

高等学校教材

# 水工钢筋混凝土结构学

(水利类专业适用)

华东水利学院      大连工学院  
西北农学院      清华大学      合编

水利电力出版社

472

高等学校教材

---

# 水工钢筋混凝土结构学

(水利类专业适用)

华东水利学院      大连工学院  
西北农学院      清华大学 合编

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本书是高等学校水利类专业《钢筋混凝土结构》课程的教材。

全书共分十四章及五个附篇。内容主要包括钢筋混凝土及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、钢丝网水泥结构及砖石结构等也分别作了介绍。附篇则为加深及扩大的内容,包括安全度问题、塑性内力重分布计算、抗震设计等几个专题。

本书主要根据《水工钢筋混凝土结构设计规范SDJ20-78》编写的。

高 等 学 校 教 材

### 水工钢筋混凝土结构学

(水利类专业适用)

华东水利学院 大连工学院 合编  
西北农学院 清华大学

\*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 30印张 681千字 插页1张

1979年8月第一版 1979年8月北京第一次印刷

印数 00001—20420册 每册 3.10元

书号 15143·3470

# 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

# 目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 钢筋混凝土结构的材料	6
第一节 钢筋的品种和力学性能	6
第二节 混凝土的物理力学性能	11
第三节 钢筋与混凝土的结合	30
第四节 钢筋混凝土的防腐问题	34
第二章 钢筋混凝土结构构件计算原理	37
第一节 结构的极限状态	37
第二节 结构的安全系数	39
第三节 材料设计强度取值	41
第四节 结构设计计算的原则	42
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面强度计算	43
第一节 受弯构件的截面形式和构造	44
第二节 受弯构件正截面的试验研究	47
第三节 单筋矩形截面的强度计算	49
第四节 双筋矩形截面的强度计算	62
第五节 T形截面的强度计算	66
第六节 环形截面的强度计算	73
第七节 双向受弯构件的正截面强度计算	75
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面强度计算	79
第一节 无腹筋构件斜截面上的应力状态及破坏特征	80
第二节 有腹筋梁的斜截面抗剪强度计算	85
第三节 钢筋混凝土梁的斜截面抗弯强度	92
第四节 钢筋骨架构造	96
第五节 钢筋混凝土构件施工图	99
第六节 斜截面强度计算小结	102
第五章 钢筋混凝土受扭构件强度计算	104
第一节 钢筋混凝土构件的开裂扭矩	104
第二节 钢筋混凝土受扭构件的抗扭配筋	107
第三节 钢筋混凝土构件抗扭计算中存在的问题	114
第六章 钢筋混凝土受压构件强度计算	115
第一节 受压构件的构造要求	117
第二节 轴心受压构件的计算	120
第三节 偏心受压构件的计算	125

第四节	配置对称钢筋的偏心受压构件(矩形截面)	135
第五节	偏心受压构件截面承载能力 $N$ 与 $M$ 的关系	136
第六节	T形截面偏心受压构件的计算	148
第七节	环形及圆形截面偏心受压构件的计算	150
第八节	双向偏心受压构件的计算	152
第九节	偏心受压构件强度计算方法的有关问题	153
第七章	钢筋混凝土受拉构件强度计算	156
第一节	大小偏心受拉的界限	156
第二节	小偏心受拉构件的计算	157
第三节	大偏心受拉构件的计算	159
第四节	偏心受拉构件的斜截面强度计算	161
第八章	钢筋混凝土构件抗裂度、裂缝宽度及变形验算	163
第一节	概述	163
第二节	抗裂度验算	164
第三节	裂缝开展宽度的验算	173
第四节	变形验算	186
第九章	肋形结构及刚架结构	197
第一节	概述	197
第二节	整体式单向板肋形结构	199
第三节	整体式双向板肋形结构	219
第四节	刚架结构	226
第五节	牛腿的设计	231
第六节	柱下基础	236
第七节	装配式结构简介	242
第十章	无梁板结构	248
第一节	无梁板结构的特点和应用	248
第二节	无梁板结构的构造和配筋	250
第三节	无梁板结构的计算	254
第四节	无梁板桩基码头的计算	264
第十一章	混凝土结构及少筋混凝土结构	275
第一节	混凝土结构	275
第二节	少筋混凝土结构	281
第十二章	预应力混凝土结构	294
第一节	预应力混凝土的基本概念	294
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	295
第三节	预应力钢筋张拉控制应力及预应力损失的计算	303
第四节	预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	307
第五节	预应力混凝土受弯构件的应力分析	315
第六节	受弯构件的强度计算	319
第七节	受弯构件的抗裂度及挠度验算	323

第八节	施工阶段验算	327
第九节	预应力混凝土构件的一般构造要求	330
第十节	预应力迭合式构件	332
第十一节	大体积水工建筑中施加预应力的方法	333
<b>第十三章</b>	<b>钢丝网水泥结构</b>	<b>351</b>
第一节	钢丝网水泥结构的材料	351
第二节	钢丝网水泥的力学性能	354
第三节	钢丝网水泥结构的计算方法	357
第四节	钢丝网水泥结构施工工艺	365
<b>第十四章</b>	<b>砖石结构</b>	<b>367</b>
第一节	砖石结构的材料	367
第二节	砖石砌体的力学性能	369
第三节	砖石结构构件的计算	374
附篇一	钢筋混凝土结构设计的安全度问题	383
一	安全系数的概念及其影响因素	383
二	统计概率理论的基本概念与材料强度取值	383
三	安全系数	388
四	安全系数表达方式的演变	389
附篇二	考虑塑性变形内力重分布的板梁内力计算	392
一	基本原理	392
二	按塑性内力重分布方法计算连续板、梁内力	396
三	用塑性铰线法计算单块板的内力	398
四	用条带法计算板的内力简介	402
附篇三	钢筋混凝土结构抗震设计要点	407
一	结构抗震设计的基本原则	407
二	地震荷载的计算	408
三	建筑物自振周期的计算	416
四	荷载组合和强度验算原则	416
五	抗震构造措施	417
附篇四	按应力图形配置钢筋的方法	422
一	水工建筑物中按应力图形配置钢筋的问题	422
二	按应力图形配置钢筋的方法	422
三	按应力图形配置钢筋存在的问题	426
附篇五	按《公路桥涵设计规范》计算钢筋混凝土受弯构件	428
一	按容许应力法计算的基本原理	428
二	单筋矩形截面受弯构件正应力计算公式	429
三	单筋T形梁的正应力验算公式	431
四	受弯构件主拉应力计算	433
五	T形梁翼缘和梁肋相接处剪应力的验算	437
六	粘结应力的验算	437

附录一	446
表 1 混凝土结构构件的强度安全系数	446
表 2 钢筋混凝土结构构件的强度安全系数	446
表 3 钢筋混凝土结构构件的抗裂安全系数	446
表 4 预应力混凝土结构构件的强度安全系数及抗裂安全系数	446
附录二	447
表 1 钢筋的设计强度	447
表 2 钢丝的设计强度	447
表 3 钢筋及钢丝的弹性模量	448
表 4 混凝土的设计强度	448
表 5 混凝土的弹性模量	448
(附表 1) 钢筋及钢丝的标准强度	448
(附表 2) 混凝土的标准强度	449
附录三	450
表 1 钢筋的截面面积及理论重量	450
表 2 各种钢筋间距时每米板宽中的钢筋截面面积	451
附录四	452
表 1 $\alpha$ 、 $A_0$ 、 $\gamma_0$ 系数表	452
表 2 $A_0$ 与 $\alpha$ 值计算表	453
附录五	454
表 1 混凝土保护层的最小厚度	454
表 2 钢筋混凝土构件纵向受力钢筋最小配筋率	454
表 3 绑扎骨架和绑扎网中受力钢筋搭接时的最小搭接长度 $l_d$	454
附录六 等跨连续板梁承受均布荷载时的跨中弯矩、 支座弯矩及支座截面剪力的计算系数表	455
附录七 等跨连续板梁在端弯矩作用下各截面的弯矩及剪力计算系数表	458
附录八 等跨连续梁在移动的集中荷载作用下各截面的弯矩系数 及支座截面剪力系数表	459
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	465
附录十 按弹性理论计算矩形双向板在均布荷载作用下的弯矩系数表	467
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	470
附录十二 国际单位制(SI)与工程单位制	471



# 绪 论

混凝土是一种抗压能力比较高的建筑材料。但是混凝土的抗拉能力比抗压能力差得多，这就使得混凝土结构的应用范围受到很大限制。例如一个  $20 \times 30 \times 100$  厘米用 200 号混凝土浇筑的短柱，若给它施加轴向压力，当力增加到约 84 吨时，该柱才被压坏(图1a)。而一根  $20 \times 30 \times 250$  厘米用 200 号混凝土做成的纯混凝土简支梁，则只能承受约为 1.34 吨的作用在跨中的集中力，就因截面中和轴以下的混凝土受拉而断裂(图1b)。由此可见，纯混凝土用来作为受压构件是很合适的；而用来作为受弯、受拉构件就不行了。但是，如果在混凝土构件的受拉区配置一定数量的钢筋(图1c)，用钢筋来代替混凝土承受拉力，则构件的承载能力就会大大提高。例如在上述这根混凝土梁中配置了 2 根直径 20 毫米的 II 级钢筋，则梁就能承受约为 8.7 吨的集中力。

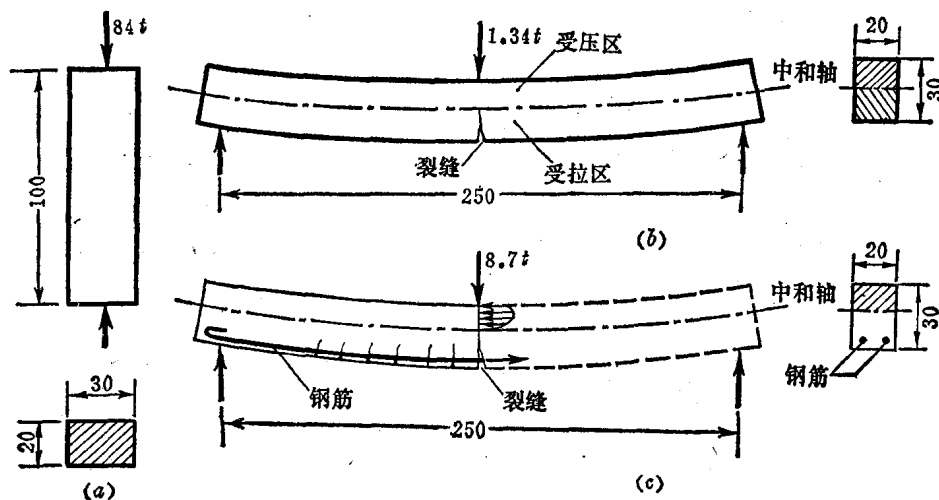


图 1

钢筋混凝土结构就是由钢筋和混凝土两种材料组成的共同受力的结构。一般来说，钢筋混凝土结构是以混凝土承担压力，以钢筋承担拉力的。理论和实践都已证明，钢筋和混凝土这两种材料是完全能够很好地共同工作的。

作为建筑材料，钢筋混凝土有如下几个特点：

(1) 钢筋混凝土结构能充分发挥钢筋与混凝土两种材料各自的优点，共同承担外力。与纯混凝土、砖石等材料相比，钢筋混凝土的强度高得多，可应用于各种受力构件，耐久性能也很好。

(2) 钢筋混凝土能浇筑成任意外形和尺寸的结构，特别适宜于建造各种具有复杂外形的大体积结构及空间薄壳结构。这一特点是钢、木、砖石等结构所不能代替的。

(3) 由于混凝土受拉性能差, 在受力不大时, 受拉区混凝土就会裂开。所以钢筋混凝土结构在使用时, 常有裂缝产生, 这就削弱了结构的抗渗、抗腐蚀的能力, 降低其耐久性。

(4) 钢筋混凝土结构与钢结构相比, 能节省大量钢材; 而与混凝土及砖石结构相比, 则要多用钢材。但一般来说, 它的大部分组成材料可以就地取材, 造价比较低, 维修费用也较省。

(5) 钢筋混凝土结构的自重比较大, 应用于大跨度承重结构及高层建筑就有一定局限性。但对水工建筑中需要用自重来维持整体稳定的结构, 自重大也可能成为一个优点。

(6) 建造钢筋混凝土结构时, 需要模板及脚手支架, 要耗费一定数量的木材。

(7) 与其他结构相比, 施工工艺比较复杂, 现场整体浇筑时, 施工期比较长。

由于钢筋混凝土的优点比较多, 它在建筑工程上的应用是极为广泛的。

在水利、水电、水运工程建筑中, 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、倒虹吸管等等。

在工业与民用建筑及交通运输工程中, 它可用来建造厂房、仓库、高层楼房、水池、水塔、桥梁、轨枕、电视塔等等。

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、受扭构件等等。非杆件系统可以是空间薄壁结构, 也可以是外形复杂的大体积结构。

(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, 然后现场浇捣混凝土而成的结构。它的整体性比较好, 刚度也比较大, 但生产较难工业化, 施工期很长, 耗费木料较多。装配式结构则是在工厂(或预制工场)预先制备各种构件(图2), 然后运往工地装配而成的结构。采用装配式

结构可使建筑事业工业化(设计标准化、制造工厂化、安装机械化); 制造不受季节限制, 能加速施工进度; 并可利用工厂有利条件, 提高构件质量; 模板可重复使用, 还可免去脚手支架, 节约木料。目前装配式结构在建筑工程中已普遍采用。但装配式结构的接头构造较为复杂, 整体性较差, 对抗渗及抵抗地震力不利, 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

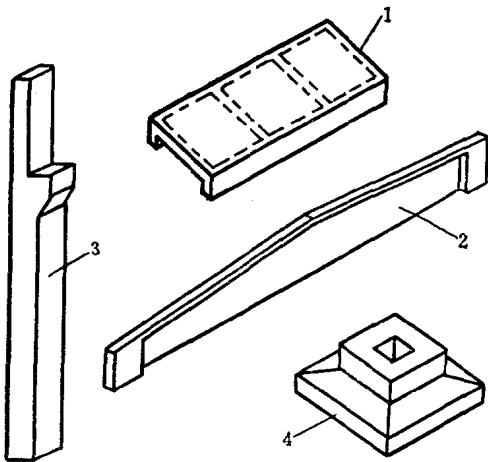


图2 装配式构件

1—屋面板; 2—梁; 3—柱; 4—基础

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抗裂性能好,能充分利用高强度材料,可以应用于大跨度的承重结构。

## 二

生产发展的客观需要是科学发展的强大动力,正如恩格斯所说:“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的。”十九世纪中叶,资本主义工商业有了迅速发展,要求建设大量的工厂、房屋、桥梁与港口,这就要求寻找坚固便宜的建筑材料,在这样的生产条件推动下,钢筋混凝土结构便产生和发展起来了。当时的水泥工业和冶金工业都已相当发达,这就为钢筋混凝土结构的发展提供了条件。

由于钢筋混凝土的优点比较突出,在建筑工程中的应用日益广泛,发展是极为迅速的。在十九世纪九十年代,设计并建成了肋形结构(由板、梁、柱整体浇筑而成),这不但对钢筋混凝土结构的广泛应用有很大意义,而且其工作原理至今仍在应用。进入二十世纪以后,配筋构造与施工技术都有重要的创造,预应力混凝土结构及空间薄壳结构也得到了发展,这就使得钢筋混凝土在建筑工程中的地位和作用显得更加重要了。

钢筋混凝土结构的计算理论,也随着生产的发展有了很大的进展。在十九世纪末有人就曾提出过极限强度理论的设想,例如考虑混凝土的塑性性质,采用曲线形的应力分布图形等等。但由于当时对材料性质的研究还很不够,这一理论未能实际应用。在二十世纪初,把钢筋混凝土看成弹性体,按材料力学公式计算的容许应力法为大家所普遍接受。容许应力法是当时各种建筑结构所共同采用的计算理论,它形成了完整的体系,在钢筋混凝土结构计算领域中应用了很长时期。经过差不多半个世纪的工程实践及试验研究,人们对材料的力学性能了解得更为深刻了,容许应力法的缺点也日益明显。在二十世纪五十年代开始,又重新提出极限强度理论作为设计的基础。由于极限强度理论能正确反映钢筋混凝土的特性,能较好地反映结构设计的安全度问题,目前已为钢筋混凝土结构的许多国际学术组织所一致推荐,并为大多数国家的设计规范所采用,并进一步发展为完整的按极限状态计算的理论体系。

近年来,钢筋混凝土的研究与应用又有了很快的发展,总起来说,有如下一些特点:

在材料方面,钢筋和混凝土的强度不断提高,例如美国的混凝土标号在六十年代平均为280号;七十年代以来已提高到420号。预应力混凝土结构已开始采用700号混凝土;在工程上有特殊要求时,已可制造出800~1000号的混凝土。此外,聚合物浸渍混凝土、纤维混凝土、轻质高强混凝土的研究也有了积极的进展。由于高强、轻质材料的应用,使结构自重大大减轻,为采用大跨度和高层钢筋混凝土结构创造了有利条件。目前,预应力混凝土桥梁的跨度已达240米;预应力混凝土的电视塔已高达549米;钢筋混凝土大楼已高达262米。

近年来，为了加快工业化施工速度，各国都大力发展装配式结构。综合应用了材料、结构及施工技术的研究新成果，创造出新的结构体系，提高了成套定型化和标准化的程度。一些可以充分发挥材料特性的新型结构，如悬挂式结构、预应力拉索结构等也有了很快发展。预应力混凝土结构的应用则日益普遍，它的应用已不限于简单地代替钢结构，而在某些方面已成为非其他结构所能比拟的独特的结构体系。例如原子能发电站的耐高温高压的大型压力容器、对防腐蚀有特殊要求的海上采油平台等等，采用预应力混凝土就有它独特的优越性。

在计算理论方面，正继续改进和完善极限状态设计理论，向着标准化和精确化方向发展。特别是建筑结构的安全度问题的研究有了引人注目的进展，已成为结构理论上的一个新的分支。

近年来，对材料的基本性能及钢筋混凝土构件在复杂受力状态下的强度问题的研究极为重视，因为这是发展结构设计理论的基础。例如混凝土的多轴向强度、徐变收缩理论、弹塑性计算方法、结构的延性系数、非线性动力特性以及复杂受力状态下的钢筋混凝土构件的强度、裂缝和变形计算等等方面，均展开了大量研究，以期弄清楚它的破坏机理，寻求出明确的力学模型。

由于电子计算机的应用，已可以进行任意荷载、任何复杂形状结构的计算，为选择合适的结构方案提供了条件。可以预计，应用电子计算机后，今后的结构分析，当从孤立的单个构件转变到结构系统的整体空间分析；由弹性理论向弹塑性理论发展，从而能研究和掌握结构系统的整个受力和破坏过程。

### 三

本课程是水利类各专业的技术基础课，学习本课程的目的是：掌握水工钢筋混凝土结构构件设计的基本理论和基本知识，为学习有关专业课和进行钢筋混凝土水工建筑物的结构设计打下牢固的基础。

结构设计的基本任务是保证结构能够安全而经济地承受在使用过程中可能产生的各种荷载，并保证结构有足够的耐久性。为此，结构必须具有足够的强度和稳定性能，以保证在最大荷载作用下不致破坏；必须具有足够的刚度，不致产生过大的变形，以保证正常使用；对钢筋混凝土结构来说，除了强度和刚度问题外，还有一个由于混凝土抗拉能力差而产生的裂缝问题，必须保证不产生过宽的裂缝，以增强结构的耐久性。

本课程主要研究钢筋混凝土结构构件的设计计算问题。就是根据各种钢筋混凝土构件的受力特点，结合材料的特性，分别讨论荷载产生的内力和构件截面的应力应变关系，从而研究各类构件的强度、刚度和裂缝的计算方法以及有关配筋构造知识。此外还要学习正确绘制结构施工图，因为结构施工图是结构设计成果的反映，是结构施工的依据。因而培养绘制施工图的基本技能也是一项非常重要的任务。

为了学好这门课程，首先对本门学科的特点应有所了解。钢筋混凝土结构学的特点大致有以下几个方面：

(1) 从某种意义上来说, 钢筋混凝土结构学是研究钢筋混凝土的材料力学, 它与材料力学既有相似的地方, 又有不同之处。材料力学研究的是由匀质弹性材料做成的构件, 这种构件在荷载作用下, 截面上的应力应变关系符合直线定律。而本课程研究的则是钢筋和混凝土两种材料组成的构件, 并且混凝土不是弹性材料, 受力后产生非弹性变形。所以在设计构件截面时, 材料力学中讨论过的某些定律和计算方法, 在本课程中就不再完全适用。我们在学习本课程时, 必须重视钢材和混凝土各自的物理力学特性和它们结合在一起的内在矛盾。

(2) 钢筋混凝土结构的计算理论是以大量实验为基础建立起来的。由于混凝土材料的组织很不均匀, 钢筋和混凝土结合在一起后截面上的应力应变关系极为复杂, 目前, 人们对它的认识还远远不够, 它的计算理论尚有待进一步发展。在学习钢筋混凝土结构这门学科时, 要重视实验在建立计算理论中的地位和作用, 懂得通过实验建立计算理论的基本道理。同时我们在运用钢筋混凝土的理论解决实际工程问题时, 要注意理论的应用范围和适用条件; 注意理论目前还存在的问题; 不要不问具体情况盲目地生搬硬套。

(3) 钢筋混凝土结构构件的设计和计算是一个综合性的问题。它不仅要合理地解决内力与构件强度、刚度和裂缝之间的关系, 还要解决安全与经济之间的矛盾。因此要设计好一个钢筋混凝土结构构件, 就要考虑使用要求, 材料条件, 施工可能以及经济造价等等一系列实际问题。在同一荷载作用下, 把构件做成怎样的形式? 选择多大截面? 布置几根钢筋? 往往可能有好几种答案。哪一种答案最为合理? 要进行使用、材料、施工、经济等各方面的综合分析比较, 才能做出判断。我们在学习时要逐步掌握这种综合各种因素进行分析比较的能力, 它是正确地进行结构设计所必须具备的。

(4) 科学上的不同观点和见解总是经常存在的。为了统一解决工程实际问题的需要, 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《钢筋混凝土结构设计规范 TJ10-74(试行)》和《水工钢筋混凝土结构设计规范 SDJ20-78(试行)》等等, 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。规范是有关部门总结我国建国30年来的研究、设计、施工、运用等方面的经验并参照国外的先进技术制订的。我们在进行结构设计时, 对规范应该了解它的适用范围, 遵守它的条文条款。但是也应该看到, 设计规范是在以往生产实践经验的基础上制订出来的, 它本身是要根据生产实践和先进的科学研究成果不断修改的。因而我们要用发展的眼光来看待设计规范。也就是说, 在运用规范时, 要很好地了解规范条文的来源及其适用条件, 要根据当前科学研究的发展与生产实践的具体情况来处理规范条文的规定。

(5) 本课程还有一个重要特点就是它的实践性。我们学习它的目的之一就是为今后进行结构设计打下牢固的基础。因此, 在学习本课程时必须理论联系实际。要搞好一个设计除了要有扎实的基础理论以外, 还要有施工、经济等多方面的综合知识。这就必须努力参加实践工作, 从中取得丰富的知识和分析问题的能力。此外, 为了培养进行设计的能力, 必须对数字计算、整理编写设计书、绘制施工图纸等基本技能提出严格要求。

# 第一章 钢筋混凝土结构的材料

钢筋混凝土结构是由混凝土及钢筋两种材料组成的。混凝土因其所用水泥及级配的不同，其性能有很大差异，钢筋也因其化学成分及制造工艺不同，强度相差较大。各类建筑物的具体使用条件也对材料提出各种不同的要求。因之，了解材料的特性，对学习钢筋混凝土结构的基本理论及设计工作来说是极为重要的。

## 第一节 钢筋的品种和力学性能

### 一、钢筋的品种

目前，我国建筑工程中所用的钢筋（直径 $d \geq 6$ 毫米的常称为钢筋）有热轧钢筋、冷拉钢筋及热处理钢筋三种。热轧钢筋是钢材在高温状态下轧制而成的。根据其力学指标的高低，分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个级别<sup>[1]</sup>。冷拉钢筋是由热轧钢筋在常温下用机械拉伸而成，冷拉后钢材内部组织结构发生变化，其屈服极限能够提高。冷拉钢筋也分为冷拉Ⅰ、冷拉Ⅱ、冷拉Ⅲ、冷拉Ⅳ四个级别。热处理钢筋是将热轧Ⅳ级钢筋再通过加热、淬火和回火等调质工艺处理，能显著提高其强度，热处理钢筋列为Ⅴ级钢筋。

直径 $d < 6$ 毫米的称为钢丝，钢丝有碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线和冷拔低碳钢丝等几种。

上述钢筋及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Ⅴ级热处理钢筋属于普通低合金钢。

碳素钢的主要成分是铁和碳，并含有微量的硅、锰元素。钢材的机械性能主要与含碳量多少有关。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。

碳素钢中含碳量低于0.25%的称为低碳钢；含碳量在0.25~0.55%之间的称为中碳钢；含碳量高于0.6%的称为高碳钢。

如果在低碳钢的基础上加入少量合金元素如锰、硅、钒、钛、铌等，就成为普通低合金钢。普通低合金钢具有强度高、塑性韧性好的特点。目前我国生产的低合金钢钢筋主要有16锰、25锰硅、40硅、钒、45硅、钛、44锰、硅、45锰硅钒等钢种<sup>①</sup>。

锰、硅、钛等合金元素能改善钢材的性能；而磷、硫、氧、氮则是有害杂质。磷和氮使钢材在低温时变脆，硫和氧使钢材在高温时变脆，同时它们都对钢的焊接性能产生不利的影响。

① 普通低合金钢钢筋的名称中第一个数字为平均含碳量(以‰计)，元素符号后的数字表示该元素的含量(以‰计)。例如45Si<sub>2</sub>Ti(45硅<sub>2</sub>钛)表示其平均含碳量为45‰，元素硅的含量为2‰。

建筑用钢筋要求具有一定的强度（屈服极限和抗拉极限强度）、足够的塑性（伸长率和冷弯性能）以及良好的焊接性能。因此钢材中的碳、锰、硅等含量要适当，不宜过高和过低；对磷、硫等含量则应严加控制。

下面分别把各种钢筋作一简介：

**I 级钢筋** I 级钢筋又称24/38级钢（即它的屈服极限最低为2400公斤/厘米<sup>2</sup>，抗拉极限强度最低为3800公斤/厘米<sup>2</sup>①）。目前生产的只有3号钢一种。3号钢是低碳钢钢种，质量稳定，塑性及焊接性能很好，但强度稍低。它是热轧的光面圆钢，在水利工程中应用较多。

**II 级钢筋** II 级钢筋又称34/52级钢。目前生产的主要是普通低合金钢中的16锰钢②。其强度、塑性及可焊性均好。由于强度比较高，为增加钢筋与混凝土之间的粘结力，钢筋的表面轧制成人字纹。目前工程中广泛采用。

**III 级钢筋** III 级钢筋又称40/60级钢，也是热轧人字纹钢筋。钢种主要是25锰硅。由于III级钢筋强度高，如用于普通钢筋混凝土构件中，则裂缝开展宽度可能就比较大了。因此在水利工程中，III级钢筋常经过冷拉用于预应力混凝土构件，作为预应力钢筋。

**IV 级钢筋** IV 级钢筋又称60/90级钢，按其表面形状分为光圆及螺旋纹两种。主要钢种有45锰硅钒、40硅<sub>2</sub>钒、45硅<sub>2</sub>钛、44锰<sub>2</sub>硅等。IV级钢筋不用于普通钢筋混凝土结构，因为其强度不能充分发挥，一般均经冷拉后用于预应力混凝土结构中。由于IV级钢筋的碳及合金元素含量较高，自淬性强，当碳的含量为上限或直径较粗时，其焊接质量较难控制。所以在承受重复荷载的结构中，如没有专门的焊接工艺措施，一般不采用有焊接接头的IV级钢筋；在低于-30℃的负温条件，也不宜采用IV级钢筋。

**5号钢钢筋** 低碳钢中还有一种5号钢钢筋③。它的屈服极限最低为2800公斤/厘米<sup>2</sup>，是热轧螺旋纹钢筋。在水利工程中，经常采用。

**V 级钢筋** V 级钢筋的等级为145/160，是由IV级钢钢种经过热处理而得的。它的强度特别高，是一种直径为6~10毫米的螺旋纹钢筋，作为预应力钢筋用。

**冷拉钢筋** 冷拉钢筋是由热轧钢筋冷拉而成，也分为四级。冷拉II、III、IV级常用作预应力钢筋；冷拉I级可用于普通钢筋混凝土，但一般不用于轴心受拉及小偏心受拉构件。钢筋冷拉后性质变脆，一般不用于承受冲击荷载或重复荷载的构件及处于负温下的结构。

**钢丝** 钢丝可分为碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线和冷拔低碳钢丝等几种。钢丝的直径越细，强度越高。除冷拔低碳钢丝有时用于非预应力混凝土外，都作为预应力钢筋用。它们的规格、性能参见第十二章《预应力混凝土结构》。

① 本书中采用的单位仍沿用工程单位制，如改用国际单位制表示，则2400公斤/厘米<sup>2</sup> = 235牛顿/毫米<sup>2</sup>，3800公斤/厘米<sup>2</sup> = 372牛顿/毫米<sup>2</sup>。换算的办法见附录十二。

② 在II级钢筋中，目前已试制成功并正式投产的还有21锰硅钢，其焊接性能与冲击韧性均与16锰钢相当，而且强度比16锰钢更高些。

③ 5号钢钢筋过去曾定为不拟发展的钢种，故未列入等级内，现已恢复生产。

## 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，其机械性能有显著差别。按其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，钢材高强而硬，常称为硬钢；
- (3) 冷加工钢筋（冷拉或冷拔）。

下面分别予以介绍。

### 1. 软钢的力学性能

软钢从开始加载到拉断为止，一般有四个阶段，即弹性阶段、屈服阶段、强化阶段与破坏阶段。

下面以 3 号钢钢筋受拉时的应力-应变曲线为例来说明软钢的力学特性（图 1-1）。

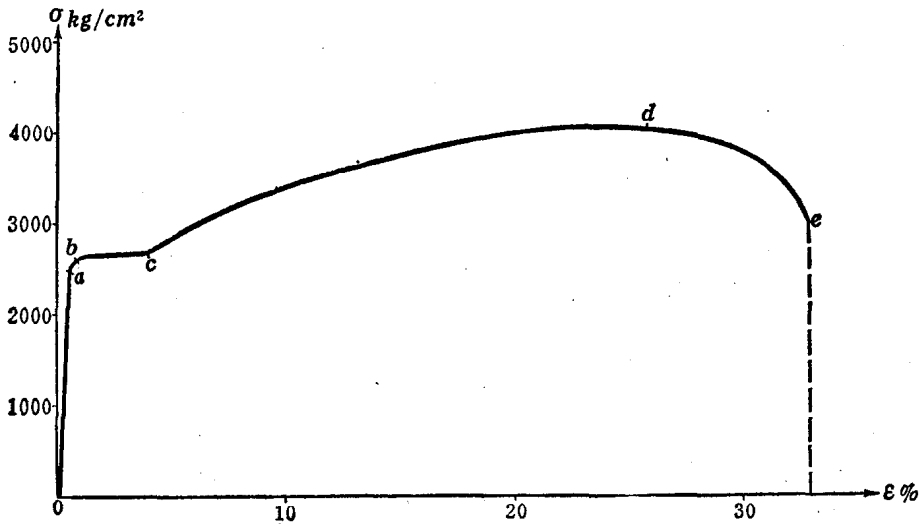


图 1-1

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**， $0a$  段属于弹性工作阶段。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**屈服极限**（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，钢材进入强化阶段。曲线最高点  $d$  点的应力称为**抗拉极限强度**。此后钢筋试件产生颈缩现象，应力应变关系成为下降曲线（破坏阶段），应变仍继续增大，到  $e$  点钢筋被拉断。

$e$  点的横座标的相对值称为伸长率，它标志着钢筋的塑性。伸长率越大，塑性越好。

钢筋的塑性除了用伸长率标志外，还用冷弯试验来检验。冷弯就是把钢筋围绕一个直径为  $D$  的钢辊弯转  $\alpha$  角而要求不发生裂纹。钢筋塑性越好，冷弯角  $\alpha$  就可越大，钢辊直径  $D$  也可越小。例如 3 号钢钢筋可围绕  $D=1d$  ( $d$ ——钢筋直径) 的钢辊弯转，冷弯角  $\alpha$  要求达到  $180^\circ$ 。



屈服极限（流限）是软钢的主要强度指标。在混凝土中的钢筋，当应力达到屈服极限后，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，结构不能正常使用。所以软钢钢筋的受拉强度限值以屈服极限为准，钢筋的强化阶段只能作为一种安全储备考虑。

钢材中含碳量越高，屈服极限和抗拉极限强度就越高，伸长率就越小，流幅也相应缩短。图1-2表示了不同级别的软钢的应力-应变曲线的差异。

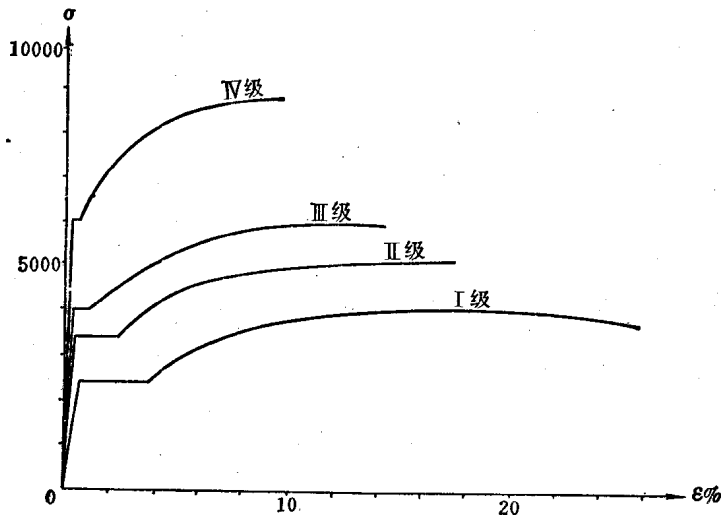


图 1-2

## 2. 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，不象软钢那样有四个明显的阶段，特别是基本上不存在屈服阶段（流幅）。图1-3为硬钢受拉时的应力-应变曲线。

由于硬钢没有明确的屈服极限（流限），所以在计算中是以“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%。

由于硬钢塑性差，伸长率很小，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。

## 3. 冷加工钢筋的力学性能

在建筑工程中，常对钢筋进行冷加工，使钢材内部结构发生变化，从而提高钢筋的屈服极限。冷加工是节约钢筋的一项有效措施，一般可节约钢材

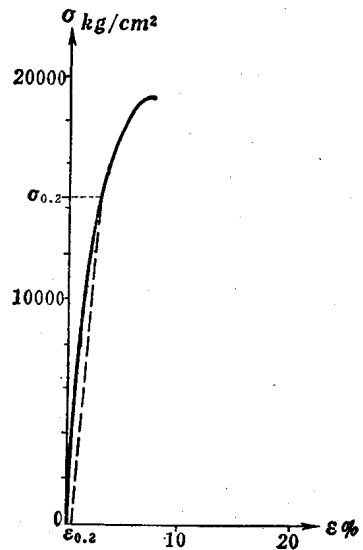


图 1-3