

建筑结构

何光 副主编 杨光丽 陈安萍 主编



海南出版社

建 筑 结 构

主 编 陈安萍 杨光丽

副主编 何 光

海南出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构/陈安萍,杨光丽主编. —海口:海南出版社,
2007.8

ISBN 978-7-5443-2216-4

I. 建... II. ①陈... ②杨... III. 建筑结构-教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124157 号

建 筑 结 构

陈安萍 杨光丽

责任编辑 王侠

※

海南出版社出版发行

(570216 海口市金盘开发区建设三横路 2 号)

全国新华书店经销

常熟市大宏印刷有限公司印刷

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:25.25 字数:643 千字

书号:ISBN 978-7-5443-2216-4

定价:50.00 元

目录

第一章 绪论	1
第一节 建筑结构的一般概念	1
第二节 混凝土结构的发展及应用简述	3
第三节 建筑结构的内容和学习方法	3
思考题	4
第二章 钢筋混凝土材料的力学性能	5
第一节 钢筋	5
第二节 混凝土	7
第三节 钢筋与混凝土之间的粘结与锚固	11
思考题	13
第三章 结构设计方法	14
第一节 结构上的作用和结构的承载能力	14
第二节 结构的功能要求	14
第三节 结构功能的极限状态	15
第四节 接近似概率的极限状态设计法	16
思考题	18
第四章 钢筋混凝土受弯构件承载力计算	19
第一节 受弯构件的一般构造	19
第二节 受弯构件正截面承载力计算	22
第三节 受弯构件斜截面承载力计算	38
第四节 构造要求	45
思考题	50
习题	50
第五章 钢筋混凝土受压、受拉、受扭构件	52
第一节 钢筋混凝土受压构件	52
第二节 受拉构件正截面受拉承载力	67
第三节 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	69
思考题	80
习题	80
第六章 混凝土构件的变形、裂缝宽度验算	82
第一节 概述	82
第二节 钢筋混凝土构件的裂缝计算	82
第三节 钢筋混凝土构件挠度的验算	85
思考题	89
习题	89
第七章 预应力混凝土构件	91
第一节 概述	91
第二节 预应力混凝土构件设计的一般规定	93
第三节 预应力混凝土构件的构造要求	101
思考题	104
第八章 钢筋混凝土梁板结构	105
第一节 概述	105
第二节 钢筋混凝土现浇单向板肋梁楼盖	105
第四节 现浇整体式楼梯的计算	128

第五节 雨篷	135
思考题	138
习题	138
第九章 单层厂房排架结构	140
第一节 单层厂房结构的组成、传力途径、布置及构件选型	140
第二节 排架结构的计算	146
第三节 单层厂房柱设计	150
思考题	154
第十章 多层框架结构房屋	156
第一节 多层及高层房屋结构体系	156
第二节 多层框架结构	158
第三节 多层框架的内力计算	162
第四节 多层框架内力组合	168
思考题	181
习题	181
第十一章 砌体结构	182
第一节 概述	182
第二节 无筋砌体构件承载力计算	185
第三节 混合结构房屋墙、柱的设计	192
第四节 砌体房屋设计的构造要求	200
思考题	202
习题	202
第十二章 钢结构的材料	204
第一节 钢结构的特点、应用和发展	204
第二节 结构钢材的破坏形式	207
第三节 钢结构对钢材性能的要求	207
第四节 影响钢材性能的主要因素	208
第五节 结构钢材种类及其选择	212
思考题	216
第十三章 钢结构的连接	217
第一节 钢结构的连接方法和特点	217
第二节 焊接结构的特征	218
第三节 对接焊缝的构造和计算	228
第四节 角焊缝的构造和计算	232
第五节 普通螺栓连接的构造和计算	243
第六节 高强度螺栓连接的构造和计算	254
思考题	261
习题	261
第十四章 钢结构的基本构件设计	263
第一节 受弯构件—钢梁	263
第二节 轴心受力构件	274
习题	290
第十五章 屋盖结构	291
第一节 屋盖结构的组成和形式	291
第二节 檩条、拉条和撑杆	292

第三节	屋盖支撑	294
第四节	屋架	298
第五节	普通钢屋架设计实例	313
附录		326

第一章 绪论

建筑结构是指建筑物中用来承受各种作用的受力体系。通常，它又被称为建筑物的骨架。组成结构的各个部件称为构件。在房屋建筑中，组成结构的构件有板、梁、屋架、柱、墙、基础等。

结构按所用材料分类，可分为钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构等。

第一节 建筑结构的一般概念

一、钢筋混凝土结构

素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构等以混凝土为主制成的结构统称为混凝土结构。

混凝土和钢筋是两种力学性能不同的材料，混凝土抗压强度较高，而抗拉强度则很低；钢筋具有很高的抗拉和抗压强度，但在一般的环境中易于锈蚀，耐火性差，细长的钢筋容易被压屈。若在混凝土中配置钢筋，用抗拉强度高的钢筋承受拉力，用抗压强度较高混凝土承受压力，使两者性能得到优化，可充分发挥两者的强度，同时放置在混凝土中的钢筋受到混凝土的保护，则不易锈蚀，提高了耐火性能。试验表明，钢筋和混凝土这两种性质不同的材料能有效地结合在一起共同工作。其原因主要是由于混凝土和钢筋之间有着良好的粘结力，使两者能可靠地合成一个整体，在荷载作用下能共同变形；其次，钢筋和混凝土具有相近的温度线膨胀系数（钢筋的温度线膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土的温度线膨胀系数为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ），当温度变化时，不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的粘结。

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。钢筋混凝土结构的特点是充分利用混凝土和钢筋的材料性能，使两者共同发挥作用，在实际工程应用最普遍。预应力混凝土结构是由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其它方法建立预加应力的混凝土制成的结构，由于其有效提高混凝土构件的抗裂性能和构件的刚度因，此在实际工程得到了广泛应用。素混凝土结构是由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构。

钢筋混凝土结构的优点很多，除了能合理地利用钢筋和混凝土两种材料的特性外还有如下优点：

- 1) 可模性好：新拌和的混凝土是可塑的，可根据需要设计制成各种形状和尺寸的结构或构件。
- 2) 整体性好：现浇钢筋混凝土结构的整体性较好，设计合理时具有良好的抗震、抗爆和抗振动的性能。
- 3) 耐久性好：钢筋混凝土结构具有很好的耐久性。正常使用条件下不需要经常性的保养和维修。
- 4) 耐火性好：钢筋混凝土结构与钢结构相比具有较好的耐火性。
- 5) 易于就地取材：钢筋混凝土结构所用比重较大的砂、石材料易于就地取材，且可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废渣有利于保护环境。

但是，钢筋混凝土结构也存在一些缺点，主要是：

1) 自重大: 钢筋混凝土结构的截面尺寸较相应的钢结构大, 所以自重大, 不利于大跨度结构、高层建筑结构及抗震;

2) 由于自重大, 使材料运输量增大, 给施工吊装带来困难。

3) 抗裂性能较差: 钢筋混凝土结构在正常使用时往往是带裂缝工作的; 对一些不允许出现裂缝或者对裂缝宽度有严格限制的结构, 要满足这些要求就需要提高工程造价。

4) 隔热、隔声性能较差;

5) 施工比较复杂: 施工受环境、气候条件的限制, 雨季、冬季施工以及高温干燥情况下施工, 均需要采取特别措施以保证工程质量, 建造耗工较多, 进行补强修复也比较困难;

采用轻质高强混凝土以减轻结构自重; 采用预应力混凝土以提高结构的抗裂性; 采用预制装配结构或工业化的现浇施工方法等加快施工速度, 采用高性能混凝土提高混凝土的力学性能和耐久性等。

二、砌体结构

用砂浆把块体连接而成的整体材料称为砌体, 以砌体为材料的结构称为砌体结构。按材料砌体结构又可分为石结构、砖结构和砌块结构。根据需要, 在砖砌体或砌块砌体中加入少量钢筋, 这种砌体称为配筋砌体。

砌体结构优点:

容易就地取材;

造价低廉。

耐火性良好, 耐久性较好。

隔热、保温性能较好。

除上述优点外, 砌体结构也存在下述一些缺点

1) 承载能力低。由于砌体的组成材料块体和砂浆的强度都不高, 导致砌体结构的承载能力较低, 特别是拉、弯、剪承载能力很低。

2) 自重大。由于砌体的强度较低, 构件所需的截面一般较大, 导致自重较大。

3) 抗震性能差。由于结构的拉、弯、剪承载力很低, 在房屋遭受地震时, 结构容易开裂和破坏。

三、钢结构

钢结构是用钢材制作而成的结构。与其他结构相比, 它具有以下优点:

1) 承载能力高: 由于钢材的抗拉和抗压强度都很高, 故钢结构的受拉、受压等承载力都很高。

2) 自重小: 由于钢材的强度高, 构件所需的截面一般较小, 故自重较小。

3) 抗震性能好: 由于钢材的抗拉强度高, 并有较好的塑性和韧性, 故能很好地承受动力荷载;

4) 施工速度快, 工期短。钢结构构件可在工厂预制, 在现场拼装成结构, 施工速度快。

同时, 也存在着以下缺点:

1) 需要大量钢材, 造价高。

2) 耐久性和耐火性均较差。一般钢材在湿度大和有侵蚀性介质的环境中容易锈蚀, 故需经常油漆维护, 费用较大。

第二节 混凝土结构的发展及应用简述

混凝土结构与砌体结构、钢结构、木结构相比,历史不长,但自19世纪中叶开始使用后,由于混凝土和钢筋材料性能的不断改进,结构理论与施工技术的进步使钢筋混凝土结构得到迅速发展,目前已经广泛应用于工业和民用建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、海港等土木工程领域。

钢筋混凝土结构发展的初期阶段是以在工程中采用钢筋混凝土建造各种板、梁、柱和拱等简单的构件为标志,但所采用的混凝土和钢筋的强度都较低,内力计算和构件截面设计都是按弹性理论进行的,采用容许应力的方法。20世纪20年代以后,预应力混凝土的发明和应用,混凝土和钢筋的强度也得到了提高,钢筋混凝土被用来建造大跨度空间结构。计算理论开始考虑材料的塑性,如板的塑性铰线理论。随着高强混凝土和高强钢筋的出现和广泛应用;装配式混凝土、泵送商品混凝土等工业化的混凝土生产结构的发展;设计理论已是充分考虑混凝土和钢材塑性特征的极限状态设计理论,设计公式已为以概率论为基础的多分项系数表达式。

在材料方面,我国在工程中使用的混凝土强度已达到 $20\sim 80\text{N/mm}^2$,国外常用的强度等级在 60N/mm^2 以上。常用的热轧钢筋的屈服强度已达到 420N/mm^2 ,有的可达 $600\sim 900\text{N/mm}^2$,热处理钢筋的抗拉强度一般为 $1250\sim 1450\text{N/mm}^2$,用于预应力混凝土结构中的钢丝的强度已达 1800N/mm^2 。在结构方面,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。如已建成的94层的上海金茂大厦,高460m,是我国目前最高的高层建筑;上海环球金融中心为101层、高约500米,世界目前最高的建筑。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,如上海电视塔高468m,其高度为亚洲第一。在国外,朝鲜平壤105层的柳京饭店高达319m,德国采用预应力轻质混凝土建造了跨度为90m的飞机库屋面梁,日本滨名大桥的预应力混凝土箱形截面桥梁的跨度达239m。

在设计理论方面,随着数学、力学及现代试验技术的进一步发展,在对混凝土变形性能的深入研究和电子计算机应用的基础上建立了以概率论为基础的极限状态设计方法。编制出了国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB/T50068;《混凝土结构设计规范》(GB50010-2001);《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001);《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001);《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2002);《高层结构技术规程》等。它将在工程设计中发挥指导作用。必将促进我国混凝土结构设计的进一步发展。

第三节 建筑结构的内容和学习方法

本课程讲述混凝土结构及基本构件、钢结构及基本构件、砌体结构的设计理论和计算方法。为相关的工作和学习研究提供坚实的基础。基本构件设计理论包括受弯构件、轴心受力构件(受拉和受压)、偏心受力构件(受拉和受压)、受扭构件等,其主要内容涵盖了材料性能、设计规定、各类构件受力时的力学性能、计算方法、焊缝强度的计算和配筋构造等;

本课程是一门综合性很强的应用科学,需要结合数学、力学、材料及施工实践等知识,

1) 学习本课程,要注意与理论力学、材料力学和结构力学的联系区别;

在学习时,要重视对构件的实验研究,了解反映试验中规律性现象的结构和构件受力性能,

掌握受力分析中所采用的基本假定和实验依据,在学习和运用计算公式时特别注意其适用范围和限制条件,同时在实用中注意结合具体情况,灵活运用。

2) 要注意培养对多种因素进行综合分析的能力。本课程要解决的不仅是材料的强度和变形的计算问题,主要还是结构和构件的设计,同一构件在给定荷载作用下,可以有不同的截面形式、尺寸、配筋方式和数量等。因此,实际中往往需要通过试算、调整,同时进行适用、材料、造价、施工的可行性等各项指标的综合分析比较,才能作出合理的选择。

3) 对规范的运用是非常重要的。规范是多年来混凝土结构方面的科学技术水平、理论计算方法和工程实践经验的总结,以及对国际上有关标准的先进成果吸收。在学习上要力求熟悉它,在设计中灵活运用它,在实践中进一步验证它。只有对规范条文的概念和实质有正确的理解,才能确切地应用其内容,充分发挥设计者的主动性、创造性。

本课程有着较强的实践性,一方面要通过课堂学习、习题、作业来掌握结构设计所必需的理论知识,通过课程设计和毕业设计等实践性教学环节学会运用这些知识来正确地进行结构设计,和解决工程中的技术问题;另一方面要通过现场参观来了解实际工程的情况以积累感性知识,增加工程经验。

思考题

1. 什么是混凝土结构?什么是钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和素混凝土结构?其应用如何?
2. 钢筋和混凝土这两种性质不同的材料为什么能有效地结合在一起共同工作?
3. 钢筋混凝土结构存在哪些缺点,如何克服?
4. 如何学习好本门课程?

第二章 钢筋混凝土材料的力学性能

第一节 钢筋

钢筋是钢筋混凝土结构的重要构成成分。建筑结构中用的钢筋,要求具有较高的强度,良好的塑性,以便于加工和焊接。熟悉钢筋种类和强度等级,弄清钢筋的化学成分、生产工艺和加工条件,才能选到具有上述性能的钢筋。

一、钢筋的力学性能

钢筋的主要力学性能包括强度和变形性能,可通过拉伸试验得到的应力-应变曲线来说明。根据应力-应变曲线特点,将钢筋分为有屈服点的钢筋和无屈服点钢筋。

1. 钢筋的强度和变形

1) 有明显屈服点钢筋应力—应变曲线: 如(图 2-1)。

由图 2-1 应力-应变曲线可得,构件从受荷到破坏分为四个阶段,弹性阶段 oa : a 点对应的应力称为比例极限。到达 b 点后,钢筋进入屈服阶段, b 点应力称为屈服强度, b 点到 c 点的水平部分称为屈服台阶。过 c 点以后,应力又继续增长, cd 段称为钢筋的强化阶段, d 点对应的应力称为钢筋的极限强度。过了 d 点以后,应变迅速增加,应力随之下落,发生局部径缩现象,变形迅速增加,到 e 点试件被拉断。

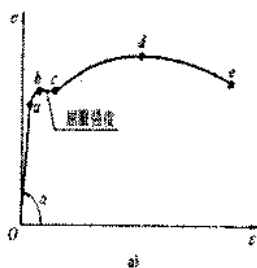


图 2-1 有明显屈服点钢筋应力—应变曲线

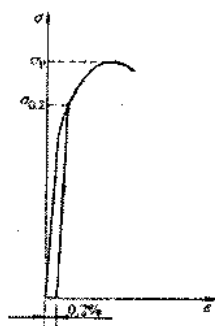
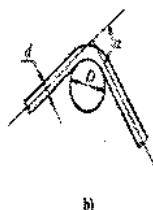


图 2-2 无明显屈服点钢筋应力—应变曲线

2) 无明显屈服点钢筋的应力—应变曲线:

图 2-2 是没有明显流幅的钢筋应力-应变关系曲线,钢筋没有明显的屈服点,通常取相应于残余应变为 0.2% 时的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为名义屈服点,称为条件屈服强度。一般取 $\sigma_{0.2} = 0.8 \sigma_p$ 作为其设计强度。此类钢筋在钢筋混凝土结构中较少使用。

计算钢筋混凝土结构时,对于有明显屈服点钢筋,取它的屈服强度作为设计强度的依据。这是因为构件中钢筋的应力到达屈服强度后,将产生很大的塑性变形,这时钢筋混凝土构件将出现很大的变形和不可闭合的裂缝,以致不能使用。对没有明显屈服点的钢筋,在实用上取残余应变为 0.2% 时的应力(相当于极限强度的 80%)作为假定的屈服点,即条件屈服点(又称协定屈服点),以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

钢筋的一个强度代表值是标准值,标准值应具有不小于 95% 的保证率。对构件计算配筋时,对于热轧钢筋的强度标准值是根据屈服强度确定,用 f_{yk} 表示。普通钢筋的强度标准值见

后面的附表 5。

3) 屈强比:

通常把屈服强度与抗拉极限强度的比值称为屈强比,它代表了材料的强度储备,一般屈强比要求不大于 0.8。屈强比越小,强度储备就越大,钢筋的利用程度越低。

2. 钢筋的塑性指标

钢筋除要有足够的强度外,还应有一定的塑性变形能力,钢筋的塑性通常用伸长率和冷弯性能两个指标来衡量。

1) 伸长率:

钢筋试件拉断后的伸长值与原长的比值,即 $\delta = \frac{l - l_1}{l} \times 100\%$

式中: δ —伸长率;

l_1 —试件受力前的标距长度;

l —试件拉断后的标距长度。

伸长率愈大,即标志着钢筋的塑性指标好。由于断裂前钢筋有相当大的变形,有明显的预兆。钢筋不致突然发生危险的脆性破坏,

2) 冷弯性能

弯转角度愈大、弯心直径 D 愈小,钢筋的塑性就愈好,如图 2-1b 所示。有明显屈服点钢筋,其主要指标为屈服强度、抗拉强度、伸长率和冷弯性能四项;

没有明显屈服点钢筋,其主要指标为抗拉强度、伸长率和冷弯性能三项。

二、钢筋的化学成分、种类、等级和形式

1. 钢筋的化学成分 钢筋是钢材的主要使用形式之一。钢材的化学成分主要是铁,在炼制过程中,有时加入少量的合金元素如硅、锰、钛、钒、铬等化学元素来改善钢筋的性能。按照化学成分的不同,钢可以分为碳素钢和普通低合金钢。而碳素钢根据含碳量的多少,又可划分为低碳钢(含碳量 $<0.25\%$)、中碳钢(含碳量 $0.25\% \sim 0.6\%$)和高碳钢(含碳量 $0.6\% \sim 1.4\%$)。含碳量越高,强度越高,但塑性和可焊性越低;反之则强度越低,塑性和可焊性好。在建筑工程中,主要使用低碳钢和中碳钢。在普通碳素钢的基础上,加入少量的合金元素,有效地提高钢材的强度和改善钢材的其它性能,形成所谓的普通低合金钢。

2. 钢筋种类和等级 我国用于混凝土结构的钢筋主要有热轧钢筋、热处理钢筋、预应力钢丝及钢绞线四种。在钢筋混凝土结构中主要采用热轧钢筋。

热轧钢筋是低碳钢、普通低合金钢在高温下轧制而成。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,伸长率较大。

根据力学指标的高低,钢筋分为 HPB235 级(I 级,符号 Φ), HRB335 级(II 级,符号 Φ), HRB400 级(III 级,符号 Φ), RRB400 级(余热处理 III 级,符号 ΦR) 四个种类。

普通钢筋宜采用 HRB400 级和 HRB335 级钢筋,也可采用 HPB235 级和 RRB400 级钢筋。钢筋混凝土结构中所采用的钢筋,按外形可分为光圆钢筋、变形钢筋。

另外,为节约钢材,可以采用冷加工的办法提高热轧钢筋的强度。常用的冷加工方法有冷拉或冷拔。冷拉钢筋的冷拉应力值必须超过钢筋的屈服强度。

冷拔是将钢筋用强力拔过比它本身直径还小的硬质合金拔丝模,钢筋同时受到纵向拉力和横向压力的作用,截面变小而长度拔长。经过几次冷拔,钢丝的抗拉和抗压强度都比原来

有很大提高，但塑性降低很多。冷拔后的钢丝没有明显的屈服点和流幅。

在上述钢筋种类中，热轧钢筋为软钢，其应力-应变曲线有明显的屈服点，断裂时有“颈缩”现象，伸长率比较大；冷轧带肋钢筋、热处理钢筋、光面钢丝、刻痕钢丝、螺旋形钢丝及钢绞线均为硬钢，它们的应力-应变曲线没有明显的屈服点，伸长率小，质地硬脆。

三、钢筋混凝土构件对钢筋性能的要求

钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求，有以下几方面。

1. 强度：所谓强度指的是钢筋的屈服强度和极限强度。钢筋的屈服强度是设计计算时的主要依据。而屈服强度和极限强度的比值（屈强比）则反映了材料的强度储备，一般要求屈强比小于 0.8。

2. 塑性：要求钢筋在断裂前有足够的变形，给人以破坏的预兆。因此要保证钢筋的伸长率和冷弯性能符合规范要求。

3. 可焊性：要求钢筋焊接后接头处不产生裂纹及过大的变形，性能良好。

4. 与混凝土有良好的粘结力：为了保证钢筋与混凝土共同工作，两者之间必须有足够的粘结力。

在寒冷地区，为防止钢筋发生脆性破坏，应考虑钢筋低温性能方面的要求。

钢筋的选用要结合实际工程综合考虑上述因素来确定。

第二节 混凝土

一、混凝土的组成结构

普通混凝土是由水泥、砂子和骨料三种基本材料用水拌和经过养护凝固硬化后形成的人工石材，是一种由具有不同性质的多成分组成的多相复合材料。

混凝土的强度、变形要经历较长时间的稳定期。

二、混凝土强度

混凝土强度是混凝土受力性能的一个基本指标。在工程中常用的混凝土强度有立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 、轴心抗压强度 f_c 和轴心抗拉强度 f_t 等。

1. 立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$

混凝土立方体试件的强度比较稳定，《混凝土结构设计规范》规定，混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 指按照标准方法制作养护的边长为 150mm 的立方体试块，养护 28 天龄期后，用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度。

混凝土的强度划分为十四个强度等级，即 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。符号 C 代表混凝土，C 后面的数字表示以 N/mm^2 为单位的立方体抗压强度标准值。

试块的强度不仅与养护期的温湿度、龄期等因素有关，还和试验时的加荷速度有关，加荷速度过快，内部裂缝难以开展，所测强度数值偏大。反之，若加荷速度过慢，则所测得的强度数值偏低。

此外，混凝土的立方体抗压强度也和试块的尺寸有关，立方体尺寸越小，测得的混凝土抗压强度越高，这种现象称为“尺寸效应”。因此，《混凝土规范》规定，当用边长为 200mm 和 100mm

的立方体试块时, 所得强度数值要分别乘以强度换算系数 1.05 和 0.95 加以校正。

2. 轴心抗压强度 f_c

以 150mm×150mm×300mm 的棱柱体作为标准试件按照标准试验方法测得的混凝土抗压强度为棱柱体抗压强度或轴心抗压强度。试验时, 一般认为试件的高宽比 $h/b=2\sim3$, 其数值要小于立方体抗压强度。

$$f_{ck} = 0.88\alpha_1\alpha_2f_{cu,k}$$

式中: α_1 为棱柱体强度与立方体强度之比, 对混凝土等级为 C50 及以下的取 $\alpha_1=0.76$, 对 C80 取 $\alpha_1=0.82$, 在此之间按直线变化取值。 α_2 为高强度混凝土的脆性折减系数, 对 C40 取 $\alpha_2=1.00$, 对 C80 取 $\alpha_2=0.87$, 中间按直线规律变化取值。0.88 为考虑实际构件与试件之间的差异而取用的折减系数。

3. 抗拉强度 f_t

混凝土的抗拉强度很低, 与立方抗压强度之间为非线性关系, 一般只有其立方抗压强度的 $1/17\sim1/8$ 。钢筋混凝土的抗裂性、抗剪、抗扭承载力等均与混凝土的抗拉强度有关。目前, 抗拉强度的试验方法主要有以下几种:

1) 直接的轴心拉伸试验

2) 劈裂试验

4. 混凝土在复合受力状态下的强度 在混凝土结构中, 混凝土很少处于理想的单向应力状态, 而往往处于复合应力状态, 如双向应力状态或三向应力状态。

1) 双向受力强度

双向受压强度比单向抗压强度高, 可提高 27%。一向受拉一向受压应力状态时, 强度低于单向抗拉强度。双向受拉时近似于与单向抗拉强度。

2) 三向受压强度

三向受压时, 由于变形受到相互间有利的制约, 形成约束混凝土, 其强度有较大的增长, 经验公式为:

$$f_{cc} = f_c + kf_1 \quad (2-1)$$

式中: f_{cc} —三向受压时轴心抗压强度 (变形受约束试件);

f_c —混凝土轴心抗压强度 (非约束试件);

f_1 —侧向压力 (约束力);

k —侧向压力效应系数, 4.5~7, 平均值定为 5.6。

在工程实际中, 常以间距较小的螺旋式钢筋或箍距较密的普通箍筋来约束混凝土以达到提高混凝土强度的目的。

5. 混凝土最低等级

钢筋混凝土构件的混凝土强度等级不应低于 C15; 当采用 HRB335 级钢筋时, 混凝土强度等级不宜低于 C20; 当采用 HRB400 和 RRB400 级钢筋以及承受重复荷载的构件, 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应低于 C30; 当采用钢绞线、钢丝、热处理钢筋作预应力钢筋时, 混凝土强度等级不宜低于 C40。

三、混凝土在荷载作用下的变形性能

混凝土的变形分为混凝土的受荷变形和混凝土体积变形。前者包括一次短期加载作用下的变形、长期荷载作用下的变形以及重复荷载作用下的变形; 后者则是由于混凝土收缩产生变形或温度变化产生的变形等。

1. 混凝土在一次短期荷载作用下的变形性能

混凝土受压时的应力-应变关系反映了受荷各个阶段内部的变化及其破坏的机理，它是研究钢筋混凝土结构极限强度理论（截面应力分析、内力重分配、刚度和挠度、抗裂性和裂缝宽度控制、结构抗震性能等）的重要依据。

混凝土在短期加荷作用下的应力-应变曲线是其最基本的力学性能。其整个曲线大体上呈上升段与下降段两个阶段。

1) 混凝土的应力-应变曲线

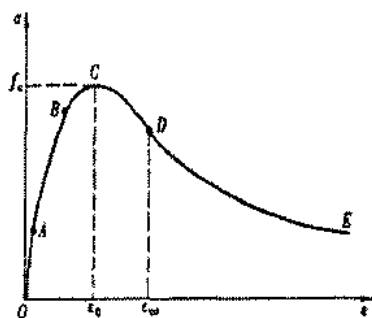
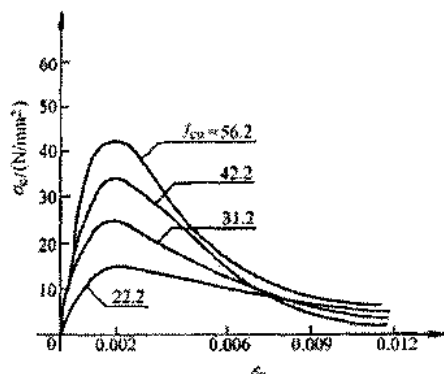


图 2-3 混凝土受压时应力-应变曲线



2-4 混凝土应力-应变与强度等级的曲线

上升段 (OC): 从加荷至 A 点一般称 A 点，为比例极限点，OA 为第一阶段，超过 A 点进入第二阶段——稳定裂缝扩展阶段，至临界点 B，临界点应力可作为长期抗压强度的依据。此后试件中所积蓄的弹性应变能始终保持大于裂缝发展所需要的能量，形成裂缝不稳定的快速发展状态直至峰点 C，即第三阶段。这时，达到的峰值应力 σ_{max} 称为混凝土棱柱体抗压强度 f_c ，相应的应变称为峰值应变 ϵ_0 ，其值在 0.0015~0.0025 之间波动，平均值为 $\epsilon_0 = 0.002$ 。

下降段 (CE): 混凝土达到峰值应力后裂缝继续迅速扩展，试件的平均应力强度下降，试件还能承受一定的荷载。此后，应变持续增长，应力-应变曲线在 D 点出现反弯，我们称该点为“拐点”。超过“拐点”，此时混凝土达到极限压应变 ϵ_{cu} ，反弯点以后曲线上表示的低受荷力，是由构件破碎后各快体间残存的咬合力或摩擦力提供的。

从以上讨论可清楚看出，混凝土应力-应变曲线的形状和特征是其内部结构发生变化的外在表征。对于混凝土，不仅要利用它的强度，还要利用它的后期变形能力。这里的后期变形能力是指混凝土达到极限强度后，应力下降相同幅度时变形的大小，变形大的，表明承受变形的能力高，也就是延性好。不同强度混凝土的应力-应变曲线有着相似的形状，但也有着实质性的区别。

2. 混凝土的弹性模量和变形模量

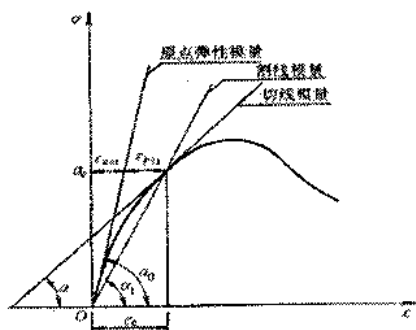


图 2-5 混凝土变形模量的表示方法

1) 原点弹性模量, 也称原始或初始弹性模量, 简称弹性模量 E_c 。

过应力-应变曲线原点作曲线的切线, 该切线的斜率即为原点弹性模量 E_c 。

2) 变形模量 (割线模量) E'_c 。

作原点 O 与曲线任一点的连线, 其所形成的割线的正切值, 即为混凝土的变形模量, 割线模量随混凝土的应力而变化。

两者关系:

$$E'_c = \nu E_c, \quad \nu = \frac{\epsilon_e}{\epsilon_c}$$

ν —混凝土弹性变形与总变形的比值。当应力较小时, 处于弹性阶段, 可以认为 $\nu=1$; 变形模量随应力的增大而减小, 当应力达到 $\sigma=0.8f_c$ 时, ν 值约为 0.4~0.7。

弹性模量 E_c 的测定方法: 取棱柱体试件, 加荷至不超过适当的应力 $\sigma=0.5f_c$ 为止, 卸荷、加荷重复进行 5~10 次后, 变形渐趋稳定, 应力应变关系已近于直线, 所得应力应变直线的斜率作为混凝土弹性模量的试验值。

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

3. 混凝土在荷载长期作用下的变形性能

混凝土在荷载长期作用下 (即压力不变的情况下), 它的应变随时间继续增长的现象称为混凝土徐变。混凝土的徐变对结构构件将产生十分不利的影响, 如增大混凝土结构的变形, 会使钢筋与混凝土间产生应力重分布, 对于预应力构件会产生预应力损失等。

试验表明, 徐变与下列一些因素有关:

(1) 混凝土的组成成分, 水泥用量愈多, 水灰比愈大, 徐变愈大; 骨料越坚硬, 弹性模量越高、对徐变的约束作用越大, 混凝土徐变就减小。

(2) 混凝土的制作、养护。养护环境湿度愈大、温度愈高, 徐变就愈小, 因此加强混凝土的养护是减少徐变的有效措施。

(3) 加荷时混凝土的龄期越小, 徐变越大, 受荷后所处环境的温度越高、湿度越低, 则徐变越大, 构件加载前混凝土强度愈高, 徐变就愈小。

(4) 构件截面的形状、尺寸对徐变产生影响, 大尺寸混凝土构件内部失水受到限制, 徐变减小。

(5) 钢筋的存在以及应力的性质 (拉、压应力等对徐变也有影响)。

4. 混凝土的收缩、膨胀和温度变形

混凝土在空气中结硬体积减小的现象称为收缩。而混凝土在水中结硬而发生的体积增大称为膨胀。二者统称为混凝土的体积变形。它与荷载无关。

当混凝土的收缩受到限制时,将在混凝土中产生拉应力,甚而导致混凝土产生收缩裂缝。还会使预应力混凝土发生预应力损失,因此,应当设法减小混凝土的收缩,避免对结构产生有害的影响。

试验表明,混凝土的收缩与下列因素有关:

- 1) 水泥用量和水灰比:水泥愈多和水灰比愈大,收缩也愈大,减水剂的使用可减小收缩;
- 2) 水泥标号和品种:高标号水泥制成的混凝土构件收缩大;
- 3) 骨料的物理性能:骨料的弹性模量大,收缩小;
- 4) 养护和环境条件:在结硬过程中,养护和环境条件好(温、湿度大),收缩小;
- 5) 混凝土制作质量:混凝土振捣越密实,收缩越小;
- 6) 构件的体积与表面积比:比值大时,收缩小。

对于大体积混凝土,表层混凝土的收缩较内部为大,而内部混凝土因水泥水化热蓄积得多,其温度却比表层为高,若内部与外层变形差较大,也会导致表层混凝土开裂。

第三节 钢筋与混凝土之间的粘结与锚固

一、粘结强度的组成和锚固长度的计算

粘结是钢筋与混凝土共同工作的前提,通过粘结,在钢筋与混凝土之间可进行应力传递和变形协调。此外,为保证钢筋不会从混凝土中拔出来,要求钢筋有良好的锚固能力。钢筋和混凝土之间的粘结能力和锚固能力是混凝土和钢筋保持整体,共同工作的基础。试验表明,粘结能力可以通过以下三种途径得到:1. 胶结力;2. 发生相互滑动时产生的摩阻力;3. 钢筋表面粗糙不平或变形钢筋凸起的肋纹与混凝土的咬合力。

通过在钢筋一定长度上粘结应力的积累、或某种构造措施,将钢筋“锚固”在混凝土中,是保证钢筋和混凝土的共同工作的重要保证。

为了保证钢筋在混凝土中的可靠锚固,钢筋应有足够的锚固长度。

二、影响粘结强度的因素及保证措施

1. 影响因素 影响钢筋与混凝土之间粘结强度的因素很多,其中主要有:

1) 混凝土强度等级。光圆钢筋及变形钢筋的粘结强度均随混凝土强度等级的提高而提高。在其它条件基本相同时粘结强度与混凝土抗拉强度成正比。

2) 钢筋外观特征。变形钢筋由于表面凹凸不平,其粘结强度高于光面钢筋。而轻度锈蚀的钢筋,其粘结强度比新轧制的无锈钢筋高,比除锈处理的钢筋更高。所以,在实际工作中,除重锈钢筋外,一般不必除锈。

3) 浇注位置。混凝土浇注后有下沉及泌水现象。因此,处于水平位置的钢筋比竖位钢筋的粘结强度显著降低。同样是水平位置钢筋,钢筋下混凝土浇筑深度越大,粘结强度的降低也越多。

4) 钢筋净距及保护层厚度。当构件截面上,有多根钢筋并列一排时,若净距不足,钢筋外围混凝土将会发生在钢筋位置水平面上贯穿整个梁宽的劈裂裂缝。梁截面上一排钢筋的根数越多,净距越小,粘结强度降低就愈多。若混凝土保护层太薄,特别是当采用变形钢筋时则容易发生沿纵向钢筋方向的劈裂裂缝,并使粘结强度显著降低。

2. 保证粘结力的措施