



全国普通高等学校土木工程专业
“卓越工程师教育培养计划”精品教材

建筑结构 (上)

Architectural Structure

郝贞洪 郝庆莉 主编

全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材

建筑结构(上)

主 编：郝负洪 郝庆莉

副 主 编：吴安利

参 编：白建文 徐 蓉

主 审：曹玉生

编写委员会：(按姓氏音序排列)

白建文	包建业	曹玉生	刁 钰	高爱军
高 娃	郭佳民	郭莹莹	韩 青	郝庆莉
郝负洪	贺培源	何晓雁	侯永利	李 永
梁恒生	刘炳娟	刘子杰	路 平	时金娜
王卓男	吴安利	徐 蓉	杨晓明	张 磊
张淑艳	张振国			

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构. 上/郝负洪主编. —南京:江苏科学技术出版社,2013.4

全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材

ISBN 978-7-5537-0887-4

I. ①建… II. ①郝… III. ①建筑结构—高等学校—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 031761 号

全国普通高等学校土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”精品教材
建筑结构(上)

主 编 郝负洪 郝庆莉
责任编辑 刘屹立
特约编辑 许闻闻
责任校对 郝慧华
责任监制 刘 钧

出版发行 凤凰出版传媒股份有限公司
江苏科学技术出版社
出版社地址 南京市湖南路1号A楼,邮编:210009
出版社网址 <http://www.pspress.cn>
经 销 凤凰出版传媒股份有限公司
印 刷 天津泰宇印务有限公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 22.25
字 数 528 000
版 次 2013 年 4 月第 1 版
印 次 2013 年 4 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5537-0887-4
定 价 45.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

内 容 提 要

本书共分为 12 章，内容包括：绪论，钢筋和混凝土材料的力学性能，建筑结构荷载与设计方法，受弯构件正截面承载力，受弯构件斜截面承载力，受扭构件截面承载力，受压构件的截面承载力计算，受拉构件的截面承载力计算，混凝土构件的裂缝、变形和耐久性，预应力混凝土构件，钢筋混凝土楼盖设计，钢结构。

本书主要作为应用型土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”本科或土木类其他相关专业的教学用书，也可用于管理人员的参考用书。

前 言

本书是根据教育部颁发的《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》等有关文件的精神，以及土木工程专业本科生教学大纲要求编写的，分上、下两册，上册主要讲述钢筋混凝土结构及钢结构基本理论和基本构件以及钢筋混凝土楼盖设计；下册主要讲述抗震基本知识、砌体结构、高层建筑结构。为使学生和读者了解最新国家标准及内容，本书依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)编写此教材。

为了全面推进素质教育，着力提升学生分析问题、解决问题的实际能力，本书无论是从编排体例、章节逻辑结构、理论阐释、例题解析，还是新技术、新工艺及新标准的应用方面，力求简明扼要、通俗易懂、实用有效。理论与实践、知识与能力、概念与例题的有机结合，是本书的重要特点。

《建筑结构》上册共有11章，主要讲述绪论、材性、设计方法、弯、剪、扭、压、拉、裂缝及变形验算、预应力混凝土构件、钢筋混凝土楼盖设计、钢结构基本原理。

本教材由内蒙古工业大学郝负洪(第3、4、5、8章)、郝庆莉(第1、2、6、7章)任主编以及吴安利(第9、10、11章)任副主编，内蒙古工业大学白建文(第11章)、内蒙古建筑职业技术学校徐蓉(第11章)任参编，曹玉生担任主审。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正，以便今后修订完善。

编 者
2013年3月

目 录

0 绪论	1
0.1 建筑结构的一般概念及各类结构的特点	1
0.2 钢筋混凝土结构在工程中的应用	3
0.3 本课程的主要内容、任务和学习方法	4
1 钢筋和混凝土材料的力学性能	5
1.1 钢筋	5
1.2 混凝土	9
1.3 钢筋与混凝土之间的黏结	18
2 建筑结构的荷载与设计方法	23
2.1 结构的功能要求	23
2.2 设计基准期和设计使用年限	24
2.3 建筑结构的设计方法	25
2.4 结构的作用、作用效应和结构抗力	26
2.5 概率极限状态设计方法	31
2.6 按承载能力极限状态计算	34
2.7 按正常使用极限状态验算	37
3 受弯构件的正截面承载力	40
3.1 概述	40
3.2 受弯构件正截面的受力特性	43
3.3 受弯构件正截面承载力计算原理	47
3.4 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	51
3.5 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	55
3.6 T形截面受弯构件正截面承载力计算	61
4 受弯构件的斜截面承载力	70
4.1 概述	70
4.2 斜截面破坏的主要形态	70
4.3 影响斜截面受剪承载力的主要因素	73
4.4 斜截面受剪承载力计算公式及适用范围	74
4.5 斜截面受剪承载力的计算步骤和方法	77
4.6 保证斜截面受弯承载力的构造措施	80
5 受扭构件的截面承载力	90
5.1 概述	90
5.2 试验研究分析	91

5.3	矩形截面纯扭构件的承载力	92
5.4	矩形截面弯剪扭构件的承载力计算	95
5.5	T形和I形截面弯剪扭构件的承载力	101
5.6	构造要求	102
6	受压构件的截面承载力计算	105
6.1	概述	105
6.2	受压构件的一般构造要求	106
6.3	轴心受压构件正截面受压承载力	108
6.4	偏心受压构件正截面受压破坏形态	116
6.5	矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力基本计算公式	120
6.6	不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算方法	123
6.7	对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算方法	135
6.8	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	137
7	受拉构件的截面承载力计算	142
7.1	轴心受拉构件正截面受拉承载力计算	142
7.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	142
7.3	偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	146
8	混凝土构件的裂缝、变形和耐久性	147
8.1	概述	147
8.2	裂缝宽度的验算	147
8.3	钢筋混凝土受弯构件的挠度验算	154
8.4	混凝土结构的耐久性	158
9	预应力混凝土构件	161
9.1	预应力混凝土的基本概念	161
9.2	施加预应力的方法	162
9.3	预应力混凝土的材料	163
9.4	预应力损失	166
9.5	预应力混凝土轴心受拉构件的计算	171
10	钢筋混凝土楼盖设计	180
10.1	概述	180
10.2	整体现浇式单向板肋梁楼盖	184
10.3	整体现浇式双向板肋梁楼盖	215
10.4	楼梯和雨篷	222
11	钢结构	231
11.1	钢结构的材料	231
11.2	钢结构的连接	241
11.3	轴心受力构件	282
附录		299

附录 1 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)规定的材料力学指标	299
附录 2 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的有关规定	302
附录 3 钢筋的计算截面面积及公称质量	305
附录 4 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表	308
附录 5 双向板弯矩、挠度计算系数	318
附录 6 钢材和连接的设计强度值	323
附录 7 轴心受压构件的稳定系数	326
附录 8 常用型钢规格表	330
附录 9 《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)的有关规定	342
参考文献	346

0 绪 论

内容提要

掌握:混凝土结构的一般概念及特点;钢筋与混凝土共同工作原理。

熟悉:混凝土结构的优缺点。

了解:本课程的主要内容、要求和学习方法。

0.1 建筑结构的一般概念及各类结构的特点

建筑结构是指建筑物中由承重构件(梁、柱、桁架、墙、楼盖和基础)所组成的结构体系,用以承受作用在建筑物上的各种荷载,应具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性,满足使用要求。根据所用材料的不同,常见的建筑结构有钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构等。

0.1.1 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土这两种物理力学性能完全不同的材料组成共同受力的结构。这种结构能很好地发挥钢筋和混凝土这两种材料不同的力学性能,形成受力性能良好的结构构件。

钢筋和混凝土这两种物理力学性能不同的材料之所以能有效地结合在一起共同工作,主要原因是:①混凝土硬化后钢筋与混凝土之间产生了良好的黏结力,使二者可靠地结合在一起,从而保证在荷载作用下,钢筋与相邻的混凝土能够共同变形、共同工作;②钢筋与混凝土这两种材料的温度线胀系数较接近(钢筋为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$),当温度变化时,二者之间不会因产生较大的相对变形而破坏它们之间的黏结;③包裹在钢筋外面的混凝土保护层只要有足够的厚度,就能够有效地防止钢筋锈蚀,保证结构的耐久性。

钢筋混凝土结构在土木工程中被广泛应用,这种结构除了能够很好地利用钢筋和混凝土这两种材料各自的性能外,还具有下列优点。

(1)取材容易。在钢筋混凝土结构中,砂、石材料所占比例较大,一般情况下可以就地取材,而且还可以利用工业废料(如粉煤灰、工业废渣等),起到保护环境的作用。

(2)耐久、耐火性好。钢筋受到混凝土的保护,不易锈蚀,因而钢筋混凝土结构具有很好的耐久性,不像钢结构或木结构那样要进行保养维护。遭遇火灾时,不会像木结构那样轻易被燃烧,也不会像钢结构那样很容易软化而失去承载力。

(3)整体性好、刚度大。现浇式或装配整体式钢筋混凝土结构的整体性好、刚度大,这对抗震、防爆等都十分有利。

(4)可模性好。钢筋混凝土可以根据需要浇筑成各种形状和尺寸的结构,其可模性远比其他结构优越。

钢筋混凝土结构具有以下缺点。

(1)自重大。钢筋混凝土构件的截面尺寸相对较大,结构的自重往往也很大,因此不利于修建大跨度结构和高层建筑,对结构的抗震也很不利。

(2)抗裂性能差。混凝土的抗拉强度非常低,因此普通钢筋混凝土结构经常带裂缝工作,对于要求抗裂或严格要求限制裂缝宽度的结构,就需要采取专门的结构或工程构造措施。

(3)施工工期长、工艺复杂,且受环境、气候影响较大,隔热、隔声性能相对较差,并且不易修补与加固。

这些缺点使得钢筋混凝土结构的应用范围受到一些限制,但随着科学技术的发展,上述缺点正在逐步克服和改善之中。如采用轻质高强混凝土,可大大降低结构的自重;采用预应力混凝土,可减少混凝土开裂;采用粘钢或植筋技术等,可解决加固的问题;采用装配式结构工厂化生产的方式,可克服工期长、受环境气候影响大等问题。

钢筋混凝土结构可按不同的分类方法进行分类。

(1)按受力状态和构造外形分为杆件系统和非杆件系统。杆件系统是指受弯、拉、压、扭等作用的基本杆件(如梁、板、柱等);非杆件系统是指大体积结构及空间薄壁结构等。

(2)按制作方式可分为整体(现浇)式、装配式、整体装配式三种。整体(现浇)式结构刚度大、整体性好,但施工工期长、模板工程多;装配式结构可实现工厂化生产,施工速度快,但整体性相对较差,且构件接头复杂;整体装配式兼有整体式和装配式这两种结构的优点。

(3)按有无预应力分为普通钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。预应力混凝土结构是指在结构受荷载作用之前,人为地制造一种压应力状态,使之能够部分或全部抵消由于荷载作用所产生的拉应力,提高结构的抗裂性能。

0.1.2 砌体结构

砌体结构是指用块材(砖、石或砌块)和砂浆砌筑而成的结构。按所用块材的不同,砌体分为砖砌体、石砌体和砌块砌体三类,砌体结构历史悠久,目前应用仍较为广泛,且仍在不断发展和完善中。砌体结构具有下列优点。

(1)材料来源广泛,便于就地取材,石材、黏土、砂等为天然材料,分布极为广泛,而且价格低廉,可节约钢材。

(2)具有良好的耐火性和保温隔热性能。

(3)使用年限长,有很好的耐久性,施工简单,无需模板及其他特殊设备,施工受季节影响小。

砌体结构也具有以下缺点。

(1)砌体的抗弯、抗拉、抗剪强度都相对较低,所以砌体的抗震和抗裂性能都较差。

(2)砌体结构的截面尺寸相对较大、耗用材料多,自重也大。

(3)目前砌体结构的施工仍为手工砌筑,劳动强度大,生产效率相对较低,而且质量不易保证。

(4)烧制黏土砖需占用大量的农田,烧制过程中还要耗费大量的能源,我国人口众多,

相对耕地面积较少,这一矛盾尤为突出。

为克服上述缺点,相关行业和部门正在大力研究和开发各种新技术、新材料,如发展各种轻质、高强的砌块和砌筑砂浆,以减轻砌体重量,提高强度;利用工业废料,如粉煤灰、矿渣等制作砌块,减少和克服与农业争地的矛盾,同时也兼顾了环保;采用配筋砌体、设置钢筋混凝土构造柱以及施加预应力等措施,来克服砌体结构抗震性能差等问题。

0.1.3 钢结构

钢结构是以钢板和型钢等钢材通过焊接、铆接或螺栓连接等方法构筑成的工程结构。钢结构与钢筋混凝土结构和砌体结构相比,具有下列优点。

(1)自重轻。虽然钢材的重度较大,由于其强度高,制作构件所需的钢材用量相对就少。因此运输、吊装施工方便,同时因减轻了竖向荷载,进而降低了基础部分的造价。

(2)强度大、韧性和塑性好,工作可靠。钢材的自身强度高,质量稳定,材质均匀,接近各向同性,理论计算的结果与实际材料的工作状况比较一致,而且其韧性和塑性较好,有很好的抗震、抗冲击能力,所以钢结构工作可靠,常用来制作大跨度、重承载的结构及超高层建筑结构。

(3)制作、施工简便,工业化程度高。钢结构的制作比较方便,既可以制作后整体吊装,也可以作成散件运输到现场进行拼装。由于钢结构具有易于连接和拼装的特性,使得在加固、维修、部件更换、拆迁改造等方面变得方便。

(4)钢结构密闭性能好,尤其适于制作要求密闭的板壳结构、容器管道、闸门等。

钢结构也具有以下缺点。

(1)耐腐蚀性差,在有腐蚀性介质环境中的使用受到限制,对已建成的结构,还需要定期做维护、涂装、镀锌等防锈、防腐处理,后期费用较多。

(2)耐火性能较差,温度在 200℃ 以下时,其强度和弹性模量变化不大;200℃ 以上时,其弹性模量变化较大,强度降低、变形增大;到 600℃ 时,钢材即进入塑性状态而丧失承载力。所以,接近高温的钢结构需要采取隔热防护措施,另外钢结构在低温条件下,还可能发生脆性断裂。

建筑结构中,除了上述几种常用结构外,还有木结构、悬索结构和索膜结构等新型结构。由于木材的资源问题,在工程中已尽量不采用木结构,其他正在涌现和发展的新型结构不在本书中讲述,请参阅有关资料。

0.2 钢筋混凝土结构在工程中的应用

我国是世界上使用混凝土结构最多的国家,每年混凝土的用量已超过 5 亿 m^3 。

在房屋建筑工程中,住宅、商场、办公楼、厂房等多层建筑,广泛地采用混凝土框架或墙体为砌体、屋(楼)盖为混凝土的结构形式;高层建筑大都采用钢筋混凝土结构。在国内成功建造的上海金茂大厦(高 460 m)、广州中信广场(高 391 m)、香港中环广场(高 374 m)、国外如美国的威克·德赖夫大楼(高 296 m)、德国的密思垛姆大厦(高 256 m)等著名的高层建筑,也都采用了混凝土结构或钢-混凝土组合结构。除高层建筑之外,在大跨度建筑方面,由于广泛采用预应力技术和拱、壳、V 形折板等形式,已使建筑物的跨度达百

米以上。

在交通工程中,大部分的中、小型桥梁都采用钢筋混凝土建造,尤其是拱形结构的应用,使得大跨度桥梁得以实现。如我国的重庆万县长江大桥,采用劲性骨架混凝土箱形截面,净跨达 420 m;克罗地亚的克尔克 1 号桥为跨度 390 m 的敞肩拱桥。一些大跨度桥梁常采用钢筋混凝土与悬索或斜拉结构相结合的形式,悬索桥中如我国的润扬长江大桥,日本的明石海峡大桥;斜拉桥如我国的杨浦大桥,日本的多多罗桥等,都是极具代表性的中外名桥。

在水利工程中,钢筋混凝土结构也扮演着极为重要的角色。世界上最大的水利工程——长江三峡水利枢纽中高达 185 m 的拦江大坝,即为混凝土重力坝,坝体混凝土用量达 1527 万 m^3 ;此外,在仓储构筑物、管道、烟囱及电视塔等特殊构筑物中也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土,如上海电视塔和国家大剧院等。

0.3 本课程的主要内容、任务和学习方法

本课程属于学科基础课,主要介绍的是建筑结构中的三大结构——钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的基本知识,内容包括:钢筋混凝土的材料、结构计算原则、钢筋混凝土基本构件(受弯、受剪、受扭、受压和受拉构件)承载力的计算、钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算、预应力混凝土结构的基本知识、钢筋混凝土现浇楼盖设计、钢结构的材料和连接、钢柱和钢梁等,本课程的教学目的是使学生通过课程学习,能熟知与之相关的基本概念,掌握建筑结构的基本知识和理论,学会结构设计计算的方法,了解现行规范对结构构件计算及构造的有关规定,熟悉结构计算的基本方法步骤,掌握建筑结构的基本构件及楼盖等的设计计算,能对结构构件进行截面设计、承载力复核,包括材料选择、结构方案、构件选型、配筋计算和构造等,进而能运用所获得的基本理论知识解决一般工程中的结构问题。本课程还设有课程设计(钢筋混凝土现浇楼盖设计),以巩固和深化课程教学的内容,培养动手能力和解决工程实际问题的能力。

本课程的特点是内容多、符号多、公式多、构造规定也多,在学习中要注意理解概念,忌死记硬背、生搬硬套,要突出重点难点的学习,特别要做好复习总结工作。在课程中还运用了许多力学、建筑材料等课程中的相关知识和内容,需要注意的是,本门课程研究的对象不再是各向同性的弹性材料,而且许多计算公式是在大量的试验与理论分析相结合的基础上建立起来的,运用时还须考虑公式的适用条件和范围。另一方面,由于结构的设计计算受到方案、材料、截面尺寸以及施工等诸多因素的影响,其结果不是唯一的。这也是与力学、数学等课程的不同之处。此外,本课程的知识还需要课后做练习来帮助巩固和加深理解,教材的每章最后提供了一定数量的习题,可供选用。习题应在复习了教学内容、理解例题并掌握解题思路的基础上再动手做,切忌边看例题边做,照猫画虎,在本课程的学习过程中,还应注意结合相关规范的学习,工程规范是约束工程技术行为的法律依据,规范的制订也不是一成不变的,无论是计算方法,还是构造要求等,都不可能尽善尽美。随着科学技术的发展和研究的深入,新的结构形式、新材料及新的生产工艺和新技术的出现,规范也必然需要不断进行修订、补充,因此就应该与时俱进,培养跟踪规范的习惯。

1 钢筋和混凝土材料的力学性能

内容提要

掌握:钢筋的强度和变形,级别、建筑用钢筋种类和标记符号,混凝土的各种强度;混凝土变形曲线与收缩徐变;钢筋的锚固与搭接。

熟悉:混凝土结构对钢筋性能的要求。

了解:钢筋与混凝土间的黏结。

1.1 钢筋

1.1.1 建筑用钢筋种类

1. 钢筋的主要成分

钢筋的主要化学成分为铁,除此以外,还含有少量的其他化学元素,如碳、磷、硫等。随着钢筋含碳量的增加,钢筋的强度有所提高,但塑性和可焊性相应下降。含碳量不大于 0.25% 时,称为低碳钢;含碳量在 0.25%~0.6% 之间时,称为中碳钢;含碳量在 0.6%~1.4% 之间时,称为高碳钢。磷、硫是钢筋里的有害元素,磷、硫含量多的钢筋,其塑性差,容易脆断,可焊性差。在普通碳素钢中适量地加入少量合金元素如锰、硅、钒、钛等,可制成低合金钢。合金元素的加入,可提高钢筋的强度,并使钢筋保持一定的塑性。

2. 钢筋的品种

我国用于混凝土结构的钢筋主要是热轧钢筋、中高强钢丝和钢绞线以及冷加工钢筋。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)规定:用于钢筋混凝土结构中的钢筋和预应力混凝土结构中的非预应力钢筋,可采用热轧钢筋;用于预应力混凝土结构中的预应力钢筋,可采用钢绞线、预应力钢丝和预应力螺纹钢筋。

1) 热轧钢筋

热轧钢筋是由低碳钢、普通低合金钢在高温下轧制而成的。根据强度的高低,热轧钢筋又分为 HPB300、HRB335、HRBF335、HRB400、HRBF400、RRB400、HRB500、HRBF500 八个强度等级。HPB300 级钢筋表面光滑,故又称光面钢筋,其余为普通低合金钢,钢筋表面有肋纹,故又称带肋钢筋,其中,RRB400 级钢筋为余热处理钢筋,是将屈服强度相当于 HRB335 级的钢筋轧制后穿水冷却,然后利用芯部的余热自行回火处理而成的钢筋;HRBF 系列为采用控温轧制工艺生产的细晶料带肋钢筋。

2) 中、高强钢丝和钢绞线

中、高强钢丝直径为 5~9 mm,捻制成钢绞线后也不超过 21.6 mm。钢丝外形有光面、月牙肋及螺旋肋几种,钢绞线为绳状,由 2 股、3 股或 7 股钢丝捻制而成,均可盘成卷状。

3) 冷加工钢筋

冷加工钢筋是指在常温下采用某种工艺对热轧钢筋进行加工后得到的钢筋。常用的加工工艺有冷拉、冷拔、冷轧和冷轧扭四种。其目的都是为了提高钢筋的强度,以节约钢材,但经冷加工后的钢筋在强度提高的同时,延伸率显著降低,除冷拉钢筋仍具有明显的屈服点外,其余冷加工钢筋均无明显屈服点和屈服台阶。在非预应力结构构件中是否采用冷加工钢筋,应进行性价比比较。

各类钢筋的外形如图 1-1 所示,常用热轧钢筋、预应力钢筋的种类、符号和直径范围见附录 1。

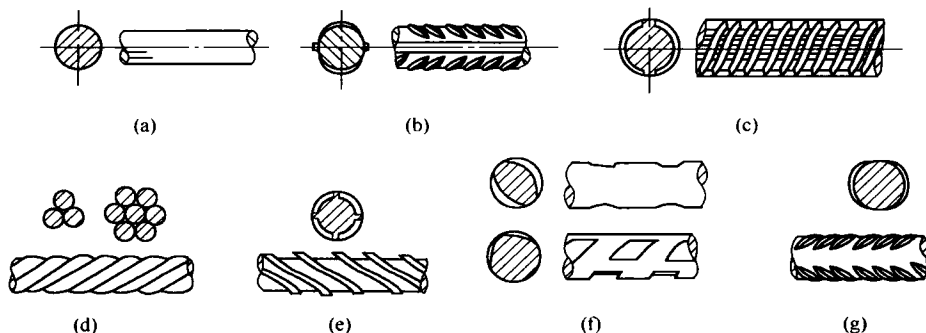


图 1-1 各种类钢筋

(a) 光面钢筋; (b)、(c) 带肋钢筋; (d) 网纹线; (e)、(f) 消除应力钢丝; (g) 热处理钢筋

1.1.2 钢筋的强度和变形性能

1. 钢筋的应力-应变曲线

通过钢筋的拉伸试验,可以得到钢筋的应力-应变曲线;钢筋的应力-应变关系能反映钢筋强度与变形。根据钢筋的应力-应变曲线的不同特征,把钢筋分为有明显屈服点钢筋和无明显屈服点钢筋。

1) 有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线

有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线如图 1-2 所示。图中, oa 为斜直线,表明应力与应变之比为常数, a 点的应力称为比例极限;过了 a 点以后,应力和应变虽不再成比例关系,但仍然处在弹性阶段,即应变在卸荷后能完全消失, b 点为弹性极限;过了 b 点后,钢筋开始出现塑性变形;到达 c 点,钢筋开始屈服,即应力不增加,但应变继续发展,出现近似水平段 ce , c 点对应的应力称为屈服强度上限, d 点对应的应力称为屈服强度下限, ce 段称为屈服台阶; e 点以后,随着应力的增加,应变又继续增加,但应变的增量明显大于应力的增量,到达 f 点时,应力达到最大值,称 f 点对应的应力为极限抗拉强度, ef 段称为强化阶段;过 f 点以后,在试件的最薄弱截面出现颈缩现象,应变迅速增大,应力随之降低,直至 g 点试件被拉断。

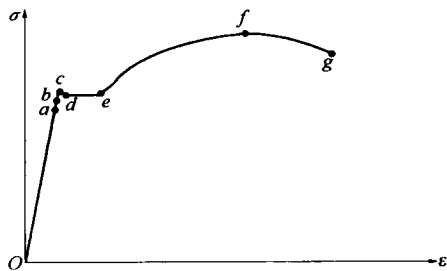


图 1-2 有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线

对于有明显屈服点的钢筋,取屈服强度下限作为钢筋强度的设计依据。因为钢筋屈服后,塑性变形很大,且塑性变形在卸荷后无法恢复,导致钢筋混凝土构件产生很大的变形和过宽的裂缝;另外,屈服强度上限通常与加载速度、试件断面形状、表面光洁度等因素有关,数值变化较大,不宜作为强度的设计依据。有明显屈服点的钢筋又称为软钢。

2) 没有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线

没有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线如图 1-3 所示。图中, a 点为比例极限,其应力约为极限抗拉强度的 65%,过 a 点后,应力应变不再成比例关系,有一定的塑性变形,直至试件被拉断,应力-应变曲线上没有明显的屈服台阶。

对于无明显屈服点的钢筋,取残余应变为 0.2% 时的应力作为钢筋强度的设计依据,即图 1-3 中的 $\sigma_{0.2}$,相应地称之为条件屈服强度。对于预应力钢丝、钢绞线和热处理钢筋,取 $\sigma_{0.2} = 0.85\sigma_b$ (σ_b 为钢筋的极限抗拉强度)。

无明显屈服点的钢筋强度较高,但变形性能较差。没有明显屈服点的钢筋又称为硬钢。

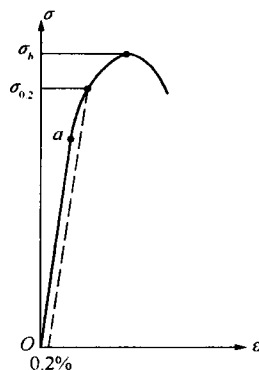


图 1-3 无明显屈服点钢筋的应力-应变曲线

2. 钢筋的变形性能

钢筋的变形分弹性变形和塑性变形,相应的应变为弹性应变和残余应变。弹性应变是指卸荷后能完全恢复的应变,残余应变是指卸荷后不能恢复的应变。钢筋从受力开始至弹性极限阶段,只有弹性应变,过了弹性极限之后,钢筋的应变就包含了弹性应变和残余应变两部分,残余应变大,表明钢筋在拉断前有明显的预兆,有较好的塑性性能。

反映钢筋塑性性能的指标是断后伸长率和冷弯性能。

1) 伸长率

钢筋的伸长率按下式计算:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (1-1)$$

式中: δ —— 钢筋的伸长率;

l_0 —— 试件拉伸前的量测标距长度;

l —— 试件拉断时的量测标距长度。

钢筋断后伸长率越大,塑性性能越好。

试验时,量测标距可采用 $5d$ (d 为试件直径)、 $10d$ 或 100 mm ,相应的伸长率分别用 δ_5 、 δ_{10} 和 δ_{100} 表示,量测标距越大,所对应的伸长率越小。因为按式(1-1)计算的伸长率,只反映钢筋残余应变的大小,如图 1-4 所示,而残余应变主要集中在颈缩区段内,颈缩区段的长度又与量测标距的大小无关,因此,量测标距越大,所得的平均残余应变就越小。

显然,按式(1-1)确定的伸长率只是反映了钢筋残余应变的大小,不能全面、正确地反映钢筋的变形能力。为此,近年开始采用最大拉力作用下的总伸长率(简称均匀伸长率)来反映钢筋的变形能力。

2) 冷弯性能

伸长率不能反映钢筋脆化的倾向。为了使钢筋在使用时不会脆断,加工时不致断裂,

还要求钢筋具有一定的冷弯性能。钢筋的冷弯性能通过冷弯试验进行检验。如图 1-5 所示,将钢筋围绕某个规定直径 D (D 规定为 $1d, 2d, 3d$ 等)的辊轴弯曲一定的角度 α (α 为 90° 或 180°)。弯曲后钢筋表面不出现裂纹、起皮或断裂现象,即符合冷弯性能要求;冷弯试验是检验钢筋韧性和材质均匀性的有效手段。

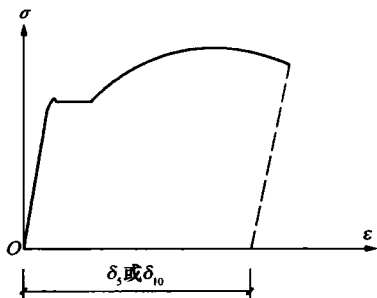


图 1-4 按式(1-1)计算的伸长率

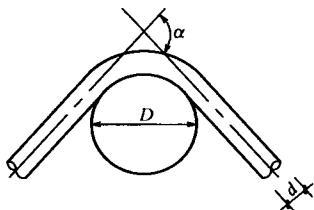


图 1-5 钢筋的冷弯试验

1.1.3 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求及钢筋的选用原则

1. 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求

(1)钢筋的强度。钢筋强度是指钢筋的屈服强度及极限强度;钢筋的屈服强度是设计计算时的主要依据(无明显流幅的钢筋,取它的条件屈服点)。采用高强度钢筋可以节约钢材,取得较好的经济效益。

(2)钢筋的塑性。是要求钢筋在断裂前能有适当的变形,使得钢筋混凝土构件能表现出良好的延性性能,而构件的延性性能主要取决于钢筋的塑性性能和配筋率,只要配筋率恰当,钢筋的塑性好,则钢筋混凝土构件的延性性能就好,破坏前有明显的预兆。另一方面,钢筋的塑性性能好,钢筋的加工成型也较容易。

(3)钢筋的可焊性。焊接是钢筋接长和钢筋之间连接的一种最常用的方法之一,因此,要求钢筋具备良好的焊接性能,在焊接后不产生裂纹及过大的变形,保证焊接接头性能良好。我国生产的热轧钢筋可焊,而高强钢丝、钢绞线不可焊。

(4)钢筋与混凝土的黏结力。钢筋与混凝土有良好的黏结性能,才能保证钢筋和混凝土能够共同工作。

2. 钢筋的选用原则

针对以上要求,我国《混凝土结构设计规范》给出了以下钢筋选用原则。

(1)钢筋混凝土结构中的钢筋和预应力混凝土结构中的非预应力钢筋宜优先采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋,以节省钢筋用量,改善我国建筑结构的质量。除此以外,也可采用 HPB300、HRB335、HRBF335、RRB400 级钢筋。

(2)预应力钢筋宜采用预应力钢绞线、钢丝和预应力螺纹钢筋。

1.1.4 配筋形式

在钢筋混凝土构件中,钢筋为单根配筋,钢筋与钢筋之间要保持一定的距离,以保证钢筋与混凝土的黏结锚固效果和混凝土的密实性。但是,在一些截面尺寸较小而配筋率

较大的结构构件中,采用单根配筋的配筋方式时,不但会使配筋区域扩大,截面的有效高度减小,承载能力降低,而且会给施工造成困难。为此,《混凝土结构设计规范》经试验研究并借鉴国内、外成熟做法,首次允许在建筑工程中采用并筋(钢筋束)的配筋形式。该规范还规定:“采用并筋的配筋形式时,直径 28 mm 及以下的钢筋并筋数量不宜超过 3 根;直径 32 mm 的钢筋并筋数量宜为 2 根;直径 36 mm 及以上的钢筋不宜采用并筋。”

并筋可视为一根等效钢筋,等直径 d 、面积为 A 的两根钢筋并筋(简称二并筋)的等效直径为 $1.41d$,等效面积为 $2A$;三根钢筋并筋(简称三并筋)的等效直径为 $1.73d$,等效面积为 $3A$ 。

一般二并筋可在纵或横向并列,而三并筋宜作品字形布置(如图 1-6 所示)。

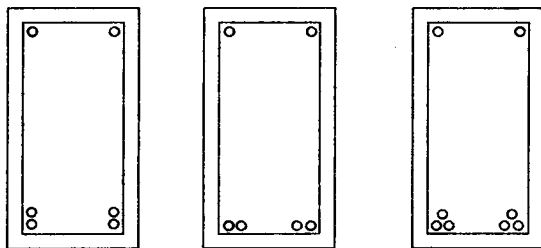


图 1-6 纵向受拉钢筋并筋示意图

1.2 混凝土

1.2.1 混凝土的强度

混凝土是由水泥、石子、砂、水及必要的添加剂(或掺和料)按一定的配比组成的人造石材。根据混凝土受力性质的不同,其强度分为受压强度和受拉强度;根据混凝土的受力状态不同,其强度又分为单向应力作用下强度和复合应力作用下强度。

在实际工程中,混凝土一般处于复合应力状态,但目前对混凝土在复合应力状态下强度的研究,尚未能简便地应用于理论计算,因此,在大部分实用设计中,还普遍采用混凝土在单向应力状态下的强度和变形,即研究复合应力作用下混凝土强度必须以单向应力作用下的强度为基础。

1) 立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$

以边长为 150 mm 的立方体在 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度和相对湿度在 90% 以上的潮湿空气中养护 28 d 或设计规定龄期,依照标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度(以 MPa 为单位)即为混凝土的立方体抗压强度,用符号 $f_{cu,k}$ 表示。需要说明的是,由于近年来混凝土中大量应用掺和料(粉煤灰等),使得混凝土强度增长可能滞后,标养强度的试验龄期可根据工程实际情况作适当调整(如 60 d、90 d、180 d)。

在混凝土结构中,混凝土主要用作受压构件,因此,混凝土的立方体抗压强度是混凝土力学性能中最主要、最基本的指标。

根据混凝土立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ 的大小,《混凝土结构设计规范》将混凝土划分为 14