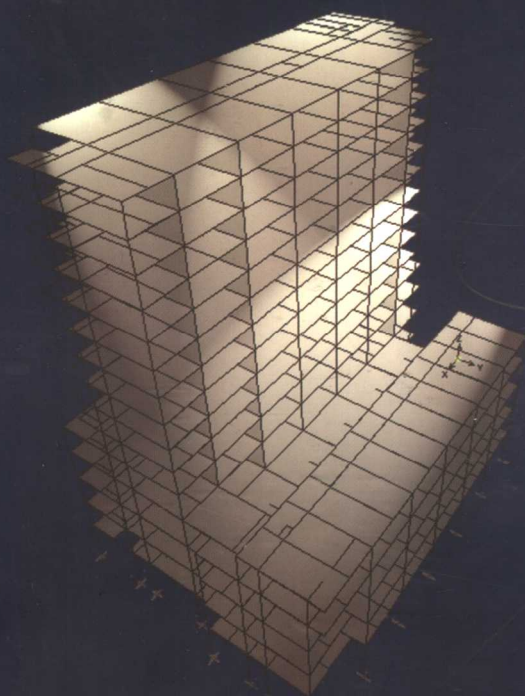




新世纪土木工程专业规划教材

# 混凝土结构设计原理 导学教程

周 莉 薛志成 主编



HUNNINGTU JIEGOU SHEJI YUANLI  
DAOXUE JIAOCHENG

知识产权出版社

TU370.4  
26

新世纪土木工程专业规划教材

# 混凝土结构设计原理 导学教程

周 莉 薛志成 主 编  
左敬岩 杨 璐 副主编

知识产权出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理导学教程/周莉,薛志成主编.  
北京:知识产权出版社,2006.6

ISBN 7-80198-561-3

I. 混... II. ①周... ②薛... III. 混凝土结构-结构设计-教材 IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 049891 号

## 内容简介

本书依据土木工程专业教学指导委员会制定的《混凝土结构设计原理课程教学大纲》和《全国一级结构工程师注册考试大纲》编写而成。书中的基本理论和方法完全依照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)和相关最新标准。

内容包括:钢筋混凝土材料的力学性能、钢筋混凝土结构的设计方法、受弯构件正截面承载力计算和斜截面承载力计算、受扭构件承载力计算、受压构件承载力计算、受拉构件承载力计算、混凝土构件正常使用极限状态的验算、预应力混凝土构件的计算等。各章节编写了典型的例题和模拟训练题。

本书既可作为土木工程专业本科和专科的教材,又可作为工程技术人员学习规范的参考书,同时本书也是参加考研和结构工程师注册考试人员的参考资料。

本书的所有版权受到保护,未经出版者书面许可,任何人不得以任何方式和方法复制抄袭本书的任何部分,违者皆须承担全部民事责任及刑事责任。

---

## 混凝土结构设计原理导学教程

周莉 薛志成 主编

责任编辑:李坚 文字编辑:孔玲

装帧设计:段维东 责任出版:杨宝林

知识产权出版社出版发行

地址:北京市海淀区马甸南村1号

通信地址:北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 邮编:100088

网址:<http://www.cnipr.com> 电子邮箱:[bjb@cnipr.com](mailto:bjb@cnipr.com)

(010)82000893 (010)82000860 转8101

北京白帆印务有限公司印刷

新华书店经销

2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:12.5 字数:300千字

ISBN 7-80198-561-3/T·213

定价:25.00元

如有印装质量问题,本社负责调换。

# 前 言

为了适应新世纪土木工程专业高级技术人才培养的发展和需要,本书依据土木工程专业教学指导委员会制定的《混凝土结构设计原理课程教学大纲》和《全国一级结构工程师注册考试大纲》编写而成。书中的基本理论和方法完全依照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)和其他相关最新标准。

本书的内容包括:钢筋混凝土材料的力学性能、钢筋混凝土结构的设计方法、受弯构件正截面承载力计算和斜截面承载力计算、受扭构件承载力计算、受压构件承载力计算、受拉构件承载力计算、混凝土构件正常使用极限状态的验算、预应力混凝土构件的计算等。本书各章节归纳、总结知识点,详细分析重点难点,并且编写了典型的例题和模拟训练题。

本书的特点在于:

1. 混凝土结构设计原理课程具有概念多、公式多、公式适用条件多、构造要求多等特点,因此在编写时应用图表等方法,将基本概念、基本原理进行归纳总结和对比分析,使教师难教,学生难学的问题得以很好的解决。

2. 本书在内容编排上尽可能做到详略得当,重点突出,详细剖析难点,并且紧紧围绕规范。

3. 例题分析和模拟训练部分精心选题(部分内容选自近年各高校的考研题和结构工程师注册考试试题),题型丰富,覆盖大纲中需要掌握的知识点,有利于读者深入学习、理解及应用各章节的基本原理和结构设计方法。

4. 为了方便读者学习,本书编写时力求语言通俗易懂,内容深入浅出,术语准确无误。

本书既可作为混凝土结构课程的本科、专科教材,又可作为工程技术人员学习规范的参考书。同时本书对考研和结构工程师注册考试人员也会有所帮助。

参加本书编写的单位和人员:

黑龙江科技学院:周莉、薛志成、左敬岩;沈阳工业大学:杨璐;大连大学:裴强。

本书编写分工如下:周莉(第1章,第9章,第10章),薛志成(第4章,第5章),裴强(第3章),左敬岩(第6章,第7章),杨璐(第2章,第8章)。

本书由周莉和薛志成统稿,并任主编;左敬岩和杨璐任副主编;徐晓红主审。

由于编写时间仓促和编者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,敬请读者批评和指正。

编者  
2006年2月

# 目 录

## 前言

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 绪论                   | 1  |
| 本章学习要求                   | 1  |
| 第一节 混凝土结构的一般概念           | 1  |
| 第二节 混凝土结构的发展及应用概况        | 3  |
| 第三节 混凝土结构课程的内容体系及学习方法    | 6  |
| 模拟训练                     | 7  |
| 第二章 钢筋混凝土材料的力学性能         | 8  |
| 本章学习要求                   | 8  |
| 第一节 钢筋                   | 8  |
| 第二节 混凝土                  | 12 |
| 第三节 钢筋与混凝土之间的粘结          | 19 |
| 第四节 例题解析                 | 21 |
| 模拟训练                     | 22 |
| 第三章 钢筋混凝土结构的设计方法         | 26 |
| 本章学习要求                   | 26 |
| 第一节 结构的功能要求              | 26 |
| 第二节 结构极限状态               | 27 |
| 第三节 极限状态方程               | 28 |
| 第四节 极限状态设计法              | 29 |
| 第五节 极限状态设计表达式            | 31 |
| 第六节 结构构件计算和验算规定          | 35 |
| 第七节 例题解析                 | 35 |
| 模拟训练                     | 39 |
| 第四章 受弯构件正截面承载力计算         | 43 |
| 本章学习要求                   | 43 |
| 第一节 受弯构件的一般构造要求          | 43 |
| 第二节 钢筋混凝土梁正截面工作的三个阶段     | 45 |
| 第三节 正截面承载力计算原理           | 46 |
| 第四节 单筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算 | 48 |
| 第五节 双筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算 | 51 |
| 第六节 T形截面受弯构件正截面受弯承载力计算   | 54 |
| 第七节 例题解析                 | 58 |
| 模拟训练                     | 62 |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| <b>第五章 受弯构件斜截面承载力计算</b>                    | 71  |
| 本章学习要求                                     | 71  |
| 第一节 无腹筋受弯构件斜截面受剪承载力计算                      | 71  |
| 第二节 有腹筋受弯构件斜截面受剪承载力计算                      | 72  |
| 第三节 受弯构件斜截面受弯承载力                           | 75  |
| 第四节 其他构造要求                                 | 76  |
| 第五节 例题解析                                   | 79  |
| 模拟训练                                       | 86  |
| <b>第六章 受扭构件承载力计算</b>                       | 93  |
| 本章学习要求                                     | 93  |
| 第一节 纯扭构件的扭曲截面承载力计算                         | 93  |
| 第二节 弯剪扭构件承载力计算                             | 95  |
| 第三节 在轴向压力、弯矩、剪力和扭矩共同作用下钢筋混凝土矩形截面框架柱受扭承载力计算 | 99  |
| 第四节 例题解析                                   | 99  |
| 模拟训练                                       | 104 |
| <b>第七章 受压构件承载力计算</b>                       | 107 |
| 本章学习要求                                     | 107 |
| 第一节 受压构件的一般构造要求                            | 107 |
| 第二节 轴心受压构件正截面承载力计算                         | 108 |
| 第三节 偏心受压构件正截面承载力计算的一般规定                    | 112 |
| 第四节 非对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算                | 116 |
| 第五节 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算                 | 120 |
| 第六节 对称配筋工形截面偏心受压构件正截面承载力计算                 | 121 |
| 第七节 偏心受压构件的 $N_0-M_0$ 相关曲线                 | 122 |
| 第八节 偏心受压构件的斜截面受剪承载力计算                      | 123 |
| 第九节 例题解析                                   | 124 |
| 模拟训练                                       | 134 |
| <b>第八章 受拉构件承载力计算</b>                       | 141 |
| 本章学习要求                                     | 141 |
| 第一节 受拉构件分类                                 | 141 |
| 第二节 轴心受拉构件正截面承载力计算                         | 141 |
| 第三节 矩形截面偏心受拉构件正截面承载力计算                     | 142 |
| 第四节 偏心受拉构件斜截面承载力计算                         | 143 |
| 第五节 例题解析                                   | 144 |
| 模拟训练                                       | 146 |
| <b>第九章 混凝土构件正常使用极限状态验算</b>                 | 148 |
| 本章学习要求                                     | 148 |
| 第一节 裂缝宽度验算                                 | 148 |
| 第二节 变形验算                                   | 151 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第三节 混凝土结构耐久性概念设计·····           | 152 |
| 第四节 混凝土构件的截面延性·····             | 153 |
| 第五节 例题解析·····                   | 154 |
| 模拟训练·····                       | 157 |
| <b>第十章 预应力混凝土构件的计算</b> ·····    | 162 |
| 本章学习要求·····                     | 162 |
| 第一节 概述·····                     | 162 |
| 第二节 预应力混凝土结构的一般规定·····          | 167 |
| 第三节 预应力混凝土轴心受拉构件的计算·····        | 167 |
| 第四节 预应力混凝土受弯构件的计算·····          | 171 |
| 第五节 例题解析·····                   | 177 |
| 模拟训练·····                       | 180 |
| <b>各章参考答案</b> ·····             | 184 |
| <b>附录一 混凝土和钢筋的力学指标</b> ·····    | 188 |
| <b>附录二 钢筋的计算截面面积及公称质量</b> ····· | 190 |

# 第一章 绪 论

## 本章学习要求

1. 掌握混凝土结构的一般概念;掌握钢筋和混凝土两种材料共同工作的基础。
2. 理解混凝土结构的特点及其类型。
3. 了解混凝土结构在土木工程中的发展及应用概况;了解混凝土结构设计规范的发展过程。
4. 了解混凝土结构课程的基本内容;了解本课程与其他课程的关系及学习方法。

## 第一节 混凝土结构的一般概念

### 一、混凝土结构的一般概念

#### 1. 几个基本概念

**混凝土:**混凝土是由砂子、石子、水泥和水按一定的比例经过搅拌后,凝结而成的一种人工石材。

**素混凝土:**指在混凝土中未配置受力钢筋和其他钢材,而只有混凝土一种结构材料。

**钢筋混凝土:**是由钢筋和混凝土两种力学性能完全不同的材料所组成的结构材料。

**混凝土结构:**工程中,以混凝土为主要材料制作成的结构就称混凝土结构。

混凝土作为人工石材,像天然石材一样,其抗压强度很高,但抗拉强度较低;而钢材的抗压强度和抗拉强度均很高,并且延性很好。在工程中,素混凝土构件的承载力较低,破坏时呈明显的脆性,并且抵抗动荷载的性能较差,故素混凝土结构应用较少。钢筋混凝土结构充分利用了混凝土和钢材的力学性能,在构件使用时的受拉区配置钢筋,可充分利用钢筋的抗拉强度,解决混凝土抗拉强度较低的不足;而在使用时受压区配置一定数量的钢筋,使钢筋和混凝土共同承受产生的压力,这样既可以减小截面尺寸,又可以提高构件的延性。

#### 2. 钢筋和混凝土共同工作的基础

钢筋和混凝土是两种物理力学性能不同的材料,它们能有效地结合在一起共同工作的主要原因有:

其一,钢筋和混凝土之间存在着粘结力。混凝土结硬以后能够和钢筋可靠地结合在一起,从而可以保证在荷载的作用下,钢筋和周围混凝土能够共同变形;其二,钢筋和混凝土的线膨胀系数相近。钢筋的线膨胀系数为  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ,混凝土的线膨胀系数为  $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ,二者数值相近,因此,当温度变化时,钢筋和混凝土之间不会产生较大的相对变形和温度应力而使粘结力破坏;另外,混凝土对钢筋还有防锈作用。混凝土结硬后,包裹在混凝土中的钢筋只要具有足够的混凝土保护层厚度和裂缝控制,便不会锈蚀,因此使结构具有良好的耐久性能。

### 二、混凝土结构的特点及分类

#### 1. 混凝土结构的特点

##### (1) 混凝土结构的优点

1) 便于就地取材。混凝土中所用的砂、石材料,一般可以就地、就近取材,因而材料的运输费用少,可以降低工程造价。另外,还可以利用工业废料(如矿渣、粉煤灰等)作为人工骨料,这样既做到废物利用,又有利于环保。

2) 节约钢材。钢筋混凝土结构充分利用了钢筋和混凝土各自的优良性能,在某些条件下可以代替钢结构,从而节约钢材,降低工程造价。

3) 耐久性好。处于良好环境中的混凝土结构,混凝土的强度随时间不断地增长,且混凝土包裹住钢筋,使钢筋不易锈蚀,因此钢筋混凝土结构的耐久性较好。

4) 耐火性强。钢筋外部的混凝土保护层的传热性差,在发生火灾时比钢结构和木结构的耐火性强。

5) 可模性好。钢筋混凝土可以根据设计的需要,浇筑成各种不同形状和尺寸的结构,特别适合于建造外形复杂的大体积结构和空间薄壁结构。

6) 整体性好,刚度大。现浇式混凝土结构具有较好的整体性,刚度大,抗震和防爆性能好。混凝土结构的刚度大,使用荷载作用下变形小,可用于对变形有严格要求的结构。

7) 保养费用低。混凝土结构耐久性好,不像钢结构和木结构需要经常进行保养。

## (2) 混凝土结构的缺点

1) 自重。不利于建造大跨度结构和高层建筑。

2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度低,钢筋混凝土结构常带裂缝工作。

3) 现浇式混凝土结构施工时,费工时、费模板。

4) 损坏后,加固和维修困难。

## 2. 混凝土结构的分类

### (1) 按施工方式分

1) 现浇式(或整体式)混凝土结构:现场支模、绑筋、浇筑混凝土,如肋梁楼盖等。

2) 预制式(或装配式)混凝土结构:现场或预制构件厂预制构件,现场安装,如预制板、单层工业厂房中的排架柱等。

装配—整体式混凝土结构:在装配式结构的基础上,将各预制构件的联接节点现浇成连续的整体;或将构件的一部分做成预制的,吊装就位后再浇筑现浇部分,使整个结构结成一体;或将各装配式预制构件加筑钢筋混凝土现浇层使其结成整体等。

### (2) 按材料分

1) 素混凝土结构:混凝土中无筋或不配置受力钢筋的结构。

2) 钢筋混凝土结构:又称普通钢筋混凝土结构,混凝土中配置普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的结构。

3) 预应力混凝土结构:混凝土中配置预应力钢筋,通过张拉预应力钢筋或其他方法建立预加应力的结构。

4) 型钢混凝土结构:又称型钢混凝土结构,混凝土中配置型钢或用钢板焊接成的钢骨架的结构。

5) 钢管混凝土结构:钢管中浇筑混凝土的结构。

6) 纤维增强混凝土结构:混凝土中配置纤维筋的结构。

## 第二节 混凝土结构的发展及应用概况

### 一、混凝土结构的发展及应用概况

比起原始社会最早所用的土、木结构,文明史初期出现的砖石、砌体结构,以及在工业革命后大量发展应用的钢结构等,混凝土结构还是最年轻的结构成员。

钢筋混凝土结构自 1861 年法国人 Monier 获得钢筋混凝土制造专利以来,已经有 140 多年的历史。19 世纪中叶,钢筋混凝土结构得到应用,由于当时混凝土和水泥的质量差,同时设计计算理论也没有建立,所以发展比较缓慢。直到 19 世纪末,随着生产的发展、科技的进步、试验研究工作的开展、计算理论的完善及材料和施工技术的改进,它才得以迅速发展,现在可以说它是广泛使用的一种工程材料。由于材料的强度低,开始只用于简单的结构物,如拱、板等,但随着水泥和钢铁工业的发展,促进了混凝土和钢材的强度不断提高,使混凝土结构在工程中应用更加广泛。

为了减轻自重、节约钢材、克服普通钢筋混凝土结构裂缝的存在,而采用预应力混凝土结构,并且这种结构在大跨结构、高层建筑、桥梁结构、海洋结构(如采油平台)、压力容器、飞机跑道及公路路面等工程中广泛应用。

下面就组成混凝土结构的两种主要材料——混凝土和增强材料做一下介绍。

#### 1. 混凝土

混凝土的发展方向是高强、轻质、耐久(抗磨损、抗冻融、抗渗)、抗灾(地震、风、火)、抗爆等。

(1) 高性能混凝土(high performance concrete,简称 HPC)。所谓的高性能是指混凝土具有高强度、高耐久性、高流动性等多方面的优越性,从强度而言,抗压强度大于 C50 的混凝土都属于高性能混凝土,一般指的是 C50~C80 的混凝土。提高混凝土的强度是发展高层建筑、高耸结构、大跨结构的重要途径,采用高强度的混凝土,可以减小截面的尺寸,减轻自重,因而可以获得较大的经济效益,而且,高强度的混凝土也具有较好的耐久性,我国已经制成 C100 的混凝土,据文献报道,国外在实验室高温、高压的条件下,制得的水泥石的抗压强度达到 662MPa,并且它的抗拉强度可以达到 64.7MPa。

在我国为提高混凝土的强度采用的主要途径有:1)采用优质骨料、优质水泥、利用优质掺和料,如优质磨细粉煤灰、硅灰、天然沸石或超细矿渣,采用高效减水剂以降低水灰比是获得高强度和高流动性的主要技术途径;2)采用 525 号、625 号、725 号的硫铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥及相应的外加剂制备高性能混凝土;3)以矿渣、矿碱成分及骨料制备的碱矿渣高强混凝土等。

有关文献报告了采用某些金属矿石粗骨料(如赤铁矿石、钛铁矿石等),可以比用普通石料作粗骨料获得强度更高、耐久性和延性更好的高性能混凝土。

高强混凝土具有优良的物理力学性能和良好的耐久性,其主要缺点是延性较差,而在高强混凝土中加入适量钢纤维后制成的纤维增强混凝土,其抗拉、抗弯、抗剪强度均有提高,其韧性(延性)和抗疲劳、抗冲击等性能也能有大幅度提高。此外,在高层建筑的高强混凝土柱中,也可采用 X 形配筋、劲性钢筋或钢管混凝土等结构方面的措施来改善高强混凝土柱的延性和抗震性能。

(2) 活性微粉混凝土(reactive power concrete,简称 RPC)。活性微粉混凝土是一种超高强

的混凝土,其立方体抗压强度可达  $200\sim 800\text{MPa}$ ,抗拉强度可达  $25\sim 150\text{MPa}$ ,制成这种混凝土的主要措施是:1)减小颗粒的最大尺寸,改善混凝土的均匀性;2)使用微粉及极微粉材料,以达到最优堆积密度;3)减少混凝土用水量,使非水化水泥颗粒作为填料,以增大堆积密度;4)增放钢纤维以改善其延性;5)在硬化过程中加压及加温,使其达到很高的强度。

(3)低强混凝土。美国混凝土学会(ACI)229 委员会,提出了在配料、运送、浇筑方面可控制的低强混凝土,其抗压强度为  $8\text{MPa}$  或更低。这种材料可用于基础、桩基的填、垫、隔离及作路基或填充孔洞之用,也可用于地下构造。在一些特定情况下,可用其调整混凝土的相对密度、抗压强度、弹性模量等性能指标,而且不易产生收缩裂缝。

(4)轻质混凝土。利用天然轻骨料(如浮石、凝灰岩等)、工业废料轻骨料(如炉渣、粉煤灰陶粒等)、人造轻骨料(页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等)制成的轻质混凝土具有密度较小、相对强度高以及保温、抗冻性能好等优点。利用工业废渣(如废弃锅炉煤渣、煤矿的煤矸石、火力发电站的粉煤灰等)制备轻质混凝土,可降低混凝土的生产成本,并变废为用,减少城市或厂区的污染,减少堆积废料占用的土地,有利于环保。

(5)纤维增强混凝土。为了改善混凝土的抗拉性能差、延性差等缺点,在混凝土中掺加纤维以改善混凝土性能的研究,发展得相当迅速。目前研究较多的有钢纤维、耐碱玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、聚丙烯纤维和尼龙合成纤维混凝土等。

在承重结构中,发展较快、应用较广的是钢纤维混凝土。而钢纤维主要有用于建筑工程的碳素钢纤维和用于耐火材料工业中的不锈钢纤维,用于建筑工程的钢纤维有以下几种生产方法:1)钢丝切断法;2)薄板剪切法;3)钢锭(厚板)铣削法;4)熔钢抽丝法。

(6)自密实混凝土。自密实混凝土不需机械振捣,而是依靠自重使混凝土密实。混凝土的流动性虽然高,但仍可以防止离析。配制这种混凝土的方法常见的有以下4种:1)粗骨料的体积为固体混凝土体积的  $50\%$ ;2)细骨料的体积为砂浆体积的  $40\%$ ;3)水灰比为  $0.9\sim 1.0$ ;4)进行流动性试验,确定超塑化剂用量及最终的水灰比,使材料获得最优的组成。这种混凝土的优点是:在施工现场无振动噪音;可进行夜间施工,不扰民;对工人健康无害;混凝土质量均匀、耐久;钢筋布置较密或构件体型复杂时也易于浇筑;施工速度快,现场劳动量小等。

(7)智能混凝土。利用混凝土组成的改变,可克服混凝土的某些不利性质。例如高强混凝土水泥用量多,水灰比低,加入硅灰之类的活性材料,硬化后的混凝土密实度好。但高强混凝土在硬化早期阶段,具有明显的自生收缩、孔隙率较高和易于开裂等缺点。解决这些问题的一个方法是,用掺量为  $25\%$  的预湿轻骨料来替换骨料,从而在混凝土内部形成一个“蓄水器”,使混凝土得到持续的潮湿养护。这种加入“预湿骨料”的方法,可使混凝土的自生收缩大为降低,减少了微细裂缝。

高强混凝土的另一问题是良好的密实性所引起的防火能力降低。这是因为在高温(火灾)时,砂浆中的自由水和化学结合水转变为水气,但却不能从密实的混凝土中逸出,从而形成气压,导致柱子保护层剥落,严重降低了柱的承载力。解决这个问题的一种方法是在每方混凝土中加  $2\text{kg}$  聚丙烯纤维,在高温(火灾)时,纤维熔化,形成了能使水气从边界区逸出的通道,减小了气压,从而防止柱的保护层剥落。

(8)预填骨料升浆混凝土。国内在大连中远  $60000\text{t}$  船坞工程中,因地质条件复杂,船坞底板首次采用了坐落于基岩上的预填骨料升浆混凝土,即用密度较大的厚  $4\sim 5\text{m}$  的铁矿石作为预填骨料,矿石层下再铺设  $1\text{m}$  厚的石灰石块石,矿石层上是厚  $60\sim 80\text{cm}$  的现浇钢筋混凝土板。在预填骨料层中布置压浆孔注入砂浆,形成预填骨料升浆混凝土。采取这种工艺,缩短了工

期,取得了良好的经济效益。

(9)碾压混凝土。碾压混凝土用于大体积混凝土结构(如水工大坝、大型基础)、工业厂房地面、公路路面及机场道面等。用于大体积混凝土的碾压混凝土的浇筑机具与普通混凝土不同,其平整使用推土机,振实用碾压机,层间处理用刷毛机,切缝用切缝机,整个施工过程的机械化程度高,施工效率高,劳动条件好,可大量掺用粉煤灰。与普通混凝土相比,浇筑工期可缩短 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ ,用水量可减少20%,水泥用量可减少30%~60%。

在公路、工业厂房地面等大面积混凝土工程中,采用碾压混凝土,或者在碾压混凝土中再加入钢纤维,成为钢纤维碾压混凝土,则其力学性能及耐久性还可进一步改善。

(10)再生骨料混凝土。混凝土结构拆除重建,其拆除量十分巨大。在拆除的混凝土中,约有一半是粗骨料,应该考虑如何使之再生利用,制成再生骨料混凝土,以减少环境污染,变废为用。

## 2. 配筋及增强材料

(1)纤维筋。钢筋混凝土结构的配筋材料,主要是钢筋。最近在国际上研究较多的是树脂粘结的纤维筋(fibre reinforced plastics,简称FRP)作混凝土及预应力混凝土结构的非金属配筋。常用的纤维筋有树脂粘结的碳纤维筋(CFRP)、玻璃纤维筋(GFRP)及芳纶纤维筋(AFRP)。国外研究指出,这几种纤维筋的强度都很高,只是玻璃纤维筋的抗碱性性能较差。纤维筋的突出优点是抗腐蚀、强度高,此外,还具有良好的抗疲劳性能、大的弹性变形能力、高电阻及低磁导性。其缺点是断裂应变性能较差、较脆、徐变(松弛)值较大,热膨胀系数较大。已有日本、德国、荷兰等国将纤维筋用于预应力混凝土桥梁。

(2)双钢筋。为了减小裂缝宽度和构件的变形,国内在一些工程中,采用焊成梯格形的双钢筋,在构件内平放或竖放布置。

(3)冷轧变形钢筋。为了节约钢材用量,国内引进国外设备或自制设备,用光圆钢筋,经过冷轧,轧成带肋的直径小于母材直径的钢筋,称为冷轧带肋钢筋。另一种类似的钢筋,是用HPB235级光圆钢筋冷轧扭转型,称为冷轧变形钢筋或冷轧扭钢筋。这两种冷轧钢筋的抗拉强度标准值(极限抗拉强度)及设计值都比母材大大提高,与混凝土的粘结强度也得到提高,但直径较小。它们主要用作板式构件的受力钢筋或梁、柱构件的箍筋或作预应力筋。由于强度提高,可以节约材料用量,获得经济效益。这两种钢筋,国内已制定了规程。为将这种小直径钢筋的用途扩展至梁、柱的受力钢筋,也可采用双筋或三筋的并筋,但需适当增大其锚固长度。

(4)环氧树脂涂敷钢筋。在海洋环境或者有腐蚀性介质的环境中(如冬季撒盐的桥面),钢筋锈蚀是影响结构耐久性的重要原因。为了防止钢筋锈蚀,用不锈钢制造钢筋是一个途径,但是价格昂贵。另一个途径是用环氧树脂涂敷钢筋表面,形成防锈的涂层,以防止钢筋生锈,这种方法在日本、美国应用较多。钢筋在工厂中校直、加热、喷涂树脂粉末,形成防护薄膜,冷却后经检验合格,用于有严格防锈蚀要求的工程,可使结构的耐久性大大提高。

(5)预应力混凝土用钢棒、预应力混凝土用螺旋肋钢丝。在传统用于预应力混凝土的钢丝、钢绞线、热处理钢筋的基础上,从国外引进生产线,已生产出直径达12.6mm、抗拉强度达1570MPa的预应力混凝土用的带螺旋肋的钢棒(steel bar)及直径达12.0mm、抗拉强度达1570MPa的带螺旋肋的钢丝。这种新产品的特点是高强度、低松弛、与混凝土的粘结强度好、易镦粗、可点焊、可盘卷等。

(6)纤维布、纤维条、纤维板。最近在国内外发展并应用了以质量很轻、易于加工、单向抗拉强度很高的纤维布(条、板)代替钢板进行构件加固的技术,加固层厚度基本不增加结构自重及截面尺寸;施工方便,功效高;耐腐蚀,无须定期维护。国外在用碳纤维布或碳纤维条时,还利用不同弹模的碳纤维进行优化组合,降低造价。除碳纤维外,与纤维筋类似,也有用芳纶纤维和玻璃纤维制成的产品(布、条或板)。

## 二、我国混凝土结构设计规范的发展概况

混凝土结构设计规范反映着我国混凝土结构学科的发展水平,它随着工程建设经验的积累、科研工作成果的累积和世界范围内技术的进步而不断改进。解放初期在东北地区首先颁布发行《建筑物结构设计暂行标准》和1955年制定的《钢筋混凝土结构设计暂行规范》(规结6—55)都采用了当时前苏联规范中的按破损阶段设计方法。20世纪50年代末我国开始着手编制自己的结构设计规范,在1966年颁布了第一本《钢筋混凝土结构设计规范》(GBJ 21—66),采用了当时较为先进的以多系数表达的极限状态设计方法。在总结建国以来的工程实践经验和科学研究成果的基础上,于1974年颁布了《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74),该规范采用了多系数分析,单一安全系数表达的极限状态设计方法。为了解决各类建筑材料的建筑结构可靠度设计方法的合理和统一问题,国家组织了相关高等院校、科研、设计单位对荷载、材料性能及构件几何尺寸等设计基本变量进行了大量的实测统计,并且认真借鉴了国外先进经验和国际标准,于1984年颁布了《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84),规定了我国建筑结构设计规范均统一采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,从而把我国结构可靠度设计方法提高到当时的国际水平。在此基础上,修订了《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74),于1990年颁布了《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)。但是,随着近年来工程建设中新技术和新材料的应用,混凝土科研的新进展和人民生活水平的提高,《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)已不能适应工程建设的需要,因此,从1997年开始又组织国内有关高校、科研、设计单位对《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)做了全面修订,结合修订后的国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)制定颁布了新的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)(以下简称《规范》),这标志着我国混凝土结构的计算理论和设计水平又有了新的进展,它必将促进我国混凝土结构设计水平进一步提高。

## 第三节 混凝土结构课程的内容体系及学习方法

### 一、混凝土结构课程的内容体系

混凝土结构课程的内容包括基本原理和结构设计两部分。基本原理部分包括材料的力学性能、设计原则、基本构件(包括预应力混凝土构件)的设计计算方法和构造要求;结构设计部分包括梁板结构设计、单层工业厂房结构设计及多高层结构设计。

### 二、混凝土结构与其他课程关系

1. 与土木工程材料课程的关系。土木工程材料课程中介绍的有关混凝土和钢筋的基本知识是理解两种材料力学性能的基础。
2. 与材料力学课程的关系。材料力学中研究匀质弹性材料的某些理论和方法,在进行混凝土结构研究时可以借鉴。
3. 与结构力学课程的关系。结构力学中对内力和变形的计算理论,可以为混凝土结构的设计提供力学依据。

与房屋建筑学、地基基础、房屋抗震设计、工程地质等课程也有密切的关系;此外还与国家的经济政策有关。

### 三、混凝土结构课程的学习方法

1. 学习中要理论联系实际。对于基本概念和基本理论的学习要联系工程实际中的具体构件和结构;混凝土结构的设计应符合实际的工程施工技术、经济状况。
2. 学习中要注重对比分析和归纳总结。

## 模 拟 训 练

### 一、选择题

1. 钢筋和混凝土两种材料能共同工作与下列哪项无关( )。
  - A. 二者之间的粘结力的存在
  - B. 二者的线膨胀系数相近
  - C. 混凝土对钢筋的防锈作用
  - D. 钢筋和混凝土的抗压强度大
2. 条件相同的钢筋混凝土梁与素混凝土梁的承载能力相比( )。
  - A. 二者基本相同
  - B. 二者完全相同
  - C. 钢筋混凝土梁承载力大
  - D. 素混凝土梁承载力大
3. 下列不属于混凝土结构缺点的是( )。
  - A. 自重大
  - B. 可模性差
  - C. 抗裂性能差
  - D. 施工时工序复杂,费模板

### 二、判断题

1. 钢筋混凝土梁只在使用时的受拉区配置一定数量的钢筋。
2. 在工程中,为了应用高强度材料,且减轻结构的自重,可采用预应力混凝土结构。
3. 在正常使用荷载下,钢筋混凝土梁通常是带裂缝工作。
4. 只要保证有足够的混凝土保护层厚度和裂缝控制等级,就可以保证混凝土的耐久性。

### 三、问答题

1. 钢筋混凝土是由哪两种材料组成的?举例说明为什么要在混凝土中配置钢筋?
2. 普通钢筋混凝土结构的主要缺点是什么?为何不宜采用高强度钢材?何种混凝土结构可以采用高强度钢材?

## 第二章 钢筋混凝土材料的力学性能

### 本章学习要求

1. 掌握钢筋的强度和变形特点;理解钢筋的品种、等级、成分;了解钢筋的疲劳性能和钢筋的冷加工;掌握《规范》中对钢筋选用的规定及混凝土结构对钢筋性能的要求。
2. 理解混凝土立方体强度、轴心抗压强度、轴心抗拉强度及其相互关系;了解复合应力状态下混凝土强度的概念;掌握单向受压混凝土的 $\sigma-\epsilon$ 曲线的特点;理解混凝土的弹性模量和变形模量的概念;了解混凝土的疲劳性能;理解混凝土的徐变、收缩和膨胀的概念。
3. 掌握钢筋与混凝土之间的粘结力的概念及其组成;理解钢筋和混凝土的粘结机理、影响粘结强度的因素及保证钢筋与混凝土可靠粘结的构造要求。

### 第一节 钢 筋

#### 一、钢筋的强度和变形

##### 1. 钢筋按 $\sigma-\epsilon$ 曲线的分类

###### (1) 有明显屈服点钢筋

1)  $\sigma-\epsilon$  曲线有流幅或屈服平台,如图 2-1 所示。

2) 以屈服强度作为设计强度,屈服强度是以屈服下限为依据。因为当构件截面上的受拉或受压钢筋的应力达到屈服点后,在荷载保持不变时,其塑性变形较大,但此时钢筋尚未进入强化阶段,构件会因为较大的塑性变形而使混凝土产生不可闭合的裂缝,致使构件发生破坏。

3) 主要指标:屈服强度、极限强度、伸长率、冷弯性能。

4) 多用于钢筋混凝土结构或预应力混凝土结构中的非预应力钢筋。

###### (2) 无明显屈服点钢筋

1)  $\sigma-\epsilon$  曲线无流幅或屈服平台,如图 2-2 所示。

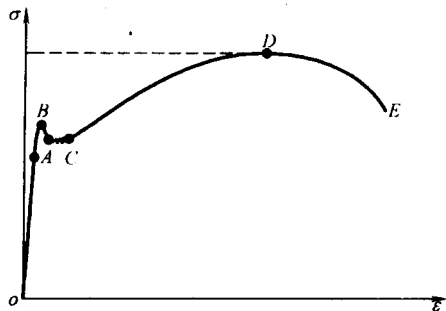


图 2-1 有明显屈服点钢筋 $\sigma-\epsilon$ 曲线

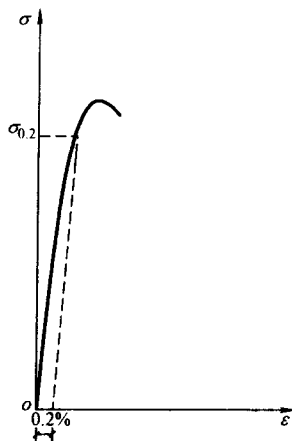


图 2-2 无明显屈服点钢筋 $\sigma-\epsilon$ 曲线

2) 取残余应变为 0.2% 时的应力  $\sigma_{0.2}$  作为假定屈服点, 又称条件屈服点或条件屈服强度,  $\sigma_{0.2}$  相当于极限抗拉强度  $\sigma_b$  的 65%, 《规范》规定在构件承载力设计时, 取极限抗拉强度的 0.85 倍, 即  $\sigma_{0.2} = 0.85\sigma_b$ 。

3) 主要指标: 抗拉强度、伸长率、冷弯性能。

4) 多用于预应力混凝土结构的预应力钢筋。

## 2. 钢筋塑性性能

### (1) 伸长率

钢筋伸长率按下式计算

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中  $l_0$ ——试件拉伸前的标距, 短试件取  $l_0 = 5d$ , 长试件取  $l_0 = 10d$  相应的伸长率;

$\Delta l$ ——试件拉伸后的伸长值。

钢筋伸长率越大, 钢筋塑性性能越好。

### (2) 冷弯性能

钢筋冷弯性能是检验钢筋在弯折加工时或在使用时不致脆断的一种性能, 是衡量钢筋力学性能的一项综合指标。冷弯是将直径为  $d$  的钢筋绕直径为  $D$  的弯芯弯曲到规定的角度后无裂纹断裂和起层现象, 则表示合格。弯芯的直径  $D$  越小, 弯转角  $\alpha$  越大, 钢筋塑性性能越好。

## 二、钢筋品种、等级、成分

### 1. 钢筋按成分分类

#### (1) 碳素钢

成分: 除含铁外, 还含有碳、硅、硫、磷等。

性能: 含碳量越高, 其强度越高, 塑性和可焊性越差。

按含碳量分类:

低碳钢  $C < 0.25\%$  (常用钢); 中碳钢  $0.25\% \leq C \leq 0.6\%$ ; 高碳钢  $0.6\% < C < 1.4\%$ 。

#### (2) 普通低碳合金钢

成分: 除含有碳素钢已有的元素外, 还含有少量的硅、锰、钒、铬、钛等合金元素。

分类: 锰系 (20MnSi、25MnSi); 硅锰系 (40Si2Mn、48Si2Mn); 硅钒系 (40Si2MnV、45SiMnV); 硅钛系 (45Si2MnTi); 硅铬系 (45SiGr)。

### 2. 钢筋按建筑工程应用分类

#### (1) 热轧钢筋

分为 HPB235、HRB335、HRB400、RRB400 四个级别, 对应符号为中、中、中、中<sup>R</sup>, 且强度依次增大, 塑性和可焊性依次降低; HPB235 级钢为碳素钢, 且为光面钢筋; 其他三级钢筋为普通低碳合金钢, 且为变形钢筋。

#### (2) 冷拉钢筋

冷拉钢筋是由热轧钢筋经过冷拉加工得到, 其抗拉强度提高, 塑性降低。

#### (3) 热处理钢筋

又称调质钢筋, 热轧钢筋经过淬火后回火处理得到, 强度大大提高; 主要用于预应力混凝土结构中的预应力钢筋。

#### (4) 钢丝和钢绞线

钢丝直径越细,强度越高。

钢丝分类:消除应力光面钢丝( $\Phi^p$ )、消除应力刻痕钢丝( $\Phi^l$ )、消除应力螺旋肋钢丝( $\Phi^H$ )。

用于预应力混凝土结构中的预应力钢筋。

注意:热轧钢筋和冷拉钢筋的 $\sigma-\epsilon$ 曲线有明显流幅,称为软钢;热处理钢筋、钢丝和钢绞线的 $\sigma-\epsilon$ 曲线无明显流幅,称为硬钢。

### 3. 钢筋按形式分类

#### (1) 柔性钢筋

柔性钢筋是指一般的普通钢筋,是我国工程中使用的主要钢筋形式。

分类:光面钢筋 直径 $d=6\sim 50\text{mm}$ 。

变形钢筋 直径 $d\geq 12\text{mm}$ ,可分为螺纹钢、人字纹钢、月牙纹钢,其中前两种钢筋生产施工时易损伤辊具,并且在混凝土中应用时易产生应力集中现象。

#### (2) 劲性钢筋

劲性钢筋是指角钢、槽钢、工字钢、钢轨、钢管、钢板焊成的骨架等。

### 三、钢筋冷加工

#### 1. 钢筋冷加工定义

钢筋冷加工就是对热轧钢筋进行冷拉、冷拔、冷轧、冷轧扭等机械加工,从而改变其内部组织结构,提高屈服强度,达到以节约钢材、降低工程造价为目的的方法。常用的钢筋冷加工的方法有冷拉和冷拔两种。

#### 2. 冷拉

冷拉就是用卷扬机或千斤顶对钢筋进行拉伸,使其应力进入 $\sigma-\epsilon$ 曲线的强化阶段,然后卸载。若立即对钢筋再张拉,则新的 $\sigma-\epsilon$ 曲线的屈服点提高,伸长率缩小,没有流幅出现,这种现象称为钢筋的冷拉强化。若钢筋卸载后不立即张拉,而是隔一段时间后再张拉钢筋,则新的 $\sigma-\epsilon$ 曲线的屈服点将更加提高,伸长率更小,并且有明显变短的流幅出现,同时极限抗拉强度增大,这种现象称为钢筋的时效硬化。完成冷拉时效硬化后的钢筋,如再次升温,则强度降低,甚至恢复到冷拉前的力学性能指标,因此,需焊接的冷拉钢筋,必须先焊好后再进行冷拉。为了保证钢筋在强度提高的同时具有一定的塑性,冷拉时可以通过控制冷拉应力或冷拉伸长率而实现。钢筋经过冷拉后,其抗拉强度提高,而塑性性能降低。

#### 3. 冷拔

冷拔是将直径为 $6\sim 8\text{mm}$ 的HPB235级热轧钢筋采用强力迫使其通过直径较小的合金拔丝模而拔成钢丝。钢筋在冷拔时不仅受到轴向位伸,而且受到侧向挤压,所以热轧钢筋经过冷拔后,其抗拉强度和抗压强度均得到提高,而塑性性能降低。

### 四、《规范》中对钢筋选用的规定

钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构的钢筋,应按下列规定进行选用:

1. 普通钢筋宜采用HRB400级和HRB335级钢筋,也可采用HPB235级和RRB400级钢筋。此外,普通钢筋是指用于钢筋混凝土结构中的钢筋和预应力混凝土结构中的非预应力钢筋。
2. 预应力钢筋宜采用预应力钢绞线、钢丝,也可采用热处理钢筋。

以上各种钢筋应符合如下标准的规定:

HRB400级和HRB335级钢筋是指现行国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB 1499)中的HRB400和HRB335钢筋;HPB235级钢筋是指现行国家标准《钢筋混凝土用