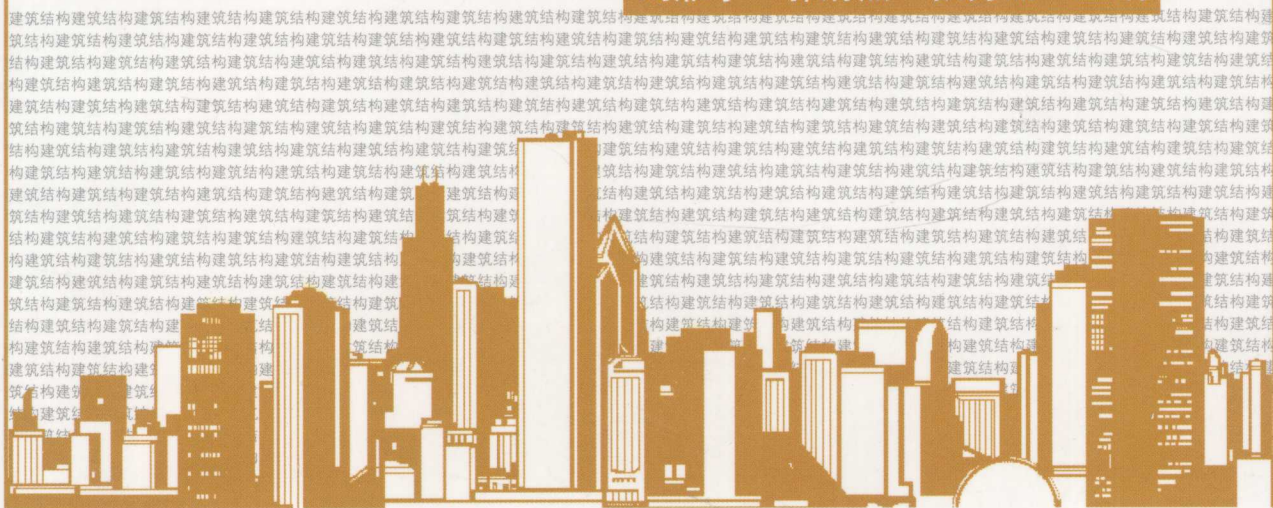


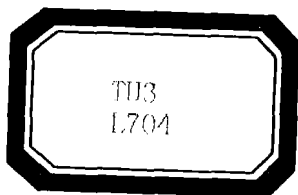
IANZHU
JIEGOU

建筑结构

刘雁宁 郭清燕 张秀丽 主编



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



建筑结构

主 编	刘雁宁	郭清燕	张秀丽	
副主编	申桂英	孙 敏	汪一鸣	高秀青
参 编	靳雪梅	刘建帮		

内 容 提 要

本书共分十三章,内容包括钢筋和混凝土的力学性能、建筑结构设计的基本原则、受弯构件、受扭构件、受压构件、受拉构件、预应力混凝土构件、钢筋混凝土梁板结构、单层厂房排架结构、多高层框架结构、钢结构、砌体结构以及建筑结构抗震设计等。

本书可作为高等院校土建类相关专业教材,也可供建筑工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构/刘雁宁,郭清燕,张秀丽主编. —北京:北京理工大学出版社,
2009.6

ISBN 978-7-5640-2390-4

I. 建… II. ①刘…②郭…③张… III. 建筑结构 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 109555 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通州京华印刷制版厂

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 23

字 数 / 482 千字

版 次 / 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 42.00 元

责任印制 / 母长新

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书编委会联系。邮箱:bitdayi@sina.com

图书出现印装质量问题,请与本社市场部联系,电话:(010)68944990

出版说明

建筑业作为我国国民经济发展的支柱产业之一，长期以来为国民经济的发展做出了突出的贡献。特别是进入 21 世纪以后，建筑业发生了巨大的变化，我国的建筑施工技术水平跻身于世界先进行列，在解决重大项目的科研攻关中得到了长足的发展，我国的建筑施工企业已成为发展经济、建设国家的一支重要的有生力量。

随着社会的发展，城市化进程的加快，建筑领域科技的进步，市场竞争将日趋激烈；此外，随着全球一体化进程的加快，我国建筑施工企业面对的不再是单一的国内市场，跨国、跨地区、跨产业的竞争模式逐渐成为一种新的竞争手段。因此，建筑行业对人才质量的要求也越来越高。

教材作为体现教学内容和教学方法的知识载体，是进行教学活动的基本工具，是深化教育教学改革、保障和提高教学质量的重要支柱和基础。教育部自 1998 年颁布新的《普通高等院校本科专业目录》以来，多次提出深化高等教育改革、提高人才培养质量的指导性意见和具体措施，各高校（院系）根据我国经济社会发展的新形势，紧密结合建设行业发展的实际，结合本校、本院系的实际，在实践中积极探索，在改革中不断创新，总结出了许多新经验。实践证明，加强施工理论与应用的研究对于提高施工技术的高科技含量，高质量、高效率地完成大型工程建设，促进高效的施工技术成果在建筑工程中的推广应用，实现施工技术现代化，并最终实现我国建筑业的现代化具有重要作用。

为适应高等学校专业调整后教学改革的需要，北京理工大学出版社邀请国内部分高等院校老师和具有丰富实践经验的工程师、技术人员组成编写组，组织编写并出版了本系列教材。该系列教材以“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”为宗旨，考虑土建类专业教材“教”与“学”的要求，从土建工程施工管理工作对人才的要求出发，通过对职业岗位的调查分析和论证，紧紧围绕培养目标，较好地处理了基础课与专业课的关系、理论教学与实践教学的关系、统一要求与体现特色的关系，以及传授知识、培养能力与加强素质教育的关系等。

本系列教材特点如下：

一、作者队伍由教师、工程师组成，专业优势突出

本系列教材作者队伍均来自教学一线和工程实践一线，其一是具有丰富教学经验的教师，因此教材内容更加贴近教学实际需要，方便“老师的教”和“学生的学”，增强了教材的实用性；其二是建筑设计与建筑施工管理的工程师或建筑业专家，在编写内容上更加贴近工程实践需要，从而保证了学生所学到的知识就是工程建设岗位所需要的知识，真正做到“学以致用”。

二、教材理论够用，重在实践

本系列教材严格依据高等院校人才培养目标进行定位，以适应社会需求为目标，以培养技术能力为主线，在内容选择上充分考虑土建工程专业的深度和广度，以“必需、够用”为度，以“讲清概念、强化应用”为重点，深入浅出，注重实用。本系列教材除设置主干课程以外，还设置了以实践为主旨，配合主干课程学习的实践、实训指导，注重学生实践能力的培养。

三、教材体例设计独特，方便教学

本系列教材内容在体例设计上新颖独特，每章前面设置有【学习重点】和【培养目标】，对本章内容和教学要求作出了引导；每章后面设置有【本章小结】，对本章的重点内容进行了概括性总结。此外，每章后面还设置了【思考与练习】，供学生课后练习使用，构建了一个“引导—学习—总结—练习”的教学全过程。

四、教材内容新颖，表现形式灵活

本系列教材在编写过程中，突出一个“新”字，教材以现行国家标准、行业标准为依据，编入了各种新材料、新工艺、新技术；对理论性强的课程，采用图片、表格等形式加以表现，使枯燥无味的理论学习变得轻松易懂，在方便教学的同时激发学生的学习兴趣。

五、教材具有现代性，内容精简

本系列教材编写过程中，编委会特别要求教材不仅要具有原理性、基础性，还要具有现代性，纳入最新知识及发展趋势。对教学课程的设置力求少而精，并通过整合的方法有效地进行精减。这样做不只是为了精减学时，更主要的是可淡化细节，强化理论、注重实践，有助于传授知识与能力培养的协调和发展。

六、教材内容全面，适用面广

本系列教材的编写充分考虑了我国不同地域各高校的办学条件，旨在加强学生能力的培养，尤其是在实践能力的培养方面进行了慎重考虑和认真选择，同时也充分考虑了土建类专业的特点；教材可供各高等学校、应用型本科院校、成人高等院校土木工程、建筑工程及其他相关专业学生使用，也可作为建筑工程施工及技术管理人员的参考用书。

教学改革是一个不断深化的过程，教材建设是高等院校教育改革的一项基础性工程，同时也是一个不断推陈出新的过程。要真正做到出精品教材，出特色教材，一方面需要编者的努力，另一方面也需要读者提出宝贵的意见和建议。我们深切希望本系列教材的出版能够推动我国高等院校土建类专业教学事业的发展，并对我国高等院校土建类专业教材的改革起到积极、有效的推动作用，为培养新世纪工程建设的高级人才做出贡献。

在本系列教材编写过程中，得到了不少高等院校教师的大力支持，受到了诸多工程建设一线工程师的指点和帮助，在此特向他们致以衷心的感谢！同时，对参与编写本系列教材和为本系列教材出版作出努力的全体人员表示感谢！

北京理工大学出版社

前 言

建筑结构是高等院校土建学科工程管理类专业的主干课程之一，包括混凝土结构、砌体结构和钢结构三类结构体系，主要研究一般房屋建筑结构的特点、结构构件布置原则、结构构件的受力特点及破坏形态、简单结构构件的设计原理和设计计算、建筑结构的有关构造要求以及结构施工图等内容。

近年来，随着我国建筑结构技术及其应用的迅速发展，新材料、新技术、新工艺得到了广泛应用。为此，国家对建筑结构设计相关规范进行了全面修订。本教材以适应社会需求为目标，以国家现行建筑结构设计相关规范为依据，以培养技术能力为主线组织编写。在编写时充分考虑工程管理类专业的深度和广度，以“必需、够用”为度，以“讲清概念、强化应用”为重点，深入浅出，注重实用。

通过对本教材的学习，学生可了解建筑结构的基本设计原理，掌握钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能，以及钢筋混凝土结构、砌体结构和各种基本构件的受力特点，掌握一般房屋建筑的结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法，正确理解国家建筑结构设计规范中的有关规定，正确进行截面设计等，同时能处理建筑结构施工中的一般问题，逐步培养和提高综合应用能力，为从事房屋建筑工程设计、施工及项目管理工作打下良好的基础。

本教材共分为十三章，从钢筋和混凝土的力学性能、建筑结构的基本设计原则、受弯构件、受扭构件、受压构件、受拉构件、预应力混凝土构件、钢筋混凝土梁板结构、单层厂房排架结构、多高层框架结构、钢结构、砌体结构以及建筑结构抗震设计等方面详细讲解了建筑结构设计原理、计算方法等基础知识，并配有大量例题，以帮助学生理解、消化所学内容。

本教材内容翔实，系统全面，并注重理论联系实际以及教学互动。为方便教学，在各章前设置【学习重点】和【培养目标】，各章后设置【本章小结】和【思考与练习】，从更深层次给学生以思考、复习的提示，由此构建了“引导—学习—总结—练习”的教学模式。

本教材由刘雁宁、郭清燕、张秀丽担任主编，申桂英、孙敏、汪一鸣、高秀青担任副主编，靳雪梅、刘建帮参与编写。本教材既可作为高等院校工程管理类专业教材，也可作为建筑工程技术人员的参考用书。

本教材在编写过程中参阅了国内同行多部著作，部分高等院校教师提出了很多宝贵意见，在此表示衷心的感谢！

本教材虽经推敲核证，但由于编者的专业水平和实践经验有限，仍难免有疏漏或不妥之处，恳请广大读者指正。

编 者



目 录

绪 论	(1)
第一章 钢筋和混凝土的力学性能	(3)
第一节 钢筋的性能及要求	(3)
第二节 混凝土的力学性能	(6)
第三节 钢筋与混凝土之间的黏结	(11)
第二章 建筑结构设计的基本原则	(14)
第一节 建筑结构的性能要求和极限状态	(14)
第二节 极限状态设计方法	(15)
第三章 受弯构件	(21)
第一节 受弯构件正截面承载力计算	(21)
第二节 受弯构件斜截面承载力计算	(46)
第三节 构件裂缝宽度及变形的验算	(51)
第四章 受扭构件	(61)
第一节 纯扭构件承载力计算	(61)
第二节 弯剪扭构件承载力计算	(65)
第五章 受压构件	(77)
第一节 受压构件概述	(77)
第二节 轴心受压构件承载力计算	(79)
第三节 偏心受压构件承载力计算	(82)
第六章 受拉构件	(99)
第一节 轴心受拉构件承载力计算	(99)
第二节 偏心受拉构件承载力计算	(100)



第七章 预应力混凝土构件	(106)
第一节 预应力混凝土概述.....	(106)
第二节 施加预应力的方法和锚具.....	(108)
第三节 张拉控制应力和预应力损失.....	(110)
第四节 预应力混凝土轴心受拉构件计算.....	(113)
第五节 预应力混凝土构件的构造要求.....	(117)
第八章 钢筋混凝土梁板结构	(120)
第一节 钢筋混凝土平面楼盖概述.....	(120)
第二节 单向板肋梁楼盖的设计.....	(122)
第三节 双向板肋梁楼盖的设计.....	(136)
第四节 装配式楼盖的设计.....	(139)
第五节 楼梯.....	(145)
第六节 雨篷.....	(151)
第九章 单层厂房排架结构	(155)
第一节 单层厂房的组成和布置.....	(155)
第二节 排架结构荷载及内力计算.....	(164)
第三节 单层厂房柱的设计.....	(174)
第十章 多高层框架结构	(189)
第一节 多高层框架结构的组成和布置.....	(189)
第二节 多高层框架结构的荷载.....	(195)
第三节 多高层框架结构的构造要求.....	(196)
第十一章 钢结构	(205)
第一节 钢结构概述.....	(205)
第二节 钢结构的材料.....	(207)
第三节 钢结构的连接.....	(216)
第四节 钢构件的计算.....	(233)
第五节 钢屋盖的设计.....	(251)
第十二章 砌体结构	(260)
第一节 砌体结构概述.....	(260)

第二节	砌体材料及砌体的力学性能·····	(263)
第三节	砌体结构构件·····	(270)
第四节	砌体的构造要求·····	(278)
第十三章	建筑结构抗震设计·····	(291)
第一节	地震基础知识·····	(291)
第二节	抗震设防与概念设计·····	(296)
第三节	建筑场地和地基基础的抗震设计·····	(301)
第四节	多层框架结构的抗震设计·····	(307)
第五节	多层砌体结构的抗震设计·····	(323)
附录	常用数据·····	(332)
参考文献 ·····		(358)

绪 论

一、建筑结构的分类及其应用

建筑结构是指建筑物中由若干个基本构件按照一定的组成规则,通过符合规定的连接方式所组成的能够承受并传递各种作用的空间受力体系,又称为骨架。建筑结构按承重结构所用材料可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构等,按承重结构类型可分为框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、排架结构、网架结构、悬索结构、壳体结构等。

混凝土结构系指由混凝土和钢筋两种基本材料组成的一种能共同作用的结构材料。自从1824年发明了波特兰水泥,1850年出现了钢筋混凝土以来,混凝土结构已广泛应用于工程建设,如各类建筑工程、构筑物、桥梁、港口码头、水利工程、特种结构等领域。采用混凝土作为建筑结构材料,主要是因为混凝土的原材料(砂、石子等)来源丰富,钢材用量较少,结构承载力和刚度大,防火性能好,造价便宜。钢筋混凝土技术于1903年传入我国,现在已成为我国发展高层建筑的主要材料。随着科学技术的进步,钢与混凝土组合结构也得到了很大发展,并已应用到超高层建筑中。其构造有型钢构件外包混凝土,简称刚性混凝土结构;还有钢管内填混凝土,简称钢管混凝土结构,它们的主要优点是抗震性能比混凝土结构还要好。

砌体结构又称砖石结构,是砖砌体、砌块砌体、石砌体建造的结构的统称。砌体结构是我国建造工程中最常用的结构形式,墙体结构中砖石砌体约占95%以上,主要应用于多层住宅、办公楼等民用建筑的基础、内外墙身、门窗过梁、墙柱等构件(在抗震设防烈度6度区,烧结普通砖砌体住宅可建成8层),跨度小于24m且高度较小的俱乐部、食堂及跨度在15m以下的中小型工业厂房,60m以下的烟囱、料仓、地沟、管道支架和小型水池等。

钢结构是指建筑物的主要承重构件全部由钢板或型钢制成的结构。由于钢结构具有承载能力高、重量较轻、钢材材质均匀、塑性和韧性好、制造与施工方便、工业化程度高、拆迁方便等优点,所以它的应用范围相当广泛。目前,钢结构多用于工业与民用建筑中的大跨度结构、高层和超高层建筑、重工业厂房、受动力荷载作用的厂房、高耸结构以及一些构筑物等。

二、我国建筑结构发展简介

我国应用最早的建筑结构是砖石结构和木结构。公元595~605年(隋代),由李春建造的河北赵县的赵州桥是世界上最早的空腹式单孔圆弧石拱桥。该桥净跨37.37m,拱高7.2m,宽9m;外形美观,受力合理,建造水平较高。山西五台山佛光寺大殿(建于公元857年)、66m高的应县木塔(建于公元1056年)均为别具一格的梁、柱木结构承重体系。

我国也是采用钢铁结构最早的国家。公元60年前后(汉明帝时代)使用铁索建桥(比欧洲早70多年)。我国用铁造房的历史也比较悠久,例如现存的湖北荆州玉泉寺的13层铁



塔建于宋代,已有1 500年的历史。

改革开放以来,我国的建设事业蓬勃发展,已建成的高层建筑有数万幢,其中超过150 m的有200多幢。我国香港特别行政区的中环大厦建成于1992年,73层,高301 m,是当时世界上最高的钢筋混凝土结构建筑。上海浦东的金茂大厦建成于1998年,88层,高420 m,属钢和混凝土混合结构,是当时我国内地第一、世界第四高度的高层建筑。我国台湾地区的国际金融中心大厦建成于2005年,101层,高508 m,属钢和混凝土混合结构,是当时世界第一高度的高层建筑。

三、建筑结构课程的内容及学习要求

建筑结构是建筑工程管理等专业的主干专业课之一,包括混凝土结构、砌体结构和钢结构三类结构体系,主要研究一般房屋建筑结构的特点、结构构件布置原则、结构构件的受力特点及破坏形态、简单结构构件的设计原理和设计计算、整体结构的分析、建筑结构的有关构造要求以及结构施工图等内容。

学习本课程,应了解建筑结构的基本设计原理,掌握钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能,以及由其组成的钢筋混凝土结构、砌体结构和各种基本构件的受力特点,掌握一般房屋建筑的结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法,正确理解国家建筑结构设计规范中的有关规定,并正确进行截面设计等,同时能处理建筑结构施工中的一般结构问题,逐步培养和提高理论联系实际的综合应用能力,为将来从事房屋建筑工程设计、施工及项目管理工作打下良好的基础。

四、建筑结构课程的特点及学习方法

在建筑结构课程的学习过程中,要注意以下特点,并运用相应的学习方法:

(1) 正确理解和使用计算公式。建筑结构中的公式都是建立在科学或工程实践基础上的,因此,要理解公式的基本假定,注意公式的适用范围和限制条件。

(2) 注意结构设计的综合性。建筑结构设计的任务是选择适用、经济的结构方案,并通过承载力计算、变形验算及其配筋构造等,确定结构的设计方案。在相同荷载作用下,有多种可行的截面形式、尺寸和不同的材料选择及其不同的配筋方式与数量,即其方案具有多样性,需综合考虑结构的安全性、经济性、施工方便等因素确定最合理的方案。同时,应满足设计规范的要求。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,是具有约束性和立法性的文件,其目的是使工程结构在符合国家经济政策的条件下,保证设计的质量和工程项目的安全可靠。在本课程的学习中,有关基本理论的应用最终都要落实到规范的具体规定中。通过本课程的学习,应进一步熟悉、掌握和正确应用有关现行结构设计规范和标准。

(3) 在基础扎实的基础上注重实践。建筑结构跟力学、房屋建筑学、建筑材料等课程密切相关,它为建筑施工和建筑预算等提供依据。学习建筑结构需要具备扎实的基础,还要与实践相结合,结合教学去施工现场等参观学习,真正做到理论联系实际。

第一章 钢筋和混凝土的力学性能

学习重点

钢筋的性能及要求；混凝土的力学性能；钢筋与混凝土之间的黏结。

培养目标

了解钢筋的分类及性能；了解混凝土的变形、收缩及徐变；熟悉钢筋与混凝土之间的黏结作用。

第一节 钢筋的性能及要求

一、钢筋的分类

混凝土结构用钢筋按化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢。根据含碳量的不同，碳素钢分为低碳钢（含碳量 $<0.25\%$ ）、中碳钢（ $0.25\% \leq \text{含碳量} \leq 0.6\%$ ）、高碳钢（含碳量 $>0.6\%$ ）。含碳量越高，强度越高，但塑性和可焊性下降。工程中常用低碳钢。普通低合金钢是在碳素钢的基础上，再加入微量的合金元素，如硅、锰、钒、钛、铌等，目的是提高钢材的强度，改善钢材的塑性性能。

钢筋按生产加工工艺和力学性能的不同分为普通钢筋和预应力钢筋。普通钢筋为低碳钢，由普通低合金钢在高温状态下轧制而成，如 HPB235、HRB335、HRB400 和 RRB400 级。预应力钢筋可分为热处理钢筋、预应力钢丝。热处理钢筋是将强度大致相当于 HRB400 级钢筋的某些特定钢号的钢筋经淬火和回火处理后制成，其强度可大幅度提高，而塑性降低不大。预应力钢丝由高碳钢筋经多次冷拔而成，包括光面钢丝、刻痕钢丝、钢绞线（用光面钢丝绞织而成），钢筋直径越细强度越高。

钢筋按其外形不同，分为光面钢筋和带肋钢筋。带肋钢筋有螺纹钢、人字纹钢筋和月牙纹钢筋。通常带肋钢筋直径不小于 10 mm，光面钢筋直径不小于 6 mm。目前常用的是月牙纹钢筋，如图 1-1 所示。

二、钢筋的强度和变形

钢筋的强度和变形方面的性能主要通过钢筋的应力—应变曲线来表示。

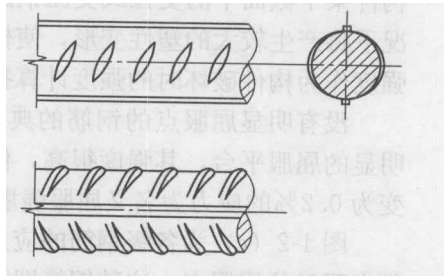


图 1-1 月牙纹钢筋

有明显屈服点的钢筋的典型应力—应变曲线如图 1-2 (a) 所示。图中在 a 点以前, 钢筋处于弹性阶段, 应力与应变成正比, a 点的钢筋应力即为钢筋的屈服强度 f_y 。直线 Oa 的斜率为钢筋的弹性模量 E_s 。过 a 点以后, 应变较应力增长为快。到达 b 点, 钢筋开始屈服, 其强度与加荷速度、截面形式、试件表面光洁度等多种因素有关, 很不稳定, b 点称为屈服上限。超过 b 点以后, 进入强化阶段, 钢筋的应力下降到 c 点, 在应力基本保持不变的情况下, 应变显著增加产生较大的塑性变形, 但比较稳定, c 点称为屈服下限或屈服点。与 c 点所对应的应力称为屈服强度, 以 σ_s 表示, 水平 cd 段称为屈服台阶或流幅。过 d 点后, 钢筋还能继续承载, 应力应变继续加大, 到达 e 点后钢筋产生颈缩现象, 应力开始下降, 但应变仍能继续增长, 至 f 点试件被拉断。 e 点对应的应力称为抗拉强度极限 σ_b , 曲线的 de 段称为强化阶段, ef 段称为颈缩下降阶段。

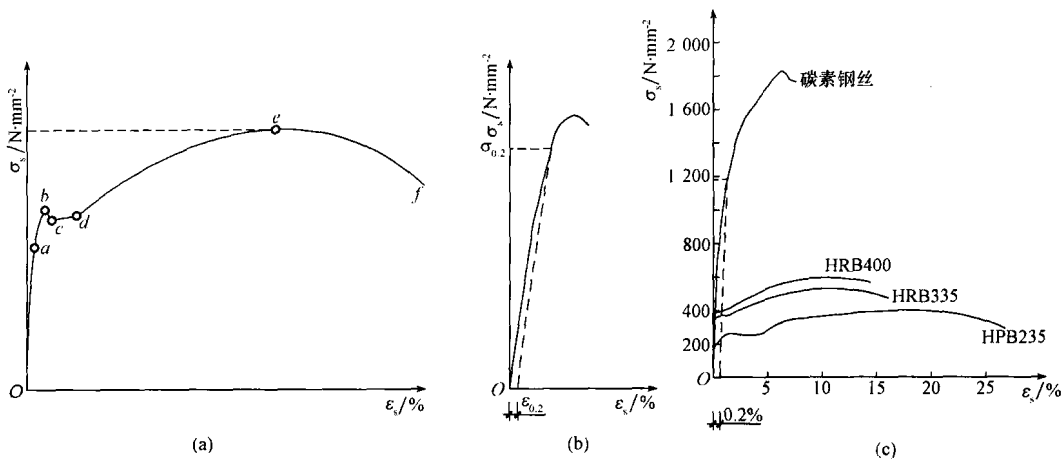


图 1-2 钢筋的应力—应变曲线

(a) 有明显屈服点; (b) 没有明显屈服点; (c) 各级钢筋的应力—应变曲线

在钢筋混凝土构件计算中, 一般取钢筋的屈服强度作为强度计算指标。这是因为当结构构件某个截面中的受拉或受压钢筋应力达到屈服、进入屈服台阶后, 在应力基本不增长的情况下将产生较大的塑性变形, 使构件最终产生不可闭合的裂缝而导致破坏, 故取钢筋的屈服强度作为构件破坏时的强度计算指标。

没有明显屈服点的钢筋的典型应力—应变曲线如图 1-2 (b) 所示。由图可见, 它没有明显的屈服平台, 其强度很高, 但延伸率大为降低, 塑性性能减弱。设计上取相应于残余应变为 0.2% 的应力为名义屈服强度 $\sigma_{0.2}$, 大约为国家标准的抗拉强度极限 σ_b 的 85%。

图 1-2 (c) 为各级钢筋的应力—应变曲线。从图中可以看出, 普通钢筋应力—应变曲线都有明显的屈服点, 这种钢筋即为低碳钢, 亦称软钢。没有明显屈服点的热处理钢筋和钢丝称为硬钢。

对于抗震结构,钢筋应力在地震作用下可考虑进入强化阶段,为了保证结构在强震下“裂而不倒”,对钢筋的极限抗拉强度与屈服强度的比值有一定的要求,一般不小于 1.25。钢筋在弹性阶段应力与应变的比值,称为弹性模量,用 E_s 表示:

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\epsilon_s} \quad (1-1)$$

三、钢筋的塑性性能

反映钢筋的塑性性能的基本指标是钢筋的伸长率。钢筋试件拉断后的伸长值与原长的比值称为伸长率。伸长率越大,塑性性能越好。冷弯是将直径为 d 的钢筋绕直径为 D 的钢辊进行弯曲,如图 1-3 所示,弯成一定的角度而不发生断裂,并且无裂纹、鳞落或断裂现象,即认为钢筋的弯曲性能符合要求。通常 D 值越小, α 值越大,则其弯曲性能、塑性性能越好。

屈服强度、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能是有明显屈服点钢筋进行质量检验的四项主要指标。表 1-1 列出了热轧钢筋的屈服强度、抗拉强度、伸长率、冷弯性能和弹性模量等各项指标。

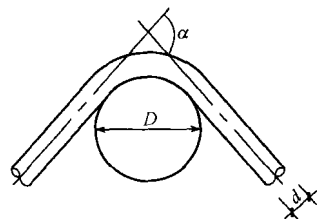


图 1-3 钢筋的冷弯

表 1-1 钢筋的力学性能指标

钢筋级别	钢 号	公称直径 d/mm	屈服强度 $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	抗拉强度 $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	伸长率 δ_s	冷弯性能 α (弯曲角度), D (弯心直径)	弹性模量 $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$
HPB235	Q235	8~20	235	370	25	$\alpha=180^\circ, D=d$	2.1×10^5
HRB335	20MnSi	6~25	335	490	16	$\alpha=180^\circ, D=3d$	2.0×10^5
		28~50				$\alpha=180^\circ, D=4d$	
HRB400	20MnSiV	6~25	400	570	14	$\alpha=180^\circ, D=4d$	2.0×10^5
	20MnSiNb 20MnTi	28~50				$\alpha=180^\circ, D=5d$	
RRB400	K20MnSi	8~25	400	600	14	$\alpha=90^\circ, D=3d$	2.0×10^5
		28~40				$\alpha=90^\circ, D=4d$	

四、混凝土结构对钢筋性能的要求

混凝土结构对钢筋性能的要求主要有以下几点:

(1) 有较高的强度和适宜的屈强比。强度是指钢筋的屈服强度 f_y 。屈服强度高,可减少结构的含钢量,节约钢材,提高经济效益。屈强比是指屈服强度 f_y 与极限抗拉强度 f_u 之比值,即 f_y/f_u ,该值反映结构的可靠程度。屈强比小,结构可靠,但钢材强度的利用率低,不经济;屈强比太大,则结构不可靠。



(2) 有较好的塑性。钢筋的塑性好,则在破坏之前会产生较大的塑性变形(构件有明显的变形和裂缝),可避免突然的脆性破坏所带来的危害,所以应保证钢筋的伸长率和冷弯性能合格。

(3) 具有较好的焊接性能。要求钢筋焊接后保证接头的受力性能良好,不产生裂纹和过大的变形。

(4) 与混凝土之间具有良好的黏结。黏结力是保证钢筋和混凝土共同工作的基础,钢筋表面形状对黏结力有着重要影响。为了加强钢筋与混凝土的黏结力,除强度较低的 HPB235 级钢筋为光面钢筋外,常用的 HRB335、HRB400 和 RRB400 级钢筋均为表面带肋钢筋。

五、钢筋的选用

对于钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构用钢筋,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)规定如下: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;预应力钢筋宜采用预应力钢绞线、钢丝,也可采用热处理钢筋。

第二节 混凝土的力学性能

一、混凝土的强度

混凝土的强度与水泥、骨料的品种、级配、配合比、硬化条件和龄期等有关,主要包括立方体抗压强度、轴心抗压强度和轴心抗拉强度等。

1. 混凝土立方体抗压强度及强度等级

立方体抗压强度是衡量混凝土强度高低的的基本指标值,是确定混凝土强度等级的依据。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)规定:按照标准方法制作养护边长为 150 mm 的立方体试件,在 28 天龄期用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度作为混凝土的立方体抗压强度标准值,用 $f_{cu,k}$ 表示,单位为 N/mm^2 (MPa)。

试验表明,混凝土立方体抗压强度与试件的尺寸大小有关。立方体试件尺寸越小,测得的抗压强度越高。实际工程中如采用边长为 100 mm 或 200 mm 的非标准试件时,应将其立方体抗压强度实测值分别乘以换算系数 0.95 和 1.05,换算成标准试件的立方体抗压强度标准值。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)根据混凝土立方体抗压强度标准值,将混凝土划分为 14 个强度等级,分别以 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80 表示。一般将 C50 以上的混凝土称为高强度混凝土。

2. 混凝土轴心抗压强度

在工程中,钢筋混凝土受压构件的尺寸,往往是高度 h 比截面的边长 b 大很多,形成棱柱体,用棱柱体试件测得的抗压强度称为轴心抗压强度。实验时,棱柱体试件的高宽比 h/b



通常为3~4, 常用试件尺寸为100 mm×100 mm×300 mm、150 mm×150 mm×450 mm。

轴心抗压强度的试件是在与立方体试件相同条件下制作的, 经测试其数值要小于立方体抗压强度, 根据我国所作的混凝土棱柱体与立方体抗压强度对比试验的结果, 它们的比值大致在0.70~0.92的范围内变化, 强度大的比值大一些。考虑到实际结构构件制作、养护和受力情况, 以及实际构件强度与试件强度之间存在的差异, 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002) 基于安全考虑规定取偏低值, 轴心抗压强度标准值与立方体抗压强度标准值之间的关系为:

$$f_{ck} = 0.88\alpha_{c1}\alpha_{c2}f_{cu,k} \quad (1-2)$$

式中 α_{c1} ——棱柱强度与立方强度之比, 对C50及以下取 $\alpha_{c1}=0.76$, 对C80取 $\alpha_{c1}=0.82$, 中间按直线内插法取值;

α_{c2} ——考虑C40以上混凝土脆性的折减系数, 对C40取 $\alpha_{c2}=1.0$, 对C80取 $\alpha_{c2}=0.87$, 中间按直线内插法取值;

0.88——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影响, 参照以往的设计经验所取得的经验系数。

3. 混凝土轴心抗拉强度

混凝土的抗拉强度很低, 与立方体抗压强度之间为非线性关系, 一般只有其立方体抗压强度的1/17~1/8。中国建筑科学研究院等单位对混凝土的抗拉强度作了系统的测定, 用直接测试法或间接测试法对试件进行实验测得的抗拉强度称为轴心抗拉强度, 经修正后, 轴心抗拉强度标准值与立方体抗压强度标准值之间的关系为:

$$f_{tk} = 0.88 \times 0.395 f_{cu,k}^{0.55} (1 - 1.645\delta)^{0.45} \alpha_{c2} \quad (1-3)$$

式中 δ ——混凝土立方体强度变异系数, 对C60以上的混凝土, 取 $\delta=0.1$; 系数0.395和系数0.55是根据实验数据统计分析所得的经验系数。

混凝土的强度标准值见表1-2。

表 1-2 混凝土强度标准值

N/mm²

强度种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

注: f_{ck} 指混凝土轴心抗压强度标准值, f_{tk} 指混凝土轴心抗拉强度标准值。

二、混凝土的变形

混凝土的变形可分为两类。一类是在荷载作用下的受力变形, 如单调短期加荷、多次重复加荷以及荷载长期作用下的变形。另一类与受力无关, 称为体积变形, 如混凝土收缩、膨