



高等学校教材

水工钢筋混凝土结构学

第三版

河海大学 大连理工大学 合编
西安理工大学 清华大学



高等学校教材

水工钢筋混凝土结构学

第三版

河海大学 大连理工大学 合编
西安理工大学 清华大学

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书是按新编的《水工混凝土结构设计规范》编写的。全书共十二章，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。对钢筋混凝土构件的抗震设计、水工混凝土结构设计计算中的若干问题也分别作了介绍。

本书是高等学校水利水电类专业的统编教材，亦可作为水利水电工程技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

水工钢筋混凝土结构学/河海大学等编. —3版. —北京: 中国水利水电出版社, 1996. 12

高等学校教材

ISBN 7-80124-140-1

I. 水… II. 河… III. 水工结构: 钢筋混凝土结构-高等学校-教材 IV. TV332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 07708 号

书 名	高等学校教材 水工钢筋混凝土结构学 (第三版)
作 者	河 海 大 学 大 连 理 工 大 学 西 安 理 工 大 学 清 华 大 学 合 编
出 版 发 行 经 售	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 新华书店北京发行所 全国各地新华书店
排 版	北京金剑照排厂
印 刷	机械工业出版社京丰印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 23 印张 538 千字
版 次	1979 年 6 月第一版 1983 年 12 月第二版 1996 年 10 月第三版 1998 年 4 月北京第八次印刷
印 数	116481—126520 册
定 价	22.40 元

第三版前言

本书是根据水利部下达 1990~1995 高等学校水利水电类专业本科、研究生教材选题和编审出版规划编写的《水工钢筋混凝土结构》课程的通用教材。本教材自 1979 年第一版出版以来,受到广大读者的欢迎。第二版于 1987 年出版,曾多次重印,并于 1987 年和 1988 年,先后获中华人民共和国原水利电力部授予的高等学校水利水电类专业优秀教材一等奖和中华人民共和国国家教育委员会授予的全国高等学校优秀教材奖。这是对我们的鼓励和鞭策。随着时间的推移,教学大纲与设计规范都已重新编制。为了适应新教学大纲教学的需要,以及反映钢筋混凝土学科研究的新进展,我们在第二版的基础上编写了这本书。

本书是根据高等学校水利水电类专业教学指导委员会建筑材料与建筑结构教学组于 1994 年修订的《水工钢筋混凝土结构》课程教学大纲编写的。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,对钢筋混凝土构件的抗震设计、水工混凝土结构设计计算中的若干问题也分别有专章讨论。书中用小字排印的内容,可根据实际情况选学。本书原计划包括每章的思考题和习题,限于篇幅,将另行编写出版。

本书是按照 1996 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/T 191-96)编写的。所以从设计原则到具体计算公式和构造细节,均有较大的变化。符号和计量单位亦按规范作了全面的改动。

在编写时,注意了内容的编排和文字的表述,力求保持第二版的特色和风格,以期这本书更加完善。

本书除作教材外,对帮助水利水电工程技术人员理解、掌握和运用新颁布的《水工混凝土结构设计规范》也将起到积极作用。

参加本书编写工作的有河海大学刘瑞(绪论,第一、三、十二章)、河海大学张志铁(第四、十一章,附录)、大连理工大学王清湘(第二、八章)、大连理工大学王瑞敏(第五、六章)、西安理工大学史文田(第九章)、清华大学叶知满(第七、十章)。全书由河海大学刘瑞主编。本书由郑州工业大学丁自强教授和华北水利水电学院李树瑶教授主审。

本书编写过程中得到了河海大学周氏教授、大连理工大学赵国藩教授、清华大学李著璟教授、庄崖屏教授的指导和帮助,他们为本书提出了许多宝贵意见在此一并致谢。对于书中存在的错误和缺点,恳请读者批评指正。

编者

1996 年 4 月

第一版前言

本书系水利电力部组织编写的高等学校水利类专业《钢筋混凝土结构》课程的教材。主要适用于水利水电工程建筑专业及农田水利工程专业，但为了便于水利类各专业通用，在内容上也照顾到其他水利类专业的不同要求。讲授时，可根据不同专业的教学大纲予以取舍。

本书是根据1978年水利类专业钢筋混凝土结构教材编写大纲会议拟定的大纲编写的。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；对混凝土结构、少筋混凝土结构、砖石结构以及钢丝网水泥结构等也各有专章讨论。除了充分保证本学科的基本理论与基本知识外，有关加深和扩大的内容列入了本书附篇，可根据实际情况选择其中部分内容讲授或由学生自学。书中除例题外，凡用小字排印的章节，也属于选学内容。

为联系实际，本书中编写了一定数量的例题，在满足教学要求的前提下，例题尽量从实际工程的设计资料中选择。

教材中采用的计算公式、符号及基本数据，主要依据水利电力部《水工钢筋混凝土结构设计规范 SDJ20—78（试行）》，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。

本书由华东水利学院、大连工学院、西北农学院及清华大学四校合编。其中第一、三、六、八、十二章及附篇四由华东水利学院周氏、彭天明、许庆尧、刘瑞、陈新纯、童保全、张静月同志执笔；第十、十一章及附篇三、五由大连工学院赵国藩、徐积善、高俊升同志执笔；绪论、第九、十三、十四章及附篇二由西北农学院王从兴、张建和、史文田同志执笔；第二、四、五、七章及附篇一由清华大学李著璟同志执笔。华东水利学院周氏同志担任了全书的主编工作。

本书由武汉水利电力学院审阅，参加审阅工作的有俞富耕、贺采旭、何少溪、许维华、陈澄清同志。

本书编写过程中得到了不少兄弟院校的大力支持，在此一并致谢。对于书中存在的错误和缺点，热忱地希望有关兄弟院校在使用过程中及时指正。

编者

1979年3月

第二版前言

本书系水利电力部组织编写的高等学校水利水电类专业《钢筋混凝土结构》课程的通用教材。第一版于1979年出版。这次根据高等学校水利水电类专业教材编审委员会1982年12月审定的《钢筋混凝土结构》教学大纲，在第一版的基础上进行了修订。与第一版相比，删减了超出教学大纲规定的内容，压缩了篇幅；介绍了部分国内外钢筋混凝土学科研究的新进展；文字上作了进一步的加工。

本书中采用的计算公式、符号及基本数据，主要依据《水工钢筋混凝土结构设计规范SDJ20-78（试行）》，并适当反映了《港口工程技术规范 混凝土和钢筋混凝土（设计部分）JTJ220-82（试行）》及我国其他部委的有关规范的内容。但在观点的论述上未受规范的限制。

本书主要适用于水利水电工程建筑专业及农田水利工程专业。为了便于水利水电类专业通用，在内容上也照顾到水利水电类其他专业的要求。

本书是由华东水利学院周氏、刘瑞、陈新纯、童保全、张静月，大连工学院赵国藩、吴宗盛，陕西机械学院张建和、史文田，清华大学李著璟修订的，周氏同志担任全书的主编工作。武汉水利电力学院钱国樑、贺采旭同志，郑州工学院丁自强同志对本书进行了审阅。

本书在修订过程中得到高等学校水利水电类专业教材编审委员会及建筑结构教材编审小组的指导和兄弟院校的积极帮助，在此一并致谢。热忱希望有关院校在使用本书过程中将意见及时告知我们。

编者

1983年4月

目 录

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	
绪 论	1
第一章 钢筋混凝土结构的材料	5
第一节 钢筋的品种和力学性能	5
第二节 混凝土的物理力学性能	10
第三节 钢筋与混凝土的粘结	23
第二章 钢筋混凝土结构设计计算原理	27
第一节 结构设计的极限状态	27
第二节 结构按概率极限状态设计的基本概念	28
第三节 荷载的标准值	35
第四节 材料强度的标准值	37
第五节 水工混凝土结构设计规范的实用设计表达式	39
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	46
第一节 受弯构件的截面形式和构造	46
第二节 受弯构件正截面的试验研究	49
第三节 正截面受弯承载力计算原则	52
第四节 单筋矩形截面构件正截面受弯承载力计算	55
第五节 双筋矩形截面构件正截面受弯承载力计算	64
第六节 T形截面构件正截面受弯承载力计算	69
第七节 受弯构件的延性	75
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	78
第一节 无腹筋梁斜截面上的应力状态及破坏形态	79
第二节 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	83
第三节 钢筋混凝土梁的斜截面受弯承载力	92
第四节 钢筋骨架的构造	96
第五节 钢筋混凝土构件施工图	99
第六节 钢筋混凝土伸臂梁设计例题	101
第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	108
第一节 受压构件的构造要求	109
第二节 轴心受压构件正截面承载力计算	111
第三节 偏心受压构件正截面承载力计算	115
第四节 配置对称钢筋的偏心受压构件(矩形截面)	123
第五节 偏心受压构件截面承载能力 N 与 M 的关系	125

第六节	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	134
第七节	双向偏心受压构件正截面承载力计算	135
第六章	钢筋混凝土受拉构件承载力计算	136
第一节	大小偏心受拉的界限	136
第二节	小偏心受拉构件的计算	137
第三节	大偏心受拉构件的计算	138
第四节	偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	141
第七章	钢筋混凝土受扭构件承载力计算	142
第一节	钢筋混凝土受扭构件的破坏形态及开裂扭矩	142
第二节	钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	146
第三节	钢筋混凝土构件在弯、剪、扭共同作用下的承载力计算	149
第八章	钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	158
第一节	概述	158
第二节	抗裂验算	159
第三节	裂缝开展宽度的验算	166
第四节	变形验算	182
第九章	钢筋混凝土肋形结构及刚架结构	188
第一节	概述	188
第二节	单向板肋形结构的结构布置和计算简图	189
第三节	单向板肋形结构按弹性理论的计算	192
第四节	单向板肋形结构考虑塑性内力重分布的计算	196
第五节	单向板肋形结构的截面设计和构造要求	201
第六节	单向板肋形结构的设计例题	205
第七节	双向板肋形结构的设计	213
第八节	钢筋混凝土刚架结构	216
第九节	钢筋混凝土牛腿设计	219
第十节	钢筋混凝土柱下基础	221
第十章	预应力混凝土结构	226
第一节	预应力混凝土的基本概念	226
第二节	施加预应力的方法, 预应力混凝土的材料与张拉机具	228
第三节	预应力钢筋张拉控制应力及预应力损失	235
第四节	预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	243
第五节	预应力混凝土受弯构件的应力分析	250
第六节	预应力混凝土受弯构件的承载力计算	255
第七节	预应力混凝土受弯构件的抗裂验算、裂缝宽度验算及挠度验算	260
第八节	施工阶段验算	264
第九节	预应力混凝土构件的一般构造要求	268
第十一章	钢筋混凝土构件的抗震设计	279
第一节	建筑物抗震基本概念	279
第二节	抗震的概念设计	281
第三节	地震作用效应的计算	283

第四节	钢筋混凝土构件抗震设计的一般规定	289
第五节	钢筋混凝土框架的抗震设防	290
第六节	铰接排架柱的抗震设防	295
第七节	桥跨结构的抗震设防	296
第十二章	水工混凝土结构设计计算中的若干问题	299
第一节	水工混凝土结构的耐久性要求	299
第二节	水工钢筋混凝土结构的最小配筋率	304
第三节	温度作用下混凝土抗裂性验算及温度配筋	307
第四节	非杆件体系结构的配筋设计	317
第五节	深受弯构件的计算与配筋	321
附录	331
附录一	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	331
附录二	材料强度的标准值、设计值及材料的弹性模量	333
附录三	钢筋、钢绞线的计算截面面积及公称质量	336
附录四	一般构造规定	338
附录五	构件抗裂、裂缝宽度、挠度验算中的有关限值及系数值	340
附录六	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	342
附录七	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	345
附录八	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	347
附录九	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	354
附录十	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	356
附录十一	各种荷载化成具有相同支座弯矩的等效均布荷载表	359
参考文献	360

绪 论

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成共同受力的结构。

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 2.5m 、混凝土立方体强度为 22.5N/mm^2 的素混凝土简支梁，跨中承受约 13.5kN 的集中力，就会因混凝土受拉而断裂如图 0-1 (a)。但是，如果在这根梁的受拉区配置 2 根直径 20mm 、屈服强度为 318.2N/mm^2 的钢筋如图 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 72.3kN 。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。

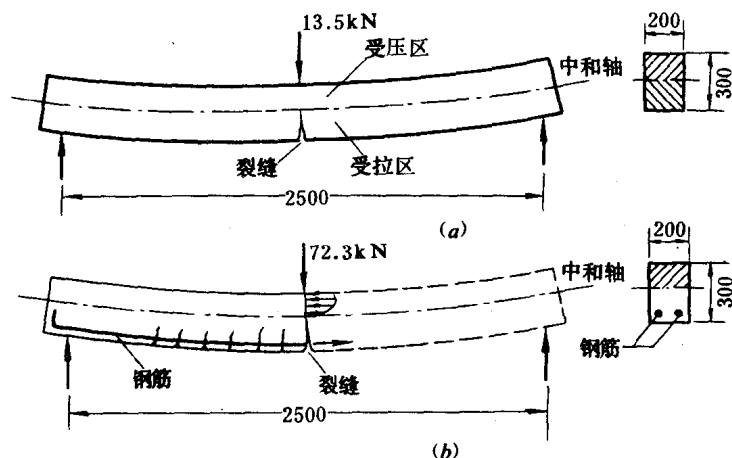


图 0-1 混凝土及钢筋混凝土简支梁的承载力

一般来说，钢筋混凝土是以混凝土承担压力，以钢筋承担拉力的。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性能不同的材料能结合在一起受力，主要是由于它们之间有良好的粘结力，能牢固地结成整体，当构件承受外荷载时，钢筋和相邻混凝土具有相同变形而共同工作，两者不致产生相对滑动。此外，钢筋与混凝土的温度线膨胀系数又接近相等，当温度变化时，这两种材料不致产生相对的温度变形而破坏它们之间的结合。

钢筋混凝土除了较合理地利用钢筋和混凝土两种材料的力学性能外，还有下列优点：

(1) 耐久性好。在钢筋混凝土结构中，钢筋因受到混凝土保护而不易锈蚀，且混凝土的强度随时间有所增长。因此钢筋混凝土结构在一般环境下是经久耐用的，不象钢、木结构那样需要经常的保养和维修。

(2) 整体性好。现浇的整体式钢筋混凝土结构，整体性好，有利于抗震及防爆。

(3) 可模性好。钢筋混凝土可根据设计需要浇制成各种形状和尺寸的结构，尤其适合

于建造外形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。

(4) 耐火性好。由传热性差的混凝土作为钢筋的保护层，在普通的火灾下不致使钢筋达到软化温度而导致结构的整体破坏。因此，其耐火性比钢、木结构好。

(5) 就地取材。钢筋混凝土结构中所用的砂、石材料，一般可就地或就近取材，因而材料运输费用少，可以显著降低工程造价。而且相对来说它的能源消耗也比钢结构少。

(6) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的各自优良性能，在一定范围内可以代替钢结构，从而可节约大量钢材并降低造价。

但是，钢筋混凝土也有一些缺点：

(1) 自重比钢结构大，不利于建造大跨度结构及高层建筑。

(2) 施工比钢结构复杂，建造期一般较长。冬季和雨天施工比较困难，必须采用相应的施工措施才能保证质量。

(3) 耗费木料较多。浇筑混凝土要用模板，现场整体浇筑时还要用脚手架（支架），如采用钢模板和钢支架，则需要一定数量的施工用的钢材。

(4) 抗裂性差。普通钢筋混凝土结构在正常使用时往往出现裂缝，这对水工钢筋混凝土结构很不利。裂缝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。对某些水工结构，由于裂缝会引起漏水，将影响结构物的正常使用功能。

(5) 修补和加固工作比较困难。

随着科学技术的发展，这些缺点正在得到克服和改善。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) 按结构的制造方法可分为整体式、装配式以及装配整体式三种。整体式结构是在现场先架立模板、绑扎钢筋；然后浇捣混凝土而成的结构。它的整体性较好，刚度也较大，但施工期较长，耗费木料较多。装配式结构则是在工厂（或预制工场）预先制成各种构件（图 0-2），然后运往工地装配而成。采用装配式结构有利于实现建筑工业化（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；并可利用工厂较好条件，提高构件质量；有利于模板重复使用，还可免去脚手架，节约木料或钢材。但装配式结构的接头构造较为复杂，整体性较差，对抗渗及抗震不利，装配时还须有一定的起重安装设

备。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，预先对混凝土施加压力，造成人为的压应力状态。使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控制裂缝性能好，能充分利用高强度材料，可以用来建造大跨度的承重结构。

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应用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 214m；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 553m；预应力高强混凝土公路桥的跨度已接近 300m。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它材料可比拟。

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经历了很大的发展，并且还在继续向前推进。

在计算理论方面，已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，主要是向高强、轻质、耐久及具备某种特异性能方向发展。目前强度为 $100\sim 200\text{N/mm}^2$ 的高强混凝土已在工程上实际应用。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。尤其是大型水利工程的工地建有拌和楼（站）集中搅拌混凝土，并可将来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。房屋建筑工程中虽已广泛采用定型化、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

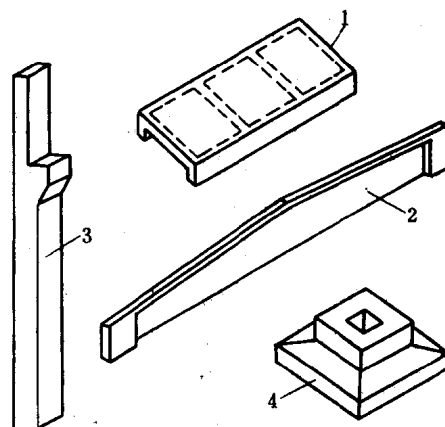


图 0-2 装配式构件

1—屋面板；2—梁；3—柱；4—基础

内填充粗骨料，再将水泥浆用压力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、较好的适应变形能力（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。

钢筋混凝土结构是水利水电工程中最基本的结构型式。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的几个方面：

(1) 在某种意义上来说，本课程是研究钢筋混凝土这一具体材料的力学理论课程。因为研究的不是理想弹性材料，与研究弹性体的《材料力学》就有很大的不同。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异常复杂。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) 本课程要学习有关构造知识，构造规定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。通过平时的作业和课程设计逐步掌握一些基本构造知识。

(3) 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。

第一章 钢筋混凝土结构的材料

第一节 钢筋的品种和力学性能

一、钢筋的品种

我国建筑工程中所用的钢筋有热轧钢筋、冷拉钢筋、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四个级别。冷拉钢筋是由热轧钢筋在常温下用机械拉伸而成，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四个级别。冷轧带肋钢筋是由热轧圆盘条（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。冷轧带肋钢筋按强度高，分为LL550、LL650、LL800三个级别^①。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热处理，能显著提高其强度。

钢丝一般有碳素钢丝、刻痕钢丝及钢绞线等几种。

上述钢筋和钢丝按化学成分的不同，分为碳素钢和普通低合金钢两大类。其中Ⅰ级热轧钢筋和钢丝属于碳素钢；Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级热轧钢筋及热处理钢筋属于普通低合金钢。

碳素钢的机械性能与含碳量多少有关。含碳量增加，能使钢材强度提高，性质变硬，但也将使钢材的塑性和韧性降低，焊接性能也会变差。碳素钢按其碳的含量分为低碳钢（含碳量 $<0.25\%$ ）、中碳钢（含碳量 $0.25\% \sim 0.60\%$ ）和高碳钢（含碳量 $0.60\% \sim 1.4\%$ ）。用作钢筋的碳素钢主要是低碳钢和中碳钢。

如果炼钢时在碳素钢的基础上加入少量（一般不超过 3.5% ）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。磷、硫则是有害杂质，其含量超过约 0.045% 后会使钢材变脆，塑性显著降低，不利于焊接。普通低合金钢钢筋具有强度高、塑性及可焊性好的特点，因而应用较为广泛。

钢筋按其外形分为光面钢筋和变形钢筋两类。光面钢筋的表面是光圆的如图1-1(a)。常用的热轧变形钢筋是热轧带肋钢筋，其表面有两条纵向凸缘（纵肋，热处理钢筋也有无纵肋的）在纵向凸缘两侧有许多等

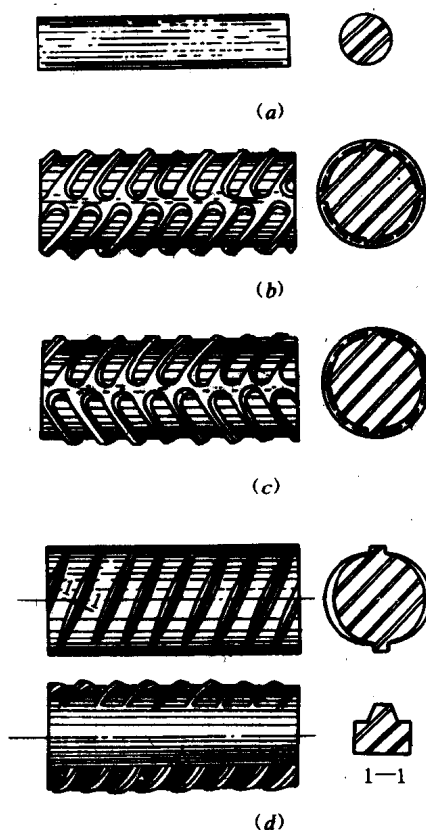


图 1-1 钢筋表面及截面形状

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。

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如图 1-1 (b),凸缘斜向不同的表面形成人字纹如图 1-1 (c)。螺旋纹和人字纹钢筋以往习惯统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如图 1-1 (d) 现行钢筋标准中称为月牙肋钢筋。冷轧带肋钢筋的表面无纵向凸缘,二面或三面斜向凸缘呈月牙形沿钢筋横截面周圈上均匀分布,其中有一面与另一面或另二面反向。月牙肋钢筋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;它与混凝土之间的粘结强度虽略低于等高肋钢筋,但仍具有良好的粘结性能。

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。下面分别把各种钢筋作一简介:

(一) I 级钢筋

目前生产的 I 级钢筋牌号主要是 Q235。I 级钢筋是热轧光圆钢筋,直径为 8~20mm。盘条的直径为 5.5~14mm。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 级钢筋主要在厚度不大的板中应用较多。

(二) II 级钢筋

目前生产的 II 级钢筋牌号有 20MnSi 和 20MnNb (b) 两种^①。II 级钢筋是热轧带肋钢筋,直径为 8~40mm。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

目前生产的 III 级钢筋牌号有 20MnSiV、20MnTi 和 K20MnSi 三种^②。这三种牌号是我国推广使用的新品种钢筋,其中前两种是加入微量合金元素(钒 V、钛 Ti) 热轧而成;后一种 K20MnSi 是在 20MnSi 基础上经穿水热处理而成的,即热轧后立即穿水,进行表面控制冷却,然后利用芯部余热自身完成回火处理,称为余热处理钢筋。III 级钢筋是热轧月牙肋钢筋,直径为 8~40mm。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

目前生产的 IV 级钢筋牌号主要有 40Si2MnV、45SiMnV 和 45Si2MnTi 三种。IV 级钢筋是热轧等高肋钢筋,直径为 10~32mm。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 $\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的低温条件下易于发生冷脆,也不宜采用 IV 级钢筋。

(五) 冷拉钢筋

① 普通低合金钢钢筋的牌号中第一个数字为平均含碳量(以‰计),元素符号后面的数字表示该元素的含量(以%计)。例如 45Si2MnTi (45 硅 2 锰钛) 表示其平均含碳量为 45‰,元素硅的含量为 2%。

② 牌号 K20MnSi 中, K 为“控制”的汉语拼音字头。

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 4~12 mm。目前生产的牌号主要有 Q215 (LL550 级, $d=4\sim 12\text{mm}$)、Q235 (LL650 级, $d=4\sim 6\text{mm}$) 和 24MnTi (LL800 级, $d=5\text{mm}$) 三种。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。主要牌号有 40Si2Mn ($d=6\text{mm}$)、48Si2Mn ($d=8.2\text{mm}$) 和 45Si2Cr ($d=10\text{mm}$)。热处理钢筋因其强度已很高，不必再进行冷拉，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、性能参见第十章《预应力混凝土结构》。

二、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。

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，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 角而要求不发生裂纹。钢筋塑性越好，冷弯角 α 就可越大，钢辊直径 D 也可越小。

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，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

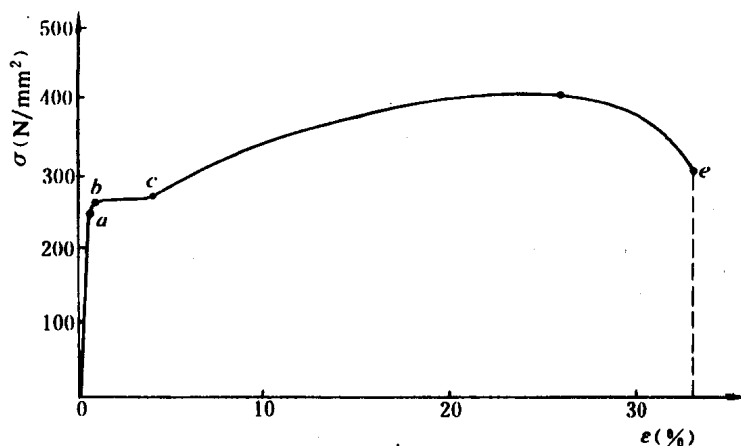


图 1-2 I 级钢筋的应力—应变曲线

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。

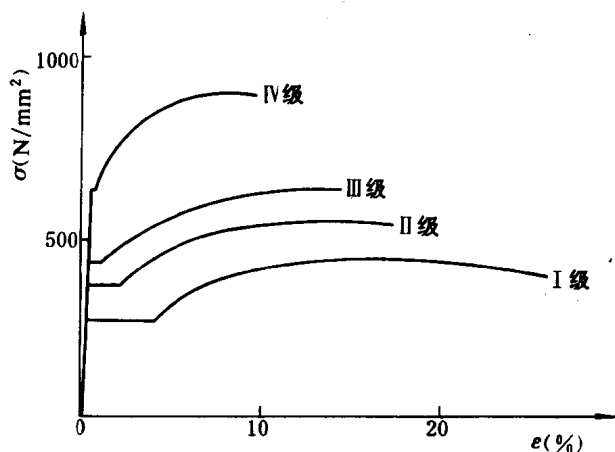


图 1-3 不同级别钢筋的应力—应变曲线

(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，不象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%。

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，不象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