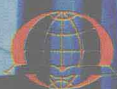


高等职业技术学院教材

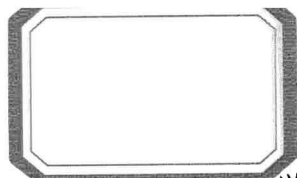
建筑结构

(上册)

储米萍 主编



海洋出版社



高等职业技术学院教材

建 筑 结 构

(上册)

储米萍 主编

海 洋 出 版 社

2000 年 · 北京

内 容 提 要

本书分上、下册,共十六章。主要介绍钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的知识,以钢筋混凝土结构为主。对预应力混凝土结构及钢筋混凝土构件的抗震设计也作了介绍。

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 / 储米萍编著. -北京:海洋出版社,2000.2
ISBN 7-5027-4950-0

I. 建... II. 储... III. 建筑结构 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 02068 号

海洋出版社 出版发行

(100081 北京海淀区大慧寺路 8 号)

地矿部保定勘察设计院印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月保定第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:26.25

字数:600 千字 印数:1—3200 册

定价:44.00 元(上、下册)

海洋图书印、装错误可随时退换

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职、高专教育人才培养工作的若干意见》等文件精神编写的。

全书分为钢筋混凝土结构、砌体结构及钢结构三大部分。其中钢筋混凝土结构是按照1997年颁布的中华人民共和国行业标准SL/T191—96《水工混凝土结构设计规范》编写的。内容包括基本构件的设计计算、肋形结构、预应力混凝土结构和钢筋混凝土构件的抗震设计。砌体结构内容包括基本构件设计计算及圈梁和过梁。钢结构包括材料和连接计算，钢梁和平面钢闸门简介。

本书从专业教学要求出发，力求突出理论知识的应用和实践能力的培养，并注意反映技术发展的最新成果，在阐述方法上尽量做到由浅入深，循序渐进。该书在每章后都附有一定数量的思考题和练习题，并在全书最后专设一章标准化练习题，这对学习、掌握有关知识有很大帮助。

本书的绪论、第二、三、四、十三、十六章由储米萍、孙纯淇编写；第五、六、八章由王建伟编写；第一章由孙秋萍编写；第九章由李乃宏编写；第七、十一章由孙五继编写；第十二章由郑万勇编写；第十四、十五章由杨帮柱编写；第十章由王俊编写。全书由储米萍主编，朱海堂主审。

对书中存在的缺点和疏漏，恳请广大读者批评指正。

作 者

2000年1月

绪 论

在工程建筑中,由构件组成的能承受“作用”的平面或空间体系,称为建筑结构。结构上的作用是指能使结构产生内力、应力、位移、应变、裂缝的各种原因的总称。根据其性质不同,作用可分为两类:

(1) 直接作用:直接以力的集结形式出现,施加在结构上的荷载。如恒载、活荷载、风荷载、水压、土压等。

(2) 间接作用:由于某些原因使结构间接地产生约束变形和外加变形。例如由于混凝土收缩,大气温度变化使结构产生的变形以及由于基础不均匀沉陷等原因使结构产生的变形。

一、建筑结构的分类

建筑结构按所用材料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。由于混凝土的抗拉强度远低于其抗压强度,一般素混凝土结构在以受压为主的结构中采用,如柱墩、挡土墙等。如果用素混凝土作受弯构件,就会在荷载不大的情况下,在受拉区断裂而破坏,这时混凝土的抗压强度还远远没有得到充分利用。如果在构件受拉区配置抗拉强度高的钢筋,用钢筋来代替开裂的混凝土承受拉力,从而使构件的承载力有很大的提高。当配置钢筋适当时,构件破坏时受拉钢筋应力达到屈服强度,受压区混凝土应变达到极限压应变,使两者材料的强度都得到充分利用。

钢筋和混凝土两种不同性质的材料之所以能有效地结合在一起共同工作,其主要原因有以下几点:

(1) 混凝土和钢筋之间有良好的粘结力,使两者牢固地粘结在一起。在荷载作用下,两者不致产生相对滑动而能整体工作。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的线膨胀系数非常接近,当温度变化时,不会因两种材料的长度变化不同而破坏它们的整体性。

(3) 混凝土保护层能有效地保护钢筋不生锈,从而使钢筋混凝土材料具有耐久性。

钢筋混凝土结构除了较合理地利用钢筋和混凝土两种材料的性能外,和其他材料的结构相比,还具有下列优点:

(1) 耐久性和耐火性好,维修费用低。

(2) 整体性好。尤其是现浇的整体式钢筋混凝土结构,整体性好,有利于抗震及防爆。

(3) 可模性好。可根据需要使用浇筑成各种形状的结构,结构造型灵活。

(4) 就地取材。钢筋混凝土中占比例较大的砂、石材料,一般可就地或就近取材,因而材料运输费用少,可以显著降低造价。

(5) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的各自优良性能,在一定范围内可以代替钢结构,从而可节约大量钢材并降低造价。

但钢筋混凝土也有下列缺点:

- (1) 自重比钢结构大,不利于建造大跨度结构及高层建筑。
- (2) 施工受气候和季节的影响,建造期一般较长。
- (3) 浇筑混凝土需要模板和支撑,因而耗费一定数量的木材和钢材。
- (4) 新旧混凝土不易连接,修补和加固工作比较困难。
- (5) 混凝土的抗拉强度低,易出现裂缝,抗裂性差。

钢筋混凝土结构在土木工程中应用极为广泛,各种工程结构都可采用钢筋混凝土建造。在水利水电、水运工程中,钢筋混凝土结构可用来建造水坝、隧洞衬砌、水电站厂房、机墩、蜗壳、尾水管、调压塔、水闸、船闸、码头、渡槽、涵洞等。在工业与民用建筑及交通运输工程中,可用来建造厂房、仓库、楼房、水池、桥梁、电视塔等。此外,它在地下工程、海洋工程以及一些特殊建筑和特种结构中也得到非常广泛的应用。

(二)砌体结构

砌体结构是指用砖、石料或砌块通过砂浆砌筑而成的结构。

砌体结构具有以下优点:

- (1) 就地取材,价格低廉。
- (2) 耐火性和耐久性好。
- (3) 施工方便。砌体砌筑时不需要模板和特殊的施工设备。
- (4) 保温和隔热性能好。

砌体结构的缺点有:

- (1) 自重大。砌体的强度较低,因而构件的截面尺寸大,材料用量多,自重大。
- (2) 砌体的砌筑基本上是手工方式,因而施工劳动量大。
- (3) 抗渗抗冻性差。在水工结构中常需另设混凝土防渗层。

此外,砖需用粘土制坯,占用农田,影响农业生产。

砌体结构一般仅适用于建筑受压的结构,在水工建筑物中普遍地用于修筑挡土墙、渡槽、拱桥、溢洪道、护坦、渠道护面等。在工业民用建筑中的墙、柱、基础都可采用砌体结构。

(三)钢结构

钢结构是以钢材制作的结构。钢结构具有以下优点:

- (1) 强度高,自重轻。
- (2) 质地均匀,可靠性高。钢材的组织结构均匀,接近于各向同性均质体,最符合目前所采用的计算方法对材料性能所作的基本假定,因而钢结构的理论计算结果比较符合实际受力情况,结构的可靠性高。
- (3) 工业化程度高。钢结构便于机械化制造,精确度较高,安装方便。
- (4) 密封性好。焊接钢结构可以做到完全密封。
- (5) 塑性和韧性好。适宜于承受振动和冲击荷载。

钢结构的主要缺点有:

- (1) 耐锈蚀性较差。
- (2) 耐火性较差。

钢材是国民经济各部门大量使用的紧俏材料,必须最大限度地节约钢材。一般常用于跨度大、高度大、荷载大、动力作用大的各种工程结构。如水利工程中的闸门、起重机结构、输电线路塔架等。也常用于可装拆搬迁的结构,如钢栈桥、钢模板等,此外,要求密封性好的压力

管道、贮液罐、贮气罐等,也常用钢材制作。

二、建筑结构的主要内容和特点

建筑结构包括以下内容:

(1) 钢筋混凝土结构。这部分内容主要叙述混凝土、钢材的基本力学性能,钢筋混凝土结构按概率极限状态的设计方法,钢筋混凝土结构构件的计算和一般构造要求,钢筋混凝土肋形结构及刚架结构的设计,对预应力混凝土结构、预制构件及钢筋混凝土构件的抗震设计也分别有专章讨论。

(2) 砌体结构。叙述砌体结构的基本计算原理,材料的力学性能,砌体结构构件的设计与计算。对砌体结构中的圈梁和过梁也作了介绍。

(3) 钢结构。讲述钢结构计算的基本原理,材料的受力性能,钢结构的连接计算。对钢梁和平面钢闸门也作了介绍。

建筑结构是水利水电类专业中的主要技术基础课程,学习本课程的主要目的是:掌握建筑结构基本构件设计计算方法和构造措施,为学习专业课和从事建筑结构设计打下良好的基础。

学习本课程应注意以下特点:

(1) 建筑结构是一门实验性学科。由于建筑材料的力学特性和强度理论异常复杂,目前建筑结构的很多计算公式是根据大量的试验研究成果建立的。学习时既要重视这种通过实验建立理论的方法,又要注意公式的适用范围和条件。

(2) 本课程同时又是一门结构设计课程,有很强的实践性。许多内容与我国现行的各类结构设计规范和工程实践密切联系,要搞好工程结构设计,除了有基础理论知识以外,还必须综合考虑材料、施工、经济、构造细节等各方面的因素。学习时应重视实践,熟悉和正确运用规范,并逐步培养对问题的综合分析和判断能力。此外,为了培养从事设计工作的能力,必须加强对数字计算、整理编写设计书、绘制施工图等基本技能的训练。

(3) 本课程要学习有关构造知识,构造“规定”是长期科学实践和工程经验的总结。在设计结构和构件时,计算与构造同样重要,因此,要充分重视对构造知识的学习。在学习过程中不必死记硬背构造的具体规定,但应注意弄懂其中的道理。通过平时的作业和课程设计逐步掌握一些基本构造知识。

目 录

上 册

前 言

绪 论

第一章 钢筋混凝土结构的材料	1
第一节 钢筋的品种及力学性能.....	1
第二节 混凝土的物理力学性能.....	4
第三节 钢筋与混凝土的粘结	10
第二章 钢筋混凝土结构设计原理	13
第一节 结构功能及其极限状态	13
第二节 极限状态设计法	14
第三节 荷载的标准值与材料强度的标准值	17
第四节 水工混凝土结构设计规范的实用设计表达式	19
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	25
第一节 受弯构件的截面形式和一般构造要求	25
第二节 受弯构件正截面的试验研究	28
第三节 单筋矩形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	31
第四节 双筋矩形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	44
第五节 T形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	52
第四章 钢筋混凝土受弯构件的斜截面承载力计算	66
第一节 受弯构件斜截面的破坏形态	67
第二节 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	69
第三节 钢筋混凝土梁的斜截面受弯承载力	81
第四节 钢筋骨架的构造要求	87
第五节 钢筋混凝土构件施工图	91
第六节 钢筋混凝土外伸梁设计例题	93
第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	101
第一节 受压构件的构造要求.....	102
第二节 轴心受压构件正截面承载力计算.....	104
第三节 偏心受压构件的破坏特征.....	107
第四节 大偏心受压构件正截面承载力计算.....	109
第五节 小偏心受压构件正截面承载力计算.....	116
第六节 矩形截面对称配筋的偏心受压构件.....	120
第七节 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算.....	122

第六章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	126
第一节 大小偏心受拉的界限.....	126
第二节 小偏心受拉构件的计算.....	127
第三节 大偏心受拉构件的计算.....	128
第四节 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算.....	131
第七章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	133
第一节 钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算.....	133
第二节 钢筋混凝土构件在弯、剪、扭共同作用下的承载力计算.....	138
第八章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	144
第一节 概述.....	144
第二节 抗裂验算.....	145
第三节 裂缝宽度验算.....	150
第四节 变形验算.....	159
第九章 钢筋混凝土肋形结构及刚架结构	165
第一节 概述.....	165
第二节 单向板肋形结构布置和计算简图.....	166
第三节 单向板肋形结构按弹性理论的计算.....	169
第四节 单向板肋形结构考虑塑性内力重分布的计算.....	172
第五节 单向板肋形结构的截面设计和构造要求.....	176
第六节 单向板肋形结构设计例题.....	183
第七节 双向板肋形结构的设计.....	202
第八节 钢筋混凝土刚架结构.....	209
第九节 钢筋混凝土牛腿设计.....	213
第十章 预应力混凝土结构	218
第一节 预应力混凝土的基本概念.....	218
第二节 施加预应力的方法.....	219
第三节 预应力混凝土的材料与张拉机具.....	221
第四节 预应力钢筋张拉控制应力及预应力损失.....	225
第五节 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析.....	230

下 册

第十一章 钢筋混凝土构件的抗震设计	235
第一节 建筑物抗震基本概念.....	235
第二节 抗震的概念设计.....	237
第三节 地震作用效应的计算.....	238
第四节 钢筋混凝土构件抗震设计的一般规定.....	242
第五节 钢筋混凝土框架的抗震设防.....	242
第六节 铰接排架柱的抗震设防.....	247
第七节 桥跨结构的抗震设防.....	248

第十二章 砌体材料和砌体的力学性能	251
第一节 砌体材料.....	251
第二节 砌体的种类及力学性能.....	256
第十三章 砌体结构构件的承载力计算	266
第一节 砌体结构的计算原理.....	266
第二节 受压构件的计算.....	268
第三节 局部受压的计算.....	279
第四节 轴心受拉、受弯、受剪构件的计算.....	288
第五节 墙、柱高厚比的验算	291
第六节 砌体结构中的圈梁与过梁.....	293
第十四章 钢结构材料及连接计算	299
第一节 钢结构的材料.....	299
第二节 钢结构的连接计算.....	305
第十五章 钢梁及平面钢闸门简介	325
第一节 钢梁.....	325
第二节 平面钢闸门.....	332
第十六章 标准化练习题	345
第一节 填空题.....	345
第二节 单项选择题.....	348
第三节 多项选择题.....	352
第四节 是非判断题.....	355
附录	358

第一章 钢筋混凝土结构的材料

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种不同性质的材料所组成。了解钢筋和混凝土材料的力学性能及其相互的作用,是掌握钢筋混凝土结构的受力性质和设计计算方法的基础。

第一节 钢筋的品种及力学性能

一、钢筋的品种

我国建筑工程中所用的钢筋(直径 $d \geq 6\text{mm}$ 的称为钢筋)有热轧钢筋、冷拉钢筋、冷轧带肋钢筋及热处理钢筋四种。热轧钢筋是将钢材在高温状态下轧制而成的,按强度分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个级别。冷拉钢筋是由热轧钢筋在常温状态下用机械拉伸而成的,由于冷拉后钢筋内部组织结构发生变化,其屈服强度能够提高,但塑性降低。冷拉钢筋也分为冷拉Ⅰ、冷拉Ⅱ、冷拉Ⅲ、冷拉Ⅳ四个级别。冷轧带肋钢筋是由热轧圆盘条(母材)经冷轧减小直径后在其表面冷轧成带有斜肋钢筋可明显提高屈服强度。冷轧带肋钢筋按其强度分为LL550、LL650、LL800三个级别。(第一个L和第二个L分别为“冷”与“肋”字的汉语拼音字头,后面数字表示钢筋抗拉强度标准值)。热处理钢筋是将热轧的螺纹钢筋经过加热、淬火和回火等调质工艺处理后制成,其强度大幅度提高,而塑性降低并不多。

直径 $d < 6\text{mm}$ 的称为钢丝,一般有碳素钢丝、刻痕钢丝及钢绞线等几种。

上述钢筋及钢丝按化学成分的不同,分为碳素钢和普通低合金钢两大类。其中Ⅰ级热轧钢筋和钢丝属于碳素钢;Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级热轧钢筋及热处理钢筋属于普通低合金钢。

碳素钢的机械性能与含碳量多少有关。含碳量增加,能使钢材强度提高,性质变硬,但也使钢材的塑性和韧性降低,焊接性能变差。碳素钢按其碳的含量分为低碳钢(含碳量小于0.25%)、中碳钢(含碳量0.25%~0.60%)和高碳钢(含碳量0.60%~1.4%)。用作钢筋的碳素钢主要是低碳钢和中碳钢。

如果炼钢时在碳素钢的基础上加入少量合金元素(一般不超过3.5%)就成为普通低合金钢。合金元素锰、硅、钒、钛等可使钢材的强度、塑性等综合性能提高。磷、硫则是有害杂质,其含量超过约0.045%后会使得钢材变脆,塑性显著降低,不利于焊接。普通低合金钢具有强度高、塑性及可焊性好的特点,因而应用较为广泛。

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,Ⅱ级、Ⅲ级钢筋轧成月牙肋,Ⅳ级钢筋轧成等高肋钢筋(习惯称为螺纹钢筋),月牙肋钢筋和等高肋钢筋统称为变形钢筋。

钢筋混凝土结构对钢筋的要求是:具有一定的强度(屈服极限和抗拉极限强度)、足够的塑性(伸长率和冷弯性能)以及良好的焊接性能。

Ⅰ级钢筋(目前只生产3号钢一种)是一种低碳钢,质量稳定,塑性及焊接性能好,但强度稍低。钢筋直径为8~20mm。盘条的直径为5.5~14mm。主要用于中小型钢筋混凝土结构构件中的受力钢筋以及各种构件的箍筋和构造钢筋。

Ⅱ级钢筋(20 锰硅)的强度、塑性及可焊性都比较好,直径为 8~40mm。在工程中应用十分广泛。

Ⅲ级钢筋(25 锰硅)的强度比Ⅱ级钢筋高,如果用于普通钢筋混凝土结构中,由于受到裂缝宽度的限制,其强度不能充分利用。因此,Ⅲ级钢筋常经过冷拉后作为预应力钢筋用。

Ⅳ级钢筋一般均经冷拉后用于预应力混凝土结构中。Ⅳ级钢筋焊接质量难以控制,要有专门的焊接工艺。在低温条件下(低于 -30°C)容易发生冷脆,不宜采用。

冷拉Ⅰ级钢筋可用于普通钢筋混凝土,但一般不用于轴心受拉及小偏拉构件;冷拉Ⅱ、Ⅲ级钢筋主要用于预应力钢筋。

冷轧带肋钢筋是我国推广使用的新品种钢筋。它是强度较高的月牙肋变形钢筋,直径为 4~12mm。LL550 级冷轧带肋钢筋可用于普通钢筋混凝土结构;LL650 级和 LL800 级冷轧带肋钢筋可作为预应力钢筋。冷轧带肋钢筋也可用于焊接钢筋网。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的结构构件中。

热处理钢筋是强度最高的等高肋钢筋,因其强度已很高,不必再进行冷拉,可直接用作预应力钢筋。

钢丝的直径愈细,其强度愈高。一般都作为预应力钢筋。

二、钢筋的力学性能

由于各种钢筋的化学成分和制造工艺不同,机械性能有显著差别。按力学的基本性能可分为三类:热轧Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋,它们的强度相对较软,称为软钢;热处理钢筋及高强钢丝,它们的强度高而硬,称为硬钢;冷加工钢筋。

1. 软钢的力学性能

软钢从开始加载到拉断,有四个阶段,即弹性阶段、屈服阶段、强化阶段与破坏阶段。下面以Ⅰ级钢筋的受拉应力-应变曲线为例来说明软钢的力学性能(图 1-1)。

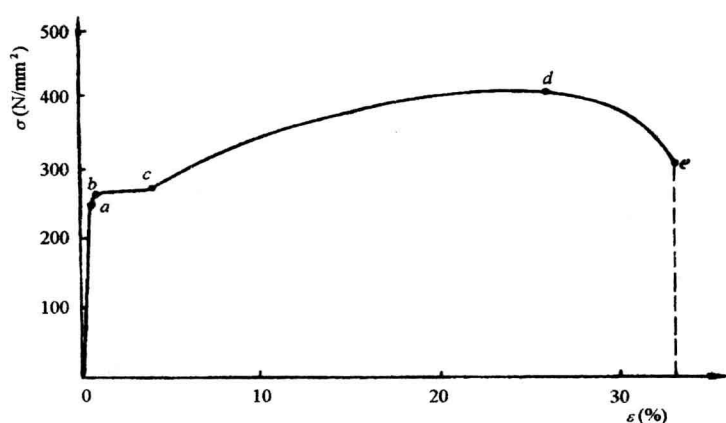


图 1-1 Ⅰ级钢筋的应力-应变曲线

自开始加载到应力达到 a 点以前,应力应变成线性关系, a 点称为比例极限, $0a$ 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 点应力称为屈服极限(流限),在应力-应变曲线中呈现一水平段,称为流幅或屈服阶段。超过 c 点后应力

应变关系重新表现为上升的曲线;进入强化阶段。曲线最高点 d 的应力称为抗拉极限强度,此后钢筋试件产生劲缩现象,变形迅速增加,应力随之下降,到 e 点钢筋被拉断。

e 点所对应的横坐标称为伸长率,它标志钢材的塑性。伸长率越大,塑性越好。

屈服强度是软钢的主要强度指标。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,结构不能正常使用,所以软钢的受拉强度限值以屈服强度为准,钢筋的强化阶段只作为一种安全储备考虑。

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 1-2 表示了不同级别的软钢的应力-应变曲线的差异。

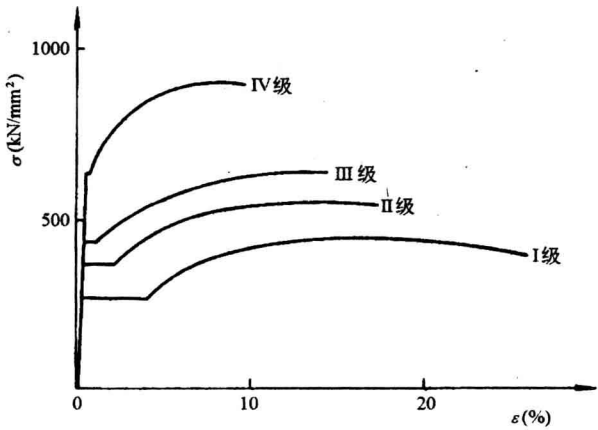


图 1-2 不同级别钢筋的应力-应变曲线

2. 硬钢的力学性能

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,基本上不存在屈服阶段(流幅)。图 1-3 为硬钢的应力-应变曲线。硬钢没有明确的屈服台阶(流幅),所以计算中以“协定流限”作为强度标准,所谓协定流限是指经过加载及卸载后尚存有 0.2% 永久残余变形时的应力,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 一般相当于抗拉极限强度的 70%~85%。

硬钢塑性差,伸长率小。因此用硬钢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那样,在破坏前有明显的预兆。

3. 冷加工钢筋的力学性能

在建筑工程中,常对钢筋进行冷加工,使钢材内部结构发生变化,从而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两种。

冷拉就是将钢筋拉伸超过它的屈服强度,然后放松,经过一段时间之后,钢筋就会获得比原来的屈服强度更高的新的屈服强度值。如图 1-4 所示,原钢筋从开始受拉到拉断,其应力-应变曲线为 $oabckde$ 。现在

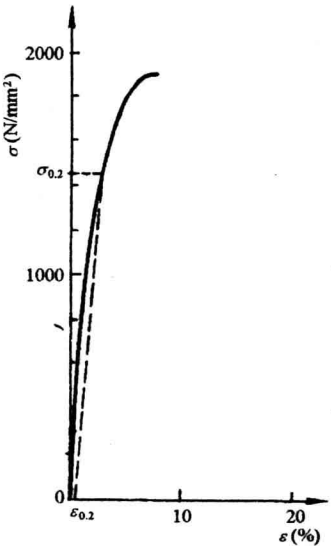


图 1-3 硬钢的应力-应变曲线

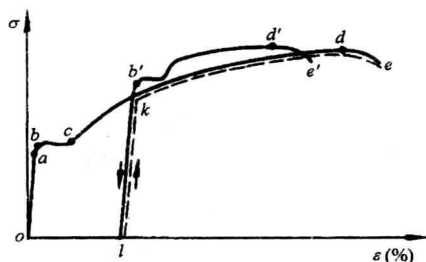


图 1-4 钢筋冷拉后的应力-应变曲线

拉伸钢筋,使应力达到 k 点,超过其原来的屈服强度,然后放松,卸载曲线沿 kl 下降到 l 点,留有残余变形 ol 。如果经过一段时间再张拉,则新的屈服强度可提高至 b' 。这一现象叫做“冷拉时效”。这时应力-应变曲线将变在 $lb'd'e'$ 。时效与温度有关,如 3 号钢在常温时需 20 天;若温度为 100°C 时,仅需 2 小时即可完成。

钢筋冷拉后,屈服强度提高了,但流幅缩短,伸长率降低,钢筋变硬变脆。为了使冷拉后既能提高强度又能有足够的塑性,应选择适宜的 k 点(冷拉应力)。

冷拉时最好同时控制冷拉应力和冷拉伸长率(叫做双控)。若只控制一项则称单控。为了保证冷拉钢筋的质量,宜采用双控。

钢筋冷拉后,其抗压强度并没有提高,计算时仍取用原来的抗压强度。

冷拔是将钢筋用强力拔过比它直径还小的硬质合金拔丝模,使它在长度方向和直径方向均产生塑性变形,拔成较细直径的钢丝。经过几次逐级拔细,它的强度可以提高很多,但塑性显著降低。

冷拔钢筋可以同时提高钢筋的抗拉强度和抗压强度。

钢筋在弹性阶段的应力与应变的比值,称为弹性模量,用符号 E_s 表示,各类钢筋的弹性模量见附录二表 5。

第二节 混凝土的物理力学性能

混凝土是由水泥、水和骨料按一定配合比组成的人造石材。水泥和水在凝结硬化过程中形成水泥胶块把骨料粘结在一起。水泥结晶体和砂石骨料组成混凝土的弹性骨架,它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较复杂。因此它的力学性能也较为复杂。

一、混凝土的强度

1. 立方体抗压强度 f_{cu} 与强度等级

我国《混凝土结构设计规范》规定,按照标准方法制作的边长为 150mm 的标准立方体试块,在标准条件下[温度为 $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$,相对湿度不小于 90%]养护 28 天,用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度(以 N/mm^2),称为混凝土的立方体强度标准值,用 $f_{cu,k}$ 表示,并以此作为混凝土强度等级,混凝土强度等级用符号 C 表示。

在生产实际中,有时也采用边长为 100mm 或 200mm 的立方体试块,则可测得的立方体强度应分别乘以 0.95 或 1.05 的换算系数。

水利水电工程中所采用的混凝土强度分 11 个强度等级,为 C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。如 C20 表示混凝土为 $20\text{N}/\text{mm}^2$ 的强度等级。在钢筋混凝土结构中,混凝土强度等级不宜低于 C15;当采用 II 级、III 级钢筋及冷轧带肋钢筋时,混凝土强

度等级不宜低于 C20;预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C30。当建筑还有抗渗、抗冻、抗磨、抗腐蚀等要求时,混凝土的强度等级尚需根据具体技术要求确定。

2. 棱柱体抗压强度 f_c (轴心抗压强度)

在钢筋混凝土结构构件中,多为棱柱体而不是立方体。因此采用棱柱体试件比立方体试件更能反映混凝土的实际强度。

用棱柱体试件测得的抗压强度称为棱柱体抗压强度。棱柱体强度可由 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的试件经标准养护后测得。

混凝土棱柱体抗压强度低于立方体强度,这是因为当试件高度增大后,两端接触面的摩擦力对试件中部的影响逐渐减弱所致。其减弱程度随试件高度与宽度之比 h/b 而异,当 $h/b > 3$ 时,则趋于稳定。

国内外试验都指出, f_c 与 f_{cu} 大致成线性关系,根据两者的对比试验, f_c 与 f_{cu} 比值平均为 0.76。考虑到实际结构构件与试件制作及养护条件的差异、尺寸效应以及加荷速度等影响因素,规范偏安全地取用关系式如下:

$$f_c = 0.67 f_{cu} \quad (1-1)$$

3. 轴心抗拉强度 f_t

混凝土的抗拉强度是确定混凝土抗裂度的重要指标。常用轴心抗拉试验或劈裂试验来测定混凝土的轴心抗拉强度。

混凝土的抗拉强度远小于其抗压强度, f_t 仅相当于 f_{cu} 的 $\frac{1}{9} \sim \frac{1}{18}$,我国试验给出 f_t 与 f_{cu} 的关系为:

$$f_t = 0.26 (f_{cu})^{2/3}$$

根据与轴心抗压强度相同的理由,规范取用关系式:

$$f_t = 0.23 (f_{cu})^{2/3} \quad (1-2)$$

二、混凝土的变形

混凝土的变形有两类:一类是由外荷载产生的受力变形;一类是由温度和干湿变化引起的体积变形。

1. 混凝土在一次短期加载时的变形性能

混凝土棱柱体作短期一次加载的受压试验,由试验可得出其应力-应变曲线如图 1-5。

曲线可分为三段:上升段 oa ,下降段 cd ,收敛段 de 。在上升段中, oa 段基本上为一直线相应于 a 点的应力约为最大应力 f_c 的 30%~40%;当应力继续增大,应力应变曲线就逐渐向下弯曲,呈现出塑性性质。当应力增大到接近极限强度的 80%左右时(b 点),应变就增长得更快;当应力达到极限强度(c 点)时,试件开始被坏。这时达到的最大应力称为混凝土轴心抗压强度 f_c 。对应于 f_c 的应变 ϵ_0 约在 0.002 左右。 c 点以后就为下降段及收敛段,其间有一反弯点 d ,与 d 点对应的应变称为混凝土的极限压应变 ϵ_{cu} 。 ϵ_{cu} 越大,表示混凝土的塑性变形能力越大,也就是延性(指构件最终破坏之前经受非弹性变形的能力)越好。

混凝土受拉时的应力-应变关系与受压时类似,但它的极限应变比受压时的极限应变小得多,同时应力-应变曲线的弯曲程度也比受压时来得小,在受拉极限强度的 50%范围内,应力应变关系可认为是一直线。如图 1-6。

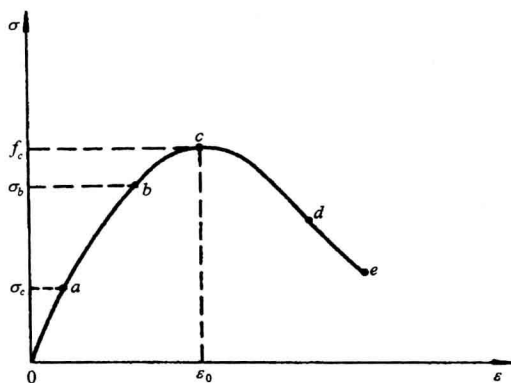


图 1-5 混凝土一次短期加载时应力-应变曲线

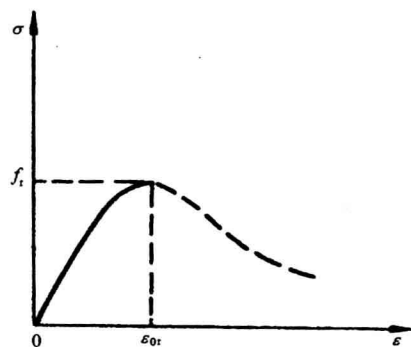


图 1-6 混凝土受拉时的应力-应变曲线

混凝土的应力关系式与结构构件计算有密切关系。但由于影响因素复杂,研究者也提出了多种关系式。我国规范采用了如图 1-7 所示的混凝土应力-应变曲线,关系式为:

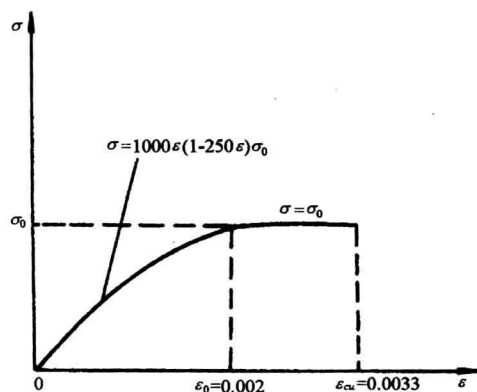


图 1-7 GBJ10-89 采用的混凝土的应力-应变曲线

当 $\epsilon \leq 0.002$ 时,应力-应变关系取为抛物线,即

$$\sigma = 1000\epsilon(1 - 250\epsilon)\sigma_0 \quad (1-3)$$

式中 σ_0 在均匀受压时为轴心抗压强度 f_c 。

当 $\epsilon > 0.002$ 时,应力应变关系取为水平线,其极限压应变 ϵ_{cu} 取为 0.0033。

2. 混凝土在重复荷载下的变形

混凝土在多次重复荷载作用下,它的变形性质有显著变化。见图 1-8。

图 1-8(a)表示混凝土棱柱体试件在一次短期加载卸载后的应力-应变曲线。由于混凝土是弹塑性材料,初次卸载应力为零时,应变不能全部恢复。可恢复的那一部分称为弹性应变,不可恢复的残余部分称为塑性应变。因此,在一次加载卸载过程中,混凝土的应力-应变曲线形成一个环状。但随着加载卸载重复次数的增加,残余应变会逐渐减小,一般重复 5~10 次后,加载和卸载的应力-应变曲线就会越来越闭合并接近一直线,此时混凝土如同弹性体一样工作[图 1-8(b)]。

但当应力超过某一限值,则经多次循环,应力-应变关系成为直线后,又会很快重新变弯

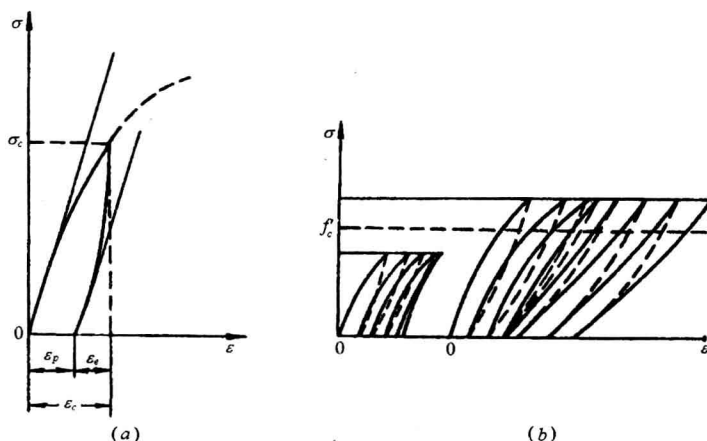


图 1-8 混凝土加载卸载的应力-应变曲线

(a)一次加载卸载； (b)多次重复荷载

且应变越来越大,试件很快就被破坏。这种破坏称为混凝土的“疲劳破坏”。这个限值也就是材料能够抵抗周期重复荷载的疲劳强度 f_c^f 。疲劳强度 f_c^f 要低于静力极限强度 f_c 。

3. 混凝土的弹性模量

计算超静定结构内力、温度应力以及构件在使用阶段的截面应力时,为了方便常近似地把混凝土看作弹性材料进行分析,这时,就需要用到混凝土的弹性模量。对于弹性材料,应力应变为线性关系,弹性模量为—常数。但对混凝土来说,应力应变关系实际为一曲线,因此就产生了怎样恰当地规定混凝土的这项弹性指标的问题。

混凝土的弹性模量有三种表示方法(图 1-9)。

当应力很小时,应力应变关系为一直线。所以通过原点 o 的切线的斜率可认为是混凝土“真正的”弹性模量,常称之为初始弹性模量。但初始弹性模量不易从试验中测出。

因此,有些部门采用割线弹性模量,认为当应力不大时,应力应变关系近似于直线,弹性模量可以用应力 σ_c 除以其相应的应变 ϵ_c 来表示,即混凝土弹性模量 $E_c = \frac{\sigma_c}{\epsilon_c}$ 。在此,应力 σ_c 一般取为 $0.3f_c$ 。

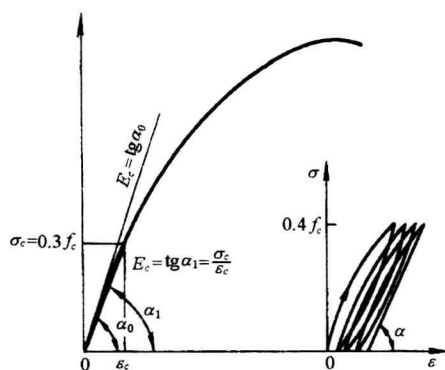


图 1-9 混凝土 $\sigma-\epsilon$ 曲线与弹性模量

根据大量试验,混凝土的弹性模量可用下述公式表达:

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu}}} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1-4)$$

按上式计算的 E_c 值列于附录二表 2。

在应力较大时,混凝土的塑性变形就比较显著,此时再用式(1-4)计算就不合适了。因此,应力 σ_c 较大时的混凝土的应力与应变之比称为变形模量,用 E_c' 表示, E_c' 与弹性模量 E_c 的关系可用弹性系数 ν 来表示: