

全国建筑高等专科学校房屋建筑工程专业新编系列教材

混凝土结构

侯治国 主编

武汉工业大学出版社



全国建筑高等专科学校房屋建筑工程专业新编系列教材

混凝土结构

主审 滕智明

主编 侯治国

武汉工业大学出版社

· 武 汉 ·

【内容简介】

本书是根据高等专科学校房屋建筑工程专业“混凝土结构”课程的教学要求编写的教材。全书共13章,主要包括:绪论、钢筋和混凝土材料的力学性能、钢筋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、受压构件承载力计算、受拉构件、钢筋混凝土构件的变形和裂缝验算、预应力混凝土的基本知识、梁板结构、单层工业厂房、多层框架结构房屋。每章正文后均配有思考题和习题。

本书除可作为高等专科学校房屋建筑工程专业的教材外,还可作为“工业与民用建筑专业”的本科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/侯治国主编. —武汉:武汉工业大学出版社,2000.2 重印
高等专科学校房屋建筑工程专业新编系列教材
ISBN 7-5629-1218-1

I. 混…

II. 侯…

III. 混凝土结构-高等学校-专业学校-教材

IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 05775 号

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路 122 号 邮编:430070 电话:027—87394412)

各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:28.75 插页:2 字数:748.8 千字

1997 年 11 月第 1 版 2000 年 2 月第 4 次印刷

印数:35001—46000 定价:28.00 元

(本书如有印装质量问题可向承印厂调换)

全国建筑高等专科学校
房屋建筑工程专业新编系列教材
编审委员会

顾问:滕智明 李少甫 甘绍熺 罗福午
陈希天 卢 循

主任:齐继禄 袁海庆

副主任(按姓氏笔划排列):

李生平 孙成林 张协奎 张建勋
武育秦 侯治国 胡兴国 廖代广

委员(按姓氏笔划排列)

甘绍熺	乐荷卿	孙成林	齐继禄
卢 循	李少甫	李生平	张协奎
张建勋	张流芳	陈书申	陈希天
武育秦	陈晓平	周绥平	罗福午
胡兴国	侯治国	袁海庆	高琼英
舒秋华	董卫华	简洪钰	廖代广
滕智明	蔡德明	蔡雪峰	聂旭英
魏万德			

秘书长:蔡德明

出版说明

武汉工业大学出版社 1988 年组织出版的“高等专科工业与民用建筑专业系列教材”至今已近十年了。这套教材对于我国工民建专业的专科教育,包括成人教育、函授教育和自学考试等都起到了不可磨灭的历史作用。同时,我们也看到由于当时条件的局限,这套教材不可避免地存在着种种缺陷。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的需求形势已远非十年前的情况可以比拟,加上高等专科教育教学改革的不断深入,迫切需要更加明确地针对专科教育的培养目标,适合专科教学规律,符合专科教学基本要求的教材。在这种形势下,武汉工业大学出版社得到建设部院校处的支持,与“全国建筑高等专科学校房屋建筑工程专业指导小组”密切合作,特聘清华大学土木系四位著名教授为顾问,以建设部和中建总公司所属的重点建筑高等专科学校的教师为主,联合九所院校共同编写了这套“全国建筑高等专科学校房屋建筑工程专业新编系列教材”。

按照教材组织过程中召开的“专科教学及教材研讨会”的精神,本套教材力求体现如下特点:

1. 统一性。成套教材不是单本教材的简单叠加,各门课程之间必须按照教学要求有机地联系,在内容的取舍、分配和衔接,编写体例,规范的运用以及加强实用性等方面力求全套书统一。

2. 创新性。编写人员吸收了近年来专科教育教学改革的阶段性成果,制订出全套教材的编写原则:基础理论的教学以应用为目的,以必须、够用为度;专业课教学加强针对性和实用性,增加计算机应用的内容,力求编出新意。

3. 普适性。本套教材以培养高等工程技术应用型人才为目标,不仅适宜于全日制高等专科学校,也适用于大学函授教育、成人教育和自学考试,对当前从事工程建设的建筑工程技术与管理人员也有较好的参考价值。

4. 持久性。一套水平高、实用性强、有新意的教材决不可能一蹴而就,它必然是高等专科学校教师长期教学实践的结果。本套教材第一版出来后,编委会将立即组织使用教师收集反馈意见,准备修订,然后再使用,再修订,保证教材不断提高质量,与专科教育的改革和发展同步。

参加本套教材编写的主要是重庆建筑高等专科学校、长春建筑高等专科学校、福建建筑高等专科学校、湖南城建高等专科学校、河南城建高等专科学校、武汉工业大学、武汉冶金科技大学和武汉水利电力大学等学校长期从事专科教学的教师,并聘请清华大学滕智明教授、李少甫教授、甘绍熺教授、罗福午教授和“全国建筑高等专科学校房屋建筑工程专业指导小组”组长、长春建筑高等专科学校陈希天教授以及福建建筑高等专科学校卢循教授为顾问。尽管全体编审人员殚精竭虑,不敢稍有懈怠,但由于时间仓促,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正,以利我们修订重印。

武汉工业大学出版社

1997.10

前 言

为适应我国高等工程专科教育的发展和需要,根据高等专科学校房屋建筑工程专业“混凝土结构”课程的教学要求,编写了本教材。本书是按照我国颁布的现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)及《建筑结构荷载规范》(GBJ—87)编写的。

全书共12章,主要包括钢筋混凝土材料的力学性能;以概率理论为基础的极限状态设计原理;受弯构件正截面、斜截面的承载能力计算;受弯构件变形与裂缝宽度计算;受拉、受扭、受压构件承载力计算;梁板结构;单层工业厂房;多层房屋等。除对基本构件作了较详尽的叙述并配有典型的例题和一定数量的思考题、习题外,还附有肋形楼盖、排架结构实例。本书编写力求具有专科教材的特点,做到理论联系实际,便于自学。

本书主要作为高等专科学校房屋建筑工程专业的教学用书,也可供有关技术人员参考。

全书由侯治国教授主编。参加编写的有长春建筑高等专科学校侯治国(绪论、第3、4、5、6、7章),湖南城建高等专科学校陈伯望(第1、9章)、胡乃君(第10、11章),福建建筑高等专科学校张小云(第2、8、12章)。

本书由清华大学滕智明教授主审。

由于编者水平有限,书中仍难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1997年9月

目 录

0 绪 论	(1)
0.1 钢筋混凝土的一般概念	(1)
0.2 钢筋混凝土的主要优缺点	(2)
0.3 钢筋混凝土的应用和发展简况	(2)
0.4 学习本课程需要注意的问题	(3)
思考题	(4)
1 钢筋和混凝土材料的力学性能	(5)
1.1 混凝土的强度	(5)
1.2 混凝土的变形	(10)
1.3 钢筋	(16)
1.4 钢筋与混凝土的粘结	(21)
思考题	(25)
2 钢筋混凝土结构的设计方法	(26)
2.1 结构设计的基本要求	(26)
2.2 结构上的作用、作用效应和结构抗力	(27)
2.3 概率极限状态设计法	(33)
2.4 极限状态实用设计表达式	(36)
思考题	(39)
习 题	(40)
3 受弯构件正截面承载力计算	(41)
3.1 截面配筋的基本构造要求	(41)
3.2 梁正截面受弯性能的试验分析	(46)
3.3 单筋矩形截面的承载力计算	(53)
3.4 双筋矩形截面的承载力计算	(62)
3.5 单筋 T 形截面的承载力计算	(69)
思考题	(79)
习 题	(80)
4 受弯构件斜截面承载力计算	(83)
4.1 无腹筋梁的受剪性能	(83)
4.2 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	(87)
4.3 保证斜截面受弯承载力的构造要求	(101)
思考题	(113)
习 题	(113)
5 受扭构件承载力计算	(116)

5.1	纯扭构件的承载力计算	(116)
5.2	弯剪扭构件的承载力计算	(123)
	思考题	(127)
	习 题	(127)
6	受压构件承载力计算	(128)
6.1	轴心受压构件承载力计算	(129)
6.2	偏心受压构件正截面承载力计算	(137)
6.3	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(163)
6.4	构造要求	(163)
	思考题	(165)
	习 题	(165)
7	受拉构件承载力计算	(167)
7.1	轴心受拉构件承载力计算	(167)
7.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	(167)
7.3	偏心受拉构件斜截面承载力计算	(172)
	思考题	(173)
	习 题	(173)
8	钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算	(174)
8.1	概述	(174)
8.2	受弯构件的挠度验算	(175)
8.3	裂缝宽度验算	(185)
8.4	钢筋的代换	(190)
	思考题	(191)
	习 题	(192)
9	预应力混凝土的基本知识	(193)
9.1	预应力混凝土的基本概念	(193)
9.2	施加预应力的方法和锚具	(194)
9.3	预应力混凝土材料	(199)
9.4	张拉控制应力和预应力损失	(200)
9.5	预应力混凝土轴心受拉构件	(206)
9.6	预应力混凝土受弯构件	(216)
9.7	预应力混凝土构件的构造	(231)
	思考题	(232)
	习 题	(233)
	附 表	(235)
10	梁板结构	(237)
10.1	概述	(237)
10.2	整体现浇式单向板肋梁楼盖	(238)
10.3	双向板肋梁楼盖	(271)

10.4	装配式楼盖	(286)
10.5	楼梯	(292)
10.6	雨篷	(301)
	思考题	(308)
	习 题	(309)
	附 表	(311)
11	单层工业厂房	(320)
11.1	单层工业厂房的结构组成与受力特点	(320)
11.2	单层工业厂房的结构构件选型与支撑布置	(323)
11.3	单层工业厂房铰接排架的内力分析与组合	(339)
11.4	单层工业厂房排架柱设计	(354)
11.5	牛腿与预埋件设计	(356)
11.6	柱下单独基础设计	(360)
11.7	单层工业厂房设计实例	(367)
	思考题	(398)
	习 题	(399)
	附 表	(401)
	附 图	(404)
12	多层框架结构房屋	(408)
12.1	概述	(408)
12.2	多层房屋的结构类型	(409)
12.3	多层房屋结构的荷载	(411)
12.4	框架房屋的结构布置与计算简图	(412)
12.5	框架结构的内力分析及侧移验算	(418)
12.6	框架结构的内力组合与构件设计	(440)
	思考题	(446)
	习 题	(447)
	参考文献	(448)

0 绪 论

0.1 钢筋混凝土的一般概念

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。混凝土抗压强度较高,抗拉强度却很低;钢筋的抗拉和抗压强度均很高。因此,将两种材料合理地组合在一起,混凝土主要承受压力,钢筋主要承受拉力,这样,两种材料可以各自发挥其优势,成为具有良好工作性能的钢筋混凝土构件或结构。

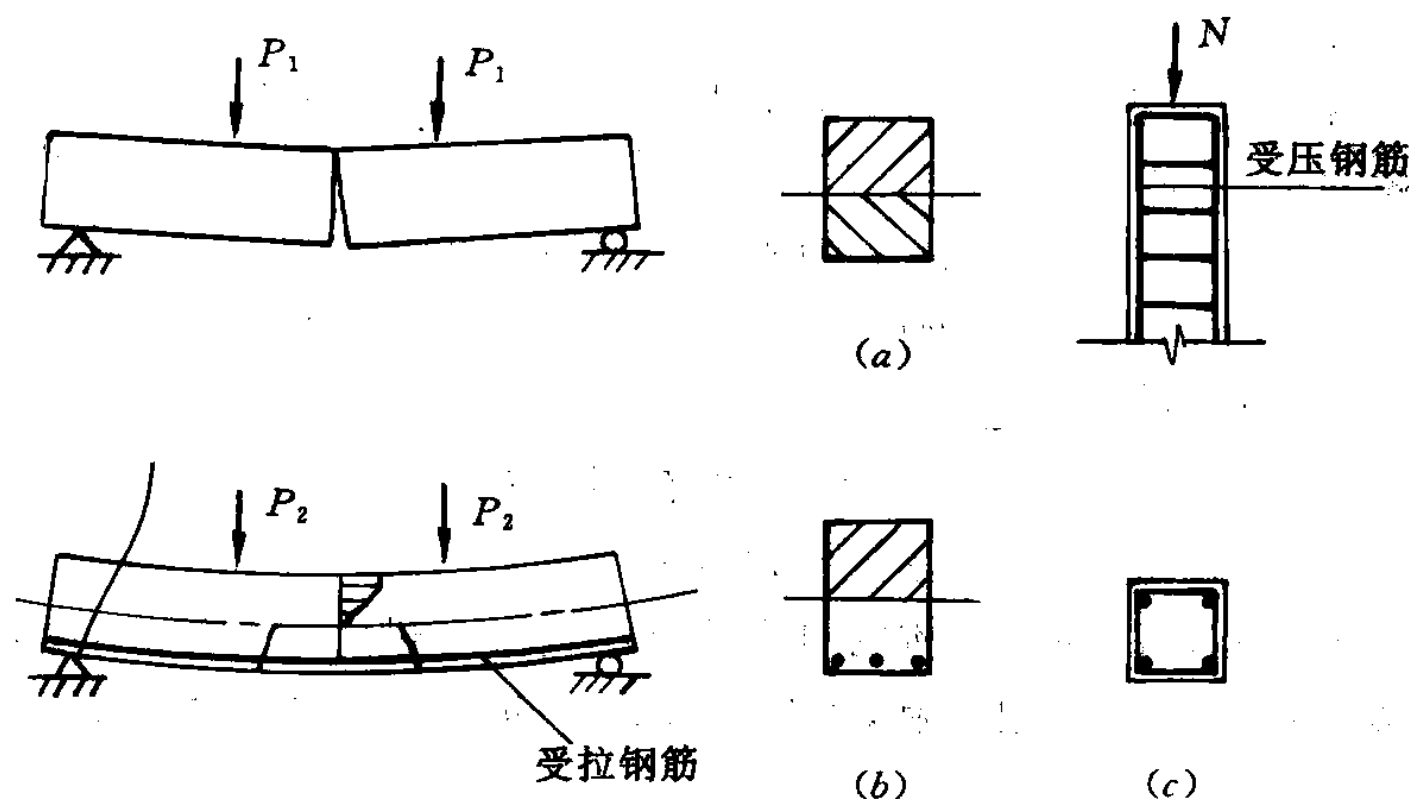


图 0.1

图 0.1(a)、(b)所示为两根截面尺寸、跨度、混凝土强度皆相同的简支梁。一根为素混凝土梁;另一根则在梁的受拉区配有适量钢筋。由试验知:两者的承载力和破坏形式有很大差别。素混凝土梁由于混凝土抗拉能力低,在荷载作用下,梁将由于受拉区混凝土断裂而破坏(图 0.1(a))。这时,受压区混凝土的抗压强度却远远没有得到利用。如果在梁的底部受拉区配置适量的钢筋,构成钢筋混凝土梁,在荷载作用下,受拉区混凝土仍将开裂,但钢筋的存在可以代替开裂的混凝土承受拉力,因而梁可以继续增加荷载,直到钢筋到达其屈服强度,梁才达到破坏荷载。钢筋混凝土梁的承载力比素混凝土梁有很大提高,破坏时,钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度均得到了充分的利用。

又如图 0.1(c)所示的受压柱中,通常也配置钢筋,以协助混凝土承受压力,从而减少柱的截面尺寸,提高柱的承载能力,同时还增加柱的延性。

钢筋与混凝土这两种力学性能不同的材料之所以能结合在一起有效地共同工作,主要原因是:由于混凝土硬化后钢筋与混凝土的接触面上存在有粘结强度,使两者牢固地粘结在一起,相互间不致滑动而能整体工作;其次,钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数非常接近,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,当温度变化时,两者间不会因

温度变化产生较大的相对变形而破坏它们之间的结合;再其次,钢筋至构件边缘间的混凝土保护层,起着防止钢筋锈蚀的作用。当混凝土保护层具有足够的密实性和厚度时,能够保证结构的耐久性,使钢筋与混凝土长期可靠地共同工作。

0.2 钢筋混凝土的主要优缺点

钢筋混凝土除了能合理利用钢筋和混凝土两种材料的性能外,尚有下列优点:

(1)耐久性。在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度随着时间的增长而有所增长,且钢筋受到混凝土的保护而不锈蚀,所以钢筋混凝土的耐久性很好。处于侵蚀性介质或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,经过合理的设计以及采取特殊的措施,一般也能满足工程需要。

(2)耐火性。混凝土是不良导热体,遭火灾时,钢筋因有混凝土包裹而不致很快升温到失去承载力的程度,因而比钢、木结构耐火性能好。

(3)整体性。钢筋混凝土结构特别是现浇的钢筋混凝土结构,由于其整体性好,又具有较好的延性,有利于抗震、抗爆。

(4)可模性。混凝土可根据设计需要浇筑成各种形状和尺寸的结构,适用于形状较复杂的结构,如带肋的屋面板、空心板以及空间壳体等。

(5)就地取材。混凝土中占比例较大的砂、石等材料,产地普遍,就地取材比较容易。由于钢筋混凝土结构构件合理地利用了钢筋和混凝土这两种材料的受力特点,在一定条件下可代替钢结构,因而能节约钢材,降低造价。

由于钢筋混凝土具有上述一系列优点,因而在国内外的工程建设中得到了广泛的应用。

然而,钢筋混凝土结构也存在一些主要缺点:

(1)自重大。普通钢筋混凝土结构的自重比钢结构大。过大的自重,不仅对于设计大跨度结构、高层建筑以及结构抗震均很不利,而且在施工中也会增加材料的运输费用,并使构件吊装、联结都很不便。

(2)费工大、模板用料多、施工周期长。建造整体式的钢筋混凝土结构比较费工,同时又需模板和支撑,且混凝土需在模板内进行一段时间的养护,致使工期延长,同时施工还受到气候的限制。

此外,钢筋混凝土隔热、隔音的性能较差,加固或拆修也较困难,而且,混凝土还存在着抗拉强度低,抗裂性能差的缺陷。

0.3 钢筋混凝土的应用和发展简况

钢筋混凝土结构在建筑工程中的应用,已约有 150 年的历史。早期混凝土结构所用的混凝土强度和钢筋强度都很低,只能用作小型钢筋混凝土梁、板、柱、拱和基础等构件。本世纪 20 年代以后,出现了预应力混凝土结构、装配式钢筋混凝土结构和薄壁空间结构,混凝土结构有了很大发展。

在计算理论方面,从 40 年代到 50 年代中期,钢筋混凝土结构构件的计算方法已有了很大改进,从开始采用考虑混凝土塑性性能的破坏阶段设计方法到采用更为合理的极限状态设计方法。目前,在建筑结构中已采用了以概率理论为基础的可靠理论,使极限状态设计方法更趋

完善。由于计算机和有限元计算方法的广泛采用,以及混凝土和钢筋混凝土弹塑性变形性能的深入研究、现代测试技术的发展,钢筋混凝土结构的计算理论和设计方法将会向更高阶段发展。

在材料方面,过去一般采用抗压强度低于 20N/mm^2 的低强度混凝土。现在已发展到采用 $20\text{N/mm}^2 \sim 50\text{N/mm}^2$ 中等强度混凝土和 50N/mm^2 以上的高强混凝土。近年来,国内外在混凝土中采用掺加减水剂的方法,已制造出强度为 100N/mm^2 的高强混凝土,为混凝土在超高层建筑、大跨度桥梁等方面的应用创造了条件。各种低合金钢筋和高强度钢筋与钢丝也广泛地用于混凝土结构中。为了减轻结构自重,国内外都在发展轻质、高强混凝土,如陶粒混凝土、浮石混凝土、加气混凝土,其自重为 $14\text{kN/m}^3 \sim 18\text{kN/m}^3$,强度可达 50N/mm^2 ,与普通混凝土相比,自重平均可减少约 30%。

在混凝土结构应用方面,由于轻质、高强混凝土材料的发展以及结构设计理论水平的提高,使得钢筋混凝土的应用跨度和高度都在不断增大。例如,1995年建成的朝鲜平壤柳京大旅馆,105层,高达300m;1996年建成的广州中天大厦,80层,高达322m;全部轻混凝土结构的高层建筑是美国休斯敦贝壳广场大厦,高52层215m;预应力轻骨料混凝土建造的飞机库屋盖(德国),结构跨度达90m;预应力混凝土箱形截面桥梁(日本滨各大桥)跨度已达240m以上;我国于1993年建成通车的上海杨浦大桥是目前世界上跨度最大的斜拉桥,全长1172m,主跨602m;前苏联及加拿大分别建成了533m及549m高的预应力混凝土电视塔;我国的北京中央电视塔、天津电视塔,高度均达400m以上。

所有这些都显示了近代钢筋混凝土结构设计和施工水平在日新月异地迅速发展。

0.4 学习本课程需要注意的问题

本课程研究的是由钢筋和混凝土两种材料所组成的构件,而且混凝土是非均匀、非连接、非弹性材料。由于钢筋混凝土是由两种力学性能不同的材料所组成,如果两种材料在强度搭配和数量比值上变化超过一定界限,会引起受力性能的改变,这是钢筋混凝土构件所具有的特点,学习时应加以注意。

本课程不仅要解决强度和变形的计算问题,而且要进一步解决构件的设计问题,包括结构方案、构件选型、材料选择和构造要求等,这是一个综合性问题。对同一问题,往往有多种可能的解决办法。因此,在学习本课程时,要注意培养对多种因素进行综合分析和综合应用的能力。

与其它学科一样,钢筋混凝土构件的计算方法是建立在科学实验基础上的。但由于混凝土材料的物理力学性能比较复杂,目前还没有建立起比较完善而又实用的强度理论,本学科对实验的依赖性更强。因此,在学习过程中要重视构件的实验研究结果,了解实验中的规律性现象,正确理解建立公式时所采用的基本假定的实验依据,应用公式时要注意适用范围和限制条件。

构造处理和有关规定,是长期科学实验和工程实验经验的总结,是对计算必不可少的补充。在设计结构和构件时,计算与构造是同等重要的。学习时要防止重理论轻实践、重计算轻构造的思想,要充分重视对构造规定和要求的理解,并搞清其中的道理。

钢筋混凝土结构是一门实践性很强的课程,在学习一方面要通过课堂教学和教学中的各个实践性环节,学会运用本课程的基本知识和基本理论进行结构设计,解决设计中的构造问题;另一方面要有计划、有针对性的到施工现场、预制构件厂去参观,留心观察已有建筑物的结

构布置、受力体系、截面尺寸、配筋构造和施工工艺,积累感性知识,增加工程经验。

本课程还要学习有关规范。例如,《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)(以下简称规范)、《建筑结构荷载规范》(GBJ9—87),这是在力学课中不曾遇到的问题。设计规范是国家颁布的关于结构设计计算和构造要求的技术规定和标准,是具有约束性和立法性的文件;是贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量、设计方法和审批工程的统一依据;是工程设计人员必须遵守的规定。我国新修订的设计规范反映了我国近40年来在结构工程方面的科学技术水平和工程经验的总结,同时也吸取了有关国际标准的先进成果。在学习过程中要理解它、熟悉它和应用它。

思 考 题

- 0.1 钢筋混凝土结构有哪些优、缺点?
- 0.2 钢筋与混凝土两种物理力学性能不同的材料,为何能共同工作?
- 0.3 学习本课程应注意哪些问题?

1 钢筋和混凝土材料的力学性能

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的,而钢筋混凝土结构构件的受力性能与钢筋和混凝土的力学性能(包括强度和变形)密切相关。为了更好地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与构造,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 混凝土的强度

混凝土是由水泥、砂、石和水按一定比例配合而成。混凝土强度的大小不仅与组成材料的质量和配合比有关,而且与混凝土的硬化条件、龄期、受力情况以及测定其强度时所采用的试件形状、尺寸和试验方法等也有密切的关系。

1.1.1 立方体抗压强度 f_{cu}

由于混凝土抗压强度受许多因素影响,因此必须有一个标准的强度测定方法和相应的强度评定标准。

我国《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)(以下简称《规范》)采用按标准方法制作养护的边长为150mm的立方体试块,在28天龄期,用标准试验方法(试件的承压面不涂润滑剂,加荷速度约每秒 $0.15\text{N/mm}^2 \sim 0.3\text{N/mm}^2$)测得的具有95%保证率的抗压强度作为立方体抗压标准强度,以 $f_{cu,k}$ 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和混凝土立方体抗压强度标准值表示)。由于这种试件的强度比较稳定,制作与试验比较方便,因此《规范》把它作为在统一试验方法下度量混凝土强度的基本指标,也是衡量混凝土各种力学指标的代表值。

图1.1(a)为立方体试件的受力状态,由于混凝土试件的刚度比试验机承压钢板的刚度小得多,而混凝土的横向变形系数大于钢板的横向变形系数,因而试件受压时,其横向变形受到承压面上摩擦阻力的约束,垫板就像“箍”一样把试件的上、下端箍住,最后导致试件形成两个对顶的锥形破坏面,见图1.1(b)。

由于试件的尺寸效应,当采用边长200mm或边长100mm的立方体试件时,须将其抗压强度实测值乘以换算系数转换成标准试件(150mm边长的立方体)的立方体抗压强度值,其换算关系为:

$$f_{cu}(150) = 0.95f_{cu}(100) \quad (1.1)$$

$$f_{cu}(150) = 1.05f_{cu}(200) \quad (1.2)$$

有些国家如美国、日本和欧洲混凝土协会采用直径150mm,高度300mm圆柱体抗压强度作为确定混凝土强度等级的标准,其抗压强度 f_c 与我国标准试件的抗压强度的换算关系为:

$$f_c = 0.79f_{cu} \quad (1.3)$$

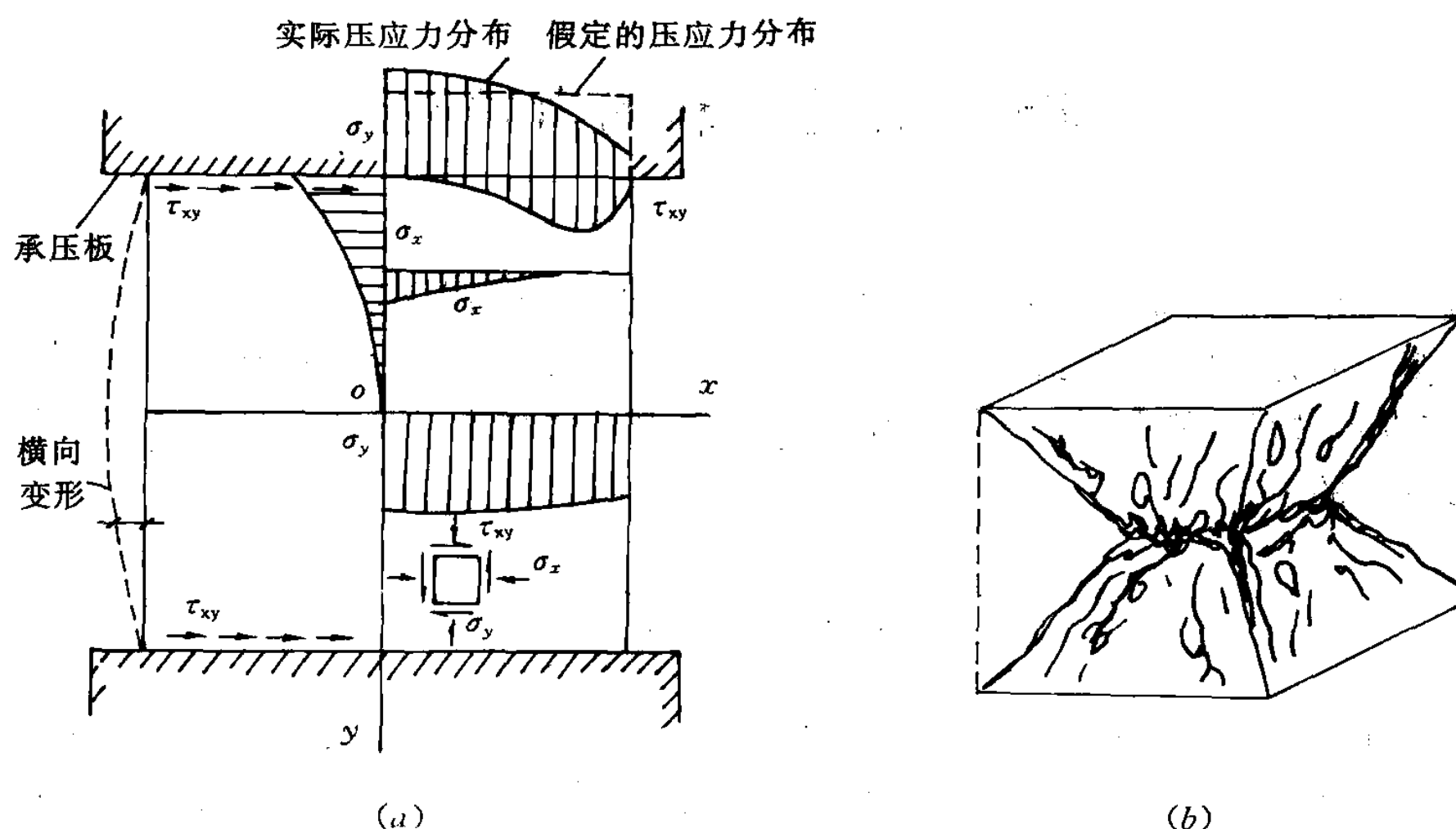


图 1.1

(a)立方体试件的受力状态;(b)破坏形态

1.1.2 轴心抗压强度 f_c

用棱柱体试件测得的抗压强度称为棱柱体抗压强度或轴心抗压强度。试验时,通常棱柱体的高宽比 h/b 取 3~4,常用的试件尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 300\text{mm}$, $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 450\text{mm}$ 。

在图 1.2(a)所示 $h/b=3$ 的棱柱体轴心受压试件中,虽然试件承压面上的摩擦阻力仍然存在,但摩擦阻力对横向变形的约束作用将仅限于试件两端的局部范围内。试件中间约 1/3 区段的横向变形不受约束(σ_x 为拉应力),基本上处于全截面单向均匀受压的应力状态。试件破坏是由于中间区段竖向裂缝的发展,导致混凝土被压酥,因而其抗压强度 f_c 低于立方体抗压强度 f_{cu} ,两者强度平均值的关系为:

$$f_c = 0.76f_{cu} \quad (1.4)$$

考虑到结构构件与试件制作及养护条件的差异,尺寸效应及加荷速度等影响,参照过去的设计经验,对构件中的混凝土强度与立方体强度平均值之间的关系,取:

$$f_c = 0.67f_{cu} \quad (1.5)$$

比较 f_c 和 f_{cu} 的差异,说明混凝土的抗压强度取决于横向变形的约束条件。因此,在进行混凝土构件的承载力计算时,应按照不同的受力状态:如受弯构件、偏心受压构件的非均匀受压情况及局部受压时的非全截面受压情况,采用不同的混凝土抗压强度值。

1.1.3 轴心抗拉强度 f_t

混凝土试件的轴心抗拉强度是确定混凝土抗裂度的重要指标。

混凝土的抗拉强度比抗压强度小得多,一般只有抗压强度的 5%~10%,而且不与立方体抗压强度成正比, f_{cu} 越大,比值 f_t/f_{cu} 越小。

测定混凝土抗拉强度的方法分两种——直接测试法和间接测试法。直接测试法见图 1.3 (a),是将 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 500\text{mm}$ 的柱体,两端埋设长为 150mm 的变形钢筋,试验机夹住

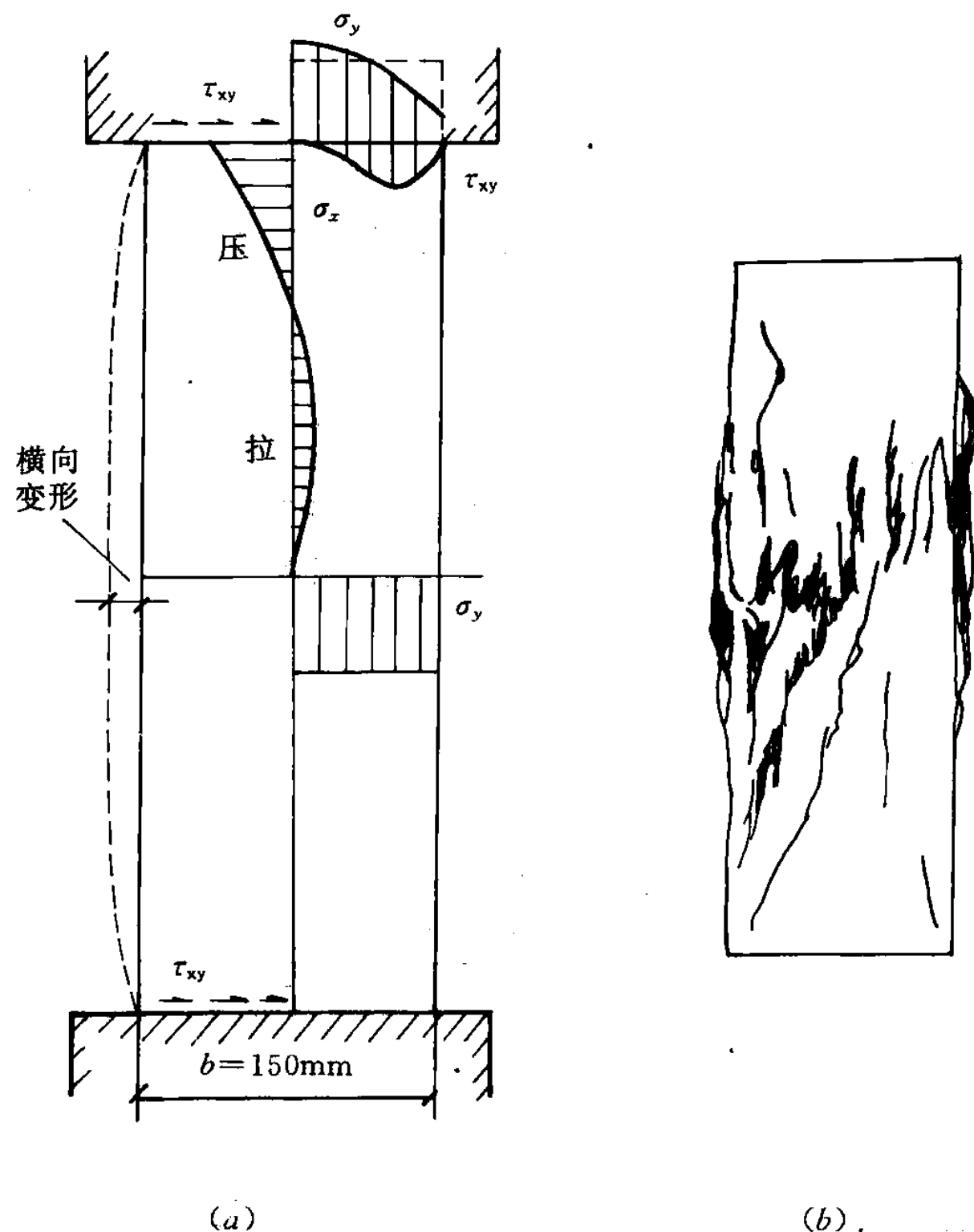


图 1.2

(a)棱柱体受压试件的受力状态;(b)破坏形态

两端伸出的钢筋使试件受拉,破坏时试件中部产生横向裂缝,其平均应力即为混凝土的轴心抗拉强度 f_t 。直接测试法对中比较困难,且离散性大,故国内外多采用立方体或圆柱体试件的劈拉试验来间接测定混凝土的抗拉强度,见图 1.3(b)。劈拉试验对立方体或圆柱体施加线荷载。试件破坏时在破裂面上产生与该面垂直且基本均匀分布的拉应力,其劈拉强度为:

$$f_t = \frac{2p}{\pi dl} \quad (1.6)$$

式中 p ——破坏荷载;

d ——圆柱体直径或立方体边长;

l ——圆柱体长度或立方体边长。

混凝土抗拉强度 f_t 的平均值与 f_{cu} 平均值的关系为:

$$f_t = 0.26 f_{cu}^{2/3} \quad (1.7)$$

与轴心抗压强度 f_c 相同,考虑到构件与试件的差别、尺寸效应及加荷速度等因素的影响,《规范》对混凝土轴心抗拉强度平均值取:

$$f_t = 0.23 f_{cu}^{2/3} \quad (1.8)$$

混凝土的各种强度标准值可见表 1.1。

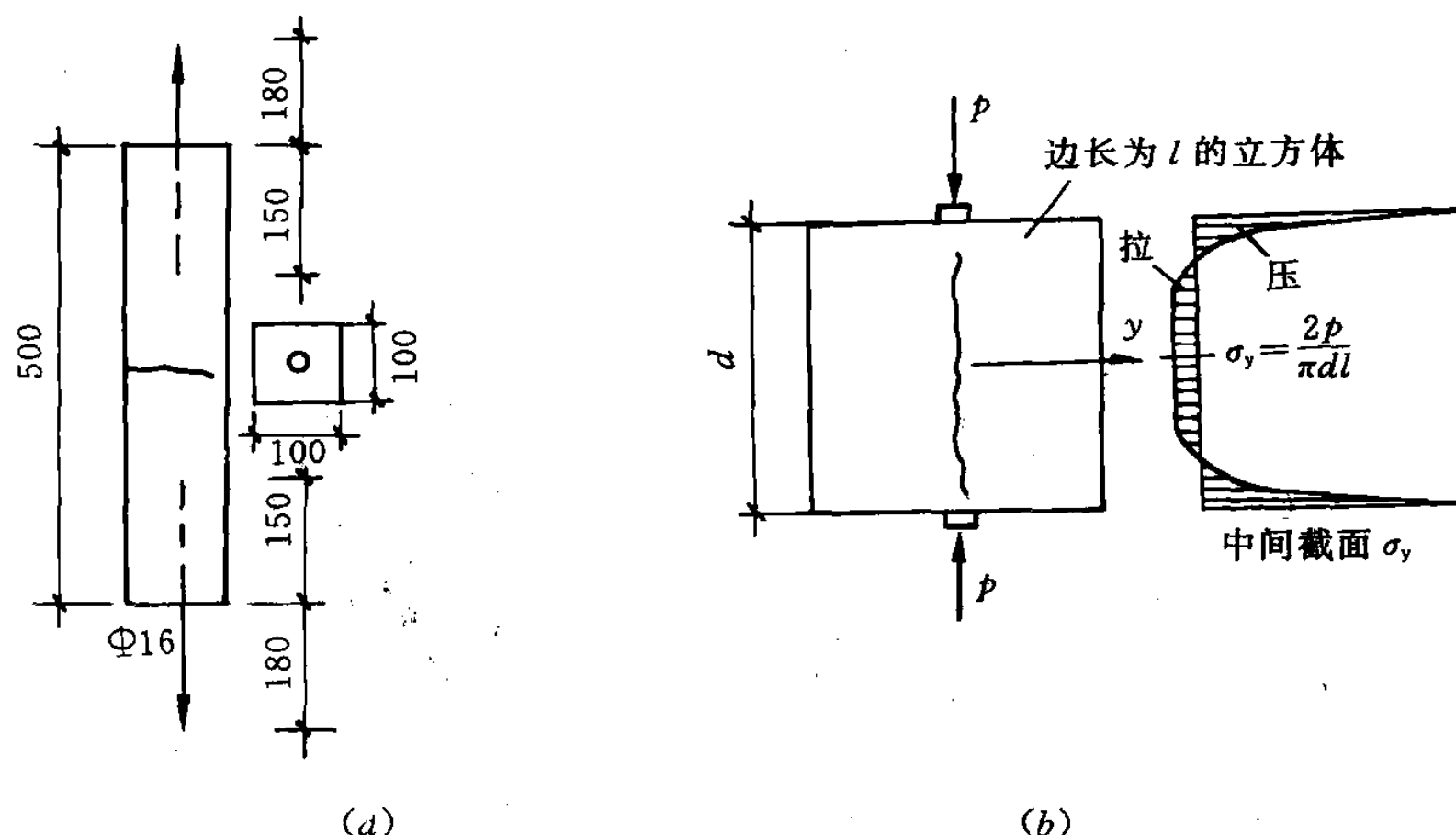


图 1.3

(a)轴心受拉试件;(b)劈拉试件

混凝土强度标准值(N/mm²)

表 1.1

项次	强度种类	符号	混凝土强度等级									
			C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60
1	轴心抗压	f_{ck}	6.7	10.0	13.5	17.0	20.0	23.5	27.0	29.5	32.0	36.0
2	弯曲抗压	f_{cmk}	7.5	11.0	15	18.5	22.0	26.0	29.5	32.5	35.0	39.5
3	轴心抗拉	f_{tk}	0.9	1.2	1.5	1.75	2.0	2.25	2.45	2.6	2.75	2.95

1.1.4 复合应力状态下混凝土的强度

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。

1.1.4.1 混凝土的双轴受力强度

双向应力状态(两个平面上作用着法向应力 σ_1 和 σ_2 ,第三个平面上应力为零)下的混凝土试验曲线如图 1.4 所示。在双向拉应力作用下(第一象限), σ_1 与 σ_2 相互影响不大,混凝土强度与单向拉应力作用下的几乎相同。在双向压应力作用下(第三象限),一向的强度随另一向压应力的增加而增加,双向受压下的混凝土强度比单向受压强度最多可提高 27%($\sigma_2=0.5\sigma_1$ 或 $\sigma_2=2\sigma_1$ 时)。在拉、压组合情形下(二、四象限)无论是抗拉强度还是抗压强度都要降低。

当混凝土受到剪应力 τ 和一个方向的正应力 σ 作用时,形成剪压或剪拉复合应力状态,其强度曲线如图 1.5。混凝土的抗剪强度一般随拉应力的增加而减小,随压应力的增加而增大,但当压应力大于 $0.6f_c$ 时,由于微裂缝的发展,抗剪强度反而随压应力的增加而减小。

1.1.4.2 混凝土的三轴受压强度

在三向压力作用下,混凝土强度会大大提高。当混凝土圆柱体受压试件受到侧向液压作用时,如图 1.6,其纵向抗压强度 σ_1 和应变 ϵ_1 随侧向液压的增大而显著增大,这说明从开始加荷就限制微裂缝的发展,可以极大地提高混凝土的抗压强度,并使混凝土的变形性能接近于理想的塑性状态。试验得出 σ_1 与 $\sigma_2(=\sigma_3)$ 的关系为:

$$\sigma_1 = f_c + 4\sigma_2 \quad (1.9)$$