

混凝土结构与砌体结构

(第2版)

HUNNINGTU JIEGOU YU QITI JIEGOU

主 编 曹孝柏 郭清燕 赵占军
主 审 李 辉 王运政



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

混凝土结构与砌体结构

(第2版)

主 编	曹孝柏	郭清燕	赵占军	
副主编	郑召勇	郑 强	张建新	张忠良
参 编	潘年相	胡小勇	胡威凛	刘华伟
	彭俊杰	杨 婷	吕 贺	
主 审	李 辉	王运政		

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书按照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)及国家相关规范、规程编写而成。全书共11章,内容主要包括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、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、多高层建筑结构、砌体结构。每章后均附有本章小结、思考与练习。

本书可作为高等院校建筑工程技术专业的教材,也可作为土建类其他相关专业的教材以及土建技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构与砌体结构 / 曹孝柏, 郭清燕, 赵占军主编. —2版. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-5640-8857-6

I. ①混… II. ①曹… ②郭… ③赵… III. ①混凝土结构②砌体结构 IV. ①TU37②TU209

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第196033号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 425千字

版 次 / 2015年3月第2版 2015年3月第1次印刷

定 价 / 49.00元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

第2版前言

混凝土结构是指以混凝土为主要材料制作而成的结构，砌体结构则是指由块体和砂浆砌筑而成的墙、柱作为建筑物的主要受力构件的结构。

混凝土结构广泛应用于工程建设，钢筋混凝土结构更已成为发展高层建筑的主要材料。砌体结构作为一种历史悠久的结构，长期以来在我国土木工程中被广泛应用。随着砌体材料工业的发展和科学研究的不断深入，砌体结构的应用范围也在不断扩大。

近年来，随着我国建筑结构技术的迅速发展，各种新材料、新技术、新工艺的应用层出不穷。为适应高速发展的建设事业对人才的需求，编者根据全国高等教育土建类专业教学指导委员会制定的教育标准和培养方案以及主干课程教学大纲，以适应社会需求为目标，以国家现行建筑设计相关规范为依据，以培养技术能力为主线，编写了本书。

混凝土结构与砌体结构是高等院校土建学科建筑工程技术及相关专业的主干课程之一，是工程技术人员和工程管理人员的必修课。只有具备较完整的计算理论知识，才能正确理解结构和构件的受力性能和设计意图，才能正确指导施工，避免由于盲目施工造成的工程事故，对于工程中出现的问题才能做出正确的分析与处理。

本课程不仅需要数学、力学、建筑材料等基础，还与建筑设计、施工技术等密切相关。要学会运用所学基础知识，抽象出符合实际的力学模型，用力学知识去解决结构中的问题。既要注意力学和结构研究对象的不同，又要注意各门课程之间的联系，培养综合分析问题的能力，学会综合分析问题的方法。

本书在编写时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。通过本书的学习，学生可了解混凝土结构与砌体结构的基本设计原理；掌握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；掌握钢筋混凝土单层厂房，多层框架及砌体结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法；了解结构设计的基本思路；掌握结构设计的基本方法，为从事土木工程设计、施工和管理工作奠定坚实的基础。

本书共分为11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

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、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、多高层建筑结构、砌体结构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，并配有例题，以帮助学生理解、消化相关知识点，增强实际应用能力。

为方便教学，本书在各章前设置了【学习目标】和【学习重点】，给学生学习和老师教学做出了引导；在各章后设置了【本章小结】和【思考与练习】，从更深的层次给学生以思考、复习的提示，从而构建了一个“引导→学习→总结→练习”的教学全过程。

本书由曹孝柏、郭清燕、赵占军担任主编，郑召勇、郑强、张建新、张忠良担任副主编，潘年相、胡小勇、胡威凛、刘华伟、彭俊杰、杨婷、吕贺参与了部分章节的编写，李辉、王运政审阅了全书。

本书在修订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，在此表示衷心感谢！

本书修订版虽经推敲核证，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

第1版前言

在工程建设中，仅仅或者主要以混凝土为材料的结构称为混凝土结构，而以砖、石或各种砌块为块材，用砂浆砌筑而成的结构称为砌体结构。混凝土结构广泛应用于工程建设，而钢筋混凝土结构更已成为发展高层建筑的主要材料。砌体结构是一种历史悠久的结构，长期以来在土木工程中被广泛应用。随着砌体材料工业的发展和科学研究的不断深入，砌体结构的应用范围也在不断扩大。

近年来，随着我国建筑结构技术的迅速发展，各种新材料、新技术、新工艺的应用层出不穷。为适应高速发展的建设事业对人才的需求，我们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了本教材。

混凝土结构与砌体结构是高等院校土建学科相关专业的主干课程之一，是工程技术人员和工程管理人员的必修课。只有具备较完整的计算理论知识，才能正确理解结构和结构构件的受力性能和设计意图；才能正确指导施工，避免由于盲目施工所造成的工程事故，对于工程中出现的问题也能做出正确的分析与处理。

本课程不仅以数学、力学、建筑材料为基础，还与建筑设计、施工技术等有密切关系。要学会运用所学基础知识，抽象出符合实际的力学模型，用力学知识去解决结构中的问题。既要注意力学和结构研究对象的不同，还要注意各门课程之间的联系，培养综合分析问题的能力，学会综合分析问题的方法。

本教材在编写时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。通过本教材的学习，学生可了解混凝土结构与砌体结构的基本设计原理，掌握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，掌握钢筋混凝土单层厂房，多层框架及砌体结构结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法，了解结构设计的基本思路，掌握结构设计的基本方法，为从事土木工程设计、施工和管理工作的坚实基础。

本教材共分为11章，从钢筋和混凝土的力学性能，建筑结构的基本设计原则，受弯构件承载力计算，受压构件承载力计算，钢筋混凝土受拉构件承载力计算，受扭构件承载力

计算, 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, 砌体结构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、消化相关知识点, 增强实际应用能力。

为方便教学, 本教材在各章前设置了【学习重点】和【培养目标】, 给学生学习和老师教学做出了引导; 在各章后面设置了【本章小结】和【思考与练习】, 从更深的层次给学生以思考、复习的提示, 从而构建了一个“引导→学习→总结→练习”的教学全过程。

本教材由杨茂森、郭清燕、梁利生任主编, 宋要斌、王舒萍、关春敏、申素芳任副主编, 既可作为高等院校土建施工类专业教材, 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, 部分高等院校老师提出了很多宝贵意见供我们参考, 在此, 对他们表示衷心的感谢!

本教材的编写虽经推敲核证, 但限于编者的专业水平和实践经验, 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	5
第一节 钢筋的性能及要求	5
第二节 混凝土的力学性能	8
第三节 钢筋与混凝土之间的粘结作用	12
第二章 建筑结构的基本设计原则	16
第一节 建筑结构的功能要求和极限状态	16
第二节 极限状态设计法	19
第三章 受弯构件承载力计算	26
第一节 受弯构件正截面承载力计算	26
第二节 受弯构件斜截面承载力计算	47
第三节 受弯构件裂缝宽度及变形验算	53
第四章 受扭构件承载力计算	67
第一节 纯扭构件承载力计算	67
第二节 弯剪扭构件承载力计算	69
第五章 受压构件承载力计算	79
第一节 受压构件概述	79
第二节 轴心受压构件承载力计算	83
第三节 偏心受压构件承载力计算	85
第六章 受拉构件承载力计算	101
第一节 轴心受拉构件承载力计算	101
第二节 偏心受拉构件承载力计算	102

第七章 预应力混凝土构件	107
第一节 预应力混凝土概述	107
第二节 施加预应力的方法、锚具和夹具	111
第三节 张拉控制应力和预应力损失	112
第四节 预应力混凝土构件的构造要求	116
第八章 钢筋混凝土梁板结构	121
第一节 钢筋混凝土平面楼盖概述	121
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 楼梯的设计	144
第六节 雨篷的设计	150
第九章 单层厂房排架结构	154
第一节 单层厂房的组成和布置	154
第二节 排架结构荷载及内力的计算	162
第三节 单层厂房柱的设计	171
第十章 多高层建筑结构	184
第一节 框架结构的组成和布置	184
第二节 框架结构的荷载	189
第三节 框架结构的构造要求	191
第四节 剪力墙结构的构造要求	195
第五节 框架—剪力墙结构的构造要求	203
第十一章 砌体结构	207
第一节 砌体结构概述	207
第二节 砌体材料及砌体的力学性能	210
第三节 无筋砌体构件	220
第四节 配筋砌体构件	228
第五节 砌体的构造要求	238
附录 常用数据	249
参考文献	272

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。

混凝土结构是指以混凝土为主要材料制作而成的结构。它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

(1)素混凝土结构：指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构。素混凝土结构由于承载力低、性质脆，很少用来作为重要的承力结构。

(2)钢筋混凝土结构：指用钢筋作为配筋且配置受力钢筋的普通混凝土结构。

(3)预应力混凝土结构：指在混凝土或钢筋混凝土结构制作时，在其特定的部位上，通过张拉受力钢筋或采用其他方法，人为地预先施加应力的混凝土结构。

砌体结构是指由块体和砂浆砌筑而成的墙、柱作为建筑物的主要受力构件的结构。它是砖砌体、砌块砌体和石砌体结构的统称。

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。

二、混凝土结构和砌体结构

1. 混凝土竖向结构

混凝土竖向结构特点是建筑结构主要承受垂直荷载和水平荷载。垂直荷载要求结构具有足够的抗压强度，水平荷载则要求结构具有足够的抗弯、抗剪强度以及刚度和延性。层数越高，水平荷载的作用越突出。由于不同结构类型所能承受的水平荷载不同，因此，它们拥有各自的特点和适用范围。

混凝土竖向结构有以下类型：

(1)纯框架结构。纯框架结构是由柱和梁、板所组成的承重结构。由于不设承重墙，建筑平面布置灵活，可以形成较大的空间，因此特别适用于各类公共建筑和仓库、车间。如果柱间梁的高度压缩到与楼板同样高度，成为楼板内的暗梁，则称为板柱体系。其平面布置趋于灵活，层高也可适当降低。

(2)剪力墙结构。剪力墙结构是由承重墙和楼板组成的承重结构，以承重墙代替框架中的梁、柱承受建筑物的垂直荷载和水平荷载。由于建筑结构的承重墙除了要承受由垂直荷载所产生的竖向压力外，还要承受由水平荷载所产生的剪力和弯矩，所以称为剪力墙。

剪力墙结构较框架结构承受水平荷载的能力强，刚度大，水平位移小。建造层数一般

比纯框架结构多。剪力墙既作承重墙，又作围护墙。

为满足住宅、旅馆等高层剪力墙结构的底层设置商店、餐厅、门厅、会议厅等大空间的需要，可采用底层为部分框架，上部标准层为剪力墙的框支剪力墙结构，如图 0-1 所示。

在地震区，不允许采用底层为纯框架的鸡腿式框支剪力墙结构，应使一部分剪力墙落地形成封闭筒体，称为象腿式框支剪力墙结构。落地剪力墙的间距 L 不宜大于建筑物宽度 B 的 2.5 倍，如图 0-2 所示。

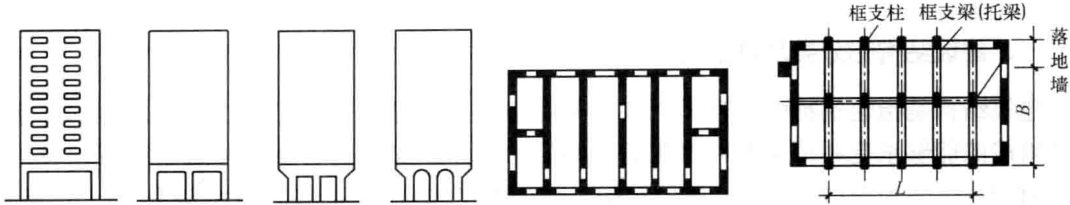


图 0-1 框支剪力墙结构剖面图

图 0-2 底层大空间剪力墙结构平面图

(3) 框架—剪力墙结构。在框架结构中设置一部分剪力墙(如在楼梯间、电梯间等部位)，形成由框架和剪力墙共同作用的框架—剪力墙结构。与框架结构相比，其抵抗水平荷载的能力更强，侧向刚度也更高，而且基本保持了平面布置灵活的优点。房屋的垂直荷载通过楼板分别由框架和剪力墙共同承担，而水平荷载则主要由剪力墙承担。

(4) 筒体结构。筒体结构是由框架结构和剪力墙结构发展而成的一种空间结构。由若干片纵横交接的框架或剪力墙与楼板连接，围成筒状封闭骨架。

筒体结构由于具有承受水平荷载的良好刚度，并能形成较大的使用空间，多用于较高的建筑物。

筒体结构可分为框架—筒体、筒中筒和组合筒结构，其中组合筒包括成束筒和成组筒，如图 0-3 所示。我国目前较多采用前两种筒体结构。

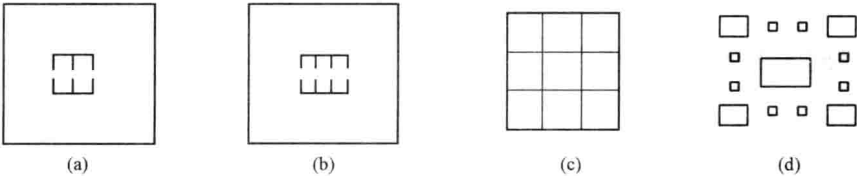


图 0-3 各种筒体结构典型平面图

(a) 框架—筒体；(b) 筒中筒；(c) 成束筒；(d) 成组筒

此外，还可在内筒的周围按照客房或办公的需要设置剪力墙，形成剪力墙—筒体结构(图 0-4)。

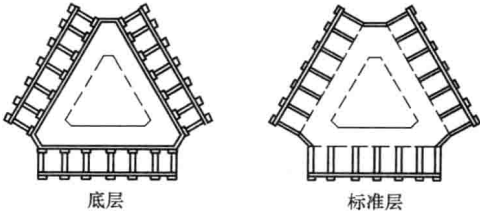


图 0-4 剪力墙—筒体结构示意图

2. 混凝土横向结构

(1)有梁楼盖。框架结构的传统做法是采用有梁楼盖，大柱网常采用主梁—次梁—楼板的做法。其优点是楼板厚度较薄，刚度较好；缺点是梁的高度大，层高增大，不利于灵活布置平面，施工较复杂。

(2)无梁楼盖。在框架和框架—剪力墙结构中，将梁高降至与楼板同一高度，形成楼板中的暗梁，故称为板柱结构。在剪力墙结构中，通常采用无梁平板，称为板墙结构。

为了保证结构的水平刚度，采用平板式楼盖需有一定的厚度。板柱结构中设柱帽的最小厚度为 12 cm；无柱帽的最小厚度为 15 cm。为了减轻大跨度无梁楼盖(筒体结构和板柱结构)自重，增加楼盖自身的结构刚度，多采用无粘结预应力混凝土楼盖(单向或双向)，跨度可达到 6~12 m。

(3)密肋楼盖。由薄板与小梁组成，小梁的断面小且密，故称密肋。密肋可以是单向支撑，也可以是双向支撑(图 0-5)，板的厚度可小至 5~6 cm。这种楼盖一般用于大柱网的厅、书库、阅览室等。

(4)叠合楼板。目前采用的是压型钢板或各种配筋(预应力钢筋、双钢筋、冷轧扭钢筋)的预制混凝土薄板作现浇层的永久性模板，其上浇筑混凝土，形成叠合层。

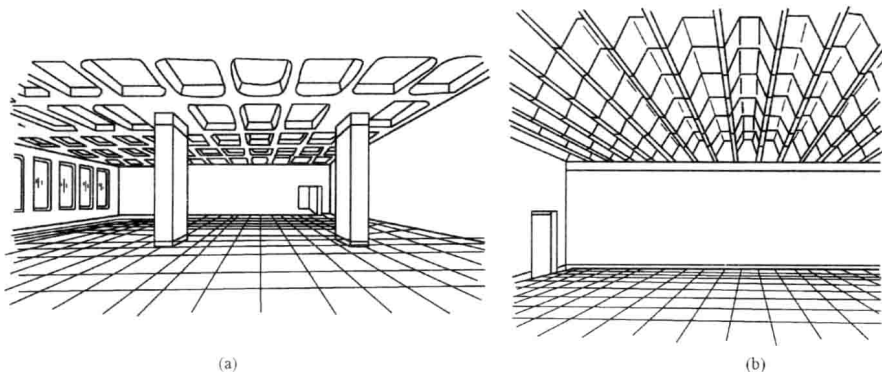


图 0-5 密肋楼盖

(a)双向；(b)单向

3. 砌体结构

砌体结构在我国的应用有着悠久的历史。闻名于世的万里长城就是用砌体筑成的城墙。生产和使用烧结砖在我国已有 3 000 多年的历史。砌体结构主要有无筋砌体、网状配筋砖砌体、组合砖砌体、配筋砌块砌体等。

三、本课程的内容及学习要求和方法

本课程是建筑工程技术等专业的主干专业课之一，包括混凝土结构和砌体结构两大类结构体系，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，为从事房屋建筑工程设计、施工及项目管理工作打下基础。

在本课程的学习过程中，要注意以下几点：

(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的基础上的，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)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，即其答案具有多样性。在多种答案中，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答案。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的现行结构设计规范和标准。

(3)在理论扎实的基础上注重实践。混凝土结构与力学、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，所以学习混凝土结构需要具备扎实的基础。此外，混凝土结构的学习还需要与实践相结合，必须结合教学去施工现场等场所参观学习，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粘结作用。

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粘结。

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(含碳量为 $0.25\% \sim 0.60\%$)、高碳钢(含碳量 $>0.60\%$)。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 HPB300 级、HRB335 级、HRB400 级和 RRB400 级钢筋。预应力钢筋可分为热处理钢筋和预应力钢丝。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，强度就越高。

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。目前常用的是月牙纹钢筋，如图 1-1 所示。通常带肋钢筋直径不小于 10 mm，光面钢筋直径不小于 6 mm。

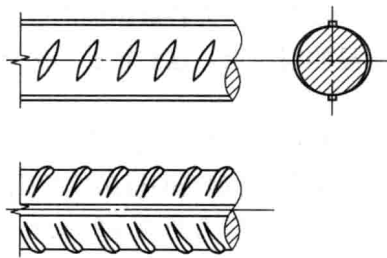


图 1-1 月牙纹钢筋

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。

有明显屈服点钢筋的典型应力-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 点后，应变较应力增长快。到达 b 点，钢筋开始屈服，其强度与加荷速度、截面形式、试件表面粗糙度等多种因素有关，很不稳定， b 点称为屈服上限。过 b 点后，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。

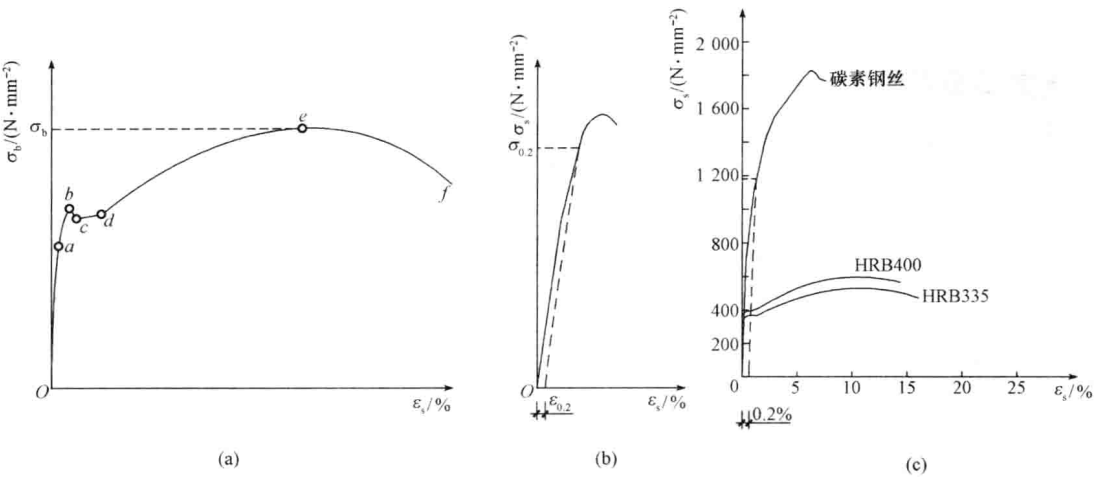


图 1-2 钢筋的应力-应变曲线

(a)有明显屈服点；(b)无明显屈服点；(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。

无明显屈服点钢筋的典型应力-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 $\sigma_{0.2}$ ，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。无明显屈服点的热处理钢筋和钢丝，称为硬钢。

对抗震结构，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，即

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\epsilon_s} \tag{1-1}$$

三、钢筋的塑性性能

反映钢筋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，塑性性能就越好。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、塑性性能就越好。

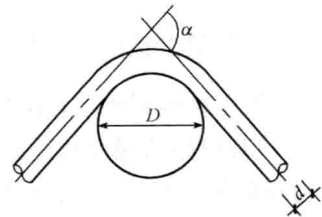


图 1-3 钢筋的冷弯

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、抗压强度、总伸长率和弹性模量等各项指标。

表 1-1 常用钢筋的力学性能指标

钢筋级别	符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 f_{yk} $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	抗拉强度设计值 f_y $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	抗压强度设计值 f'_y $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	总伸长率 δ_{gt} $\%$	弹性模量 E_s $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$
HPB300	Φ	6~22	300	270	270	10.0	2.10
HRB335	Φ	6~50	335	300	300	7.5	2.00
HRBF335	Φ^F					7.5	
HRB400	Φ	6~50	400	360	360	7.5	2.00
HRBF400	Φ^F					7.5	
RRB400	Φ^R					5.0	
HRB500	Φ	6~50	500	435	410	7.5	2.00
HRBF500	Φ^F					7.5	

四、钢筋的冷加工

为了节约钢材，在常温下对有明显屈服点的钢筋(软钢)进行机械冷加工，可以使钢材内部组织结构发生变化，从而提高钢材的强度，但其塑性有所降低。

冷拉是在常温条件下，把钢筋应力拉到超过其原有的屈服点，然后完全放松，使钢材内部组织结构发生变化，从而提高其强度(图 1-4)。冷拉只能提高钢筋的抗拉屈服强度，却不能提高其抗压屈服强度。故当用冷拉钢筋作受压钢筋时，其屈服强度与母材相同。

冷拔是将钢筋(盘条)用强力拔过比它本身直径还小的硬质合金拔丝模，这是钢筋同时受到纵向拉力和横向压力的作用以提高其强度的一种加工方法。钢筋经多次冷拔后，截面变小而长度增加，强度比原来提高很多，但塑性降低，硬度提高，冷拔后钢丝的抗压强度也得到提高。

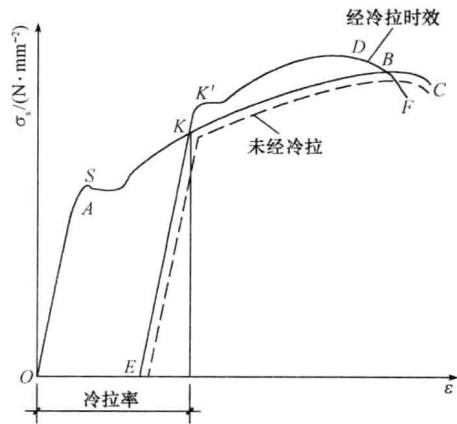


图 1-4 钢筋冷拉后的应力-应变曲线

经过冷拉和冷拔的钢筋(钢丝)加热后，其力学性能将发生变化。钢材硬化的消失和原有性能的恢复，都需要有一定的高温延续时间。因此，在焊接时如果采用适当的焊接方法，严格控制高温持续时间，则在焊接后可有效避免钢筋屈服强度或极限强度值过分降低。

五、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表现在以下几个方面:

(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粘结力。粘结力是保证钢筋和混凝土共同工作的基础,钢筋表面形状对粘结力有着重要影响。为了加强钢筋与混凝土的粘结力,除强度较低的HPB300级钢筋为光面钢筋外,常用的HRB335级、HRB400级和RRB400级钢筋均为表面带肋钢筋。

对有抗震要求的混凝土结构用钢筋,除上述一般要求外,还有以下具体要求:

(1)抗震等级为一、二级的框架结构,其纵向受力钢筋采用普通钢筋时,应满足:

1)钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值(强屈比)不应小于1.25,目的是保证当构件某个部位出现塑性铰后,塑性铰处有足够的转动能力与耗能能力。

2)钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于1.3,目的是满足结构设计中强柱弱梁、强剪弱弯的设计要求。

(2)普通钢筋宜优先采用延性、韧性和可焊性较好的钢筋。纵向受力钢筋宜选用HRB400级和HRB335级热轧钢筋,箍筋宜选用HRB335级、HRB400级热轧钢筋和HPB300级普通钢筋。

对钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构用钢筋,我国现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(以下简称《设计规范》)规定,普通钢筋宜采用HRB335级和HRB400级钢筋,也可采用HPB300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。《设计规范》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 d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立方体抗压强度的标准值,用 $f_{cu,k}$ 表示,单位为 N/mm^2 (MPa)。