



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材

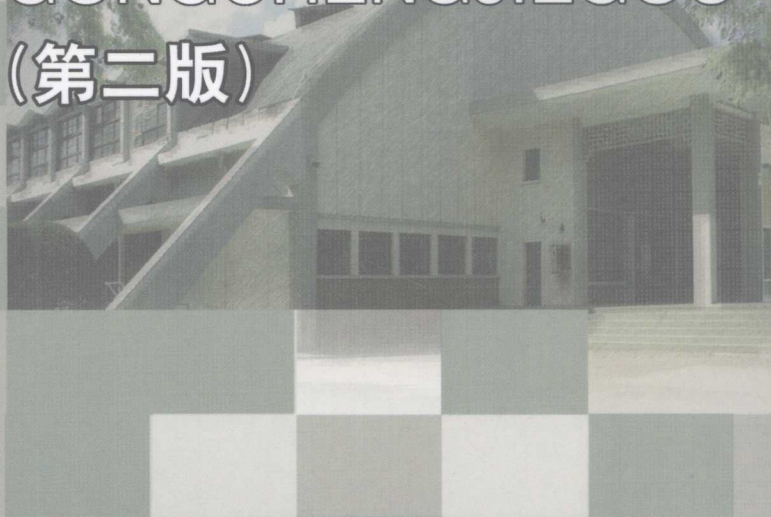
主编 袁锦根

主审 高莲娣

工程结构

GONGCHENGJIEGOU

(第二版)



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材

主编 袁锦根
主审 高莲娣

工程结构

GONGCHENGJIEGOU
(第二版)

ISBN 978-7-290-24012-3
2009年6月第2版
2009年6月第1次印刷
813.000
1-2100
25.28
印
印
字
版
号
价



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

本书经国家新闻出版总署备案，属国家出版基金资助项目

内容提要

本书是新世纪土木工程应用型人才培养系列教材之一,为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书共13章,包括钢筋混凝土材料的物理力学性能、钢筋混凝土结构的基本计算原理、钢筋混凝土构件、楼盖结构、钢筋混凝土单层厂房、多层与高层、砌体结构、结构施工图识读、钢结构以及工程结构抗震设计基本知识。

本书根据应用型人才培养的要求,基础理论知识以“必需、够用”为主,以实际应用为重,力求做到少而精、理论联系实际,编写上采用循序渐进、深入浅出的方式,文字表达上力求通俗易懂。

本书为应用型本科土木工程及相关专业的教材,也可作为高职高专土建类专业教材,以及相关职业岗位培训和有关的工程技术人员的参考或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构/袁锦根主编. —2版. —上海:同济大学出版社,
2009.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材)

ISBN 978-7-5608-4012-3

I. 工… II. 袁… III. 工程结构—高等学校—教材
IV. TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第057073号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材

工程结构(第二版)

主编 袁锦根 主审 高莲娣

责任编辑 高晓辉 责任校对 杨江淮 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路1239号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 25.75

印 数 1—5100

字 数 643000

版 次 2009年6月第2版 2009年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-4012-3

定 价 46.00元(配光盘)

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

“新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材”
编 委 会

名誉主任 吴启迪

主 任 李国强

执行主任 应惠清

副 主 任 王国强 吕茫茫 俞国风
袁锦根 李建新

编 委 (以下按姓氏笔画排列)

刘昭如 刘 匀 刘正武 李 辉 汪小超
金瑞珺 高莲娣 袁斯涛 缪俊发 覃 辉
席永慧 张贵良 熊杭青

总 策 划 郭 超

序

本系列教材是针对土木工程高级应用型人才培养的需要而编写的。作者由同济大学土木工程专业知名教授及其有关兄弟院校的资深教师担任。

为了使本系列教材符合土木类应用型人才培养的要求,既有较高的质量,又有鲜明的特色,我们组织编写人员认真学习了国家教育部的有关文件,在对部分院校和用人单位进行长达一年调研的基础上,拟定了丛书的编写指导思想,讨论确定了各分册的主要编写内容及相互之间的知识点衔接问题。之后,又多次组织召开了研讨会,最后按照土木类应用型人才培养计划与课程设置要求,针对培养对象适应未来职业发展应具备的知识和能力结构等要求,确定了每本书的编写思路及编写提纲。

本系列教材具有以下特点:

1. 编写指导思想以培养技术应用能力为主

本系列教材改变了传统教材过于注重知识的传授,及学科体系严密性而忽视社会对应用型人才的要求和学生的实际状况的做法,理论的阐述以“必需、够用”为原则,侧重结论的定性分析及其在实践中的应用。例如,专业基础课与工程实践紧密结合,突出针对性;专业课教材内容满足工程实际的需要,主要介绍工程中必要的、重要的工艺、技术及相关的管理知识和现行规范。

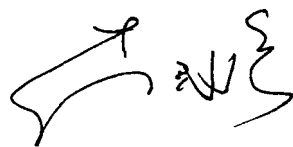
2. 精选培养对象终身发展所需的知识结构

除了介绍高级应用型人才应掌握的基础知识及现有成熟的、在实践中广泛应用的技术外,还适当介绍了土木工程领域的新知识、新材料、新技术、新设备及发展新趋势,给予学生一定的可持续学习和能力发展的基础,使学生能够适应未来技术进步的需要。另外,兼顾到学生今后职业生涯发展的需要,教材在内容上还增加了有关建造师、项目经理、技术员、监理工程师、预算员等注册考试及职业资格考试所需的基础知识。

3. 编写严谨规范,语言通俗易懂

本系列教材根据我国土木工程最新设计与施工规范、规程、标准等编写,体现了当前我国和国际上土木工程施工技术与管理水平,内容精炼、叙述严谨。另外,针对学生的群体水平,采取循序渐进的编写思路,深入浅出,图文并茂,文字表达通俗易懂。

本系列教材在编写中得到许多兄弟院校的大力支持与方方面面专家的悉心指导和帮助,在此表示衷心感谢。教材编写的不足之处,恳请广大读者提出宝贵意见。



2005年5月

第二版前言

本书自2006年2月第一版以来,得到了广大教师和学生的厚爱,现已被列入我国普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本次修订结合作者三年来在工程结构方面的教学实践和兄弟院校众多同行提出的宝贵建议,突出应用性和针对性,加强实践能力的培养,与第一版相比,主要做了以下的改动:

(1) 对本书某些章节及内容进行了删除和改写,删去了第一版第十一章“道路及桥梁工程”,对第六章“楼盖结构”、第八章“多层与高层”、第十一章“钢结构”等章节进行了改写,更正了一版中存在的不足,也使文字叙述更清楚,内容更通俗易懂。

(2) 注重能力的培养,注重结构知识在施工中的应用,增加了“结构施工图识读”一章,通过讲解结构施工图平面设计法的特点、一般规定及其识读要点并结合一定数量的读图举例,加强学生的读图、识图能力。

(3) 与本书配套出版的多媒体课件,与书稿内容呼应、互为补充,增强学生的学习兴趣和提高学习效果。

本书由硅湖职业技术学院、上海建桥学院、浙江建设职业技术学院、湖南城建职业技术学院、义乌工商职业技术学院、台州职业技术学院、浙江工业职业技术学院共同编写,其中上海建桥学院高莲娣编写绪论、第1章、第2章、第4章和第5章,硅湖职业技术学院袁锦根、张海洲、张绪坤编写第3章,胡孝平、秦伟、袁锦根编写第6章,余德军编写第10章,湖南城建职业技术学院邓学工、浙江工业职业技术学院周明荣、硅湖职业技术学院袁锦根编写第8章,义乌工商职业技术学院李继明、张旭编写第9章,台州职业技术学院汪洋编写第7章、第11章,浙江建设职业技术学院虞焕新、硅湖职业技术学院袁锦根编写第12章,全书由硅湖职业技术学院袁锦根教授主编,浙江建设职业技术学院虞焕新副教授副主编,上海建桥学院高莲娣教授主审。

限于作者水平,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请读者批评指正。

编者
2009年元月

前 言

本书根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB 5009—2001)、《建筑结构抗震设计规范》(GB 50011—2001)编写而成。

本书根据高职院校人才培养要求以及基础理论知识“必需、够用、重在实践”的原则,加强基本概念的了解运用,力求做到少而精、理论联系实际、文字叙述清楚。为了便于教学,每章前面有重点内容和学习要求,每章后有思考题和习题。

本书由浙江广厦建设职业技术学院、上海建桥职业技术学院、义乌工商职业技术学院、浙江工业职业技术学院、台州职业技术学院、硅湖职业技术学院合编。上海建桥职业技术学院高莲娣编写绪论、第一、二、四、五章,浙江广厦建设职业技术学院袁锦根、硅湖职业技术学院张海州共同编写第三章,浙江广厦建设职业技术学院王全胜、袁锦根编写第六章,虞焕新、袁锦根编写第十二章,义乌工商职业技术学院李继明、张旭编写第九章,黄素萍编写第十章,台州职业技术学院汪洋编写第七章、第十一章,浙江工业职业技术学院周民荣、浙江广厦建设职业技术学院王亚军共同编写第八章。中南大学阎奇武审查第九章、第十章,全书由浙江广厦建设职业技术学院袁锦根教授主编,虞焕新副教授副主编,上海建桥职业技术学院高莲娣教授主审。

限于作者水平,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2005年6月

目 录

第 2 版前言

前言

0 绪 论	(1)
0.1 建筑结构的一般概念	(1)
0.2 混凝土结构、砌体结构、钢结构的概念及其优缺点	(1)
思考题	(4)
习 题	(4)
1 钢筋混凝土材料的物理力学性能	(5)
1.1 混凝土的物理力学性能	(5)
1.2 钢筋的物理力学性能	(10)
1.3 钢筋与混凝土之间的粘结与锚固	(14)
思考题	(17)
习 题	(18)
2 钢筋混凝土结构的基本计算原理	(20)
2.1 建筑结构的功​​能	(20)
2.2 作用效应和结构抗力	(21)
2.3 结构的极限状态	(26)
思考题	(27)
习 题	(27)
3 钢筋混凝土受弯构件	(29)
3.1 受弯构件正截面受弯承载力计算	(29)
3.2 受弯构件斜截面受剪承载力计算	(58)
3.3 受弯构件裂缝宽度和变形验算及耐久性要求	(71)
思考题	(80)
习 题	(81)
4 钢筋混凝土受压构件	(84)
4.1 轴心受压构件正截面受压承载力计算	(84)
4.2 偏心受压构件正截面受压承载力计算	(91)
思考题	(104)
习 题	(105)
5 钢筋混凝土受拉构件	(107)

5.1	轴心受拉构件正截面受拉承载力计算	(107)
5.2	偏心受拉构件正截面受拉承载力计算	(108)
	思考题	(111)
	习 题	(111)
6	楼盖结构	(113)
6.1	概述	(113)
6.2	现浇单向板肋梁楼盖	(116)
6.3	现浇双向板肋梁楼盖	(140)
6.4	楼梯	(147)
	思考题	(153)
	习 题	(154)
	混凝土单向板肋梁楼盖课程设计	(155)
7	钢筋混凝土单层厂房	(156)
7.1	概述	(156)
7.2	单层厂房的结构组成	(157)
7.3	单层厂房结构布置和主要构件选型	(160)
7.4	单层厂房柱	(169)
	思考题	(174)
8	多层与高层	(175)
8.1	多层与高层房屋的结构体系	(175)
8.2	多层框架结构的布置及形式	(179)
8.3	框架结构的内力与侧移计算	(182)
8.4	框架的内力组合	(196)
8.5	现浇框架的构造要求	(198)
8.6	多层框架的设计实例	(200)
	思考题	(209)
	习 题	(209)
9	砌体结构	(210)
9.1	砌体材料与砌体力学性能	(210)
9.2	砌体结构的承重体系与静力计算	(220)
9.3	墙、柱的高厚比验算和构造要求	(226)
9.4	无筋砌体受压构件的承载力计算	(232)
9.5	过梁与圈梁	(247)
	思考题	(250)
	习 题	(251)
10	结构施工图识读	(254)

10.1	概述	(254)
10.2	结构施工图识读的方法与步骤	(255)
10.3	建筑结构施工图平面整体设计法	(256)
	思考题	(265)
	习 题	(266)
11	钢结构	(268)
11.1	钢结构材料	(268)
11.2	钢结构连接	(272)
11.3	受弯构件	(290)
11.4	轴心受压构件	(302)
11.5	拉弯和压弯构件	(311)
11.6	轻型钢结构房屋设计	(317)
	思考题	(327)
	习 题	(328)
12	工程结构抗震设计基本知识	(334)
12.1	抗震设计的基本概念和基本要求	(334)
12.2	多层砌体房屋抗震设计构造要求	(343)
12.3	钢筋混凝土框架结构抗震设计构造要求	(350)
	思考题	(358)
	习 题	(359)
附录 A	《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)的有关规定	(360)
附录 B	等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数	(365)
附录 C	双向板计算系数表	(375)
附录 D	《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)的有关规定	(380)
	习题答案	(388)
	参考文献	(400)

0 绪 论

本章重点:

钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构的基本概念及其优缺点。

学习要求:

- (1) 掌握混凝土中配置钢筋的目的。
- (2) 掌握钢筋和混凝土两种不同材料能够有效地结合在一起共同工作的主要原因。
- (3) 了解混凝土结构、砌体结构、钢结构的主要优缺点。
- (4) 对建筑结构的适用范围有所了解,为今后设计时,结构选型打下基础。

0.1 建筑结构的一般概念

供人们生活、学习、工作以及从事生产和各种文化活动的房屋称为建筑物,间接为人们提供服务的设施(如水池、水塔、管道支架、烟囱等)称为构筑物。构成整幢建筑物或构筑物必须要有骨架,骨架是用来承受各种作用的受力体系。骨架破坏,房屋就要倒塌,支撑房屋的骨架称为“建筑结构”。组成建筑结构的各个部件称为“基本构件”。结构的基本构件有板、梁、柱、墙、基础等。

一般建筑结构可按结构所用材料和结构受力特点进行分类。

按所用材料不同分类:可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构等。由于木材存在着强度低、耐久性差等缺点,目前使用木结构的建筑较少,本书仅介绍前三类结构的有关内容。

按结构受力特点分类:可分为砌体结构、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构等。

0.2 混凝土结构、砌体结构、钢结构的概念及其优缺点

0.2.1 混凝土结构的概念及优缺点

0.2.1.1 混凝土结构的概念

以混凝土为主的结构称为混凝土结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构等。

钢筋混凝土结构是目前使用最广泛的建筑结构形式之一。混凝土承受压力的能力很强、抵抗拉力的能力很弱,而钢材抵抗拉力的能力和抵抗压力的能力都很强。于是,利用此两种材料各自的特点,将其结合在一起共同工作,形成钢筋混凝土结构。

现以一简支梁为例,图 0-1(a)表示素混凝土梁在外加荷载及自重作用下的受力情况。梁受弯后,截面中和轴以上部分受压,中和轴以下部分受拉(图 0-1(b)),由于混凝土的抗拉性能很差,在较小荷载作用下,梁的下部混凝土即行开裂,梁立即断裂,破坏前变形很小,无预兆,属于脆性破坏。若在梁的受拉区配置适量的钢筋,构成钢筋混凝土梁(图 0-1(c))。梁受弯后,混

混凝土开裂,中和轴以下部分的拉力可由钢筋承受,中和轴以上部分的压力由混凝土承受。随着荷载的增加,钢筋达到强度极限,上部受压区的混凝土被压碎,梁才破坏。破坏前变形较大,有明显预兆,属于延性破坏。这样,混凝土的抗压能力和钢筋的抗拉能力均得到了充分的利用,与素混凝土梁相比,钢筋混凝土梁的承载能力和变形能力都有很大程度的提高。

又如如图 0-2 所示的轴心受压柱,如果在混凝土中配置了受压钢筋和箍筋来协助混凝土承受压力,可使柱的承载能力和变形能力大为提高。

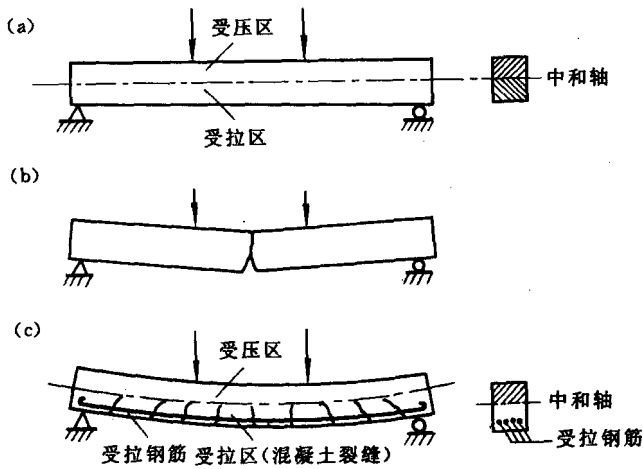


图 0-1 钢筋混凝土简支梁受力及破坏情况

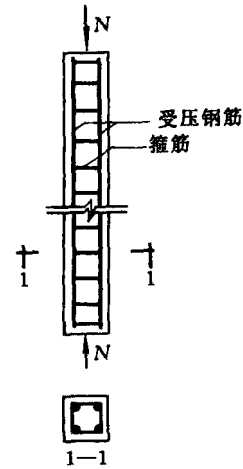


图 0-2 轴心受压柱

0.2.1.2 钢筋和混凝土共同工作的基础

钢筋和混凝土两种材料的物理和力学性能很不相同,之所以能够有效地结合在一起共同工作,原因如下:

(1) 钢筋与混凝土之间有良好的粘结力,促成钢筋和混凝土两种性质不同的材料在荷载作用下能有效地共同受力,并保证钢筋与相邻混凝土变形一致。

(2) 钢筋和混凝土具有基本相同的温度线膨胀系数。混凝土的温度线膨胀系数为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,钢筋的温度线膨胀系数约为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。当温度变化时,两种材料不会因产生较大的相对变形而导致二者粘结力的破坏。

(3) 混凝土包裹着钢筋,起着保护钢筋免遭锈蚀的作用,加强了结构的耐久性。

0.2.1.3 钢筋混凝土结构的优缺点

主要优点:

(1) 取材容易。混凝土所用的砂、石一般可就地取材,还可利用工业废料(如矿渣、粉煤灰等)制成人造骨料,用于混凝土中。

(2) 耐火、耐久性好。钢筋被混凝土包裹着不易锈蚀,维修费用少。由于混凝土是不良导热体,火灾时,混凝土起隔热作用,使钢筋不致很快达到软化温度而导致结构的整体破坏。

(3) 可模性、整体性好。由于新拌和而未结硬的混凝土是可塑的,根据需要,可按照不同模板尺寸和式样浇筑成设计所要求的形式。混凝土结硬后,其整体性及刚度好。

(4) 保养费低。钢筋混凝土结构较少需要维修,不像钢结构和木结构那样需要经常维修。

缺点:

(1) 自重大。在大跨度结构、高层建筑结构中限制了使用范围。

(2) 抗裂性能差。由于混凝土抗拉强度低,在正常使用时,往往带裂缝工作,在建造一些不允许出现裂缝或对裂缝宽度有严格限制要求的结构时,将会增加工程造价。

(3) 费工,费模板,现场施工周期长,且受季节性影响。

针对钢筋混凝土结构的缺点,可采用轻质、高强材料及预应力混凝土来减轻结构自重及改善构件的抗裂性能。在施工方面,可采用重复使用的钢模板或工具式模板以及采用顶升或提升模板等施工技术。

0.2.2 砌体结构的概念及优缺点

砌体结构是用块材和砂浆砌筑而成的结构。因块材的材料不同,可分为砖砌体、砌块砌体和石砌体。根据受力情况,有时在砖砌体或砌块砌体中加入钢筋,称为配筋砌体。

砌体结构的受力特点是抗压能力较高,抗拉能力较低。所以,砌体结构多用作轴心受压或偏心受压构件,而受弯、受拉、受剪构件使用较少。

主要优点:

(1) 就地取材,价格低廉。

(2) 耐火、耐久性能好。

(3) 隔热、保温性能较好。

缺点:

(1) 承载能力低。砌体材料的强度一般较低,块材和砂浆的粘结力较弱,使砌体的抗弯、抗拉、抗剪承载力和抗震性能都很差。地震时,结构容易开裂破坏。

(2) 自重大。由于砌体的强度较低,构件所需的截面一般较大,导致自重增加。

(3) 费工多。砌体结构的构件是由一块一块的块材抹上砂浆砌筑而成,砌筑任务繁重,费时费工。

针对砌体结构的缺点,可采用轻质、高强的新型块材,发展空心砌块及大型空心墙板,采用工业化生产和机械化施工方法,大力开发工业废料,以克服砌体结构的缺点。

0.2.3 钢结构的概念及优缺点

钢结构是用钢材制作而成的结构,与其他结构相比,它有以下优点:

(1) 重量轻而承载能力高。钢结构与钢筋混凝土结构、木结构相比,由于钢材的强度高,构件的截面一般较小,重量较轻。钢材的抗拉强度、抗压强度均较高,所以,钢结构的受拉、受压承载力都很高。

(2) 钢材质地均匀,其受力的实际情况与力学计算结果接近。

(3) 抗震性能好。钢材的塑性和韧性好,能较好地承受动力荷载,因而钢结构的抗震性能好。

(4) 制作简便,施工速度快,工期短,具有良好的装配性。

钢结构由各种型材组成,可在工厂预制、现场拼装,施工方便、速度快,且便于拆卸、加固或改建。

缺点:

(1) 造价高。钢结构需要大量钢材,钢材的价格较其他材料高,结构的造价相应提高。

(2) 易于锈蚀。钢材在湿度大和有侵蚀性介质的环境中容易锈蚀,影响使用寿命,因而需要经常维护,费用较大。

(3) 耐热性好,但耐火性差。钢材耐热但不耐高温,当温度在 250℃ 以下时,材质变化较小;温度达到 300℃ 时,强度逐渐下降;当温度达到 450℃~600℃ 时,结构完全丧失承载能力。因而对有特殊防火要求的建筑,必须用耐火材料加以保护。

思考题

1. 何为建筑结构?
2. 如何根据结构所用材料和结构受力特点对建筑结构进行分类?
3. 为什么要在混凝土中放置钢筋?
4. 钢筋混凝土结构有什么优缺点?
5. 钢筋和混凝土两种材料的物理和力学性能不同,为什么能够结合在一起共同工作?
6. 砌体结构有什么优缺点?
7. 钢结构有什么优缺点?

习 题

一、判断题

1. 由块材和砂浆砌筑而成的结构称为砌体结构。 ()
2. 混凝土中配置钢筋的主要作用是提高结构或构件的承载能力和变形性能。 ()
3. 钢筋混凝土构件比素混凝土构件的承载能力提高幅度不大。 ()

二、单项选择题

1. 钢筋和混凝土能够结合在一起共同工作的主要原因之一是()。
A. 二者的承载能力基本相等 B. 二者的温度线膨胀系数基本相同
C. 二者能相互保温、隔热 D. 混凝土能握裹钢筋
2. 钢结构的主要优点是()。
A. 重量轻而承载能力高 B. 不需维修
C. 耐火性能较钢筋混凝土结构好 D. 造价比其他结构低

1 钢筋混凝土材料的物理力学性能

本章重点：

钢筋与混凝土是两种性质完全不同的材料,是非匀质的,它与匀质弹性材料的物理力学性能有很大的不同。本章着重介绍钢筋和混凝土两种材料的强度、变形性能和二者共同工作的受力特点、计算方法及构造措施。本章所述内容,将在以后的章节中加以具体应用。

学习要求：

- (1) 掌握钢筋混凝土材料与匀质弹性材料的物理力学性能存在的差异。
- (2) 理解混凝土立方体抗压强度、轴心抗压强度、轴心抗拉强度的标准试验方法,掌握一次单轴短期加载的变形性能,了解混凝土的弹性模量、变形模量、混凝土的收缩和徐变。
- (3) 理解钢筋的品种、级别和使用范围。掌握有明显屈服点钢筋和无明显屈服点钢筋的应力-应变曲线的特点以及钢筋强度设计值取值的依据。
- (4) 了解钢筋冷加工的目的及力学性能的变化。
- (5) 理解钢筋与混凝土的粘结性能及保证可靠粘结和锚固的构造措施。

1.1 混凝土的物理力学性能

1.1.1 混凝土的强度

1.1.1.1 立方体抗压强度

我国 GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》(以下简称《混凝土结构规范》)规定,混凝土强度按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 系指按照标准方法制作的边长为 150mm 的立方体试件,在温度为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 、相对湿度在 90% 以上的潮湿空气中养护 28d,用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度。其破坏形态如图 1-1 所示,一般是采用不涂润滑剂进行试压。《混凝土结构规范》按照其立方体抗压强度标准值的大小划分为 14 个等级,14 个等级中的数字部分表示以“ N/mm^2 ”为单位的立方体抗压强度数值的大小,如 C20 表示立方体抗压强度标准值为 $20\text{N}/\text{mm}^2$ 的混凝土的强度等级。混凝土的强度等级间的级差为 $5\text{N}/\text{mm}^2$ 。

立方体试件的边长对抗压强度有一定的影响。如试块的尺寸大,试验加压时,试件与试验机压板之间的摩擦力影响小,且混凝土内部缺陷性可能较大,所测得的抗压强度偏低;反之,测得的抗压强度高。所以,采用边长为 200mm 和 100mm 的立方体试件时,应分别乘以强度换算

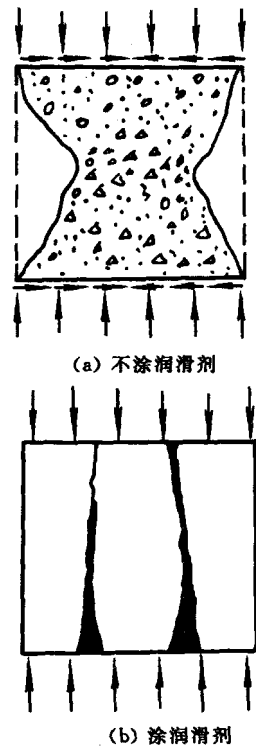


图 1-1 混凝土立方体试块的破坏情况

系数 1.05 和 0.95。

钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C15；当采用 HRB335 级、HRB400 级和 RRB400 级钢筋时，混凝土强度等级不应低于 C20。

1.1.1.2 混凝土轴心抗压强度

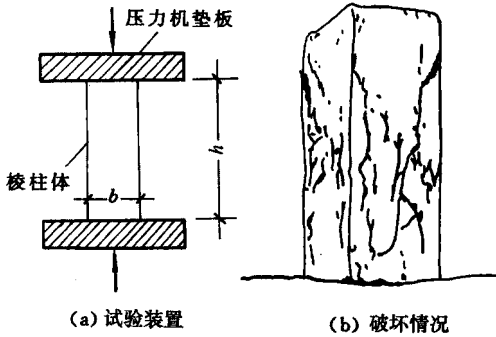


图 1-2 混凝土轴心抗压试验

钢筋混凝土受压构件的尺寸，往往其高度比截面的尺寸大得多，试件采用棱柱体比立方体能更好地反映混凝土结构的实际抗压能力。轴心抗压强度试件采用与立方体试件相同制作条件、尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 或 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 450\text{mm}$ 的棱柱体作为混凝土轴心抗压强度试验的标准试件，用棱柱体测得的抗压强度称为轴心抗压强度标准值，用符号 f_{ck} 表示。其破坏形态如图 1-2 所示。

根据试验结果，混凝土轴心抗压强度 f_{ck} 小于立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ ， f_{ck} 和 $f_{cu,k}$ 的关系为

$$f_{ck} = 0.76 f_{cu,k} \quad (1-1)$$

考虑实际工程的制作和养护条件不同于实验室试验的条件，以及实际工程承受的荷载比试件承受的常速加载要不利等因素的影响，为偏于安全考虑，《混凝土结构规范》规定将式 (1-1) 右边乘以 0.88，得出

$$f_{ck} = 0.67 f_{cu,k} \quad (1-2)$$

1.1.1.3 混凝土轴心抗拉强度

混凝土轴心抗拉强度很低，一般只有立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ 的 $1/17 \sim 1/8$ ，混凝土轴心抗拉强度可以采用直接轴心受拉的试验方法，试件尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，两端对中各埋深长度为 150mm 、直径为 16mm 的变形钢筋，试验机夹紧试件两端外伸的钢筋施加拉力 F ，破坏时，试件中部截面横向被拉断（图 1-3）。破坏截面的拉应力即为轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 。

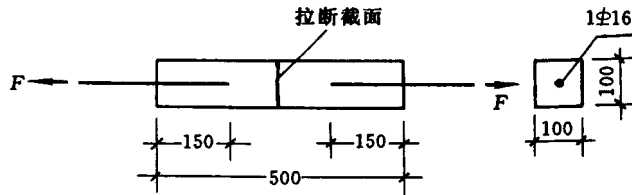


图 1-3 混凝土轴心抗拉试验

根据试验结果， f_{tk} 和 $f_{cu,k}$ 的关系为

$$f_{tk} = 0.26 \sqrt[3]{f_{cu,k}^2} \quad (1-3)$$

考虑到与轴心抗压强度相同的原因，将式 (1-3) 右边乘以 0.88，《混凝土结构规范》取用

$$f_{tk} = 0.23 \sqrt[3]{f_{cu,k}^2} \quad (1-4)$$

由于混凝土内部结构的不均匀性以及安装偏差等原因,准确测定混凝土的轴心抗拉强度是比较困难的。所以,国内外也常用圆柱体或立方体的劈裂试验来间接测定混凝土的抗拉强度。该方法是用压力机通过垫条对试件中心面施加均匀线分布荷载 P ,除垫条附近外,截面中心上将产生均匀的拉应力,当拉应力达到混凝土的抗拉强度时,试件劈裂成两半,截面上的横向拉应力即混凝土轴心抗拉强度 f_{tk} 。

混凝土轴心抗压强度标准值、轴心抗拉强度标准值见附表 A. 1。

1.1.2 混凝土的变形

混凝土的变形有两类:一类是荷载作用下的受力变形,如荷载短期作用、荷载长期作用和多次重复荷载作用下产生的变形;另一类是体积变形,如混凝土收缩、膨胀以及温度、湿度变化所产生的变形。

1.1.2.1 混凝土单轴受压时的应力-应变曲线

混凝土受压时的应力-应变曲线,是由棱柱体试件一次单轴短期加载所测定的。一次单轴短期加载是指荷载从零开始单调增加至试件破坏,亦称单轴单调加载。

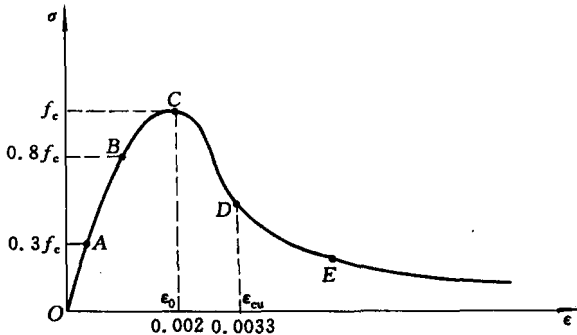
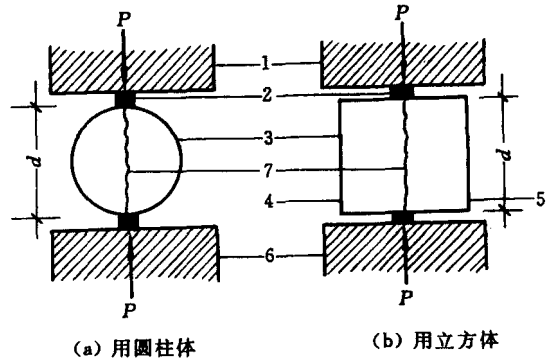


图 1-5 混凝土应力-应变曲线

BC 段:到达 B 点,内部裂缝非稳态地快速发展,塑性变形显著增长,直至峰值 C 点。这时的峰值应力 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 ,其值为 0.0015~0.0025,通常取 $\epsilon_0 = 0.002$ 。

2. 下降段(CE)

混凝土达到 C 点即峰值应力后,裂缝继续迅速发展,并出现贯通的竖向裂缝,内部结构的粘结受到严重破坏,应力下降而应变急剧增大,应力-应变曲线向下弯曲,曲线较陡,当应变达到 0.0033 时,曲线凹向发生变化,出现反弯点 D,这时,贯通的竖向主裂缝宽度较大,混凝土内



(a) 用圆柱体 (b) 用立方体
1—压力机上压板;2—垫条;3—试件;4—浇模顶面;
5—浇模底面;6—压力机下压板;7—试件破裂线
图 1-4 用劈裂试验测定混凝土的抗拉强度

混凝土单轴受压时的应力-应变曲线如图 1-5 所示。这条曲线包括了上升段和下降段两个部分。

1. 上升段(OC)

OA 段:从加载至混凝土应力 $\sigma_c \leq 0.3f_c$,由于应力较小,混凝土变形主要为弹性变形,应力-应变关系基本接近直线。

AB 段:混凝土应力 $\sigma_c = (0.3 \sim 0.8)f_c$,混凝土呈现弹塑性性能,应变的增长比应力增长得快,内部裂缝处于稳态发展。