

高 职 高 专 教 材

混凝土结构实用教程

许佳修 主编
李明惠 吴 瑾 副主编

高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



高职高专教材

混凝土结构实用教程

许佳修 主编

李明惠 吴瑾 副主编



高等教育出版社

内容提要

本书是根据高等职业教育房屋建筑工程专业混凝土结构课程的教学要求编写的。全书共 13 章,主要内容包括:绪论、钢筋混凝土材料的主要力学性能、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、构件裂缝宽度和变形验算、预应力混凝土构件、梁板结构、单层工业厂房、多层框架结构房屋。每章后附有小结、思考题和习题。

本书可作为高等职业教育工业与民用建筑专业的教材,也可作为相近专业如建筑学、施工管理、房地产等专业的教材以及作为土木建筑工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构实用教程/许佳修主编. —北京:高等教育出版社,2000

ISBN 7-04-008982-3

I. 混… II. 许… III. 混凝土结构-高等教育-教材 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 62379 号

混凝土结构实用教程

许佳修 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 江苏如皋印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2000 年 8 月第 1 版

印 张 22.75

印 次 2000 年 8 月第 1 次印刷

字 数 550 000

定 价 28.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

序

江苏省委、省政府在《关于贯彻落实〈中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定〉的若干意见》中提出的积极稳步发展高等教育,特别要积极发展高等职业教育。根据这一要求,省教委制定了《江苏省高等职业教育发展规划和2010年远景目标》,提出到2000年高职高专学校在校生达到7万人以上,占普通高校在校生总数的20%左右;到2010年高职高专学校在校生达到40万人,占普通高校在校生总数的40%左右。并且提出,争取经过5~10年的努力,基本形成与社会主义现代化建设相适应的具有中国特色、时代特征和江苏特点的高职高专人才培养体系和人才培养模式以及相应的课程和教学内容体系,形成一批经过实践检验的课程体系整体优化的人才培养计划,形成一批内容和形式上有突破、有创新的教材以及一批现代教学课件。

根据规划要求,我们在调查研究基础上,首先制定了《江苏省高等职业教育专业目录指南》,并于1997年开始实施。其次,我们制定了高职高专教材建设规划。准备分两步走:第一步,用3~4年时间,在总结研究和继承原有高专教材建设成果的基础上,采取课题立项和招标办法,着力解决新形势下高职高专教材的更新和有无问题。第二步,再用3~4年时间,推出一批具有高职高专特色的优秀教材和教学软件,形成具有江苏省特点和高职高专特色的优化配套的现代教材体系和现代教学软件体系。

在组织编写高职高专教材时,我们强调了以下几点:

1. 定位准确。要紧紧围绕高职高专教育是以培养适应生产、建设、管理、服务第一线需要的技术应用性专门人才为根本任务来制定编写大纲和组织教材。要服从服务于以适应社会需要为目标,以培养技术应用能力和基本素质为主线,设计学生的知识、能力、素质结构,符合培养方案的要求。

2. 突出应用。要以“应用”为主线来构建和创新课程和教学内容体系,不盲目追求内容的系统性和完整性。

3. 特色明显。根据高职高专的培养目标和培养规格要求,在坚持科学性和思想性的前提下,力求做到“浅、宽、精、新、用”。所谓“浅”,就是要做到“必需、够用”,基础理论适度,不求深厚,但求明白会用。所谓“宽”,就是使学生的知识面要宽些,视野开阔些,学生不仅要掌握本专业的知识,还要适当了解相关专业的知识和有关实际应用的案例。所谓“精”,就是要少而精,就是要教给学生从业后利于他们尽快胜任工作而必须掌握或了解的基本知识和基本技能。所谓“新”,就是要教给学生将来所从事的工作岗位或岗位群近期所需要掌握或了解的新理论、新技术、新工艺、新材料、新动向,以利他们将来的发展。要淡化“经典”,摒弃“陈旧”,充实“现代”,跟踪“前沿”。所谓“用”,就是要讲求“实际、实用、实践”,要坚决去掉“华而不实”、“芜杂无用”的东西。

4. 以学为本。编写教材要面向学生,体现以学生为中心、以学习为中心、以基本教育为中心

的教育思想,增强可读性、趣味性、探索性。

5. 形式活泼。文字要通顺,说理要明晰,图文要并茂,实例要生动,形式要活泼。要创造条件,力求将文字教材与现代教学课件相配套。在教材的排版和印刷的设计上既要符合教材的一般规范要求,又要大胆创新,力求达到内容和形式的统一激发学生学习的兴趣。

基于上述目标和思路,我们成立了全省高职高专教材编审委员会,并组织有关教师着手编写第一批主要为第三产业培养人才的有关专业的8本教材。包括财务会计、财务管理、文秘、服装设计、装潢工艺等。同时着手组织编写第二批、第三批教材。第二批主要编写为第二产业培养人才的有关专业的教材;第三批主要编写为第一产业培养人才的有关专业的教材。编写这些教材既有赖于教育行政部门的强有力的组织和学校的支持,更有赖于广大教师的奉献精神,以及他们的学术水平和教学经验。高职高专教育是一项事业,事业的价值在于奉献;高职高专教育是一门科学,科学的价值在于求真;高职高专教育是一门艺术,艺术的价值在于创新。我们正在从事的高职高专教育是一项伟大的事业,我们正在编写的高职高专新教材是一项开拓性的工作,尽管会有这样那样的酸甜苦辣,也会有这样那样的缺点或不足,但我们坚信一定会走出一条自己的路子,为发展具有中国特色的高职高专教育作出应有的贡献!

在编写教材过程中,我们得到了教育部高教司、高等教育出版社、以金陵职业大学为代表的各职业大学(职业技术学院)、以南京动力、机械、农业高等专科学校为代表的各高等专科学校,以及江苏省教委副主任葛锁网同志和有关部门的大力支持和配合,金陵职业大学原教务处处长黄月琼同志在组织谋划方面作出了突出贡献,在此一并表示衷心感谢!

江苏省教委 邱坤荣

2000年3月30日于南京

前 言

本书是江苏省教育委员会组织编写的高等职业教育系列教材之一,本书适合作为高等职业教育房屋建筑工程专业及相近专业 96 学时左右的钢筋混凝土结构课程教学用书。

本书在编写过程中,充分吸取了地方职业大学和高等职业技术学院近年来的教学改革经验,力求体现高等职业教育培养应用型工程技术人才的特色。本教材从以下几方面作了努力:

1. 基本理论,浅显易懂。着重讲清基本概念,推导从简,给出明确的计算方法及实用步骤,尽量减轻学生学习难度;

2. 与其它相关学科的教学内容相配合和衔接,对相关课程的计算理论或公式只提出说明而不作推导,必要的表格附于书后,使学生易于查找相关资料;

3. 及时反映当前工程建设中的新概念、新技术和新工艺的应用。使学生对本课程的发展状况有一个大致的了解;

4. 联系实际,强化应用。对构造要求方面增补了内容,适当增加了习题和例题的数量,并尽可能结合工程实际,与规范一致,且有一定综合性,以提高学生在未来岗位上的适应性。

参加本书编写的有:沙洲职业工学院许佳修(绪论、第 1、2、3 章)、陆宏其(第 8、10 章),南京金陵职业大学李明惠(第 9 章),陈弘(第 6、7 章),连云港职业大学吴瑾(第 5、12 章),泰州职业大学陈红秋(第 4、11 章)。全书由许佳修任主编,李明惠、吴瑾任副主编。

本书由东南大学蒋永生教授担任主审,对本书提出了不少宝贵的意见。在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,且编写时间仓促,书中缺点和错误难免,殷切希望读者提出批评意见。

编 者

2000 年 2 月

责任编辑	吴 博
封面设计	杨立新
责任绘图	朱 静
版式设计	史新薇
责任校对	朱惠芳
责任印制	潘高峰

目 录

绪论	1	小结	28
第一章 钢筋混凝土材料的主要力学性能	4	思考题与习题	28
1.1 混凝土	4	第三章 受弯构件正截面承载力计算	30
1.1.1 混凝土的强度	4	3.1 构造要求	31
1.1.2 混凝土的变形	7	3.1.1 截面形式和尺寸	31
1.2 钢筋	10	3.1.2 受弯构件的钢筋	32
1.2.1 钢筋的品种、级别与形式	10	3.1.3 钢筋的布置要求	33
1.2.2 钢筋的主要力学性能	11	3.1.4 钢筋的直径与截面有效高度	34
1.2.3 钢筋的冷加工	13	3.2 梁正截面受弯性能的分析	35
1.3 钢筋和混凝土的共同工作	14	3.2.1 受弯构件的配筋率对正截面破坏性质的影响	35
1.3.1 粘结的作用及影响因素	15	3.2.2 适筋梁的工作阶段和各阶段的应力状态	36
1.3.2 保证钢筋和混凝土之间粘结的措施	15	3.3 单筋矩形截面受弯构件的承载力计算	37
小结	17	3.3.1 基本计算公式及适用条件	38
思考题	17	3.3.2 截面设计	41
第二章 混凝土结构的设计方法	19	3.3.3 截面校核	46
2.1 结构设计的基本要求	19	3.4 双筋矩形截面受弯构件的承载力计算	47
2.1.1 结构的功能要求	19	3.4.1 计算公式及适用条件	47
2.1.2 结构的极限状态	19	3.4.2 截面设计	48
2.1.3 混凝土结构设计方法	20	3.4.3 截面校核	51
2.2 结构上的作用、作用效应和结构抗力	21	3.5 单筋 T 形截面受弯构件的承载力计算	54
2.2.1 作用的定义及其分类	21	3.5.1 基本公式及适用条件	55
2.2.2 作用效应 S	22	3.5.2 截面设计	58
2.2.3 结构抗力 R	22	3.5.3 截面校核	61
2.3 概率极限状态设计法	23	小结	62
2.3.1 功能函数与极限状态方程	23	思考题与习题	63
2.3.2 结构可靠度、失效概率及可靠指标	24	第四章 受弯构件斜截面承载力计算	65
2.3.3 目标可靠指标与安全等级的关系	25	4.1 钢筋混凝土梁的受剪性能	65
2.4 极限状态实用设计表达式	26	4.1.1 斜裂缝的形成	65
2.4.1 承载力极限状态设计表达式	26	4.1.2 腹筋的作用	65
2.4.2 正常使用极限状态设计表达式	27		

4.1.3 剪跨比	66	6.2.4 工字形对称配筋正截面承载力 计算	126
4.1.4 有腹筋梁的斜截面破坏形式	67	6.3 偏心受压柱的斜截面受剪承载力 计算	130
4.2 钢筋混凝土有腹筋梁的斜截面受剪 承载力计算	68	6.4 构造要求	131
4.2.1 斜截面受剪承载力计算的 基本公式	68	小结	132
4.2.2 计算公式的适用条件	69	思考题与习题	133
4.2.3 斜截面受剪承载力的控制截面	70	第七章 受拉构件承载力计算	135
4.2.4 斜截面受剪承载力设计方法 与步骤	71	7.1 轴心受拉构件承载力计算	135
4.3 构造要求	76	7.2 偏心受拉构件承载力计算	135
4.3.1 抵抗弯矩图	76	小结	139
4.3.2 弯起钢筋	77	思考题与习题	140
4.3.3 纵筋的截断	78	第八章 构件裂缝宽度和变形验算	141
4.3.4 纵筋在支座处的锚固	79	8.1 概述	141
4.3.5 纵筋的搭接	80	8.2 裂缝宽度验算	141
4.3.6 箍筋	80	8.2.1 平均裂缝间距	141
4.3.7 纵向构造钢筋	81	8.2.2 平均裂缝宽度	143
小结	81	8.2.3 最大裂缝宽度	144
思考题与习题	82	8.3 受弯构件挠度计算	146
第五章 受扭构件承载力计算	85	8.3.1 短期刚度 B_s	146
5.1 纯扭构件承载力计算	85	8.3.2 长期刚度 B_l	148
5.1.1 开裂扭矩	85	8.3.3 受弯构件挠度验算	148
5.1.2 矩形截面纯扭构件承载力计算	86	小结	153
5.2 弯剪扭矩形截面构件承载力计算	88	思考题与习题	153
5.2.1 弯剪扭矩形截面构件承载力计算 公式	88	第九章 预应力混凝土构件	154
5.2.2 弯剪扭矩形截面构件配筋计算 步骤	89	9.1 预应力混凝土的基本知识	154
5.3 构造要求	90	9.1.1 预应力混凝土的基本概念	154
小结	93	9.1.2 预应力混凝土结构的优缺点 和应用	155
思考题与习题	93	9.1.3 预应力混凝土结构的发展	155
第六章 受压构件	95	9.2 预应力建立方法和对材料的要求	156
6.1 轴心受压构件承载力计算	95	9.2.1 先张法	156
6.1.1 普通箍筋柱的设计	96	9.2.2 后张法	156
6.1.2 螺旋箍筋柱的设计	100	9.2.3 锚具	157
6.2 偏心受压构件承载力计算	102	9.2.4 预应力混凝土的材料	158
6.2.1 偏心受压构件的受力性能	103	9.3 张拉控制应力和预应力损失	158
6.2.2 附加偏心距和偏心距增大系数	106	9.3.1 张拉控制应力	158
6.2.3 矩形截面偏心受压构件正截面 受压承载力计算	109	9.3.2 预应力损失	159
		9.4 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	163
		9.4.1 使用阶段的承载力计算	163
		9.4.2 抗裂度和裂缝宽度验算	170

9.4.3 施工阶段验算	172	11.1 单层厂房的组成和构件形式	244
9.4.4 预应力受弯构件简介	174	11.1.1 屋盖结构	244
9.4.5 构造要求	175	11.1.2 横向平面排架	246
小结	181	11.1.3 纵向平面排架	248
思考题与习题	182	11.1.4 围护结构	248
第十章 梁板结构	183	11.1.5 支撑体系	249
10.1 概述	183	11.2 单层厂房排架的计算要点	250
10.2 整体现浇单向板肋梁楼盖	185	11.2.1 计算简图	250
10.2.1 单、双向板的划分	185	11.2.2 荷载计算	251
10.2.2 楼盖的结构布置	185	11.2.3 等高排架的内力计算——剪力 分配法	258
10.2.3 单向板楼盖的计算简图	186	11.2.4 柱的最不利内力组合	262
10.2.4 单向板楼盖的内力计算——弹 性计算法	188	11.3 单层厂房柱设计	264
10.2.5 单向板楼盖的内力计算——塑 性计算法	190	11.3.1 柱截面几何尺寸的确定	264
10.2.6 单向连续板的截面计算要点 与构造	192	11.3.2 柱截面设计	264
10.2.7 次梁的计算要点与构造要求	196	11.3.3 牛腿设计	265
10.2.8 主梁的计算要点与构造要求	197	11.4 柱下单独基础设计	271
10.3 整体现浇双向板肋梁楼盖	209	11.4.1 基础底面积的确定	272
10.3.1 概述	209	11.4.2 基础高度的确定	275
10.3.2 双向板的计算	210	11.4.3 基础底板配筋计算	277
10.3.3 双向板的构造	212	11.4.4 基础构造要求	278
10.3.4 双向板支承梁的计算特点	212	小结	286
10.4 装配式楼盖	216	思考题与习题	286
10.4.1 概述	216	第十二章 多层框架结构房屋	289
10.4.2 铺板式楼盖的构件选型与布置	216	12.1 概述	289
10.4.3 构造要求	218	12.1.1 多层及高层房屋的计算特点	289
10.4.4 装配式楼盖的计算特点	220	12.1.2 多层及高层房屋的结构体系	289
10.5 楼梯	222	12.2 多层房屋的结构类型	290
10.5.1 概述	222	12.2.1 全框架结构	291
10.5.2 现浇板式楼梯的计算与构造	222	12.2.2 内框架结构	291
10.5.3 现浇梁式楼梯的计算与构造	228	12.2.3 底层框架结构	292
10.6 雨篷	234	12.3 多层房屋结构的荷载	292
10.6.1 雨篷板的设计	235	12.3.1 竖向荷载	292
10.6.2 雨篷梁的设计	235	12.3.2 风荷载	293
10.6.3 雨篷的整体抗倾覆验算	236	12.4 框架房屋的结构布置与计算简图	293
10.6.4 雨篷的构造要求	237	12.4.1 框架结构的布置	293
小结	242	12.4.2 框架梁柱截面形状及尺寸	295
思考题与习题	242	12.4.3 计算简图	296
第十一章 单层厂房	244	12.5 框架结构的内力分析及侧移验算	297
		12.5.1 竖向荷载作用下的内力近似 计算——分层法	298

12.5.2 水平荷载作用下的内力近似 计算——反弯点法和 D 值法 ...	300	系数及构造要求	322
12.5.3 侧移计算	307	附表 D 等截面等跨连续梁在常用荷载 下按弹性分析的内力系数表	327
12.6 框架结构的内力组合与构件设计	307	附表 E 按弹性理论计算矩形双向板在 均布荷载作用下的弯矩系数表	336
12.6.1 控制截面及最不利内力	307	附表 F 不同受力情况下 γ_0 值及修正值 γ_1 、 γ_2 、 γ_3	341
12.6.2 现浇框架的杆件截面设计及 构造要求	309	附表 G 常用荷载表	347
小结	315	附表 H 常用钢筋参数	349
思考题与习题	316	参考文献	351
附表 A 材料的力学性能	317		
附表 B 构件挠度及变形的控制	320		
附表 C 钢筋混凝土构件配筋计算所用			

绪 论

一、混凝土结构的一般概念

以混凝土为主制作的结构称为混凝土结构。目前使用较多的是钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构,在此首先讲述钢筋混凝土结构。

混凝土是一种重要的建筑材料,它具有较高的抗压强度,但抗拉强度却很低。如一素混凝土梁(图 0.1a),由于混凝土抗拉能力较弱,在荷载作用下,梁的垂直截面上受到弯矩的作用,使梁的中性轴以上部分受压,中性轴以下部分受拉。当荷载到达某一数值,梁在最大弯矩处的垂直截面上,受拉区边缘的混凝土就会产生裂缝。随着裂缝的向上发展,使梁很快断裂而破坏。可见,素混凝土梁的承载能力是由混凝土的抗拉能力控制的。当素混凝土梁受拉区破坏时,受压区混凝土的抗压强度尚未被充分利用。所以素混凝土的承载能力是很低的。

如果在梁中性轴以下的受拉区混凝土中配置一些钢筋,这就成为钢筋混凝土梁(图 0.1b),这种梁在荷载作用下,混凝土受拉区虽然也同样会产生裂缝,但梁并不会轻易断裂而破坏。因为,当混凝土裂缝产生后,其拉应力已转移给钢筋去承受,受压区混凝土仅承受压应力。只有在梁上的荷载继续增加到能使钢筋内的拉应力达到其抗拉的极限强度,混凝土的压应力达到抗压极限强度时,梁的承载能力才被用尽而破坏。根据试验资料,钢筋混凝土梁的承载能力比相同尺寸的素混凝土梁的承载能力约可提高 10~20 倍。这样根据受力分析,合理地在混凝土内配置钢筋的构件称为钢筋混凝土构件,它既利用了钢筋抗拉强度高的优点,又发挥了混凝土较高的抗压能力,做到了物尽其用。由钢筋混凝土做成的建筑结构,就称为钢筋混凝土结构。

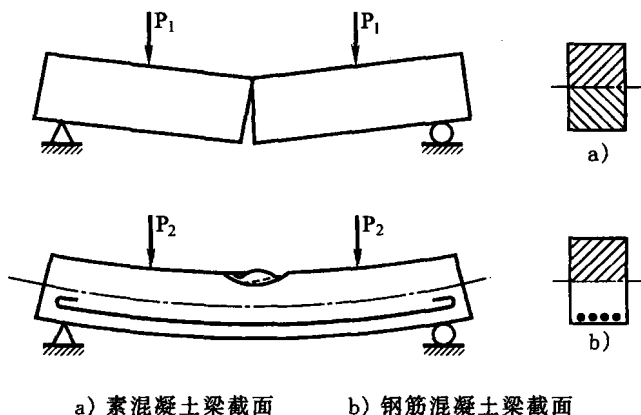


图 0.1

钢筋和混凝土这两种在本质上不同的材料,能合成一个整体共同承受荷载的原因有两点:一是混凝土在结硬时与钢筋牢固地粘结成一个坚强的整体,当构件承受荷载时,钢筋和相邻的混凝土

土具有同样的变形,而没有相对的滑移;二是钢筋和混凝土的温度膨胀系数几乎相等,因而温度变化不致破坏钢筋混凝土构件的整体性。

二、混凝土结构的主要优缺点

钢筋混凝土结构与其它结构相比除了能充分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、耐火。钢筋埋置在混凝土中,经混凝土保护不易发生锈蚀,故耐久性好。另遭火灾时,混凝土导热差,包裹钢筋不会像木结构那样被燃烧,也不会像钢结构那样很快达到软化温度而破坏;

(2) 可模性好。可以根据需要浇筑成任何形状;

(3) 整体性好。钢筋混凝土结构,特别是现浇的钢筋混凝土结构,整体性和延性都很好,有利于抗震、抗爆;

(4) 降低造价。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,因而节约了钢材,也即降低了造价;

(5) 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,砂和石料一般都可以由建筑工地附近供应。

钢筋混凝土结构也存在一些缺点,如:

(1) 自重。钢筋混凝土结构的自重比钢结构大。这不仅对设计大跨度结构、高层建筑以及抗震很不利,而且在施工中也会增加材料的运输费用,并使构件吊装、联结都很不方便;

(2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度很低,普通钢筋混凝土结构经常带裂缝工作。尽管裂缝存在并不一定意味着结构即将发生破坏,但它影响结构的耐久性和美观;

(3) 费工、费时。建造整体式钢筋混凝土结构比较费工,同时又需要模板和支撑,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条件的限制。

由于钢筋混凝土结构具有上述一系列的优点,所以钢筋混凝土的应用极为广泛。人们已经研究出许多克服其缺点的有效措施。例如,采用轻质高强混凝土可以有效减轻自重,采用预应力混凝土结构可以解决抗裂性差的问题,装配式钢筋混凝土结构以及压型钢板的组合楼盖的应用和发展,对克服上述钢筋混凝土的缺点均具有很重要的意义。

三、混凝土结构的应用及发展

19 世纪中期,继硅酸盐水泥的研制成功,混凝土结构开始在法、英等国出现。早期混凝土结构所用的混凝土和钢筋的强度都很低,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,装配式混凝土结构和薄壁空间结构,混凝土结构有了很大发展,主要表现在以下几个方面:

(1) 材料方面,强度从低到高,品种从少到多。过去常用低强度混凝土(低于 20 MPa),目前已经研制成强度为 200 MPa 左右的混凝土。密度为 $1.4 \times 10^3 \sim 1.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的陶粒混凝土、浮石混凝土、泡沫混凝土、加气混凝土等轻质混凝土已得到广泛应用。各种低合金钢筋和高强度钢筋与钢丝也广泛地应用于混凝土结构中。轻质高强材料的采用,为高层建筑和大跨结构的发展提供了有利条件;

(2) 结构方面,由过去的简单结构,发展到高层、大跨等复杂结构。预应力混凝土结构和装配式钢筋混凝土结构这些型式,可采用工厂化生产的方法以及应用高强度钢筋和高标号混凝土制作。这不仅能克服结构自重、抗裂性差和施工季节的影响等缺点,并且提高了结构构件的质量,节约了钢材和木材,加快了建设速度,进一步扩大了钢筋混凝土结构的应用范围。从而使钢筋混凝土结构成为我国当前建设中极为广泛采用的一种结构类型;

(3) 设计理论方面,最早是凭经验估算,后来,经过了容许应力法、破损阶段计算法、极限状态设计法到目前的概率极限状态设计法,设计规范日趋完善,构造措施逐步合理,电子计算机在辅助设计和施工管理方面都已得到广泛应用。

四、学习本课程要注意的问题

本课程是一门实践性很强的学科,它是研究由钢筋和混凝土两种材料组成的结构,而且混凝土材料的力学性能比较复杂,目前还没有建立起比较完善而又实用的强度理论,许多计算公式都是通过科学实验和对实际工程的统计分析得出的。学习时应注意以下几点:

(1) 混凝土结构是弹塑性材料,这与力学课程中所学的刚性材料或理想弹性材料有很大区别,要了解混凝土结构的受力性能和破坏特征,必须先掌握钢筋和混凝土各自的力学特性;

(2) 由实验和工程分析得出的计算公式,虽不如数学和力学公式那样严谨,但很好地反映了结构的真实受力性能。学习本课程时,要注意计算公式与力学公式的联系与区别,注意公式的适用范围和限制条件;

(3) 混凝土结构的实用计算公式中略去了一些次要因素,如收缩、温度影响及不均匀沉降等。这些影响是用构造措施来补充的,在设计结构和构件时,计算与构造是同等重要的。要十分重视对构造规定和要求的理解,并了解其中的道理;

(4) 为了指导混凝土结构的设计工作,各国都制订有专门的技术标准和设计规范。它们是各国在一定时期内理论研究成果和实际工作经验的总结,是技术性的立法文件。在学习时应好好地熟悉、掌握和运用它们。

(5) 本课程实践性极强,学习时最好结合工程实际,如到施工现场、预制构件厂观看混凝土构件施工情况,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,积累感性认识,增加工程经验。

第一章 钢筋混凝土材料的主要力学性能

1.1 混 凝 土

1.1.1 混凝土的强度

混凝土是用水泥、水和骨料(细骨料如砂,粗骨料如卵石、碎石等)等原材料经搅拌后入模浇筑、并经养护硬化后做成的人工石材。

混凝土在凝结硬化过程中,水泥和水形成的水泥胶块(包括水泥结晶体和水泥凝胶体)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,并使混凝土产生一定的弹性变形。水泥凝胶体则起着调整和扩散混凝土应力的作用,并使混凝土具有相当的塑性变形。

在混凝土凝结初期,由于水泥胶块的收缩、泌水以及骨料下沉等原因,在骨料与水泥胶块的接触面上以及水泥胶块内部将形成微裂缝。骨料与水泥胶块的接触面上的微裂缝,亦称为粘结裂缝(图 1.1),它是混凝土内最薄弱的环节。混凝土受荷前存在的微裂缝,在荷载作用下将继续发展,对混凝土的强度和变形会产生重要影响。

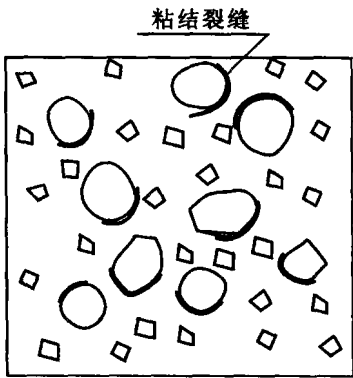


图 1.1 混凝土内微裂缝

一、立方体抗压强度

混凝土强度是指材料所能承受的某种极限应力。它的大小不仅与组成材料的质量和配合比有关,而且还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关系。

我国《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)(以下简称《规范》)规定,用边长 150 mm 的立方体试块,在标准条件下(温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\geq 90\%$ 的潮湿空气中)养护 28 天,用标准试验方法(加荷速度约每秒 $0.15 \sim 0.25\text{ N/mm}^2$,试块表面不涂润滑剂、全截面受力)加压至试件破坏时测得的具有 95% 保证率的抗压强度作为混凝土立方体抗压强度,以此作为混凝土强度等级,并用符号 f_{cu} 表示。

《规范》规定的混凝土强度等级有 12 个级别,即:

C7.5; C10; C15; C20; C25; C30; C35; C40; C45; C50; C55; C60

字母 C 后面的数字表示以 MPa 为单位的立方体抗压强度标准值。

立方体抗压强度,也可采用边长 200 mm 或边长 100 mm 的立方体试块测定。由于试件尺寸的影响,试件承压面上受到的摩阻力不同,用 200 mm 边长的试块测得的强度偏低,而用 100 mm 边长的试块测得的强度偏高。因此,需将非标准试块的实测值乘以换算系数转换成标准试块的立方体抗压强度。根据对比试验结果,混凝土立方抗压强度换算系数为:

立方体试块尺寸	强度换算系数
200 mm × 200 mm × 200 mm	1.05
100 mm × 100 mm × 100 mm	0.95

二、轴心抗压强度

同样边长的混凝土试件,随着高度的增加(即由立方体变为棱柱体),其抗压强度将下降。但当高宽比超过 3 以后,降低的幅度不再很大。试验表明,用高宽比为 3~4 的棱柱体测得的抗压强度与以受压为主的钢筋混凝土构件中的混凝土抗压强度基本一致。因此,可将它作为以受压为主的钢筋混凝土结构构件的抗压强度,称为轴心抗压强度或棱柱体抗压强度,并用符号 f_c 表示。

轴心抗压强度是混凝土最基本的强度指标,但在工程中很少直接测量,而是测定立方强度进行换算。其原因是立方体试块具有节省材料、试验时便于加荷对中、操作简单、试验数据离散性小等优点。由高宽比为 3(试件尺寸)的棱柱体试件与边长为 150 mm 的立方体试块对比试验结果,再考虑到结构构件与试件制作及养护条件的差异,尺寸效应,及加载速度的影响,参照过去的设计经验,《规范》规定构件中的混凝土强度与立方体强度平均值之间的关系为

$$\mu_{f_c} = 0.67 \mu_{f_{cu}} \quad (1.1)$$

三、混凝土的抗拉强度

测定混凝土抗拉强度的方法分为两类。一类为直接测试方法,如图 1.2a 所示,对两端预埋钢筋的棱柱体试件(钢筋位于试件轴线上)施加拉力,试件破坏时的平均拉应力即为混凝土的抗拉强度,并用符号 f_t 表示。这种测试对试件尺寸及钢筋位置要求较严。

混凝土的抗拉强度远小于其抗压强度,一般只有抗压强度的 1/9~1/18,且不与抗压强度成比例增长。 f_{cu} 越大,比值 f_t/f_{cu} 越小。

根据立方抗压和轴心抗拉的对比试验结果,并考虑到现场条件与试验室的差别,《规范》规定构件中的混凝土轴心抗拉强度的统计平均值与试件立方强度统计平均值的关系为

$$\mu_{f_t} = 0.67 \mu_{f_{cu}}^{2/3} \quad (1.2)$$

另一类为间接测试方法,如劈裂试验、弯折试验等。劈裂试验如图 1.2b、c 所示,对圆柱体或立方体试件施加线荷载。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。当试件劈裂破坏时,混凝土劈裂抗拉强度可由下式计算:

$$f_{ts} = \frac{2P}{\pi dl} \quad (1.3)$$

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。

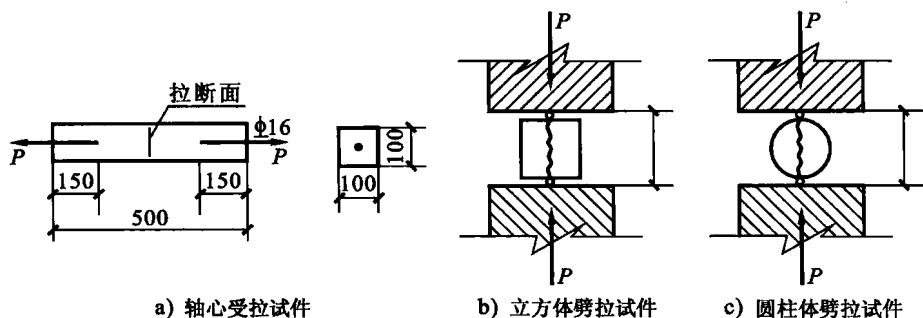


图 1.2

四、复合应力状态下的混凝土强度

在钢筋混凝土结构中,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。

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 1.3 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%,在拉、压组合情形下(第二、四象限),无论是抗拉强度或抗压强度都要降低。

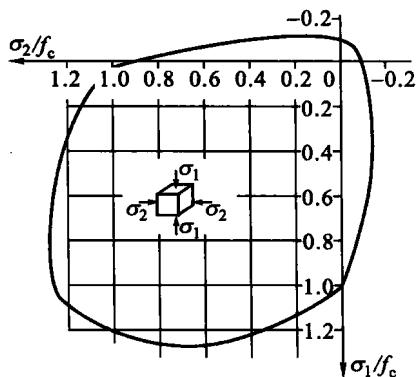


图 1.3 混凝土双向应力试验曲线

当混凝土受到切应力 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 1.4 所示。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 $(0.5 \sim 0.7)f_c$ 时,抗剪强度反而随压应力的增加而减小。

在三向压力作用下,混凝土强度会有很大的提高,试验得出:混凝土在侧向压力约束下,其轴心抗压强度有与侧向压应力有如下关系:

$$f'_\infty = f'_c + 4.1\sigma_2 \quad (1.4)$$

式中: f'_∞ ——受约束试件的轴心抗压强度;

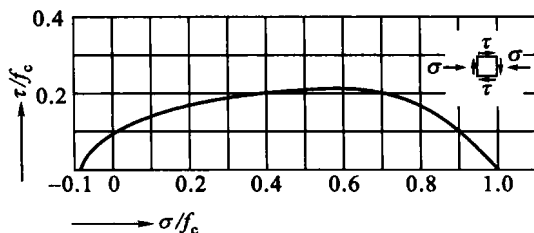


图 1.4 混凝土剪压或剪拉复合应力状态下的强度