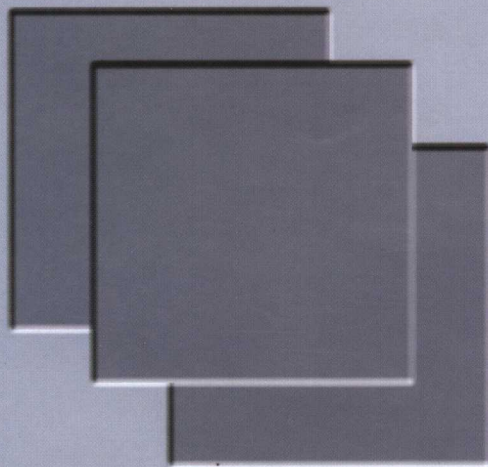




全国高职高专水利水电类精品规划教材

建筑结构

主 编 彭 明 郑元锋



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专水利水电类精品规划教材

建筑结构

主 编 彭 明 郑元锋

副主编 王建伟



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是根据我国现行的 SL/T191—96《水工混凝土结构设计规范》和 GBJ50003—2001《砌体结构设计规范》编写。全书共 11 章, 主要内容为钢筋混凝土结构和砌体结构基本构件的设计方法及其应用; 并对预应力混凝土结构基本概念也作了简要论述。每章都含有例题、习题、思考题和常用图表。

本书可作为高职、高专和职大水利水电类专业的教材, 亦可供水利水电工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构/彭明, 郑元锋主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2006

全国高职高专水利水电类精品规划教材

ISBN 7-5084-3554-0

I. 建... II. ①彭... ②郑... III. 建筑结构—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 005798 号

书 名	全国高职高专水利水电类精品规划教材 建筑结构
作 者	主编 彭 明 郑元锋
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 15.75 印张 373 千字 1 插页
版 次	2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—4200 册
定 价	23.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线和全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。所以，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，在继 2004 年 8 月成功推出《全国高职高专电气类精品规划教材》之后，2004 年 12 月，在北京，中国水利水电出版社组织全国水利水电行业高职高专院校共同研讨水利水电行业高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前水利水电行业高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专水利水电类精品规划教材》。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用性的高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地贯彻了水利水电行业新的法规、规程、规范精神，反映了当前新技术、新材料、新工艺、新方法和相应的岗位资格特点，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能够适应三年制高职高专教育的要求，也适应了两年制高职高专教育培养目标的要求。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》编委会

2005 年 6 月

前

言

本书是根据高等职业技术教育水利水电类专业《建筑结构》教学大纲编写。全书共 11 章, 主要内容为钢筋混凝土结构和砌体结构基本构件的设计方法及其应用, 并对预应力混凝土结构基本概念也作了简要论述。

本书中采用的计算公式、符号及基本数据, 主要依据 SL/T191—96《水工混凝土结构设计规范》和 GBJ50003—2001《砌体结构设计规范》, 并适当反映了 GB50010—2002《混凝土结构设计规范》的内容。

本书从高职教育的实际出发, 在内容上加强了知识的针对性和实用性, 注重了实践能力的培养, 并注意反映技术发展的最新成果, 开阔思路, 理论与实践相结合。精简理论推导, 以应用为主, 够用为度, 不苛求学科的系统性和完整性, 充分体现高等职业教育的特色。在阐述方法上力求做到由浅入深, 循序渐进。为了便于教学和强化基本技能的训练, 书中包含了类型丰富的例题、习题、思考题和工程设计实例, 并附有完成作业和课程设计所需的常用图表。

本书中打*的为选讲内容。

参加本书编写的有: 黄河水利职业技术学院彭明(绪论、第三章), 长江工程职业技术学院郑睿(第一、十一章), 湖北水利水电职业技术学院张建华(第二、五章), 福建水利电力职业技术学院郑元锋(第四、八章), 黄河水利职业技术学院郭遂安(第六、七章), 黄河水利职业技术学院王建伟(第九章), 河南黄河河务局何金秀(第十章)。全书由彭明、郑元锋主编, 王建伟任副主编, 郑州大学李平先教授主审。

本书在编写过程中, 参考并引用了国内的同行的著作、教材及有关资料, 为此, 谨对所有文献的作者深表谢意。由于编者水平有限, 不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

编者

2006 年 1 月

目 录

序 前 言

绪论	1
第一章 钢筋混凝土结构的材料	5
第一节 钢筋	5
第二节 混凝土	9
第三节 钢筋与混凝土的粘结	14
思考题	16
第二章 钢筋混凝土结构设计原理	17
第一节 结构的功能要求和极限状态	17
第二节 作用与抗力	18
第三节 结构的可靠度	20
第四节 水工混凝土结构极限状态设计表达式	22
思考题	26
习题	26
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	27
第一节 受弯构件的一般构造规定	27
第二节 受弯构件正截面的试验研究	30
第三节 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	32
第四节 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	38
第五节 T形截面受弯构件正截面承载力计算	43
思考题	50
习题	51
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	53
第一节 受弯构件斜截面受剪破坏分析	53
第二节 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	56
第三节 钢筋混凝土梁的斜截面受弯承载力	64
第四节 钢筋骨架的构造规定	67
第五节 钢筋混凝土构件施工图	69

第六节 钢筋混凝土外伸梁设计实例	71
思考题	76
习题	77
第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	79
第一节 受压构件的构造规定	80
第二节 轴心受压构件正截面承载力计算	82
第三节 偏心受压构件的破坏特征	85
第四节 偏心受压构件正截面承载力计算	87
第五节 矩形截面对称配筋的偏心受压构件	93
第六节 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	97
思考题	98
习题	98
第六章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	100
第一节 轴心受拉构件的承载力计算	100
第二节 偏心受拉构件	101
思考题	105
习题	106
* 第七章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	107
第一节 矩形截面纯扭构件的承载力计算	107
第二节 矩形截面弯剪扭构件的承载力计算	110
思考题	113
习题	114
第八章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	115
第一节 概述	115
第二节 抗裂验算	116
第三节 裂缝宽度验算	121
第四节 变形验算	127
思考题	131
习题	131
第九章 钢筋混凝土肋形结构	132
第一节 整体式单向板肋形结构	133
第二节 设计实例	144
第三节 整体式双向板肋形结构	163
思考题	169
习题	169
第十章 预应力混凝土结构	171

第一节 预应力混凝土的基本知识	171
第二节 预应力钢筋张拉控制应力及预应力损失	174
第三节 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	181
第四节 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	185
思考题	187
习题	187
第十一章 砌体结构	189
第一节 砌体材料	189
第二节 砌体的种类及力学性能	193
第三节 无筋砌体构件的承载力计算	198
思考题	210
习题	211
附录一 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	213
附录二 材料强度的标准值、设计值及材料的弹性模量	214
附录三 钢筋的计算截面面积及公称质量表	217
附录四 钢筋混凝土结构常用构造规定	219
附录五 均布荷载和集中荷载作用下等跨连续梁的内力系数表	222
附录六 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	229
附录七 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	231
附录八 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	233
附录九 砌体结构有关表格	236
参考文献	240

绪 论

一、建筑结构的概念

在工程建筑物中，由建筑材料制作的若干构件连接而组成的承重骨架称为建筑结构。按所用材料的不同，可分为钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构等类型。本书将着重介绍钢筋混凝土结构和砌体结构。

(一) 钢筋混凝土结构

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。混凝土具有较高的抗压强度和良好的耐久性能，而钢筋具有较高的抗拉强度和良好的塑性。为了充分利用两种材料的性能，把混凝土和钢筋结合在一起，使混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力以满足工程结构的使用要求。

图 0-1 所示为两根截面尺寸、跨度和混凝土强度完全相同的简支梁。图 0-1 (a) 所示为素混凝土梁，当跨中截面承受约 13.5kN 的集中力时，混凝土就会因受拉而断裂；图 0-1 (b) 所示的梁在受拉区配置了 2 根直径 20mm 的 II 级钢筋，用钢筋来代替混凝土承受拉力，则梁承受的集中力可增加到 72.3kN。由此说明，钢筋混凝土梁比素混凝土梁的承载能力提高很多，这正是充分利用了钢筋和混凝土两种材料的力学性能。此外，配置钢筋还可以增强构件的延性，防止混凝土出现突然的脆性破坏。

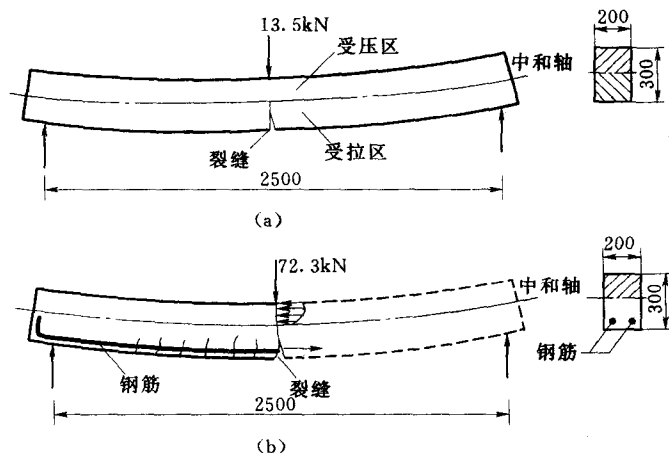


图 0-1 混凝土梁、钢筋混凝土梁的承载力试验

钢筋和混凝土这两种不同性能的材料能有效地结合在一起共同工作，主要的原因是：
①钢筋与混凝土之间存在粘结力，混凝土硬化后可与钢筋牢固地粘结成整体，在荷载作用下，相互传递应力；
②钢筋和混凝土的温度线膨胀系数相近，当温度变化时，两者不会产生较大的相对滑移而使粘结力破坏；
③钢筋表面的混凝土保护层，防止钢筋锈蚀，保证结



构的耐久性。

钢筋混凝土结构除了合理地利用了钢筋和混凝土两种材料的特性外,和其他材料的结构相比,还具有下列优点:

(1) 耐久性好。混凝土耐受自然侵蚀的能力较强,其强度也随着时间的增长有所提高,钢筋因混凝土的保护而不易锈蚀,不需要经常维护和保养。

(2) 耐火性好。由传热性差的混凝土作为钢筋的保护层,在普通火灾情况下不致使钢筋达到软化温度而导致结构的整体破坏。

(3) 整体性好。现浇的整体式钢筋混凝土结构具有较好的整体刚度,有利于抗震和防爆。

(4) 可模性好。可根据使用需要浇筑制成各种形状和尺寸的结构,尤其适合建造外形复杂的大体积结构及空间薄壁结构。

(5) 取材方便。钢筋混凝土结构中所用的砂、石材料,一般可就地采取,减少运输费用,降低工程造价。

钢筋混凝土结构也存在着下列主要缺点:

(1) 自重偏大。钢筋混凝土结构的截面尺寸较大,重度也大,因而自重远远超过相应的钢结构的重量,不利于建造大跨度结构。

(2) 抗裂性较差。混凝土抗拉强度低,容易出现裂缝,影响结构的使用性能和耐久性。

(3) 施工较复杂,宜受气候和季节的影响,建造期一般较长。

在水利水电工程中,钢筋混凝土用来建造水坝、水电站、水闸、船闸、渡槽、涵洞、倒虹吸管等。随着科学技术的发展、施工水平的提高以及高强轻质材料研究的不断突破,钢筋混凝土的缺点正在逐步地克服和改善。如采用轻质高强混凝土可以减轻结构的自重;采用预应力混凝土结构可以提高构件的抗裂性能;采用预制装配式构件可以节约模板和支撑,加快施工进度,减少季节变化对施工的影响等,从而大大拓宽了钢筋混凝土结构的应用范围。

(二) 砌体结构

砌体结构是用砖、石或砌块通过砂浆铺缝砌筑,粘结成整体共同承受外力的结构。

砌体结构具有下列优点:

(1) 块材来源广泛,易于就地取材,降低造价。

(2) 耐火性和耐久性好,并具有良好的保温和隔热性能。

(3) 砌筑工艺简单,施工方便,维修费用低。

砌体结构的主要缺点有:

(1) 强度低,自重大。

(2) 砌筑施工基本上是手工方式,劳动量大,生产效率低。

(3) 抗渗性、抗冻性和抗震性差。

(4) 粘土砖的生产需要占用耕地。

砌体结构一般适用于受压的建筑结构。在水工建筑中除了用来修建小型拦河坝以外,普遍用于修筑挡土墙、渡槽、拱桥、溢洪道、涵洞、渠道护面、水电站厂房等。

二、砌体结构及钢筋混凝土结构发展概况

(一) 砌体结构的发展概况

砌体结构在我国有着悠久的历史。大量的考古发掘资料表明,西周时期(公元前1134~公元前771年)已有烧制的瓦,战国时期(公元前403~公元前221年)有了烧制的砖,人们广泛地使用砖瓦、石料修建房屋、桥梁、水利工程等。驰名中外的万里长城、都江堰、赵州桥等著名建筑,不仅造型艺术美观,在材料使用和结构受力方面都达到了极高的成就,是我国古代劳动人民勤劳、智慧的结晶。

中华人民共和国成立以来,砌体结构有了较快的发展,应用范围不断扩大。不但大量应用于一般工业与民用建筑,而且在桥梁、小型渡槽、水塔、水池、挡土墙、涵洞、墩台等方面也得到了广泛应用。如福建的石砌体陈岱渡槽全长超过4400m,高20m,渡槽支墩共计258座,工程规模宏大;1998年在浙江省临安县建成长187m,高47m的青山殿浆砌块石重力坝;著名的河南红旗渠也大量采用了砌体结构。

根据近年来的科研成果和国内外工程经验,参考国际规范,结合我国工程建设发展的需要,新修订了GBJ50003—2001《砌体结构设计规范》。它的实施必将促进我国砌体结构设计和水平的进一步提高,这标志着古老的砖石结构已经逐步走向现代砌体结构。

(二) 钢筋混凝土结构发展概况

钢筋混凝土结构与砌体结构相比是一种较年轻的结构型式。1824年英国人发明了波特兰水泥,出现了现代意义上水泥混凝土。由于混凝土抗拉强度低,应用受到限制。1861年法国人制成了使混凝土受压、钢筋受拉,充分发挥两种材料各自优点的钢筋混凝土结构。从此,钢筋混凝土结构广泛应用于建筑工程各个领域。20世纪30年代出现了预应力混凝土结构,其抗裂性能好,充分利用了高强材料,可以用来建造大跨度承重结构,使得应用范围更加广泛。目前,钢筋混凝土结构的跨度和高度都在不断的增大,已成为现代工程建设中应用最为广泛的结构。如世界上最高的混凝土重力坝,瑞士大狄克逊坝高达285m;目前世界第一高楼中国台北101大厦高达508m;最高的预应力混凝土电视塔高达553m;跨度最大的预应力钢筋混凝土斜拉桥主跨已达530m。

钢筋混凝土结构在我国水利水电工程中的应用更是令人瞩目,如在水电建设中发挥较大作用的葛洲坝水利枢纽、乌江渡水电站、龙羊峡水电站等,都是规模宏伟的钢筋混凝土工程。正在兴建的具有防洪、发电、航运、养殖、供水等综合利用效益的长江三峡水利枢纽工程,坝高175m,将完成约2794万 m^3 的混凝土浇筑、46.30万t钢筋制作安装和25.65万t金属结构制作安装,是世界水利工程建筑史上的壮举。

钢筋混凝土结构的计算理论,已从把材料作为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,并迅速发展成较为完整的按极限状态计算体系。目前,工程结构可靠度的研究在我国取得显著进展,以概率理论为基础的极限状态设计方法,已被纳入设计规范。随着计算机技术的推广应用,钢筋混凝土的计算理论与设计方法正向更高的阶段发展,并日趋完善。

三、本课程的任务及学习方法

建筑结构是水利水电工程专业的较为重要专业基础课程,又是一门实践性很强的应用型学科。学习本课程的目的是:掌握建筑结构基本构件的设计理论、设计方法及其构造知



识,熟悉和运用相应的结构设计规范,为学习专业课程和从事水工结构的施工与设计打下良好的基础。

学习本课程应注意以下几个方面:

(1) 建筑结构是试验性学科。由于建筑材料的力学性能和强度理论异常复杂,难以用理论推导计算公式,建筑结构的计算公式通常是在大量的试验基础上建立起来的。学习时,既要重视这种通过试验建立理论的方法,又要注意公式的适用范围和条件,才能在实际工作中正确运用。

(2) 建筑结构的主要研究对象不是理想的弹性材料。钢筋混凝土、砌体材料都是不同材料构成的组合体,其应力状态随着荷载受力阶段而变化,这与研究弹性体的材料力学和结构力学有着根本的区别,在学习中应注意它们的异同点。

(3) 正确应用构造规定。构造规定是长期科学实验和工程经验的总结,结构设计必须通过一定的构造规定加以规范和完善,因此,要充分重视对构造知识的学习,不必死记硬背构造的具体规定,应注意弄清其中的道理。

(4) 理论联系实际。本课程的实践性较强,许多内容与我国现行的各类结构设计规范和工程实践联系密切。学习时应重视实践,通过作业、课程设计、生产实习等实践教学环节,进一步熟悉和运用规范,逐步培养综合分析的能力,学以致用。

第一章 钢筋混凝土结构的材料

钢筋混凝土结构是由两种力学性能不同的材料——钢筋和混凝土材料制作而成的。为了合理地进行钢筋混凝土结构设计，需要深入地了解混凝土和钢筋的受力性能。对混凝土和钢筋力学性能、相互作用和共同工作的了解，是掌握混凝土结构构件性能并对其进行分析与设计的基础。

第一节 钢 筋

一、钢筋的分类

(一) 钢筋的成分

我国建筑工程中所用钢筋按其化学成分的不同，分为碳素钢和普通低合金钢两大类。根据含碳量的多少，碳素钢分为低碳钢（含碳量小于 0.25%）、中碳钢和高碳钢（含碳量大于 0.6%）。随着含碳量的增加，钢材的强度提高，塑性降低，可焊性变差。普通低合金钢是在碳素钢的基础上，加入了少量的合金元素，如锰、硅、矾、钛等，可使钢材的强度、塑性等综合性能提高，从而使低合金钢筋具有强度高、塑性及可焊性好的特点，普通低合金钢一般按主要合金元素命名，名称前面的数字代表平均含碳量的万分数，合金元素后的尾标数字表明该元素含量取整的百分数，当其含量小于 1.5% 时，不加尾标；当其含量大于 1.5% 小于 2.5% 时，取尾标数为 2。如 40 硅 2 锰钒（40Si₂MnV）表示平均含碳量为 40‰，硅元素的含量为 2%，锰、钒的含量均小于 1.5%。

(二) 钢筋的外形

工程中所用的钢筋，按外形分为光面钢筋和变形钢筋两类，如图 1-1 所示。光面钢筋表面是光圆的。变形钢筋表面有两条纵向凸缘（纵肋），在纵肋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，凸缘斜向不同的表面形成人字纹。螺旋纹和人字纹钢筋又称为等高肋钢筋。斜向凸缘和纵向凸缘不相交，剖面几何时形状呈月牙形的钢筋称为月牙肋钢筋，与同样公称直径的等高肋钢筋相比，强度稍有提高，凸缘处应力集中也得到改善，但与混凝土之间的粘结强度略低于等高肋钢筋。

(三) 钢筋品种和级别

按生产加工工艺和力学性能的不同，钢筋可分为热轧钢筋、冷拉钢筋、冷轧带肋钢筋、热处理钢筋和钢丝及钢绞线五类。

1. 热轧钢筋

热轧钢筋是在高温状态下轧制成型的，按其强度由低到高分 I、II、III、IV 四个级别，分别用符号 Φ 、 Φ 、 Φ 、 Φ 表示，由冶金工厂直接热轧成型。

(1) I 级钢筋。I 级钢筋是热轧光圆钢筋，常用直径为 6~20mm。它是一种低碳钢，质量稳定，塑性及焊接性能很好，但强度稍低，而且与混凝土的粘结稍差。因此，I 级钢

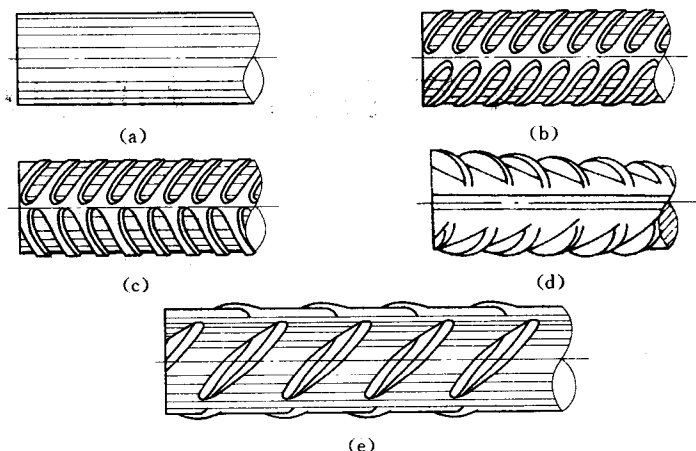


图 1-1 各种钢筋的形式

(a) 光圆钢筋；(b) 螺旋纹钢筋；(c) 人字纹钢筋；(d) 月牙肋钢筋；(e) 冷扎带肋钢筋（三面肋）

筋应用于厚度不大的板中较多。

(2) II级钢筋。II级钢筋是热轧月牙肋钢筋，常用直径为 8~40mm。其强度、塑性及可焊性较好，强度比较高，钢筋表面轧制成月牙肋，可增加钢筋与混凝土之间的粘结力，并保证两者能共同工作。在工程中II级钢筋应用十分广泛，主要用于大、中型钢筋混凝土结构构件。

(3) III级钢筋。III级钢筋是热轧月牙肋钢筋，常用直径为 8~40mm。它的塑性及可焊性稍差，但强度高，与混凝土的粘结性能较好，一般情况下，III级钢筋经过冷拉后用作预应力钢筋。

(4) IV级钢筋。IV级钢筋是热轧等高肋（螺纹形）钢筋，常用直径为 10~32mm。IV级钢筋由于含碳量较高，因此强度高，但塑性及可焊性较差。一般均经冷拉后用于预应力混凝土结构。

2. 冷拉钢筋

冷拉钢筋是由热轧钢筋在常温下用机械拉伸而成的。冷拉后其屈服强度高干相应等级的热轧钢筋，但塑性降低。冷拉钢筋也分为冷拉 I、II、III、IV 四个级别，分别用符号 Φ^L 、 Φ^L 、 Φ^L 、 Φ^L 表示。

冷拉 I 级钢筋可用于普通钢筋混凝土结构，但一般不用于水工钢筋混凝土轴心受拉及小偏心受拉构件。这是因为轴心受拉或小偏心受拉构件为全截面受拉，要求构件正常使用时不出现裂缝，因而钢筋经过冷拉后的强度不能充分利用。冷拉 II、III、IV 级钢筋常用作预应力钢筋。钢筋经冷拉后性质变脆，承受冲击荷载或重复荷载的构件及处于负温下的结构，一般不宜采用冷拉钢筋。

3. 冷扎带肋钢筋

冷扎带肋钢筋是由热轧圆盘条经冷拉后在其表面冷轧成带有斜肋的月牙肋变形钢筋，其屈服强度明显提高，粘接锚固性能也得到了改善。冷扎带肋钢筋是我国推广使用的新品种钢筋，直径为 4~12mm。按强度高低，分为 LL550、LL650、LL800 三个级别。LL550

级冷轧带肋钢筋可应用于普通钢筋混凝土构件；LL650 级和 LL800 级冷轧带肋钢筋可用于中、小型预应力混凝土构件的预应力钢筋。冷轧带肋钢筋具有脆性性质，因此不宜用于直接承受冲击荷载或动荷载的结构构件中。

4. 热处理钢筋

热处理钢筋是将热轧Ⅳ级钢筋经过加热、淬火和回火等调质工艺处理后制成，表面一般为螺纹形，其强度大幅度提高，而塑性降低并不多，是理想的预应力钢筋。

5. 钢丝及钢绞线

直径 $d < 6\text{mm}$ 的钢筋称为钢丝。分为碳素钢丝、刻痕钢丝等几种。钢绞线是用光面钢丝绞制而成，它与混凝土或水泥浆的粘接优于光面钢丝。钢丝及钢绞线都具有很高的抗拉强度，均用作预应力钢筋。

二、钢筋的力学性能

(一) 钢筋的强度

建筑结构中所用的钢筋，按其应力应变曲线特性的不同分为两类：一类是有明显屈服点的钢筋；另一类是无明显屈服点的钢筋。有明显屈服点的钢筋习惯上称为软钢，包括热轧钢筋和冷拉钢筋；无明显屈服点的钢筋习惯上称为硬钢，包括热处理钢筋、冷轧带肋钢筋、钢丝及钢绞线。

1. 有明显屈服点的钢筋

有明显屈服点的钢筋在单向拉伸时的应力应变曲线如图 1-2 所示。 a 点以前应力与应变成直线关系，符合虎克定律， a 点对应的应力称为比例极限， $0a$ 段属于弹性工作阶段； a 点以后应变比应力增加要快，应力与应变不成正比；到达 b 点后，钢筋进入屈服阶段，产生很大的塑性变形，在应力应变曲线中呈现一水平段 bc ，称为屈服阶段或流幅， b 点的应力称为屈服强度。过 c 点后，应力与应变继续增加，应力应变曲线为上升的曲线，进入强化阶段，曲线到达最高点 d ，对应于 d 点的应力称为抗拉极限强度。过了 d 点以后，试件内部某一薄弱部位应变急剧增加，应力下降，应力应变曲线为下降曲线，产生“颈缩”现象，到达 e 点钢筋被拉断，此阶段称为破坏阶段。由图 1-2 可知，有明显屈服点的钢筋的应力应变曲线可分为四个阶段：弹性阶段、屈服阶段、强化阶段、破坏阶段。

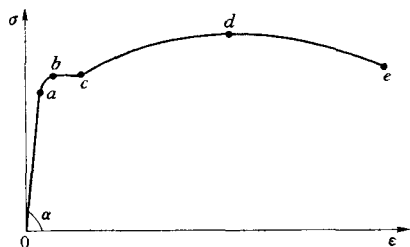


图 1-2 有明显屈服点钢筋的应力应变曲线

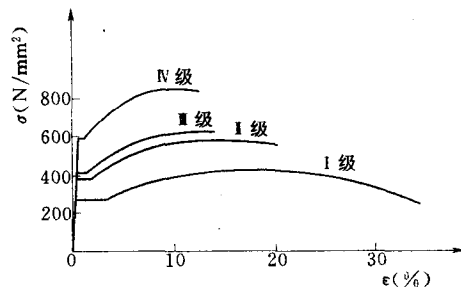


图 1-3 各级钢筋的应力应变曲线

有明显屈服点的钢筋有两个强度指标：一是 b 点的屈服强度，它是钢筋混凝土构件设计时钢筋强度取值的依据。因为钢筋屈服后要产生较大的塑性变形，这将使构件的变形和



裂缝宽度大大增加,以致影响构件的正常使用,故设计中采用屈服强度作为钢筋的强度限值。另一个强度指标是 d 点的极限强度,一般用作钢筋的实际破坏强度。

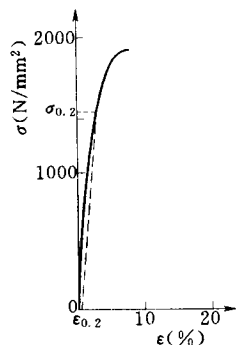


图 1-4 无明显屈服点
钢筋的应力应变曲线

钢材中含碳量越高,屈服强度和抗拉强度就越高,延伸率就越小,流幅也相应缩短。图 1-3 表示不同级别软钢的应力应变曲线的差异。

2. 无明显屈服点的钢筋

无明显屈服点的钢筋的应力应变曲线如图 1-4 所示。由图可看出,从加载到拉断无明显的屈服点,没有屈服阶段,钢筋的抗拉强度较高,但变形很小。通常取相应于残余应变为 0.2% 的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为假定屈服点,称为条件屈服强度,其值约为 0.8 倍的抗拉极限强度。

无明显屈服点的钢筋塑性差,伸长率小,采用其配筋的钢筋混凝土构件,受拉破坏时,往往突然断裂,不像用软钢配筋构件在破坏前有明显的预兆。

3. 钢筋的弹性模量

钢筋弹性阶段的应力与应变的比值称为钢筋的弹性模量,用符号 E_s 表示。由于钢筋在弹性阶段的受压性能与受拉性能类同,所以同一种钢筋的受拉和受压弹性模量相同,各类钢筋的弹性模量见附录二附表 2-8。

(二) 钢筋的塑性能

钢筋除需要足够的强度外,还应具有一定的塑性变形能力。伸长率和冷弯性能是反映钢筋塑性能的基本指标。

伸长率是钢筋拉断后的伸长值与原长的比率,即

$$\delta = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 δ ——伸长率,%;

l_1 ——试件拉伸前的标距长度,短试件 $l_1 = 5d$,长试件 $l_1 = 10d$, d 为试件的直径;

l_2 ——试件拉断后的标距长度。

钢筋伸长率越大的钢筋塑性越好,拉断前有足够的伸长,使构件的破坏有明显预兆;反之伸长率越小的钢筋塑性差,其破坏具突发性,呈脆性特征。

冷弯是在常温下将钢筋绕某一规定直径的辊轴进行弯曲,如图 1-5 所示。在达到规定的冷弯角度时,钢筋不发生裂纹、分层或断裂,钢筋的冷弯性能符合要求。常用冷弯角度 α 和弯心直径 D 反映冷弯性能。弯心直径越小,冷弯角度越大,钢筋的冷弯性能越好。

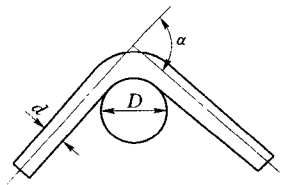


图 1-5 钢筋的冷弯

三、钢筋的冷加工

对热轧钢筋进行机械冷加工后,可提高钢筋的屈服强度,达到节约钢材的目的。常用的冷加工方法有冷拉和冷拔。

(一) 钢筋的冷拉

冷拉是指在常温下，用张拉设备（如卷扬机）将钢筋拉伸超过它的屈服强度，然后卸载为零，经过一段时间后再拉伸，钢筋就会获得比原来屈服强度更高的新的屈服强度值。如图 1-6 所示。冷拉只提高了钢筋的抗拉强度，不能提高其抗压强度，计算时仍取原抗压强度。

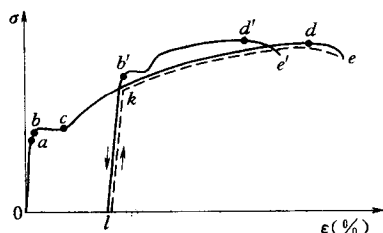


图 1-6 钢筋冷拉应力应变曲线

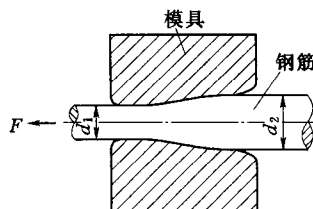


图 1-7 钢筋的冷拔

(二) 钢筋的冷拔

冷拔是将直径 6~8mm 的 I 级热轧钢筋用强力拔过比其直径小的硬质合金拔丝模，如图 1-7 所示。在纵向拉力和横向挤压力的共同作用下，钢筋截面变小而长度增加，内部组织结构发生变化，钢筋强度提高，塑性降低。冷拔后，钢筋的抗拉强度和抗压强度都得到提高。

由于冷加工钢筋的质量不易严格控制，且性质较脆，粘结力较差，因此，中小型预应力混凝土构件的预应力钢筋，逐渐由质量稳定且粘结性能好的冷轧带肋钢筋所取代。

各种钢筋的强度值见附录二附表 2-4~附表 2-7。

四、钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求

(1) 钢筋应具有一定的强度（屈服强度和抗拉极限强度）。采用强度较高的钢筋可以节约钢材，获得很好的经济效益。

(2) 钢筋应具有足够的塑性（伸长率和冷弯性能）。要求钢筋在断裂前有足够的变形，能给人以破坏的预兆。

(3) 钢筋与混凝土应具有良好的粘结力。粘结力是保证钢筋和混凝土能够共同工作的基础。钢筋表面形状及表面积对粘结力很重要。

(4) 钢筋应具有良好的焊接性能。要求焊接后钢筋在接头处不产生裂纹及过大变形。

第二节 混 凝 土

混凝土是由水泥、水和骨料（细骨料砂子、粗骨料石子）按一定配合比经搅拌后入模振捣，养护硬化形成的人造石材。水泥和水在凝结硬化过程中形成水泥胶浆把骨料粘结在一起。水泥结晶体和砂石骨料组成混凝土的弹性骨架起着承受外力的主要作用，并使混凝土具有弹性变形的特点。水泥凝胶体则起着调整和扩散混凝土应力的作用，并使混凝土具有塑性变形的性质。由于混凝土的内部结构复杂，因此其力学性能也较为复杂。

一、混凝土的强度

混凝土的强度指标主要有立方体抗压强度、轴心抗压强度和轴心抗拉强度。