可以显著降低工程造价。

但是,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,主要有:

(1) 自重大。这对于建造大跨度结构和高层建筑来说是不利的。

(2) 施工比较复杂,工序多,施工时间长;冬季施工和雨天施工困难,需采取必要的措施以保证工程质量。

(3) 现浇钢筋混凝土要用模板,木材耗费量大。

(4) 抗裂性差。在正常使用时,普通钢筋混凝土结构往往带裂缝工作,裂缝的存在会降低抗渗和抗冻能力,并会导致钢筋锈蚀,影响结构物的耐久性。这对水工钢筋混凝土结构很不利。

(5) 修补和加固比较困难。

随着科学技术的发展,这些缺点正得到克服和改善。例如采用轻质高强混凝土可减轻结构的自重;采用预制装配式构件可节约模板,加快施工进度,施工不受季节气候的影响;采用预应力混凝土结构可控制裂缝。

由于钢筋混凝土具有上述很多优点,因而在土木工程中的应用是极为广泛的。

在水利、水电、水运工程中,钢筋混凝土可以用来建造平板坝、连拱坝、隧洞衬砌、水电站厂房、机墩、蜗壳、尾水管、调压塔、压力水管、水闸、船闸、码头、渡槽、涵洞、倒虹吸管等。在工业与民用建筑及交通运输等工程中,可用来建造厂房、仓库、高层楼房、水池、水塔、桥梁、轨枕、电视塔等。此外,它在地下工程、海洋工程以及一些特殊建筑和特

种结构中也得到非常广泛的应用。

钢筋混凝土结构可作如下分类：

(1) 按结构的受力状态和构造外形可分为杆件系统和非杆件系统两大类。杆件系统中又有受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件等。非杆件系统可以是空间薄壁结构，也可以是大体积结构。

(2) 按结构的制造方式可分为整体式、装配式及装配整体式三种。整体式结构是在现场立模板、绑扎钢筋，然后现场浇捣混凝土而成的结构。它的整体性较好，但施工期长，耗费木料较多。装配式结构是在工厂(或预制工场)预先制备各种构件，然后运往工地装配而成的。它可使建筑事业工业化(设计标准化、制造工业化、安装机械化)；制造不受季节限制，能加速施工进度；模板可重复使用，还可免去脚手架，节约木料。装配式结构的缺点是整体性较差。装配整体式结构是在结构内有一部分为预制的装配式构件，另一部分为现浇的混凝土，预制装配部分常可作为现浇部分的模板和支架。它比整体式结构有较高的工业化程度，又比装配式结构有较好的整体性。

(3) 按结构的初始应力状态可分为普通钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。预应力混凝土结构是在结构承受荷载以前，预先在混凝土中施加压力，造成人为的受压状态，使其产生的压应力可全部或部分地抵消荷载引起的拉应力。预应力混凝土结构的主要优点是抗裂性能好，能充分利用高强度材料，可以用来建造大跨度的承重结构。

0.2 钢筋混凝土结构的发展简况

钢筋混凝土结构从 19 世纪中叶开始采用以来，发展极为迅速。它已成为现代工程建设中应用非常广泛的建筑结构。目前钢筋混凝土结构的跨度和高度都在不断地增大。世界上最高的钢筋混凝土连拱坝高达 214 m；最高的钢筋混凝土楼房已达 322 m；最高的预应力混凝土电视塔高达 553 m；预应力高强混凝土公路桥的跨度已接近 300 m。某些有特殊要求的结构，例如核电站安全壳和压力容器、海上采油平台、贮气罐及贮油罐等结构，抗裂及抗腐蚀能力要求较高，采用预应力混凝土结构有其独特的优越性而非其他材料可以比拟的。

钢筋混凝土结构的计算理论、材料制造及施工技术等方面都有了很大的发展，并且还在继续向前推进。

在计算理论方面，从把材料作为弹性体的容许应力古典理论发展为考虑材料塑性的极限强度理论，并迅速发展成完整的按极限状态计算体系。目前在工程结构中已采用基于概率论和数理统计分析的可靠度理论，使极限状态计算体系向更完善、更科学的方向发展。混凝土的微观断裂机理、混凝土的强度理论及非线性变形的计算理论等方面也有很大进展。有限元方法和现代化测试技术的应用，使得钢筋混凝土结构的计算理论和设计方法正在向更高的阶段发展。

在材料研究方面，主要向高强、轻质、耐久及具备某种特异性能方向发展。目前强度为 $100 \text{ N/mm}^2 \sim 200 \text{ N/mm}^2$ 的高强混凝土已在工程上得到实际应用。各种轻质混凝土、纤维混凝土、聚合物混凝土、耐腐蚀混凝土、微膨胀混凝土、水下不分散混凝土以及品种繁多的外加剂在工程上的应用，已使大跨度结构、高层建筑、高耸结构和具备某

种特殊性能的钢筋混凝土结构的建造成为现实。

在结构和施工方面,水工钢筋混凝土结构常因整体性要求而采用现浇混凝土施工方式。大型水利工程的工地建有拌和楼(站)集中搅拌混凝土,并可将混凝土运至浇筑地点,这给机械化现浇混凝土施工带来很大方便。房屋建筑工程中虽广泛采用定型化、标准化的装配式结构,但随着一些大型建筑工地预拌混凝土(或称商品混凝土)、泵送混凝土及滑模施工等新技术的应用,已显示出在保证混凝土质量、节约原材料和能源、实现文明施工等方面的优越性,所以我国目前房屋建筑中也有采用现浇整体式结构的。采用预先在模板内填实粗骨料,再将水泥浆加压灌入粗骨料空隙中形成的压浆混凝土,以及用于大体积混凝土结构(如水工大坝、大型基础)、公路路面与厂房地面的碾压混凝土,它们的浇筑过程都采用机械化施工,浇筑工期可大为缩短,并能节约大量材料,从而获得好的经济效益。值得注意的是,近年来由钢与混凝土或钢与钢筋混凝土组成的结构、型钢与混凝土组成的组合梁结构、外包钢混凝土结构及钢管混凝土结构已在工程上逐步推广应用。这些组合结构具有充分利用材料强度、较好地适应变形能力(延性)、施工较简单等特点。

总之,钢筋混凝土结构的研究和应用已取得很大的发展,今后发展的前景更加广阔。

0.3 学习本课程应注意的几个问题

钢筋混凝土结构是水利水电工程中最基本的结构形式。本课程也是水利水电类专业中最为重要的技术基础课程。学习本课程的主要目的是:掌握水工钢筋混凝土结构构件设计计算的基本理论和构造知识,为学习有关专业课程和顺利地从事钢筋混凝土建筑物的结构设计打下牢固的基础。学习本课程需要注意以下几个问题:

(1) 从某种意义上说,本课程是研究钢筋混凝土这一具体材料的力学理论课程,由于研究的不是理想弹性材料,所以与研究弹性体的“材料力学”课程有很大不同。在学习时应注意它们之间的异同点。钢筋混凝土的力学特性及强度理论非常复杂,因此,目前钢筋混凝土结构的计算公式常常是在大量实验基础上与理论分析相结合建立起来的。学习时还应注意每一理论的适用范围和条件,不要不问具体情况盲目地生搬硬套,而应在实际工程设计中正确运用这些理论和公式。

(2) 材料力学、结构力学等课程侧重于构件的应力分析和变形计算,它的解答往往是惟一的。而钢筋混凝土课程所要解决的不仅仅是强度和变形计算问题,主要的是结构构件的设计,包括方案、截面形式及材料的选择、配筋构造等。结构设计是一个综合性的问题,需要考虑安全、适用、经济和施工的可行性等各方面的因素。同一构件在给定荷载作用下,可以有不同的截面形式、尺寸、配筋数量等多种选择,往往需要进行适用、材料用量、造价、施工等各项指标的综合分析比较,才能作出合理的选择。在学习“钢筋混凝土”课程时,要注意掌握对各种因素进行综合分析的设计方法。

(3) 本课程要学习有关构造知识、构造规定,它们是长期科学实验和工程经验的总结。在设计结构和构件时,计算与构造是同样重要的,因此,要充分重视对构造知识的学习。在学习过程中不必死记硬背构造的具体规定,但应注意弄清其中的道理,要通过

平时的作业和课程设计逐步掌握一些基本构造知识。

(4) 在学习本课程时要学会运用设计规范,这是力学课程所不曾遇到的问题。为了贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量,达到设计方法上的必要的统一化、标准化,国家各部委制订了适用于各工程领域的钢筋混凝土结构设计规范。如现行的《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)和《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96)等,对钢筋混凝土结构构件的设计方法和构造细节都作了具体规定。本书的内容在很多方面与设计规范有关。规范反映了我国 40 多年来钢筋混凝土的科技水平和丰富的工程经验,并且吸收了国际上的一些先进成果,在学习过程中要理解它、熟悉它和应用它。

(5) 本课程同时又是一门结构设计课程,有很强的实践性。要搞好工程结构设计,除了要有坚实的基础理论知识以外,还须综合考虑材料、施工、经济、构造细节等各方面的因素。努力参加实践工作,逐步掌握对各种因素的综合分析的能力是非常重要的。此外,为了培养学生从事设计工作的能力,必须对结构分析计算、整理编写设计书、绘制施工图纸等基本技能提出严格的要求。

1.1 钢筋的品种和力学性能

1.1.1 钢筋的品种

建筑工程中所用的钢筋,按外形分为光面钢筋和变形钢筋两类。光面钢筋表面是光圆的,见图 1-1(a)。变形钢筋表面有两条纵向凸缘(纵肋),在纵肋凸缘两侧有许多等距离和等高度的斜向凸缘(斜肋),凸缘斜向相同的表面形成螺旋纹,见图 1-1(b),凸缘斜向不同的表面形成人字纹,见图 1-1(c)。螺旋纹和人字纹钢筋以往习惯称为螺旋钢筋,现行钢筋标准GB1499-91中称为等高肋钢筋。斜向凸缘和纵向凸缘不相交,剖面几何形状呈月牙形的钢筋,过去称为月牙纹钢筋,见图 1-1(d),现行钢筋标准中称为月牙肋钢筋,它是我国近年来使用的一种新外形变形钢筋,与同样公称直径的等高肋钢筋相比,强度稍有提高,凸缘处应力集中也得到改善,但与混凝土之间的粘结强度略低于等高肋钢筋。

我国生产的建筑用钢筋按化学成分可以分为两大类:碳素钢和普通低合金钢。碳素钢按碳的含量多少分为低碳钢(含碳量少于 0.25%)、中碳钢和高碳钢(含碳量超过 0.6%)。含碳量增加,能使钢材强度提高,性质变硬,但也使钢材的塑性和韧性降低,焊接性能变差。如果在炼钢时对碳素钢加入少量合金元素,就成为普通低合金钢。合金元素锰、硅、钒、钛等可使钢材的强度、塑性等综合性能提高,从而使低合金钢筋具有强度高、塑性及可焊性好的特点,因而应用较为广泛。

我国建筑工程中所用的钢筋有热轧钢筋、冷拉钢

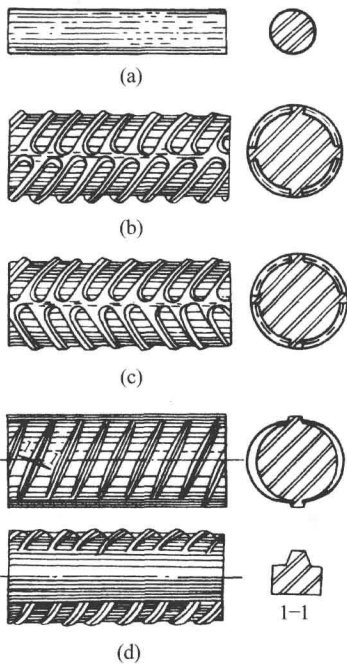


图 1-1 钢筋表面及截面形状

筋、冷轧带肋钢筋及热处理钢筋四种。热轧钢筋是将钢材在高温状态下轧制而成的。根据其强度的高低,分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ共4个级别。冷拉钢筋是由热轧钢筋在常温下用机械拉伸而成的,冷拉后钢筋内部组织结构发生变化,其屈服强度能够提高。冷拉钢筋也分为冷拉Ⅰ、冷拉Ⅱ、冷拉Ⅲ、冷拉Ⅳ共4个级别。冷轧带肋钢筋由热轧圆盘条(母材)经冷轧减小直径后在其表面冷轧成带有斜肋的钢筋,可明显提高屈服强度。热处理钢筋是将热轧的螺纹钢筋再通过淬火和回火的调质处理而成的,热处理能显著提高其强度。

建筑用钢筋要求具有一定的强度(屈服强度和抗拉强度)、足够的塑性(伸长率和冷弯性能)以及良好的焊接性能。下面分别对各种钢筋作一简介。

(一) Ⅰ级钢筋

Ⅰ级钢筋是热轧光圆钢筋,直径为8 mm~20 mm。盘条的直径为5.5 mm~14 mm。它是一种低碳钢,质量稳定,塑性及焊接性能很好,但强度稍低,而且与混凝土的粘结稍差。因此,Ⅰ级钢筋在厚度不大的板中应用较多。

(二) Ⅱ级钢筋

Ⅱ级钢筋是热轧带肋钢筋,直径为8 mm~40 mm。其强度、塑性及可焊性都比较好。由于强度比较高,为增加钢筋与混凝土之间的粘结力,保证两者能共同工作,钢筋表面轧制成月牙肋。Ⅱ级钢筋在工程中应用十分广泛。

(三) Ⅲ级钢筋

Ⅲ级钢筋是热轧月牙肋钢筋,直径为8 mm~40 mm。它的塑性及可焊性也比较好,但强度高,如果用于普通钢筋混凝土结构构件中,又要它充分发挥其强度,则会使混凝土裂缝开展得很宽。因此,Ⅲ级钢筋常经过冷拉后用作预应力钢筋。

(四) Ⅳ级钢筋

Ⅳ级钢筋是热轧等高肋钢筋,直径为10 mm~32 mm。Ⅳ级钢筋不用于普通钢筋混凝土结构,一般均经冷拉后用于预应力混凝土结构。Ⅳ级钢筋的焊接质量较难控制,在承受重复荷载的结构中,如没有专门的焊接工艺,不宜采用有焊接接头的Ⅳ级钢筋。在低于-30℃的低温条件下易产生冷脆现象时,也不宜采用Ⅳ级钢筋。

(五) 冷拉钢筋

冷拉Ⅰ级钢筋可用于普通钢筋混凝土结构,但一般不用于水工钢筋混凝土轴心受拉及小偏心受拉构件。这是因为轴心受拉或小偏心受拉构件为全截面受拉,要求构件正常使用时不出现裂缝,因而钢筋经过冷拉后的强度不能充分利用。冷拉Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋常用作预应力混凝土结构的预应力钢筋。钢筋经冷拉后性质变脆,承受冲击荷载或重复荷载的构件及处于负温下的结构,一般不宜采用冷拉钢筋。

(六) 冷轧带肋钢筋

冷轧带肋钢筋也是我国推广使用的新品种钢筋。它是强度较高的月牙肋变形钢筋,直径为4 mm~12 mm,按强度高低,分为LL550、LL650、LL800三个级别^①。LL550级冷轧带肋钢筋可应用于普通钢筋混凝土结构;LL650级和LL800级冷轧带肋钢筋可用作中、小预应力混凝土构件的预应力钢筋。冷轧带肋钢筋也可用于焊接钢筋

^① 第一个L和第二个L分别为“冷”与“肋”字的汉语拼音字头,后面数字表示钢筋抗拉强度标准值。

网。冷轧带肋钢筋具有脆性性质,因此不宜用于直接承受冲击荷载的结构构件中。

(七) 热处理钢筋

热处理钢筋是强度最高的等高肋钢筋。因其强度已很高,不必再进行冷拉而可直接用作预应力钢筋。腐蚀可导致热处理钢筋在高应力状态下产生裂隙以致脆断,因此,要注意对这种钢筋的保管和使用。

(八) 钢丝

钢丝的直径越细,其强度越高。钢丝一般都用作预应力钢筋。它们的规格、性能参见第 10 章。

1.1.2 钢筋的力学性能

上节所述各种钢筋,由于化学成分及制造工艺的不同,机械性能有显著差别。按力学的基本性能来分,则有三种类型:①热轧 I、II、III、IV 级钢筋,钢的力学性质相对较软,常称之为软钢;②热处理钢筋及高强钢丝,其力学性质高强而硬,常称之为硬钢;③冷拉钢筋。

(一) 软钢的力学性能

软钢从开始加载到拉断,有四个阶段,即弹性阶段、屈服阶段、强化阶段与破坏阶段。下面以 I 级钢筋的受拉应力-应变曲线为例来说明软钢的力学特性,如图 1-2 所示。

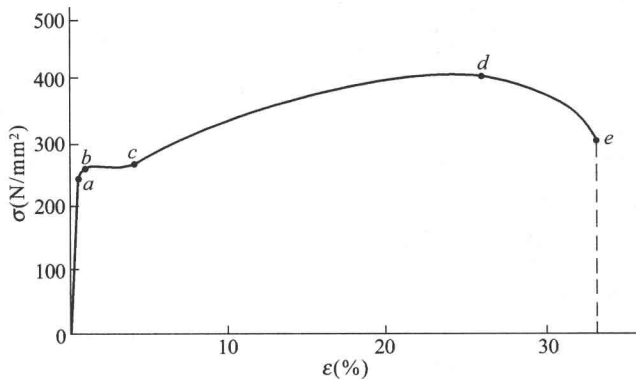


图 1-2 I 级钢筋的应力-应变曲线

自开始加载至应力达到 a 点以前,应力-应变呈线性关系, a 点称比例极限, $0a$ 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(流限),在应力-应变曲线中呈现一水平段 bc ,称为流幅。超过 c 点后,应力应变关系重新表现为上升的曲线,为强化阶段。曲线最高点 d 点的应力称为抗拉强度。此后钢筋试件产生颈缩现象,应力应变关系成为下降曲线,应变继续增大,到 e 点钢筋被拉断。

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 α 角而不发生裂纹。钢筋塑性越好,钢辊直径 D 可越小,冷弯角 α 就越大。

屈服强度(流限)是软钢的主要强度指标。在混凝土中的钢筋,当应力达到屈服强

度后,荷载不增加,而应变会继续增大,使得混凝土裂缝开展过宽,构件变形过大,结构不能正常使用。所以软钢钢筋的受拉强度限值以屈服强度为准,钢筋的强化阶段只作为一种安全储备考虑。

钢材中含碳量越高,屈服强度和抗拉强度就越高,伸长率就越小,流幅也相应缩短。图 1-3 表示了不同级别的软钢的应力-应变曲线的差异。

(二) 硬钢的力学性能

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,基本上不存在屈服阶段(流幅)。图 1-4 为硬钢的应力-应变曲线。

硬钢没有明确的屈服台阶(流幅),所以计算中以“协定流限”作为强度标准。所谓协定流限,是指经过加载及卸载后尚存有 0.2% 永久残余变形时的应力,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 一般相当于抗拉极限强度的 70%~85%。

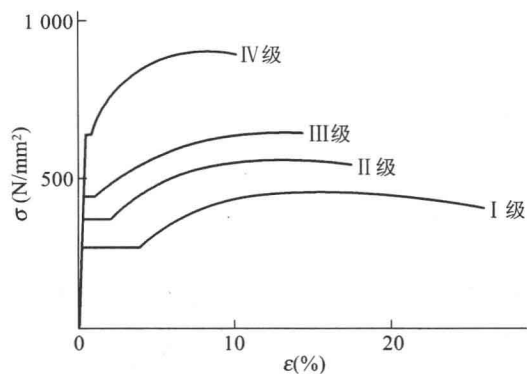


图 1-3 不同级别钢筋的应力-应变曲线

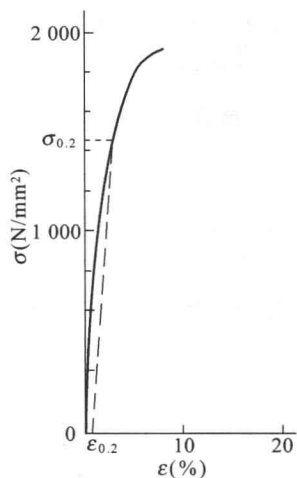


图 1-4 硬钢的应力-应变曲线

硬钢塑性差,伸长率小,因此,用硬钢配筋的钢筋混凝土构件,受拉破坏时往往突然断裂,不像用软钢配筋的构件那样,在破坏前有明显的预兆。

(三) 冷拉钢筋的力学性能

冷拉是将钢筋拉伸超过屈服强度并达到强化阶段中的某一应力值,见图 1-5 中的 k 点,然后卸荷。由于 k 点的应力已超过比例极限,故卸荷应力为零时应变并不等于零,其残余应变为 Ol 。若又立即重新加荷,则它的应力-应变曲线将沿 $lkde$ 变化。此时屈服点已由 b 点提高到 k 点,表明钢筋经冷拉后,屈服强度提高。如果卸荷后,经过一段时间再重新加荷,则应力-应变曲线将沿 $lk'd'e'$ 变化,屈服点又由 k 提高到 k' 。这表明,经过一段时间后(称冷拉时效)屈服强度还会进一步提高。

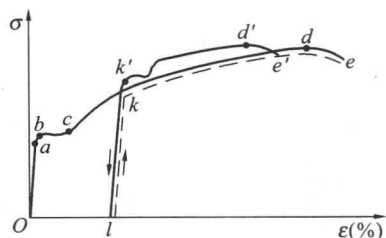


图 1-5 钢筋冷拉后的应力-应变曲线

钢筋冷拉后,屈服强度提高了,但伸长率减小,塑性性能降低,也就是钢材性质变硬