



普通高等教育“十二五”规划教材
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

混凝土结构设计原理

高建岭 张燕坤 主编
宋小软 何世钦



科学出版社

014013415

TU370.4-43
43

普通高等教育“十二五”规划教材
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

混凝土结构设计原理

高建岭 张燕坤 主编
宋小软 何世钦



科学出版社
北京



北航

C1700322

TU370.4-43
43

213810312

内 容 简 介

本书依据我国现行的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010),结合应用型高等院校人才培养的特点,根据全国高校土木工程专业指导委员会的教学大纲编写完成。本书分为11章,主要内容包括:绪论、钢筋和混凝土材料的基本性能、混凝土结构设计方法、受弯构件的正截面承载力计算、受弯构件的斜截面承载力计算、现浇单向板肋梁楼盖的设计、受压构件截面承载力计算、受拉构件截面承载力计算、受扭构件截面承载力计算、正常使用极限状态验算及耐久性、预应力混凝土构件设计。

本书可作为高等院校土木工程专业的专业基础课程教材,也可供从事混凝土结构设计、施工的技术人员自学、参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理/高建岭等主编. —北京:科学出版社,2013
(普通高等教育“十二五”规划教材·中国科学院教材建设专家委员会
“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-03-038554-3

I. ①混… II. ①高… III. ①混凝土结构-结构设计-高等学校-教材
IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 212733 号

责任编辑:祝元志 任加林 / 责任校对:马英菊
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

*

2013年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年9月第一次印刷 印张:18 1/2

字数:422 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<骏杰>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137154

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

“混凝土结构设计原理”是土木工程专业重要的专业基础课程之一,是一门实践性很强,与现行的规范、规程等有关的课程。通过本课程的学习,使学生能够掌握混凝土结构学科的基本理论和基本知识。

本书根据全国高校土木工程专业指导委员会的教学大纲要求,结合应用型高等院校人才培养的特点以及编者多年来的教学实践经验,依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)编写而成。

本书具有以下的特点:

1) 教材编写者为北方工业大学建筑工程学院长期从事本门课程教学的一线教师,具有丰富的教学和实践经验。

2) 教学内容以“必需、实用”为度,在编写中从应用型人才培养的总目标出发,教学内容力求体现应用型本科教育的特点,尽量做到概念清晰、体系完整、突出应用。

3) 本书有较多的例题,每章均附有思考题与习题,便于读者对教学内容的理解、复习及检查对基本要求的掌握程度。

全书内容共分为 11 章,包括绪论、钢筋和混凝土材料的基本性能、混凝土结构设计方法、受弯构件的正截面承载力计算、受弯构件的斜截面承载力计算、现浇单向板肋梁楼盖的设计、受压构件截面承载力计算、受拉构件截面承载力计算、受扭构件截面承载力计算、正常使用极限状态验算及耐久性和预应力混凝土构件设计。希望通过本书的学习,使读者掌握混凝土结构构件的设计原理、计算方法以及构造措施。

参加本书编写工作的有:高建岭(第 1 章)、张燕坤(第 7、8、9 章)、宋小软(第 2、4、5、6 章)、何世钦(第 3、10、11 章)。全书由高建岭最后统稿并定稿。

限于编者水平,本书中的疏漏和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 7 月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 混凝土结构的定义	1
1.2 钢筋混凝土结构的发展概况	2
1.3 本书的内容及学习方法	5
思考题	6
第2章 钢筋和混凝土材料的基本性能	7
2.1 钢筋的基本性能	7
2.2 混凝土的基本性能	13
2.3 钢筋与混凝土的黏结	26
思考题	30
第3章 混凝土结构设计方法	31
3.1 结构功能要求与极限状态	31
3.2 概率极限状态设计方法	34
3.3 荷载和材料强度取值	37
3.4 结构极限状态设计表达式	39
思考题	44
习题	44
第4章 受弯构件的正截面承载力计算	45
4.1 受弯构件的一般概念	45
4.2 受弯构件的基本构造要求	45
4.3 受弯构件的正截面受力性能	49
4.4 正截面受弯承载力计算原理	53
4.5 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	58
4.6 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	64
4.7 T形截面受弯构件正截面承载力计算	70
思考题	76
习题	77
第5章 受弯构件的斜截面承载力计算	78
5.1 概述	78
5.2 受弯构件斜裂缝的形成及剪跨比	79
5.3 受弯构件的斜截面受剪破坏形态	81
5.4 受弯构件斜截面受剪承载力计算公式	83

5.5 受弯构件斜截面受剪承载力的计算方法	89
5.6 受弯构件纵向钢筋的构造要求	94
思考题	101
习题	102
第6章 现浇单向板肋梁楼盖的设计	104
6.1 概述	104
6.2 单向板肋梁楼盖的结构布置	106
6.3 梁、板计算简图的确定	107
6.4 连续梁、板按弹性理论计算的结构内力	109
6.5 受弯构件塑性铰和结构内力重分布	113
6.6 连续梁、板按塑性理论计算的结构内力	116
6.7 单向板肋梁楼盖的截面设计及构造	119
6.8 单向板肋梁楼盖设计实例	125
思考题	136
习题	137
第7章 受压构件截面承载力计算	138
7.1 受压构件的构造要求	139
7.2 轴心受压构件正截面承载力计算	141
7.3 偏心受压构件的破坏形态	148
7.4 大、小偏心受压构件基本计算公式	155
7.5 非对称配筋矩形截面偏心受压构件的配筋设计	158
7.6 非对称配筋矩形截面偏心受压构件的承载力复核	164
7.7 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力的计算	167
7.8 对称配筋 I 形截面偏心受压构件正截面承载力的计算	169
7.9 双向偏心受压构件正截面承载力的计算	173
7.10 正截面承载力 N_u-M_u 曲线及应用	174
7.11 偏心受压构件斜截面承载力的计算	176
思考题	178
习题	178
第8章 受拉构件截面承载力计算	180
8.1 轴心受拉构件破坏过程及正截面承载力计算	180
8.2 偏心受拉构件正截面承载力计算	181
8.3 偏心受拉构件斜截面承载力计算	184
思考题	185
习题	185
第9章 受扭构件截面承载力计算	186
9.1 纯扭构件开裂扭矩计算	187
9.2 纯扭构件受扭承载力计算	189

9.3 剪扭构件受扭及受剪承载力计算	195
9.4 弯扭构件受扭承载力计算	198
9.5 弯-剪-扭构件承载力计算	198
9.6 轴力-弯-剪-扭构件承载力计算	199
9.7 受扭构件的构造要求	199
思考题	204
习题	204
第 10 章 正常使用极限状态验算及耐久性	206
10.1 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算	206
10.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	215
10.3 钢筋混凝土结构的耐久性	223
思考题	228
习题	229
第 11 章 预应力混凝土构件设计	230
11.1 概述	230
11.2 张拉控制应力和预应力损失	236
11.3 建立预应力的端部条件	245
11.4 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	248
11.5 预应力混凝土轴心受拉构件的计算与验算	254
11.6 预应力混凝土构件的构造要求	259
思考题	261
习题	262
附录 1 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 符号表	263
附录 2 钢筋及混凝土材料力学性能	265
附录 3 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 基本设计规定	269
附录 4 钢筋计算截面面积及公称质量	272
附录 5 计算用表	274
主要参考文献	285

第 1 章 绪 论

1.1 混凝土结构的定义

建筑物中,用来承受各种荷载或者作用,起骨架作用的空间受力体系称为建筑结构。建筑结构由若干基本构件,如梁、板、柱、剪力墙、基础等组成。

根据建筑结构所用的材料,可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构和组合结构等。

混凝土结构分为钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和不配筋的素混凝土结构。混凝土中配置普通受力钢筋,与混凝土共同工作的为钢筋混凝土结构。为了避免混凝土结构构件在拉应力下过早开裂,在荷载作用之前对结构构件施加压力、使截面产生预压应力,以全部或部分抵消由荷载引起的拉应力的混凝土结构为预应力混凝土结构。在混凝土中不配置钢筋的为素混凝土结构。

在工业与民用建筑中钢筋混凝土结构与预应力混凝土结构应用较多。本书主要介绍这两种结构构件的设计方法。

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种性能不同的材料组成。混凝土具有较高的抗压强度,但抗拉强度很低,为抗压强度的 $1/12 \sim 1/8$,而钢筋则具有较高的抗拉强度。钢筋混凝土结构就是利用两种材料各自的特点,采用钢筋承担拉力,混凝土承担压力,使两种材料能充分发挥各自优点,组成性能良好的结构材料。

图 1.1-1 分别为一截面尺寸、跨度和混凝土强度等级均相同的素混凝土梁和钢筋混凝土梁。在图示竖向荷载作用下,梁截面中和轴以上受压,以下受拉。当荷载较小、梁下部的拉应力未达到混凝土的抗拉强度时,两根梁都不会开裂。随着荷载增大,梁下部拉应力达到混凝土抗拉强度时,下部则会出现裂缝。对于素混凝土梁,底部一旦开裂,裂缝两侧混凝土退出工作,裂缝迅速向上发展,从而使梁发生断裂,梁由开裂至破坏非常迅速,破坏时的极限荷载与开裂荷载较为接近。对于钢筋混凝土梁,下部出现裂缝后,裂缝截面的混凝土退出工作,原混凝土承担的拉力转由钢筋承担,此时仍可继续增大荷载,直到受拉钢筋达到屈服、受压边缘的混凝土被压碎。破坏时钢筋混凝土梁的极限荷载要远高于开裂时的荷载,而且它的变形能力较好,能够在破坏前给人明显的预告。

图 1.1-2 为钢筋混凝土梁与素混凝土梁的荷载-变形曲线。

由于钢筋的抗压强度也较高,所以对于受压构件,如混凝土柱,通常也配置钢筋,协助混凝土承受压力,以减小柱截面尺寸、提高柱子的承载能力,如图 1.1-3 所示。

钢筋与混凝土这两种力学性能不相同的材料,能够很好地结合在一起共同工作,主要有以下原因:

1) 混凝土硬化后与钢筋之间存在着良好的黏结力,使两者能够成为一个整体,在外

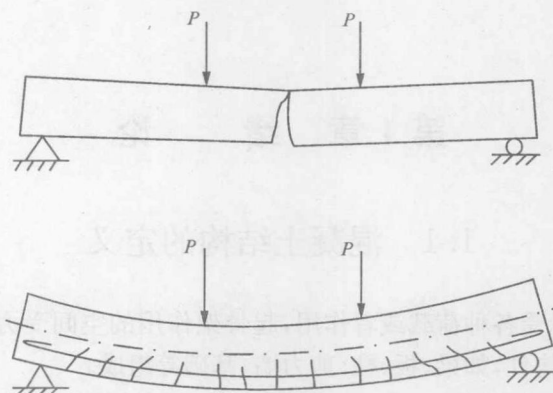


图 1.1-1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁受力示意图

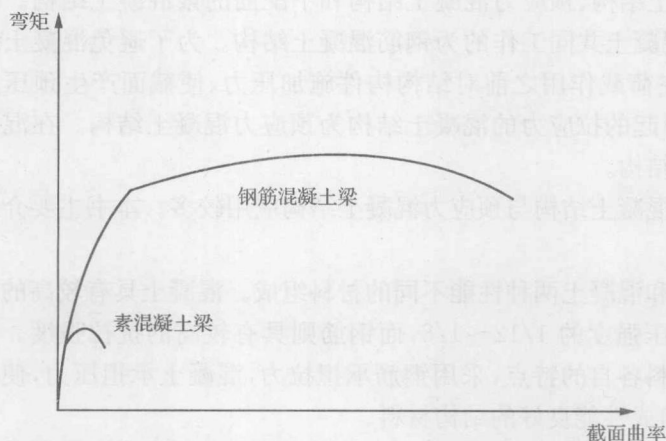


图 1.1-2 素混凝土梁与钢筋混凝土梁荷载-变形曲线

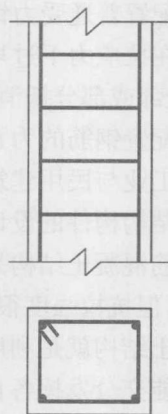


图 1.1-3 钢筋混凝土柱

荷载的作用下,两者能共同变形,共同受力。

2) 钢筋和混凝土具有相近的线膨胀系数,钢筋的线膨胀系数约为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土的线膨胀系数为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。因此当温度变化时,两者之间不致产生较大的相对变形而破坏两者之间的黏结。

1.2 钢筋混凝土结构的发展概况

1.2.1 钢筋混凝土结构的特点

1. 主要优点

(1) 取材方便

混凝土中主要材料砂、石等,一般可以就地取材。另外,还可以采用工业废料(如矿

渣、粉煤灰等)制成粗、细骨料替代部分砂、石,或作为添加剂用于混凝土结构中。

(2) 承载力高

与砌体结构、木结构相比,钢筋混凝土结构具有较高的承载力。

(3) 造价较低

与纯钢结构相比,钢筋混凝土结构充分利用了混凝土材料抗压性能好的特点,取代了部分钢材,从而降低了工程造价。

(4) 结构整体性好、刚度大

现浇混凝土结构各构件之间连接为一个整体,具有良好的抗震性能,且具有较大的刚度,在荷载作用下的变形小。

(5) 耐久性好

混凝土的密实性好,包裹在钢筋的外面,使钢筋不易锈蚀,因此,钢筋混凝土结构具有良好的耐久性。

(6) 耐火性好

混凝土材料的导热系数在 $1.2 \sim 2.0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$,远低于钢材的导热系数 $[45 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ 左右],因此,可保证火灾时混凝土中的钢筋不易过早因高温软化而使结构破坏。

(7) 具有良好的可模性

钢筋混凝土可以根据设计的需要,浇筑成各种不同形状和尺寸的结构,有利于建筑造型。

2. 主要缺点

1) 自重大。素混凝土容重约为 $22 \sim 24 \text{ kN}/\text{m}^3$,钢筋混凝土的容重为 $24 \sim 26 \text{ kN}/\text{m}^3$,不利于建造大跨度结构、高层建筑。另外,自重较大还会导致结构地震作用增大,不利于结构抗震。

2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度较低,因此钢筋混凝土构件截面受拉区在正常使用情况下一般存在裂缝,对于裂缝有严格要求的结构,如水池、水塔等,还需采取相应措施,如施加预应力,以降低裂缝的影响。

3) 混凝土结构的施工周期较长,宜受自然环境、气候的影响。

1.2.2 钢筋混凝土结构应用与发展

水泥的发明是混凝土发明与应用的前提。1824年,英国人 Joseph Aspdin 将石灰石与黏土一起煅烧,发明了硅酸盐水泥,申请了专利,从而开创了混凝土应用的新纪元。混凝土的发展大致分为以下四个阶段:

第一阶段(1850~1920年),为混凝土结构发展的初期阶段。这个阶段混凝土强度较低,混凝土在建筑结构中的应用发展缓慢,1872年美国才建造了第一座有钢筋混凝土构件的房屋。此后,钢筋混凝土构件开始进入了实际的工程应用,出现了钢筋混凝土梁、板、柱、拱和基础等一系列结构构件。此阶段,人们对混凝土的性能缺乏认识,简单地将混凝土视为弹性材料,设计计算则沿用材料力学的容许应力法。

第二阶段(1921~1950年),混凝土与钢筋的材料强度有所提高,特别是由法国工程

师 Freyssinet 研制成功的预应力混凝土,改善了混凝土结构的性能,克服了抗裂性能差的缺点,拓宽了混凝土结构的应用领域。另外,装配式结构和空间结构也相继出现。并且在试验的基础上,考虑了混凝土的塑性性质,采用破坏阶段理论计算结构的破坏承载力。

第三阶段(1951~1980年),第二次世界大战结束后,随着各国城市的恢复及重建,混凝土结构有了更快的发展,材料强度有进一步的提高、施工技术快速发展,混凝土单层厂房和桥梁结构的跨度不断增大,混凝土建筑的高度也不短增加,前苏联学者在破坏阶段设计理论的基础上提出了更为合理的极限状态设计理论,使设计理论前进了一大步。

第四阶段(1981年至今),混凝土结构在试验手段、材料的种类、分析方法、设计理论、设计手段等方面有了快速的发展。振动台试验、拟动力试验和风洞试验等先进的试验手段已广泛应用于混凝土结构的试验中;高强混凝土、纤维混凝土、轻骨料混凝土等特种混凝土的出现使混凝土结构成功用于超高层建筑、大跨度桥梁、跨海隧道等建筑中,混凝土的应用范围也由传统的工业与民用建筑、水利水电工程扩展到海洋工程、核电站等;非线性有限元分析方法的出现和发展,推动了混凝土理论的研究发展;在设计理论方面,以概率理论为基础的极限状态设计方法得到了广泛采用;CAD软件的开发,大大缩短了结构设计的周期。

我国是世界上使用混凝土最多的国家,仅2011年,我国商品混凝土产量达7.4亿 m^3 。目前,国内大部分高层建筑均采用混凝土结构。例如,1997年4月竣工的广州中信广场,楼高391m,为全球最高的纯钢筋混凝土结构建筑物。另外,在桥梁、水利、港口等工程中,也广泛采用钢筋混凝土结构,如世界最大的水电工程三峡大坝,坝体总混凝土量近1500万 m^3 ,大坝总方量居世界第一。随着混凝土在工程结构中的大量使用,我国在混凝土基本理论以及设计方法的研究方面也取得了较快的发展,达到或接近国际水平。

1.2.3 我国混凝土结构设计规范的发展

工程的设计与应用离不开设计规范,混凝土结构设计规范反映了混凝土结构研究的发展水平,它随着工程建设经验的积累、科研工作的成果和技术的进步而不断改进。

中华人民共和国成立以前,我国没有自己的混凝土结构设计规范,国内的混凝土结构工程是直接采用国外规范进行设计、施工的。

建国初期,由于我国经济技术力量薄弱,工程建设基本由原苏联援助和设计,所以全盘接受了前苏联的技术体系,包括结构理论以及配套的标准规范。20世纪60年代初期,在基本照搬前苏联规范的基础上颁布了《钢筋混凝土结构设计规范》(草案),确定了我国混凝土结构设计最初的基本模式。

随着国内建设的发展,为适应国情,在总结工程实践经验的基础上,20世纪60年代中期修订并颁布了《钢筋混凝土结构设计规范》(GBJ 21—66)(以下简称66规范)。由于缺乏系统的科学研究、试验验证以及工程实践的调研,66规范的核心内容仍然参照了苏联规范的规定。

1974年,在总结建国以来的工程实践经验和科学研究成果的基础上,颁布了《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—1974)(以下简称74规范)。该规范综合考虑了荷载、材料、

结构形式、受力性能等因素,采用综合安全系数的计算方法,设计比较简便,但其内容在很大程度上仍受原苏联规范的影响。

随着混凝土设计理论研究的深入,以及对实际工程的调研,1989年我国对74规范进行了修订,颁布了《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—1989)(以下简称89规范)。89规范采用了基于可靠度理论的概率极限状态设计方法,适当提高了安全储备,系统建立了各种受力状态、各类基本构件的计算模式和配套构造措施,形成了较为系统、完整的设计理论。89规范是第一本我国自主研究、适合我国国情的混凝土结构设计规范,该规范基本改变了我国混凝土结构理论及规范封闭和落后的状态。

随着非线性有限元分析手段的成熟,以及高效预应力技术、无黏结预应力技术、高强钢筋等新技术、新材料的使用,结合89规范中未解决的一些问题,从1997年开始对89规范进行了全面修订,制定颁布了《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)(以下简称02规范)。

从2007年开始,结合多年对02规范的使用经验,开始对02规范进行修订工作,于2011年颁布了新的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)。这次修订,增加了结构分析方面的有关内容,修改了正常使用极限状态验算的有关规定,对原规范中安全储备偏低的项目,如斜截面抗剪承载力、最小配筋率、抗震设计等也进行了修改,并考虑到高强材料的使用,增加了500MPa级钢筋,并采用300MPa级钢筋代替了235MPa级的钢筋。

本书的内容,主要是根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(本书中简称为《规范》)以及《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等有关规范编写的。

1.3 本书的内容及学习方法

1.3.1 本书的内容

混凝土结构构件从其受力特点,可分为以下几类:

- 1) 受弯构件。截面内力以弯矩和剪力为主,如梁、板、阳台和楼梯等。
- 2) 受压构件。截面内力以受压为主,同时有弯矩及剪力作用,如混凝土屋架的上弦杆,一般框架结构的框架柱等。
- 3) 受拉构件。截面内力以受拉为主,同时有弯矩及剪力作用,如混凝土屋架的下弦杆,在水侧压的作用下、圆型水池池壁等。
- 4) 受扭构件。截面内力主要有扭矩,同时可能有弯矩及剪力作用,如工业厂房中的吊车梁、一般建筑结构中雨篷梁等。

本书主要介绍混凝土与钢筋的力学性能、混凝土结构设计的基本方法、上述各类构件的受力特点及破坏形态、计算理论及计算方法、预应力混凝土的基本原理等内容。

在学习本书内容之前,应首先完成材料力学、结构力学、建筑材料、房屋建筑学等前期课程的学习。

1.3.2 学习时应注意的问题

1. 钢筋混凝土是由两种力学性能不相同的材料组成的

“钢筋混凝土结构”和“材料力学”一样,都是研究构件受力时强度和变形规律的学科,内容是类似的。“材料力学”研究的对象是“单一、均质、弹性”材料的构件,而钢筋混凝土构件是由钢筋和混凝土两种材料组成的,并且混凝土是非均质、非弹性的材料,这种材料组成及性能的差异使结构构件的受力性能及破坏特点有所不同。因此,不能直接采用“材料力学”的公式来计算钢筋混凝土构件的承载力和变形,在学习时可以与“材料力学”进行对比,找出两者之间的差异。

2. 钢筋混凝土构件的计算理论及设计方法建立在试验研究的基础上

由于混凝土材料的特殊性,钢筋混凝土构件计算的公式大多是半理论半经验的公式,完全由理论推导的计算公式是很少的。由于试验的局限性,计算公式都有自己的适用条件,并且公式中往往存在很多试验回归参数。因此,学习时应重视试验研究,深入了解构件的受力性能和破坏机理,方能熟练掌握构件的计算理论和设计计算方法,不要死记硬背计算公式。

3. 熟悉、理解和运用设计规范

学习本课程的目的不仅仅是掌握钢筋混凝土构件受力、变形、破坏的特点,最主要的还是要掌握其设计方法。钢筋混凝土构件的设计内容包括截面尺寸的确定、钢筋及混凝土材料的选用、钢筋数量的确定以及构造要求等,这些内容在《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)中均有详细的规定,因此,在学习本门课程时,应联系规范、逐步熟悉、正常运用,为将来能迅速适应工作打下基础。

思考题

- 1.1 钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和素混凝土结构各自有哪些特点?
- 1.2 在混凝土中配置钢筋的主要目的是什么?
- 1.3 钢筋与混凝土共同工作的基础是什么?
- 1.4 钢筋混凝土结构有哪些优点和缺点?
- 1.5 学习本课程时应注意哪些问题?

第2章 钢筋和混凝土材料的基本性能

2.1 钢筋的基本性能

2.1.1 钢筋的品种和级别

钢筋的主要成分是铁元素,此外还有少量的碳、硅、锰、磷、硫等元素。混凝土结构中使用的钢筋按化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢两大类。根据含碳量的多少,碳素钢一般分为低碳钢(含碳量低于0.25%)、中碳钢(含碳量0.25%~0.6%)和高碳钢(含碳量0.6%~1.4%),含碳量越高,钢筋强度越高,但塑性和可焊性降低。在钢材中加入少量硅、锰、钒、钛、铬等合金元素即可制成普通低合金钢,不但可有效提高钢材强度,还能使钢材保持较好的塑性。

我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)规定用于混凝土结构的普通钢筋可采用热轧钢筋,用于预应力混凝土结构的预应力筋可采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺旋钢筋。

热轧钢筋由低碳钢、普通低合金钢或细晶粒钢在高温状态下轧制而成,其牌号、等级、工程符号、相应工艺及用途如下:

1) HPB300(Φ):低碳钢,一般为光面钢筋,见图2.1-1(a);常用作混凝土结构中的构造钢筋和板的受力钢筋。

2) HRB335(Φ)、HRB400(Φ)、HRB500(Φ):普通低合金钢,一般为表面有月牙肋的变形钢筋,见图2.1-1(b);常用作混凝土结构中的纵向受力筋。

3) HRBF335(Φ^f)、HRBF400(Φ^f)、HRBF500(Φ^f):细晶粒钢筋,通过控制生产工艺,使钢筋组织晶粒细化、强度提高的同时还能保持韧性和塑性不降低的钢筋,均为月牙纹变形钢筋;常用作混凝土结构中的受力钢筋。

4) RRB400(Φ^f):余热处理钢筋,由热轧钢筋经高温淬火、再利用余热回温处理制成,特点是强度提高,但可焊性、机械连接性能及施工适应性降低;外形为月牙纹变形钢筋,常用于对延性及加工性能要求不高的基础、大体积混凝土及楼板、墙体等结构或构件中。



图 2.1-1 热轧钢筋外形示意图

预应力钢丝分为中强预应力钢丝和消除应力钢丝。中强预应力钢丝为冷加工后的热

处理钢丝,抗拉强度为 800~1270MPa;消除应力钢丝是将钢筋拉拔后校直,经中温回火消除应力并经稳定化处理的钢丝,抗拉强度为 1470~1860MPa。中强预应力钢丝和消除应力钢丝外形均有光面(ϕ^{PM} 、 ϕ^{P})和螺旋肋(ϕ^{HM} 、 ϕ^{H})两种,螺旋肋钢丝是以普通低碳钢和低合金钢热轧的圆盘条为母材,经冷轧减径后轧成月牙肋的钢筋[见图 2.1-2(a)]。

预应力钢绞线(ϕ°)由多根高强钢丝扭结而成,分为 1×3(3 股)和 1×7(7 股)两种[见图 2.1-2(b)],抗拉强度为 1570~1960MPa。

预应力螺纹钢筋(ϕ^{T})又称精轧螺纹粗钢筋,表面有规律的螺纹[见图 2.1-2(c)],可用内螺纹套筒连接或螺帽锚固,抗拉强度为 980~1230MPa,通常用作预应力钢筋混凝土结构中的大直径高强钢筋。

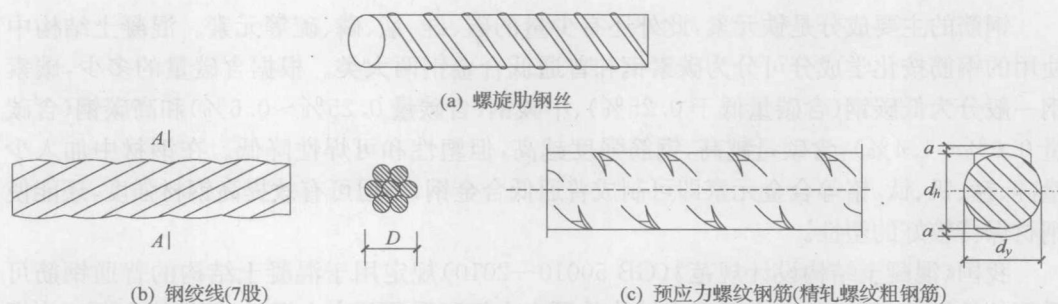


图 2.1-2 预应力钢筋外形示意图

2.1.2 钢筋的强度和变形性能

1. 钢筋的应力-应变关系

根据单调受拉时应力-应变曲线特点,钢筋可分为有明显屈服点钢筋(软钢)和无明显屈服点钢筋(硬钢)两大类。一般热轧钢筋均为有明显屈服点的钢筋,预应力螺纹钢筋和各类钢丝多属于无明显屈服点的钢筋。

(1) 有明显屈服点的钢筋

图 2.1-3 为有明显屈服点的钢筋在拉伸时的典型应力-应变曲线。可看出, A 点以前,应力与应变呈直线变化,称与 A 点对应的应力为比例极限。过 A 点后,应变增长速度快于应力,到达 B' 点(称为屈服上限)后钢筋进入塑性阶段,但 B' 点不稳定,应力很快降至 B 点(称为屈服下限),此后应力基本不增加而应变急剧增长,曲线出现一小段水平段(称为流幅或屈服台阶),有明显流幅钢筋的屈服强度按屈服下限确定。过 C 点后,应力重新开始增长,直至 D 点到达钢筋的极限抗拉强度, CD 段称为钢筋的强化阶段。D 点之后,试件某个截面会突然缩小,发生局部颈缩,应变持续增长而应力随之降低,直至 E 点试件被拉断, E 点对应的应变称为钢筋的极限应变。

(2) 无明显屈服点的钢筋

图 2.1-4 可看出,约在极限抗拉强度的 65%之前,应力-应变关系呈直线,之后钢筋表现出塑性性质,但应力与应变均持续增长,直至达到极限抗拉强度 σ_b 后钢筋很快被拉断,应力-应变曲线没有明显的屈服点。《混凝土结构设计规范》取 $0.85\sigma_b$ 作为无明显屈服点

钢筋的屈服强度,工程设计中一般取残余应变为 0.2% 时的应力($\sigma_{0.2}$)作为无明显屈服点钢筋的条件屈服强度。由试验可知, $\sigma_{0.2} \approx 0.85\sigma_b$ 。

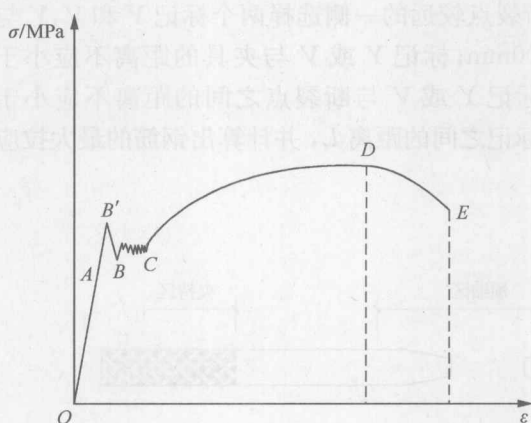


图 2.1-3 有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线

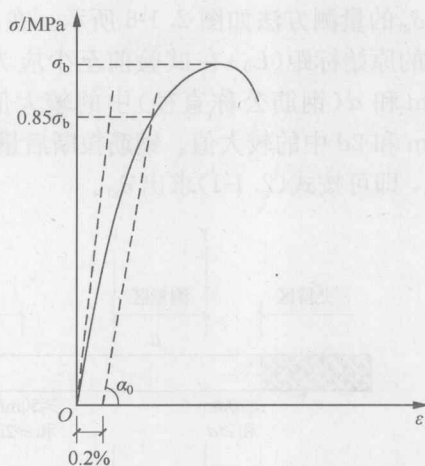


图 2.1-4 无明显屈服点钢筋的应力-应变曲线

(3) 钢筋的弹性模量

钢筋的弹性模量是根据拉伸试验中测得的弹性阶段的应力-应变曲线确定的。由于钢筋在弹性阶段的受压性能与受拉性能类似,故同一种钢筋的受压弹性模量和受拉弹性模量相同,均为 $E_s = \sigma/\epsilon = \tan\alpha_0$ 。各类钢筋的弹性模量见附表 2-5。

2. 钢筋的变形能力和塑性性能

除了屈服强度和极限强度两个强度指标外,钢筋还有两个反映变形能力和塑性性能的指标:伸长率和冷弯性能。

(1) 钢筋最大力下的总伸长率(均匀伸长率)

《混凝土结构设计规范》(GB 20010—2010)采用了近年来国际上通用的最大力下的总伸长率(也称均匀伸长率) δ_{gt} 来表示钢筋的变形能力。如图 2.1-5 所示,钢筋在达到最大应力 σ_b 时的变形包括塑性变形和弹性变形两部分,可按下列式计算:

$$\delta_{gt} = \left(\frac{L - L_0}{L_0} + \frac{\sigma_b}{E_s} \right) \times 100\% \quad (2.1-1)$$

式中, L_0 —— 试验前的原始标距(不含颈缩区);

L —— 试验后测得的标记之间的距离;

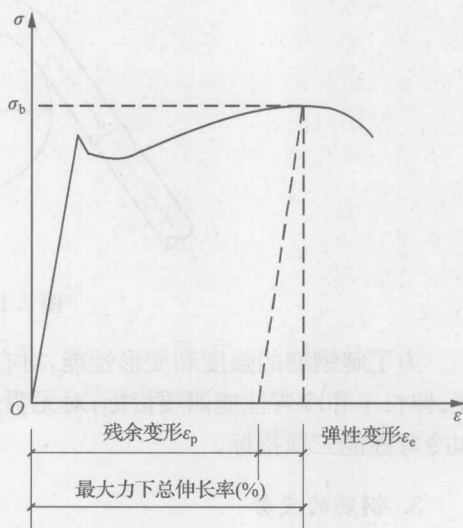


图 2.1-5 钢筋在最大力下的总伸长率

σ_b ——钢筋的最大拉应力,即极限抗拉强度;

E_s ——钢筋的弹性模量。

δ_{gt} 的量测方法如图 2.1-6 所示。在离断裂点较远的一侧选择两个标记 Y 和 V, Y 与 V 间的原始标距(L_0)在试验前至少应为 100mm; 标记 Y 或 V 与夹具的距离不应小于 20mm 和 d (钢筋公称直径) 中的较大值, 标记 Y 或 V 与断裂点之间的距离不应小于 50mm 和 $2d$ 中的较大值。钢筋拉断后量测标记之间的距离 L , 并计算出钢筋的最大拉应力 σ_b , 即可按式(2.1-1)求出 δ_{gt} 。

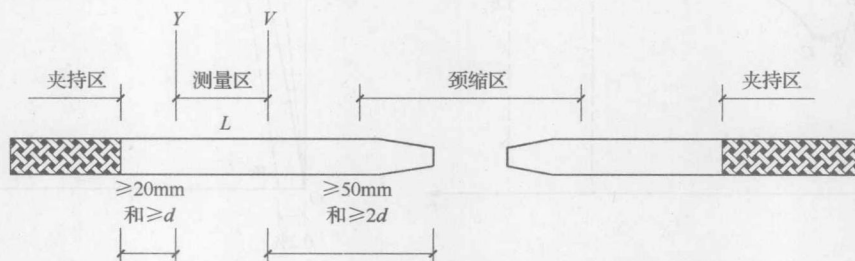


图 2.1-6 最大力下伸长率的量测方法

各类钢筋在最大力下的总伸长率限值见附表 2-6。

(2) 钢筋冷弯性能

为了使钢筋在加工和使用过程中不发生断裂或脆断现象, 还要求钢筋具有一定的冷弯性能。即将直径为 d 的钢筋围绕直径为 D 的辊轴弯折一定的角度 α (见图 2.1-7), 观察钢筋是否发生裂纹、断裂或起层现象。辊轴直径 D 越小、弯折角 α 越大, 说明钢筋的塑性越好。

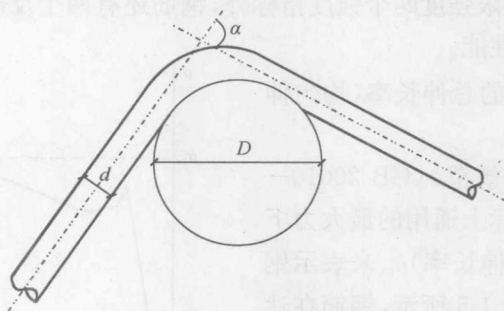


图 2.1-7 钢筋的冷弯

为了解钢筋的强度和变形性能, 对有明显屈服点的钢筋, 一般检测屈服强度、极限强度、伸长率和冷弯性能四项指标; 对无明显屈服点的钢筋, 一般检测极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能三项指标。

3. 钢筋的疲劳

钢筋的疲劳是指钢筋在周期性重复动荷载作用下, 经过一定次数后, 破坏方式从塑性