

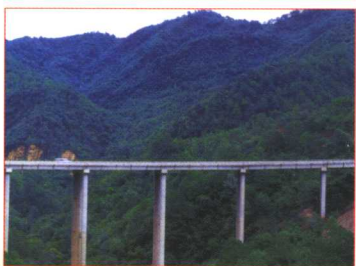
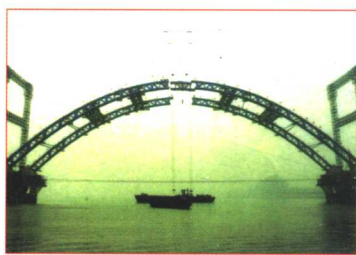


普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

结构设计 原理

(第二版)

叶见曙 主编
李国平 主审



人民交通出版社

China Communications Press

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

Jiegou Sheji Yuanli

结构设计原理

(第二版)

叶见曙 主编
李国平 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

根据高等学校土木工程专业、道路桥梁和渡河工程专业结构设计原理课程的教学要求,参照中华人民共和国国家标准和交通部颁布的现行交通行业标准与设计规范,对公路桥涵钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构和钢结构的各种基本构件受力特性、设计原理、计算方法和构造设计作了详尽介绍,同时对钢—混凝土组合结构构件的设计原理和方法也作了介绍。

本书为高等学校土木工程、道路桥梁与渡河工程专业用教材,也可供公路和城市建设部门从事桥梁设计、工程研究、施工和管理的专业技术人员参考。

(此书封面标识由中国建筑工业出版社提供)

图书在版编目(CIP)数据

结构设计原理/叶见曙主编. —2版. —北京:人民交通出版社,2005.5

ISBN 7-114-05557-9

I. 结... II. 叶... III. 建筑结构—结构设计

IV. TU318

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第043998号

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

书 名: 结构设计原理(第二版)

著 者: 叶见曙 主编

李国平 主审

责任编辑: 韩 敏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 85285838, 85285995,

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 32.75

字 数: 816千

版 次: 1997年4月第1版 2005年6月第2版

印 次: 2005年6月第2版 第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-05557-9

印 数: 0001~5000册

定 价: 51.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

第二版前言

教材《结构设计原理》(1996年版)自出版发行以来,在全国高等院校相关专业的教学中得到广泛使用。近年来,我国公路桥梁建设技术及工程研究有了很大的发展,新的技术标准和部分设计规范已颁布。为了适应工程技术新的发展和教学要求,东南大学、长安大学和长沙理工大学组织进行了《结构设计原理》教材第二版的编写工作。

在国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)基础上,交通部颁布了交通行业标准《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)、《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)。与1985年颁布的设计规范比较,无论是在内容上(设计原则、计算方法和构造要求)还是在形式上(术语、符号和计量单位等)都有很大的改变,特别是在钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁的结构设计原则上,由半概率极限状态法改为近似概率极限状态法,因此,本书根据上述新颁布的设计规范对这部分教材内容作了相应修改。由于公路桥涵圬工结构和钢结构设计规范尚在修改中,故本书对圬工结构、钢结构和钢—混凝土组合结构仍参照原设计规范修改。

本书仍保持原《结构设计原理》(1996年版)的编写体系、特色与风格,在总结教材使用意见的基础上,为便于教学,对其中某些章节内容进行了简化调整。符号和计量单位也按照国家标准及设计规范作了全面调整。

在教材第二版的编写中,进一步注意了内容的编排、文字的表述,增加了对有关专业术语的解释,并且增编了主要章节的复习思考题与习题。

全书由东南大学叶见曙主编,同济大学李国平主审。

参加修订版编写人员及分工为:总论、第1、3、4、5、6、7、10和11章由叶见曙(东南大学)编写;第2章由张建仁(长沙理工大学)编写;第5、8、9和15章由吴文清(东南大学)编写;第12和13章由安琳(东南大学)编写;第14章由田仲初(长沙理工大学)编写;第16和17章由张克波(长沙理工大学)编写;第18、19、20、21、22、23和24章由周绪红(长安大学)和狄谨(长安大学)编写。

教材第二版编写过程中得到同济大学范立础教授、陈艾荣教授、长安大学徐岳教授、哈尔滨工业大学黄侨教授和中交公路规划设计院鲍卫刚教授级高级工程师的指导和帮助,在此表示衷心感谢。

衷心感谢邵容光教授、赖国麟教授、毛瑞祥教授和袁国干教授。

东南大学研究生张娟秀、王毅、郑亚明、王曦婧、高晶;长安大学研究生戴鹏、石宇、陈爱萍、商岸帆、高志勇;长沙理工大学研究生张涟英、黄宏辉参加了本教材的例题核算和插图绘制工作。

对于本书存在的错误和缺点,恳请读者批评指正,有关意见可寄东南大学交通学院桥梁与隧道工程研究所(江苏省南京市四牌楼2号,邮编210096)。

编者

2004年12月

第一版前言

本书根据1994年全国高等院校路、桥及交通工程专业教学指导委员会会议审定通过的《结构设计原理》教材编写大纲编写。

本书共分五篇。第一篇至第四篇分别介绍钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、砌体结构和钢结构的设计原理和计算方法。第五篇介绍的内容是钢-混凝土组合结构构件。

本书编写的主要依据为我国交通部部颁标准《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)、《公路砖、石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)和《公路桥涵钢结构和木结构设计规范》(JTJ 025—86)。

全书主要内容按照高等学校公路与城市道路专业、桥梁工程专业的结构设计原理课程教学大纲和教学基本要求编写。编写内容密切结合我国的工程实际和研究成果,力求文字简练、深入浅出以及理论联系实际。全书在讲清基本概念和基本原理的基础上,介绍了工程设计中实用的计算方法,并列举了较多的计算示例。

根据国内外结构工程的发展,本书还编写了钢-混凝土组合构件、双预应力混凝土梁、深梁等内容,以扩大学生的知识面。对于这些内容,可根据不同的教学要求和学时安排,作为选学和自学内容。

本书均采用国家法定计量单位。

全书由叶见曙主编,同济大学袁国干教授主审。

本书编写人员及分工为:总论、第一、三、四、六、七、十、十一、二十四章由叶见曙(东南大学)编写;第二章由张建仁(长沙交通学院)编写;第五、十五章由朱征平、叶见曙(东南大学)编写;第八、九章由刘其伟、叶见曙(东南大学)编写;第十二、十三章由赖国麟(东南大学)编写;第十四章由田仲初(长沙交通学院)编写;第十六、十七章由张克波(长沙交通学院)编写;第十八、十九、二十、二十一、二十二章由毛瑞祥(西安公路交通大学)编写;第二十三章由毛瑞祥、叶见曙编写。

在本书编写过程中,邵容光教授给予热情指导,在此表示衷心感谢。

限于编者的水平,本书一定存在不少缺点,请使用本书的学校和个人批评指正,有关意见可径寄东南大学交通学院桥梁工程教研室(邮编:210096)。

编 者

1996年4月

目 录

总论	1
0.1 各种工程结构的特点及使用范围	1
0.2 学习本课程应注意的问题	3

第一篇 钢筋混凝土结构

第1章 钢筋混凝土结构的基本概念及材料的物理力学性能	4
1.1 钢筋混凝土结构的基本概念	4
1.2 混凝土	6
1.3 钢筋	15
1.4 钢筋与混凝土之间的粘结	18
复习思考题与习题	21
第2章 结构按极限状态法设计计算的原则	23
2.1 概率极限状态设计法的基本概念	24
2.2 我国公路桥涵设计规范(JTG D62—2004)的计算原则	32
2.3 材料强度的取值	34
2.4 作用、作用的代表值和作用效应组合	36
复习思考题与习题	40
第3章 受弯构件正截面承载力计算	41
3.1 受弯构件的截面形式与构造	41
3.2 受弯构件正截面受力全过程和破坏形态	45
3.3 受弯构件正截面承载力计算的基本原则	49
3.4 单筋矩形截面受弯构件	54
3.5 双筋矩形截面受弯构件	61
3.6 T形截面受弯构件	65
复习思考题与习题	73
第4章 受弯构件斜截面承载力计算	76
4.1 受弯构件斜截面的受力特点和破坏形态	76
4.2 影响受弯构件斜截面抗剪能力的主要因素	80
4.3 受弯构件的斜截面抗剪承载力	82
4.4 受弯构件的斜截面抗弯承载力	86
4.5 全梁承载能力校核与构造要求	90
4.6 连续梁的斜截面抗剪承载力	103
复习思考题与习题	108

第 5 章 受扭构件承载力计算	109
5.1 纯扭构件的破坏特征和承载力计算	109
5.2 在弯、剪、扭共同作用下矩形截面构件的承载力计算	117
5.3 T形和 I形截面受扭构件	121
5.4 箱形截面受扭构件	122
5.5 构造要求	123
复习思考题与习题	126
第 6 章 轴心受压构件的正截面承载力计算	127
6.1 配有纵向钢筋和普通箍筋的轴心受压构件	127
6.2 配有纵向钢筋和螺旋箍筋的轴心受压构件	134
复习思考题与习题	137
第 7 章 偏心受压构件的正截面承载力计算	138
7.1 偏心受压构件正截面受力特点和破坏形态	139
7.2 偏心受压构件的纵向弯曲	142
7.3 矩形截面偏心受压构件	145
7.4 工字形和 T形截面偏心受压构件	162
7.5 圆形截面偏心受压构件	169
复习思考题与习题	176
第 8 章 受拉构件的承载力计算	178
8.1 概述	178
8.2 轴心受拉构件	178
8.3 偏心受拉构件	179
复习思考题与习题	182
第 9 章 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形计算	184
9.1 概述	184
9.2 换算截面	185
9.3 应力计算	187
9.4 受弯构件的裂缝及最大裂缝宽度验算	189
9.5 受弯构件的变形(挠度)验算	195
9.6 混凝土结构的耐久性	202
复习思考题与习题	206
第 10 章 局部承压	207
10.1 局部承压的破坏形态和破坏机理	208
10.2 混凝土局部承压强度提高系数	210
10.3 局部承压区的计算	212
复习思考题与习题	214
第 11 章 深受弯构件	216
11.1 深受弯构件的破坏形态	216
11.2 深受弯构件的计算	217
复习思考题与习题	221

第二篇 预应力混凝土结构

第 12 章 预应力混凝土结构的基本概念及其材料	222
12.1 概述	222
12.2 预加应力的方法与设备	226
12.3 预应力混凝土结构的材料	233
12.4 预应力混凝土结构的三种概念	239
复习思考题与习题	243
第 13 章 预应力混凝土受弯构件的设计与计算	245
13.1 概述	245
13.2 预应力混凝土受弯构件承载力计算	247
13.3 预加力的计算与预应力损失的估算	253
13.4 预应力混凝土受弯构件的应力计算	264
13.5 预应力混凝土构件的抗裂验算	271
13.6 变形计算	274
13.7 端部锚固区计算	276
13.8 预应力混凝土简支梁设计	278
13.9 预应力混凝土简支梁计算示例	287
复习思考题与习题	309
第 14 章 部分预应力混凝土受弯构件	313
14.1 部分预应力混凝土结构的受力特性	313
14.2 部分预应力混凝土结构的发展与特点	314
14.3 允许开裂的部分预应力混凝土受弯构件的计算	316
14.4 允许开裂的部分预应力混凝土受弯构件的设计	325
14.5 构造要求	328
复习思考题与习题	329
第 15 章 无粘结预应力混凝土受弯构件简介	330
15.1 无粘结预应力混凝土受弯构件的受力性能	330
15.2 无粘结部分预应力混凝土受弯构件的计算	333
15.3 无粘结部分预应力混凝土受弯构件的截面设计	335
15.4 无粘结部分预应力混凝土受弯构件的构造	336
复习思考题与习题	338

第三篇 圬工结构

第 16 章 圬工结构的基本概念与材料	339
16.1 圬工结构的基本概念	339
16.2 材料种类	340
16.3 砌体的强度与变形	343

复习思考题与习题	348
第 17 章 圬工结构构件的承载力计算	349
17.1 计算原则	349
17.2 受压构件的承载力计算	349
17.3 局部承压以及受弯、受剪构件的计算	357
复习思考题与习题	359

第四篇 钢 结 构

第 18 章 钢结构基本概念	360
18.1 钢结构的特点及应用	360
18.2 钢结构的计算原则	361
复习思考题与习题	364
第 19 章 钢结构的材料	365
19.1 钢材的破坏形式	365
19.2 钢材的主要力学性能	365
19.3 影响钢材性能的因素	368
19.4 钢材在复杂应力状态下的工作性能	373
19.5 钢材种类、牌号及其选用	374
复习思考题与习题	377
第 20 章 钢结构的连接	378
20.1 焊缝连接	378
20.2 普通螺栓连接	393
20.3 高强度螺栓连接	404
复习思考题与习题	409
第 21 章 钢桁架构件	412
21.1 钢桁架的构造	412
21.2 实腹式轴心受拉构件	415
21.3 实腹式轴心受压构件	419
21.4 格构式轴心受压构件	425
21.5 实腹式拉弯构件和压弯构件	433
21.6 钢桁架节点设计	439
复习思考题与习题	444
第 22 章 钢板梁	447
22.1 钢板梁的构造	447
22.2 钢板梁的强度计算	447
22.3 钢板梁的刚度计算	449
22.4 钢板梁的整体稳定计算	450
22.5 钢板梁的局部稳定和腹板加劲肋的设计	453
22.6 钢板梁的截面变化	458

复习思考题与习题	461
----------	-----

第五篇 钢—混凝土组合构件

第 23 章 钢—混凝土组合梁	463
23.1 概述	463
23.2 钢—混凝土组合梁的计算原理	465
23.3 抗剪连接件设计	471
23.4 设计计算示例	474
第 24 章 钢管混凝土构件	478
24.1 钢管混凝土的特点与应用	478
24.2 钢管混凝土受压构件的工作性能	479
24.3 钢管混凝土受压构件的承载力计算	482
24.4 钢管混凝土构件的一般构造要求	486
附表	487
参考文献	504

总 论

《结构设计原理》主要讨论土木基础设施工程中各种工程结构的基本构件受力性能、计算方法和构造设计原理,它是学习和掌握桥梁工程和其它道路人工构造物设计的基础。

桥、涵洞、隧道、挡土墙等都是土木基础设施工程中的构造物,作为单项工程实体,必须由它的承重骨架来承受各种外荷载的作用。一般把构造物的承重骨架组成部分统称为结构。例如,桥的桥跨、墩(台)及基础组成了桥的承重体系,它们就被称为结构。

构造物的结构都是由若干基本构件连接而成的。这些构件的形式虽然多种多样,但按其受力特点可分为受弯构件(梁和板)、受压构件、受拉构件和受扭构件等典型的基本构件。

在实际工程中,结构及基本构件都是由建筑材料制作成的。根据所使用的建筑材料种类作为总称,常用的结构一般可分为:

1)混凝土结构 以混凝土为主制作的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。

2)钢结构 是以钢材为主制作的结构。

3)圬工结构 以圬工砌体为主制作的结构,是砖结构、石结构和混凝土砌体结构的总称。

4)木结构 以木材为主制作的结构。

本书将介绍钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构和钢结构等的材料物理力学性能及基本构件受力性能、设计计算方法和构造。

0.1 各种工程结构的特点及使用范围

由于各种工程结构采用的建筑材料的性质不同,形成了不同的特点,从而决定了它们在实际工程中的使用范围。

1)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。钢筋是一种抗拉性能很好的材料;混凝土材料具有较高的抗压强度,而抗拉强度很低。根据构件的受力情况,合理地配置钢筋可形成承载能力较高、刚度较大的结构构件。

钢筋混凝土结构所用的混凝土材料中占比较大的是砂、石材料,便于就地取材;混凝土可模性较好,结构造型灵活,可以根据需要浇筑成各种形状的构件。同时,钢筋混凝土合理地利用了钢筋和混凝土这两种材料的受力性能特点,形成的结构整体性、耐久性较好,因而,钢筋混凝土结构广泛用于房屋建筑、地下结构、桥、隧道、水利、港口等工程中。但是,钢筋混凝土结构也有自重较大、抗裂性较差、修补困难的缺点。

在公路与城市道路工程、桥梁工程中,钢筋混凝土结构主要用于中小跨径桥、涵洞、挡土墙以及形状复杂的中、小型构件等。

2)预应力混凝土结构

预应力混凝土结构是为解决钢筋混凝土结构在使用阶段容易开裂问题而发展起来的结

构。它采用的是高强度钢筋和高强度混凝土材料,并采用相应钢筋张拉施工工艺在结构构件中建立预加应力的结构。

预应力混凝土结构由于采用了高强度材料和预应力工艺,节省了材料,减小了构件截面尺寸,减轻了构件自重,因而预应力混凝土构件比钢筋混凝土构件轻巧,特别适合于建造由恒荷载控制设计的大跨径桥梁。

预应力混凝土结构若构件控制截面在使用阶段不出现拉应力,则在腐蚀性环境下可保护钢筋免受侵蚀,因此可用于海洋工程结构和有防渗透要求的结构。

预应力技术可作为装配混凝土构件的一种可靠手段,能很好地将部件装配成整体结构,形成悬臂浇筑和悬臂拼装等不采用支架、不影响桥下通航的施工方法,在大跨径桥梁施工中获得广泛应用。

必须指出,尽管预应力混凝土结构有上述优点,但也不能在所有的情况下都用它。由于高强度材料的单价高,施工的工序多,要求有经验的、熟练的技术人员和技术工人施工,且要求较多的严格的现场技术监督和检查,因此,不是在任何场合都可以用预应力混凝土来代替普通钢筋混凝土的,而是两者各有合理应用的范围。

3) 圬工结构

圬工结构是人类社会使用最早的结构。它是用胶结材料将砖、天然石料等块材按一定规则砌筑而成整体的结构,其特点是材料易于取材。当块材采用天然石料时,则具有良好的耐久性。但是,圬工结构的自重一般较大,施工中机械化程度较低。

在公路与城市道路工程和桥梁工程中,圬工结构多用于中小跨径的拱桥、桥墩(台)、挡土墙、涵洞、道路护坡等工程中。

4) 钢结构

钢结构一般是由钢厂轧制的型钢或钢板通过焊接或螺栓等连接组成的结构。钢结构由于钢材的强度很高,构件所需的截面积很小,故钢结构与其它结构相比,尽管其容重很大,却是自重较轻的结构。钢材的组织均匀,最接近于各向同性体,弹性模量高,是理想的弹塑性材料,故钢结构工作的可靠性高。钢结构的基本构件可以在工厂中加工制作,机械化程度高,同时已预制的构件可以在施工现场较快地装配连接,故施工效率较高。

钢结构的应用范围很广,例如,大跨径的钢桥、城市人行天桥、高层建筑、钢闸门、海洋钻井采油平台、钢屋架等。同时,钢结构还常用于钢支架、钢模板、钢围堰、钢挂篮等临时结构中。

此外,随着科学研究和生产的发展,在工程中还出现了多种组合结构,例如,预应力混凝土组合梁、钢—混凝土组合梁和钢管混凝土结构等。组合结构是利用具有各自材料特点的部件,通过可靠的措施使之形成整体受力的构件,从而获得更好的工程效果,因而日益得到广泛应用。一些工程结构技术的相互渗透,也产生了新的结构构件,例如,将预应力技术引入钢结构,产生了预应力钢结构,在大跨度钢屋架上获得成功应用。同时,有些工程结构也在不断深入发展,例如,预应力混凝土结构已由最初的全预应力混凝土,发展出现了部分预应力混凝土结构及无粘结预应力混凝土结构、体外预应力混凝土结构等等。

工程结构的科学研究及在工程中的发展已经形成了完整的一门学科——结构工程学科。它以现代力学、数学和材料科学为基础,包括了工程结构基本理论、工程结构设计与施工技术,以及工程结构维护修理等内容。结构工程学科是土木工程中最活跃的学科之一,同时,它在基本建设中占有重要的地位。因而,要成为从事公路与城市道路工程和桥梁与隧道工程的专门技术人员,一定要学好结构设计原理的课程并在工程实践中应用和发展。

0.2 学习本课程应注意的问题

《结构设计原理》课程的任务是按照土木工程专业公路与城市道路工程、桥梁工程的教学要求介绍钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、砌体结构和钢结构的基本构件设计计算原理、方法以及构造。通过本课程的学习,将具备工程结构的基本知识,掌握各种基本构件的受力性能及其变形的规律,并能根据有关设计规范和资料进行构件的设计。

(1)《结构设计原理》课程是一门重要的专业技术基础课,其主要先修课程有《材料力学》、《结构力学》和《建筑材料》,并为进一步学习《桥梁工程》课程奠定基础。

《结构设计原理》在性质上与材料力学有不少相似之处,但也有很多不同的地方。

材料力学主要研究单一、匀质、连续、弹性(或理想弹塑性)材料的构件,而《结构设计原理》研究的是工程结构的构件。工程结构的某些材料(如混凝土)不一定是匀质、弹性和连续的材料,因此,直接使用材料力学公式的情况并不多。但是,材料力学通过几何条件、物理条件和平衡关系建立基本方程的方法,对《结构设计原理》是普遍适用的,而在每一种关系的具体内容上则需考虑工程结构的材料性能特点。

(2)由于各种工程结构的材料受力性能各异,例如混凝土材料、砌体材料等,本身的物理力学性能很复杂,加之还有其它很多影响因素,目前还没有建立起比较完整的强度理论,因此,关于一些材料的强度和变形规律,在很大程度上是基于大量的试验资料分析给出的经验关系。这样,在《结构设计原理》中,构件的某些计算公式是根据试验研究及理论分析得到的半经验半理论公式。在学习和运用这些公式时,要正确理解公式的本质,特别注意公式的使用条件及适用范围。

(3)《结构设计原理》课程的重要内容是桥涵结构构件设计。桥涵结构设计应遵循技术先进、安全可靠、耐久适用和经济合理的原则。它涉及到方案比较、材料选择、构件选型及合理布置等多方面,是一个多因素的综合性问题。对于构件设计,不仅仅是构件承载能力和变形的计算,同一构件在给定的材料和同样的荷载作用下,即使截面形式相同,设计结果的截面尺寸和截面布置也不是惟一的。设计结果是否满足要求,主要看是否符合设计规范要求,并且满足经济性和施工可行性等。

(4)在学习本课程中要学会应用设计规范。设计规范是国家颁布的关于设计计算和构造要求的技术规定和标准,是具有一定约束性和技术法规性的文件。它是贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量,达到设计方法上必要的统一和标准,也是校核工程结构设计的依据。

目前我国交通部颁布使用的公路桥涵设计规范有:《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)和《公路桥涵钢结构和木结构设计规范》(JTJ 025—86)。本书中关于基本构件的设计原则、计算公式、计算方法及构造要求均参照上述设计规范编写。为了表达方便,在本书中将上述设计规范统称为《公路桥规》,对1985~1986年颁布的设计规范以《公路桥规》(JTJ 022—85)和《公路桥规》(JTJ 022—86)表示,而对引用的其它设计规范、标准和规程等,将给予全称,以免混淆。

由于科学技术水平和工程实践经验是不断发展和积累的,设计规范也必然要不断进行修改和增订,才能适应指导设计工作的需要。因此,在学习本课程时,应掌握各种基本构件的受力性能、强度和变形的变化规律,从而能对目前设计规范的条文概念和实质有正确理解,对计算方法能正确应用,这样才能适应今后设计规范的发展,不断提高自身的设计水平。

第一篇 钢筋混凝土结构

第1章 钢筋混凝土结构的基本概念及材料的物理力学性能

1.1 钢筋混凝土结构的基本概念

钢筋混凝土结构是由配置受力的普通钢筋或钢筋骨架的混凝土制成的结构。

混凝土是一种人造石料,其抗压能力很强,而抗拉能力很弱。采用素混凝土制成的构件(指无筋或不配置受力钢筋的混凝土构件),例如素混凝土梁,当它承受竖向荷载作用时(图 1-1a),在梁的垂直截面(正截面)上受到弯矩作用,截面中和轴以上受压,以下受拉。当荷载达到某一数值 F_c 时,梁截面的受拉边缘混凝土的拉应变达到极限拉应变,即出现竖向弯曲裂缝,这时,裂缝处截面的受拉区混凝土退出工作,该截面处受压高度减小,即使荷载不增加,竖向弯曲裂缝也会急速向上发展,导致梁骤然断裂(图 1-1b)。这种破坏是很突然的。也就是说,当荷载达到 F_c 的瞬间,梁立即发生破坏。 F_c 为素混凝土梁受拉区出现裂缝的荷载,一般称为素混凝土梁的抗裂荷载,也是素混凝土梁的破坏荷载。由此可见,素混凝土梁的承载能力是由混凝土的抗拉强度控制的,而受压混凝土的抗压强度远未被充分利用。在制造混凝土梁时,倘若在梁的受拉区配置适量的纵向受力钢筋,就构成钢筋混凝土梁。试验表明,和素混凝土梁有相同截

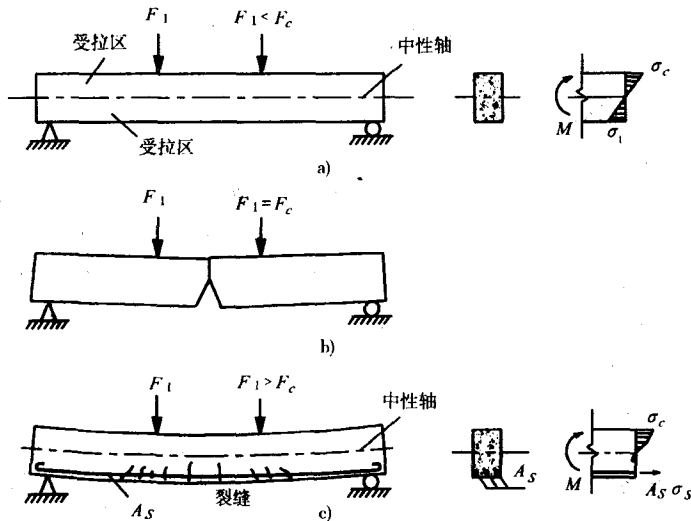


图 1-1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁

a)受竖向力作用的混凝土梁;b)素混凝土梁的断裂;c)钢筋混凝土梁的开裂

面尺寸的钢筋混凝土梁承受竖向荷载作用时,荷载略大于 F_c 时的受拉区混凝土仍会出现裂缝。在出现裂缝的截面处,受拉区混凝土虽退出工作,但配置在受拉区的钢筋将可承担几乎全部的拉力。这时,钢筋混凝土梁不会像素混凝土梁那样立即裂断,而能继续承受荷载作用(图 1-1c),直至受拉钢筋的应力达到屈服强度,继而截面受压区的混凝土也被压碎,梁才破坏。因此,混凝土的抗压强度和钢筋的抗拉强度都能得到充分的利用,钢筋混凝土梁的承载能力可较素混凝土梁提高很多。

混凝土的抗压强度高,常用于受压构件。若在构件中配置钢筋来构成钢筋混凝土受压构件,试验表明,和素混凝土受压构件截面尺寸及长细比相同的钢筋混凝土受压构件相比,不仅承载能力大为提高,而且受力性能得到改善(图 1-2)。在这种情况下,钢筋的作用主要是协助混凝土共同承受压力。

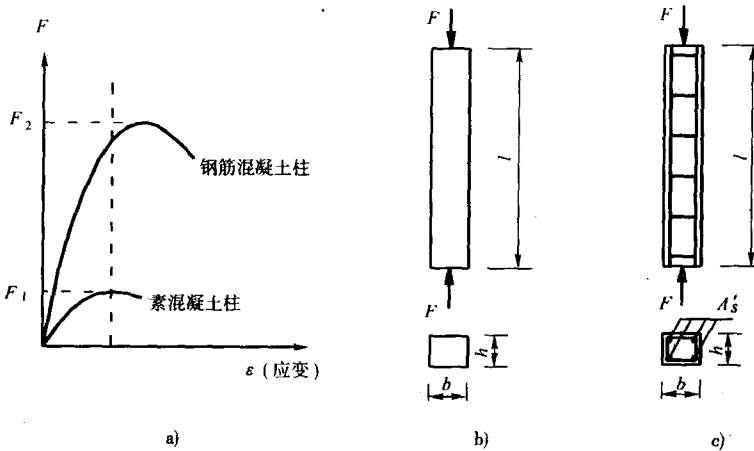


图 1-2 素混凝土和钢筋混凝土轴心受压构件的受力性能比较

a) 柱的压力—混凝土应变曲线; b) 素混凝土柱; c) 钢筋混凝土柱

综上所述,根据构件受力状况配置钢筋构成钢筋混凝土构件,可以充分利用钢筋和混凝土各自的材料特点,把它们有机地结合在一起共同工作,从而提高构件的承载能力、改善构件的受力性能。钢筋的作用是代替混凝土受拉(拉区混凝土出现裂缝后)或协助混凝土受压。

钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料之所以能有效地结合在一起而共同工作,主要是由于:

(1) 混凝土和钢筋之间有着良好的粘结力,使两者能可靠地结合成一个整体,在荷载作用下能够很好地共同变形,完成其结构功能。

(2) 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数也较为接近,钢筋为 $(1.2 \times 10^{-5})/^\circ\text{C}$, 混凝土为 $(1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5})/^\circ\text{C}$, 因此,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。

(3) 包围在钢筋外面的混凝土,起着保护钢筋免遭锈蚀的作用,保证了钢筋与混凝土的共同作用。

钢筋混凝土除了能合理地利用钢筋和混凝土两种材料的特性外,还有下述一些优点:

(1) 在钢筋混凝土结构中,混凝土强度是随时间而不断增长的,同时,钢筋被混凝土所包裹而不致锈蚀,所以,钢筋混凝土结构的耐久性是比较好的。钢筋混凝土结构的刚度较大,在使用荷载作用下的变形较小,故可有效地用于对变形有要求的建筑物中。

(2) 钢筋混凝土结构既可以整体现浇也可以预制装配,并且可以根据需要浇制成各种构件

形状和截面尺寸。

(3)钢筋混凝土结构所用的原材料中,砂、石所占的比例较大,而砂、石易于就地取材,故可以降低建筑成本。

但是钢筋混凝土结构也存在一些缺点:例如,钢筋混凝土构件的截面尺寸一般较相应的钢结构大,因而自重较大,这对于大跨度结构是不利的;抗裂性能较差,在正常使用时往往是带裂缝工作的;施工受气候条件影响较大;修补或拆除较困难等等。

钢筋混凝土结构虽有缺点,但毕竟有其独特的优点,所以,无论是桥梁工程、隧道工程、房屋建筑、铁路工程,还是水工结构工程、海洋结构工程等应用都极为广泛。随着钢筋混凝土结构的不断发展,上述缺点已经或正在逐步加以改善。

1.2 混凝土

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料所组成。为了正确合理地进行钢筋混凝土结构设计,必须深入了解钢筋混凝土结构及其构件的受力性能和特点。而对于混凝土和钢筋材料的物理力学性能(强度和变形的变化规律)的了解,则是掌握钢筋混凝土结构的构件性能、结构分析和设计的基础。

1.2.1 混凝土的强度

1) 混凝土立方体抗压强度

混凝土的立方体抗压强度是按规定的标准试件和标准试验方法得到的混凝土强度基本代表值。我国取用的标准试件为边长相等的混凝土立方体。这种试件的制作和试验均比较简便,而且离散性较小。

我国国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)规定以每边边长为 150mm 的立方体为标准试件,在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的温度和相对湿度在 95% 以上的潮湿空气中养护 28d,依照标准制作方法和试验方法测得的抗压强度值(以 MPa 为单位)作为混凝土的立方体抗压强度,用符号 f_{cu} 表示。按这样的规定,就可以排除不同制作方法、养护环境等因素对混凝土立方体强度的影响。

混凝土立方体抗压强度与试验方法有着密切的关系。在通常情况下,试件的上下表面与试验机承压板之间将产生阻止试件向外自由变形的摩阻力,阻滞了裂缝的发展(图 1-3a),从而提高了试块的抗压强度。破坏时,远离承压板的试件中部混凝土所受的约束最少,混凝土也剥落得最多,形成两个对顶叠置的截头方锥体(图 1-3b)。要是在承压板和试件上下表面之间涂以油脂润滑剂,则试验加压时摩阻力将大为减小,所测得的抗压强度较低,其破坏形态如图 1-3c)所示的开裂破坏。规定采用的方法是不加油脂润滑剂的试验方法。

混凝土的抗压强度还与试件尺寸有关。试验表明,立方体试件尺寸愈小,摩阻力的影响愈大,测得的强度也愈高。在实际工程中也有采用边长为 200mm 和边长为 100mm 的混凝土立方体试件,则所测得的立方体强度应分别乘以换算系数 1.05 和 0.95 来折算成边长为 150mm 的混凝土立方体抗压强度。

2) 混凝土轴心抗压强度(棱柱体抗压强度)

通常钢筋混凝土构件的长度比它的截面边长要大得多,因此棱柱体试件(高度大于截面边长的试件)的受力状态更接近于实际构件中混凝土的受力情况。按照与立方体试件相同条件

下制作和试验方法所得的棱柱体试件的抗压强度值,称为混凝土轴心抗压强度,用符号 f_c 表示。

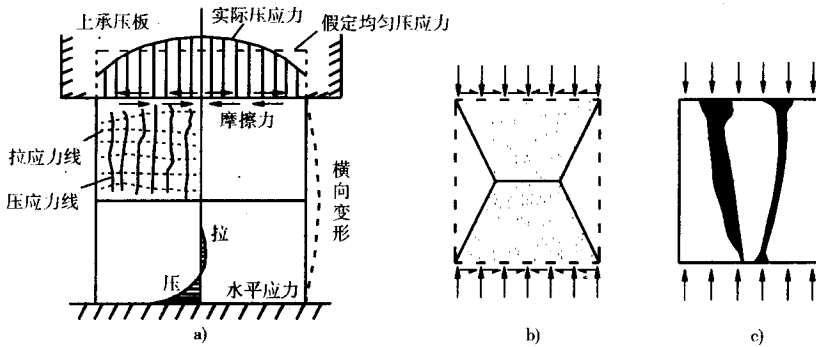


图 1-3 立方体抗压强度试件

a)立方体试件的受力;b)承压板与试件表面之间未涂润滑剂时;c)承压板与试件表面之间涂润滑剂时

试验表明,棱柱体试件的抗压强度较立方体试块的抗压强度低。棱柱体试件高度 h 与边长 b 之比愈大,则强度愈低。当 h/b 由 1 增至 2 时,混凝土强度降低很快。但是当 h/b 由 2 增至 4 时,其抗压强度变化不大(图 1-4)。因为在此范围内,既可消除垫板与试件接触面间摩擦力对抗压强度的影响,又可以避免试件因纵向初弯曲而产生的附加偏心距对抗压强度的影响,故所测得的棱柱体抗压强度较稳定。因此,国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)规定,混凝土的轴心抗压强度试验以 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的试件为标准试件。

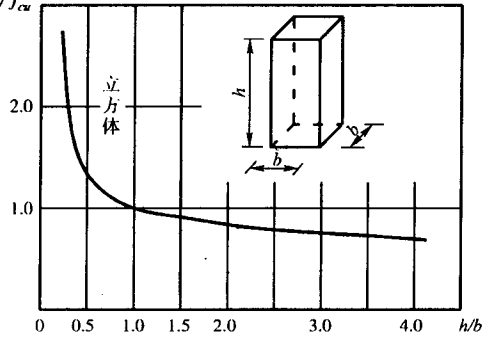


图 1-4 h/b 对抗压强度的影响

3) 混凝土抗拉强度

混凝土抗拉强度(用符号 f_t 表示)和抗压强度一样,都是混凝土的基本强度指标。但是混凝土的抗拉强度比抗压强度低得多,它与同龄期混凝土抗压强度的比值大约在 $1/8 \sim 1/18$ 。这项比值随混凝土抗压强度等级的增大而减小,即混凝土抗拉强度的增加慢于抗压强度的增加。

混凝土轴心受拉试验的试件可采用在两端预埋钢筋的混凝土棱柱体(图 1-5)。试验时用

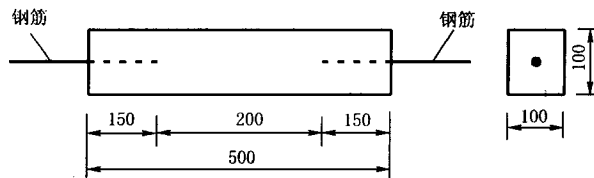


图 1-5 混凝土抗拉强度试验试件(尺寸单位:mm)

试验机的夹具夹紧试件两端外伸的钢筋施加拉力,破坏时试件在没有钢筋的中部截面被拉断,其平均拉应力即为混凝土的轴心抗拉强度。

在用上述方法测定混凝土的轴心抗拉强度时,保持试件轴心受拉是很重要的,也是不容易完全做到的。因为混凝土内部结构不均匀,钢筋的预埋和试件的安装都难以对中,而偏心又对混凝土抗拉强度测试有很大的干扰,因此,目前国内外常采用立方体或圆柱体的劈裂试验来测