

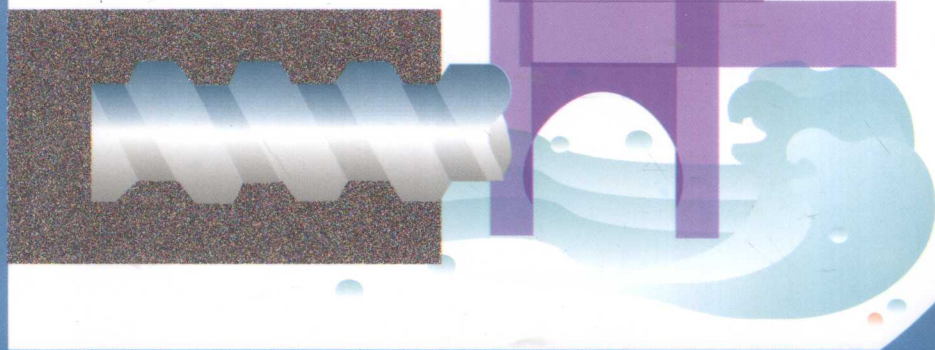
教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

水利水电工程专业系列教材

# 水工钢筋混凝土结构

赵瑜 主编

shuigong gangjīn hùnnínglǜ jiégòu



中央广播电视大学出版社

水利水电工程专业系列教材

# 水工钢筋混凝土结构

赵瑜 主编

中央广播电视大学出版社



ISBN 7-304-03182-3  
定价: 28.00元

(如有缺页或倒页, 本社负责调换)

图书在版编目 (CIP) 数据

水利水电工程专业系列教材

水工钢筋混凝土结构/赵瑜主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2002. 1

水利水电工程专业系列教材

ISBN 7-304-02185-3

水工钢筋混凝土结构

I. 水… II. 赵… III. 水工结构: 钢筋混凝土结构  
—电视大学—教材 IV. TV332

清华大学出版社

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 001487 号

版权所有, 翻印必究。

水利水电工程专业系列教材

水工钢筋混凝土结构

赵瑜 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部: 010-68519502 总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 旷天镒

责任编辑: 旷天镒

印刷: 北京密云胶印厂

印数: 6001-11000

版本: 2001 年 11 月第 1 版

2005 年 1 月第 3 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 18.75 字数: 432 千字

书号: ISBN 7-304-02185-3/TU·62

定价: 25.00 元

中央广播电视大学出版社

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

# 水利水电工程专业系列教材

言 前

## 课程建设委员会名单

**顾 问:** 陈肇和 (教授 北京水利水电管理干部学院)

**主 任:** 刘汉东 (教授 华北水利水电学院)

**副主任:** 葛文辉 (教授级高级工程师 水利部建设司建设管理总站)

蒋克中 (副主任 中央电大理工部)

段 虹 (常务副主任 水利部试点办公室)

**委 员** (按姓氏笔画排列):

王 圻 (副教授 中央电大)

牛文臣 (教授 华北水利水电学院)

牛志新 (处长 河南电大教务处)

司马寿龙 (教授级高工 河南省水利厅总工)

刘宪亮 (教授 华北水利水电学院)

李光勉 (教授级高工 水利部黄委会设计研究院)

孙东坡 (教授 华北水利水电学院)

孙明权 (教授 华北水利水电学院)

李国庆 (教授 华北水利水电学院)

陈德新 (教授 华北水利水电学院)

张立中 (教授 华北水利水电学院)

张庆元 (副校长 河南电大)

张俊芝 (副教授 南昌水利水电高等专科学校)

周克己 (教授 武汉大学)

赵中极 (教授 华北水利水电学院)

郭雪莽 (教授 华北水利水电学院)

鲁志勇 (副教授 华北水利水电学院)

董增川 (教授 河海大学)

鄢小平 (讲师 中央电大)

**秘 书:** 董幼龙 (高级工程师 华北水利水电学院)

# 前 言

本书是根据中央广播电视大学开放教育试点工作办公室下达的水利水电工程专业教学计划编写的水工钢筋混凝土结构课程的通用教材。全书共分九章，主要内容为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。

本书内容的编写主要依据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)，同时也参考了国内的其它有关规范，如中华人民共和国国家标准《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)，但在论述上不受规范的限制。

本书主要突出基本理论的掌握和应用，为便于自学，除了每章都附有学习指导、小结、习题外，还有大量的提示旁白，形成了犹如与教师面对面的交互式学习教材。提示旁白是本书的一个重要特点，它也反映了编者的长期教学经验和体会，以及编者的独到见解。

参加本书编写工作的有华北水利水电学院赵瑜（绪论、第二、三、八章和附录）、靳彩（第一、四章）、赵新铭（第九章）和河南广播电视大学黄功学（第五、六、七章）。全书由华北水利水电学院赵瑜担任主编。

华北水利水电学院解伟教授、郑州大学高丹盈教授、中央广播电视大学孙天正教授参加了本书的审定工作，解伟教授担任主审。审定专家对本教材进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵的建设性意见及建议。中央广播电视大学理工部王圻副教授参加了本书的教学设计。在此一并表示衷心的感谢。

本书编写过程中参考了国内同行的论文资料、著作和教材，在此谨致谢忱。由于编者水平有限，本教材之中可能有不少不妥甚至错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2001年8月

# 目 录

(83)	.....	章四第	
(75)	.....	章五第	
(78)	.....	章六第	
(82)	.....	章小	
(86)	.....	章区	
(89)	.....	章四第	
(89)	.....	章区第	
(91)	.....	章一第	
(92)	<b>绪 论</b> .....		(1)
(100)	<b>第一章 钢筋混凝土结构的材料</b> .....		(7)
(111)	学习指导 .....		(7)
(112)	第一节 钢 筋 .....		(7)
(118)	第二节 混凝土 .....		(13)
(123)	第三节 钢筋与混凝土的黏结 .....		(23)
(124)	小 结 .....		(26)
(127)	习 题 .....		(27)
(127)	<b>第二章 钢筋混凝土结构设计计算原则</b> .....		(28)
(127)	学习指导 .....		(28)
(130)	第一节 结构设计的极限状态 .....		(28)
(132)	第二节 概率极限状态设计法 .....		(31)
(139)	第三节 荷载的代表值 .....		(37)
(123)	第四节 材料强度的代表值 .....		(39)
(125)	第五节 极限状态计算的实用设计表达式 .....		(41)
(125)	小 结 .....		(48)
(126)	习 题 .....		(49)
(161)	<b>第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算</b> .....		(51)
(161)	学习指导 .....		(51)
(161)	第一节 受弯构件的一般构造 .....		(52)
(162)	第二节 受弯构件正截面的试验研究 .....		(55)
(164)	第三节 正截面受弯承载力计算原则 .....		(59)
(165)	.....		
(167)	.....		
(167)	.....		

第四节	单筋矩形截面受弯构件承载力计算	(63)
第五节	双筋矩形截面受弯构件承载力计算	(72)
第六节	T形截面受弯构件承载力计算	(78)
小 结		(85)
习 题		(86)

#### 第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算 (89)

学习指导		(89)
第一节	无腹筋梁的抗剪性能	(91)
第二节	有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	(95)
第三节	钢筋混凝土梁的斜截面受弯承载力	(106)
第四节	钢筋骨架的构造	(111)
第五节	钢筋混凝土构件施工图	(115)
第六节	钢筋混凝土伸臂梁设计	(116)
小 结		(123)
习 题		(124)

#### 第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算 (127)

学习指导		(127)
第一节	受压构件的分类及构造要求	(127)
第二节	轴心受压构件正截面承载力计算	(130)
第三节	偏心受压构件正截面承载力计算	(135)
第四节	偏心受压构件对称配筋的计算	(149)
第五节	偏心受压构件截面承载能力 $N$ 与 $M$ 的关系	(153)
第六节	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(155)
小 结		(155)
习 题		(156)

#### 第六章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算 (161)

学习指导		(161)
第一节	大小偏心受拉的界限	(161)
第二节	小偏心受拉构件正截面承载力计算	(162)
第三节	大偏心受拉构件正截面承载力计算	(164)
第四节	偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	(167)
小 结		(167)

习 题	(168)
<b>第七章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算</b>	(170)
学习指导	(170)
第一节 概 述	(170)
第二节 钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	(171)
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	(178)
小 结	(184)
习 题	(185)
<b>第八章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算</b>	(188)
学习指导	(188)
第一节 概 述	(188)
第二节 抗裂验算	(190)
第三节 裂缝宽度验算	(199)
第四节 变形验算	(216)
小 结	(222)
习 题	(223)
<b>第九章 预应力混凝土结构构件计算</b>	(226)
学习指导	(226)
第一节 预应力混凝土的基本概念	(226)
第二节 预应力混凝土结构的分类	(228)
第三节 预应力混凝土结构的材料和锚具	(231)
第四节 预应力钢筋的张拉控制应力及预应力损失	(233)
第五节 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	(240)
第六节 预应力混凝土受弯构件的应力分析	(247)
第七节 预应力混凝土受弯构件承载力计算	(253)
第八节 预应力混凝土受弯构件的抗裂、裂缝宽度及变形验算	(258)
第九节 预应力混凝土结构构件的构造要求	(264)
小 结	(271)
习 题	(272)
<b>附录一 水工结构若干作用随时间变异的分类</b>	(275)
<b>附录二 水利水电工程等级和水电建筑物级别</b>	(276)



(168)	附录三 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	(278)
(170)	附录四 材料强度的标准值、设计值及 材料的弹性模量	(280)
(171)	附录五 钢筋、钢绞线的计算截面积及公称质量	(284)
(178)	附录六 一般构造规定	(287)
(182)	附录七 构件抗裂、裂缝宽度、挠度验算中的 有关限值及系数值	(289)
(188)	参考文献	(292)
(226)	混凝土结构设计规范	第一章
(226)	混凝土结构设计规范	第二章
(226)	混凝土结构设计规范	第三章
(226)	混凝土结构设计规范	第四章
(226)	混凝土结构设计规范	第五章
(226)	混凝土结构设计规范	第六章
(226)	混凝土结构设计规范	第七章
(226)	混凝土结构设计规范	第八章
(226)	混凝土结构设计规范	第九章
(226)	混凝土结构设计规范	第十章
(226)	混凝土结构设计规范	第十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第二十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第三十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第四十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第五十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第六十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第七十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第八十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十一章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十二章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十三章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十四章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十五章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十六章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十七章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十八章
(226)	混凝土结构设计规范	第九十九章
(226)	混凝土结构设计规范	第一百章

# 绪论

## 一、钢筋混凝土结构的基本概念

按照《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96)和《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89),以混凝土为主要材料制作的结构称为混凝土结构<sup>①</sup>,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任何钢材的混凝土结构;钢筋混凝土结构是指由钢筋和混凝土两种材料组成的普通混凝土结构;预应力混凝土结构是指在混凝土或钢筋混凝土结构制作时,在其特定的部位上,人为地预先施加应力的混凝土结构。其中,钢筋混凝土结构在工程中应用最为广泛。

① 混凝土结构这一广义概念是在(GBJ10—89)规范中首先提出的。

### (一) 钢筋混凝土结构的特点

众所周知,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 mm × 300 mm、跨长为 2.5m、混凝土立方体强度为 22.5 MPa 的素混凝土简支梁,跨中承受 13.5 kN 的集中力,就会因拉应力超过混凝土的抗拉强度而使混凝土受拉开裂,导致整根梁迅速受拉断裂破坏 [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 MPa 的钢筋 [图 0-1 (b)],用钢筋来代替开裂的混凝土承受拉力,则裂缝受到钢筋的约束而逐渐向上发展,直到钢筋受拉屈服,受压区混凝土压碎而破坏,破坏时梁能承受的集中力可增加到 72.3 kN。由此可见,同样截面形状、尺寸及混凝土强度的钢筋混凝土梁可比素混凝土梁承受大得多的外荷载,破坏性质也得到改善<sup>②</sup>。

② 钢筋混凝土梁只是多配了 2Φ20 的钢筋,造价增加不多,但承载力大大提高,破坏也呈延性特征,即有明显的变形发展过程。技术经济效益显著。详细讨论见第三章。

从上述对比举例可以知道,一般情况下;钢筋混凝土是以混凝土承担压力,以钢筋承担拉力的,能比较充分合理地利用混凝土和钢筋这两种材料的力学特性<sup>③</sup>。钢筋有时也可以用来协助混凝土受压,改善混凝土的受压破坏性能。

③ 钢筋混凝土结构既利用了混凝土的高抗压性,又利用了钢筋的高抗拉性及良好的塑性。

钢筋和混凝土是两种物理、力学性能很不相同的材料,但能够共同工作,其主要原因是:

(1) 钢筋与混凝土之间存在着良好的黏结力,能牢固地形成整体,保

证在荷载作用下,钢筋和外围混凝土能够协调变形,相互传力,共同受力<sup>①</sup>。

(2) 钢筋和混凝土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) 钢筋至构件边缘有一定的距离,可以防止钢筋发生锈蚀。

① 黏结作用是钢筋和混凝土共同工作的关键。否则,钢筋在混凝土中自由滑动,就无法受力参与工作。

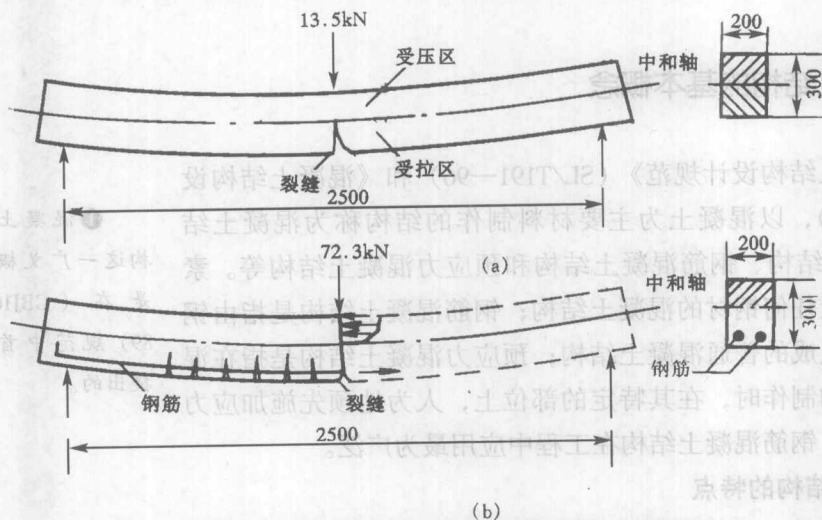


图 0-1 素混凝土与钢筋混凝土筒支梁的破坏情况对比

## (二) 钢筋混凝土结构的优点<sup>②</sup>

钢筋混凝土结构与其它结构相比,主要有如下优点:

(1) 能充分合理地利用钢筋和混凝土两种材料的受力性能。

(2) 耐久性好。在一般环境下,钢筋受混凝土保护而不易生锈,而混凝土的强度随着时间的增长还有所提高,所以其耐久性较好,不像钢结构那样需要经常的维修和保养。处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,经过合理的设计及采取特殊的措施,一般也可以满足工程需要。

(3) 耐火性好。混凝土是不良导热体,遭受火灾时,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,这是钢、木结构所不能比拟的。

(4) 可模性好。混凝土可根据设计需要支模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,这一特点是砌体、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能好<sup>③</sup>,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。

② 只有了解了钢筋混凝土结构的优缺点,才能扬长避短,合理利用。

③ 现场浇筑的结构,即现浇结构,又称整体式结构。

### (三) 钢筋混凝土结构的缺点

(1) 自重偏大。相对于钢结构来说,混凝土结构不属于轻质高强,这对于建造大跨度结构和高层建筑是不利的<sup>①</sup>。

(2) 抗裂性差<sup>②</sup>。由于混凝土的抗拉强度较低,在正常使用时,钢筋混凝土结构往往带裂缝工作,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,这对水工钢筋混凝土结构尤为不利。

(3) 施工比较复杂,工序多。冬季和雨天施工困难,为保证工程质量,需采取必要的措施。现浇钢筋混凝土要用模板多,木材耗费量大。

(4) 新老混凝土不易形成整体,修补和加固比较困难。

① 大型结构受力大,需要的构件尺寸大,自重必然大。

② 抗裂性差是混凝土结构破坏和影响其使用性的关键。

## 二、混凝土结构的发展简况

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。为了克服混凝土结构的缺点,发挥其优势,以适应社会建设不断发展的需要,对混凝土结构的计算理论、材料制造及施工技术等方面的研究也在不断的发展。

(1) 在计算理论方面,从把材料看作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。目前在工程结构设计规范中已采用基于概率论和数理统计分析的可靠度理论,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<sup>③</sup>,使得混凝土结构的计算理论和设计方法向更高的阶段发展,并日趋完善。

③ 有限元方法和试验相结合,为无法按结构力学进行受力分析的复杂结构的分析计算提供了可靠保证。

(2) 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方向发展。目前强度为 100~200 MPa 的高强混凝土已在工程上实际应用<sup>④</sup>。各种轻质混凝土(重度仅为 14~18 kN/m<sup>3</sup>)、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也在工程上得到应用。另外,业已开发了综合性能良好的钢筋,如低松弛高强预应力钢丝、钢绞线等,使得大跨度结构、高层建筑、高耸结构和具备某种特殊功能的钢筋混凝土结构的建造成为可能。

④ 规范仅列到 C60 级的混凝土,但应用的等级已超出此范围。

(3) 在结构型式方面,预应力混凝土结构由于抗裂性能好,可充分利用高强度材料,各种应用发展迅速。近几年来,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也已在工程上逐步推广应用<sup>⑤</sup>。这些高性能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,从而大大拓宽了钢筋混凝土结构的应用范围。

⑤ 关于组合结构的设计计算,有的已颁布专门的规范或规程,有的已有成熟的理论,还有的正在研究之中。

(4) 在施工技术方面,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。一般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。建筑工程中虽广泛采用标准化(设计标准化、制造工业化、安装机械化)的装配式或装配整体式结构<sup>①</sup>,施工上具有一定的优越性,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,既保证了混凝土质量,又节约了原材料和能源,而且减少了环境污染,从而实现了文明施工,所以目前我国建筑工程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了机械化施工,浇筑工期可大为缩短,并能节约大量材料,从而获得较高的经济效益。

总之,随着科学技术的发展和对混凝土结构研究的深入,混凝土结构的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有效控制裂缝等。

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460 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超过600 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、大型蓄水池、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。因而混凝土结构在土木工程领域得到了极为广泛的应用,今后发展的前景也更加广阔。

### 三、本课程的任务和特点

本课程是水利水电工程专业中较为重要的技术基础课程。学习本课程的主要目的和任务是:掌握水工钢筋混凝土及预应力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混凝土建筑物的结构设计和研究奠定基础。

学习本课程需要注意以下特点<sup>②</sup>:

(1) 本课程实际上是研究钢筋混凝土这一具体材料的力学理论课程,但因为其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

<sup>①</sup> 装配式结构采用工厂预制、现场吊装方法,施工方便,但构件接头难以可靠处理,整体性差;装配整体式结构采用部分预制、部分现浇方法,其性能介于整体式与装配式之间。

<sup>②</sup> 建筑材料和工程力学是本课程重要的先修基础课程,但建筑材料主要研究材料的物理性能,而本课程主要利用力学概念研究钢筋混凝土结构的受力性能。由于混凝土结构是由两相材料组成的,混凝土还易开裂,导致其受力的复杂性。

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,难以用力学模型和数学模型来推导建立。因此,目前钢筋混凝土结构的计算公式常常是经大量试验研究结合理论分析建立起来的。学习时还应注意每一理论的适用范围和条件,而且能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。在结构设计时,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,但应注意弄懂其中的道理,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) 在学习本课程时要学会运用设计规范<sup>①</sup>,这是力学课程所没有的问题。为了贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量,达到设计方法上必要的统一化、标准化,国家各部委制定了适用于各工程领域的混凝土结构设计规范(其基本理论是相通的),如建设部颁布的《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)和水利部、电力部联合颁布的《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96)(以下简称《水工规范》)等,对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,是对规范概念的理论解释和设计公式的应用指导。规范反映了国内外混凝土结构的研究成果和工程经验,是理论与实践的高度总结,一定要理解掌握,并能熟练应用。

(4) 本课程同时又是一门实践性很强的结构设计课程,主要讲授了杆件结构(如受弯、受压等受力构件)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、运用、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,其截面形式、尺寸、配筋数量等有多种选择,往往需要进行适用性、材料用量、造价、施工等项指标的综合分析比较,才能作出合理的选择。因此,要搞好工程结构设计,除了要有坚实的基础理论知识以外,还必须通过实践工作,逐步增强对各种因素的综合分析能力。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(人工或计算机辅助进行)施工图纸等基本技能提出严格的要求。

<sup>①</sup>要注意设计规范的配套连续性,不同部门制定的规范各有其特点,不要混用。如《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96)配套《水工建筑物荷载设计规范》(DL5077—1997)和《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》(GB50199—94)等。若有充分的论证,也可以突破规范限制。对规范中没有明确规定的问题,可通过研究加以解决。

# 习 题

1. 什么是混凝土结构?
2. 在素混凝土结构中配置一定型式和数量的钢材以后, 结构的性能将发生什么样的变化?
3. 钢筋和混凝土是两种物理、力学性能很不相同的材料, 它们为什么能结合在一起共同工作?
4. 钢筋混凝土结构有哪些主要优点?

习题答案  
 1. 混凝土结构是由混凝土和钢筋组成的。混凝土是由水泥、砂、石和水按一定比例拌和而成的。钢筋是由铁和碳组成的。混凝土和钢筋结合在一起，就形成了钢筋混凝土结构。  
 2. 在素混凝土结构中配置一定型式和数量的钢材以后，结构的性能将发生什么样的变化？  
 3. 钢筋和混凝土是两种物理、力学性能很不相同的材料，它们为什么能结合在一起共同工作？  
 4. 钢筋混凝土结构有哪些主要优点？

钢筋混凝土结构是由混凝土和钢筋组成的。混凝土是由水泥、砂、石和水按一定比例拌和而成的。钢筋是由铁和碳组成的。混凝土和钢筋结合在一起，就形成了钢筋混凝土结构。  
 在素混凝土结构中配置一定型式和数量的钢材以后，结构的性能将发生什么样的变化？  
 钢筋和混凝土是两种物理、力学性能很不相同的材料，它们为什么能结合在一起共同工作？  
 钢筋混凝土结构有哪些主要优点？

钢筋混凝土结构是由混凝土和钢筋组成的。混凝土是由水泥、砂、石和水按一定比例拌和而成的。钢筋是由铁和碳组成的。混凝土和钢筋结合在一起，就形成了钢筋混凝土结构。  
 在素混凝土结构中配置一定型式和数量的钢材以后，结构的性能将发生什么样的变化？  
 钢筋和混凝土是两种物理、力学性能很不相同的材料，它们为什么能结合在一起共同工作？  
 钢筋混凝土结构有哪些主要优点？

# 第一章 钢筋混凝土结构的材料

## 学习指导

**[学习要求]** 要了解钢筋和混凝土材料各自的力学性能及其共同工作的原理,这是掌握混凝土结构构件的受力性能、结构的计算理论和设计方法的基础。混凝土结构的有关计算和构造问题,也都与材料的性能密切相关。注意与建筑材料课的联系与区别。建筑材料课程主要讨论材料本身的性能,而本章主要讨论对结构受力有影响的材料性能。

**[本章重点]** 钢筋的品种和级别,不同类型钢筋的应力—应变曲线及其区别,钢筋的强度和变形;钢筋的冷加工方法及冷拉钢筋的性能;混凝土结构对钢筋性能的要求,钢筋的选用原则;混凝土的强度等级,混凝土的各类强度指标,混凝土的应力—应变曲线,混凝土的变形模量,影响混凝土强度和变形的因素;混凝土的徐变和收缩现象及其对结构的影响;保证钢筋与混凝土黏结力的措施。

## 第一节 钢筋

### 一、钢筋的品种

#### (一) 钢筋品种的分类

##### 1. 按化学成分划分

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<sup>①</sup>。

碳素钢按碳的含量多少分为低碳钢(含碳量小于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,焊接性能也会变差。

<sup>①</sup> 国家标准规定:碳素钢牌号的表示形式如Q235-A.F, Q代表屈服点,数字表示屈服强度为235 MPa;低合金



普通低合金钢是在炼钢时对碳素钢加入少量合金元素而形成的。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。

## 2. 按加工工艺划分

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、热处理钢筋及高强钢丝 5 种<sup>①</sup>。

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,分为热轧 I、II、III、IV 共 4 个级别,强度依次提高。

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、II、III、IV 共 4 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。这种钢筋用来逐步取代普通低碳钢筋和冷拔低碳钢丝。

热处理钢筋是将热轧带肋钢筋再通过淬火和回火的调质处理后而成的,热处理能显著提高其强度。

高强钢丝一般有碳素钢丝、刻痕钢丝和钢绞线等。碳素钢丝是用优质碳素结构钢经冷拔或回火等工艺而形成;刻痕钢丝是由碳素钢经压痕轧制低温回火而成;钢绞线是由多根碳素钢丝绞捻后消除内应力而成。

## 3. 按表面特征划分

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。

光面钢筋表面是光滑的,与混凝土的黏结性不好,见图 1-1 (a)。

变形钢筋表面有两条纵向凸缘(纵肋)和许多等距离的斜向凸缘(横肋)。其中,有由两条纵肋和纵肋两侧多道等距离、等高度及斜向相同的横肋形成的螺旋纹表面,见图 1-1 (b);若横肋斜向不同则形成了人字纹表面,见图 1-1 (c)。螺旋纹和人字纹钢筋以往习惯称为螺纹钢筋<sup>②</sup>,

钢的表示形式如  $40\text{Si}_2\text{Mn}$ ,表明含碳量为 40‰,含硅量 2% 左右,含锰量小于 1.5%。

<sup>①</sup> 热轧 I、II、III、IV 级钢筋的约定表示符号为  $\Phi$ 、 $\Phi$ 、 $\Phi$ 、 $\Phi$ ,相应冷拉钢筋的表示符号为  $\phi$ 、 $\phi$ 、 $\phi$ 、 $\phi$ ,冷轧带肋钢筋的表示符号为  $\Phi^R$ ,热处理钢筋的表示符号为  $\Phi^H$ ,碳素钢丝、刻痕钢丝和钢绞线的表示符号分别为  $\phi$ 、 $\phi^k$  和  $\phi^j$ 。

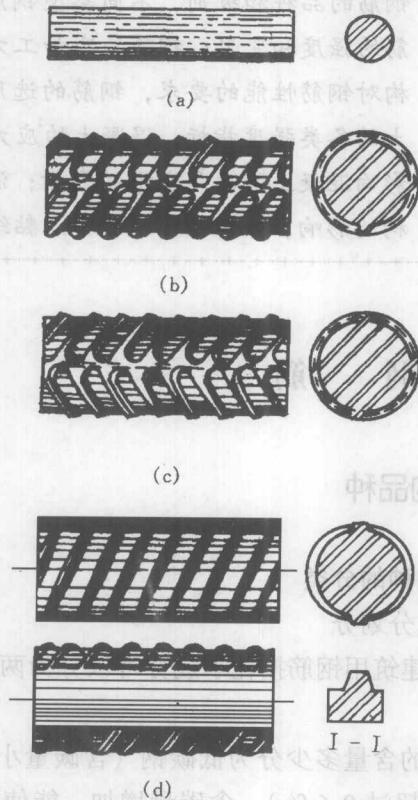


图 1-1 钢筋表面及截面形状

<sup>②</sup> 实际上所有变形钢筋过去都俗称螺纹钢。