

混凝土结构设计 基本原理

长沙铁道学院 袁锦根 余志武 主编

中国铁道出版社

混凝土结构设计 基本原理

混凝土结构设计基本原理

长沙铁道学院 袁锦根 余志武 主编
湖南大学 成文山 主审

中国铁道出版社

1997年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书主要介绍钢筋混凝土的力学性能,混凝土结构基本计算原则,钢筋混凝土受弯构件正(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、受扭构件承载力计算、构件受冲切承载力计算,钢筋混凝土构件裂缝宽度和变形验算,预应力混凝土结构。

本书可作为大专院校、广播电视大学、高等教育自学考试,继续进修学院工民建专业的教材,亦可供土建技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计基本原理/袁锦根,余志武主编. —北京:
中国铁道出版社, 1997
ISBN 7-113-02722-9

I. 混… I. ①袁… ②余… III. 混凝土结构-结构设计
IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 13696 号

中国铁道出版社出版发行

(100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑 程东海 封面设计 翟 达

北京市燕山联营印刷厂印

1997 年 8 月第 1 版 第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 18.25 字数: 445 千字

印数: 1—4000 定价: 23.40 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

本书是根据我国颁布的《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)(以下简称《规范》)及1996年局部修订条文编写的。

本书编写过程中,力求做到少而精,理论联系实际,文字叙述清楚。为便于教学和读者自学,每章有小结、思考题和习题。

本书由长沙铁道学院、华东交通大学、上海铁道大学共同编写。长沙铁道学院袁锦根编写绪论、第一章、第四章,杨建军编写第三章,周朝阳编写第八章,余志武编写第十章;华东交通大学陆龙文编写第二章,徐海燕编写第七章、第九章;上海铁道大学范沛棠编写第五章、第六章。全书由袁锦根,余志武主编,湖南大学成文山教授主审。

本书可与余志武、袁锦根主编的《混凝土结构与砌体结构设计》配套使用。

华东交通大学陆龙文教授除编写部分章节外,还对全书的编排,各章节内容协调提出很多宝贵意见,长沙铁道学院欧阳炎教授审阅了全书,给本书以很大的支持,在此表示谢意。

限于作者水平,书中有不妥甚至错误之处恳请读者批评指正。

编 者

1997年2月

目 录

绪 论	(1)
一、混凝土结构的一般概念及特点	(1)
二、混凝土结构的应用与发展概况	(2)
第一章 钢筋混凝土的力学性能	(5)
第一节 钢 筋	(5)
第二节 混 凝 土	(8)
第三节 钢筋和混凝土的共同工作	(20)
小 结	(24)
思考题	(24)
第二章 混凝土结构基本计算原则	(26)
第一节 结构的功能要求与极限状态概念	(26)
第二节 结构的作用、作用效应与结构抗力	(27)
第三节 结构按概率极限状态设计	(29)
第四节 实用设计表达式	(33)
第五节 数理统计特征值与正态分布概率密度曲线	(35)
小 结	(38)
思考题	(38)
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	(40)
第一节 概 述	(40)
第二节 试验研究	(41)
第三节 单筋矩形截面受弯构件承载力计算	(44)
第四节 双筋矩形截面受弯构件承载力计算	(58)
第五节 T形截面受弯构件承载力计算	(66)
第六节 受弯构件截面的延性	(73)
第七节 构造要求	(75)
小 结	(77)
思考题	(78)
习 题	(79)
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	(81)
第一节 概 述	(81)
第二节 无腹筋简支梁斜裂缝的形成	(81)
第三节 无腹筋梁的破坏形态	(84)
第四节 影响斜截面受剪承载力的主要因素	(86)
第五节 斜截面受剪承载力计算	(88)



第六节 构造要求	(99)
小结	(102)
思考题	(103)
习题	(103)
第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	(105)
第一节 概 述	(105)
第二节 轴心受压构件	(106)
第三节 偏心受压构件	(115)
第四节 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(144)
第五节 双向偏心受压构件正截面受压承载力计算	(145)
小结	(149)
思考题	(150)
习题	(151)
第六章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	(153)
第一节 概 述	(153)
第二节 轴心受拉构件承载力计算和构造要求	(153)
第三节 偏心受拉构件承载力计算	(154)
第四节 矩形截面偏心受拉构件斜截面承载力计算	(158)
小结	(159)
思考题	(159)
习题	(159)
第七章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	(160)
第一节 概 述	(160)
第二节 试验研究	(160)
第三节 纯扭构件的承载力计算	(161)
第四节 剪扭构件及弯扭构件的承载力计算	(165)
第五节 构造要求	(170)
小结	(173)
思考题	(174)
习题	(174)
第八章 钢筋混凝土受冲切构件承载力计算	(175)
第一节 概 述	(175)
第二节 冲切破坏特征	(175)
第三节 影响冲切承载力的因素	(176)
第四节 抗冲切承载力设计	(177)
小结	(185)
思考题	(185)
习题	(185)
第九章 钢筋混凝土构件裂缝宽度和变形验算	(187)
第一节 概 述	(187)

第二节 裂缝宽度验算	(187)
第三节 受弯构件挠度计算	(196)
小结	(202)
思考题	(203)
习题	(203)
第十章 预应力混凝土结构	(204)
第一节 概 述	(204)
第二节 预应力混凝土结构设计的基础知识	(207)
第三节 预应力轴心受拉构件计算	(223)
第四节 预应力混凝土受弯构件计算	(238)
第五节 无粘结预应力混凝土结构设计	(266)
小结	(271)
思考题	(272)
习题	(272)
附表 1 混凝土强度标准值	(274)
附表 2 混凝土强度设计值	(274)
附表 3 混凝土弹性模量 E_c	(274)
附表 4 钢筋强度标准值	(274)
附表 5 钢丝、钢绞线强度标准值	(275)
附表 6 钢筋抗拉、抗压强度设计值	(275)
附表 7 钢丝、钢绞线抗拉、抗压强度设计值	(276)
附表 8 钢筋弹性模量	(276)
附表 9 受弯构件的允许挠度	(276)
附表 10 裂缝控制等级、混凝土拉应力限制系数 α_{ct} 及最大裂缝宽度允许值	(277)
附表 11 纵向受拉钢筋的最小锚固长度 l_a	(277)
附表 12 混凝土保护层最小厚度	(278)
附表 13 混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率	(278)
附表 14 矩形和 T 形截面受弯构件正截面强度计算表 γ_s 、 α_s	(279)
附表 15 单跨梁板的计算跨度	(280)
附表 16 钢筋的计算截面面积及理论重量	(280)
附表 17 每米板宽各种钢筋间距时的钢筋截面面积	(281)
附表 18 钢筋排成一行时梁的最小宽度	(282)
附表 19 两个弯钩增加长度	(282)
附表 20 钢筋混凝土构件不需作裂缝宽度验算的最大钢筋直径	(282)
附表 21 钢筋混凝土受弯构件不需作挠度验算的最大跨高比	(282)
参考文献	(284)

绪 论

一、混凝土结构的一般概念及特点

以混凝土为主制作的结构称为混凝土结构，它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。素混凝土结构是指不配置钢筋的混凝土结构。钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构是指配置非预应力钢筋和预应力钢筋的混凝土结构。本书着重介绍钢筋混凝土和预应力混凝土构件的材料性能、设计原则、计算方法和构造措施等内容。

混凝土由石子、水泥和水拌和而成，混凝土硬化后具有和天然石料相同的特点，其抗压强度很高，而抗拉强度则很低（约为抗压强度的 $1/8 \sim 1/17$ ）。这样就使得没有配置钢筋的混凝土，在应用方面受到很大的限制。图 1 所示的简支梁，在外荷载作用下，中和轴上部受压，下部受拉。当荷载增加，中和轴下部的拉应力达到混凝土的极限抗拉强度，即出现裂缝，简支梁也随之破坏，这种破坏是很突然的，也就是说，当荷载达到梁的开裂荷载，梁立即发生破坏，属于脆性破坏。此时，受压区混凝土的抗压强度还未被充分利用，显然，材料的利用很不经济，而且破坏发展得太快，也不安全。图 1 (a) 为素混凝土梁及其破坏情况示意图。

与混凝土材料相比，钢筋的抗拉强度很高，在混凝土梁的受拉区配置适当数量的纵向受拉钢筋，形成钢筋混凝土梁，钢筋混凝土梁的试验表明，在外荷载作用下，当截面受拉区混凝土开裂后，在裂缝处的截面上，受拉区混凝土的全部拉力由钢筋来承受。与素混凝土梁不同，钢筋混凝土梁开裂后仍可继续增加梁上所作用的外荷载，直至受拉钢筋应力达到屈服强度，随后截面受压区混凝土被压坏，此时，梁最

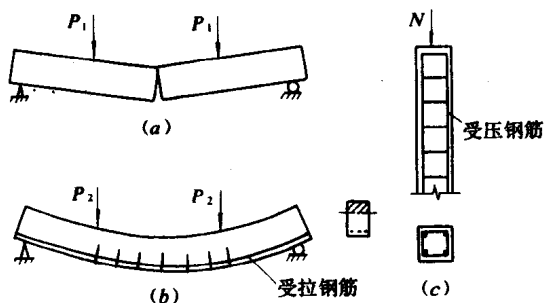


图 1 素混凝土梁及钢筋混凝土梁、柱

终破坏，不难看出，配置在受拉区的钢筋显著地增强了受拉区的抗拉能力，并大大地提高了梁的承载能力，梁中的钢筋和混凝土两种材料材料强度都得到了较为充分的利用，另外，梁在破坏之前，裂缝显著开展，挠度明显增加，这样的钢筋混凝土梁在破坏之前有明显的预兆，属于塑性破坏，图 1 (b) 为钢筋混凝土梁及其破坏情况的示意图。

在受压的混凝土柱中配置了抗压强度较高的钢筋，以协助混凝土承受压力，从而可以缩小柱截面尺寸，同时也改善混凝土的变形性能使其脆性有所降低。因此，即使在轴心受压柱中，亦常配置受压钢筋，如图 1 (c) 所示。

我们也可以在混凝土中配置其它善于抗拉的材料来承受拉力，如利用玻璃丝、竹材等，这样的结构称为玻璃丝混凝土、竹筋混凝土，或者通称为加筋混凝土。但所采用抗拉材料必须能够与混凝土很好地共同工作。

钢筋与混凝土两者所以能够很好地共同工作，其原因是：

(1) 混凝土硬化后, 钢筋与混凝土之间产生良好的粘结力, 使两者结为整体, 从而保证在外荷载作用下, 钢筋与周围混凝土能协调变形, 共同工作。

(2) 钢筋与混凝土两者之间线膨胀系数几乎相同, 钢筋为 1.2×10^{-5} , 混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ 。当温度变化时, 两者之间不会发生相对的温度变形使粘结力遭到破坏。

(3) 钢筋位于混凝土中, 混凝土包围在钢筋外围可防止钢筋锈蚀, 从而保证了钢筋混凝土具有良好的耐久性能。

钢筋混凝土结构有如下优点:

(1) 合理利用混凝土抗压强度和钢筋抗拉强度, 共同受力, 节约钢材。

(2) 就地取材。除钢筋和水泥外, 其他组成材料如砂、石子等皆可就地取材, 节省造价, 降低成本。

(3) 适用性强。构件既可整体式现场浇筑, 亦可在预制场或工地预制, 然后进行装配。

(4) 可模性。构件在造型艺术上容易处理, 根据需要可浇制成各种形状和尺寸。

(5) 耐火性好, 整体性好, 抗震性能亦较好。

(6) 耐久性好。因混凝土强度随时间的增加而增大, 钢筋经混凝土严密包裹而不易锈蚀, 故使用寿命可很长, 几乎不需要维修和养护。

钢筋混凝土结构缺点如下:

(1) 自重大。应用于大跨度承重结构将受到限制。

(2) 浪费木材。若现场浇筑混凝土, 须用木模板和脚手架, 因而要耗费一定数量木材。

(3) 施工受季节和天气影响较大。在雨天或冬天进行混凝土施工, 应对浇筑、振捣和养护等工艺采取相应措施, 确保工程质量。

二、混凝土结构的应用与发展概况

钢筋混凝土是 20 世纪应用最广泛的建筑材料之一。1824 年正式制成了波特兰水泥。由于它可以塑造成任意形状, 强度好, 并能很快结硬, 因此得到了很大的发展, 但这种材料抗拉强度很低。为了弥补这种缺点, 就促使人们考虑以抗拉性能较好的材料来加强它, 1850 年在法国曾有人用铁丝网涂以水泥制造了小船, 1861 年法国花匠蒙尼 (J. Monier) 用铁丝加固砂浆制造了花盆, 开创了钢筋混凝土发展的历史。后来, 蒙尼又把这种新的材料正式推广到制造小型的梁、板及圆管等构件中去。当时因对这种材料结构的性能不十分了解, 凭实践的经验将钢筋置于板的中心, 这显然是不合理的。

1886 年, 德国人 Koenen 和 Wayss 发表了计算理论和计算方法; Wayss 和 J. Bauschinger 于 1887 年发表了试验结果。Wayss 等人提出了钢筋应配置在受拉区的概念和板的计算方法, 此后, 钢筋混凝土的推广应用才有了较快的发展。1891~1894 年, 欧洲各国的研究者发表了一些理论和试验研究结果。但是在 1850~1900 年的整整 50 年内, 由于工程师们将钢筋混凝土的施工和设计方法视为商业机密, 因此, 公开发表的研究成果不多。

在美国, Thaddens Hyau 于 1850 年进行了钢筋混凝土梁的试验, 但他的研究成果直到 1877 年才发表。E. L. Ransome 在 19 世纪 70 年代初使用过某些形式的钢筋混凝土, 并且于 1884 年成为第一个使用 (扭转) 钢筋和获得专利的人, 1890 年, Ransome 在旧金山建造了一幢两层 95m 长的钢筋混凝土美术馆, 从此, 钢筋混凝土在美国获得了迅速的发展。

从 1850 年到本世纪 20 年代, 可以算是钢筋混凝土结构发展的初期阶段, 从本世纪 30 年

代开始,从材料性能的改善,结构形式的多样化,施工方法的革新,计算理论和设计方法的完善等多方面开展了大量的研究工作,工程应用十分普遍,使钢筋混凝土进入现代化阶段。

下面就材料、结构和计算原理三个方面简要地叙述钢筋混凝土的发展现状。

(1) 材料方面:混凝土强度随生产的发展而不断提高,目前C50~C80级混凝土甚至更高强度混凝土的应用已不仅仅局限于个别工程,近年来,国内外采用加减水剂的方法已制成强度为 $200\text{N}/\text{mm}^2$ 以上的混凝土。各种特殊用途的混凝土不断研制成功,并获得应用。例如超耐久性混凝土可达500年,耐热混凝土可耐高温达 1800°C ,我国已能生产400级和300级超轻陶粒混凝土,其传热系数小,重量轻。钢纤维增强混凝土和聚合物混凝土等在国内外都获得一定的应用。在模板方面,除木模板外,国内外正大量推广使用钢模板、硬塑料模板,现浇钢筋混凝土结构常采用大模板或泵送混凝土施工,以加快施工进度,国外泵送混凝土高度已达310m,我国也达200m。为了减轻结构自重,各国都在大力发展各种轻质混凝土,如加气混凝土、浮石混凝土等,轻质混凝土不仅可用作非承重构件,而且可用作承重结构。例如美国伊利诺大学122m跨度的体育馆是用容重为 $1.7/\text{m}^3$ 的轻质混凝土建成的圆拱结构;我国北京西便门建造的两栋20层高层住宅楼采用了容重为 $1.8/\text{m}^3$ 的陶粒混凝土作为墙体材料。

1928年法国工程师E. Freyssinet成功地将高强钢丝用于预应力混凝土,使预应力混凝土的概念得以在工程实践中成为现实。预应力混凝土的概念在19世纪80年代即已提出。但是当时因钢筋强度偏低及对预应力损失缺乏深入研究,使预应力混凝土未能成功地实现。预应力混凝土的广泛应用是在1938年Freyssinet发明锥形楔式锚具(弗氏锚具)和1940年比利时的G. Magnel发明Magnel体系之后,预应力混凝土使混凝土结构的抗裂性得到根本的改善,使高强钢筋能够在混凝土结构中得到有效的利用,使混凝土结构能够用于大跨结构、压力贮罐、核电站容器等领域。

(2) 结构方面:由于材料强度的不断提高,钢筋混凝土和预应力混凝土的应用范围也不断扩大。近20年来,钢筋混凝土和预应力混凝土在大跨度结构和高层结构中的应用有了令人瞩目的发展。

目前世界高层钢筋混凝土建筑有朝鲜平壤的柳京大厦(105层,高305m)。此外,还有1976年建成的美国芝加哥水塔广场大厦(74层,262m)。我国钢筋混凝土高层建筑有广东国际大厦(地上63层,地下2层,高200m)。

目前世界上最高的钢筋混凝土构筑物为加拿大多伦多国际电视塔,高549m。我国1993年已建成高度为468m的上海东方明珠电视塔,其高度居亚洲第一。

目前世界上跨度最大的钢筋混凝土结构为法国巴黎国家工业与技术中心,它的平面为三角形,每边跨度为218m,采用厚度仅120mm的双层双曲钢筋混凝土薄壳结构。

钢筋混凝土和预应力混凝土在水利工程、海洋工程、桥隧工程、地下结构工程中的应用也极为广泛。南斯拉夫KRK钢筋混凝土拱桥,长跨390m,短跨244m,是目前世界上最长的拱桥。跨度最大的斜拉桥是加拿大的Annacis桥,跨度465m。我国1987年建成天津永和悬浮体系斜拉桥主跨已达260m,此后,又相继建成上海南浦大桥和铜陵长江大桥等,后者位居亚洲第一。

近年来,随着海洋石油的开发利用,各种钢筋混凝土和预应力混凝土海洋构筑物,如海上采油平台、码头沉箱、水下隧道、海上贮油罐、海上机场等已经得到广泛的应用。

(3) 理论研究方面:目前,在建筑结构中已经开始采用以概率理论为基础的,以可靠度

指标度量构件可靠性的分析方法，使极限状态设计方法向着更完善、更科学的方向发展。随着对混凝土变形性能的深入研究，现代化测试技术的发展，有限元法和电子计算机的应用，钢筋混凝土构件的计算已开始走向采用将承载力、变形、延性贯串起来的全过程分析方法以及从个别构件的计算过渡到考虑整体结构的整体工作的分析方法。这样，就使得钢筋混凝土的计算理论和设计方法更加日趋完善，并向着更高的阶段发展。

第一章 钢筋混凝土的力学性能

第一节 钢 筋

一、钢筋的性能

(一) 钢筋的作用

安置在钢筋混凝土构件中的钢筋，按其作用性质，可分为下面三类。

1. 受力钢筋：钢筋主要配置在受弯、受拉、偏心拉压构件的受拉区以代替或帮助混凝土承担拉力。其次，钢筋也可用来加强混凝土的抗压能力。这类钢筋均称为受力钢筋。它的断面由计算决定。如图 1-1 所示梁板及柱中的钢筋均属受力钢筋。

2. 架立钢筋：架立钢筋是用来保证受力钢筋的设计位置不因捣固混凝土而有所移动。图 1-1 所示的梁内钢筋 2 即为架立钢筋，它用来保证钢箍 4 的间距及保证整个受力钢筋骨架的稳定。

3. 分布钢筋：分布钢筋是用来将构件所受到的外力分布在较广的范围，以改善受力情况，这种钢筋多数在板中。如图 1-1 所示的板，除为抵抗弯矩而设置受力钢筋外，同时要使作用在板上的集中荷载分布在较大的宽度上，使钢筋受力较为平均，故须设置与受力钢筋相垂直的钢筋，该钢筋为分布钢筋。

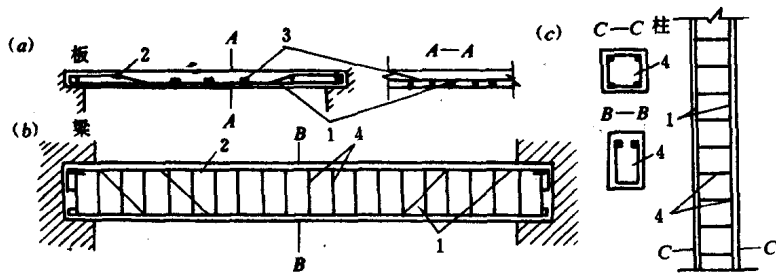


图 1-1 钢筋混凝土构件中的钢筋

1—受力钢筋；2—架立钢筋；3—分布钢筋；4—箍筋

受力、架立和分布钢筋并不一定能绝对区别开来，即同一钢筋往往可以同时起上述两种以上的作用。图 1-1 (a) 中，板内分布钢筋，除了起分布作用外，另有固定受力钢筋位置的作用，梁中钢箍 4 同时起受力及架立的作用。

此外，钢筋往往还有其它的作用。例如，一般混凝土收缩及温度变化的应力通常就利用受力钢筋与分布钢筋来承受，但有时也要专设温度钢筋。

(二) 钢筋性能

钢筋混凝土工程中所用钢筋应具备：①有适当的强度，②与混凝土粘结良好，③可焊性好，④有足够的塑性。我国目前常用的钢材按其化学成分，可分为碳素钢及普通低合金钢。碳素钢又可分低碳钢（含碳量 $\leq 0.25\%$ ）、中碳钢（含碳量 $0.25\% \sim 0.6\%$ ）及高碳钢（含碳量

0.6%~1.4%)，含碳量越高强度越高，但塑性和可焊性降低，所以低碳钢有时也称为软钢，高碳钢也称为硬钢。在低碳钢中加入少量锰、硅、铌、钒、钛、铬等元素，便成为普通低合金钢，如20锰硅、25锰硅、40硅2锰钒、45硅锰钒等。

按照生产加工工艺和力学性能的不同，用于混凝土结构中的钢筋可分为热轧钢筋、冷拉钢筋、钢丝（直径不大于5mm）、冷轧带肋钢筋、热处理钢筋等五类。其中，热轧钢筋和冷拉钢筋属于有明显屈服点的钢筋，冷轧带肋钢筋、钢丝和热处理钢筋则属于无明显屈服点的钢筋。

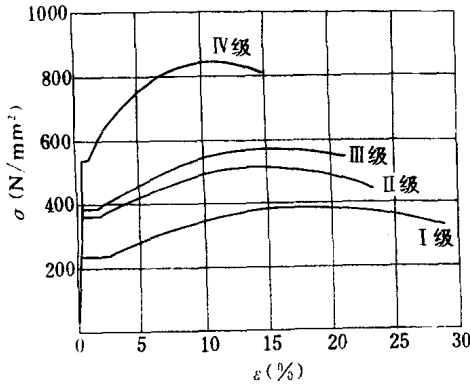


图 1-2 热轧钢筋的应力应变曲线

热轧钢筋分 I、II、III、IV 级，由工厂直接热轧成型，随着级别的增大，钢筋的强度提高，塑性降低（图 1-2）。

冷拉钢筋由热轧钢筋经冷加工而成，其屈服强度高于相应等级的热轧钢筋，但塑性降低。

钢丝类包括光面钢丝、刻痕钢丝、钢绞线（用光面钢丝绞在一起）和冷拔低碳钢丝等。

冷轧带肋钢筋分 LL550、LL650、LL800 级，

由工厂直接冷轧成型，其钢筋直径范围为 4~12mm，级别愈高钢筋强度愈大，塑性愈低。

热处理钢筋由强度大致相当于 IV 级的某些特定钢号钢筋经淬火和回火处理后制成，淬火和回火后，钢筋强度大幅度提高，而塑性降低不多。

钢筋按其外形特征，可分为光面钢筋和变形钢筋两类。I 级钢筋都是光面钢筋（图 1-3a），II、III、IV 级钢筋一般都是变形钢筋。目前，广泛使用的变形钢筋是纵肋与横肋不相交的月牙纹钢筋（图 1-3b、c）和螺纹钢筋（图 1-3b、c）

二、钢筋的冷加工

为了节约钢材和扩大钢筋的应用范围，常常对热轧钢筋进行冷拉和冷拔等机械冷加工。以提高钢筋的强度。

（一）钢筋的冷拉

冷拉是将钢筋拉伸至超过屈服强度即强化阶段中的某一应力值，如图 1-4 的 k 点，然后卸载，这时留有残余变形 ω' ，此时如立即重新加荷，则其应力应变曲线与 $d'k$ 重合，将变为 $d'kcd$ ，屈服点提高至 k ，这种现象叫变形硬化。若钢筋经冷拉后卸荷停留一段时间后再进行加荷，则应力-应变曲线将为 $d'k'c'd'$ 屈服点提高至 k' 点，极限强度提高至 d' 点， kk' 的变化随时间而自动增长，这叫做时效硬化。

钢筋经冷拉和时效硬化后，屈服强度有所提高，但塑性（伸长率）相应降低。合理地选择控制点 k 可使钢筋保持一定的塑性而又能提高强度，这时 k 点的应力称为冷拉控制应力，对应的应变称为冷拉控制应变或冷拉率。

必须注意：焊接时产生的高温使钢筋软化（强度降低，塑性增加），因此需要焊接的钢筋应先焊好再进行冷拉；同时，冷拉只能提高钢筋的抗拉强度而不能提高钢筋的抗压强度。

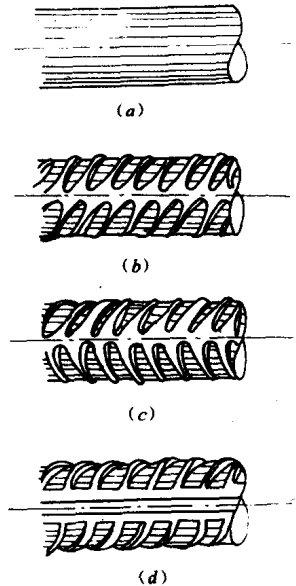


图 1-3 钢筋的形式

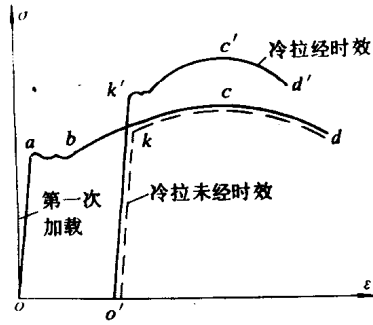


图 1-4 钢筋冷拉前后的应力应变曲线

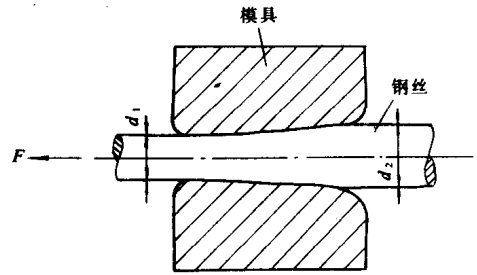


图 1-5

(二) 钢筋的冷拔

冷拔是将钢丝用强力拔过比直径还小的硬质合金拔丝模具 (图 1-5), 使它在长度方向和直径方向均产生塑性变形, 拔成较细的钢筋, 从而提高其强度。

经过冷拔, 钢筋强度可以提高很多。例如 $\phi 6$ I 级钢筋经三次冷拔到 ϕ^3 钢丝的应力-应变曲线如图 1-6 所示, 可见冷拔后的钢丝没有明显的屈服点和流幅 (即由软钢变为硬钢)。强度由 260MPa 提高到 750MPa, 但塑性显著降低, 其伸长率由 21.9% 降低到 3.3%。

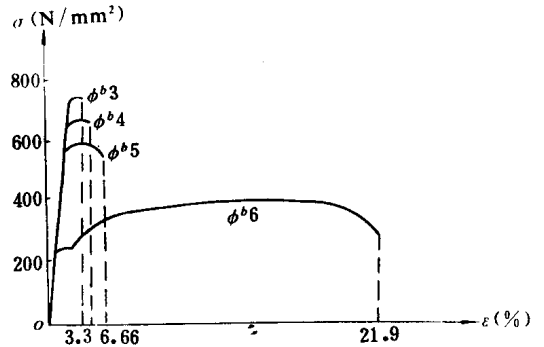


图 1-6

三、钢筋的强度和变形

根据钢筋在单调受拉时应力-应变曲线特点的不同, 可将钢筋分为有明显屈服点和无明显屈服点两类。

1. 有明显屈服点的钢筋

工程上这类钢筋习惯称为软钢, 软钢从加载到拉断, 有四个阶段。图 1-7 (b) 为软钢的应力-应变曲线, 自开始加载至应力达到 a 点以前, 应力应变成线性关系, a 点称为比例极限; oa 段属于线弹性工作阶段, 应力达到 b 点后, 钢筋进入屈服阶段, 产生很大的塑性变形, b 点应力称为屈服强度或流限, 在应力-应变曲线中呈现一水平段, 称为流幅或屈服台阶, 超过 C 点后, 应力应变关系重新表现为上升的曲线, cd 称为强化段。曲线最高点的 d 应力称为极限

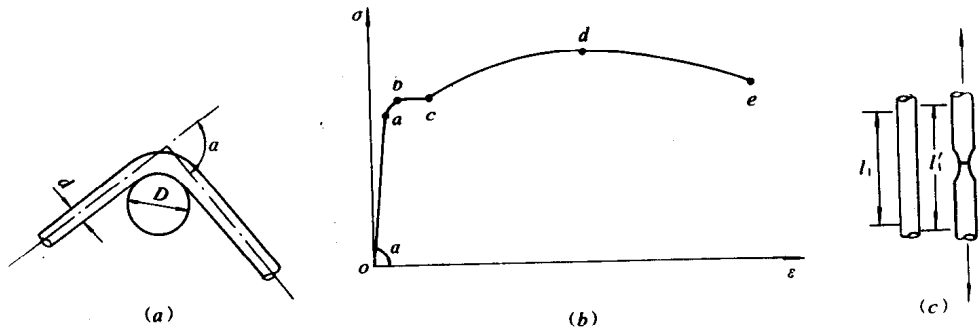


图 1-7 有明显屈服点钢筋的应力应变曲线

强度，此后钢筋试件产生颈缩现象（图 1-7b），应力-应变关系成为下降曲线，应变继续增加，到 e 点断裂， de 段为破坏阶段。

e 点所对应的横坐标称为伸长率，它标志钢筋的塑性，伸长率越大，塑性越好，钢筋的塑性除用伸长率标志外，还用冷弯试验来检验。冷弯就是把钢筋围绕直径为 D 的钢辊弯转 α 角而要求不发生裂纹（图 1-7a）。钢筋塑性越好，冷弯角 α 就越大。

屈服强度是钢筋混凝土构件中设计时钢筋强度取值的依据。因为钢筋屈服后产生较大的塑性变形，这将使构件变形和裂缝宽度大大增加，以致无法使用。所以在计算中采用屈服强度作为钢筋的强度取值，钢筋的强化段只作为一种安全储备考虑。但是在检验钢筋质量时仍然要求它的极限强度符合检验标准。

2. 无明显屈服点的钢筋

无明显屈服点的钢筋工程上习惯称为硬钢，硬钢强度高，但塑性差，脆性大。从加载到拉断，不像软钢那样有明显的阶段，基本上不存在屈服台阶（流幅）。图 1-8 为硬钢的应力-应变曲线。

由图 1-8 可知，这类钢筋只有一个强度指标，即极限抗拉强度，如前所述，在设计中，极限抗拉强度不能作为钢筋强度取值的依据。因此工程上一般取残余应变为 0.2% 所对应的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为无明显屈服点钢筋的强度取值，通常称为条件屈服强度。对于高强钢丝，条件屈服强度相当于极限抗拉强度的 0.86 倍，对于热处理钢筋，则为 0.9 倍。为了简化计算，《规范》统一取 $\sigma_{0.2} = 0.85\sigma_b$ ，其中 σ_b 为无明显屈服点钢筋的极限抗拉强度。

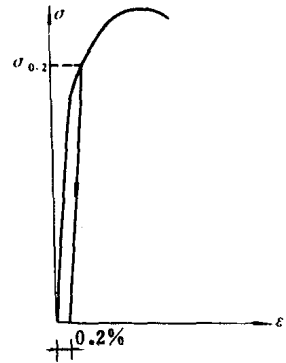


图 1-8 无明显屈服点钢筋的应力-应变曲线

第二节 混 凝 土

一、混凝土强度

(一) 混凝土立方体强度

混凝土立方体强度是衡量混凝土强度的主要指标，简称立方体强度，它不仅与养护时的温度、湿度、水灰比、施工方法、龄期等因素有关，而且与试验方法和试件尺寸也有密切关系。因此在建立混凝土强度时，需要规定一个统一的标准作为依据。

我国《规范》规定：采用边长为 150mm 的立方体试块，在温度为 17~23℃，相对湿度在 90% 以上的潮湿空气中养护 28d，按照标准试验方法加压到破坏，所测得的具有 95% 保证率的抗压极限强度值，作为混凝土的立方体标准强度，用 $f_{cu,k}$ 表示，混凝土的强度等级即由立方体抗压标准强度来确定，它是混凝土各种力学指标的基本代表值，《混凝土规范》列出的混凝土强度等级有 C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50 和 C60 共十级，例如 C20 表示混凝土为 20MPa 的强度等级。

试验表明，混凝土在压力机上受压，试件纵向压缩，横向膨胀，由于压力机垫块与试件上下端表面间有摩擦力存在，试件二端表面将不能自由地横向扩张，试件实际上处在三向受力状态，从而提高了试件的抗压能力。若在试件表面涂以油脂，摩擦力将大为减少，所得混凝土抗压强度的数值，就不涂油脂者小。

这两种试验方法所得出的立方体试件破坏特征，也不相同（图 1-9 所示）。不涂油脂者

(图 1-9a) 在破坏时, 块体四周剥落, 成两个锥形体, 涂油脂者 (图 1-9b), 则出现垂直裂缝。

为统一标准起见, 在试验中均采用较为方便的不涂油脂的试件。

试件的形状与尺寸也在很大程度上影响所测得抗压强度的数值。世界各国测定混凝土强度的标准试件形状有圆柱体试块和立方体试块, 美国、日本和欧洲混凝土协会 (CEB) 采用直径 $d = 150\text{mm}$, 高度 $h = 300\text{mm}$ 的圆柱体试块的抗压强度作为混凝土强度指标, 符号为 f'_c (美国) 或 f_c (CEB)。 f'_c 与我国边长为 150mm 的立方体强度 f_{cu} 的换算关系为 $f'_c = 0.79 f_{cu}$ 。

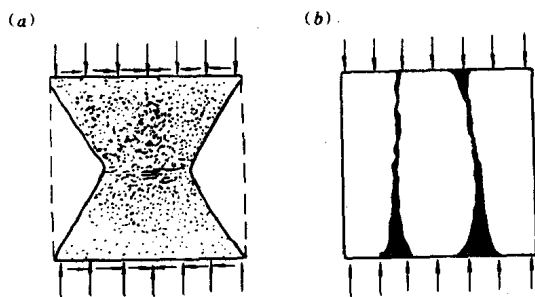


图 1-9

试验表明, 混凝土立方体试块尺寸愈大, 实测破坏强度愈低, 反之愈高, 这种现象称为尺寸效应。这是由混凝土内部缺陷和试件承压面摩擦力影响等因素造成的, 试件尺寸大, 内部缺陷 (微裂缝、气泡等) 相对较多, 端部摩擦力影响相对较小, 故强度较低。根据我国的试验结果, 当采用边长为 200mm 和 100mm 的立方体试块时, 实测的立方体抗压强度应分别乘以 1.05 和 0.95 的换算系数, 以便得到相当于边长为 150mm 的标准试块的立方体抗压强度。

在钢筋混凝土结构中, 混凝土强度等级的选用除与结构受力状态和性质有关外, 还应考虑与钢筋强度相匹配。根据工程经验和经济技术等方面的要求, 《规范》规定: 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C15, 当采用 I 级钢筋时, 混凝土强度等级不宜低于 C20, 当采用 III 级钢筋以及对于承受重复荷载作用的构件, 混凝土强度等级不得低于 C20。预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C30, 当采用碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力钢筋时, 混凝土强度等级不宜低于 C40。冷轧带肋钢筋用于钢筋混凝土结构, 混凝土强度等级不宜低于 C20, 用于预应力混凝土结构, 不宜低于 C25。

(二) 棱柱体抗压强度 f_c (轴心抗压强度)

通常, 钢筋混凝土受压构件的实际长度比它的截面尺寸大得多, 因此棱柱体试件比立方体试块能更好地反映受压构件中混凝土的实际工作状态。

棱柱体试件所测得的抗压强度称为棱柱体抗压强度 f_c , 又称轴心抗压强度。 f_c 低于立方体强度, 这是因为当试件高度增大后, 两端接触面摩擦力对试件中部的影响逐渐减弱所致。图 1-10 中 f_c/f_{cu} 与 H/b 的关系说明随棱柱体高宽比 H/b 增加, 棱柱体强度 f_c 逐渐降低, 当

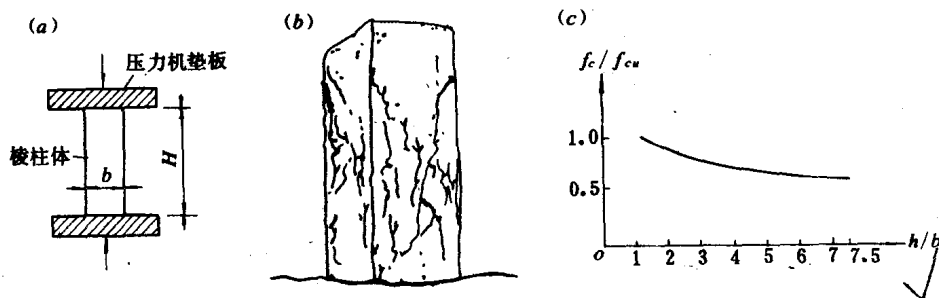


图 1-10

(a)、(b) 混凝土棱柱体抗压试验; (c) 棱柱体高宽比对抗压强度的影响