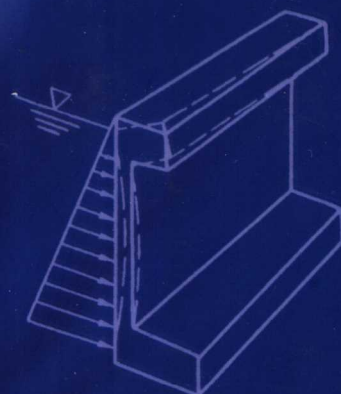
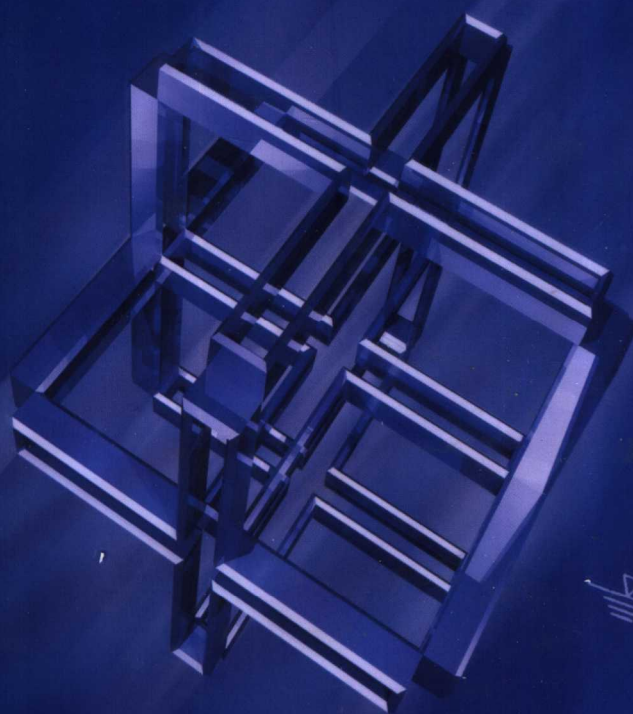


全国水利水电类高职高专统编教材

建筑结构

彭明 王建伟 主编



黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

建 筑 结 构

彭 明 王建伟 主编



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《建筑结构》课程教学大纲编写完成的。本书内容分别按现行的《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96)、《砌体结构设计规范》(GBJ50003—2001)、《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL74—95)编写。全书共分12章,主要内容为钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构基本构件的设计方法及其应用。对预应力混凝土结构的基本概念也作了专章论述。每章有例题、思考题、习题和常用图表。

本书适用于高职、高专和职大的水利水电类专业课程教学,亦可作为水利水电工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构/彭明,王建伟主编. —郑州:黄河水利出版社,2004.1

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 7-80621-742-8

I. 建… II. ①彭…②王… 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(2003)第 109685 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:19

插页:1

字数:438 千字

印数:1—4 100

版次:2004 年 1 月第 1 版

印次:2004 年 1 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-742-8/TU·37

定价:29.00 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的水利水电类全国统编教材。

本书是根据全国水利水电高职教研会制定的《建筑结构》课程教学大纲编写完成的。全书共 12 章,分为钢筋混凝土结构、砌体结构及钢结构三部分。分别采用了《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96)、《砌体结构设计规范》(GBJ50003—2001)、《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL74—95)编写。内容包括各类结构材料性能、设计原理和方法、基本构件的计算、基本结构的设计和构造等。每章均有一定数量的例题、思考题和习题。附有完成作业和课程设计所需的常用图表。

本书在编写过程中力求概念清晰,深入浅出,密切联系工程实际,突出基本知识的应用,理论上以适当够用为度,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。

参加本书编写的有(按章节顺序):黄河水利职业技术学院彭明(绪论、第十章);沈阳农业大学高等职业技术学院佟颖(第一、十一章);湖北水利水电职业技术学院张建华(第二、十二章);山西水利职业技术学院王文龙(第三章);杨凌职业技术学院刘洁(第四章);山东水利职业学院李萃青(第五、八章);黄河水利职业技术学院郭遂安(第六章);华北水利水电学院水利职业学院何江(第七章);黄河水利职业技术学院王建伟(第九章)。全书由彭明、王建伟主编,张建华、王文龙任副主编,华北水利水电学院郭雪莽教授主审。

本书在编写过程中,参考与引用了有关文献、资料的部分内容。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,恳请广大读者对本书的缺点和错误予以批评指正。

编 者

2003 年 9 月

目 录

前 言	
绪 论	(1)
第一章 钢筋混凝土结构的材料	(6)
第一节 钢 筋	(6)
第二节 混凝土	(12)
第三节 钢筋与混凝土之间的黏结力	(20)
思考题	(22)
第二章 钢筋混凝土结构设计原理	(23)
第一节 结构的功能和极限状态	(23)
第二节 结构上的作用和结构的抗力	(24)
第三节 结构的可靠度	(26)
第四节 水工混凝土结构极限状态设计表达式	(28)
思考题	(32)
习 题	(33)
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	(34)
第一节 受弯构件正截面的一般构造规定	(34)
第二节 受弯构件正截面的试验研究	(38)
第三节 单筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	(42)
第四节 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(51)
第五节 T形截面受弯构件正截面承载力计算	(56)
思考题	(63)
习 题	(63)
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	(65)
第一节 受弯构件斜截面的破坏	(65)
第二节 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	(68)
第三节 钢筋混凝土梁斜截面受弯承载力	(76)
第四节 钢筋骨架的构造规定	(80)
第五节 钢筋混凝土构件施工图	(83)
第六节 钢筋混凝土外伸梁设计实例	(85)
思考题	(89)
习 题	(91)
第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	(93)
第一节 受压构件的构造规定	(94)

第二节	轴心受压构件正截面承载力计算	(96)
第三节	偏心受压构件的破坏特征	(99)
第四节	偏心受压构件的正截面承载力计算	(101)
第五节	矩形截面对称配筋的偏心受压构件	(108)
第六节	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(112)
思考题		(113)
习 题		(113)
第六章	钢筋混凝土受拉构件承载力计算	(115)
第一节	大、小偏心受拉的界限	(115)
第二节	偏心受拉构件的计算	(116)
第三节	偏心受拉构件斜截面承载力计算	(120)
思考题		(121)
习 题		(121)
第七章	钢筋混凝土受扭构件承载力计算	(122)
第一节	钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	(122)
第二节	矩形截面弯剪扭构件的承载力计算	(126)
思考题		(131)
习 题		(131)
第八章	钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	(132)
第一节	概 述	(132)
第二节	抗裂验算	(133)
第三节	裂缝宽度验算	(139)
第四节	变形验算	(146)
思考题		(150)
习 题		(150)
第九章	钢筋混凝土肋形结构及刚架结构	(151)
第一节	概 述	(151)
第二节	单向板肋形结构的布置和计算简图	(152)
第三节	单向板肋形结构按弹性理论的内力计算	(155)
第四节	单向板肋形结构的截面设计和构造规定	(158)
第五节	单向板肋形结构设计实例	(164)
第六节	双向板肋形结构	(181)
第七节	钢筋混凝土刚架结构	(188)
第八节	钢筋混凝土牛腿设计	(193)
思考题		(195)
习 题		(195)
第十章	预应力混凝土结构	(197)
第一节	预应力混凝土的基本概念	(197)

第二节	施加预应力的方法	(198)
第三节	预应力混凝土的材料与张拉机具	(199)
第四节	预应力钢筋张拉控制应力及预应力损失	(204)
第五节	预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	(212)
第六节	预应力混凝土轴心受拉构件的计算	(219)
思考题		(221)
习 题		(221)
第十一章	砌体结构	(222)
第一节	砌体材料	(222)
第二节	砌体的种类及力学性能	(226)
第三节	砌体结构构件的承载力计算	(233)
思考题		(249)
习 题		(249)
第十二章	水工钢结构简介	(251)
第一节	钢结构的材料和计算方法	(251)
第二节	钢结构的连接	(259)
第三节	平面钢闸门	(269)
思考题		(274)
习 题		(275)
附录 I	在均布荷载和集中荷载作用下等跨连续梁的内力系数表	(276)
附录 II	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	(283)
附录 III	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	(285)
附录 IV	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	(292)
参考文献		(295)

绪 论

一、建筑结构的概念和分类

在工程建设中,由建筑材料制作的若干构件组成的能承受作用的平面或空间体系称为建筑结构。按所用材料的不同,可分为钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构等类型。

(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)所示为纯混凝土梁。当跨中截面承受 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,在受拉区配置了两根直径 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,钢筋混凝土梁比纯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。

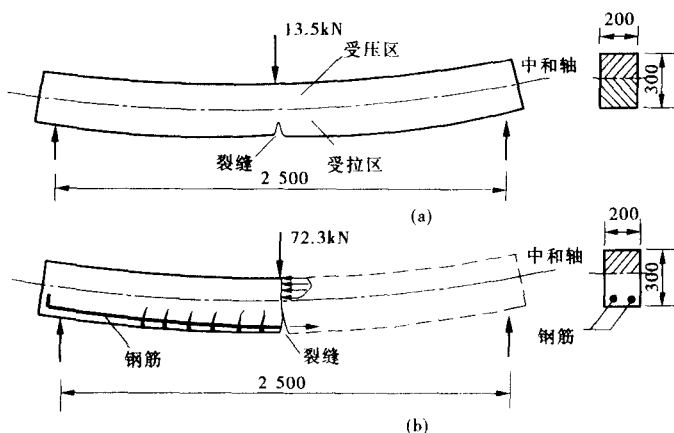


图 0-1 混凝土及钢筋混凝土简支梁的承载力 (单位:mm)

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,主要是由于混凝土硬化后可与钢筋牢固地黏结成整体,在荷载作用下,两者不致产生相对滑动。此外,钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数非常接近,当温度变化时,两者不会因变形而破坏它们的整体性。

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)强度高。钢筋混凝土的强度高,适用于各类承重构件。
- (2)抗震性好。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。
- (3)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。
- (4)耐久性和耐火性好。混凝土耐自然侵蚀的能力较强,钢筋因混凝土的保护而不易锈蚀,坚固耐用;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。
- (5)就地取材、节约钢材。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。由于钢筋混凝土结构充分发挥了材料的性能,可以节约钢材,降低工程造价。

钢筋混凝土结构也有一些缺点:

- (1)构件的截面尺寸一般较相应的钢结构大,因而自重较大,不利于建造大跨度结构及高层建筑。
- (2)抗裂性较差。混凝土抗拉强度低,容易出现裂缝,影响结构的适用性和耐久性。
- (3)浇筑混凝土要用模板和支撑,耗费一定数量的木材和钢材。
- (4)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被克服和改善。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,减少季节气温对施工的影响等。

(二)砌体结构

砌体结构是用砖、石或砌块通过砂浆铺缝砌筑,黏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)黏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。

(三)钢结构

钢结构是用钢材制成的结构。钢结构具有以下优点:

(1)强度高,易加工。钢材与其他材料相比强度高,能承受较大的荷载。钢材易加工成合理截面形状的各种型材,应用上较为方便。

(2)材质均匀,可靠性高。钢材的组织结构接近均匀和各向同性,受力特性与工程力学的假定比较吻合,结构计算结果与实际符合较好。

(3)塑性和韧性好。结构不易发生因超载而突然断裂,对动荷载适应性强。

(4)工业化程度高,具有良好的装配性。钢结构便于工厂化生产、机械化施工,精确度较高,安装方便。

(5)可焊性好。由于钢材的可焊性,使钢结构的连接简化,可根据需要制作复杂形状或完全密封的钢结构。

钢结构的主要缺点有:

(1)耐锈蚀性较差,维修费用高。

(2)耐火性较差。

(3)造价较高。

钢材是国民经济各部门不可缺少的材料,建筑施工中必须最大限度地节约钢材。因此,在建筑结构中应当按照合理使用、充分发挥其优点的原则来选择钢结构。钢结构常用于大跨度、超高度、重荷载、强动力作用的各种工程结构,如水利水电工程中的钢闸门、输电线路塔架等,也常用于可拆装搬迁的结构,如钢栈桥、钢模板等。

二、本课程的性质及学习方法

建筑结构是水利水电类专业的一门重要技术基础课程,起着承上启下的作用。学习本课程的目的: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试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。

三、建筑结构的应用与发展简况

(一) 砌体结构发展简介

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 ~ 前 771 年)已有烧制的瓦,战国时期(公元前 403 ~ 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。

新中国成立以来,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。如福建的陈岱石砌体渡槽全长超过 4 400m,高 20m,渡槽支墩共计 258 座,工程规模宏大;1998 年在浙江临安建成长 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。

随着新结构、新材料、新技术的推广应用,原有的《砌体结构设计规范》(GBJ3—88)已不适应工程建设的需要。根据近年来的科研成果和国内外工程经验,结合我国经济发展的需要,制定了新的《砌体结构设计规范》(GBJ50003—2001)。新的砌体结构设计规范的颁布实施必将促进我国砌体结构设计和应用水平的进一步提高,这标志着古老的砖石结构已经逐步走向现代砌体结构。

(二) 钢结构发展简介

钢结构的应用在我国有着光辉的历史,世界上建造最早的一座铁链桥是我国的兰津桥,它建于公元 58~75 年,比欧洲最早的铁链桥早 70 多年。四川泸定大渡河铁链桥建于 1696 年,比英国 1779 年用铸铁建造的第一座 31m 拱桥早 83 年,比美洲建造的 21.34m 跨度的第一座铁索桥早 105 年,泸定桥横跨大渡河,净跨 100m,桥宽 2.8m,无论在建筑规模上还是建造技术上,在当时都处于世界领先地位。

17 世纪欧洲工业革命兴起后,由于钢铁冶炼技术的发展,钢结构的应用范围迅速扩大,不断出现采用钢结构的建筑、铁路和水利工程。如建于 1889 年的法国艾菲尔铁塔,高 320m,至今仍屹立在塞纳河岸。此时,中华民族却处于封建统治之下,生产力停滞不前,钢结构的发展受到限制。

新中国成立后,钢结构的应用在我国得到了较大发展。20 世纪 50 年代,开始大量使用钢结构建造厂房,如鞍山钢铁厂、太原重型机械厂、洛阳拖拉机厂等大型厂房。60 年代,钢结构大量用于兴建体育馆、电视塔、桥梁等,如北京体育馆的悬索屋架结构、首都体育馆的平板网架结构、广州 200m 高的电视塔、南京长江大桥等。近年来,为适应社会生产发展需要,桁架、框架、网架和悬索结构等新兴结构型式不断推出,钢结构的跨度从几十米发展到百米、几百米,广泛应用于各个行业。如主桥长达 550m、全长 3 900m 的世界第一的全焊接钢拱桥——卢浦大桥;被誉为天下第一闸——三峡船闸的巨型人字钢闸门,高 38.5m、宽 20m,重量达 867t,在超过 30m 深的水中自如运转,是目前世界上最大的钢闸门。

(三)钢筋混凝土结构发展简介

钢筋混凝土结构与砌体结构、钢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后才开始有混凝土。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,钢筋混凝土结构已成为现代工程建设中最为广泛的建筑结构。如跨度最大的预应力钢筋混凝土斜拉桥——杨浦大桥,主跨已达602m;上海金茂大厦高420.5m,共88层;高达454m的上海电视塔等。

钢筋混凝土结构在水利水电工程中的应用更是令人瞩目,如在我国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2715万 m^3 的混凝土结构和28.1万t的金属结构,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,已从古典的把材料作为弹性体的容许应力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,已被纳入国家设计规范。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。

总之,随着建筑结构在工程建设中的广泛应用,在建筑材料、计算理论和设计方法等方面的科学研究已取得了显著的进展,新技术、新结构、新材料不断发展,并且继续向前推进,建筑结构的前景将更加广阔。

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——钢筋和混凝土所组成的。掌握两种材料的力学性能,是掌握钢筋混凝土结构构件受力特征和设计计算方法的基础。

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的钢材按其化学成分的不同,分为碳素钢和普通低合金钢。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(含碳量 0.25% ~ 0.6%)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、钒、钛等,使钢材强度提高,塑性影响不大。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‰,硅元素的平均含量为 2%,锰、钒的含量均小于 1.5%。

(二)钢筋的品种和级别

按生产加工工艺和力学性能的不同,钢筋(直径 $d \geq 6\text{mm}$)分为热轧钢筋、冷拉钢筋、冷轧带肋钢筋和热处理钢筋四种。

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为 I、II、III、IV 四个级别,分别用符号 Φ 、 Φ 、 Φ 、 Φ 表示,其中 I、II、III 级钢筋常用于普通混凝土结构。

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于相应等级的热轧钢筋,但塑性降低。冷拉钢筋分为冷拉 I、II、III、IV 四个级别,分别用符号 Φ' 、 Φ' 、 Φ' 、 Φ' 表示。其中,冷拉 I 级钢筋可用于普通混凝土结构,冷拉 II、III、IV 级钢筋主要用于预应力混凝土结构。

冷轧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钢筋,其屈服强度明显提高,按其强度由低到高分为 LL550、LL650、LL800(Φ^R)三个级别。LL550 级冷轧带肋钢筋可用于普通混凝土结构。LL650 级和 LL800 级冷轧带肋钢筋可用于中小型构件的预应力钢筋。

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的,其强度大幅度提高,而塑性降低并不多。热处理钢筋可直接用作预应力钢筋。

钢丝(直径 $d < 6\text{mm}$)分为碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线(用光面钢丝绞在一起)和冷拔

低碳钢丝等几种。钢丝直径愈细,其强度愈高。除了冷拔低碳钢丝外,其余均用作预应力钢筋。

钢筋按其外形特征的不同,分为光面钢筋和变形钢筋两类。Ⅰ级钢筋都是光面钢筋,Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋都是变形钢筋。变形钢筋包括月牙纹钢筋、人字纹钢筋和螺纹钢筋等,如图 1-1 所示。

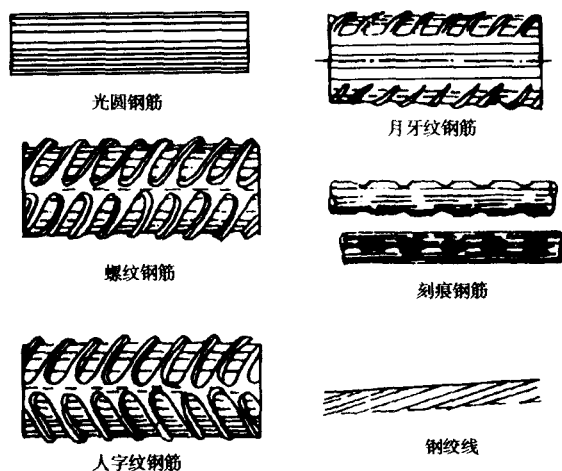


图 1-1 各种钢筋的形式

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,包括钢丝和热处理钢筋。

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 点对应的应力称比例极限, oa 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,应力不增加而应变继续增加,钢筋进入屈服阶段,产生很大的塑性变形, bc 段中对应于最低点的应力称为屈服强度。应力—应变曲线中出现的水平段,称为屈服阶段或流幅。过 c 点后,应力与变形继续增加,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

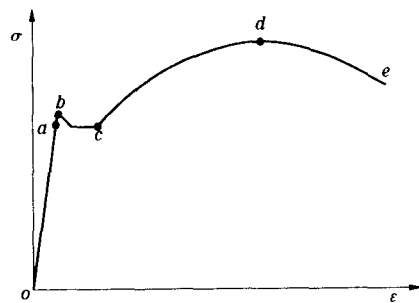


图 1-2 有明显屈服点钢筋的应力—应变曲线

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。

对于有明显屈服点的钢筋,取其屈服强度作为钢筋强度的限值。因为在混凝土中的钢筋,当应力达到屈服强度后,荷载不增加,应变会继续增大,使得混凝土裂缝开展过宽,构件变形过大而丧失正常使用功能。另外,采用钢筋的屈服强度而不用极限抗拉强度也是为了使构件具有一定的安全储备。

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。

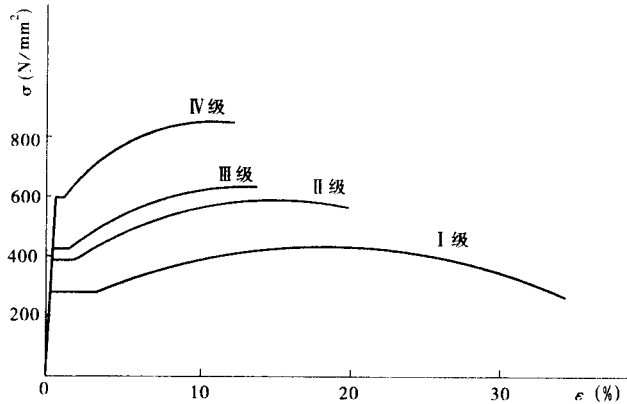


图 1-3 各级软钢筋的应力—应变曲线

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。

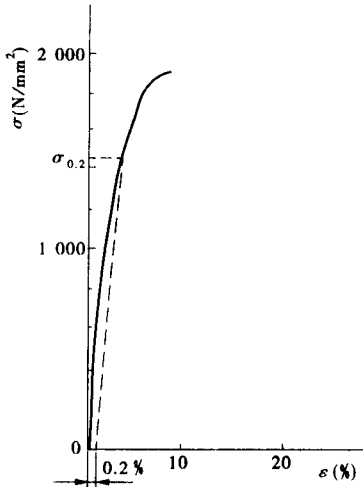


图 1-4 无明显屈服点钢筋的应力—应变曲线

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,不像用软钢配筋的构件,在破坏前有明显的预兆。

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。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表 1-1。

(二) 钢筋的变形

钢筋不但具有一定的强度,还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，一般短试件 $l_1 = 5d$ ，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。

表 1-1 钢筋弹性模量

(单位: N/mm^2)

种 类	E_s
I 级钢筋、冷拉 I 级钢筋	2.1×10^5
II 级钢筋、III 级钢筋、IV 级钢筋、热处理钢筋、碳素钢丝	2.0×10^5
冷轧带肋钢筋	1.9×10^5
冷轧 II 级钢筋、冷轧 III 级钢筋、冷轧 IV 级钢筋、刻痕钢丝、钢绞线	1.8×10^5

注:钢绞线也可采用实测的弹性模量。

钢筋的伸长率越大,塑性越好,破坏前有明显预兆;反之,伸长率越小,破坏越突然,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。冷弯性能可反映钢筋的塑性和其内在质量。

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。

(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,黏结力较差。因此,中小型预应力混凝土构件的预应力钢筋,逐渐由质量稳定且黏结性能好的冷轧带肋钢筋所取代。

各种钢筋的强度值见表 1-2~表 1-5。

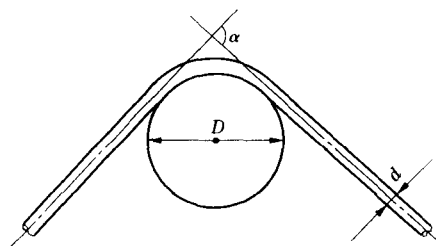


图 1-5 钢筋的冷弯

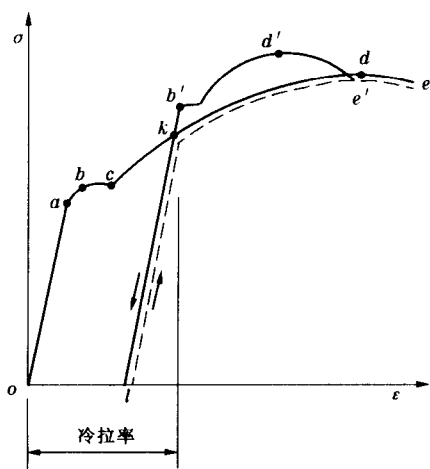


图 1-6 钢筋冷拉应力—应变曲线

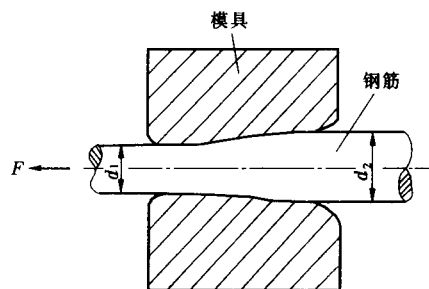


图 1-7 钢筋的冷拔

表 1-2 钢筋强度标准值

种 类		f_{yk} 或 f_{pyk} 或 f_{stk} 或 f_{ptk} (N/mm ²)
热轧钢筋	I 级 (Q235)	235
	II 级 [20MnSi, 20MnNb(b)]	335
	III 级 (20MnSiV, 20MnTi, K 20MnSi)	400
	IV 级 (40Si ₂ MnV, 45SiMnV, 45Si ₂ MnTi)	540
冷拉钢筋	I 级 ($d \leq 12$)	280
	II 级 ($d \leq 25$)	450
	($d = 28 \sim 40$)	430
	III 级	500
冷拉带肋钢筋	IV 级	700
	LL550 ($d = 4 \sim 12$)	550
	LL650 ($d = 4 \sim 6$)	650
	LL800 ($d = 5$)	800
热处理钢筋	40Si ₂ Mn ($d = 6$)	1 470
	48Si ₂ Mn ($d = 8.2$)	
	45Si ₂ Cr ($d = 10$)	

注: III 级 K 20MnSi 钢筋是余热处理钢筋。