



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）



普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）

（第二版）

混凝土结构与砌体结构

尹维新 主 编
李靖颀 李元美 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）



普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）

（第二版）

混凝土结构与砌体结构

主 编	尹维新		
副主编	李靖颀	李元美	
编 写	刘红宇	刘 宏	那瑞萍
	孟宪建	陈燕群	
主 审	范文昭	王治宪	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育），同时纳入普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。

本书按照全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会土建施工类专业指导分委员会关于建筑工程技术专业对本课程的教学基本要求，在第一版基础上，根据《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）、《砌体结构设计规范》（GB 50003—2011）及其相应的施工质量验收规范等现行国家标准修订而成。全书共十三章，主要内容包括：钢筋和混凝土材料的力学性能，结构设计基本原则，受弯构件正截面和斜截面承载力计算，钢筋混凝土构件的裂缝控制和挠度验算，钢筋混凝土梁板结构的设计，受扭、受压及受拉构件承载力计算，预应力混凝土构件计算，单层厂房排架结构、多层框架结构房屋和砌体结构的设计等。同时，依据教学内容、进度和环节，编写了相应的工程设计计算实例和实训题以及设计实训任务书。

全书注重工学结合，突出职业能力培养，具有较强的实用性和通用性，既可作为高职高专建筑工程技术及相关专业的教材，也可作为土木工程技术人员的学习用书，以及考取职业资格证书的学习用书。

图书在版编目（CIP）数据

混凝土结构与砌体结构/尹维新主编. —2版. —北京：中国电力出版社，2011.11

普通高等教育“十二五”规划教材·高职高专教育

普通高等教育“十一五”国家级规划教材·高职高专教育

ISBN 978-7-5123-2370-4

I. ①混… II. ①尹… III. ①混凝土结构—高等职业教育—教材②砌块结构—高等职业教育—教材 IV. ①TU37②TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 236907 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 2 月第一版

2012 年 1 月第二版 2013 年 1 月北京第五次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25 印张 609 千字

定价 43.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书是按照高等职业教育建筑工程技术专业应用型人才的培养目标、规格以及本课程的教学大纲，以我国现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）和《砌体结构设计规范》（GB 50003—2011）及其相应的施工质量验收规范等现行规范为依据，经广泛征求有关院校师生和建筑企业技术人员的意见后编写的。

本书在编写中，紧紧围绕职业能力的培养，以工学结合为主线构建课程新体系。按受弯构件的正截面与斜截面承载力计算、裂缝与挠度验算以及梁板结构的设计安排教学内容，并增加了钢筋混凝土外伸梁的设计计算实例和施工图的绘制以及实训题。同时，将受扭构件的截面承载力计算与雨篷的结构设计编入同一章，增加了雨篷的设计计算实例和实训题。对受压构件的承载力计算不仅编写了典型的算例，而且也增加了钢筋混凝土柱的设计计算实例和实训题。对钢筋混凝土梁板结构、单层厂房排架结构和多层框架结构房屋分别编写了详实的设计计算实例和可组合出多种实训方案的设计实训任务书。对砌体结构同样编写了设计计算实例和实训题。总之，本书既可从多方面满足各院校实际教学的需要，也符合实际工程的要求。

本书内容包括绪论；钢筋和混凝土材料的力学性能；结构设计基本原则；受弯构件正截面和斜截面承载力计算；钢筋混凝土构件的裂缝控制和挠度验算；钢筋混凝土梁板结构；受扭、受压及受拉构件承载力计算；预应力混凝土构件计算；单层厂房排架结构、多层框架结构房屋与砌体结构的设计及有关构造要求。同时，书中各章编写了提要和小结，主要章节均配有针对性和实用性较强的算例、思考题、习题与实训题（有*号）、设计计算实例以及实训任务书。因此，本书除作为高职高专建筑工程技术专业 and 函授土建类有关专业的教学用书外，还可作为土木工程技术人员的技术参考书和考取职业资格证书的学习用书。

参加本书编写工作的有太原电力高等专科学校尹维新（绪论、第一章、第二章）、刘宏（第五章、第十一章）、刘红宇（第十三章），太原大学李靖颀（第四章）、孟宪建（第六章、第七章），太原城市职业技术学院那瑞萍（第八章、第九章、第十章），山东城市建设职业学院李元美（第十二章），广东水利电力职业技术学院陈燕群（第三章）。本书多媒体课件由尹维新、刘红宇、刘宏编写和制作。本书是2008年国家级精品课程（高职高专）混凝土结构的选用教材，在教学过程中可登录<http://jpkc.sxu.ec.edu.cn/hntjg/chinese/index.htm> 网站查阅有关教学资源。本书由尹维新主编并统稿，李靖颀、李元美担任副主编，山西建筑职业技术学院范文昭教授和山西工程职业技术学院王治宪教授担任主审。

本书在编写过程中，参考并引用了所列参考文献等有关资料，在此向作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，诚恳地希望读者批评指正。

编者

2011年11月

第一版前言

本书是按照高等职业教育建筑工程技术专业应用型人才的培养目标、规格以及本课程的教学大纲，以我国现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002）和《砌体结构设计规范》（GB 50003—2001）等规范为依据，经广泛征求有关院校师生和建筑企业技术人员的意见后编写的。

本书在编写中，紧紧围绕职业能力的培养，以工学结合为主线构建课程新体系。按受弯构件的正截面与斜截面承载力计算、裂缝与变形验算以及梁板结构的设计安排教学内容，并增加了钢筋混凝土外伸梁的设计计算实例和施工图的绘制以及实训题。同时，将受扭构件的截面承载力计算与雨篷的结构设计编入同一章，增加了雨篷的设计计算实例和实训题。对受压构件的承载力计算不仅编写了典型的算例，而且也增加了钢筋混凝土柱的设计计算实例和实训题。对混凝土梁板结构、单层厂房排架结构和多层框架结构房屋分别编写了详实的设计计算实例和可组合出多种实训方案的设计实训任务书。对砌体结构同样编写了设计计算实例和实训题。总之，本书既可从多方面满足各院校实际教学的需要，也符合实际工程的要求。

本书内容包括绪论；钢筋和混凝土材料的力学性能；结构设计基本原则；受弯构件正截面和斜截面承载力计算；钢筋混凝土构件的裂缝及变形验算；混凝土梁板结构设计；受扭、受压及受拉构件承载力计算；预应力混凝土构件计算；单层厂房排架结构、多层框架结构房屋与砌体结构的设计及有关构造要求。同时，书中主要章节均配有针对性和实用性较强的算例、思考题、习题与实训题（有*号）、设计计算实例以及实训任务书。因此，本书除作为高职高专建筑工程技术专业 and 函授土建类有关专业的教学用书外，还可作为土木工程技术人员的技术参考书和考取职业资格证书的学习用书。

参加本书编写工作的有太原电力高等专科学校尹维新（绪论、第二章、第十一章）、刘红宇（第十三章），太原大学李靖颀（第四章、第五章第四节）、孟宪建（第六章、第七章），山东城市建设职业学院李元美（第一章、第十二章），山西建筑职业技术学院段春花（第三章、第五章第一节～第三节），太原城市职业技术学院那瑞萍（第八章、第九章、第十章）。本书多媒体课件由尹维新（第三章、第五章、第十一章、第十二章）、刘红宇（绪论、第一章、第二章、第十三章）、李清颀（第四章）、孟宪建（第六章、第七章）、那瑞萍（第八章、第九章、第十章）编写和制作。国家级精品课程（高职高专）混凝土结构使用了本教材，在教学过程中可登录 <http://jpkc.sxuec.edu.cn/hntjg> 网站查阅有关教学资源。全书由尹维新主编，李靖颀、李元美副主编，太原理工大学刘良伟和山西建筑职业技术学院范文昭担任主审。

本书在编写过程中，参考并引用了所列参考文献等有关资料，在此向作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，诚恳地希望读者批评指正。

编者

2007年9月

目 录

前言	
第一版前言	
绪论	1
绪论提要	1
第一节 建筑结构的一般概念	1
第二节 钢筋混凝土结构的特点	1
第三节 混凝土结构的发展及应用简况	3
第四节 课程内容及教学中注意的问题	3
绪论小结	4
思考题	4
第一章 钢筋和混凝土材料的力学性能	5
本章提要	5
第一节 钢筋	5
第二节 混凝土	8
第三节 钢筋与混凝土的粘结	13
本章小结	16
思考题	17
第二章 结构设计基本原则	18
本章提要	18
第一节 基本概念	18
第二节 结构功能和可靠度	21
第三节 极限状态设计法	23
第四节 混凝土结构耐久性设计	28
本章小结	31
思考题	32
第三章 受弯构件正截面承载力计算	33
本章提要	33
第一节 概述	33
第二节 受弯构件的基本构造要求	34
第三节 受弯构件正截面受力性能	36
第四节 受弯构件正截面承载力计算的基本理论	38
第五节 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	41
第六节 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	48
第七节 T形截面受弯构件正截面承载力计算	53

本章小结	59
思考题	60
习题与实训题	61
第四章 受弯构件斜截面承载力计算	62
本章提要	62
第一节 概述	62
第二节 无腹筋梁斜截面受剪性能	62
第三节 有腹筋梁斜截面受剪性能与承载力计算公式	65
第四节 斜截面受剪承载力计算方法	69
第五节 构造要求	74
第六节 钢筋混凝土外伸梁设计计算实例	79
本章小结	83
思考题	83
习题与实训题	84
第五章 钢筋混凝土构件的裂缝控制和挠度验算	86
本章提要	86
第一节 概述	86
第二节 钢筋混凝土构件裂缝控制验算	87
第三节 受弯构件的挠度验算	90
第四节 钢筋混凝土外伸梁挠度和裂缝控制验算实例	92
本章小结	93
思考题	94
习题	94
第六章 钢筋混凝土梁板结构	95
本章提要	95
第一节 概述	95
第二节 整体式单向板肋形楼盖	96
第三节 整体式单向板肋形楼盖设计计算实例	112
第四节 整体式双向板肋形楼盖	121
第五节 楼梯	126
本章小结	134
思考题	135
习题与实训题	135
钢筋混凝土肋形楼盖设计实训任务书	136
第七章 受扭构件承载力计算	138
本章提要	138
第一节 概述	138
第二节 矩形截面纯扭构件承载力计算	138
第三节 弯剪扭构件承载力计算	141
第四节 雨篷	144

第五节 钢筋混凝土雨篷设计计算实例·····	145
本章小结·····	149
思考题·····	150
习题与实训题·····	150
第八章 受压构件承载力计算·····	151
本章提要·····	151
第一节 受压构件的计算分类及配筋构造·····	151
第二节 轴心受压构件承载力的计算·····	153
第三节 偏心受压构件正截面承载力计算·····	156
第四节 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算方法·····	162
第五节 T形和工字形截面偏心受压构件正截面承载力计算方法·····	173
第六节 受压构件斜截面受剪承载力计算·····	177
第七节 钢筋混凝土柱设计计算实例·····	178
本章小结·····	179
思考题·····	180
习题与实训题·····	180
第九章 受拉构件承载力计算·····	183
本章提要·····	183
第一节 概述·····	183
第二节 轴心受拉构件正截面承载力计算·····	183
第三节 偏心受拉构件承载力计算·····	184
本章小结·····	187
思考题·····	187
习题·····	188
第十章 预应力混凝土构件计算·····	189
本章提要·····	189
第一节 预应力混凝土的基本概念·····	189
第二节 预加应力的方法·····	190
第三节 预应力混凝土材料及锚夹具·····	192
第四节 张拉控制应力和预应力损失·····	194
第五节 预应力混凝土轴心受拉构件计算·····	199
第六节 预应力混凝土轴心受拉构件设计示例·····	207
第七节 预应力混凝土构件的构造规定·····	209
本章小结·····	211
思考题·····	211
习题·····	212
第十一章 单层厂房排架结构·····	213
本章提要·····	213
第一节 概述·····	213
第二节 排架结构的组成·····	213

第三节	排架结构的布置和构件选型	215
第四节	排架结构的内力分析与组合	222
第五节	排架柱的设计	234
第六节	柱下单独基础设计	238
第七节	单层厂房排架结构设计计算实例	244
本章小结		265
思考题		265
习题与实训题		266
单层单跨装配式钢筋混凝土排架结构厂房设计实训任务书		267
第十二章	多层框架结构房屋	269
本章提要		269
第一节	多高层建筑结构体系简介	269
第二节	框架结构房屋的结构布置	272
第三节	框架杆件的截面尺寸和计算简图	273
第四节	竖向荷载作用下的内力近似计算	274
第五节	水平力作用下的内力近似计算	278
第六节	框架结构侧移的近似计算及限值	287
第七节	框架结构的 $P\sim\Delta$ 效应计算	288
第八节	框架结构的内力组合与截面设计要点	289
第九节	现浇框架结构的节点构造	290
第十节	现浇框架结构办公楼设计计算实例	292
本章小结		302
思考题		302
习题与实训题		302
现浇混凝土框架结构办公楼设计实训任务书		303
第十三章	砌体结构	306
本章提要		306
第一节	概述	306
第二节	砌体材料及种类	307
第三节	砌体的耐久性	313
第四节	砌体的力学性能	314
第五节	砌体构件承载力计算	323
第六节	砌体结构房屋墙体设计	345
第七节	砌体结构房屋墙体设计计算实例	364
第八节	过梁与挑梁的设计	367
本章小结		373
思考题		374
习题与实训题		375
附表 1	均布荷载和集中荷载作用下等跨连续梁的内力系数表	378
附表 2	按弹性理论计算矩形双向板在均布荷载作用下的弯矩系数表	385
参考文献		389

绪 论

绪论提要 绪论简要介绍建筑结构的概念，混凝土结构的类型及其发展和应用情况，重点叙述钢筋混凝土结构的工作原理及特点，同时说明本课程的教学内容及教学中应注意的问题。

第一节 建筑结构的一般概念

在土建工程中，由屋架、梁、板、柱、墙体和基础等构件组成并能满足预定功能要求的承力体系称为建筑结构。建筑结构按所用材料可分为如下几类：

(1) 混凝土结构。混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构。包括不配置钢筋或不考虑钢筋受力的素混凝土结构；配置受力普通钢筋的钢筋混凝土结构；具有受力的预应力筋，通过张拉预应力筋或其他方法建立预加应力的预应力混凝土结构；将型钢作为配筋的骨架混凝土结构；由钢管和混凝土组成的钢管混凝土结构；在混凝土中掺入钢纤维、合成纤维等纤维材料构成的纤维混凝土结构等，如图 0-1 所示。实际工程中，应用较多的是钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

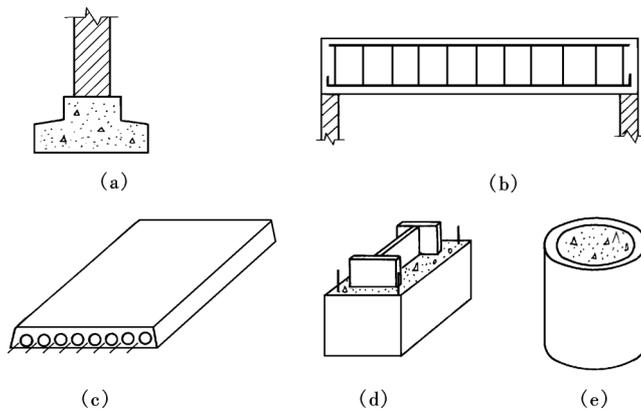


图 0-1 混凝土结构的常见形式

(a) 素混凝土基础；(b) 钢筋混凝土梁；(c) 预应力混凝土空心楼板；
(d) 钢筋混凝土柱；(e) 钢管混凝土柱

- (2) 砌体结构。砌体结构是以砌体材料为主，并根据需要配置钢筋而构成的结构。
- (3) 钢结构。钢结构是指以钢材为主要材料制成的结构。
- (4) 木结构。木结构为全部或大部分承力构件由木材制成的结构。

第二节 钢筋混凝土结构的特点

钢筋和混凝土的物理力学性能有着较大的差异。混凝土的抗压强度较高，而抗拉强度却很低，一般仅为抗压强度的 $1/20 \sim 1/8$ 。同时混凝土在荷载作用下具有明显的脆性破坏特

征。钢筋的抗拉强度和抗压强度都较高,在荷载作用下,显示出良好的变形性能,但不能单独承受压力荷载。将混凝土和钢筋科学合理的结合在一起形成钢筋混凝土,就可充分发挥它们的性能优势。

试验表明,用素混凝土制作的梁,如图 0-2 (a) 所示,在跨中集中荷载 F 作用下,当梁的跨中截面受拉区边缘拉应力达到混凝土的抗拉强度时,下部混凝土很快开裂,梁就突然断裂破坏。此时,梁的开裂荷载 F_{cr} 与破坏荷载 F_u 基本相等,破坏无明显的预兆,属于脆性破坏,承载力很低。而且,梁在破坏时上部受压区产生的压应力远小于混凝土的抗压强度,混凝土的抗压性能未被充分利用。

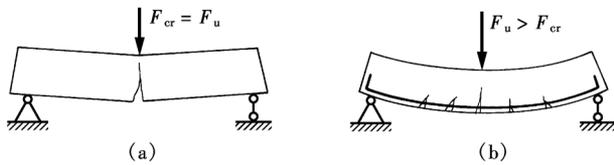


图 0-2 混凝土梁的破坏

(a) 素混凝土梁; (b) 钢筋混凝土梁

如果在图 0-2 (a) 所示梁的下部受拉区内配置适量的受拉钢筋,如图 0-2 (b) 所示,当荷载达到 F_{cr} 时,梁的受拉区出现裂缝,但并未破坏,受拉区拉力转由钢筋承担。荷载继续增大,受拉钢筋首先屈服,裂缝进一步向上扩展延伸,最后因受压区混凝土达到抗压强度被压碎,梁随即破坏。破坏荷载 F_u 明显地高于开裂荷载 F_{cr} ,两种材料的强度均得到充分的利用,且具有明显的破坏预兆,属于延性破坏。

钢筋和混凝土所以能够结合在一起并有效的共同工作,原因主要有以下几点:

- 1) 钢筋和混凝土的接触面上存在着良好的粘结力,可以保证两者协调变形,整体工作。
- 2) 钢筋与混凝土的温度线膨胀系数基本相同,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,两者不会因温度变化导致粘结力破坏。

3) 钢筋的混凝土保护层可以防止钢筋锈蚀,保证结构的耐久性。

钢筋混凝土除了能充分利用钢筋和混凝土材料的性能外,尚有以下优点:

- 1) 耐久性好。混凝土的强度随时间的增加而有所提高,钢筋由于混凝土的保护而不锈蚀,因此,钢筋混凝土的耐久性可满足工程要求。
- 2) 耐火性好。混凝土是不良的热导体,厚度为 30mm 的混凝土保护层可耐火 2h,钢筋不致因升温过快而丧失承载力,故比木结构、钢结构耐火性好。
- 3) 整体性好。现浇钢筋混凝土结构的整体性好,有利于抗震、抗爆、防辐射。
- 4) 可模性好。根据使用需要,可将混凝土浇筑成各种形状和各种尺寸的结构。
- 5) 便于就地取材。混凝土所用大量的砂、石等来源广,可就地取材,经济方便。

由于钢筋混凝土具有上述优点,因此在土建工程中得到了广泛的应用。但是,也存在以下的一些缺点:

1) 自重大。普通混凝土的自重大,不适用于高层、大跨结构。目前,正在大力研究并发展轻质高强、高性能混凝土。

2) 抗裂性差。普通钢筋混凝土结构在正常使用期间,一般总是带裂缝工作的。这不仅会影响结构的耐久性,而且也不适用于对防渗、防漏要求较高的结构。使用预应力混凝土结构是解决混凝土开裂的有效途径。

3) 施工复杂。现浇钢筋混凝土工序多,工期长,受季节、气候影响大。采用早强混凝土、泵送混凝土、免振自密实混凝土和多种先进的施工技术,可极大地提高施工效率。

第三节 混凝土结构的发展及应用简况

混凝土结构在土建工程中的应用历史虽然较短,但其在材料性能、结构类型、施工技术、设计计算理论与方法和工程应用等方面的发展非常快,大体上可分为以下三个阶段:

第一阶段是19世纪50年代~20世纪20年代。在这个阶段,由于所用的钢筋和混凝土的强度比较低,因此钢筋混凝土仅用于建造中小型楼板、梁、柱、拱和基础等构件。钢筋混凝土的设计计算采用以弹性理论为基础的容许应力法。

第二阶段是20世纪20~50年代。由于钢筋和混凝土的强度不断提高,特别是预应力混凝土的出现,使得混凝土结构可用于建造大跨度结构、高层建筑以及对抗震、防裂等有较高要求的结构,大大地扩展了混凝土结构的应用范围。混凝土结构构件的设计计算方法采用了考虑混凝土塑性性能的破坏阶段法。同时,提出了更为科学合理的极限状态设计法。

第三阶段是20世纪50年代至现在。这个阶段是混凝土技术飞速发展的时期。随着人们对建筑功能和建设速度要求的不断提高,出现了轻质、高强、高性能的混凝土和高强、高延性、低松弛的钢筋与钢丝等新型结构材料,为大量的建造超高层建筑、大跨度桥梁等创造了条件。目前,世界上最高的钢筋混凝土建筑是阿拉伯联合酋长国的迪拜大楼,高828m,地上160层。我国上海的环球金融中心,高492m,地上101层,主体为钢筋混凝土结构。世界上最高的电视塔是加拿大的多伦多电视塔,主体为预应力混凝土结构,高549m。我国最高的电视塔是上海东方明珠电视塔,采用钢筋混凝土结构,总高468m。

在结构构件设计计算理论方面,目前采用以概率理论为基础的极限状态设计法。随着对结构材料性能和受力性能的深入研究、试验手段和测试技术的进步以及计算科学的发展,结构设计计算理论和方法将更趋完善。

总之,混凝土结构的发展及应用已进入了一个新时期。

第四节 课程内容及教学中注意的问题

本教材由“混凝土结构”和“砌体结构”两部分组成。通过教学,使学生掌握混凝土结构和砌体结构的基本概念、基本理论和设计计算方法,为从事土建工程设计、施工及管理工工作打下基础。

本教材主要讲述混凝土结构和砌体结构的材料性能、设计计算原则、基本构件的受力性能与设计计算方法、结构设计计算方法及相应的构造要求等内容。基本构件包括受弯构件、受剪构件、受扭构件、受压构件和受拉构件,是组成工程结构的基本单元,其受力性能与理论分析构成了混凝土结构和砌体结构的基本理论。结构设计包括梁板结构、单层厂房排架结构、多层框架结构及砌体结构房屋的结构布置、荷载计算、受力体系、内力分析与组合以及配筋构造等,是基本理论在实际工程中的应用与延伸。

在教学中应注意以下几点:

1) 混凝土结构和砌体结构的基本构件是由混凝土、钢筋、块体、砂浆等两种或两种以上材料组成的构件,混凝土和砌体又是非匀质、非弹性的材料。因此材料力学公式一般不能直接应用于混凝土结构与砌体结构的基本构件设计计算,但其解决问题的理论分析方法同样适用。

2) 混凝土结构和砌体结构的基本理论和计算公式需要通过大量的科学试验研究才能建

立；同时，为保证结构的可靠性，还必须经过工程验证方可应用。因此，在学习中，要注意试验研究结果，重视受力性能分析，掌握计算公式的适用范围和限制条件，以便正确的应用公式解决实际工程问题。

3) 结构设计不仅要考虑结构体系受力的合理性，而且要考虑使用功能、材料供给、地形地质、施工技术和经济合理等方面的因素，因而是一个综合性很强的问题。同时在实际设计工作中，同一工程问题可有多种解决的方案供选择，其结果不是唯一的。所以，在教学时，要注意培养分析问题、解决问题的综合能力。

4) 混凝土结构和砌体结构具有较多的工程构造措施，这些都是长期的科学试验与大量的工程实践积累起来的，是保证结构安全可靠必不可少的条件，必须给予足够的重视。

5) 混凝土结构与砌体结构是实践性较强的课程。在教学中，应加强工学结合，注重实训教学，突出职业能力培养。

6) 为了在土木工程建设中，贯彻国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，国家颁布了一系列设计规范和标准。这些规范和标准具有约束性和立法性，必须认真执行。本教材主要依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) (以下简称《规范》)、《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) (以下简称《荷载规范》)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011) (以下简称《砌体规范》)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) (以下简称《地基基础规范》) 等编写。在学习时，要注意熟悉规范，并正确地应用规范。

绪 论 小 结

1. 建筑结构按所用的主要材料分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构，其中混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和钢骨架混凝土结构等。实际工程中，应用较多的是钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

2. 把混凝土和钢筋这两种力学性能不同的材料科学合理地结合在一起形成钢筋混凝土结构，不仅可充分发挥材料的特性，而且可满足建筑结构预定的功能要求。

3. 钢筋和混凝土能够结合在一起共同工作的主要原因是两者在接触面间存在着良好的粘结力，且具有相近的温度线膨胀系数。

4. 钢筋混凝土结构具有材料利用合理、耐久性与耐火性较好、现浇结构抗震能力强等优点，但缺点是结构自重大、抗裂性差、施工受季节气候影响大、不易维修。

5. 钢筋混凝土的发展方向是采用轻质、高强、高性能的混凝土和高强、高延性、低松弛的钢筋与钢丝等新型结构材料。

思 考 题

- 0-1 混凝土结构包括哪些结构种类？
- 0-2 钢筋混凝土梁破坏时有哪些特点？
- 0-3 钢筋与混凝土能够结合在一起共同工作的原因是什么？
- 0-4 钢筋混凝土结构有何优、缺点？
- 0-5 在学习本课程的过程中，应注意哪些问题？

第一章 钢筋和混凝土材料的力学性能

本章提要 本章介绍混凝土结构常用钢筋和混凝土材料的强度和变形性能以及材料的选择原则；简要叙述钢筋和混凝土的粘结机理以及为保证钢筋和混凝土共同工作必须采取的工程构造措施。

第一节 钢 筋

一、钢筋的品种和等级

在建筑结构中，将用于混凝土结构构件中的各种非预应力筋总称为普通钢筋，而将用于混凝土结构构件中施加预应力的钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋总称为预应力筋。普通钢筋是指由低碳钢、普通低合金钢或细晶粒钢在高温下直接轧制而成的热轧钢筋；其中的细晶粒钢筋是为节约低合金资源，采用控温轧制工艺生产的。普通钢筋的牌号、强度等级及表示符号按性能分为 HPB300 级— Φ 、HRB335 级— Φ 、HRB400 级— Φ 、RRB400 级— Φ^R 、HRB500 级— Φ 以及 HRBF335 级— Φ^F 、HRBF400 级— Φ^F 、HRBF500 级— Φ^F 。普通钢筋的外形除 HPB300 级钢筋为光圆外，其余均为月牙纹变形钢筋。预应力筋包括中强度预应力钢丝、消除应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋（又称精轧螺纹粗钢筋）。中强度预应力钢丝的极限抗拉强度标准值为 800~1270MPa，当外形为光圆时用符号 Φ^{PM} 表示，外形为螺旋肋时用符号 Φ^{HM} 表示，可用于中、小跨度的预应力混凝土构件。消除应力钢丝的极限抗拉强度标准值为 1470~1860MPa，当外形为光圆时用符号 Φ^P 表示，外形为螺旋肋时用符号 Φ^H 表示。钢绞线是由多股高强钢丝绞织而成的，其极限抗拉强度标准值为 1570~1960MPa，用符号 Φ^S 表示。预应力螺纹钢筋的极限抗拉强度标准值为 980~1230MPa，用符号 Φ^S 表示，可用螺丝套筒连接和螺帽锚固。

常用钢筋、钢丝和钢绞线的外形如图 1-1 所示。

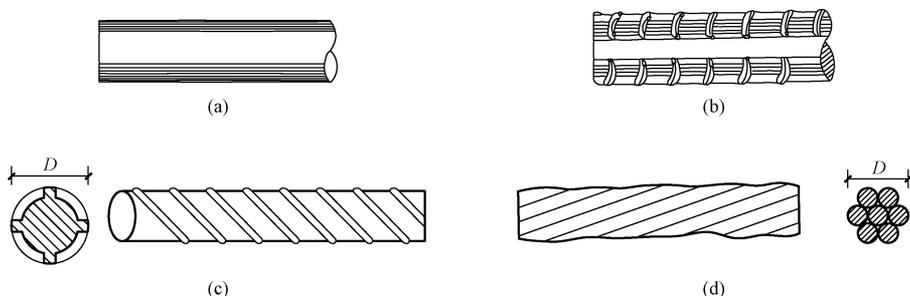


图 1-1 钢筋、钢丝和钢绞线的外形

(a) 光圆钢筋；(b) 月牙纹钢筋；(c) 螺旋肋钢丝；(d) 钢绞线

二、钢筋的强度和变形

钢筋接受拉时的应力—应变关系特点不同分为有明显屈服点钢筋，如热轧钢筋；无明显

屈服点钢筋，如高强钢丝。

1. 有明显屈服点的钢筋

有明显屈服点的钢筋受拉的典型应力—应变曲线如图 1-2 (a) 所示。对应于 a 点的应力称为比例极限， a 点以前的应力与应变成正比关系，即 $\sigma = E_s \varepsilon$ ， E_s 为钢筋弹性模量。过 a 点后，应变增长相对较快。应力达到 b 点，钢筋进入屈服阶段，此时应力保持不变，而应变急剧增加， b 点的应力称为屈服强度 f_y 。 c 点以后，应力又继续上升，随着应变增加，应力曲线上升至最高点 d ， d 点的应力称为极限强度 f_u 。过 d 点后，试件产生颈缩现象，断面减小，变形迅速增大，应力明显降低，直至 e 点试件断裂。

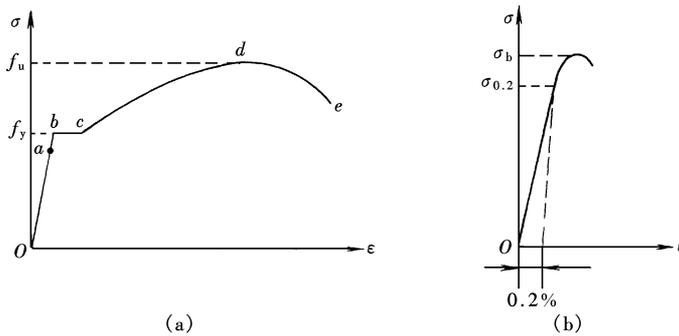


图 1-2 钢筋的应力—应变关系曲线
(a) 有明显屈服点钢筋；(b) 无明显屈服点钢筋

由于有明显屈服点钢筋的应力达到屈服强度后，将在荷载基本不变的情况下，发生较大的塑性变形，从而引起钢筋混凝土构件产生很大的变形，出现不可闭合的裂缝。因此，对有明显屈服点的钢筋，在构件设计中以屈服强度作为钢筋强度设计取值的依据。

钢筋的极限抗拉强度反映了钢筋的强度储备。《规范》要求，按一、二、三级抗震等级设计的框架，其纵向受力普通钢筋的极限抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值，即强屈比不应小于 1.25。

在钢筋混凝土中，钢筋不仅要具有较高的强度，而且要有足够的塑性变形能力。伸长率和冷弯性能是反映钢筋塑性性能的基本指标。

钢筋的伸长率越大，则塑性能量就越好，破坏前的预兆越明显，这种破坏属于延性破坏；反之，钢筋的塑性性能差，破坏具有突然性，这种破坏属于脆性破坏。《规范》用钢筋在最大拉力（极限强度）下的总伸长率（又称均匀伸长率） δ_{gt} 表示钢筋的变形能力，普通钢筋和预应力筋的总伸长率 δ_{gt} 最低限值见表 1-1。

表 1-1 普通钢筋及预应力筋在最大力下的总伸长率限值

钢筋品种	普通钢筋			预应力筋
	HPB300	HRB335、HRBF335、 HRB400、HRBF400、 HRB500、HRBF500	RRB400	
δ_{gt} (%)	≥ 10.0	≥ 7.5	≥ 5.0	≥ 3.5

冷弯是将钢筋围绕直径为 D 的钢辊进行弯曲，当达到规定的角度 α 后，如图 1-3 所示，

钢筋无裂纹或断裂现象。钢辊直径 D 越小，钢筋弯曲角度 α 越大，表明其塑性性能越好。

有明显屈服点的钢筋，它的屈服强度、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能是进行质量检验的主要指标。

另外，当钢筋受压时，在屈服阶段之前其压应力与压应变的变化曲线与钢筋受拉基本相同。

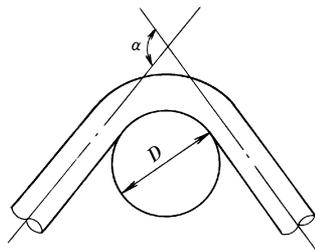


图 1-3 钢筋的冷弯

2. 无明显屈服点钢筋

无明显屈服点的钢筋受拉的典型应力—应变曲线如图

1-2 (b) 所示。从图 1-2 (b) 可见，无明显屈服点的钢筋是没有屈服阶段的，其强度较高，伸长率很小，塑性变形能力较差。最大拉应力 σ_b 称为极限抗拉强度。

对无明显屈服点的钢筋，一般取相应于残余应变为 0.2% 时的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为钢筋强度设计取值的依据，也称为条件屈服强度。对预应力钢丝、钢绞线一般可取条件屈服强度为 $0.85\sigma_b$ 。

无明显屈服点的钢筋是以极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能作为质量检验的指标。

3. 钢筋的弹性模量

各种钢筋的强度相差较大，但其弹性模量较为接近。用于工程设计的钢筋弹性模量 E_s 见表 1-2。

表 1-2 钢筋弹性模量

钢筋牌号或种类	E_s (MPa)
HPB300 钢筋	2.10×10^5
HRB335、HRB400、HRB500、HRBF335、HRBF400 钢筋 RRB400、HRBF500 钢筋、预应力螺纹钢筋	2.00×10^5
消除应力钢丝、中强度预应力钢丝	2.05×10^5
钢绞线	1.95×10^5

注 必要时可采用实测的弹性模量。

三、钢筋的冷加工

在实际工程中，为了提高钢筋的强度，节约钢材，在常温下通过拉伸等方法对热轧钢筋进行机械加工，制成的钢筋称为冷加工钢筋。冷加工钢筋包括冷拉、冷拔、冷轧和冷轧扭钢筋。

冷拉钢筋是将热轧钢筋拉伸超过其屈服阶段进入强化阶段，然后卸荷至零所得到的钢筋。冷拉钢筋的抗拉强度有所提高，但抗压强度维持不变，伸长率减少，塑性降低。

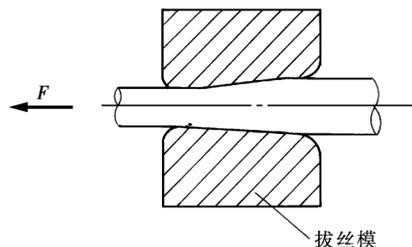


图 1-4 钢筋冷拔

冷拔钢丝是将热轧钢筋用强力从比其直径小的硬质合金拔丝模拔出而成的钢筋，如图 1-4 所示。经多次冷拔后，钢丝的抗拉强度和抗压强度都有大幅度的提高，但其伸长率显著的减小。

冷轧钢筋是指以热轧圆盘条为母材，经冷拉或冷拔减径后，在其表面轧制具有两面或三面月牙纹横肋

的冷轧带肋钢筋。冷轧带肋钢筋与冷拔钢丝的强度基本接近，但塑性较好。由于冷轧带肋钢筋表面具有横肋，与混凝土的粘结较好，故成为冷拔钢丝的换代产品。

冷轧扭钢筋是将低碳钢热轧圆盘条经专用钢筋冷轧扭机调直，冷轧、冷扭一次成型，形成具有规定截面形状和节距的连续螺旋状钢筋。冷轧扭钢筋的抗拉强度比轧制前母材的强度有很大的提高，但伸长率也减少较多。

对钢筋进行冷加工，钢筋的强度虽然得到了提高，但塑性降得较低，不利于提高结构的整体性能，故《规范》未列入各类冷加工钢筋。当在实际工程中应用时，应符合专门的技术规程。

近年来我国已生产出较多的钢筋新品种。例如环氧树脂涂层钢筋，这种钢筋主要用于海洋工程、有地下水作用的工程，以及易受侵蚀性介质作用的工程，其设计和使用同一般受力钢筋。但是由于表面状态改变影响粘结锚固性能，锚固长度需增加 25%。

四、结构对钢筋性能的要求

钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求主要有如下几方面：

(1) 强度。一般应选用强度较高的钢筋。因为采用强度较高的钢筋，构件的配筋量减少，不仅节约钢材，有利于提高经济效益；而且可避免因配筋密集而造成设计、施工困难，并且可减少钢筋的运输、加工、现场绑扎等工作量。为此，《规范》规定：纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400 级、HRB500 级、HRBF400 级和 HRBF500 级，也可采用 HPB300 级、HRB335 级、HRBF335 级和 RRB400 级；梁、柱的纵向受力普通钢筋应采用 HRB400 级、HRB500 级、HRBF400 级和 HRBF500 级；箍筋宜采用 HRB400 级、HRBF400 级、HPB300 级、HRB500 级和 HRBF500 级，也可采用 HRB335 级和 HRBF335 级。

(2) 塑性。要求钢筋应具有足够大的塑性变形能力。钢筋的塑性性能好，不仅便于施工制作，更重要的是有利于提高结构构件的延性，增强结构的抗震性能。

(3) 与混凝土的粘结。为保证钢筋和混凝土能有效地共同工作，二者之间必须具有足够大的粘结力。为此，对于强度较高的钢筋，一般均在其表面轧制月牙纹横肋、螺旋肋或者螺旋纹等，以提高粘结强度。

(4) 可焊性。为保证钢筋焊接后的质量，要求钢筋具有良好的可焊性能。目前使用的 HRB400 级、HRB500 级、HRBF400 级和 HRBF500 级主导钢筋均具有较好的焊接性能，而 RRB400 级钢筋焊接受热回火后强度可能降低。

此外，在严寒地区还应考虑对钢筋低温性能方面的要求。

第二节 混 凝 土

一、混凝土的强度

混凝土的强度包括立方体抗压强度、轴心抗压强度和抗拉强度。

1. 立方体抗压强度

混凝土立方体抗压强度是混凝土各种强度指标中最主要和最基本的指标。

《规范》根据立方体抗压强度标准值，确定混凝土强度等级。立方体抗压强度标准值是指按照标准方法制作养护边长为 150mm 的立方体试件，在 28d 或设计规定龄期用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度，以 $f_{cu,k}$ 表示，单位 MPa（也可记作 N/mm^2 ）。这