

HUNNINGTUJIEGOU JIQITIJIEGOU

高职高专建筑工程系列教材

混凝土结构及砌体结构 (上册)



● 主 编 沈 凡

重庆大学出版社

混凝土结构及砌体结构

(上册)

主 编 沈 凡

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是根据高等职业院校房屋建筑工程专业“混凝土结构及砌体结构”课程的教学要求编写的教材,全书分上、下两册,上册介绍混凝土结构基本构件,下册介绍混凝土结构。上册主要内容包括:绪论、混凝土结构用材料的力学性能、混凝土结构的设计方法、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受扭构件承载力计算、受压构件承载力计算、受拉构件承载力计算、钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算、预应力混凝土构件等,每章正文后均配有小结、思考题和习题。

本书也可作为高等专科学校房屋建筑工程专业的教材以及土木建筑工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构及砌体结构.上册/沈凡主编.一重庆:重庆大学出版社,2005.1

(高职高专建筑工程系列教材)

ISBN 7-5624-2876-X

I.混... II.沈... III.①混凝土结构—高等学校:技术学校—教材
②砌块结构—高等学校:技术学校—教材 IV.①TU37②TU36

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第131072号

混凝土结构及砌体结构

(上册)

主 编 沈 凡

责任编辑:彭 宁 穆安民 版式设计:彭 宁

责任校对:廖应碧 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.75 字数:368千

2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-2876-X

定价:21.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究。

前言

随着社会主义市场经济体制的建立,迅速发展的建筑业和建筑工程技术以及其对人才需求的多层次,加上高职高专教学改革不断深入,迫切需要更加明确地针对高职高专教育的培养目标,适合高职高专教学规律,符合高职高专教学基本要求的教材。本教材的编写是为了适应社会需求,多层次培养人才,以及高职高专“房屋建筑工程专业”教学改革对教材建设的迫切需要而组织的。

本教材的编写力求贯彻“少而精”的原则,加强基本理论、基本技能和基本知识的训练。编写时要做到内容精练、叙理清楚、体系完整、特色鲜明。文字力求通俗流畅,插图力求形神兼备。对于涉及国家标准和规范的内容,均以现行国标和规范为准,既以 GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》、GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》、GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》、GB 50204—2002《混凝土结构工程施工质量验收规范》相关内容为准。在编写中注意新技术、新材料的应用及介绍,理论联系实际,便于自学。

全书分上、下两册,上册介绍混凝土结构基本构件,下册介绍混凝土结构。上册主要内容包括:绪论、混凝土结构用材料的力学性能、混凝土结构的设计方法、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受扭构件承载力计算、受压构件承载力计算、受拉构件承载力计算、钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算、预应力混凝土构件等,每章正文后均配有小结、思考题和习题。重点讲授构件的设计方法和构造要求,注重用基本理论解决工程中的实际问题。

本书上册由沈凡主编。参加编写的有沈凡(绪论、第9章)、朱浪涛(第1、2章)、毛海涛(第3、4章)、李国钰(第5、7、8章)、杨翔(第6章)。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2004年9月

目 录

绪论	1
0.1 混凝土结构的基本概念	1
0.2 钢筋混凝土结构的主要优缺点	2
0.3 混凝土结构的应用及发展简况	3
0.4 混凝土结构课程的特点和学习方法	5
思考题	6
第1章 混凝土结构用材料的力学性能	7
1.1 钢筋	7
1.2 混凝土	11
1.3 钢筋与混凝土之间的粘结	24
本章小结	29
思考题	29
第2章 混凝土结构的设计方法	30
2.1 结构设计的基本要求	30
2.2 结构上的作用、作用效应和结构抗力	31
2.3 概率极限状态设计法	36
2.4 极限状态实用设计表达式	39
本章小结	42
思考题	43
第3章 受弯构件正截面承载力计算	44
3.1 截面配筋的基本构造要求	44
3.2 梁正截面受弯性能的试验分析	49
3.3 单筋矩形截面的承载力计算	57
3.4 双筋矩形截面的承载力计算	67
3.5 单筋T形截面的承载力计算	75
本章小结	88
思考题	88
习题	90
第4章 受弯构件斜截面承载力计算	93
4.1 无腹筋梁的抗剪性能	93

4.2	有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	96
4.3	保证斜面截面受弯承载力的构造要求	110
	本章小结	123
	思考题	124
	习题	124
第5章	受扭构件承载力计算	127
5.1	概述	127
5.2	矩形截面纯扭构件承载力计算	128
5.3	矩形截面剪扭构件承载力计算	132
5.4	矩形截面弯扭和弯剪扭构件承载力计算	133
5.5	构造要求	136
	本章小结	137
	思考题	137
	习题	138
第6章	钢筋混凝土受压构件承载力计算	139
6.1	概述	139
6.2	轴心受压构件承载力计算	140
6.3	偏心受压构件正截面承载力计算	145
6.4	偏心受压构件斜截面承载力计算	163
6.5	受压构件的构造要求	165
	本章小结	166
	思考题	166
	习题	167
第7章	受拉构件承载力计算	169
7.1	轴心受拉构件承载力计算	169
7.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	169
7.3	偏心受拉构件斜截面承载力计算	173
	本章小结	173
	思考题	174
	习题	174
第8章	钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算	175
8.1	概述	175
8.2	受弯构件的挠度验算	175
8.3	裂缝宽度验算	182
8.4	钢筋的代换	187
	本章小结	188
	思考题	188
	习题	189

第9章 预应力混凝土构件	190
9.1 预应力混凝土的基本概念	190
9.2 施加预应力的方法和锚具	193
9.3 预应力混凝土材料	197
9.4 张拉控制应力和预应力损失	198
9.5 预应力混凝土轴心受拉构件	205
9.6 预应力混凝土构件的构造	221
本章小结	224
思考题	225
习题	225
参考文献	227

绪 论

0.1 混凝土结构的基本概念

以混凝土为主要材料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、预应力混凝土结构和各种其他形式的加筋混凝土结构。

素混凝土结构是指不配置任何钢材的混凝土结构,常用于路面和一些非承重结构。

预应力混凝土结构是在结构或构件中配置了预应力钢筋并施加预应力的结构。

钢筋混凝土结构是由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构;当用型钢或用钢板焊成的钢骨架作为配筋的混凝土结构称为型钢混凝土结构或钢骨混凝土结构;在钢管内浇捣混凝土做成的结构称为钢管混凝土结构。

在多数情况下,混凝土结构是由钢筋和混凝土组成的钢筋混凝土结构。

钢筋和混凝土都是土木工程中重要的建筑材料,钢筋的抗拉和抗压强度都很高,但价格也相对较高;混凝土的抗压强度较高而抗拉强度却很弱。为了充分发挥材料的性能,把钢筋和混凝土这两种材料按照合理的方式结合在一起共同工作,使钢筋主要承受拉力,混凝土主要承受压力,就组成了钢筋混凝土。

图0.1(a)为一用素混凝土制成的简支梁,由试验可知,由于混凝土抗拉强度很低,在不大的荷载作用下,梁下部受拉区边缘的混凝土即出现裂缝,而受拉区混凝土一旦开裂,裂缝迅速发展,梁瞬时断裂而破坏。此时受压区混凝土的抗压强度还远远没有充分利用,梁的承载力很低。

如果在梁的底部受拉区配置抗拉强度较高的钢筋(图0.1(b)),形成钢筋混凝土梁,当荷载增加到一定值时,梁的受拉区仍会开裂,但钢筋可以代替混凝土承受拉力,裂缝不会迅速发展

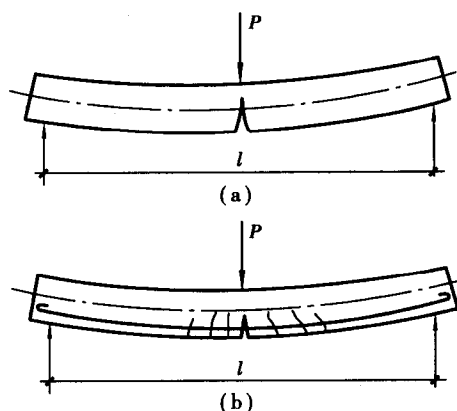


图0.1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁的破坏情况
(a)素混凝土梁;(b)钢筋混凝土梁

展,梁的承载能力还会继续提高。如果配筋适当,梁可以在较大的荷载作用下才被破坏,破坏时钢筋的应力可以达到屈服强度,受压区混凝土的抗压强度也能得到充分利用。而且在破坏前,裂缝充分发展,梁的变形迅速增大,有明显的破坏预兆。因此,在混凝土适当的位置配置一定形式和数量的钢筋形成钢筋混凝土构件后,可以收到下列效果:

- 1) 结构的承载能力有很大的提高;
- 2) 结构的受力性能得到显著的改善

钢筋和混凝土是两种物理力学性能很不相同的材料,它们能够有效地结合在一起共同工作的主要原因是:

1) 混凝土硬化后,钢筋和混凝土之间存在粘结力,使两者之间能传递力和变形。粘结力是使这两种不同性质的材料能够共同工作的基础。

2) 钢筋和混凝土两种材料的线膨胀系数接近,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,所以当温度变化时,钢筋和混凝土的粘结力不会因两者之间过大的相对变形而破坏。

3) 混凝土对钢筋具有良好的保护作用,能够保证结构的耐久性,使钢筋与混凝土长期可靠地工作。

0.2 钢筋混凝土结构的主要优缺点

钢筋混凝土结构除了比素混凝土结构具有较高的承载力和较好的受力性能以外,与其他结构相比还具有下列优点:

1) 就地取材。钢筋混凝土结构中,砂和石料所占比例很大,水泥和钢筋所占比例较小,砂和石料一般可以由建筑工地附近供应。另外还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料。

2) 节约钢材。钢筋混凝土结构的承载力较高,大多数情况下可用来代替钢结构,因而节约钢材。

3) 耐久性好。钢筋埋放在混凝土中,受混凝土保护不易发生锈蚀,维修费用也很少,因而提高了结构的耐久性。

4) 耐火性好。当火灾发生时,钢筋混凝土结构不会像木结构那样被燃烧,由于有混凝土作为保护层,也不会像钢结构那样很快软化而破坏。

5) 可模性好。钢筋混凝土结构可以根据需要浇捣成任何形状。

6) 整体性好。现浇式或装配整体式钢筋混凝土结构的整体性好,刚度大,对抗震、抗爆有利。

钢筋混凝土结构也具有下述主要缺点:

1) 自重。钢筋混凝土的重度约为 25 kN/m^3 ,比砌体和木材的重度都大。尽管比钢材的重度小,但结构的截面尺寸比钢结构的大,因而其自重远远超过相同跨度或高度的钢结构。这对大跨度结构、高层建筑结构以及抗震不利,也给运输和施工吊装带来困难。

2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度非常低,普通钢筋混凝土结构经常带裂缝工作,抗裂性较差,一旦损坏修复比较困难。尽管裂缝的存在并不一定意味着结构发生破坏,但是它影响结构的耐久性和美观。当裂缝数量较多和开展较宽时,还将给人造成不安全感。

综上所述不难看出,钢筋混凝土结构的优点远多于其缺点。因此,它已经在房屋建筑、地下结构、桥梁、铁路、隧道、水利、港口等工程中得到广泛应用。而且,随着科学技术的发展,上述缺点已在一定程度上得到了克服和改善。如采用轻质混凝土可以减轻结构自重,采用预应力混凝土可以提高结构或构件的抗裂性能,采用植筋或粘钢等技术可以较好地对发生局部损坏的混凝土结构或构件进行修复等。

0.3 混凝土结构的应用及发展简况

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 年的历史,与砌体结构、木结构、钢结构相比,是一种出现较晚的结构形式。但是由于混凝土结构具有很多明显的优点,使其在各方面的应用发展很快,现已成为世界各国占主导地位的结构。

0.3.1 混凝土结构的应用

混凝土结构的应用范围在不断地扩大,已从工业与民用建筑、交通设施、水利水电建筑和基础工程扩大到了近海工程、海底建筑、地下建筑、核电站安全壳等领域,甚至已开始构思和实验用于月面建筑。随着轻质高强材料的使用,在大跨度、高层建筑中的混凝土结构越来越多。

我国是使用混凝土结构最多的国家,在高层建筑和多层框架中大多采用混凝土结构。在民用建筑中也采用了定型化、标准化的装配式钢筋混凝土构件。已建成的 88 层的上海金茂大厦,高 420.5 m,是我国目前最高的高层建筑。电视塔、水塔、水池、冷却塔、烟囱、贮罐、筒仓等特殊构筑物也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土,上海电视塔高 468 m,其高度为亚洲第一。此外,在大跨度的公共建筑和工业建筑中,钢筋混凝土桁架、门式刚架、拱、薄壳等结构形式也有广泛应用。在国外,朝鲜平壤 105 层的柳京饭店高达 319.8 m,加拿大多伦多的预应力混凝土电视塔高达 549 m,是有代表性的钢筋混凝土高层建筑物和预应力混凝土构筑物。

在铁路、公路、城市的立交桥、高架桥、地铁隧道,以及水利港口等交通工程中用钢筋混凝土建造的水闸、水电站、船坞和码头已是星罗棋布。正在兴建的长江三峡水利枢纽工程,大坝高 186 m,坝体混凝土用量达 1527 万 m^3 ,是世界上最大的水利工程。随着改革开放的深入,我国混凝土结构的应用将更加广泛,更加丰富多彩。

0.3.2 混凝土结构发展概况

从 1850 年到 20 世纪 20 年代,可以算混凝土结构发展的初步阶段。从 20 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,并应用于工程实践,使混凝土结构进入了现代化的阶段。

(1) 材料方面

混凝土材料主要发展方向是高强、轻质、耐久、提高抗裂性和易于成型,钢筋的发展方向是高强、较好的延性和较好的粘结锚固性能。

目前国内常用的混凝土强度等级为 20 ~ 40 N/mm^2 ,国外常用的强度等级为 60 N/mm^2 。在实验室内,我国已制成 100 N/mm^2 以上的混凝土,在工程应用中将达到 80 N/mm^2 。高效能减水剂的应用更加促进了混凝土强度的提高。近年来国外采用附加减水剂的方法已制成强度

为 200 N/mm^2 以上的混凝土。改善混凝土性能的另一个重要方面是减轻混凝土的自重。从 20 世纪 60 年代以来,轻骨料(陶粒、浮石等)混凝土和多孔(主要是加气)混凝土得到迅速发展,其重度一般为 $14 \sim 18 \text{ kN/m}^3$,而普通混凝土的重度为 25 kN/m^3 。用轻集料混凝土制作墙、板时,不但可以承重,而且建筑物理性能也优于普通混凝土。

我国用于普通混凝土结构的钢筋强度已达 435 N/mm^2 ,在中等跨度的预应力构件中将采用强度为 $800 \sim 1370 \text{ N/mm}^2$ 的中强螺旋肋钢丝,在大跨度的预应力构件中将采用强度为 $1570 \sim 1860 \text{ N/mm}^2$ 的高强钢丝和钢绞线。试验结果显示,中强和高强螺旋肋钢丝不仅强度高、延性好,而且与混凝土的粘结锚固性能也优于其他钢筋。为了提高钢筋的防腐性能,带有环氧树脂涂层的热轧钢筋已开始在某些有特殊防腐要求的工程中应用。轻质高强材料的应用,为高层建筑和大跨度结构的发展提供了有利条件。

(2) 结构方面

预应力混凝土是 20 世纪工程结构的重大发明之一,现在已有先张法、后张法、无粘结预应力和体外张拉等技术,预应力技术将来还会有重大发展。在锚具方面将发展高效而耐久的锚夹具,在施加预应力方面也有新的技术出现,近期在国内外已研究将预应力用于组合结构。

钢和混凝土组合结构近年来应用范围逐渐扩大。在约束混凝土概念的指导下,钢管混凝土柱、外包钢混凝土柱已在高层建筑、地下铁道、桥梁、火电厂厂房以及石油化工企业构筑物中应用。钢—混凝土组合梁、钢骨混凝土(劲性钢筋混凝土)构件,由于其具有强度高、截面小、延性好以及简化施工等优点,今后也将得到更加广泛的应用。

(3) 施工技术

在混凝土结构施工过程中,施工技术的改进起了很大作用。预应力技术的发明使混凝土结构的跨度大大增加,滑模施工法的发明使高耸结构和储仓、水池等特种结构的施工进度大大加快。泵送混凝土技术的出现使高层建筑、大跨桥梁可以方便地整体浇注。蒸汽养护法使预制构件成品出厂时间大为缩短。喷射混凝土、碾压混凝土等施工技术也日益广泛地应用于公路、水利工程中。

在模板方面,除了目前使用的木模板、钢模板、竹模板、硬塑料模板外,今后将向多功能发展。发展薄片、美观、廉价又能与混凝土牢固结合的永久性模板,将使模板可以作为结构的一部分参与受力,还可省去装修工序。透水模板的使用,可以滤去混凝土中多余的水分,大大提高混凝土的密实性和耐久性。

在钢筋的绑扎成型方面,正在大力发展各种钢筋成型机械及绑扎机具,以减少大量的手工操作。钢筋的连接方面,除了现有的绑扎搭接、焊接、螺栓及挤压连接方式外,随着化工胶结材料的发展,将来胶接方式也会有较大发展。

(4) 计算理论与设计方法方面

混凝土结构基本理论和设计方法也在不断发展中。20 世纪 30 年代以前,将钢筋混凝土视为理想弹性材料,按材料力学的允许应力法进行设计计算。但从 20 世纪初即开始了对钢筋混凝土构件考虑材料塑性性能的研究。前苏联在 1938 年颁布了世界上第一本按破损阶段设计钢筋混凝土构件的规范,标志着钢筋混凝土构件承载力计算的实用方法进入了一个新的发展阶段。

在结构的安全度及可靠度设计方法方面,20 世纪 50 年代以前,基本上处于经验性的允许应力法阶段。20 世纪 50 ~ 60 年代,世界各国逐步采用半经验半概率的极限状态设计法。20

世纪 70 年代以来,以概率论数理统计学为基础的结构可靠度理论有了很大的发展,使结构可靠度的近似概率法进入了工程设计中。

近十年来,随着我国经济建设的加快,混凝土结构学科科研的新进展,在工程建设领域出现了许多新技术和新材料,而且随着人民生活水平的提高,对房屋建筑结构可靠性、耐久性的要求也进一步提高。新《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)反映了近十年来在工程建设中的新经验和混凝土结构学科新的科研成果,标志着我国混凝土结构的计算理论和设计水平又有了新的提高。新《规范》还明确了工程设计人员必须遵守的强制性条文,新《规范》的颁布实施必将促进我国混凝土结构设计水平进一步提高。本教材主要介绍新《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)的内容。

0.4 混凝土结构课程的特点和学习方法

本课程从学习钢筋混凝土材料的力学性能和以概率理论为基础的极限状态设计方法开始,然后对各种钢筋混凝土构件的受力性能、设计计算方法及配筋构造进行讨论,如受弯构件正截面和斜截面承载力计算,受扭构件承载力计算,受压和受拉构件承载力计算,受弯构件变形和裂缝宽度验算以及预应力混凝土构件的计算等。然后学习钢筋混凝土楼盖设计方法和单层工业厂房、多层及高层建筑混凝土结构的设计方法。

学习本课程时应注意以下特点:

1) 钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种力学性能不同的材料组成的复合材料,它与以往学过的材料力学中单一理想的弹性材料不同,所以材料力学公式可以直接应用的不多。为了对钢筋混凝土的受力性能和破坏特性有较好的了解,首先要掌握好钢筋和混凝土材料的力学性能。

2) 钢筋混凝土既然是一种复合材料,就存在着两种材料的数量比例和强度搭配问题,超过一定范围,构件的受力性能就会改变,不能正常使用。以钢筋混凝土简支梁为例,随着受拉区配置的纵向受拉钢筋的增加,梁的破坏形态可能由受拉钢筋先屈服而变为受压区混凝土先压碎。

3) 钢筋混凝土材料的力学性能和构件的计算方法都是建立在试验研究基础上的,许多计算公式都是在大量试验资料的基础上用统计分析方法得出的半理论半经验公式。这些公式的推导并不像数学或力学公式那样严谨,但却能较好地反映钢筋混凝土的真实受力情况。

4) 学习本课程是为了在工程建设中进行混凝土结构的设计,它包括方案、材料选择、截面形式、配筋、构造措施等。结构设计是一个综合问题,要求做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。同一构件在相同的荷载作用下,可以有不同的截面形式、尺寸、配筋方法及配筋数量。设计时需要进行综合分析,结合具体情况确定最佳方案,以获得良好的技术经济效果。所以在学习过程中,要学会对多种因素进行综合分析的设计方法。

5) 学习本课程时,要学会运用现行的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)。设计规范是国家颁布的有关计算和构造要求的技术规定和标准,规范条文尤其是强制性条文是设计中必须遵守的带法律性的技术文件。这将使设计方法达到统一化和标准化,从而有效地贯彻国家的技术经济政策,保证工程质量。

混凝土结构是我国工程建设中应用最广泛的一种结构,在现代化建设事业中起着重要作用。随着改革开放的不断深入,中国的建筑业必将走向世界,所以应该大力开展混凝土结构的科学研究,努力提高生产技术水平,采用先进的设计理论,推广新材料、新工艺,使我国的混凝土结构理论和设计水平尽快达到国际先进水平。

思考题

- 0.1 在素混凝土构件中配置一定形式和数量的钢材后,结构的性能将发生什么样的变化?
- 0.2 钢筋和混凝土这两种不同材料能够有效结合在一起共同工作的主要原因是什么?
- 0.3 钢筋混凝土结构有哪些优点和缺点?如何克服这些缺点?
- 0.4 本课程主要包括哪些内容?学习本课程要注意哪些问题?

第 1 章

混凝土结构用材料的力学性能

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土这两种性质不相同的材料组成的,钢筋混凝土结构构件受力性能与钢筋和混凝土这两种材料的力学性能密切相关。为了更好的掌握钢筋混凝土构件的受力性能,正确地进行钢筋混凝土结构的设计,必须对钢筋和混凝土的力学性能及其相互作用有较深入的了解。

1.1 钢 筋

1.1.1 钢筋的品种、级别与形式

混凝土结构中使用的钢材按化学成分的不同,可分为碳素结构钢和普通低合金钢两大类。

碳素结构钢的化学成份主要是铁元素,还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素。根据含碳量的多少,碳素结构钢又可分为低碳钢(含碳量 $< 0.25\%$),中碳钢(含碳量 $0.25\% \sim 0.6\%$),和高碳钢(含碳量 $0.6\% \sim 1.4\%$)。随着含碳量的增加,钢材的强度会提高,但塑性和可焊性将降低。硅、锰元素可以提高钢材的强度并使钢材保持一定的塑性;硫、磷是钢中的有害元素,使钢材易于脆断。

普通低合金钢除了含碳素钢各种元素外,还加入少量的硅、锰、钛、钒、铬等合金元素,使钢筋强度显著得到提高,塑性与可焊性也得到了明显的改善。目前我国普通低合金钢按加入元素种类可分为以下几种体系:锰系(20MnSi 、 25MnSi)、硅钒系($40\text{Si}_2\text{MnV}$ 、 45SiMnV)、硅钛系($45\text{Si}_2\text{MnTi}$)、硅锰系($40\text{Si}_2\text{Mn}$ 、 $48\text{Si}_2\text{Mn}$)、硅铬系($45\text{Si}_2\text{Cr}$)。

钢筋按生产加工工艺的不同,可分为热轧钢筋、热处理钢筋和钢丝三种。

热轧钢筋是由低碳钢、普通低合金钢在冶金厂直接在高温状态下热轧制成。它是一种软钢,其应力应变曲线有明显的屈服点和流幅,断裂时有“颈缩”现象,伸长率比较大。热轧钢筋根据力学指标的高低,可分为 HPB235 级(热轧光面钢筋)、HRB335 级(热轧变形钢筋)、HRB400(热轧变形钢筋)和 RRB400 级(余热处理钢筋)四个种类。

热处理钢筋是将特定强度的热轧钢筋再经过加热、淬风和回火处理后制成,热处理后钢筋强度得到了较大幅度的提高,而塑性降低并不多。热处理钢筋是一种硬钢,其应力应变曲线没

有明显的屈服点,伸长率小,质地硬脆。热处理钢筋有 $40\text{Si}_2\text{Mn}$ 、 $48\text{Si}_2\text{Mn}$ 和 $45\text{Si}_2\text{Cr}$ 三种。

钢丝包括光面钢丝、消除应力钢丝(将钢筋拉拨后校直,经中温回火消除应力并稳定化处理的光面钢丝)、螺旋肋钢丝(以普通低碳钢或低合金钢热轧的圆盘条为母材,经冷轧减径后在其表面冷轧成二面或三面有月牙肋的钢筋)、刻痕钢丝(在光面钢丝的表面上进行机械刻痕处理)和钢绞线(用光面钢丝绞织而成)等。

钢筋按其外形的不同,可分为光面钢筋和变形钢筋。变形钢筋有螺纹、人字纹和月牙纹,目前常用的是月牙纹的,它避免了螺纹钢筋纵横肋相交处的应力集中现象,使钢筋的疲劳强度和冷弯性能得到一定的改善,而且还具有在轧制过程中不易卡辊的优点。通常变形钢筋直径不小于 10 mm ,光面钢筋的直径不小于 6 mm ,钢筋的形式见图 1.1。

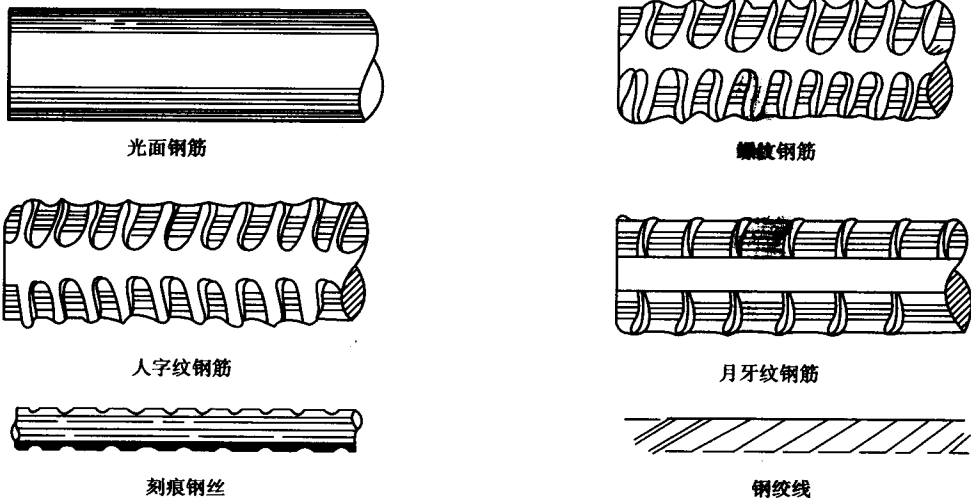


图 1.1 钢筋的形式

1.1.2 钢筋的强度与变形

(1) 钢筋的应力-应变曲线

钢筋的强度与变形性能可以用拉伸试验得到的应力-应变曲线来说明。钢筋的应力-应变曲线,有的有明显的流幅(一般称作软钢),例如热轧低碳钢和普通热轧低合金钢所制成的钢筋;有的却没有明显的流幅(一般称作硬钢),如高碳钢制成的钢筋。

图 1.2 是有明显流幅钢筋的应力-应变曲线。从图中可以看到,应力值在 A 点以前,应力应变成正比关系,与该点对应的应力称为比例极限。超过 A 点以后,应变较应力增长为快。达到 B' 点后钢筋开始塑流, B' 点称为屈服上限,它与加载速度、截面形式、试件表面光洁度等因素有关,但是该点的值通常是不稳定的。 B 点称为屈服下限,该点相对比较稳定,常用来作为屈服强度的取值点,该点对应的应力称为屈服强度,这时应力基本不增加而应变急剧增长,曲线接近水平线,曲线延伸至 C 点, B 点到 C 点的水平距离的大小称为流幅或屈服台阶。过 C 点以后,应力继续上升,钢筋抗拉能力有所提高,随曲线上升至最高点 D ,与 D 点对应的应力称为极限强度, CD 段称为钢筋的强化阶段。过了 D 点,试件薄弱处的截面将会显著缩小,发生局部颈缩,变形迅速增加,应力随之下降,达到 E 点时试件断裂, DE 段称为颈缩阶段。

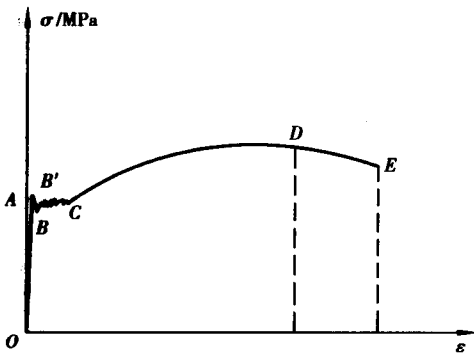


图 1.2 软钢的应力-应变曲线

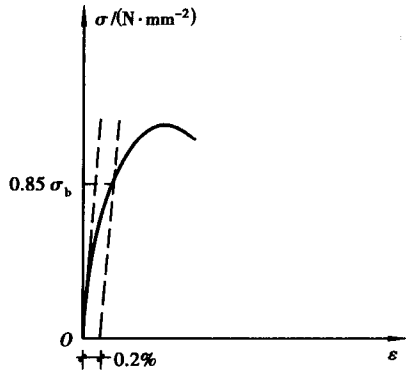


图 1.3 硬钢的应力-应变曲线

对于没有明显流幅或屈服点的钢筋的应力-应变曲线如图 1.3 所示,其强度很高,但延伸率大为减小,塑性性能降低。

(2) 钢筋的强度和变形

对于使用软钢的结构构件,由于构件中钢筋的应力到达屈服点后,会产生很大的塑性变形,使钢筋混凝土构件出现很大的变形和过宽的裂缝,以至不能使用,所以对有明显流幅的钢筋,在计算承载力时以屈服点作为钢筋的强度限值。

对于预应力钢筋、钢绞线、热处理钢筋等没有明显流幅的硬钢,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)中规定,设计上取相应于残余应变为 0.2% 的应力($\sigma_{0.2}$)作为假定屈服强度,或称条件屈服强度,取值为极限抗拉强度 σ_b 的 85%,见图 1.3。

下面给出普通钢筋的强度标准值和弹性模量,以供参考。

表 1.1 普通钢筋的强度标准值(N/mm²)

种 类		符号	d/(mm)	f_{yk}
热轧钢筋	HPB 235 (Q235)	ϕ	8 ~ 20	235
	HRB 335 (20MnSi)	Φ	6 ~ 50	335
	HRB 400 (20MnSiV, 20MnSiNb, 20MnTi)	Φ	6 ~ 50	400
	RRB 400 (20MnSi)	Φ^R	8 ~ 40	400

表 1.2 钢筋弹性模量($\times 10^5$ N/mm²)

种 类	E_s
HPB 235 级钢筋	2.1
HRB 335 级钢筋、HRB 400 级钢筋、RRB 400 级钢筋、热处理钢筋	2.0
消除应力钢丝(光面钢丝、螺旋肋钢丝、刻痕钢丝)	2.05
钢绞线	1.95

注:必要时钢绞线可采用实测的弹性模量

钢筋除了要有足够的强度外,还应具有一定的塑性变形能力。反映钢筋塑性性能的基本

指标是伸长率和冷弯性能。伸长率 δ_5 或 δ_{10} 是标距 $l = 5d$ 或 $l = 10d$ (d 为试件直径) 的钢筋试件拉断后的伸长值与原长的比率, 它反映了钢筋拉断前的变形能力。伸长率越大的钢筋(如有物理屈服点的钢筋)塑性越好, 在拉断前有足够的预兆, 属于延性破坏; 伸长率越小的钢筋(如无物理屈服点的钢筋)塑性越差, 拉断前变形小, 破坏突然, 属于脆性破坏。

冷弯是将钢筋绕一规定直径的辊进行弯曲, 冷弯的两个参数是弯心直径(即辊轴直径)和冷弯角度。当钢筋直径 $d \leq 25$ mm 时, 对不同类型钢筋的弯心直径 D 分别为 $1d$ 和 $3d$, 冷弯角度分别为 180° 和 90° 。在达到规定的冷弯角度时, 钢筋应不出现裂纹或断裂。因此冷弯性能可间接地反映钢筋的塑性性能和内在质量。

1.1.3 钢筋的冷加工

通过钢筋的冷加工工艺可以提高热轧钢筋等软钢的强度。常用的冷加工工艺有冷拉、冷拔和冷轧。

冷拉是将热轧钢筋拉到超过屈服强度进入强化阶段的某一应力进行张拉。张拉后, 经过一段时间钢筋的屈服点比原来的屈服点有所提高, 这种现象称为时效硬化。温度对时效硬化有很大的影响, 在一定的范围内, 温度越高其强度提高所需的时间越短。但是, 温度过高(450°C 以上)强度反而降低而塑性性能却有所增加, 温度超过 700°C , 钢筋会恢复到冷拉以前的力学性能。利用“时效硬化”, 既可使钢筋强度得到提高, 又能保持必要的延伸率, 可获得节约钢材的经济效益。但冷拉只能提高钢筋抗拉强度, 故不宜作受压钢筋。

冷拔是将热轧钢筋用强力拔过比其直径小的硬质合金拔丝模, 使其产生塑性变形, 拔成较细的钢丝。经过多次冷拔后, 钢丝由于受到过纵向拉力和横向压力的作用, 其抗拉强度和抗压强度比原来提高很多, 但其塑性降低。

冷轧是采用普通低碳钢或低合金钢热轧圆盘条为母材, 经冷拉或冷拔减径后, 在其表面轧成具有三面或二面月牙横肋的冷轧带肋钢筋。冷轧带肋钢筋强度与冷拔钢丝强度接近, 但塑性要好。因其表面带肋, 与混凝土的粘结能力比冷拔低碳钢丝强, 因而冷轧带肋钢筋是冷拔低碳钢丝的换代产品。

1.1.4 钢筋的选用原则

(1) 满足一定的强度要求

所谓钢筋强度是指钢筋的屈服强度及极限强度。钢筋的屈服强度是设计计算时的主要依据(对无明显流幅的钢筋, 取它的条件屈服点)。采用高强度钢筋可以节约钢材, 取得较好的经济效果。改变钢材的化学成分, 生产新的钢种可以提高钢筋的强度。另外, 对钢筋进行冷加工也可以提高钢筋的屈服强度。使用冷拔和冷拉钢筋时应符合专门规程的规定。

(2) 满足一定的塑性要求

要求钢材有一定的塑性是为了使钢筋在断裂前有足够的变形, 在钢筋混凝土结构中, 能给出构件将要破坏的预告信号, 同时要保证钢筋冷弯的要求, 通过试验检验钢材承受弯曲变形的能力以间接反映钢筋的塑性性能。钢筋的伸长率和冷弯性能是施工单位验收钢筋是否合格的主要指标。

(3) 具有良好的可焊性

可焊性是评定钢筋焊接后的接头性能的指标。可焊性好, 即要求在一定的工艺条件下钢