

职工高等学校教材

钢筋混凝土与砌体结构

(上册)

主 编 安震中

副主编 张学宏

东南大学出版社

职工高等学校教材

钢筋混凝土与砌体结构

(上册)

主 编 安震中

副主编 张学宏



东南大学出版社

前言

职工高等工业专科学校的教材建设，应该从职业技术教育的特点出发，贯彻教育与生产相结合、理论与实践相统一的方针。遵循“按需施教、学以致用”的原则，逐步形成具有成人学习特点的教材体系，这已成为职工高等工业专科学校教学改革中急需解决的问题之一。

在办学初期，由于客观条件的限制，从教学大纲到教材都是借助于普通高校的，这在当时对稳定教学秩序，保证教学正常运行，起到了一定的积极作用。但近年来的教学实践证明，这种借助的作法，已不能适应职工高等工业专科学校应突出职业技术教育这一特点的需要。职工高等工业专科学校“工业与民用建筑”专业的培养目标是：从在职职工中，培养德、智、体全面发展的具有大专文化水平的，从事建筑施工技术与管理以及建筑设计的应用型工程技术人材。因此，教材内容应密切结合岗位需要，着重于实践知识水平的提高和实际能力的培养。

《钢筋混凝土与砌体结构》是工业与民用建筑专业的主要专业课。这门课无论对于设计人员还是施工人员都是至关重要的。为了实现培养应用型人才的目标，我们根据建设部人才开发司组织编写的教学大纲，试编了这本具有职工高校特点的教材。与普通高校教材相比，本书删去了一部分理论研究的内容，但对基本概念则仍然保留，甚至有所加强。书中较多地介绍了实用构造要求的内容，并有大量的较为详尽的设计与计算实例。当学生学完本书并进行了有关的课程设计后，便有可能基本具备设计一般钢筋混凝土与砌体结构和处理有关施工中这类问题的能力。这也是我们编写本书的期望所在。

参加本书编写工作的是：无锡城建职工大学安震中（第三、八章）；苏州建筑职工大学张学宏（第五、十章）、张鉴清（绪论和第一、二、四、六章）；天津建筑工程业余大学吴泳川（第七、九、十二章）；新疆建筑职工大学王建生（第十一章）。

本书由无锡城建职工大学安震中主编，苏州建筑职工大学张学宏副主编，

江苏省建筑工程局杨延余和东南大学蓝宗建主审。

在编写过程中，得到了建设部教育局、全国建设系统成人高等教育协会、东南大学及编者所在学校的大力支持，在此一并致谢。

限于编者水平，书中定有欠妥之处，敬请读者批评指正。

编者

1991年8月

上册目录

绪论

0-1 建筑结构的一般概念	(1)
0-2 钢筋混凝土结构的特点	(1)
0-3 钢筋混凝土结构的发展简况及其应用	(3)
0-4 砌体结构的特点	(3)
0-5 砌体结构的发展简况及其应用	(4)
思考题	(4)

第一章 钢筋和混凝土的力学性能

1-1 钢筋的力学性能	(5)
1-1-1 钢筋的种类、级别及型式	(5)
1-1-2 钢筋的强度和变形	(6)
1-1-3 钢筋的冷加工	(8)
1-1-4 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求	(8)
1-2 混凝土的力学性能	(9)
1-2-1 混凝土的强度	(9)
1-2-2 混凝土的变形	(12)
1-3 钢筋与混凝土的粘结力	(17)
1-3-1 粘结作用的形成	(17)
1-3-2 粘结强度的影响因素	(17)
思考题	(19)

第二章 钢筋混凝土结构的基本设计原则

2-1 建筑结构的性能要求及极限状态	(20)
2-1-1 建筑结构的性能要求	(20)
2-1-2 建筑结构的极限状态	(20)
2-2 以概率论为基础的极限状态结构设计方法	(21)
2-2-1 影响结构可靠性的各种因素	(21)
2-2-2 随机变量的三个统计特征值及随机变量的正态分布曲线	(22)
2-2-3 钢筋混凝土结构可靠度分析	(24)
2-2-4 按承载能力极限状态计算	(26)
2-2-5 按正常使用极限状态验算	(31)
思考题	(32)

第三章 受弯构件

3-1 概述	(33)
3-2 板、梁的一般构造要求	(34)
3-2-1 板的构造要求	(34)
3-2-2 梁的构造要求	(39)
3-3 正截面承载力计算	(43)
(1) 3-3-1 受弯构件正截面受力全过程和破坏特征	(43)
(1) 3-3-2 受弯构件正截面承载力计算的基本原则	(46)
(2) 3-3-3 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(51)
(2) 3-3-4 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(59)
(2) 3-3-5 单筋 T 形截面受弯构件正截面承载力计算	(69)
(2) 3-4 斜截面承载力计算	(79)
3-4-1 斜截面受力特点	(79)
3-4-2 梁沿斜截面破坏的主要形态	(82)
(2) 3-4-3 影响斜截面受剪承载力的主要因素	(83)
(2) 3-4-4 斜截面受剪承载力计算	(86)
(2) 3-4-5 斜截面的受弯承载力	(99)
(2) 3-4-6 钢筋构造要求的补充	(102)
(2) 3-5 受弯构件裂缝及变形验算	(107)
(2) 3-5-1 概述	(107)
(2) 3-5-2 受弯构件裂缝宽度验算	(107)
(2) 3-5-3 受弯构件挠度验算	(113)
(2) 3-6 受弯构件设计实例	(122)
(2) 3-6-1 普通钢筋混凝土多孔板设计实例	(122)
(2) 3-6-2 简支梁设计实例	(126)
(2) 思考题	(132)
习题	(136)

第四章 受扭构件

(05) 4-1 概述	(141)
(05) 4-2 矩形截面纯扭构件承载力计算	(141)
(15) 4-2-1 矩形截面混凝土纯扭构件承载力计算	(141)
(15) 4-2-2 矩形截面钢筋混凝土纯扭构件承载力计算	(143)
(25) 4-3 矩形截面弯剪扭构件承载力计算	(146)
(25) 4-3-1 矩形截面剪扭构件承载力计算	(146)
(25) 4-3-2 矩形截面弯扭构件承载力计算	(148)
(10) 4-3-3 矩形截面弯剪扭构件承载力的计算方法及其适用条件	(149)
(25) 4-3-4 矩形截面弯剪扭构件的截面设计计算步骤	(150)
4-4 受扭构件的构造要求	(150)
思考题	(153)

习题	(154)
----	-------

第五章 受压构件

5-1 概述	(155)
5-2 构造要求	(155)
5-2-1 材料的强度等级	(155)
5-2-2 截面形式和尺寸	(156)
5-2-3 纵向钢筋	(156)
5-2-4 箍筋	(157)
5-3 轴心受压构件的计算	(158)
5-3-1 配置普通箍筋的轴心受压构件	(159)
5-3-2 配置密排环式箍筋的轴心受压构件	(162)
5-4 偏心受压构件的计算	(165)
5-4-1 偏心受压构件正截面承载力计算	(165)
5-4-2 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(197)
5-4-3 偏心受压构件裂缝宽度验算	(198)
思考题	(200)
习题	(201)

第六章 受拉构件

6-1 概述	(202)
6-2 轴心受拉构件	(202)
6-2-1 截面承载力计算	(202)
6-2-2 裂缝宽度验算	(203)
6-3 偏心受拉构件	(205)
6-3-1 矩形截面偏心受拉构件正截面承载力计算	(205)
6-3-2 矩形截面偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	(209)
6-3-3 偏心受拉构件的裂缝宽度验算	(210)
思考题	(211)
习题	(211)

第七章 预应力混凝土构件

7-1 预应力混凝土的基本概念和一般计算规定	(212)
7-1-1 预加应力的目的及其优点	(212)
7-1-2 预加应力的方法	(213)
7-1-3 锚具	(215)
7-1-4 预应力混凝土的材料	(215)
7-1-5 张拉控制应力	(217)
7-1-6 预应力损失	(218)

7-2 预应力混凝土轴心受拉构件	(223)
7-2-1 受力各阶段的应力分析	(223)
7-2-2 使用阶段承载能力计算	(230)
7-2-3 使用阶段裂缝控制验算	(231)
7-2-4 施工阶段验算	(232)
7-2-5 计算例题	(235)
7-3 预应力混凝土受弯构件的受力及计算特点	(238)
7-3-1 受力各阶段的应力分析	(238)
7-3-2 使用阶段承载能力计算	(241)
7-3-3 使用阶段裂缝控制验算	(242)
7-3-4 使用阶段变形验算	(244)
7-3-5 施工阶段验算	(245)
7-3-6 先张法构件端部区预应力钢筋的传递长度	(245)
7-4 预应力混凝土结构构件的构造要求	(246)
7-4-1 一般要求	(246)
7-4-2 先张法构件	(247)
7-4-3 后张法构件	(247)
思考题	(248)
习题	(249)

附录

附录一 民用建筑楼面均布活荷载标准值及其准永久值系数	(250)
附录二 楼面活荷载标准值的折减系数	(251)
附录三 屋面均布活荷载标准值及其准永久值系数	(252)
附录四 常用材料及构件重量表	(253)
附录五 钢筋的强度标准值、设计值和弹性模量	(255)
附录六 钢丝的强度标准值、设计值和弹性模量	(256)
附录七 混凝土的强度标准值、设计值和弹性模量	(256)
附录八 受弯构件的允许挠度	(257)
附录九 裂缝控制等级、混凝土拉应力限制系数 α 及最大裂缝宽度允许值	(258)
附录十 混凝土构件纵向受力钢筋的最小配筋百分率 $\rho_{\min}(\%)$	(259)
附录十一 矩形和 T 形截面受弯构件正截面承载力计算系数 γ_s 、 α_s	(260)
附录十二 钢筋混凝土受弯构件配筋计算用 ξ 表	(261)
附录十三 钢筋混凝土受弯构件配筋计算用 γ_s 表	(262)
附录十四 截面抵抗矩塑性系数 r_m	(263)
附录十五 钢筋混凝土构件不需作裂缝宽度验算的最大钢筋直径	(264)
附录十六 钢筋混凝土受弯构件不需作挠度验算的最大跨高比	(265)
附录十七 钢筋的计算截面面积及公称质量	(266)
附录十八 每米板宽内的钢筋截面面积	(267)

绪 论

0-1 建筑结构的一般概念

在房屋建筑中,由各种构件组成的能承受各种作用的体系叫建筑结构。组成结构的构件是指板、梁、桁架、柱、墙、基础等。作用是指直接施加在结构上的各种荷载或是指引起结构外加变形,约束变形的原因。前者包括构件的自重、楼面和屋面活荷载、风荷载等,称直接作用;后者包括地震、地基沉降、温度变化等,称间接作用。

按构件所用材料,结构可分为钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构等。本书将讲述前两种结构。

建筑结构设计的任务就是选择经济合理、技术先进的结构方案,并通过计算和构造处理,使所设计的结构能可靠地承受各种作用。为此,我国制定了《建筑结构设计统一标准》(GBJ68-84)、《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87)、《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)以及《砌体结构设计规范》(GBJ3-88)等〔以下简称《统一标准》和《规范》〕。这些设计标准和规范反映了我国四十多年来建筑结构方面科学研究的丰硕成果和广泛的工程实践经验,是设计的重要依据。本书所涉及的设计计算内容就是按照这些标准和规范编写的。

0-2 钢筋混凝土结构的特点

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种力学性能不同的材料所组成的。混凝土具有抗压性能好而抗拉性能很差的特性;钢材是抗拉和抗压性能都很好的材料。如果把钢筋以合理的形式浇筑在混凝土中组成各种构件,就能在不同的受力情况下充分发挥这两种材料的优点,提高材料的使用效益。

图0-1a、b分别表示两根截面尺寸、跨度、混凝土强度完全相同的简支梁,前者是素混凝土的,后者在梁的下部受拉区边缘配有适量的钢筋。试验表明,两者的承载能力和破坏性质有很大的差别。素混凝土梁,由于混凝土抗拉性能很差,当荷载较小时其受拉区边缘混凝土的抗拉应变就达到混凝土的极限拉应变,随之出现裂缝,导致梁脆性断裂而破坏,但此时梁受压区的混凝土压应力还远小于混凝土的抗压强度。钢筋混凝土梁则完全不同,当其受拉边混凝土开裂后尚不会脆性断裂,而可继续增加荷载。此时开裂截面的拉力将由钢筋承担,直至钢筋拉应力达到屈服强度,裂缝迅速向上延伸,受压区面积迅速减小,受压区混凝土应力迅速增大,最终导致混凝土压应力达到抗压强度,混凝土受压区边缘应变达到其极限压应变而被压碎时,梁才告破坏。因此,钢筋混凝土梁能充分发挥钢筋的抗拉性能和混凝土的抗压性能,大大提高梁的承载能力。

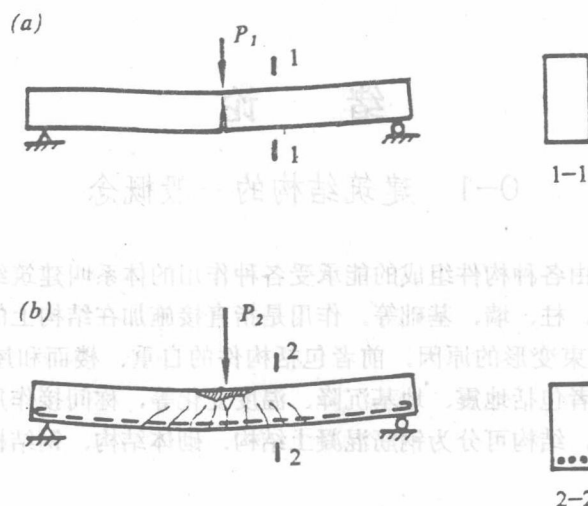


图 0-1

(a) 素混凝土梁的破坏; (b) 钢筋混凝土梁的破坏

在受压为主的构件中，通常也配置一定数量的钢筋来协助混凝土分担一部分压力以减小构件的截面尺寸，此外钢筋还可改善构件受压破坏的脆性性质。

钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料所以能结合在一起共同工作的原因是：

1. 硬化后的混凝土与钢筋的接触面上会产生良好的粘结力，使两者可靠地结合在一起，从而保证构件受力后，钢筋和其周围混凝土能共同变形。
2. 钢筋的温度线膨胀系数为 1.2×10^{-5} ，混凝土的温度线膨胀系数为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ ，二者数值相近。因此，温度变化不会产生较大的温度应力破坏两者的粘结。

钢筋混凝土除了能合理地利用两种材料的性能外还有下列优点：

1. 就地取材 钢筋混凝土所用材料中的石子和砂，用量大，一般都可就近供应。
2. 节约钢材 钢筋混凝土结构的承载能力较高，在很多情况下可替代钢结构，从而可节约钢材。
3. 耐久性好 混凝土抗大气侵蚀性能较好，其强度又能随时间而不断增长，同时钢筋被混凝土所包裹不易锈蚀，所以钢筋混凝土结构的耐久性是很好的，不需经常维修。
4. 耐火性好 由于混凝土的导热性能较差，钢筋有混凝土作为保护层，在火灾中就不致很快地达到软化温度而丧失承载能力，所以钢筋混凝土结构具有较好的耐火性。
5. 整体性好 钢筋混凝土结构，尤其是现浇钢筋混凝土结构，可将各种构件浇筑成为一个整体，具有较好的整体性，能更好地抵抗地震、冲击波和暴风激浪的作用。
6. 可模性好 钢筋混凝土可以根据需要浇制成各种形状和尺寸的结构。

钢筋混凝土结构也还存在一些缺点，例如，自重大、容易开裂、现浇时耗费模板多、工期长等。随着生产和科学技术的发展，这些缺点已经或正在逐步得到克服。例如，采用轻质高强混凝土以减轻混凝土的自重；采用预应力混凝土以提高构件抵抗裂缝的性能；采用预制装配式结构以节约模板和加快施工进度等。

0-3 钢筋混凝土结构的发展简况及其应用

钢筋混凝土在工程建设中的应用，至今只有一百多年的历史。19世纪的后阶段是钢筋混凝土结构发展的初期，进展缓慢，只用于建造各种板、梁、柱、拱和圆管等简单的构件。进入20世纪以后，随着生产的需要和科学技术的发展，钢筋混凝土在计算理论、组成材料、结构形式、施工方法等各方面都不断有所革新和创造，促使钢筋混凝土得到迅猛的发展。从目前情况来看，钢筋混凝土已成为建筑工程中最主要的结构类型，在很大程度上可以替代钢结构和木结构，在其他的工程领域中，也得到广泛应用。

在工业建筑中，除了重型厂房外，一般厂房的屋面板、屋架、托架、吊车梁、柱、基础等构件，都可采用钢筋混凝土来建造。我国已编制了各种构件的标准图集，可供选用。与工业建筑有关的特种结构，例如烟囱、水泥、水塔、筒仓、设备基础等，也大多可采用钢筋混凝土来建造。目前，我国建造的预应力混凝土屋架的跨度可达60m，建造的预应力混凝土吊车梁的吊车起重量可达4000kN。

在民用建筑中，除了超高层房屋和跨度过大房屋外，一般民用房屋中的各类结构构件，例如屋盖、楼盖、楼梯、雨篷、阳台、柱、框架、剪力墙、筒体、基础以及其他空间结构等，都可采用钢筋混凝土来建造。尤其是用钢筋混凝土建造高层建筑和大跨度民用建筑，近年来在我国发展迅速。例如63层的广州广东国际大厦高199m，50层的深圳国际贸易中心高160m，跨度为49.8m的广州体育馆等。世界上采用钢筋混凝土建造的最最高的高层建筑是美国芝加哥水塔广场塔楼，共76层，高262m。联邦德国飞机库的预应力混凝土屋面梁的跨度达90m。

钢筋混凝土结构在桥梁工程、水工及港口工程、地下工程、海洋工程、国防工程中也得到了广泛的应用，随着我国社会主义建设事业的蓬勃发展，钢筋混凝土结构的应用将越来越广泛。

0-4 砌体结构的特点

以砖、石或砌块为块材用砂浆砌筑而成的结构叫砌体结构。由于砌体是由各种块材用砂浆粘结而成的，因而砌体的受力性能有以下两个主要特点。一是砌体的抗压强度低于块材的抗压强度，这是由于块材不平整、不规则，砂浆强度较低，灰缝厚度和密实度不均匀，使块材的抗压强度不能充分发挥的缘故。二是砌体在拉、弯、剪受力状态下，破坏一般都发生在砂浆和块材的粘结面上，因而抗拉、抗弯和抗剪强度将取决于砂浆和块材间的粘结强度。该强度较砌体抗压强度小得多，故当不用钢筋加强时，砌体只适用于轴心受压或偏心距较小的偏心受压构件。

砌体结构具有就地取材，造价低廉、隔热保温、容易施工等优点。但也存在着自重、强度低、抗震性能差等缺点。

0-5 砌体结构发展简况及其应用

石砌体和砖砌体结构都是古老的结构形式，有几千年的悠久历史。我国古代劳动人民对砖石砌体结构的发展作出了很多贡献。目前保存下来的砖石建筑物很多。例如举世闻名的万里长城，城墙高约 12m，宽约 7-10m，绵延 2300km。河南登封县嵩山嵩岳寺砖塔，平面为 12 角形，高 40m，共 15 层。河北赵县安济桥，为单孔空腹式石拱桥，净跨 37.37m，全长 50.80m，拱高 7.2m。世界上著名的古建筑也有很多是用砖石砌成的。例如埃及的大金字塔，罗马的大角斗场，君士坦丁堡的圣索菲亚大教堂等。

各种混凝土和硅酸盐砌块的生产和应用要比砖石迟得多，至今只有百余年的历史。

虽然我国砌体结构具有悠久的历史，但是在长期的封建统治和半封建半殖民地制度下，发展极为缓慢。

新中国成立后，随着社会主义建设的发展，砌体结构在计算理论、所用材料、结构形式、施工方法等各方面也得到了迅速的发展，成为应用较为广泛的一种结构形式。目前，我国一般六七层以下的住宅、宿舍等民用房屋的基础、内外墙、柱等构件，广泛采用砌体建造，已建成砌体为承重墙的 12 层楼房。在国外，已建成用砌体为承重墙的 20 层房屋。小型工业厂房也有用砌体墙、柱作承重结构的。砌体结构还可用于烟囱、水塔、贮仓、水池、地沟等小型构筑物。

根据砌体结构目前的应用和发展情况，在我国，今后相当长的时期内，它仍将是一种主要的结构形式，并还将不断地向前发展。砌体结构的发展趋向：在材料方面，要求块材轻质高强，要大力发展利用工业废料生产砌块，要求砂浆具有高粘结强度；在施工方面，要求采用机械化和工业化的方法；要进一步研究砌体结构的受力性能尤其是作为结构整体的抗震性能，不断开拓砌体结构的应用领域。

思 考 题

0-1 什么叫建筑结构？

0-2 什么叫作用？那些是直接作用？那些是间接作用？

0-3 建筑结构设计的任务是什么？

0-4 为什么钢筋和混凝土两种不同性质的材料能结合在一起共同工作？

0-5 试述钢筋混凝土结构的优缺点？

0-6 砌体结构的受力性能有那些特点？

0-7 举例说明钢筋混凝土和砌体结构在民用和工业房屋中的应用。

第一章 钢筋和混凝土的力学性能

1-1 钢筋的力学性能

1-1-1 钢筋的种类、级别及型式

钢筋混凝土结构中所用的钢筋，按其加工方法的不同分为热轧钢筋和碳素钢丝两大类。以热轧钢筋为母材，经再加工可成为冷拉钢筋、热处理钢筋和低碳冷拔钢丝；碳素钢丝经再加工可成为刻痕钢丝和钢绞线。

热轧钢筋是用普通低碳钢（含碳量不大于 0.25%）和普通低合金钢经热轧制成的。根据钢筋的强度，可将其分为四级，即 I、II、III、IV 级。级别越高，钢筋的强度也越高，但塑性越差。I 级为普通低碳钢，最小直径为 6mm。II、III、IV 级为普通低合金钢，最小直径一般为 10mm。各种级别热轧钢筋的符号和钢号列于表 1-1。

表 1-1 各种级别热轧钢筋的符号和钢号

热轧钢筋级别	符号	钢 号
I	ϕ	A3、AY3
II	ϕ	20MnSi、20MnNb(b)
III	ϕ	25MnSi
IV	ϕ	40Si2MnV、45SiMnV、45Si2MnTi

冷拉钢筋是由热轧钢筋经冷拉而成的，其屈服强度高于相应级别热轧钢筋的屈服强度，也分为 I、II、III、IV 级。它们的符号分别是 ϕ' 、 ϕ' 、 ϕ' 、 ϕ' 。

热处理钢筋是将强度级别相当于 IV 级的热轧钢筋经过加热、淬火和回火等调质处理的钢筋。热处理钢筋的强度比 IV 级钢高得多，而塑性降低不多。其钢号有三种：40Si2Mn ($d=6.0\text{mm}$)、48Si2Mn ($d=8.2\text{mm}$)、45Si2Cr ($d=10.0\text{mm}$)。其符号为 ϕ' 。

冷拔低碳钢丝是用直径为 6mm 的 I 级热轧钢筋通过硬质合金拔丝模上比钢筋直径稍小的锥形拔丝孔，强行拉拔而成（图 1-1）。拉拔次数越多，直径就越小，强度就越高。冷拔低碳钢丝分为甲、乙两级，甲级必须逐盘检验，并根据检验结果按抗拉强度分为 I、II 两组，直径有 4mm 和 5mm 两种；乙级仅要求分批检验，直径为 3~5mm。冷拔低碳钢丝的符号为 ϕ^b 。

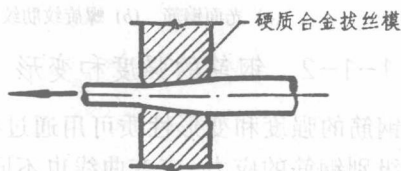


图 1-1 钢筋冷拔

碳素钢丝是用高碳钢（含碳量 0.7%~1.4%）经冷拔、回火等工艺制成。碳素钢丝的

直径为 4mm 和 5mm，直径越小，强度越高。其符号为 Φ^s 。

刻痕钢丝是用 5mm 的碳素钢丝进行表面刻痕处理制成。刻痕后的表面如图 1-2 所示。刻痕可改善钢丝和混凝土间的粘结性能，但强度略有降低。其符号为 Φ^k 。

钢绞线是将 7 根碳素钢丝用绞盘绞成绳状（图 1-3）其标志直径为截面外接圆的直径，规格有 9.0、12.0、15.0mm 三种，分别由 7 根直径为 3、4、5mm 的碳素钢丝绞成。其符号为 Φ^j 。

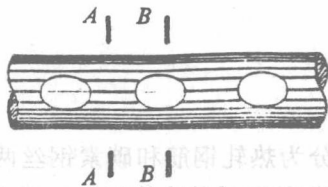


图 1-2 刻痕钢丝



图 1-3 钢绞线

钢筋按其外形不同，还可分为光面钢筋（图 1-4a）和变形钢筋两种。Ⅰ级钢筋是光面钢筋，Ⅱ～Ⅳ级钢和热处理钢筋是变形钢筋，低碳冷拔钢丝和碳素钢丝是光面钢丝。变形钢筋表面轧成有规律的凸纹、两条纵肋和等距离分布的横肋。横肋肋纹有与纵肋相交的螺旋纹、人字纹（图 1-4b、c）和与纵肋相交的月牙纹（图 1-4d）。后者可避免纵横肋相交处的应力集中现象，从而可改善钢筋的疲劳性能，还具有在轧制过程中不易卡辊的优点，但与混凝土的粘结强度略有降低。

直径为 10~40mm 的钢筋按直条供应时，长度通常为 6~12m。直径为 6~10mm 的钢筋及钢丝通常按盘圆供应。

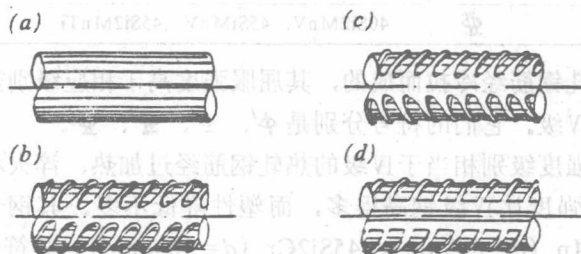


图 1-4 钢筋形状

(a) 光面钢筋 (b) 螺旋纹肋纹钢筋 (c) 人字纹肋纹钢筋 (d) 月牙纹肋纹钢筋

1-1-2 钢筋的强度和变形

钢筋的强度和变形性质可用通过拉伸试验所得的应力-应变曲线来表示。不同种类、不同级别钢筋的应力-应变曲线也不同。热轧钢筋和冷拉钢筋的应力-应变曲线是有明显流幅的，热处理钢筋和钢丝的应力-应变曲线则无明显的流幅。

有明显流幅钢筋的典型拉伸应力-应变曲线如图 1-5 所示。在 a 点以前，材料处于弹性阶段，应力与应变成正比，其比值即为钢筋的弹性模量 E_s 。对应于 a 点的应力称为比例极限。 a 点以后，应变增加变快，到达 b 点，钢筋开始屈服，由于 ab 段长度不大，习

惯上将其作为直线 oa 的延长线考虑。钢筋屈服后, 开始出现塑性流动, 即应力不增加而应变却有较大的增加, 对应于 b 点的应力称为屈服强度, 水平段 bc 称为流幅或屈服台阶。过 c 点, 钢筋又恢复部分弹性, 应力沿曲线上升至最高点 d , 对应于 d 点的

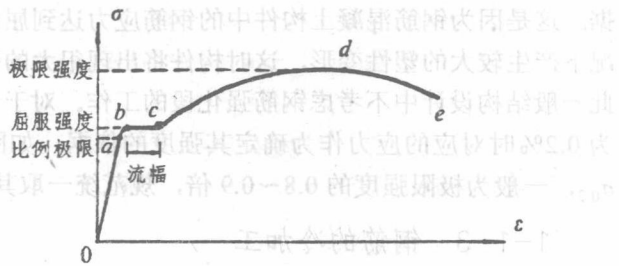


图 1-5 有明显流幅钢筋的应力—应变曲线

应力称为极限强度, cd 段称为强化阶段。过了 d 点, 钢筋在薄弱处发生局部颈缩现象, 塑性变形迅速增加, 应力随之下降, 到达 e 点时试件断裂。断裂后的残余应变称伸长率 δ 。I ~ IV 级热轧钢筋的应力—应变曲线如图 1-6 所示, 由图可知, 随着级别的提高, 钢筋的强度亦增加, 但伸长率降低。

无明显流幅钢筋的典型拉伸应力—应变曲线如图 1-7 所示, 无明显流幅也无屈服强度。这类钢筋的极限强度一般都较高, 但伸长率与有明显流幅的钢筋相比要小得多。

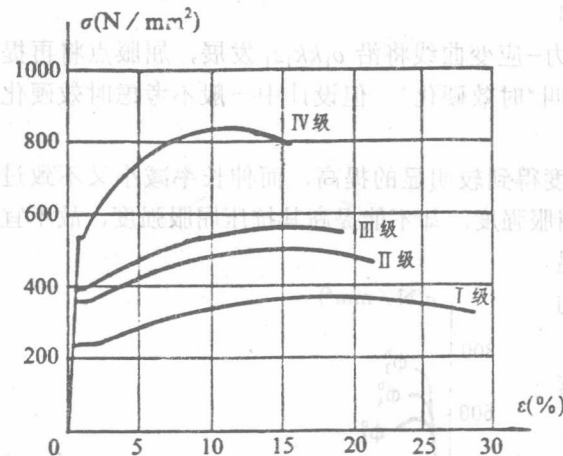


图 1-6 各级热轧钢筋的应力—应变曲线

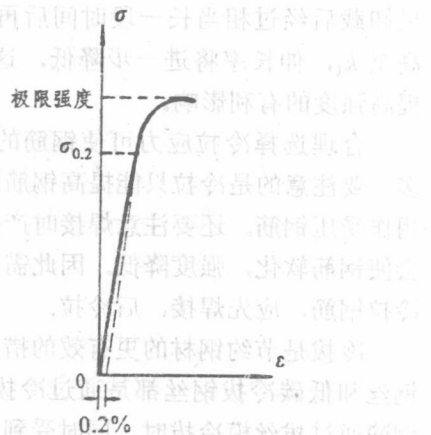


图 1-7 无明显流幅钢筋的应力—应变曲线

伸长率能反映钢筋的变形能力即塑性性能, 另一个检验钢筋塑性性能的方法是冷弯试验, 如图 1-8 所示。图中 D 为弯心直径, α 为钢筋的冷弯角度, 钢筋按规定的 D 和 α 冷弯后如无裂纹、起层、断裂, 表明该钢筋符合冷弯性能的要求。

对有明显流幅的钢筋应检验屈服强度、极限强度、伸长率和冷弯性能四项指标; 对无明显流幅的钢筋则只检验后三项指标。

表示各类钢筋在弹性阶段应力与应变关系的弹性模量 E , 见附表 5。

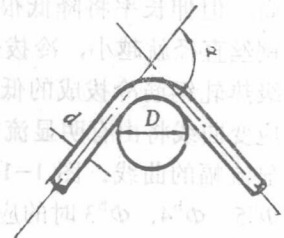


图 1-8 钢筋的冷弯试验

钢筋混凝土结构计算时, 对于有明显流幅的钢筋取其屈服强度作为确定其强度的依

据。这是因为钢筋混凝土构件中的钢筋应力达到屈服强度后，它将在荷载基本不增加的情况下产生较大的塑性变形，这时构件将出现很大的裂缝和变形，以致不能使用或破坏。因此一般结构设计中不考虑钢筋强化段的工作。对于无明显流幅的钢筋，则取使其残余应变为 0.2% 时对应的应力作为确定其强度的依据，如图 1-7 所示。该应力称为条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ，一般为极限强度的 0.8~0.9 倍，规范统一取其为极限强度的 0.8 倍。

1-1-3 钢筋的冷加工

为了节约钢材，常用冷拉和冷拔的方法来提提高热轧钢筋的强度。

冷拉是将钢筋张拉到超过屈服强度的某一应力，如图 1-9 中的 k 点，此时的应力称冷拉应力，对应的应变称冷拉率。然后卸载，卸载时的应力-应变曲线将沿与 bo 大致平行的 ko_1 返回， oo_1 为残余变形。如立即再拉，应力-应变曲线将沿 o_1kz 发展，屈服点将提高至 k ，但伸长率减小了 oo_1 。如果卸载后经过相当长一段时间后再拉，应力-应变曲线将沿 $o_1kk_1z_1$ 发展，屈服点将再提高至 k_1 ，伸长率将进一步降低，这种现象叫“时效硬化”。但设计中一般不考虑时效硬化提高强度的有利影响。

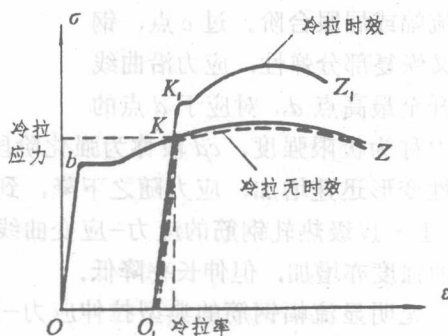


图 1-9 冷拉钢筋的应力-应变曲线

合理选择冷拉应力可使钢筋的屈服强度得到较明显的提高，而伸长率减小又不致过多。要注意的是冷拉只能提高钢筋的抗拉屈服强度，却不能提高其抗压屈服强度，故不宜用作受压钢筋。还要注意焊接时产生的高温会使钢筋软化，强度降低。因此需要焊接的冷拉钢筋，应先焊接，后冷拉。

冷拔是节约钢材的更有效的措施，碳素钢丝和低碳冷拔钢丝都是通过冷拔制成的。钢筋通过拔丝模冷拔时，同时受到纵向拉力和侧向挤压力的作用，长度增加，截面变细，内部组织结构发生变化，强度显著提高，但伸长率将降低很多。拉拔次数越多，钢丝直径就越小，冷拔效应就越显著。由 I 级热轧钢筋冷拔成的低碳冷拔钢丝的应力-应变曲线将由有明显流幅的曲线改变为无明显流幅的曲线。图 1-10 所示为直径 6mm 的 I 级钢筋分别经过一、二、三次冷拔，拔至 ϕ^b_5 、 ϕ^b_4 、 ϕ^b_3 时的应力-应变曲线。冷拔可以同时提高钢筋的抗拉强度和抗压强度。

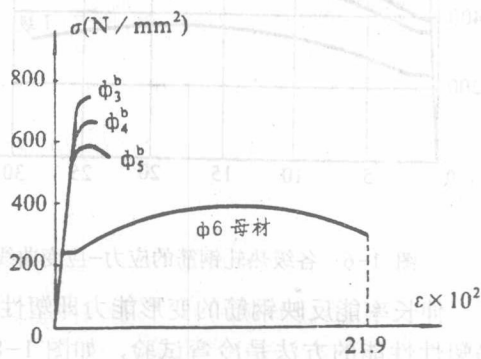


图 1-10 低碳冷拔钢丝的应力-应变曲线

1-1-4 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求

钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求主要有以下几点：

1. 具有较高的强度 此处强度主要是指屈服强度和条件屈服强度。它们是结构设计的依据,强度高,用钢量可减少,可取得较好的经济效益。此外,钢筋的屈强比(屈服强度与极限强度的比值)能表示结构的可靠性潜力,屈强比小则可靠性潜力大,但太小时,钢材强度的有效利用率太低。因此,为了保持适宜的屈强比,对极限强度也有一定的要求。

2. 具有较好的塑性 即要求钢筋在断裂前有足够的变形能力,能给人们以构件将要破坏的预兆。反映钢筋塑性性能的基本指标是伸长率 δ 和冷弯性能。

3. 与混凝土之间具有良好的粘结力 这是保证钢筋与混凝土共同工作的基础。

4. 具有较好的可焊性 要求钢筋在焊接后不产生裂纹和过大的变形,保证焊接后接头的受力性能良好。

在选用结构构件中的钢筋时,应符合下列规定:

钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构中的非预应力钢筋宜采用 I、II、III、IV 级钢筋和乙级冷拔低碳钢丝。

预应力钢筋宜采用碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线、热处理钢筋以及冷拉 II、III、IV 级钢筋。对中、小型构件中的预应力钢筋,可采用甲级冷拔低碳钢丝。

常用的钢丝直径为: 4、5mm。常用的钢筋直径为: 6、8、10、12、14、16、18、20、22、25、28、32mm。

1-2 混凝土的力学性能

1-2-1 混凝土的强度

混凝土是由水泥、砂、石和水按一定比例配合,经拌合、浇筑、振捣,凝固硬化而成的人造石材。混凝土的强度不仅与组成材料的质量和配合比有直接关系,而且与硬化条件、龄期、受力情况以及测定强度时所用的试件形状、大小和试验方法等也有关系。因此《规范》规定了测定各种强度的标准试验方法。混凝土的主要强度指标有:立方体抗压强度、轴心抗压强度和轴心抗拉强度。

一、混凝土立方体抗压强度与混凝土的强度等级

《规范》规定混凝土立方体抗压强度系指按照标准方法制作、养护(温度 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $> 90\%$ 的潮湿空气中)的边长为 150mm 的立方体试块,在 28 天龄期,用标准试验方法(加荷速度 $0.15\sim 0.25\text{N}/\text{mm}^2\cdot \text{S}$,试块表面不涂润滑剂)压至试块破坏时的应力(N/mm^2),用 f_{cu} 表示。试块的破坏形态如图 1-11a 所示,上下承压面附近试块的横向剥落较少,随离承压面距离的增加,横

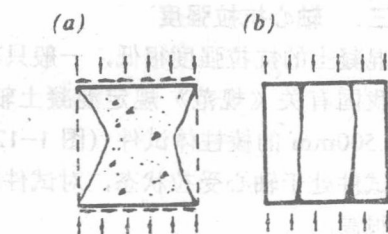


图 1-11 受压立方体试块的两种破坏形态

上下承压面与加压钢垫板之间会产生摩擦力,使试块的横向变形受到约束。这种横向约束