

高职高专教改系列教材·建筑工程技术类

钢筋混凝土结构

主 编 曲恒绪
副主编 李有香 艾思平

中国科学技术大学出版社

☆ 高职高专教改系列教材·建筑工程技术类

钢筋混凝土结构

主 编 曲恒绪

副主编 李有香 艾思平

中国科学技术大学出版社

· 合 肥 ·

内 容 简 介

本教材为由安徽省财政支持的省属高等职业院校“建筑工程技术专业”发展能力提升项目建设系列教材之一,全书共10章,主要包括:绪论、混凝土结构材料的力学性能、钢筋混凝土结构的设计方法、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受压构件承载力计算、受拉构件承载力计算、正常使用极限状态验算、预应力混凝土简介、梁板结构、结构施工图识读等。

本教材除可作为高职院校建筑工程技术专业的教材外,也可作为土建类相关专业和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土结构/曲恒绪主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2013.9
(高职高专教改系列教材·建筑工程技术类/满广生,胡慨主编)
ISBN 978-7-312-03284-4

I. 钢… II. 曲… III. 钢筋混凝土结构—高等职业教育—教材 IV. TU375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 175933 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥学苑印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm × 960 mm 1/16
印张 18.25
字数 358 千
版次 2013 年 9 月第 1 版
印次 2013 年 9 月第 1 次印刷
定价 30.00 元

高职高专教改系列教材·建筑工程技术类

编审委员会

主 审 李兴旺 孙敬华

主 编 满广生 胡 慨

副主编 曲恒绪 刘先春 宋文学 何 芳

编 委 (以姓氏笔画为序)

于文静 王 堃 孔定娥 艾思平 包海玲

曲恒绪 吕成炜 刘 虎 刘先春 李 涛

李有香 吴 瑞 吴岳俊 何 芳 宋文学

陈明军 胡 慨 胡 昊 陶继水 梅发军

满广生 潘祖聪 魏应乐

前 言

本教材是依据安徽省财政支持“建筑工程技术专业”发展能力提升建设项目的建设要求,结合专业人才培养方案和课程建设目标进行编写的。

在内容组织上,本着“理论适度,应用为主”的理念,删去了一些理论推导,注重了实际应用能力的培养;删去了实际工程中较少应用的“受扭构件”和不便于手工计算的“框架结构”等相关内容,增加了“结构施工图识读”等内容。

全书共 10 章,主要内容包括:混凝土结构材料的力学性能、钢筋混凝土结构的设计方法、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受压构件承载力计算、受拉构件承载力计算、正常使用极限状态验算、预应力混凝土简介、梁板结构、结构施工图识读等。

本书由曲恒绪教授主编。具体编写分工如下:安徽水利水电职业技术学院曲恒绪编写绪论及第 1、2、5、7 章;安徽水利水电职业技术学院李有香编写第 3、4、6 章;安徽水利水电职业技术学院艾思平编写第 8、9、10 章。全书由曲恒绪统稿总纂,孙敬华教授担任主审。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者给予指正。

编 者

2013 年 6 月 6 日

目 录

前言	i
绪论	1
0.1 钢筋混凝土结构的概念	1
0.2 钢筋混凝土结构的特点	3
0.3 钢筋混凝土与砌体结构的发展	3
0.4 学习本课程要注意的问题	4
第 1 章 混凝土结构材料的力学性能	6
1.1 钢筋	6
1.1.1 钢筋的品种和等级	6
1.1.2 钢筋的强度和变形	7
1.1.3 混凝土结构中钢筋的选用原则	9
1.2 混凝土	10
1.2.1 混凝土的强度	10
1.2.2 混凝土的变形	11
1.3 钢筋与混凝土的粘结	14
1.3.1 概述	14
1.3.2 粘结强度的影响因素	15
1.3.3 钢筋的锚固	16
1.3.4 钢筋的连接	18
第 2 章 钢筋混凝土结构的设计方法	22
2.1 结构设计的基本概念	22
2.1.1 结构的功能要求	22
2.1.2 作用、作用效应、结构抗力	23
2.1.3 结构功能的极限状态	25
2.1.4 建筑结构的安全等级	26

2.2 概率极限状态设计法	27
2.2.1 结构的功能函数	27
2.2.2 结构的可靠性与可靠度	27
2.3 极限状态设计实用表达式	28
2.3.1 承载能力极限状态设计表达式	29
2.3.2 正常使用极限状态设计表达式	30
2.4 耐久性规定	31
2.4.1 耐久性的概念	31
2.4.2 耐久性设计的内容	32
第3章 受弯构件正截面承载力计算	35
3.1 受弯构件正截面配筋的基本构造	36
3.1.1 截面形式和尺寸	36
3.1.2 受弯构件的钢筋	37
3.1.3 钢筋的保护层	39
3.1.4 钢筋的间距	40
3.1.5 截面的有效高度	40
3.2 梁正截面的试验研究	41
3.2.1 适筋梁的工作阶段	41
3.2.2 受弯构件正截面各阶段应力状态	43
3.2.3 钢筋混凝土受弯构件正截面的破坏形式	45
3.2.4 适筋梁与超筋梁、少筋梁的界限	46
3.3 单筋矩形截面的承载力计算	51
3.3.1 基本假定	51
3.3.2 基本公式及其适用条件	52
3.3.3 截面设计	54
3.3.4 强度复核	62
3.4 双筋矩形截面的承载力计算	64
3.4.1 基本计算公式及其适用条件	64
3.4.2 截面设计	65
3.4.3 承载力复核	67
3.5 T形截面的承载力计算	70
3.5.1 基本公式及适用条件	72
3.5.2 截面设计	74

3.5.3 承载力复核	75
第4章 受弯构件斜截面承载力计算	84
4.1 概述	84
4.2 无腹筋简支梁斜截面上应力状态和破坏形态	85
4.2.1 无腹筋梁斜截面上应力状态	85
4.2.2 无腹筋梁斜截面的破坏形态	86
4.3 有腹筋简支梁的斜截面受剪承载力计算	88
4.3.1 有腹筋梁斜截面受剪破坏形态	88
4.3.2 影响斜截面受剪承载力的主要因素	89
4.3.3 计算公式及适用范围	90
4.3.4 斜截面受剪承载力计算公式	93
4.4 保证斜截面受弯承载力的构造要求	101
4.4.1 抵抗弯矩图	102
4.4.2 纵筋的弯起	103
4.4.3 纵筋的截断	104
4.5 钢筋的构造要求	105
4.5.1 纵向钢筋构造	105
4.5.2 箍筋的构造要求	107
4.5.3 弯起钢筋的构造要求	108
4.5.4 钢筋细部尺寸	109
第5章 受压构件承载力计算	113
5.1 受压构件的一般构造要求	114
5.1.1 材料强度等级	114
5.1.2 截面形式及尺寸	115
5.1.3 纵向钢筋	115
5.1.4 箍筋	115
5.2 轴心受压构件承载力计算	117
5.2.1 试验分析	117
5.2.2 承载力计算公式	119
5.2.3 承载力计算方法	120
5.3 偏心受压构件正截面承载力计算	122
5.3.1 偏心受压构件的破坏特征	122

5.3.2	两类偏心破坏的界限	124
5.3.3	附加偏心距和初始偏心距	124
5.3.4	长柱的正截面受压破坏	125
5.3.5	矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	127
5.4	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	144
第6章	受拉构件承载力计算	147
6.1	轴心受拉构件正截面承载力计算	147
6.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	147
6.2.1	承载力计算公式	147
6.2.2	截面设计	149
6.3	偏心受拉构件斜截面承载力计算	152
第7章	正常使用极限状态验算	154
7.1	概述	154
7.2	混凝土构件裂缝宽度验算	154
7.2.1	裂缝的分类	154
7.2.2	裂缝控制的等级和要求	155
7.2.3	裂缝宽度验算	155
7.3	受弯构件的挠度验算	159
7.3.1	概述	159
7.3.2	短期刚度 B_s	159
7.3.3	长期刚度 B	160
7.3.4	受弯构件的挠度验算	160
第8章	预应力混凝土简介	163
8.1	预应力混凝土的基本原理	163
8.1.1	预应力混凝土的概念	163
8.1.2	预应力混凝土的特点	164
8.1.3	预应力混凝土结构的类型	164
8.2	预应力施加方法	165
8.2.1	先张法预应力混凝土	165
8.2.2	后张法预应力混凝土	166

第 9 章 梁板结构	170
9.1 概述	170
9.2 整体式单向板肋梁楼盖	171
9.2.1 结构平面布置	171
9.2.2 结构内力计算	172
9.2.3 截面设计和构造要求	179
9.2.4 单向板肋梁楼盖设计实例	185
9.3 整体式双向板肋梁楼盖	197
9.3.1 双向板的受力特征	197
9.3.2 双向板结构内力计算	197
9.3.3 截面配筋计算要点和构造要求	199
9.3.4 双向板支承梁的构造要求	200
9.4 楼梯设计	200
9.4.1 现浇板式楼梯	201
9.4.2 现浇梁式楼梯	202
9.4.3 楼梯设计实例	204
第 10 章 结构施工图识读	210
10.1 梁、板平法施工图识读	210
10.1.1 梁的平法识读	210
10.1.2 板的平法识读	220
10.1.3 梁、板构造详图	224
10.2 柱施工图识读	237
10.2.1 柱的类型	237
10.2.2 柱的平法识读	238
10.2.3 柱构造详图	243
10.3 剪力墙平法识图	248
10.3.1 剪力墙构件类型与钢筋类型	248
10.3.2 剪力墙平法识图(出自 11G101-1)	251
附表 1 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下按弹性分析的内力系数表	261
附表 2 双向板按弹性分析的计算系数表	273
参考文献	279

绪论

0.1 钢筋混凝土结构的概念

以混凝土为主制成的结构称为混凝土结构,混凝土结构广泛应用于土木工程建设中。混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和预应力混凝土结构等。

素混凝土结构是指由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构。它由于承载力低、抗裂能力差、脆性破坏等特点,现很少用于受力结构中。

钢筋混凝土结构是指由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构。混凝土的抗压能力强,抗拉能力低;而钢筋的抗压和抗拉能力都强。将这两种材料合理地组合在一起,混凝土主要承受压力,钢筋主要承受拉力,这两种材料各自发挥优势,共同工作,成为了具有很好工作性能的结构。

图0.1(a)、(b)为两根截面尺寸、跨度、混凝土强度和受力都相同的简支梁。

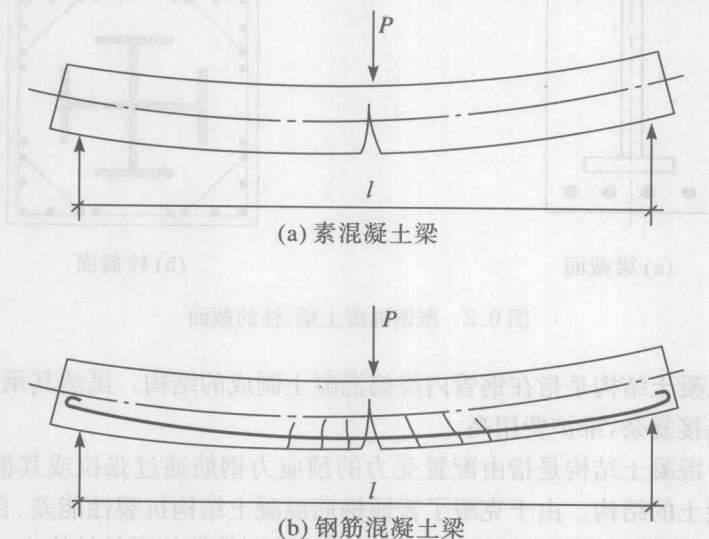


图 0.1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁的破坏情况

图 0.1(a)是没有配置受力钢筋的素混凝土简支梁,对其进行破坏试验可知,当荷载较小时,截面上的应变如同弹性材料的梁一样,沿截面高度呈直线分布;当荷载增大到受拉区边缘混凝土开裂时,裂缝沿截面高度迅速展开,梁发生没有预兆的断裂破坏,这种破坏属于脆性破坏,这时,受压区混凝土的抗压强度虽然很高却没有得到利用。图 0.1(b)是与图 0.1(a)条件相同的简支梁,该梁在受拉区配置有受拉钢筋,在受压区配置有架立钢筋,并配有适量箍筋。对其进行同样的破坏试验可知,当荷载加到受拉区边缘混凝土开裂后,试件不会立即断裂,裂缝截面处混凝土的拉应力由纵向受拉钢筋承担,故荷载可以再增加,直到纵向受拉钢筋达到屈服强度以后,荷载可以继续增加,直到受压区混凝土被压碎,梁宣告破坏。破坏时裂缝开展较宽、梁的变形较大,有明显的预兆,属于塑性破坏。同时,该梁的承载力有较大的提高,这说明该梁的受力性能明显得到了改善。

型钢混凝土结构又称为钢骨混凝土结构或劲性钢筋混凝土结构。它是指用型钢板焊成的钢骨架作为配筋的混凝土结构。其承载力高、抗震性好,但是耗钢量多,可在高层、大跨度或者抗震要求较高的结构中使用,梁、柱的截面形式见图 0.2。

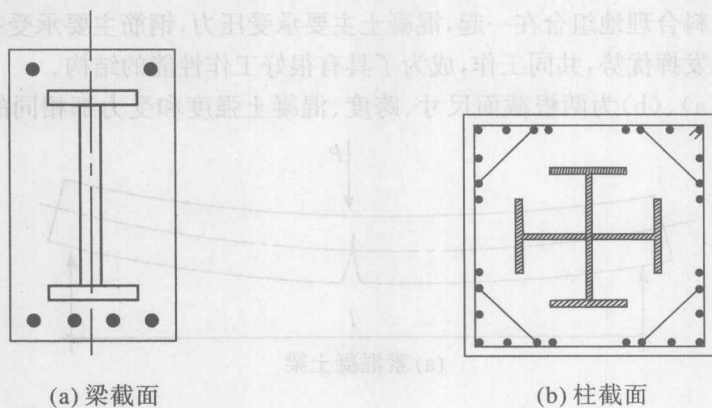


图 0.2 型钢混凝土梁、柱的截面

钢管混凝土结构是指在钢管内浇筑混凝土制成的结构。虽然其承载力高,但是构件的连接复杂,维护费用高。

预应力混凝土结构是指由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预应力混凝土的结构。由于克服了普通钢筋混凝土结构抗裂性能差、自重大的特点,因此可以广泛应用于大跨度结构及对裂缝控制等级较严的结构中。

在本书中,我们重点讲述钢筋混凝土结构。

0.2 钢筋混凝土结构的特点

钢筋混凝土结构除了具有较高的承载力和较好的受力性能外,还具有以下优点:

(1) 耐久性。混凝土具有较高的密实度和强度,同时混凝土包裹在钢筋的外围,对钢筋起保护作用,钢筋不易锈蚀,耐久性好。

(2) 耐火性。由传热性较差的混凝土作为钢筋的保护层,钢筋因有混凝土包裹而不致很快升温到失去承载力,因而比钢结构和木结构的耐火性好。

(3) 整体性。现浇的钢筋混凝土结构的整体性好,有利于抗震。

(4) 可模性。钢筋混凝土结构可根据工程需要,比较容易地浇筑成各种形状、各种尺寸的结构。

(5) 就地取材。钢筋混凝土所用材料中比例较大的砂、石一般易于就地取材,可以显著降低造价。

(6) 节约钢材。钢筋混凝土结构中合理利用钢筋和混凝土各自的良好性能,在一定条件下可以替代钢结构,节约钢材,降低造价。

钢筋混凝土结构也存在以下主要缺点:

(1) 自重大。普通钢筋混凝土结构的自重比钢结构自重大,不利于建造大跨度建筑以及超高层建筑。

(2) 抗裂性差。由于混凝土的抗拉强度较低,普通钢筋混凝土结构经常带裂缝工作。尽管裂缝的存在不一定使结构破坏,但是当裂缝数量较多、裂缝较宽时,给人造成不安全感,影响美观,结构的耐久性受到影响。

(3) 费工、模板用料多、施工周期长。建造整体式钢筋混凝土结构比较费工,同时又需要大量的模板和支撑,且混凝土需在模板内进行一段时间的养护,致使工期延长。另外,施工还受到气候的限制。

此外,钢筋混凝土结构还有隔热、隔声效果差,结构补强维修困难,施工受季节和气候的限制等缺点。

0.3 钢筋混凝土与砌体结构的发展

钢筋混凝土结构在建筑工程中的应用,已有 150 多年的历史。19 世纪中期首先在英、法两国得到应用,虽然历史不长,但其发展很快,现已成为应用最为广泛的建筑结构,特别是近年来在材料、结构施工、设计理论三个方面有了很大的进步。

1. 材料方面

材料方面的发展方向主要是轻质、高强、耐久。目前,普通钢筋混凝土结构中混凝土的强度一般为 $20 \sim 40 \text{ N/mm}^2$; 预应力混凝土结构中混凝土的强度可达 $60 \sim 80 \text{ N/mm}^2$ 。目前,在实验室里已研制出强度高达 200 N/mm^2 的混凝土。钢筋的强度也在逐渐提高,普通热轧钢筋的屈服强度可达到 500 N/mm^2 , 高强钢丝的强度则高达 1860 N/mm^2 。材料强度的提高,意味着使用的材料更少、结构的自重更轻,结构可以建得更高、跨度可以做得更大。

轻质混凝土、加气混凝土、陶粒混凝土及利用工业废料的“绿色混凝土”等不但改善了混凝土的性能,而且对节能和环境保护具有重要的意义。

2. 结构和施工方面

混凝土结构由过去的简单结构发展到高层、超高层、大跨度等复杂结构。例如,上海浦东环球金融中心大厦,95层460m高,内筒为钢筋混凝土结构。此外,为了快速施工,出现了装配式混凝土结构、泵送商品混凝土等工业化施工技术。

3. 设计理论方面

设计理论从最初的估算,发展到20世纪初的容许应力法、40年代的破损阶段计算法、50年代以来采用的极限状态设计法。目前,基于概率论与数理统计的可靠度理论使得钢筋混凝土结构的极限状态设计法更趋完善。随着试验和测试技术与计算机手段的提高,钢筋混凝土的设计理论会日趋完善,并向更高阶段发展。

0.4 学习本课程要注意的问题

学习本课程时需注意以下几个问题:

(1) 本课程公式多和构造多。学习时要正确理解建立公式时的基本假定、公式的适用范围和限制条件;构造处理和有关规定是长期科学实验和工程实践经验的总结,在设计结构和构件时,计算与构造同等重要,学习时要充分重视对构造规定和要求的理解。

(2) 计算相对繁琐。过去力学中研究的主要是由单一、匀质、连续的弹性材料构成的构件,大多公式可从理论上予以推导,而钢筋混凝土结构的材料组成相对复杂,且非匀质、非连续、非弹性。由于材料性能具有较大的差异,因此建筑力学的公式一般不能直接应用于混凝土结构基本构件设计计算中。因此,本课程中大部分公式都是在实验研究的基础上给出来的半理论、半经验公式。

(3) 结构计算和设计是一个综合而又复杂的过程,包括结构方案、构件选型、材料选择、截面设计、配筋构造和施工等,在满足安全、适用、经济的前提下,可能

有多个设计方案,需综合考虑,选择最优方案。在学习本课程时,要培养对多种因素进行综合分析和综合应用的能力。

(4) 本课程是一门实践性很强的课程。因此在学习时要注意实践教学环节的学习,通过认识实习,积累感性知识;通过实习实训,增强工程实践经验。

(5) 本课程要学习相关规范。结构设计要严格遵守国家颁布的规范、标准、规程以及法规。设计规范是国家颁布的关于结构设计计算和构造要求的技术规定和标准,是具有约束性和立法性的文件,是保证设计质量、设计方法和审批工程的统一依据,是工程设计人员必须遵守的规定。

习 题

1. 混凝土结构的分类有哪些?
2. 什么是素混凝土结构?
3. 什么是钢筋混凝土结构?
4. 什么是型钢混凝土结构?
5. 什么是预应力混凝土结构?
6. 钢筋混凝土结构的发展方向是什么?
7. 学习本课程时应注意哪些问题?

第1章 混凝土结构材料的力学性能

【学习目标】

通过本章的学习,熟悉现行规范中推荐使用的钢筋的种类,掌握强度指标、塑性指标等力学性能;掌握混凝土的立方体抗压强度、轴心抗压强度及轴心抗拉强度等强度指标,了解混凝土徐变、干缩与湿胀等变形的概念;掌握钢筋锚固长度的概念及计算。

1.1 钢 筋

1.1.1 钢筋的品种和等级

混凝土结构中使用的钢筋按化学成分的不同,可分为碳素钢和普通低合金钢两类。钢筋的主要化学成分是铁元素,其次还有少量的碳、硅、锰杂质元素和硫、磷、氧、氮等有害元素。根据含碳量的不同,碳素钢又可分为低碳钢(含碳量小于0.22%)、中碳钢(含碳量0.22%~0.60%)和高碳钢(含碳量0.60%~1.40%)。随着含碳量的增加,钢材的强度和硬度提高,而塑性、韧性和可焊性降低。硅、锰元素可以提高钢材的强度和保持一定的塑性,硫、磷是钢中的有害元素,它们的含量增加会降低钢材的变形性能和可焊性。碳素钢中加入少量的合金元素,如锰、硅、钛、钒等,可有效地提高钢材的强度,改善其塑性和可焊性。

混凝土结构中使用的钢筋按生产加工工艺的不同,可分为热轧钢筋、热处理钢筋、钢丝。热轧钢筋由冶金厂直接热轧制成,如HPB300、HRB335、HRB400、HRB500等。热处理钢筋由特定强度的热轧钢筋如40Si2Mn、48Si2Mn和45Si2Cr,通过加热后的正火、淬火和回火等调质工艺处理制成,经淬火和回火处理可有效改善钢材内部不稳定结构,使钢筋强度得到较大幅度的提高,但塑性有所降低,可焊性、机械连接性能均稍差。钢丝包括光面钢丝、螺旋肋钢丝、刻痕钢丝和钢绞线等。热处理钢筋及钢丝强度都比较高,一般用于预应力混凝土结构中。

钢筋按其外形的不同,可分为光圆钢筋和带肋钢筋。为了增加钢筋与混凝土之间的粘结力,对于强度较高的钢筋,表面均做成带肋的变形钢筋。带肋钢筋的

外形有月牙纹、人字纹、螺旋纹,目前生产的大多为月牙纹,其横肋高度向肋的两端逐渐降为零,且不与纵肋相连,横肋在钢筋横截面的投影呈月牙形。月牙纹钢筋与混凝土的粘结性能略低于螺纹钢筋和人字纹钢筋,但锚固延性和抗疲劳性能高于螺纹钢筋和人字纹钢筋。钢筋的形式如图 1.1 所示。

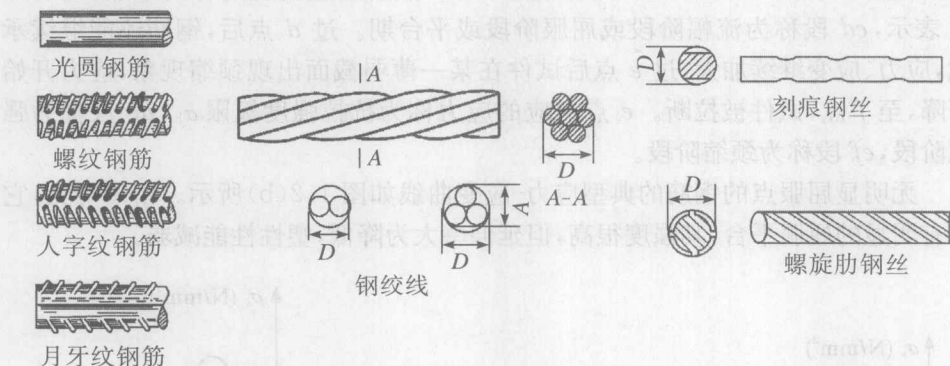


图 1.1 钢筋的形式

钢筋按其力学性能的不同,分为有明显屈服点的钢筋(软钢)和无明显屈服点的钢筋(硬钢),前者包括热轧钢筋和冷轧钢筋,后者包括钢丝、钢绞线和热处理钢筋。

按照我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(以下简称《规范》)的规定,在钢筋混凝土结构中所用的国产普通钢筋有以下四种级别。

(1) HPB300:符号 Φ ,即热轧光面钢筋(Hotrolled Plain Steel Bar)300级。

(2) HRB335:符号 Φ ,即热轧带肋钢筋(Hotrolled Ribbed Steel Bar)335级; HRBF335:符号 Φ^F ,即细晶粒热轧带肋钢筋(Fine Hotrolled Ribbed Steel Bar)335级。

(3) HRB400:符号 Φ ,即热轧带肋钢筋(Hotrolled Ribbed Steel Bar)400级; HRBF400:符号 Φ^F ,即细晶粒热轧带肋钢筋(Fine Hotrolled Ribbed Steel Bar)400级; RRB400:符号 Φ^R ,即余热处理带肋钢筋(Remained Heat Treatment Ribbed Steel Bar)400级。

(4) HRB500:符号 Φ ,即热轧带肋钢筋(Hotrolled Ribbed Steel Bar)500级; HRBF500:符号 Φ^F ,即细晶粒热轧带肋钢筋(Fine Hotrolled Ribbed Steel Bar)500级。

1.1.2 钢筋的强度和变形

1.1.2.1 钢筋的应力-应变曲线

有明显屈服点的钢筋的典型应力-应变曲线如图 1.2(a)所示。图中在 a 点