



智慧图书·建筑书系

全国土木工程类实用创新型规划教材

主审/胡兴福

主编/牛少儒 杨子江

HUNNINGTUJIEGOU

混凝土结构

哈尔滨工业大学出版社





智慧图书·建筑书系

全国土木工程类实用创新型规划教材

HUNNINGTUJIEGOU

混凝土结构

主审 胡兴福

主编 牛少儒 杨子江

副主编 卜娜蕊 莫振宝 花阳

编者 李水鱼 杨立国 张同钰 王亚玲

哈尔滨工业大学出版社



内容简介

本教材是依据建筑结构课程教学基本要求同时考虑学生的提升空间而编写的。本教材体现了培养高等应用型人才的特点,坚持理论与实践相结合,注重实际动手能力的培养和综合素质的提高。本教材结合专业特点,依照对建筑结构的要求,精选了建筑结构中的钢筋混凝土结构,结合钢筋混凝土结构实际工作过程,以工作任务为载体编写,形成简练而相对完整的教学体系。

本书主要内容为:钢筋和混凝土材料的力学性能及材料选择、钢筋混凝土结构的设计方法、受弯构件承载能力极限状态计算、受弯构件正常使用极限状态设计计算、受压构件承载能力极限状态设计计算、预应力混凝土结构概述、钢筋混凝土梁板结构、多层及高层钢筋混凝土房屋结构等8个模块。

本书适用于土建类各专业、房地产经济管理等专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构/牛少儒,杨子江主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2014.2

ISBN 978-7-5603-4412-6

I. ①混… II. ①牛…②杨… III. ①混凝土结构—高等学校—教材 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 274088 号

责任编辑 张 瑞

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 北京市全海印刷厂

开 本 850mm×1168mm 1/16 印张 19 字数 575 千字

版 次 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4412-6

定 价 40.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)



高等院校建筑工程技术专业要培养的是有相关领域岗位工作能力和专业技能,适应建筑行业一线需要的生产、技术、管理、服务等职业要求,德、智、体、美等方面全面发展的高素质技能型人才。这就要求我们调整教材结构以适应职业教育的需求。同时,随着经济建设的高速发展,建筑结构可靠度得以提高,相关单位对建筑结构相关规范进行了调整。但目前大多数教材尚未进行规范更新,模式也以传统教学模式为主,不适应教学的发展需求。结合上述情况,以“能力为本、就业为先、全面发展”的职业教育改革为目标,本教材根据建筑类专业建筑结构课程教学大纲的要求和新修订的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《混凝土结构技术规程》(GJG 3—2010)以及《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)和其他相关规范、标准而编写。

本书根据行业、企业、职业需要确定教学内容,突出理论教学与实践教学相结合的课程特点,改变以理论教学为主的教学模式,突出理实一体化教学。通过大量的行业、企业和市场调研,结合课程的性质和特点,将课程的知识 and 技能融合在一起,使课程内容与实际工作岗位工作内容相一致。以模块化教学模式组织教学内容,通过模块概述、知识目标、能力目标、工程导入、工程导读引入正文,让学生带着问题、带着确定的目标进入正文的学习,正文基于实际工作过程进行安排和编写,力争让学生了解并掌握相关知识的实践操作,通过增设大量的案例实训提高学生对基本理论知识的理解和应用,并结合课后的基础训练和工程模拟训练加深对所学知识的理解,循序渐进地提高学生的职业技能,以达到胜任工作岗位的目的。本书最后通过职考链接和知识链接拓宽知识点,提高学生查阅文献的能力。

全书共分为 8 个模块,包括钢筋和混凝土材料的力学性能及材料选择、钢筋混凝土结构的设计方法、受弯构件承载能力极限状态计算、受弯构件正常使用极限状态设计计算、受压构件承载能力极限状态设计计算、预应力混凝土结构概述、钢筋混凝土梁板结构、多层及高层钢筋混凝土房屋结构等内容。

Preface

前言

整体课时分配

模块	内 容	课时建议	授课类型
模块 1	钢筋和混凝土材料的力学性能及材料选择	4~6 课时	讲授、实训
模块 2	钢筋混凝土结构的设计方法	4~6 课时	讲授、实训
模块 3	受弯构件承载能力极限状态计算	32~34 课时	讲授、实训
模块 4	受弯构件正常使用极限状态设计计算	6~8 课时	讲授、实训
模块 5	受压构件承载能力极限状态设计计算	10 课时	讲授、实训
模块 6	预应力混凝土结构概述	6 课时	讲授、实训
模块 7	钢筋混凝土梁板结构	14~16 课时	讲授、实训
模块 8	多层及高层钢筋混凝土房屋结构	14 课时	讲授、实训

本书由牛少儒、杨子江两位老师担任主编,对稿件整体进行整理和修饰。胡兴福教授对全书进行了审阅,对此我们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不当之处,在此也欢迎广大读者批评指正。

编 者

编 审 委 员 会

主 任:胡兴福

副主任:李宏魁 符里刚

委 员:(排名不分先后)

胡 勇	赵国忱	游普元
宋智河	程玉兰	史增录
张连忠	罗向荣	刘尊明
胡 可	余 斌	李仙兰
唐丽萍	曹林同	刘吉新
武鲜花	曹孝柏	郑 睿
常 青	王 斌	白 蓉
张贵良	关 瑞	田树涛
吕宗斌	付春松	蒙绍国
莫荣锋	赵建军	易 斌
程 波	王右军	谭翠萍
边喜龙		

模块1 钢筋和混凝土材料的力学性能及材料选择

模块概述/001
知识目标/001
技能目标/001
课时建议/002
工程导入/002
工程导读/002

1.1 钢筋的力学性能及材料选择/002

1.1.1 钢筋的种类/002
1.1.2 钢筋的力学性能/004
1.1.3 钢筋的材料选择/009

1.2 混凝土的力学性能及材料选择/009

1.2.1 混凝土的力学性能/010
1.2.2 混凝土的变形/014
1.2.3 混凝土的材料选择/020

1.3 钢筋与混凝土的黏结/020

1.3.1 黏结强度/020
1.3.2 钢筋的锚固/022
1.3.3 钢筋的连接/023

知识链接/024

重点串联/025

拓展与实训/026

基础训练/026

工程模拟训练/026

链接取考/026

模块2 钢筋混凝土结构的设计方法

模块概述/028
知识目标/028
技能目标/028
课时建议/028
工程导入/029
工程导读/029

2.1 结构的功能和极限状态/029

2.1.1 结构的功能要求/029
2.1.2 结构可靠性与极限状态/030

2.2 结构上的作用、作用效应及结构抗力/031

2.2.1 结构上的作用及荷载的代表值/031
2.2.2 作用效应及作用效应组合值的计算/034
2.2.3 结构抗力/036

2.3 结构设计/036

2.3.1 概率极限状态设计法/037
2.3.2 结构的耐久性设计/038
2.3.3 结构的防连续倒塌设计/040

2.4 案例分析/042

知识链接/044

重点串联/044

拓展与实训/045

基础训练/045

工程模拟训练/045

链接取考/045

模块3 受弯构件承载力极限状态计算

模块概述/046

知识目标/046

技能目标/046

课时建议/046

工程导入/047

工程导读/047

3.1 受弯构件的一般构造要求/047

3.1.1 板的构造要求/048
3.1.2 梁的构造要求/050
3.1.3 混凝土保护层厚度/053
3.1.4 截面有效高度/054

3.2 单筋矩形截面钢筋混凝土梁受力分析/054

3.2.1 配筋率对正截面破坏形态的影响/054
3.2.2 钢筋混凝土梁受力性能分析/055
3.2.3 受弯构件正截面破坏形态和破坏特征/056

3.3 单筋矩形截面钢筋混凝土梁正截面承载力计算/057

3.3.1 正截面承载力计算的基本假设/057
3.3.2 单筋矩形截面正截面承载力计算公式与适用条件/058
3.3.3 单筋矩形截面正截面承载力计算公式的应用/062

3.4 双筋矩形截面的承载力计算/064

3.4.1 基本公式及适用条件/064
3.4.2 计算方法/065

3.5 T形截面受弯构件正截面承载力计算/068

3.5.1 T形截面计算的特点/069
3.5.2 T形截面正截面承载力计算公式与适用条件/070

- 3.5.3 T形截面正截面承载力计算公式的应用/072
- 3.6 受弯构件斜截面的受剪性能和破坏形态/075
 - 3.6.1 无腹筋梁斜截面受剪性能和破坏形态/075
 - 3.6.2 有腹筋梁斜截面受剪性能和破坏形态/077
- 3.7 有腹筋梁受剪承载力计算/079
 - 3.7.1 有腹筋梁斜截面受力分析/079
 - 3.7.2 斜截面抗剪承载力的计算/080
 - 3.7.3 公式的适用范围/080
 - 3.7.4 计算截面位置/081
 - 3.7.5 有腹筋梁受剪承载力计算公式的应用/082
- 3.8 保证梁斜截面受弯、受剪承载力的构造措施/085
 - 3.8.1 纵向钢筋的弯起和截断/085
 - 3.8.2 纵向钢筋的锚固/086
- 3.9 某教学楼连廊楼板设计/087
 - 3.9.1 楼板的力学模型及内力计算/087
 - 3.9.2 楼板的配筋计算/089
 - 3.9.3 连廊的施工图绘制/090
- 3.10 混凝土楼梯/090
 - 3.10.1 楼梯的分类、组成及受力特点/090
 - 3.10.2 板式楼梯的计算与构造/092
 - 3.10.3 梁式楼梯的计算与构造/093
- 3.11 某教学楼板式楼梯设计/095
 - 3.11.1 楼梯各组成构件的力学模型及内力计算/96
 - 3.11.2 楼梯各组成构件的配筋计算/98
 - 3.11.3 绘制施工图/99
- 3.12 某商场梁式楼梯设计/101
 - 3.12.1 楼梯各组成构件的力学模型及内力计算/101
 - 3.12.2 楼梯各组成构件的配筋计算/104
 - 3.12.3 绘制施工图/107
- 3.13 某办公楼楼盖大梁设计/108
 - 3.13.1 大梁的力学模型及内力计算/108
 - 3.13.2 大梁的配筋计算/111
 - 3.13.3 绘制施工图/111
- 3.14 某住宅阳台挑梁设计/112
 - 3.14.1 挑梁的力学模型及内力计算/112
 - 3.14.2 挑梁的内力计算/114
 - 3.14.3 挑梁的配筋计算/115
 - 3.14.4 绘制施工图/115
- 3.15 某住宅楼雨篷设计/115
 - 3.15.1 雨篷的力学模型及内力计算/116
 - 3.15.2 雨篷板的配筋计算/119
 - 3.15.3 雨篷梁的配筋计算/120
 - 3.15.4 雨篷的施工图绘制/122

- ❖知识链接/122
- ❖重点串联/123
- ❖拓展与实训/124
 - ✱基础训练/124
 - ✱工程模拟训练/125
 - ✱链接职考/126

模块4 受弯构件正常使用极限状态设计计算

- 📖模块概述/127
- 📖知识目标/127
- 📖技能目标/127
- 📖课时建议/127
- 📖工程导入/128
- 📖工程导读/128

- 4.1 钢筋混凝土受弯构件的变形验算/128
 - 4.1.1 钢筋混凝土梁抗弯刚度的特点/129
 - 4.1.2 截面弯曲刚度/130
 - 4.1.3 受弯构件挠度计算/133
- 4.2 钢筋混凝土受弯构件的裂缝宽度验算/135
 - 4.2.1 裂缝形成过程/135
 - 4.2.2 裂缝宽度的计算/137
- ❖知识链接/139
- ❖重点串联/139
- ❖拓展与实训/140
 - ✱基础训练/140
 - ✱工程模拟训练/140
 - ✱链接职考/141

模块5 受压构件承载力极限状态设计计算

- 📖模块概述/142
- 📖知识目标/142
- 📖技能目标/142
- 📖课时建议/142
- 📖工程导入/143
- 📖工程导读/144

- 5.1 受压构件一般构造要求/144
 - 5.1.1 截面形式及尺寸/145
 - 5.1.2 材料强度等级/145
 - 5.1.3 纵筋/145
 - 5.1.4 箍筋/145
- 5.2 轴心受压构件承载力计算/146
 - 5.2.1 轴心受压柱的受力特点和破坏形态/147
 - 5.2.2 轴心受压构件的基本计算公式/148
 - 5.2.3 轴心受压构件的基本计算公式应用/151
- 5.3 矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算/153

- 5.3.1 矩形截面非对称配筋偏心受压构件的受力特点和破坏形态/153
- 5.3.2 矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算公式/156
- 5.3.3 矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算公式应用/158
- 5.4 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算/164
 - 5.4.1 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算公式/164
 - 5.4.2 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算公式应用/165
- 5.5 工字形截面偏心受压构件正截面承载力计算/167
 - 5.5.1 工字形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算公式/167
 - 5.5.2 工字形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算公式应用/169
- 5.6 偏心受压构件斜截面承载力计算/171
 - 5.6.1 轴向压力对受剪承载力的影响/171
 - 5.6.2 偏心受压构件斜截面承载力计算公式/171

❖知识链接/173

❖重点串联/173

❖拓展与实训/174

✱基础训练/174

✱工程模拟训练/176

✱链接职考/176

模块6 预应力混凝土结构概述

📖模块概述/177

📖知识目标/177

📖技能目标/177

📖课时建议/177

📖工程导入/177

📖工程导读/178

- 6.1 预应力混凝土结构的基本概念及分类/178
 - 6.1.1 预应力混凝土结构的基本概念/178
 - 6.1.2 预应力混凝土的分类/179
- 6.2 预应力混凝土结构的施工工艺/180
 - 6.2.1 预应力的施加方法/180
 - 6.2.2 施加预应力的工具/181
- 6.3 预应力混凝土结构的材料/184
 - 6.3.1 钢筋/184
 - 6.3.2 混凝土/185
- 6.4 张拉控制应力和预应力损失/185
 - 6.4.1 预应力钢筋的张拉控制应力/185
 - 6.4.2 预应力损失/186

6.5 预应力混凝土结构构件的构造要求/191

- 6.5.1 截面形式和尺寸/191
- 6.5.2 纵向非预应力钢筋/191
- 6.5.3 先张法构件的要求/191
- 6.5.4 后张法构件的要求/192

❖知识链接/194

❖重点串联/194

❖拓展与实训/195

✱基础训练/195

✱链接职考/195

模块7 钢筋混凝土梁板结构

📖模块概述/197

📖知识目标/197

📖技能目标/197

📖课时建议/197

📖工程导入/197

📖工程导读/198

7.1 梁板结构概述/198

- 7.1.1 梁板结构的分类/198
- 7.1.2 肋梁楼盖/199
- 7.1.3 井字楼盖/200
- 7.1.4 密肋楼盖/201
- 7.1.5 无梁楼盖/201

7.2 单向板肋梁楼盖设计/201

- 7.2.1 结构的平面布置图/201
- 7.2.2 梁、板的计算简图/202
- 7.2.3 内力计算/204
- 7.2.4 配筋计算/207
- 7.2.5 构造要求/207

7.3 单向板肋梁楼盖实例设计/211

- 7.3.1 设计资料/211
- 7.3.2 楼面的结构平面布置/212
- 7.3.3 板的设计/212
- 7.3.4 次梁设计/214
- 7.3.5 主梁设计/216

7.4 双向板肋梁楼盖设计简介/223

- 7.4.1 弹性法计算板的内力/223
- 7.4.2 双向板支梁的计算/224
- 7.4.3 双向板的截面设计及构造要求/225

7.5 装配式楼盖简介/225

- 7.5.1 预制板和预制梁/225
- 7.5.2 预制构件的计算/226
- 7.5.3 装配式楼盖的连接/226

❖知识链接/228

❖重点串联/228

❖拓展与实训/229

- ✱基础训练/229
- ✱工程模拟训练/229
- ✱链接职考/230

模块8 多层及高层钢筋混凝土房屋结构

- 模块概述/231
- 知识目标/231
- 技能目标/231
- 课时建议/231
- 工程导入/232
- 工程导读/233

- 8.1 概述/233
- 8.2 框架结构/236
 - 8.2.1 框架结构布置/236
 - 8.2.2 截面尺寸估算及混凝土强度等级/237
 - 8.2.3 计算单元及计算简图/238
 - 8.2.4 内力计算/239
 - 8.2.5 框架结构的内力组合/247
- 8.3 多层钢筋混凝土框架设计实例/254
- 8.4 框架柱平法施工图/276

- 8.4.1 柱平法施工图的表达方法/277
- 8.4.2 柱平法施工图的主要内容和识读步骤/277
- 8.4.3 柱平法施工图实例/278
- 8.5 剪力墙结构简介/279
 - 8.5.1 剪力墙结构的分类、特点及使用范围/279
 - 8.5.2 剪力墙结构布置原则/281
 - 8.5.3 剪力墙的最小厚度及材料要求/283
- 8.6 框架-剪力墙结构简介/283
 - 8.6.1 结构变形特点/284
 - 8.6.2 结构抗震性能/284
 - 8.6.3 结构布置要求/285
- 知识链接/287
- 重点串联/287
- 拓展与实训/288
 - ✱基础训练/288
 - ✱工程模拟训练/289
 - ✱链接职考/289

- 附录/290
- 参考文献/293

模块

1

钢筋和混凝土材料的力学性能及材料选择

【模块概述】

钢筋混凝土由钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料组成。为了正确合理地进行钢筋混凝土结构设计,必须深入了解钢筋混凝土结构及其构件的受力性能和特点。而对于混凝土和钢筋材料的物理力学性能(强度和变形的变化规律)的了解,则是掌握钢筋混凝土结构的构件性能、分析和设计的基础。

本模块以受力钢筋和混凝土材料的力学性能为主线,主要介绍钢筋和混凝土的力学性能和受力特点,并根据不同类型的结构构件选择合适的材料。通过对材料的力学性能分析,了解各种材料的受力特点,为后面模块的学习打下基础。

【知识目标】

1. 了解钢筋的种类、级别与形式,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设计强度的取值;
2. 了解混凝土的组成特点、影响强度的因素,掌握混凝土的立方体抗压强度、轴心抗压强度、轴心抗拉强度和弹性模量的测定方法;
3. 掌握混凝土在一次短期加载时的受力破坏过程,理解混凝土的徐变与收缩现象以及对混凝土产生的影响;
4. 理解钢筋和混凝土之间黏结力的组成、特点,掌握钢筋的受拉锚固长度、搭接长度的概念和要求。

【技能目标】

1. 能识别钢筋的类型和种类;
2. 能通过实验检测钢筋和混凝土的强度值;
3. 能根据规范要求处理建筑工程施工过程中钢筋的锚固和搭接问题。

【课时建议】

4~6 课时

【工程导入】

混凝土是一种人造石料,其抗压能力很高,而抗拉能力很弱,在实际工程中,由于受力、环境等因素,会引起不同程度的混凝土开裂(图 1.1)。

混凝土开裂的原因很多,如果在选择混凝土的时候,混凝土强度不能达到荷载的要求,那么混凝土很可能因为不能承受荷载而导致破坏;而如果在环境中不利于混凝土的因素存在,混凝土也会产生变形而开裂。

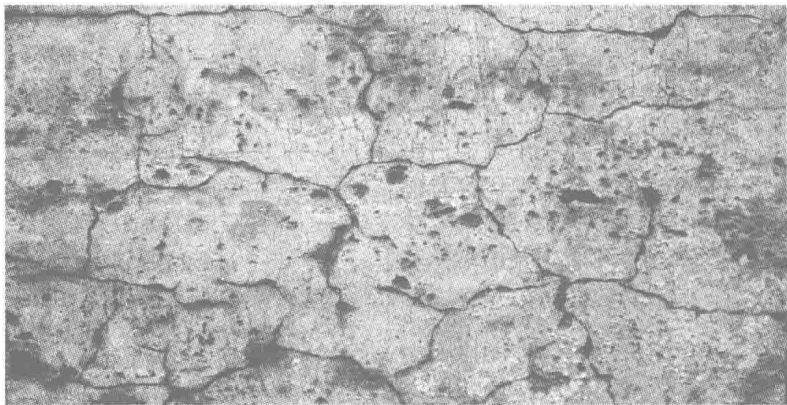


图 1.1 混凝土的开裂

【工程导读】

在钢筋混凝土结构中,钢筋和混凝土是两种基本材料。我们想要钢筋混凝土结构正常工作,应如何选择钢筋类型?应选用什么级别的混凝土?钢筋和混凝土之间应如何紧密地联合在一起?要解决这些问题,首先就要了解钢筋和混凝土的力学性能和变形特征,以免在工程中因为材料的选择不当导致结构破坏。



1.1 钢筋的力学性能及材料选择

钢筋混凝土结构使用的钢筋,不仅要强度高,而且要具有良好的塑性和可焊性,同时还要求与混凝土有较好的黏结性能。

1.1.1 钢筋的种类

在钢筋混凝土结构中,可使用的钢筋品种很多,主要可以分为两大类:有明显屈服点的和没有明显屈服点的。按照外形不同,钢筋可分为光圆钢筋和变形钢筋,其中变形钢筋又有热轧螺纹钢筋、冷轧带肋钢筋等。光圆钢筋直径在 6~50 mm 之间,握裹力较差;变形钢筋直径一般大于 10 mm,握裹力较好。

按化学成分不同,钢材可分为碳素钢和普通低合金钢两大类。碳素钢又可分为低碳钢(含碳量小于 0.25%)、中碳钢(含碳量为 0.25%~0.6%)和高碳钢(含碳量为 0.6%~1.4%),含碳量越高,钢筋的强度越高,但钢筋的塑性和可焊性越差。

在碳素钢的成分中加入少量合金元素就成为普通低合金钢,可以有效地提高钢材的强度和改善钢材的其他性能。如 20MnSi、20MnSiV、20MnTi 等,其中名称前面的数字代表平均含碳量(以万分之一计)。由于加入了合金元素,普通低合金钢虽含碳量高,强度高,但是其拉伸应力-应变曲线仍具有

明显的屈服点。

目前我国钢筋混凝土及预应力混凝土结构中采用的钢筋和钢丝按生产工艺不同,分为热轧钢筋、钢丝、钢绞线和热处理钢筋等。

热轧钢筋是低碳钢、普通低合金钢在高温状态下轧制而成的,其应力—应变曲线有明显的屈服点,伸长率较大,钢筋被拉断的截面有颈缩现象。按照强度不同可分为 300 MPa、335 MPa、400 MPa 和 500 MPa 几种。按照外形特征可分为热轧光圆钢筋(HPB)(图 1.2(a))、热轧带肋钢筋(HRB)和细晶粒热轧带肋钢筋(HRBF)。HPB300 级钢筋是热轧光圆钢筋,是经热轧成型并自然冷却的表面平整、截面为圆形的钢筋。HRB335、HRB400 和 HRB500 级的热轧钢筋可做成带肋钢筋,即经热轧成型并自然冷却,其圆周表面通常带有两条纵肋和沿长度方向有均匀分布横肋的钢筋,其中横肋斜向一个方向而呈螺旋状的称为螺旋钢筋(图 1.2(b));横肋斜向不同方向而呈“人”字形的,称为人字形钢筋(图 1.2(c));纵肋与横肋不相交且横肋为月牙形状的,称为月牙形钢筋(图 1.2(d))。

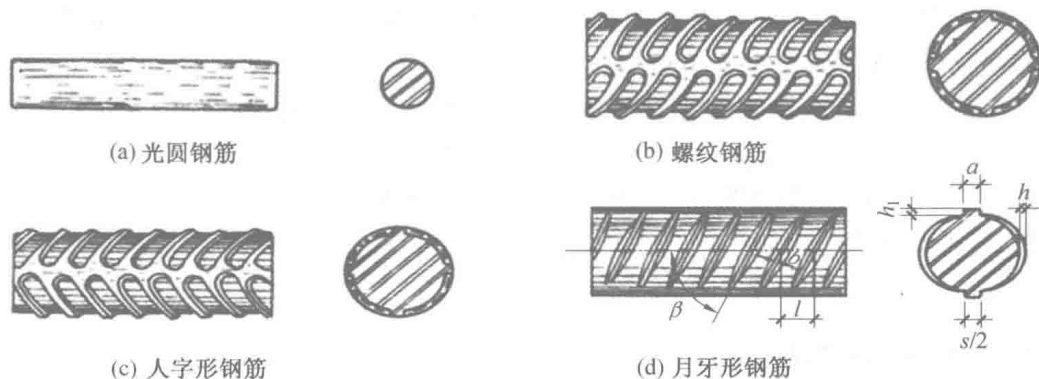


图 1.2 钢筋的形式

预应力钢丝包括中强度预应力钢丝和消除应力钢丝(图 1.3)。中强度预应力钢丝是强度为 800~1 370 MPa 冷加工或冷加工后的热处理钢丝;消除应力钢丝是将钢筋拉伸后矫直,经过中等温度回火消除应力并经稳定化处理的钢丝。消除应力钢丝可分为 3 种:光面钢丝、螺旋肋钢丝和刻痕钢丝。光面钢丝是用高碳钢轧制成圆盘后,经过多道冷拔并进行应力消除、矫直、回火处理而成的钢丝。其强度高,塑性好,与混凝土的黏结力较差。螺旋肋钢丝是用普通低碳钢或低合金钢热轧的圆盘条作为母材,经过冷轧减径后在其表面冷轧成两面或三面有月牙肋的钢丝,其与混凝土的强度较高。刻痕钢丝是在光面钢丝的表面进行机械刻痕处理的钢丝,与混凝土的黏结力很强。

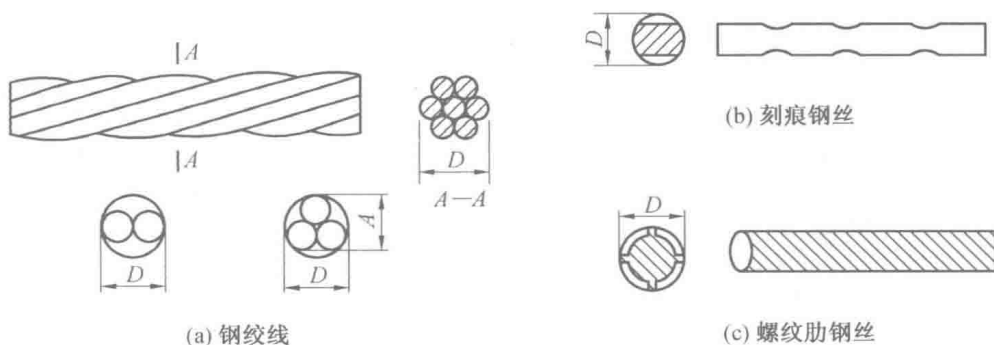


图 1.3 钢绞线、钢丝的形式

光面钢丝和螺旋肋钢丝按直径分为 4 mm、5 mm、6 mm、7 mm、8 mm、9 mm;刻痕钢丝按直径分为 5 mm、7 mm。

预应力钢绞线是由多根消除应力钢丝捻制在一起而成,分为 3 股和 7 股两种。

预应力螺纹钢是采用热轧、轧后余热处理等工艺生产的预应力螺纹钢筋,其外表带有螺纹。

钢筋混凝土结构中使用的钢筋可以分为柔性钢筋和劲性钢筋。在梁、板、柱等结构中常用的钢筋称为柔性钢筋,可以绑扎或焊接。劲性钢筋是由各种型钢、钢轨或用型钢与钢筋焊成的骨架,刚度

很大。

细晶体热轧带肋钢筋是通过控冷控轧的方法,使钢筋组织晶粒细化、强度提高,该工艺既能提高强度又能降低脆性转变温度,钢中微合金元素通过析出质点在冶炼凝固过程到焊接加热冷却过程中影响晶粒成核和晶界迁移来影响晶粒尺寸,细晶强化的特点是在提高强度的同时,还能提高韧性或保持韧性和塑性基本不下降。

余热处理钢筋(RRB)是在钢筋经过热轧之后立即穿水,进行表面控制冷却,利用芯部余热自身完成回火处理所得的成品钢筋。

为了节约钢材和加强对钢筋的利用,常常对热轧钢筋进行冷拉、冷拔等冷加工,提高钢筋的力学性能。

冷拉是在常温下用机械的方法将有明显屈服点的钢筋拉伸到超过屈服强度而又小于极限强度的某一应力值,使其产生塑性变形。钢筋经过冷拉后,能提高屈服强度,但塑性会有所降低,因而冷拉时应控制应力和应变。经过冷拉的钢筋不宜作为受压钢筋使用,因为冷拉在提高钢筋抗拉强度的同时,会降低钢筋的抗压强度。

冷拔钢筋是将钢筋用强力拔过钨合金的拔丝模。由于钨合金的拔丝模的直径小于钢筋直径,因此钢筋通过拔丝模时,受到轴向拉伸与径向压缩的作用,使钢筋产生塑性变形。钢筋经过冷拔后,抗拉强度可提高 50%~90%,塑性降低,呈硬钢性质。光圆钢筋经冷拔后称“冷拔低碳钢丝”。

近年来,高强高性能的钢筋在我国已经可以充分使用,所以冷拉钢筋和冷拔钢丝不再列入《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)。

1.1.2 钢筋的力学性能

钢筋的力学性能有强度和变形(包括弹性变形和塑性变形)等。

1. 钢筋的应力—应变曲线图

单向拉伸试验是确定钢筋强度的主要手段。通过试验结果可以看到,钢筋的拉伸应力—应变关系曲线可分为两大类,即有明显屈服点的(图 1.4)和没有明显屈服点的(图 1.5)。

图 1.4 为有明显屈服点的钢筋拉伸的应力—应变曲线。从图中可以清楚地看出,这种钢筋单向拉伸试验的过程明显分为几个阶段。

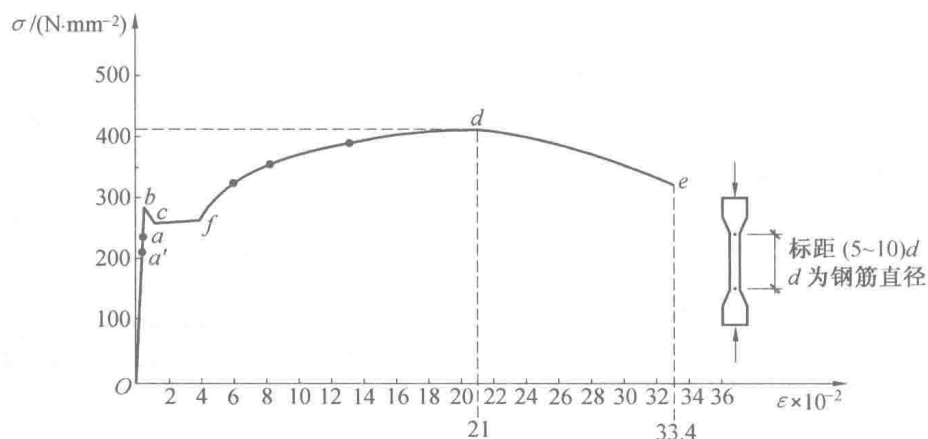


图 1.4 有明显屈服点的钢筋应力—应变曲线图

(1) 弹性阶段

在应力—应变曲线图上,从 O 点在达到 a 点之前,曲线图形基本趋于一条直线,材料处于弹性阶段,a 点称为比例极限。在这个阶段内对试件加载后钢筋会伸长,卸载后钢筋会回缩至原来的状态。而应力与应变的比值是一个常数,被定义为钢筋的弹性模量 E_s 。

此后在 ab 段内,应变比应力增加的速率快,曲线的斜率有所下降,但依然处在弹性阶段。

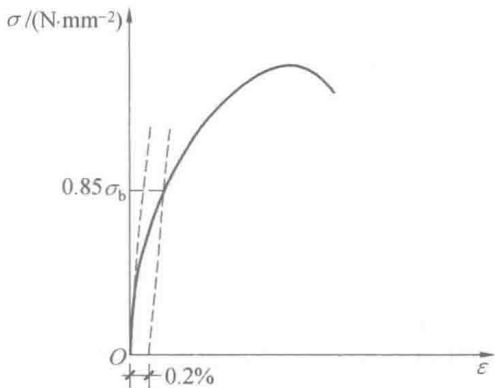


图 1.5 没有明显屈服点的钢筋应力—应变曲线图

(2) 屈服阶段

当应力超过 b 点之后,钢筋应力和应变发生抖动变化,应力—应变曲线图形接近水平线,总体上应力不超过 b 点的值,应变却继续增加很多,直到 c 点,此时钢筋开始屈服,这一阶段被称为屈服阶段, bc 段应变增加的幅度称为流幅或屈服台阶。对于有屈服台阶的钢筋来讲,有两个屈服点,即屈服上限(b 点)和屈服下限(c 点)。屈服上限受试验加载速度、表面光洁度等因素影响而波动;屈服下限则较稳定,故一般以屈服下限为依据,称为屈服强度。

(3) 强化阶段

曲线图上从 c 点到 d 点,材料恢复部分弹性进入强化阶段,应力—应变关系表现为上升的曲线,到达曲线最高点 d , d 点所对应的应力称为极限强度。 cd 段称为钢筋的强化阶段。

(4) 颈缩阶段

曲线过了 d 点后,试件薄弱处的截面面积将明显缩小,发生局部“颈缩”现象,应力开始下降,塑性变形迅速增加,应力随之下降,到 e 点后发生断裂。 de 段称为颈缩阶段。

有明显屈服点的钢筋拉伸时,应力—应变曲线显示了钢筋主要的物理力学指标,即屈服强度和抗拉极限强度。屈服强度是钢筋混凝土结构计算中钢筋强度取值的主要依据。钢筋的屈服强度和极限强度的比值称为钢筋的屈强比,这是反映钢筋力学性能的一个重要指标。屈强比越小,表示钢筋在所受应力超过屈服强度时,仍然有比较高的强度储备,结构安全性高,但钢筋的利用率低;屈强比越大,说明钢筋利用率越高,但在构件中使用时安全储备小。也就是钢筋屈服后,拉力增加不多时钢筋就有可能达到最大应力。一般屈强比要求不大于 0.8。

在钢筋混凝土结构设计中,对具有明显屈服点的钢筋,取其屈服强度作为设计强度的依据。这是由于当钢筋中的某一截面钢筋应力达到屈服强度后,就会在荷载基本不变的情况下产生塑性变形,这样就会导致构件在钢筋没有进入强化阶段以前就已经被破坏,或者因为产生较大的变形和不可闭合的裂缝而不能再正常使用。

对于无明显屈服点的钢筋,为了使钢筋在使用过程中有一定的安全储备,《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)规定,取钢筋产生塑性残余应变为 0.2% 时所对应的应力作为强度指标,称为条件屈服强度。用 $\sigma_{0.2}$ 表示,其值相当于极限抗拉强度的 85%,即 $0.85\sigma_u$ 。

2. 钢筋的强度

(1) 强度标准值

为了保证钢材质量,《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)规定,钢筋强度的标准值应具有不小于 95% 的保证率。即钢筋出厂前要进行抽样检验,检验的标准为废品限值。当某批钢筋实测屈服强度低于废品限值时,认为该批钢筋为废品,不得出厂。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)规定,以国家标准规定的限值作为确定标准强度的依据。各类钢筋的强度标准值应按表 1.1 采用。



表 1.1 普通钢筋强度标准值

种类	符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 f_{yk} $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$	极限强度标准值 f_{stk} $/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$
HPB300	ϕ	6~22	300	420
HRB335、HRBF335	ϕ 、 ϕ^F	6~50	335	455
HRB400、HRBF400、RRB400	ϕ 、 ϕ^F 、 ϕ^R	6~50	400	540
HRB500、HRBF500	ϕ 、 ϕ^F	6~50	500	630

注:当采用直径大于 40 mm 的钢筋时,应经相应的试验检验或有可靠的工程经验。

预应力钢绞线、钢丝和精轧螺纹钢筋的抗拉强度、屈服强度标准值应按表 1.2 采用。

表 1.2 预应力筋强度标准值 (N/mm^2)

种类		符号	公称直径/mm	屈服强度 f_{pyk} /(N·mm ⁻²)	抗拉强度 f_{ptk} /(N·mm ⁻²)
中强度 预应力钢丝	光面 螺旋肋	ϕ^{PM} ϕ^{HM}	5、7、9	680	800
				820	970
				1 080	1 270
消除应 力钢丝	光面 螺旋肋	ϕ^P ϕ^H	5	1 330	1 570
			7	1 580	1 860
			9	1 330	1 570
				1 330	1 470
				1 250	1 570
钢绞线	1×3 (三股)	ϕ^S	6.5、8.6、 10.8、12.9	1 330	1 570
				1 580	1 860
				1 660	1 960
	1×7 (七股)		9.5、12.7、15.2	1 460	1 720
				1 580	1 860
				1 660	1 960
				21.6	1 460
预应力螺 纹钢筋	螺旋纹	ϕ^T	18、25、32、 40、50	785	980
				930	1 080
				1 080	1 230

注:1. 消除应力钢丝、中强度预应力钢丝及钢绞线的条件屈服强度取为抗拉强度的 0.85;

2. 预应力螺纹钢筋的屈服强度根据国家标准《预应力混凝土用螺纹钢筋》(GB/T 20065—2006)确定。

(2)强度设计值

材料强度的设计值是在材料强度标准值的基础上,除以材料性能分项系数(>1)后所得的值。材料强度的设计值用于进行结构的承载力验算。

普通钢筋强度设计值见表 1.3,预应力筋强度设计值见表 1.4。