



普通高等教育“十二五”规划教材

水工钢筋混凝土结构学

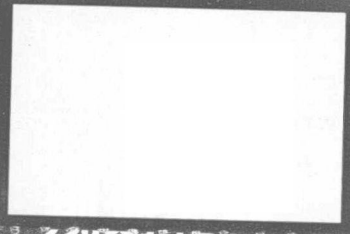
宋玉普 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”



水工钢筋混凝土结构学

主 编 宋玉普
编 写 大连理工大学 贡金鑫 车 轶
 王立成 张秀芳
 武汉大 学 侯建国 安旭文
 河海大 学 汪基伟
 天津大 学 王铁成 戚 蓝
 郑州大 学 李平先 韩菊红
主 审 丁一宁



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十二五”规划教材。全书共十二章，主要内容为钢筋混凝土结构的材料、设计方法、受弯、受压和受拉构件的正截面和斜截面承载力计算，受扭构件的承载力计算，正常使用极限状态验算，预应力混凝土结构，抗震设计，肋形结构及刚架结构等，还介绍了水工非杆件体系混凝土结构的配筋设计。全书由大连理工大学、武汉大学、河海大学、天津大学和郑州大学五校合编，参加编写的老师均为资深专家和相关规范的编写者。书中以最新的电力方向《水工混凝土结构设计规范》(DL/T 5057—2009)为主线，同时也介绍了水利方向《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)和建筑工程方向《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的相应内容，反映了近年国内外钢筋混凝土结构在材料、计算理论和构造方面的新发展，有利于学生掌握最新知识、应用最新技术。全书内容紧密结合实际、注重应用、操作性强，具有一定的权威性。

本书可作为普通高等院校土木专业的电力、水利、农田水利、管理、建筑工程等方向的教材，也可作为自学教材，还可供从事水利水电和土木工程专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水工钢筋混凝土结构学/宋玉普主编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2738 - 2

I. ①水… II. ①宋… III. ①水工结构—钢筋混凝土结构—高等学校—教材 IV. ①TV332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 027508 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 28.25 印张 689 千字

定价 49.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



序

水工钢筋混凝土结构学是电力工程和水利工程专业最重要的技术基础课。

该书以电力规范为主线，同时介绍了水利和建筑工程专业规范的相应内容，这一特点有利于学生全面掌握钢筋混凝土结构，适应各种不同专业的工作需要。

该书的编写汇集了五所高校从事钢筋混凝土结构的教学和科研的老师，吸收了各校的教学经验，这有利于各校应用本教材。

该书总结了三本规范的内容，所以反映了近年来国内外钢筋混凝土结构在材料、计算理论和构造方面的新发展，这有利于学生掌握新知识、应用新技术。

该书给出了很多例题，这有利于学生理解计算理论和实际应用。

该书适用的专业面很宽，既可用于电力和水利专业，也可用于施工、管理、农田水利，以及建筑工程专业，因为目前建筑工程专业的教材仅介绍建筑工程规范，对水工规范根本不提，但建筑工程专业的学生也有到水利水电设计院和施工现场工作的情况。所以综合掌握各专业钢筋混凝土结构设计规范，对学生是非常重要的。

大连理工大学

赵国藩

2012年1月16日

前 言

考虑到目前钢筋混凝土市场广阔,学生毕业后不一定从事本专业的工程项目,如水工专业毕业的学生可能从事建筑工程专业的项目,而建筑工程专业毕业的学生,也可能从事水工专业的项目,即使分配到水利水电单位的学生,也可能从事建筑工程专业的工程项目,所以本书虽然以电力方向《水工混凝土结构设计规范》(DL/T 5057—2009)为主线编写,同时介绍了水利方向《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)和建筑工程方向《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的相应内容,以便学生全面掌握钢筋混凝土结构的基本理论。

本书内容主要为钢筋混凝土结构与预应力混凝土结构的基本理论及其应用。为加深对基本理论的理解和联系实际,本书编写了一定数量的例题和思考题,供学生练习和应用。

本书由大连理工大学、武汉大学、河海大学、天津大学和郑州大学五校合编。其中绪论、第五章和第六章由大连理工大学宋玉普编写,第一章由武汉大学侯建国编写,第二章由大连理工大学贡金鑫和张秀芳编写,第三章和附录一~四由武汉大学侯建国和安旭文编写,第四章由天津大学王铁成编写,第七章由郑州大学李平先编写,第八章和附录五、六由郑州大学韩菊红编写,第九章由大连理工大学王立成编写,第十章由大连理工大学车轶编写,第十一章由天津大学戚蓝编写,第十二章由河海大学汪基伟编写,附录七~十二由大连理工大学宋玉普、天津大学戚蓝整理和编写。全书由大连理工大学宋玉普主编并负责统稿,大连理工大学丁一宁教授审阅了全书,并提出诸多宝贵意见,在此表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有缺点,敬请读者批评指正。

编 者

2012年5月

目 录

序	
前言	
绪论	1
思考题	6
第一章 钢筋混凝土结构的材料	7
第一节 钢筋的品种和力学性能	7
第二节 混凝土的物理力学性能	18
第三节 钢筋与混凝土的粘结	34
第四节 关于混凝土抗剪强度的讨论	38
思考题	41
第二章 钢筋混凝土结构的设计方法	43
第一节 钢筋混凝土结构设计理论发展简史	43
第二节 极限状态设计法的基本概念	45
第三节 结构上的作用、作用效应和结构抗力	47
第四节 概率极限状态设计法	48
第五节 荷载代表值和材料强度标准值	52
第六节 实用设计表达式	53
思考题	64
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	65
第一节 受弯构件的截面形式和构造要求	65
第二节 受弯构件正截面受力全过程分析及破坏特征	68
第三节 正截面受弯承载力的计算原则	72
第四节 单筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	75
第五节 双筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	85
第六节 T形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	91
思考题	98
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	100
第一节 概述	100
第二节 无腹筋梁的受剪性能	100
第三节 有腹筋梁的受剪性能	105
第四节 有腹筋连续梁的抗剪性能和斜截面承载力计算	112
第五节 斜截面受剪承载力设计	114
第六节 构造措施	128
思考题	134

第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	135
第一节 概述.....	135
第二节 受压构件的构造要求.....	136
第三节 轴心受压构件正截面承载力计算.....	138
第四节 偏心受压构件正截面承载力计算.....	144
第五节 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算.....	172
第六节 双向偏心受压构件正截面承载力计算.....	174
思考题.....	176
第六章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	177
第一节 概述.....	177
第二节 轴心受拉构件承载力计算.....	177
第三节 大偏心受拉构件正截面承载力计算.....	178
第四节 小偏心受拉构件正截面承载力计算.....	179
第五节 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算.....	182
思考题.....	185
第七章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	186
第一节 钢筋混凝土受扭构件的破坏形态.....	187
第二节 钢筋混凝土受扭构件的开裂扭矩计算.....	190
第三节 钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算.....	193
第四节 钢筋混凝土构件在弯、剪、扭共同作用下的承载力计算.....	198
思考题.....	209
第八章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	210
第一节 抗裂验算.....	211
第二节 裂缝开展宽度验算.....	218
第三节 受弯构件变形验算.....	232
第四节 混凝土结构的耐久性.....	237
思考题.....	246
第九章 预应力混凝土结构	247
第一节 预应力混凝土的基本概念.....	247
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.....	249
第三节 预应力钢筋张拉控制应力及预应力损失.....	257
第四节 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析.....	267
第五节 预应力混凝土轴心受拉构件的计算.....	277
第六节 预应力混凝土受弯构件的应力分析.....	285
第七节 预应力混凝土受弯构件的承载力计算.....	290
第八节 正常使用极限状态验算.....	296
第九节 施工阶段验算.....	302
第十节 一般构造要求.....	304
思考题.....	315

第十章 钢筋混凝土构件的抗震设计	317
第一节 抗震设计的一般概念	317
第二节 概念设计	319
第三节 地震作用效应计算	321
第四节 钢筋混凝土构件抗震设计的一般规定	328
第五节 钢筋混凝土框架的抗震设计	329
第六节 铰接排架柱的抗震设计	336
第七节 桥跨结构的抗震设计	337
思考题	340
第十一章 钢筋混凝土肋形结构及刚架结构	341
第一节 概述	341
第二节 单向板肋形结构的结构布置和计算简图	343
第三节 单向板肋形结构按弹性理论的计算	347
第四节 单向板肋形结构考虑塑性内力重分布的计算	351
第五节 单向板肋形结构的截面设计和构造要求	355
第六节 三跨连续梁设计例题	360
第七节 双向板肋形结构的设计	370
第八节 钢筋混凝土刚架结构的设计	373
第九节 钢筋混凝土牛腿的设计	377
第十节 钢筋混凝土柱下基础的设计	381
思考题	386
第十二章 水工非杆件体系混凝土结构的配筋设计	387
第一节 概述	387
第二节 按弹性应力图形面积配筋	389
第三节 按钢筋混凝土有限单元法配筋	391
第四节 按钢筋混凝土有限单元法配筋实例	399
思考题	403
附录一 混凝土结构环境类别	405
附录二 材料强度的标准值、设计值和弹性模量	407
附录三 钢筋的计算截面面积及理论质量	411
附录四 一般构造规定	414
附录五 截面抵抗矩的塑性系数 γ_m 值	416
附录六 正常使用极限状态的限值	417
附录七 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	418
附录八 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	422
附录九 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	424
附录十 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.....	432
附录十一 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.....	434
附录十二 各种荷载化成具有相同支座弯矩的等效均布荷载表.....	437
参考文献.....	438

绪 论

一、钢筋混凝土结构的特点及分类

1. 钢筋混凝土结构的特点

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 2.5m ，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 14kN 集中力，就会因混凝土受拉而断裂，如图 0-1 (a) 所示。但是，如果在这根梁的受拉区配置 2 根直径 20mm 、屈服强度为 318N/mm^2 的钢筋，如图 0-1 (b) 所示，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 72kN 。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。

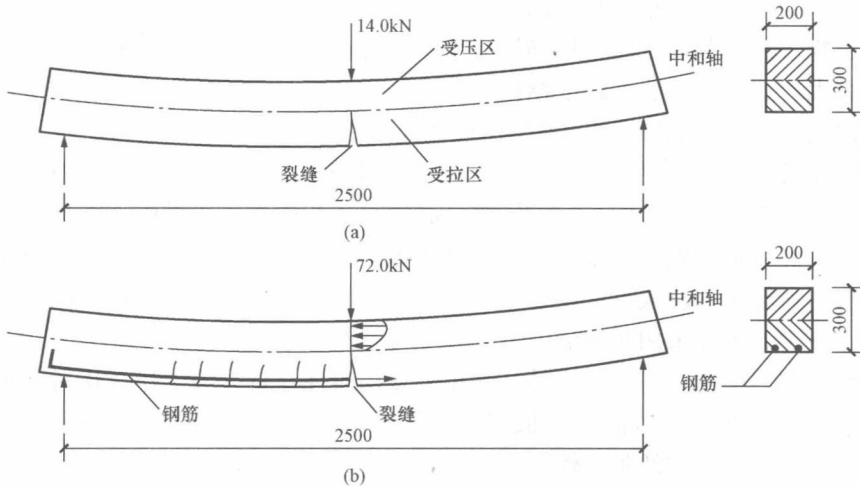


图 0-1 混凝土及钢筋混凝土简支梁的承载力

一般在钢筋混凝土结构中，混凝土主要承担压力，钢筋主要承担拉力，必要时钢筋也可承担压力。因此在钢筋混凝土结构中，两种材料的力学性能都能得到充分利用。

钢筋和混凝土这两种材料的物理力学性能很不相同，但能结合在一起共同工作，其主要原因是：①钢筋和混凝土之间有良好的粘结力，能牢固地粘结成整体。当构件承受外荷载时，钢筋和相邻混凝土能协调变形而共同工作，两者不致产生相对滑动。②钢筋与混凝土的温度线膨胀系数接近相等，钢为 1.2×10^{-5} ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$ 。温度不是很高的情况下，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，不像钢、木结构那

样需要经常的保养和维修。

(2) 强度较高。与砖、木结构相比,其强度较高,特别是高强混凝土的应用,如在某些钢管混凝土结构中,混凝土达到 C100。在某些情况下高强混凝土可以代替钢结构,因而能节约钢材。

(3) 整体性好。目前广泛采用的现浇整体式钢筋混凝土结构,整体性好,有利于抗震及抗爆。

(4) 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和空心楼板等。这一特点是砖石、木等结构所不能代替的。

(5) 耐火性好。混凝土是不良导热体,遭火灾时,由传热性较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变态点温度而导致结构的整体破坏。因此,其耐火性比钢、木结构好。

(6) 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。

(7) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地发挥了材料各自的优良性能,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,事物总是一分为二的,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及高层抗震结构是不利的,但随着轻质、高强混凝土、预应力混凝土和钢—混凝土组合结构的应用,这一矛盾得到缓解。

(2) 施工比较复杂,工序多,施工时间较长。但随着泵送混凝土和大模板的应用,施工时间已大大缩短。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。但采用预制装配式构件可加快施工进度,施工不受季节气候的影响,从而缓解这一矛盾。

(3) 耗费木料较多。浇筑混凝土要用模板,木材耗费量较大,但随着钢模板的应用,木材的耗费量已减少。另外采用预制装配式构件也可节约模板。

(4) 抗裂性差。普通钢筋混凝土结构在正常使用时往往带裂缝工作,这对要求不出现裂缝的结构很不利,如渡槽、水池、贮油罐等。因为,裂缝的存在会降低抗渗和抗冻能力,并会导致钢筋锈蚀,影响结构的耐久性。采用预应力混凝土结构可控制裂缝,从而克服或改善裂缝状况。

(5) 修补和加固工作比较困难。但随着碳纤维加固、钢板加固等技术的发展和环氧树脂堵缝剂的应用,这一困难已减少。

由于钢筋混凝土结构具有很多优点,因而在水工、港口、海工、房屋建筑、地下结构、桥梁、道路和特种结构等工程中得到了广泛的应用。

2. 钢筋混凝土结构的分类

钢筋混凝土结构可按如下分类:

(1) 按结构的构造外形可分为:杆件系统和非杆件系统。杆件系统如梁、板、柱、墙等,非杆件系统如空间薄壁结构、厚基础和大体积混凝土结构等。

(2) 按结构的受力状态可分为:受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件等。

(3) 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,然后浇筑混凝土而成的结构。它的整体性好,刚度也较大,目

前应用较多,特别像水工隧洞、闸底板等结构,必须采用整体式。但整体式受天气的影响,如冬季施工造价将提高。装配式结构则是在工厂(或预制场)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,装配时还必须有一定的起重安装设备,所以目前应用有所减少。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。预制装配式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。

(4)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。但施工较复杂,对于后张法有粘结预应力,当灌浆不密实,易引起钢筋锈蚀,这是应十分注意的。目前正在研究和开发的横向张拉和缓凝预应力混凝土可克服这一缺点。另外无粘结预应力混凝土结构不需要灌浆,也可克服灌浆不密实这一缺点,但无粘结预应力筋破坏时,其强度达不到屈服强度,并需配一定数量的非预应力钢筋。

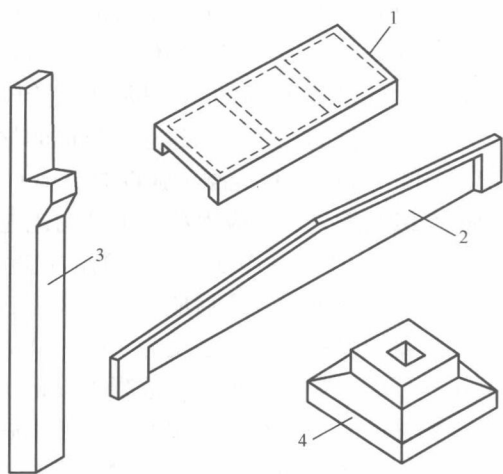


图0-2 装配式构件

1—屋面板；2—梁；3—柱；4—基础

二、钢筋混凝土结构的发展简史

钢筋混凝土从19世纪中叶开始采用以来,至今仅有一百多年的历史,其发展极为迅速。1850年法国人朗波(Lambot)制造了第一艘钢筋混凝土小船。1854年英国人威尔金森(W. B. Wilkinson)获得了一种钢筋混凝土楼板的专利权。但是通常认为钢筋混凝土是1861年法国巴黎花匠蒙列(Joseph Monier)发明的。1861年蒙列用水泥制作花盆,盆中配置钢筋网以提高其强度。1867年蒙氏获得制作这种花盆的专利权,而后又获得制作其他钢筋混凝土构件——梁、板及管等的专利权。至19世纪末20世纪初,仅50多年时间,由于工业的发展,促使水泥和钢材的质量不断改进,为钢筋混凝土结构应用范围的逐渐扩大创造了条件,如1872年,美国的沃德(W. E. Ward)在纽约建造了第一所钢筋混凝土房屋,1877年哈特(T. Haytt)发表了各种钢筋混凝土梁的试验结果。1906年特奈(C. A. P. Turner)发明了无梁楼板。在俄国,1886年就采用了钢筋混凝土结构。1925年,德国用钢筋混凝土建造了薄壳结构。1928年法国工程师弗列西涅利用高强钢丝和混凝土制成了预应力混凝土构件,开创了预应力混凝土的应用时代。随着材料强度的不断提高和混凝土性能的改善,钢筋混凝土和预应力混凝土的应用范围也在不断拓宽,并向大跨和高层建筑等领域发展。德国法兰克福市用预应力轻骨料混凝土建造的飞机库屋盖结构跨度达90m。目前世界上最高的钢筋

混凝土高层建筑为迪拜塔,高 828m,共 160 层。加拿大采用预应力混凝土建造的电视塔,高达 549m。此外,在桥梁、高压容器(如核电站安全壳等)、海上采油平台及地下贮油罐等方面,预应力混凝土也得到了广泛应用。

1876 年我国开始生产水泥,逐渐有了钢筋混凝土建筑物。目前我国混凝土的年产量据 2002 年统计约为 15 亿 m^3 ,建筑用钢材达 3000 万 t,用于水利、交通、工业与民用建筑等行业。我国最高的钢筋混凝土高层建筑是上海金茂大厦,88 层,高 382m。采用预应力混凝土结构的上海电视塔,高度为 415m,被称为亚洲第一塔。外形美观的上海杨浦大桥,是我国已建成的最大的预应力混凝土组合斜拉桥,全长 3430m,主跨度为 602m。巫峡长江大桥为钢管混凝土拱桥,最大跨度为 492m。

提高材料强度,是发展钢筋混凝土结构的重要途径。我国钢筋平均强度等级和混凝土平均强度等级,就全国而言,均低于欧、美发达国家。我国建筑结构安全度总体上比国际低,但材料用量并没有相应降低,其原因在于国际上较高的安全度是建立在较高材料强度的基础上,而我国较低的安全度是建立在较低的材料强度的基础上。为此,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)将混凝土强度等级由 C60 提高到 C80;对普通钢筋混凝土结构优先推广 HRB400 级钢筋,对预应力混凝土结构优先推广高强钢丝和钢绞线。最新《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)又将钢筋的强度提高到 HRB500 级。

在材料研究方面,今后应主要向高强、高流动性、自密实、轻质、耐久及具备特异性能方向的混凝土发展。目前强度为 $100\sim 200\text{N}/\text{mm}^2$ 的高强混凝土已在工程上应用。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中的应用和发展,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。近年来,轻骨料混凝土其自重可仅为 $14\sim 18\text{kN}/\text{m}^3$,强度可达 $50\text{N}/\text{mm}^2$ 。用轻骨料混凝土建造的房屋比普通混凝土建造的自重减轻约 $20\%\sim 30\%$,同时也降低了基础工程的费用,具有显著的经济效益。另外,美国专家预计,到本世纪末,应用纤维混凝土可将混凝土的抗拉与抗压强度比由目前的约 $1/10$ 提高到 $1/2$,并具有早强、体积稳定(收缩、徐变小)等特点,使混凝土的性能得到极大地改善。

在计算理论方面,钢筋混凝土结构经历了把材料作为弹性体的容许应力设计方法,到考虑材料塑性的破损阶段设计方法,后来又提出了极限状态设计方法,并迅速发展成以概率理论为基础的极限状态设计方法,它以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行设计,使极限状态计算体系向更完善、更科学的方向发展。但由于水利水电工程中,大多数荷载还无法得出可靠的统计参数,因而要采取更完善、更科学的极限状态计算理论尚需做很多工作。

混凝土的损伤和断裂、混凝土的强度理论、混凝土非线性有限元和极限分析的计算理论等方面也有很大进展。电子计算机、有限元方法和现代测试技术的应用,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。

在结构和施工方面,随着预拌混凝土(或称商品混凝土)、泵送混凝土及滑模施工新技术的应用,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,所以我国目前不仅在水工钢筋混凝土结构中由于整体性要求和大体积的特点而采用现浇混凝土施工,而且在工业与民用建筑中也广泛采用现浇整体式结构。目前大型水利工程的工地都建有拌和楼(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

土带来很大方便。采用预先在模板内填实粗骨料,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组成的组合结构、外包钢混凝土结构及钢管混凝土结构已在工程中逐步推广应用。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。在预应力混凝土结构中,近年来,采用横向张拉技术,既不需要锚具,也不需要灌浆,是一种值得推广的施工方法。另外,缓粘结预应力的应用也是今后的发展方向,因为后张法预应力混凝土结构灌浆不密实问题很难克服,而缓粘结预应力混凝土不需要后续灌浆,可保证质量。

三、本课程和本教材的特点

1. 本课程的特点

水工钢筋混凝土结构学是水利水电类专业中最为重要的技术基础课程,它是利用基础知识进行专业设计的桥梁。它利用材料的物理关系、几何关系和平衡关系建立计算式,由力学的平衡条件或力与变形的关系建立承载能力(抗力)或裂缝和变形的计算式;利用极限状态方程建立抗力和作用(荷载)效应的关系或裂缝、变形等和允许值的关系。学习本课程应注意处理好如下几个关系:

(1) 计算与试验的关系。水工钢筋混凝土结构学依靠的基础是试验,因为钢筋混凝土材料是混凝土和钢筋组成的复合材料,再加上它的离散性、非线性和带裂缝工作,所以任何一种力学应用于钢筋混凝土结构,均需依靠试验结果,通过数理统计分析,进行参数的调整。

(2) 计算与基本假定的关系。由于钢筋混凝土结构的复杂性,所以计算中必须首先建立各种计算的基本假定,抓住主要矛盾忽略次要矛盾,然后建立相应的计算公式。

(3) 计算与适用范围的关系。由于每个计算公式都是在试验的基础上得出的,这些试验都有一定的适用范围和条件,因此相应的公式也均有相应的适用范围和条件。学习中应注意,应用这些公式时,不要超出相应的适用范围和条件。

(4) 计算与构造的关系。由于在试验基础上建立的计算公式,还不能全面的保证结构的安全,还需要利用在长期的科学试验和工程经验中总结出的构造规定,特别是配筋构造规定。构造与计算是同等重要的,应注意掌握构造规定的目的和原理。

(5) 计算与设计的关系。本课程是一门有很强的实践性的课程。计算仅是运用基础理论计算出用筋量,而这些用筋量是否合适、如何配置等还需综合考虑材料、施工、经济、构造等各方面的因素,按相应的设计规范执行。此外,设计能力还包括计算机的应用、设计书的编写、施工图的绘制等基本技能。所以计算不是设计,而要做好设计必须综合运用所学的知识,从计算、构造等各方面全面考虑。

2. 本教材的特点

《水工钢筋混凝土结构学》已有一本由中国水利水电出版社出版的教材。本教材与已出版的教材相比,其特点是:

(1) 本教材以电力部规范《水工混凝土结构设计规范》(DL/T 5057—2009)为主线介绍《水工钢筋混凝土结构学》,而上一本教材是以水利部规范《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)为主线介绍。

(2) 以前的《水工钢筋混凝土结构学》教材仅介绍水利部规范和电力部规范。考虑到目

前钢筋混凝土结构的市场非常广阔，学水工的同学毕业后，不一定从事水工的项目，而很可能从事工民建的项目，所以本教材不仅以电力规范为主，同时介绍水工规范和工民建规范的相关内容。教师可根据同学的基础和水平，仅介绍与电力规范有关的内容，也可同时介绍电力和水利规范有关的内容，也可全部介绍电力、水利和工民建规范的内容。教师不讲的内容，同学可自学或工作中查阅。

(3) 本教材反映了我国在钢筋混凝土结构方面的新的发展水平。由于新的水工混凝土结构设计规范均在新的混凝土结构设计规范前出版，没能包含我国有些新的研究成果。本教材包含了工民建规范的内容，介绍了相关的新内容。教材中给出了电力《水工混凝土结构设计规范》(DL/T 5057—2009)、水利《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)和工民建《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)三本规范的相同点和不同点；在大部分例题中，同时给出了三本规范的计算结果，并进行了比较，从而可看出各规范的经济性。

思考题



1. 钢筋和混凝土这两种材料能结合在一起共同工作的主要原因是什么？
2. 钢筋混凝土的优点和缺点是什么？
3. 钢筋混凝土结构可分为几类？各类包含哪些构件和结构？
4. 本课程的特点是什么？
5. 本书的特点是什么？

第一章 钢筋混凝土结构的材料

钢筋与混凝土材料的物理力学性能及其共同工作的特性直接影响混凝土结构构件的受力性能,也是混凝土结构计算理论和设计方法的基础。本章讲述钢筋与混凝土材料的物理力学性能以及钢筋与混凝土之间的粘结性能。

第一节 钢筋的品种和力学性能

一、钢筋的品种

我国混凝土结构中所用的钢筋有热轧钢筋和钢丝、钢绞线、螺纹钢筋及钢棒。

按钢筋在结构中所起作用的不同,可分为普通钢筋和预应力钢筋两类。普通钢筋是指用于钢筋混凝土结构中的钢筋以及用于预应力混凝土结构中的非预应力钢筋;预应力钢筋是指用于预应力混凝土结构中预先施加预应力的钢筋。热轧钢筋主要用作普通钢筋,而钢丝、钢绞线、螺纹钢筋及钢棒主要用作预应力钢筋。

按钢筋化学成分的不同,可分为碳素钢和普通低合金钢两大类。碳素钢的力学性能与含碳量的多少有关。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% 后会使得钢材变脆,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。

热轧钢筋按其外形分为热轧光圆钢筋(hot rolled plain bars)和热轧带肋钢筋(hot rolled ribbed bars)两类,带肋钢筋也称为变形钢筋。光圆钢筋的表面是光面的[图1-1(a)];常用的热轧带肋钢筋,其表面有两条纵向凸缘(纵肋),在纵向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如图1-1(b)所示,凸缘斜向不同的表面形成人字纹如图1-1(c)所示。螺旋纹和人字纹钢筋以往习惯统称为螺纹钢筋,也称为等高肋钢筋;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)所示,我国现行钢筋国家标准《钢筋混凝土用钢第2部分:热轧带肋钢筋》(GB 1499.2—2007)^[1]中称为月牙肋钢筋。螺纹钢筋由于基圆面积率小,锚固延性差,疲劳性能差,因而我国现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)^[2]和《水工混凝土结构设计规范》(DL/T 5057—2009)^[3]及《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)^[4]均已淘汰了等高肋钢筋,推荐采用月牙肋钢筋。月牙肋钢筋与同样公称直径的等高肋钢筋相比,强度稍有提高,凸缘处应力集中现象也得到改善;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。

热轧钢筋是由低碳钢、普通低合金钢在高温状态下轧制而成。热轧钢筋为软钢,其应

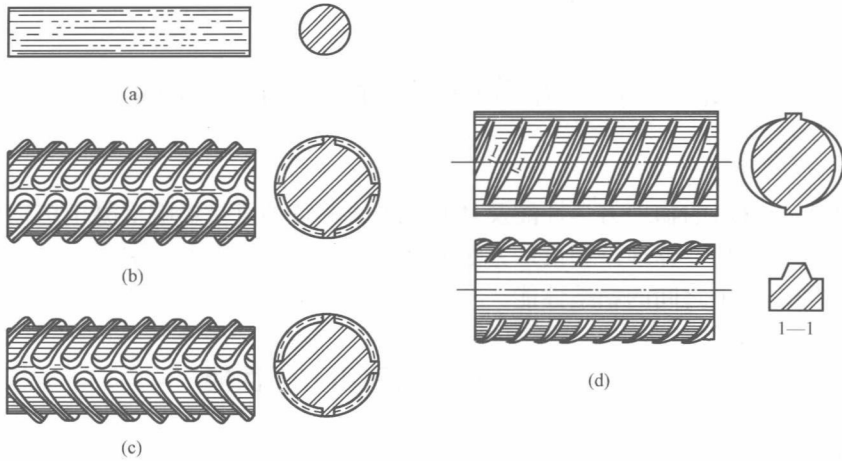


图 1-1 钢筋表面及截面形状

力—应变曲线有明显的屈服点和流幅，断裂时有“颈缩”现象，伸长率比较大。在我国现行钢筋国家标准《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》(GB 1499.1—2008)^[5]中，热轧光圆钢筋的牌号由 HPB (热轧光圆钢筋的英文 Hot Rolled Plain Bars 缩写) + 屈服强度特征值 (单位为 N/mm^2) 构成，按照屈服强度特征值的高低，分为 HPB235 和 HPB300 两个级别；在我国现行钢筋国家标准《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》(GB 1499.2—2007) 中，热轧带肋钢筋分为普通热轧带肋钢筋和细晶粒热轧带肋钢筋两种，其牌号分别由 HRB (热轧带肋钢筋的英文 Hot Rolled Ribbed Bars 缩写) + 屈服强度特征值 (单位为 N/mm^2) 及 HRBF (在热轧带肋钢筋的英文缩写后加“细”的英文 Fine 首位字母) + 屈服强度特征值 (单位为 N/mm^2) 表示，按照屈服强度特征值的高低，分为 HRB335、HRB400、HRB500 及 HRBF335、HRBF400、HRBF500 三个级别。细晶粒热轧带肋钢筋是在热轧过程中，通过控轧和控冷工艺形成的细晶粒钢筋。HRBF 钢筋通过控轧和控冷工艺提高强度、减少合金元素，降低钢筋成本，为高强普通钢筋的应用提供了一个新品种。在《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》(GB 1499.1—2008) 和《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》(GB 1499.2—2007) 中规定屈服强度采用下屈服强度，用符号 R_{eL} 表示，抗拉强度则用 R_m 表示。《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》(GB 1499.2—2007) 还规定，有较高要求的抗震结构适用牌号带“E”的钢筋，即在已有牌号后加“E” (例如：HRB400E、HRBF400E) 的钢筋。该类钢筋除应满足下列要求外，其他要求与相对应的已有牌号钢筋的要求相同：钢筋的抗拉强度实测值 R_m^0 与屈服强度实测值 R_{eL}^0 的比值 (简称“强屈比”) R_m^0/R_{eL}^0 不应小于 1.25；钢筋的屈服强度实测值 R_{eL}^0 与屈服强度特征值 R_{eL} 的比值 (简称“屈强比”) R_{eL}^0/R_{eL} 不应大于 1.30；钢筋最大力下的总伸长率 A_{gt} 不应小于 9%。

RRB400 级钢筋是指我国现行钢筋国家标准《钢筋混凝土用余热处理钢筋》(GB 13014—1991)^[6]中的 KL 400 余热处理钢筋。余热处理钢筋是由轧制钢筋经高温淬水、余热处理后提高强度，其延性、可焊性、机械连接性能和施工适应性降低，焊接受热回火可能会降低钢筋的疲劳强度和冷弯性能。因此，RRB400 级钢筋的应用受到一定限制，一般可用于