



高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

建筑结构

● 主编 段 旻 主审 邹昭文



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

建 筑 结 构

主 编 段 旻
副主编 夏 玲 朱传佩 吴辉辉
王秀振 田志莹
主 审 邹昭文



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP) 数据

建筑结构/段旻主编. —武汉:武汉大学出版社,2014. 1
高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型
ISBN 978-7-307-12378-6

I. 建… II. 段… III. 建筑结构—高等学校—教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 306909 号

责任编辑:邓 瑶 责任校对:郭 芳 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉兴德林工贸有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:19.5 字数:533 千字

版次:2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-12378-6 定价:36.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

编审委员会

顾 问 王世庆 刘 华 杨家仕 戴运良

主 任 委 员 康志华 张志国

副主任委员 罗特军 李平诗 张来仪 何志伟 邹 皓 杨乃忠

王君来 周家纪 袁自峰 冯治流

委 员(按姓氏笔画排名)

王若志 王星捷 王晓明 王涯茜 白立华 刘 琛

李 然 李忠定 李章政 吴浙文 张士彩 尚晓峰

郝献华 胡益平 段 旻 韩俊强 蒲小琼 蔡 巍

魏泳涛

总责任编辑 曲生伟

秘 书 长 王 睿

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

基本数字教学资源网站链接:<http://www.stmpress.cn>

前 言

本书是“高等学校土木工程专业‘十二五’系列规划教材·应用型”之一。

本书主要是依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)以及《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等编写而成,可作为高等学校工程管理、工程造价等相关专业的本科教材,也可供有关技术人员学习参考。

本书在编写过程中始终注意把握以下原则:

第一,教材内容,注重系统性和完整性的编写要求,以便读者系统地、完整地掌握各类结构的基本知识及设计方法。

第二,基本概念和原理,把握“以必需、够用为度”的编写原则,突出其应用性和实用性,并注重学生基本工程能力的培养。

第三,书中配有大量典型例题、案例分析及独立思考,作为教材使用时,教师可根据具体教学情况选用教学内容。

本书由重庆大学城市科技学院段旻担任主编;成都理工大学工程技术学院夏玲,中国矿业大学银川学院朱传佩,四川大学锦江学院吴辉辉,重庆大学城市科技学院王秀振、田志莹担任副主编。

具体编写分工为:

重庆大学城市科技学院,段旻(前言、第1章、第12章、第13章);

成都理工大学工程技术学院,夏玲(第4章、第7章);

四川大学锦江学院,吴辉辉(第3章、第9章);

中国矿业大学银川学院,朱传佩(第8章、第10章);

重庆大学城市科技学院,王秀振(第6章、第14章、第15章);

重庆大学城市科技学院,田志莹(第2章、第5章、第11章)。

本书承重庆大学城市科技学院邹昭文精心审阅,提出许多宝贵的意见,对提高本书的质量起了重要的作用。

本书的编写得到“高等学校(应用型)面向区域特色人才培养教学改革与教材建设示范项目”的资助。本书部分的工程实例由重庆银鑫科技集团提供。

在本书出版之际,编者在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2013年10月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 建筑结构的的基本概念	(1)
1.2 建筑结构的分类与工程应用	(1)
1.3 课程特点与学习方法	(3)
本章小结	(4)
习题与思考题	(4)
2 钢筋混凝土结构材料的性能	(5)
2.1 钢筋	(5)
2.2 混凝土	(9)
2.3 钢筋与混凝土的黏结与锚固	(17)
本章小结	(21)
习题与思考题	(21)
3 混凝土结构设计原则	(22)
3.1 结构的可靠度	(22)
3.2 概率极限状态设计法	(26)
本章小结	(31)
习题与思考题	(31)
4 钢筋混凝土结构轴心受力构件承载力	(32)
4.1 概述	(32)
4.2 轴心受拉构件正截面承载力设计方法	(33)
4.3 轴心受压构件正截面承载力设计方法	(34)
本章小结	(40)
习题与思考题	(41)
5 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力	(42)
5.1 概述	(42)
5.2 受弯构件正截面的受力特性与破坏形态	(45)
5.3 受弯构件的正截面承载力设计方法	(48)
本章小结	(65)
习题与思考题	(66)
6 钢筋混凝土受弯构件斜截面受剪承载力	(68)
6.1 概述	(68)
6.2 受弯构件斜截面的破坏分析	(68)
6.3 受弯构件斜截面承载力设计方法	(72)
6.4 纵向钢筋的截断和弯起	(76)

本章小结	(85)
习题与思考题	(85)
7 钢筋混凝土受扭构件承载力	(86)
7.1 概述	(86)
7.2 纯扭构件的受力特性与破坏形态	(87)
7.3 受扭构件承载力计算方法	(89)
本章小结	(94)
习题与思考题	(94)
8 钢筋混凝土偏心受力构件承载力	(95)
8.1 概述	(96)
8.2 偏心受压构件的受力特性与破坏形态	(97)
8.3 偏心受压构件承载力设计方法	(100)
8.4 偏心受拉构件	(103)
本章小结	(108)
习题与思考题	(109)
9 钢筋混凝土构件的裂缝与变形	(110)
9.1 概述	(110)
9.2 裂缝宽度验算	(111)
9.3 挠度验算	(113)
本章小结	(116)
习题与思考题	(116)
10 预应力混凝土结构简介	(117)
10.1 概述	(117)
10.2 预应力混凝土的基本知识	(118)
10.3 预应力混凝土的受力特性	(121)
本章小结	(123)
习题与思考题	(123)
11 钢筋混凝土现浇楼盖设计	(124)
11.1 概述	(124)
11.2 钢筋混凝土楼盖的设计方法	(124)
11.3 楼梯与雨篷的设计方法	(150)
本章小结	(176)
习题与思考题	(176)
12 多层框架结构	(178)
12.1 概述	(178)
12.2 框架结构内力及水平位移计算方法	(179)
12.3 多层框架结构的设计方法	(191)
本章小结	(198)
习题与思考题	(198)

13 砌体结构设计简介	(200)
13.1 概述.....	(200)
13.2 砌体结构材料的力学性能.....	(201)
13.3 砌体结构的设计方法.....	(208)
13.4 混合结构房屋的墙体设计.....	(213)
13.5 过梁、圈梁设计	(222)
本章小结.....	(226)
习题与思考题.....	(227)
14 钢结构设计简介	(228)
14.1 概述.....	(228)
14.2 钢结构材料的力学性能.....	(228)
14.3 钢结构的连接.....	(232)
14.4 钢结构构件设计计算.....	(243)
本章小结.....	(257)
习题与思考题.....	(258)
15 结构抗震设计简介	(260)
15.1 概述.....	(260)
15.2 钢筋混凝土框架结构的抗震设计.....	(272)
15.3 多层砌体结构的抗震设计.....	(275)
本章小结.....	(280)
习题与思考题.....	(280)
附录	(281)
参考文献	(300)

1 绪 论

【内容提要】

本章的主要内容包括建筑的基本构件;建筑结构的分类;钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构各自的特点及其应用范围。

【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解建筑结构中基本构件的概念、三类结构的分类方法及各自的应用,以及本课程的学习方法。

1.1 建筑结构的基本概念

建筑结构是指在建筑物(包括构筑物)中,由建筑材料做成用来承受各种荷载或者作用,以起骨架作用的空间受力体系。建筑结构一般由以下结构构件组成:

- ① 用以承受竖向荷载的水平构件,主要包括板、梁、桁架、网架等。
- ② 用以支承水平构件或承载水平荷载的竖向构件,主要包括柱、墙等。
- ③ 用以将建筑物所承受的所有荷载传至地基上的基础构件。

1.2 建筑结构的分类与工程应用

1.2.1 建筑结构的分类

建筑结构根据所用材料的不同可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构等。

(1) 混凝土结构

混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构,其中钢筋混凝土结构应用最为广泛。其主要优点是强度高、整体性好、耐久性与耐火性好、易于就地取材、具有良好的可模性等;主要缺点是自重大、抗裂性差、施工环节多、工期长等。

(2) 砌体结构

砌体结构是由块材和砂浆等胶结材料砌筑而成的结构,主要包括砖砌体结构、石砌体结构和砌块砌体结构,广泛应用于多层民用建筑。其主要优点是易于就地取材、耐久性与耐火性好、施工简单、造价低;主要缺点是强度低、整体性差、结构自重大、工人劳动强度高等。

(3) 钢结构

钢结构是由钢板、型钢等钢材通过有效的连接方式所形成的结构,广泛应用于工业建筑及高层建筑结构中。随着我国经济建筑的迅速发展,钢产量的大幅度增加,钢结构的应用领域有了较大的扩展。可以预计,钢结构在我国将得到越来越广泛的应用。

钢结构与其他结构形式相比,其主要优点是强度高、结构自重轻、材质均匀,可靠性好、施工简

单、工期短、具有良好的抗震性能;主要缺点是易腐蚀、耐火性差、工程造价和维护费用较高。

(4) 木结构

木结构是指全部或大部分用木料制作的结构。木材因其生长受自然条件的限制,砍伐木材对环境的不利影响,以及易燃、易腐、结构变形大等缺陷,目前已较少采用,本书对木结构将不再叙述。

1.2.2 各类建筑结构的工程应用

(1) 混凝土结构的工程应用

现代混凝土结构是随着水泥和钢铁工业的发展而发展起来的,至今已有 150 多年的历史。目前混凝土结构已经在房屋建筑、地下结构、桥梁、隧道、水利、港口等工程中得到了广泛的应用,如天津广播电视塔、上海环球金融中心、三峡水利枢纽大坝等,如图 1-1 所示。此外,人们已经研究出许多克服混凝土结构缺点的有效途径。例如,为了克服钢筋混凝土自重大的缺点,已经研究出许多质量轻、强度高的混凝土和强度很高的钢筋;为了克服普通钢筋混凝土容易开裂的缺点,可以对其施加预应力;为了克服其性质较脆的缺点,可以采取加强配筋或在混凝土中掺入短纤维等措施。

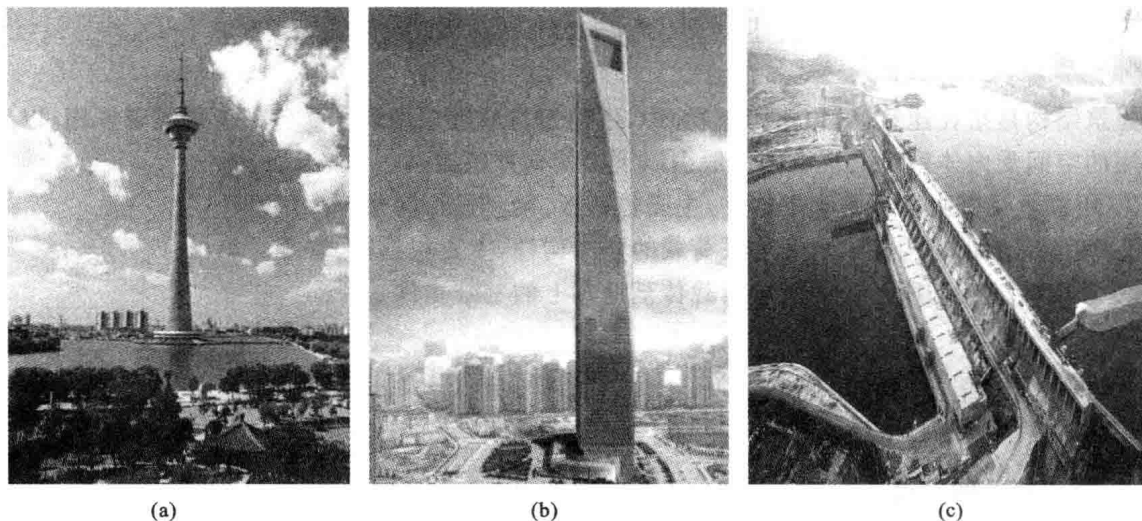


图 1-1 典型钢筋混凝土结构

(a) 天津广播电视塔(415 m);(b) 上海环球金融中心(492 m);(c) 三峡水利枢纽大坝

(2) 砌体结构的工程应用

在我国,砌体结构有着悠久的历史,许多的名胜古迹都是砌体结构,这是先人留给我们的艺术瑰宝。新中国成立以来,砌体结构得到了飞速的发展。近些年我国砖的年产量超过了世界其他各国年产量的总和,国内以砌体结构为主要建筑材料建造的各类房屋仍然占有很大的比例。通过引入配筋砌体结构,房屋建筑已从建造低矮房屋发展到建造多层住宅、办公楼、厂房、仓库等。砌体结构也被广泛用于桥梁及其他建筑方面,部分典型的砌体石拱桥如图 1-2 所示。

(3) 钢结构的工程应用

钢结构是由古代的生铁结构发展而来的,由于钢结构优点突出,目前被广泛应用于重型工业厂房、高层及超高层房屋、大跨度结构、高耸结构等方面,如图 1-3 所示。此外,随着冶炼轧制技术的发展,各种高效钢材的大量开发和新型结构的不断涌现,钢结构也会有新的突破和发展。

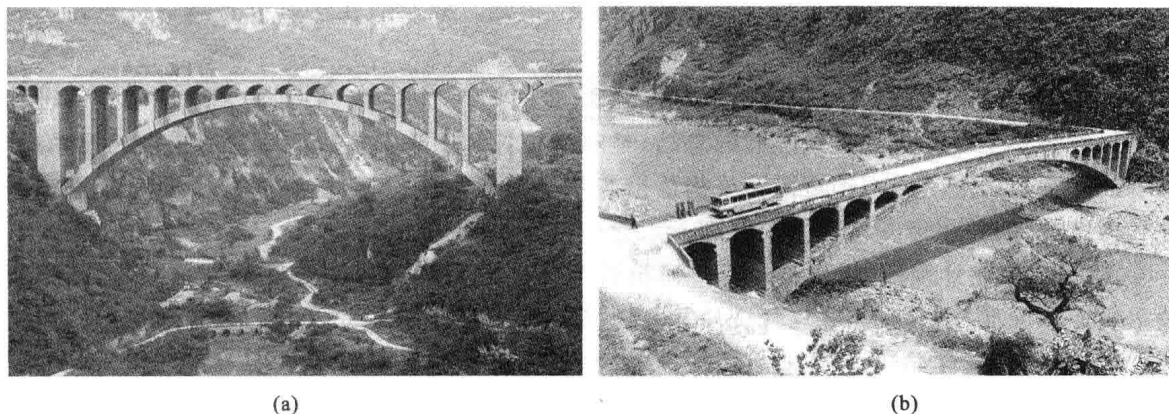


图 1-2 典型砌体结构桥梁
(a) 山西晋城丹河石拱桥(146 m);(b) 四川丰都九溪沟石拱桥(116 m)

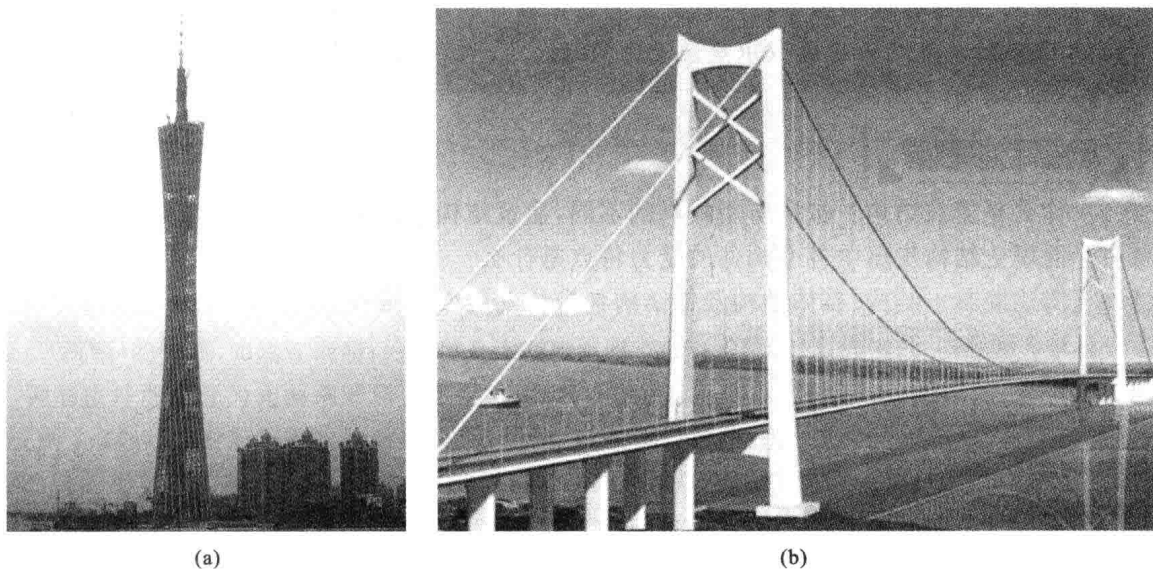


图 1-3 典型钢结构桥梁
(a) 广州新电视塔(600 m);(b) 江苏润扬长江大桥(1490 m)

1.3 课程特点与学习方法

本课程属于实用性较强的专业课程,主要介绍钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的基本知识,涉及面广、实践性强。同学们在学习过程中应注意以下几点:

① 应通过实习、参观等各种渠道,了解建筑物各构件的受力特点、结构布置、结构构造,从而积累感性认识。

② 完成一定量的习题有助于理解和掌握本课程的内容和基本概念;按要求完成单项能力训练和综合能力训练,在掌握知识的前提下培养职业能力。

③ 建筑结构课程中材料的力学性能、结构构件的内力计算与建筑材料、建筑力学课程密切相关,建筑结构课程是建筑施工、建筑施工项目管理、地基与基础等课程的基础课程。

④ 建筑结构构件的计算方法,大部分是建立在实验的基础上,特别是混凝土和砌体构件,由于

所用材料的物理力学性能的复杂性,对实验的依赖性很强。同学们在学习时要特别注意计算公式的适用范围和限制条件。

⑤ 本课程中涉及众多的构造措施与结构计算,它们在课程中有着同等重要的地位。各种构造措施是长期科学实验和工程实践经验的总结,是对结构计算中未考虑到的因素所采取的技术措施。工程事故常常是由于不重视构造措施或构造措施不当而发生的。因此,在学习要充分重视构造措施和构造处理,并注意弄清其中的原理。

⑥ 建筑结构设计规范、规程是多年来建筑科学研究成果和工程实践经验的总结,是国家颁布的技术规定和标准,已具有某些法律性质。设计、施工、工程管理人员应严格遵守和执行。在学习本课程时,同学们应自觉查阅、熟悉有关规范,以便在工作中应用。

本章小结

- (1) 建筑结构的概念、作用及分类。
- (2) 混凝土、砌体结构和钢结构的特点及其在工程中的应用。
- (3) 本课程的特点及学习过程中应注意的问题。

习题与思考题

- 1-1 什么是建筑结构? 按照所用材料的不同,建筑结构可以分为哪几类? 各有何特点?
- 1-2 混凝土结构房屋中各个构件的受力特点是什么?
- 1-3 简述混凝土结构、砌体结构及钢结构各自的发展方向。

2 钢筋混凝土结构材料的性能

【内容提要】

本章的主要内容包括钢筋和混凝土的力学性能及其共同工作的原理。

【能力要求】

通过本章的学习,学生应熟悉钢筋的强度及变形,钢筋的品种、级别、成分、表示符号及混凝土结构对钢筋的性能要求和钢筋的选用原则;熟悉混凝土的强度和变形,混凝土在各种受力状态下的强度与变形性能及混凝土的选用原则;了解钢筋与混凝土共同工作的原理;熟悉钢筋与混凝土的黏结,钢筋的锚固与连接。

2.1 钢 筋

2.1.1 钢筋的分类

在钢筋混凝土结构中,钢筋的种类有很多,根据其力学性能的不同,可划分为两大类:一类是有明显屈服点(流幅)的钢筋,如热轧钢筋;另一类是无明显屈服点(流幅)的钢筋,如钢丝、钢绞线及热处理钢筋。

钢筋按外形可分为光面钢筋和变形钢筋两种。光面钢筋俗称“圆钢”,截面呈圆形,表面光滑、无花纹[图 2-1(a)]。变形钢筋也称带肋钢筋,俗称“螺纹钢”,是在钢筋表面轧制有纵向和斜向的凸缘。根据凸缘的形状和排布不同,可分为人字纹[图 2-1(b)]、螺旋纹[图 2-1(c)]和月牙纹[图 2-1(d)]等。螺旋纹钢筋和人字纹钢筋因为在凸缘处会产生较大的应力集中,所以目前已不再生产。

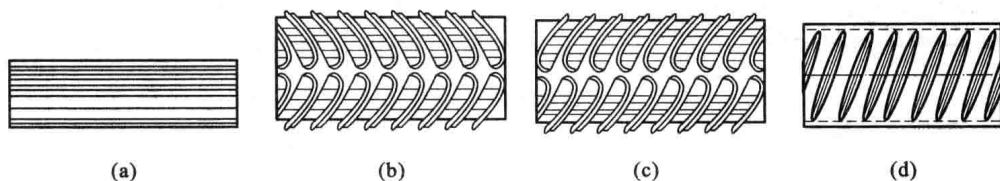


图 2-1 钢筋的表面形状

按化学成分的不同,混凝土结构中的钢材可分为碳素钢和普通低合金钢两类。碳素钢除含有铁元素之外,还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素;根据含碳量的多少又可分为低碳钢(含碳量低于 0.25%)、中碳钢(含碳量为 0.25%~0.6%)、高碳钢(含碳量为 0.6%~1.4%)。含碳量越高,强度越高,但塑性与可焊性会降低。普通低合金钢是在碳素钢的基础上添加少于 5% 的合金元素,具有强度高、塑性和低温冲击韧性好等特点。通常加入的合金元素有硅、锰、钛、钒、铬、铌等。

建筑用钢按生产工艺可分为热轧钢筋、冷加工钢筋(冷拉、冷拔)和热处理钢筋,其中应用最广泛的是热轧钢筋。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)规定,在钢筋混凝土结构中使用的钢筋按强度不同可分为以下几种级别:

(1) HPB300 级

HPB300 级用符号“ Φ ”表示,直径为 6~22 mm,为光面的低碳钢,强度相对较低,但是塑性、韧性较好,易焊接、加工,价格也相对较低。但是因为其表面光滑,与混凝土的黏结性能较差,所以一般用作钢筋混凝土板、小型构件的受力钢筋和构件的构造钢筋。6 mm 以下的细直径钢筋以盘条的形式供应。

(2) HRB335 级(HRB335 级)

HRB335 级(HRB335 级)用符号“ $\Phi(\Phi^F)$ ”表示,其中 HRBF 系列钢筋是采用控温轧制工艺生产的细晶粒带肋钢筋,直径为 6~50 mm,为低合金钢,表面轧制成月牙肋。其强度比 HPB300 级高,塑性、韧性及焊接性都较好,主要用于钢筋混凝土构件中的受力钢筋及预应力钢筋混凝土构件中的非预应力筋。

(3) HRB400 级(HRB400 级)

HRB400 级(HRB400 级)用符号“ $\Phi(\Phi^F)$ ”表示,直径为 6~50 mm,是表面轧制成月牙肋的低合金钢。强度比 HRB335 级(HRB335 级)高,是《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)提倡的主导钢筋,钢筋混凝土结构中的纵筋宜优先采用此级钢筋。另外,RRB400 级,用符号“ Φ^R ”表示,是将 HRB335 级钢筋热轧后,穿过高压水湍流管进行快速冷却,再利用钢筋芯部的余热自行回火制成的。RRB400 级钢筋的强度稍大,但是钢筋的延性、可焊性、机械连接性及施工适应性都不如 HRB400 级钢筋。

(4) HRB500 级(HRB500 级)

HRB500 级(HRB500 级)用符号“ $\Phi(\Phi^F)$ ”表示,直径为 6~50 mm,是表面轧制成月牙肋的低合金钢。这种钢筋强度较高,是《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)中主要推荐的纵向受力主导钢筋。

此外,钢筋还可以按刚度分为柔性钢筋和劲性钢筋两种。柔性钢筋即为普通的圆形条状钢筋,劲性钢筋是指角钢、槽钢、工字钢等型钢。用劲性钢筋浇筑的混凝土也称为劲性混凝土,这种构件在施工时可以由型钢承受荷载,从而节省了支架,减少了钢筋绑扎的工作量,使得施工效率提高,但是耗钢量较大。

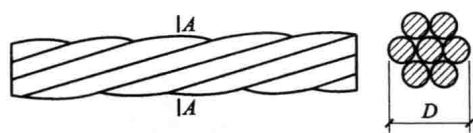


图 2-2 钢绞线的表面及截面形状

当直径小于 6 mm 时,钢筋称为钢丝。把多根(2、3、7 股)高强度钢丝捻制在一起时,称为钢绞线(图 2-2);高强度光面钢丝的表面经过机械刻痕处理后称为刻痕钢丝;经轧制成螺旋肋的称为螺旋肋钢丝。高强度钢丝及钢绞线经常作为预应力混凝土构件中的预应力筋。

2.1.2 钢筋的力学性能

(1) 钢筋的应力-应变关系

钢筋按其力学性能的不同,可分为有明显屈服点的钢筋和没有明显屈服点的钢筋两类。有明显屈服点的钢筋常称为软钢,工程中常用的热轧钢筋就属于此类;没有明显屈服点的钢筋称为硬钢,高强度钢丝、热处理钢筋都属于此类。

① 有明显屈服点的钢筋。

如图 2-3(a)所示为有明显流幅的钢筋的应力-应变曲线。从图中可见,在 A 点以前,应力-应变曲线为直线,A 点对应的应力称为比例极限。OA 为理想弹性阶段,卸载后可完全恢复,无残余变形。过 A 点后,应变比应力增长得快,到达 B'点后钢筋开始进入屈服阶段,B'点称为屈服上限,

当 B' 点应力降至下屈服点 B 点时,应力基本不增加,而应变急剧增长,曲线出现一个波动的小平台,这种现象称为屈服。 B 点到 C 点的水平距离称为流幅或屈服台阶,上屈服点 B' 通常不稳定,下屈服点 B 数值比较稳定,称为屈服点或屈服强度,有明显流幅的热轧钢筋的屈服强度是按下屈服点来确定的。曲线过 C 点后,应力又继续上升,说明钢筋的抗拉能力又有所提高。曲线达最高点 D ,相应的应力称为钢筋的极限强度, CD 段称为强化阶段。 D 点所对应的应力 f_t 称为钢筋的极限抗拉强度。 D 点后,试件在最薄弱处会发生较大的塑性变形,截面迅速缩小,出现颈缩现象,变形迅速增加,应力随之下降,最后试件在“颈缩”部位(E 点)被拉断。

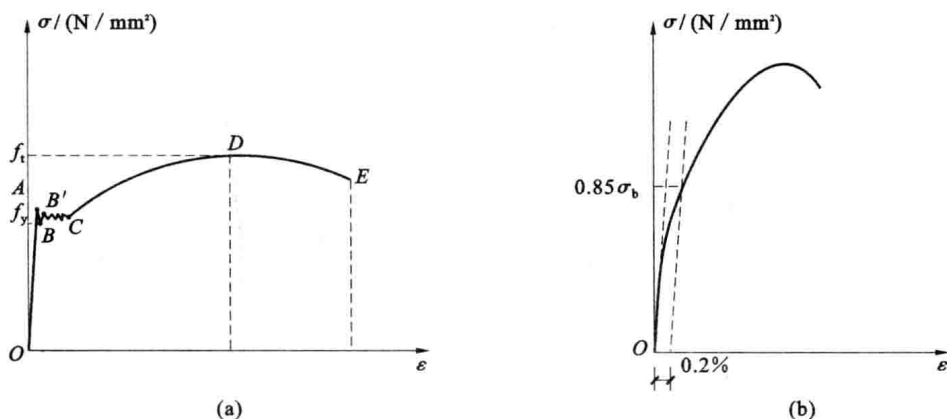


图 2-3 各类钢筋的应力-应变关系曲线

(a) 有明显流幅; (b) 无明显流幅

对有明显屈服点的钢筋,屈服点所对应的应力为屈服强度,它是重要的力学指标。在钢筋混凝土结构中,当钢筋超过屈服强度时就会发生很大的塑性变形,此时混凝土结构构件也会出现较大变形或裂缝,导致构件不能正常使用。因此,在计算承载力时,以屈服点作为钢筋强度值。

钢筋受压时的应力-应变关系在屈服之前与受拉时的规律一致,屈服强度也基本相同;但屈服后,因横向塑性变形而使其面积增大,钢筋不会发生“材料破坏”,也就很难得到明显的抗压极限强度。

② 无明显屈服点的钢筋。

如图 2-3(b)所示为无明显流幅的钢筋应力-应变曲线,大约在达到极限抗拉强度的 65% 以前,应力-应变关系为直线,此后,钢筋表现出塑性性质,直至到曲线最高点之前都没有明显的屈服点,曲线最高点对应的应力称为极限抗拉强度。对无明显流幅的钢筋,如预应力钢丝、钢绞线和热处理钢筋,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)规定在构件承载力设计时,取极限抗拉强度的 85% 作为条件屈服点,加载至该点后对应的残余应变为 0.2%,钢筋强度的取值为 $0.85\sigma_b$,称为条件屈服强度, σ_b 为国家标准规定的极限抗拉强度。

(2) 钢筋的塑性性能

钢筋的塑性性能是以断后伸长率和冷弯性能来表达的。断后伸长率是指规定标距(如 $5d$ 或 $10d$, 预应力钢丝取 100 mm)的试件做拉伸试验时,钢筋拉断后的伸长量与原长的比率,以 δ_5 或 δ_{10} 表示。断后伸长率越大,说明材料的塑性越好。断后伸长率按式(2-1)进行计算:

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2-1)$$

式中 δ ——伸长率;

L_0 ——试验前的原始标距；
 L ——试验后测量的标记之间的长度。

钢筋冷弯性能是指钢筋在常温下达到一定弯曲程度而不破坏的能力。冷弯试验是将直径为 d 的钢筋绕直径为 D ($D=d$ 或 $D=3d$) 的弯心弯曲到规定的冷弯角度 α (180° 或 90°)，如图 2-4 所示，通过检查被弯曲后的钢筋试件是否发生裂纹、断裂或起层来判断合格与否。 D 越小，冷弯角 α 越大，则钢筋的塑性越好。

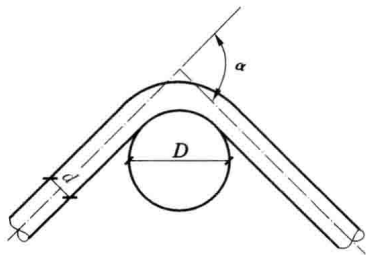


图 2-4 钢筋冷弯试验示意图

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 还明确提出了对钢筋延性的要求，即钢筋在最大力下的总伸长率 δ_{gt} 应不小于表 2-1 规定的数值，最大力下的总伸长率(平均伸长率) δ_{gt} 按式(2-2)计算：

$$\delta_{gt} = \left(\frac{L - L_0}{L} + \frac{\sigma_b}{E_s} \right) \times 100\% \tag{2-2}$$

式中 L_0 ——试验前的原始标距；
 L ——试验后测量的标记之间的长度；
 σ_b ——钢筋的最大拉应力(极限抗拉强度)；
 E_s ——钢筋的弹性模量。

表 2-1 普通钢筋及预应力钢筋在最大力下的总伸长率

钢筋品种	普通钢筋				预应力筋
	HPB300	HRB335 HRBF400	HRBF335 HRB500	HRB400 HRBF500	RRB400
$\delta_{gt} / \%$	10.0	7.5		5.0	3.5

(3) 钢筋的冷加工

钢筋的冷加工是指在常温下采用某种工艺对热轧钢筋进行加工而得到的钢筋。钢筋通过冷拉或冷拔，可以提高屈服强度，达到节约钢材的目的。

冷加工常用的工艺有冷拉、冷拔、冷轧与冷轧扭四种。冷加工的目的主要是为了提高钢筋的强度和节约钢材，但经冷加工后的钢筋虽然强度提高了，但塑性明显降低，并且容易发生脆性断裂，焊接性较差，现场施工不易控制其质量，所以目前在工程上已经很少使用。

(4) 钢筋的疲劳与松弛

钢筋受交变荷载反复作用时，在低于屈服强度的情况下突然发生脆性断裂，这种现象称为疲劳破坏。疲劳破坏首先是从局部缺陷处形成细小裂纹，随着应力重复作用次数增加，裂纹尖端处的应力集中使其逐渐扩展，从而造成断裂。

在一定条件下，钢筋疲劳破坏的应力值随应力循环次数的增加而降低。在确定钢筋混凝土构件在正常使用期间的疲劳应力幅度限值时，需要确定循环荷载的次数，我国以满足 200 万次循环次数为标准。

钢筋的疲劳强度除与应力变化的幅值有关外，还与钢筋外表面几何尺寸和形状、钢筋的直径、钢筋的强度、钢筋的加工和使用环境以及加载的频率等有关。

钢筋的松弛是指钢筋受力后，在保持长度不变的情况下，其应力随时间的增长而逐渐降低的现