



高职高专“十二五”规划教材·土木建筑工程类



混凝土结构与砌体结构

HUNNINGTUJIEGOUYU

QITIJIEGOU

王志清 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

高职高专“十二五”规划教材·土木建筑工程类

混凝土结构与砌体结构

主 编 王志清

副主编 邵慧甫 付 颖

赵维霞 马 芸

北 京

冶金工业出版社

2010

内 容 简 介

本书按照《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)、《砌体结构设计规范》(GB50003—2001)以及相关国家标准和规范编写,本书主要介绍了钢筋混凝土材料的力学性能、结构设计基本原则、受弯构件承载力计算、受压构件承载力计算、受拉构件承载力计算、受扭构件承载力计算、钢筋混凝土构件裂缝和变形验算、预应力混凝土构件基本知识、钢筋混凝土梁板结构设计、单层厂房排架结构、钢筋混凝土框架结构房屋和砌体结构等内容。

本书编写由浅入深,针对性强,重点突出,取材注意反映基本概念和基本理论,考虑到高职高专院校的特点和实际情况,删去了一些繁琐的理论推导,对例题和习题做了精选,在保证必要的基本训练的基础上,适当降低其难度,努力拓宽知识面,尽量做到理论与实际相结合,体现职业教育教材的特点。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校和成人高校等的建筑工程类专业及相关专业教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构与砌体结构/王志清主编. —北京:冶金工业出版社, 2010.8

ISBN 978-7-5024-5381-7

I. ①混… II. ①王… III. ①混凝土结构—高等学校: 技术学校—教材②砌块结构—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TU37②TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 166523 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 刘 源

ISBN 978-7-5024-5381-7

北京天元印务有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 8 月第 1 版, 2010 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 22.5 印张; 534 千字; 351 页; 1-3000 册

35.00 元

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本教材根据教育部“高职高专教育土建类专业职业技术课教学基本要求”的培养方案及主干课程教学大纲,以国家现行设计规范规程为依据,结合编者长期教学实践的经验编写而成。

本教材共分12个项目,主要内容有:钢筋混凝土材料的力学性能,结构设计基本原则,受弯构件承载力计算,受压构件承载力计算,受拉构件承载力计算,受扭构件承载力计算,钢筋混凝土构件裂缝和变形验算,预应力混凝土构件基本知识,钢筋混凝土梁板结构设计,单层厂房排架结构,钢筋混凝土框架结构房屋和砌体结构。

教材编写时充分考虑高职教育的特色,以适应社会需求为基本出发点,以培养职业能力为目标,以“必需”、“够用”为度,以“讲解概念,强化应用”为重点,删去了一些理论推导,注意了实际应用能力的培养。教材立足于建筑工程专业教育对结构课程教学的基本要求,注重反映基本概念、基本原理和基本方法,以适应高职教育的特点。为了便于读者学习,每一个项目后均附有思考题。

通过对本教材的学习,读者可以了解建筑结构的基本原理,掌握钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能,掌握钢筋混凝土结构、砌体结构和各种基本构件的受力特点,掌握一般房屋的结构布置、截面选型及基本构件的设计与计算方法,正确理解国家建筑结构的有关规范,处理建筑结构中经常出现的问题,逐步培养和提高综合应用能力,为从事一般的结构设计、建筑工程的施工及建筑工程项目管理打下扎实的基础。

本书可作为高职高专及成人高等学校土建类专业的教学用书,也可作为结构设计等技术人员参考用书。

本书由王志清任主编,邵慧甫、付颖、赵维霞、马芸任副主编,申素芳、江兴敏、闫帅平参加编写。

由于编者水平所限,书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目 录

绪论	1
----	---

任务 0.1 建筑结构的概念	1
----------------	---

0.1.1 建筑结构的组成	1
---------------	---

0.1.2 建筑结构的分类	1
---------------	---

任务 0.2 混凝土结构和砌体结构	2
-------------------	---

0.2.1 混凝土结构	2
-------------	---

0.2.2 砌体结构	4
------------	---

任务 0.3 课程的内容、学习目标和 学习方法	5
----------------------------	---

思考题	6
-----	---

项目 1 钢筋混凝土材料的力学性能	7
-------------------	---

任务 1.1 钢筋的性能及要求	7
-----------------	---

1.1.1 钢筋的类型	7
-------------	---

1.1.2 钢筋的力学性能	8
---------------	---

任务 1.2 混凝土的力学性能	11
-----------------	----

1.2.1 混凝土的强度	11
--------------	----

1.2.2 混凝土的变形	12
--------------	----

任务 1.3 钢筋与混凝土间的粘结	14
-------------------	----

1.3.1 粘结力的组成	14
--------------	----

1.3.2 粘结强度及其影响因素	14
------------------	----

1.3.3 保证粘结的措施	15
---------------	----

思考题	15
-----	----

项目 2 结构设计基本原则	16
---------------	----

任务 2.1 结构的功能要求和极限状态	16
---------------------	----

2.1.1 结构的安全等级	16
---------------	----

2.1.2 结构的设计使用年限	16
-----------------	----

2.1.3 建筑结构的性能要求	17
-----------------	----

2.1.4 结构功能的极限状态	17
-----------------	----

任务 2.2 结构上的作用、作用效应和 结构抗力	19
-----------------------------	----

2.2.1 结构上的作用	19
--------------	----

2.2.2 作用效应	23
------------	----

2.2.3 结构抗力	23
------------	----

任务 2.3 概率极限状态设计法	24
------------------	----

2.3.1 承载能力极限状态设计 表达式	24
-------------------------	----

2.3.2 正常使用极限状态设计 表达式	25
-------------------------	----

任务 2.4 混凝土结构的耐久性	27
------------------	----

思考题	28
-----	----

项目 3 受弯构件承载力计算	29
----------------	----

任务 3.1 概述	29
-----------	----

任务 3.2 受弯构件的一般构造要求	30
--------------------	----

3.2.1 梁的一般构造要求	30
----------------	----

3.2.2 板的一般构造要求	33
----------------	----

3.2.3 混凝土保护层厚度及截面 有效高度	34
---------------------------	----

任务 3.3 受弯构件正截面承载力计算	35
---------------------	----

3.3.1 钢筋混凝土受弯构件 正截面破坏的特征	35
-----------------------------	----

3.3.2 单筋矩形截面受弯构件 正截面受弯承载力计算	37
--------------------------------	----

3.3.3 双筋矩形截面受弯构件 正截面受弯承载力计算	49
--------------------------------	----

3.3.4 T形截面梁正截面受弯承 载力计算	54
---------------------------	----

任务 3.4 受弯构件斜截面承载力计算	61
---------------------	----

3.4.1 受弯构件斜截面受剪 破坏形态	61
-------------------------	----

3.4.2 影响斜截面受剪承载力的 主要因素	62
---------------------------	----

3.4.3 斜截面受剪承载力的 计算公式	63
-------------------------	----

3.4.4 保证斜截面受弯承载力 的构造要求	71
---------------------------	----

思考题	77
-----	----

项目 4 受压构件承载力计算	79	6.2.1 纯扭构件的实验研究及破坏形态	112
任务 4.1 概述	79	6.2.2 一般受扭构件承载力计算	114
任务 4.2 受压构件的基本构造要求	79	任务 6.3 弯剪扭构件承载力计算	118
4.2.1 材料强度等级	79	6.3.1 矩形截面弯剪扭构件承载力计算	118
4.2.2 截面形式和尺寸	80	6.3.2 T 形和 I 字形截面弯剪扭构件承载力计算	123
4.2.3 纵向钢筋	80	6.3.3 受扭构件承载力公式的适用条件及构造要求	123
4.2.4 箍筋	81	思考题	128
任务 4.3 轴心受压构件承载力计算	82	项目 7 钢筋混凝土构件裂缝和变形验算	129
4.3.1 轴心受压普通箍筋柱承载力计算	82	任务 7.1 概述	129
4.3.2 轴心受压螺旋箍筋柱承载力计算	86	任务 7.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度的验算	129
任务 4.4 偏心受压构件承载力计算	88	7.2.1 裂缝的产生和开展	129
4.4.1 偏心受压构件破坏特征	88	7.2.2 裂缝宽度计算的实用方法	131
4.4.2 矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算公式	90	任务 7.3 受弯构件变形验算	135
4.4.3 矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算方法	95	7.3.1 钢筋混凝土受弯构件截面刚度的特点	135
4.4.4 偏心受压构件斜截面承载力计算	102	7.3.2 受弯构件的短期刚度 B_s	136
思考题	103	7.3.3 受弯构件的长期刚度 B	136
项目 5 受拉构件承载力计算	104	7.3.4 受弯构件的变形验算	137
任务 5.1 概述	104	思考题	139
任务 5.2 轴心受拉构件承载力计算	104	项目 8 预应力混凝土构件基本知识	140
任务 5.3 偏心受拉构件截面承载力计算	105	任务 8.1 概述	140
5.3.1 偏心受拉构件的分类	105	8.1.1 预应力混凝土的基本原理	140
5.3.2 小偏心受拉正截面承载力计算	106	8.1.2 预应力混凝土的特点	141
5.3.3 大偏心受拉正截面承载力计算	107	8.1.3 预应力混凝土的分类	142
5.3.4 偏心受拉构件斜截面承载力计算	109	8.1.4 预应力混凝土结构的应用	142
思考题	110	任务 8.2 施加预应力的方法和锚具	143
项目 6 受扭构件承载力计算	111	8.2.1 施加预应力的方法	143
任务 6.1 概述	111	8.2.2 锚具	145
任务 6.2 纯扭构件的承载力计算	112	8.2.3 预应力混凝土构件对钢筋的要求	147
		8.2.4 预应力混凝土构件对混凝土的要求	148

任务 8.3 预应力损失	148	9.5.1 现浇板式楼梯	198
8.3.1 张拉控制应力	148	9.5.2 现浇板式楼梯设计实例	201
8.3.2 预应力损失	149	9.5.3 现浇梁式楼梯	205
8.3.3 预应力损失的组合	154	任务 9.6 雨篷	207
任务 8.4 预应力混凝土构件的构造		9.6.1 雨篷板的计算	207
要求	154	9.6.2 雨篷梁的计算	207
8.4.1 一般构造要求	154	9.6.3 雨篷的抗倾覆验算	208
8.4.2 先张法构件的构造要求	155	思考题	208
8.4.3 后张法构件的构造要求	156		
思考题	157	项目 10 单层厂房排架结构	210
项目 9 钢筋混凝土梁板结构设计	159	任务 10.1 概述	210
任务 9.1 概述	159	任务 10.2 单层厂房的结构组成与	
9.1.1 现浇整体式楼盖	159	结构布置	210
9.1.2 装配式楼盖	160	10.2.1 单层厂房的结构类型	210
9.1.3 装配整体式楼盖	160	10.2.2 单层厂房排架结构的	
任务 9.2 单向板肋梁楼盖设计	160	组成	212
9.2.1 单向板和双向板	161	10.2.3 单层厂房的结构布置	214
9.2.2 结构平面布置	161	任务 10.3 单层厂房结构主要构件	
9.2.3 单向板楼盖的计算简图	162	选型	222
9.2.4 单向板楼盖的内力计算		10.3.1 单层厂房结构构件	
——弹性算法	165	选型方法	222
9.2.5 单向板楼盖的内力计算		10.3.2 屋面构件选型	222
——塑性算法	168	10.3.3 屋架选型	224
9.2.6 截面设计与构造要求	170	10.3.4 吊车梁选型	226
9.2.7 单向板肋梁楼盖设计实例	175	10.3.5 常用柱选型	227
任务 9.3 双向板肋梁楼盖设计	188	10.3.6 基础选型	228
9.3.1 双向板的受力特点	188	任务 10.4 排架内力分析	229
9.3.2 双向板按弹性理论的计算	188	10.4.1 单层厂房的荷载	230
9.3.3 双向板支承梁的计算特点	190	10.4.2 排架结构受力特点	234
9.3.4 双向板的配筋计算和		10.4.3 排架结构受力分析	235
构造要求	191	任务 10.5 单层厂房结构主要构件	
9.3.5 双向板肋梁楼盖设计实例	191	设计	239
任务 9.4 装配式楼盖设计	194	10.5.1 单层工业厂房柱的设计	239
9.4.1 装配式楼盖的构件形式	194	10.5.2 单层工业厂房结构主要	
9.4.2 装配式楼盖构件的计算		构件间的连接构造	242
要点	195	10.5.3 柱下独立基础设计	245
9.4.3 装配式楼盖的连接构造	196	思考题	249
任务 9.5 楼梯	198	项目 11 钢筋混凝土框架结构房屋	250
		任务 11.1 框架结构体系及布置	250

11.1.1	框架结构体系	250	12.1.2	砌体的种类	284
11.1.2	框架结构的布置	251	12.1.3	砌体的力学性能	286
11.1.3	框架杆件截面尺寸与 计算简图	252	任务 12.2	砌体结构构件承载力的 计算	292
任务 11.2	竖向荷载作用下框架内力 分析的近似方法	255	12.2.1	砌体结构的设计方法	292
11.2.1	分层法	255	12.2.2	无筋砌体受压构件 承载力计算	293
11.2.2	弯矩二次分配法	256	12.2.3	砌体的轴拉、弯拉、抗剪 承载力的计算	308
任务 11.3	水平荷载作用下框架结构内 力和侧移近似计算	260	任务 12.3	砌体结构房屋墙体设计	309
11.3.1	反弯点法	261	12.3.1	房屋的结构布置	309
11.3.2	修正反弯点法—— D 值法	262	12.3.2	混合结构房屋的静力 计算方案	311
11.3.3	框架侧移近似计算及 限值	272	12.3.3	墙、柱高厚的验算	314
任务 11.4	荷载效应组合原则和 构件设计	273	12.3.4	刚性方案房屋的墙体 计算	320
11.4.1	荷载效应组合	273	任务 12.4	过梁、墙梁与挑梁及墙体 的一般构造要求	331
11.4.2	构件截面设计	276	12.4.1	过梁	331
任务 11.5	框架结构的构造要求	276	12.4.2	墙梁	335
11.5.1	框架梁、柱的构造要求	276	12.4.3	挑梁	338
11.5.2	框架节点	278	12.4.4	砌体房屋的一般构造	340
思考题		280	12.4.5	防止或减轻墙体开裂的 主要措施	341
项目 12	砌体结构	281	思考题		344
任务 12.1	砌体及其基本材料力学 性能	281	附录		347
12.1.1	砌体的材料	281	参考文献		351

绪 论

熟悉建筑结构的定义、组成与分类；了解混凝土结构和砌体结构的优缺点及应用范围；深刻体会学习建筑结构的重要性。

任务 0.1 建筑结构的概念

建筑是供人们生产、生活和进行其他活动的房屋或场所。各类建筑都离不开梁、板、墙、柱和基础等构件，它们相互连接形成建筑的骨架。建筑中由若干构件连接而成的能承受作用的平面或空间体系称为建筑结构，简称结构。

0.1.1 建筑结构的组成

建筑结构由水平构件、竖向构件和基础三大部分组成。这些组成构件由于所处部位不同，承受荷载状况不同，作用也各不相同。

(1) 板。板是水平承重构件，承受施加在本层楼板上的全部荷载(包括楼板、粉刷层自重和楼面上人群、家具及设备荷载)。板的长、宽两方向的尺寸远大于其高度(即厚度)。板是典型的受弯构件。

(2) 梁。梁是水平承重构件，承受板传来的荷载以及梁的自重。梁的截面宽度和高度尺寸远小于其长度尺寸。梁主要承受竖向荷载，其作用方向与梁轴线垂直，其作用效应主要为受弯和受剪。

(3) 墙。墙是竖向承重构件，承受梁、板传来的荷载或承受水平荷载(如风荷载)以及墙的自重。其作用效应为受压(当荷载作用于墙的截面形心线上时)，有时还可能受弯(当荷载偏离墙的形心线时)。

(4) 柱。柱是竖向承重构件，承受梁、板传来的竖向荷载以及柱的自重。柱的截面尺寸远小于其高度。当荷载作用于柱截面形心时为轴心受压；当荷载偏离柱截面形心时为偏心受压。

(5) 基础。基础是埋在地面以下的建筑物底部的承重构件，承受墙、柱传来的上部建筑物的全部荷载，并将其扩散到地基中去。

0.1.2 建筑结构的分类

建筑结构有多种分类方法。一般结构按照所用材料、承重结构类型、使用功能、外形特点以及施工方法等进行分类。由于各种结构有其一定的适用范围，应根据具体情况合理选用。

0.1.2.1 按所用材料分类

按照承重结构所用的材料不同，建筑结构可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木

结构等。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、纤维筋混凝土结构和其他各种形式的加筋混凝土结构。砌体结构包括砖石砌体结构和砌块砌体结构。不同结构材料可以在同一结构体系中混合使用,如建筑结构的屋盖和楼盖等水平承重构件采用混凝土结构,墙体采用砌体结构,基础采用砖石砌体或钢筋混凝土结构,形成混合结构。

0.1.2.2 按承重结构类型分类

建筑结构按组成建筑主体结构的形式和受力体系分为砖混结构、排架结构、框架结构、剪力墙结构、框架—剪力墙结构以及筒体结构等。

0.1.2.3 其他分类方法

(1) 按使用功能可以分: 建筑结构, 如住宅、公共建筑和工业建筑等; 特种结构, 如烟囪、水塔、水池、筒仓和挡土墙等; 地下结构, 如隧道、涵洞、人防工事和地下建筑等。

(2) 按照建筑物的外形特点, 可以分为单层结构、多层结构、高层结构、大跨结构和高耸结构(如电视塔等)。

(3) 按照建筑结构的施工方法, 可以分为现浇结构、预制装配式结构、预制与现浇相结合的装配整体式结构和预应力混凝土结构等。

任务 0.2 混凝土结构和砌体结构

按所用材料不同, 建筑结构主要有混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构 4 种类型。本书主要介绍混凝土结构和砌体结构。

0.2.1 混凝土结构

0.2.1.1 混凝土结构的概念

以混凝土为主要材料的结构称为混凝土结构, 它主要包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和预应力混凝土结构等。

(1) 素混凝土结构是指由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构, 在建筑工程中一般只用作基础垫层或室外地坪。

(2) 钢筋混凝土结构是指由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构。

(3) 型钢混凝土结构又称为钢骨混凝土结构, 它是指用型钢或用钢板焊成的钢骨架作为配筋的混凝土结构。

(4) 钢管混凝土结构是指在钢管内浇筑混凝土形成的结构。

(5) 预应力混凝土结构是由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构。

0.2.1.2 钢筋混凝土结构的特点

钢筋混凝土结构是混凝土结构中应用最多的一种, 也是应用最广泛的建筑结构形式之一。它不但被广泛应用于多层与高层住宅、宾馆、写字楼以及单层与多层工业厂房等工业与民用建筑中, 而且水塔、烟囪、核反应堆等特种结构也多采用钢筋混凝土结构。钢筋混

混凝土结构之所以应用如此广泛,主要是因为它具有如下优点。

(1) 就地取材。钢筋混凝土的主要材料中,砂、石所占比例较大,水泥和钢筋所占比例较小。砂和石一般都可由建筑工地附近提供,水泥和钢材的产地在我国分布也较广。

(2) 耐久性好。在钢筋混凝土结构中,钢筋被混凝土紧紧包裹而不致锈蚀,即使在侵蚀性介质条件下,也可采用特殊工艺制成耐腐蚀的混凝土,从而保证了结构的耐久性。

(3) 整体性好。钢筋混凝土结构特别是现浇结构有很好的整体性,这对于地震区的建筑物有重要意义,另外对抵抗暴风及爆炸和冲击荷载也有较强的能力。

(4) 可塑性好。新拌合的混凝土是可塑的,可根据工程需要制成各种形状的构件,这给合理选择结构形式及构件断面提供了方便。

(5) 耐火性好。混凝土是不良传热体,钢筋又有足够的保护层,火灾发生时钢筋混凝土结构不会像木结构那样燃烧,也不会像钢结构那样很快软化而破坏。

钢筋混凝土结构的主要缺点有以下4点。

(1) 自重大。混凝土材料的容重约为 20kN/m^3 ,钢筋混凝土的容重接近 25kN/m^3 。与钢结构相比,混凝土结构构件的截面尺寸较大,因此结构的自重也较大,这对建造大跨度结构、高层结构及减少地震反应等不利。

(2) 抗裂性差。由于混凝土材料抗拉性能很差,加之在硬化过程和使用过程中产生收缩,钢筋混凝土结构很容易出现裂缝,与素混凝土相比,钢筋混凝土抗裂能力提高不多。所以,钢筋混凝土结构在正常使用条件下一般是带裂缝工作的。

(3) 施工环节多,周期长。钢筋混凝土结构的建造需要经过绑扎钢筋、支模板、浇筑、养护等多道施工工序,生产周期较长,施工质量和进度等易受环境条件的影响。

(4) 拆除、改造难度大。混凝土通过内部水泥的水化反应形成一体,其硬化后强度很高。它不能像钢材一样,通过焊接、气割等措施进行二次加工,使构件加大或分割。所以,已建钢筋混凝土结构的拆除和改造的难度较大。

随着科学技术的不断发展,这些缺点已在一定程度上得到了克服和改善。例如:采用轻质高强的混凝土可克服自重大的缺点;采用预应力混凝土可克服构件容易开裂的缺点;掺入纤维做成纤维混凝土可克服混凝土的脆性;采用预制构件可减小模板用量,缩短工期等。

应当注意的是,钢筋和混凝土是两种力学性质不同的材料,它们之所以能够共同工作,是因为以下3点。

(1) 钢筋表面与混凝土之间存在粘结作用。这种粘结作用由3部分组成:一是混凝土结硬时体积收缩,将钢筋紧紧握住而产生的摩擦力;二是由于钢筋表面凹凸不平而产生的机械咬合力;三是混凝土与钢筋接触表面间的胶结力。其中机械咬合力约占50%。

(2) 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数接近,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5})/^\circ\text{C}$,在温度变化时,两者的变形基本相等,不致破坏钢筋混凝土结构的整体性。

(3) 钢筋被一定厚度的混凝土包裹着,从而使钢筋不会生锈变质,保证了钢筋混凝土结构的耐久性。

在上述3个原因中,钢筋表面与混凝土之间存在粘结作用是最主要的原因。因此,钢筋混凝土构件配筋的基本要求,就是要保证两者共同受力,共同变形。

0.2.1.3 混凝土结构的发展及应用

与砌体结构、木结构和钢结构相比,混凝土结构是一种出现较晚的结构形式,迄今只

有约 150 年的历史,但它的发展速度及在土木工程中占有的比重是其他结构形式无法相比的,其应用范围涉及到土木工程的各个领域。

在建筑工程中,房屋建筑的楼板几乎全部采用钢筋混凝土现浇板或预制板。多层工业厂房、综合楼和部分建筑标准要求高的住宅和办公楼等结构受力体系一般均采用钢筋混凝土梁、柱等组成的框架结构体系。在高层及超高层建筑中,混凝土结构也占据主导地位,一般采用的是钢筋混凝土框架—剪力墙结构、剪力墙结构、框架—筒体结构和筒体结构等。上海浦东环球金融中心大厦,101 层,高 492m,是目前世界上第三高的建筑,它的内筒采用的就是钢筋混凝土结构。

在其他一些领域,如人防工事、地下停车场、地下铁路车站等大型地下结构工程,电视塔、烟囱等高耸结构,贮水池、水塔、输水管、电线杆等市政设施,筒仓、海上采油平台、核电站的安全壳等特种工业设施,大部分也采用了钢筋混凝土结构。

混凝土结构在 20 世纪已经获得了巨大的发展。可以肯定,在 21 世纪,混凝土将仍然作为主要的建筑工程材料,并在材料性能、构造形式等方面得到进一步的发展。

混凝土材料作为混凝土结构的主体材料,主要向着具有优良物理力学性能和良好耐久性的轻质高强混凝土发展。目前,我国普遍应用的混凝土强度等级一般在 C20~C60,个别工程已经应用到 C80。新型外加剂的研制与应用将不断改善混凝土的物理力学性能,以适应不同环境、不同要求的混凝土结构。

配筋材料作为混凝土结构的关键组成部分,除了传统钢筋材料本身的物理力学性能将会不断改善外,新型配筋材料和配筋形式也将不断发展,从而形成许多新的混凝土结构形式,极大地拓宽了混凝土结构的应用范围。例如:在混凝土中掺入钢纤维等短纤维,形成纤维混凝土结构,可以有效地提高混凝土的抗拉、抗剪等强度,改善混凝土抗裂、抗疲劳、抗冲击等性能;以高强度的碳纤维筋(其强度是普通钢筋强度的 10 倍以上)等作为配筋,形成纤维筋混凝土结构,可提高结构的承载能力和耐久性;把型钢与混凝土结构组合,形成型钢—混凝土组合结构、钢管混凝土结构和钢管混凝土结构,可以减少混凝土结构的截面尺寸,提高结构的承载力,改善结构的延性;在已有混凝土结构加固时,采用外贴钢板可以提高结构的承载能力和刚度,采用外贴碳纤维或玻璃纤维等材料,可以在提高结构的承载能力和刚度的同时,保护原有结构,提高耐久性。

0.2.2 砌体结构

0.2.2.1 砌体结构的特点

砌体结构是将砖、石或砌块,用砂浆等胶结材料砌筑而成的结构。

砌体结构在建筑工程领域的应用非常广泛,特别是在多层住宅建筑中,砌体结构占绝大多数。这是因为它具有以下几方面的优点。

(1) 取材方便,造价低廉。砌体结构的原材料如粘土、砂、石为天然材料,分布极为广泛,来源方便,因而比钢筋混凝土结构更经济,并能节约水泥、钢材和木材。

(2) 具有良好的耐火性和耐久性。砖是经烧结而成,本身具有较好的抗高温能力。砖墙的热传导性能较差,在火灾中还能起到防火墙的作用,阻止或延缓火灾的蔓延。砖石等材料具有良好的化学稳定性及大气稳定性,抵抗风化、冻融和其他外部侵蚀因素影响的能力较好,从而保证了砌体结构的耐久性。

(3) 具有良好的保温、隔热、隔声性能, 节能效果好。

(4) 施工简单。砌体结构不需支模、养护, 且施工工具简单, 工艺易于掌握。

砌体结构的主要缺点有以下 3 点。

(1) 强度低, 自重大。砌体强度不高, 尤其是抗拉和抗剪强度很低。因此, 砌体结构截面尺寸一般较大, 材料用量较多, 且抵抗地震作用的能力相对较差, 在温度变化、地基不均匀沉降等情况下, 容易产生裂缝。

(2) 砌筑工作量大。由于砖、石、砌块均为小体积块材, 需要人工砌筑, 因此劳动强度高, 生产效率较低。

(3) 粘土用量大。烧制粘土砖大量占用耕地, 影响农业生产, 不利于保护环境和可持续发展。

0.2.2.2 砌体结构的发展及应用

砌体结构在我国具有悠久的历史, 早在原始社会末期就有石砌结构。在 3 000 多年前的西周时期已开始生产和使用烧结砖; 在秦、汉时期, 砖瓦已广泛应用于房屋建筑; 在古代还用砖砌筑宫殿、弯拱和佛塔等。隋朝建造的赵县安济桥为世界上现存最早、跨度最大的单孔圆弧石拱桥; 长城是砌体结构的伟大杰作, 在秦朝开始用石头砌筑, 明朝用大块砖重修, 总长达 1 万余里。在国外, 采用石材和砖建造各种建筑物也有着悠久的历史。古希腊的神庙、埃及的金字塔、意大利的比萨斜塔等因气势宏伟而举世闻名。

迄今为止, 砌体结构的应用范围很广。砌体结构不但在低层和多层住宅以及办公建筑中大量应用, 也用于建造桥梁、隧道、挡土墙、涵洞以及坝、堰等水力工程结构, 还用于建造如水池、水塔、料仓和烟囱等特种结构。当然, 由于砌体材料强度低, 结构整体性能和延性差, 不利于结构抗震等因素, 砌体结构的应用范围也受到一定的限制, 在高层建筑、大跨度结构中较少采用。

砌体结构作为最传统的建筑材料之一, 同样在 20 世纪已经获得了较大的发展。为充分发挥其优势, 在砌体结构的材料和构造方式上进行了很多的探讨, 取得了一些新进展, 拓宽了砌体结构的应用范围。例如: 采用配筋砌体、组合砌体和预应力砌体等新的结构构造形式, 可克服砌体材料性能的不足, 改善砌体结构的受力性能; 采用空心承重砌块, 以降低结构自重; 进行墙体材料改革, 大力发展轻质高强、节能利废的新型墙体材料, 逐步替代实心粘土砖, 特别是研究和生产轻质、高强的砖和砌块以及高粘结强度的砂浆。另一方面, 就是具有中国特色的砌体结构设计理论的发展。《砌体结构设计规范》(GB50003—2001) 根据近年来的研究成果, 注入了近年发展起来的新型砌体材料的内容, 并对原有的砌体结构设计方法作了适当的调整和补充, 使砌体结构的计算理论和设计方法更趋完善。

任务 0.3 课程的内容、学习目标和学习方法

本课程是建筑工程技术等专业的主干专业课, 其内容包括混凝土结构和砌体结构两大类结构体系, 按内容的性质可分为结构基本构件和结构设计两大部分。根据受力和变形特点的不同, 结构基本构件可分为受弯构件、受拉构件、受压构件和受扭构件。

通过本课程的学习, 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和计算方法, 能够正确领会国家建筑结构规范的有关规定, 并正确进行截面设计等, 理解结构设计的有关构造要求, 并能处理建筑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。

通过本课程的学习, 应注意以下 5 点。

(1) 理论联系实际。本课程的理论本身就来源于生产实践, 它是前人大量工程实践的经验总结。因此, 学习本课程时, 应通过实习、参观等各种渠道向工程实践学习, 加强练习、课程设计等, 真正做到理论联系实际。

(2) 注意同力学课的联系和区别。本课程所研究的对象不符合匀质弹性材料的条件, 因此力学公式多数不能直接应用, 但从通过几何、物理和平衡关系来建立基本方程来说, 二者是相同的。所以, 在应用力学原理和方法时, 必须考虑材料性能上的特点, 切不可照搬照抄。

(3) 培养自己综合分析问题的能力。结构问题的答案往往不是唯一的, 即使是同一构件在给定荷载作用下, 其截面形式、截面尺寸、配筋方式和数量都可以有多种答案。这时往往需要综合考虑适用、材料、造价及施工等多方面因素, 才能做出合理的选择。

(4) 重视各种构造措施。现行结构实用计算方法一般只考虑了荷载作用, 其他影响, 如混凝土收缩、温度影响以及地基不均匀沉降等, 难以用计算公式表达。根据长期工程实践经验, 总结出了一些构造措施来考虑这些因素的影响。所谓构造措施, 就是对结构计算中未能详细考虑或难以定量计算的因素所采取的技术措施, 它与结构计算是结构设计中相辅相成的两个方面。因此, 学习时要防止重理论轻实践、重计算轻构造的思想, 要充分重视对构造规定和要求的理解, 并搞清其中的道理。

(5) 注意学习有关标准、规范、规程, 如《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)、《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001)、《砌体结构设计规范》(GB50003—2001)等。结构设计标准、规范、规程是国家颁布的关于结构设计计算和构造要求的技术规定和标准, 设计、施工等工程技术人员都应遵循。我国标准、规范、规程有以下 4 种不同情况: 一是强制性条文, 虽是技术标准中的技术要求, 但已具有某些法律性质(将来可能会演变成“建筑法规”), 一旦违反, 不论是否引起事故, 都将被严厉惩罚, 故必须严格执行; 二是要严格遵守的条文, 规范中正面词用“必须”, 反面词用“严禁”, 表示非这样做不可, 但不具有强制性; 三是应该遵守的条文, 规范中正面词用“应”, 反面词用“不应”或“不得”, 表示在正常情况下均应这样做; 四是允许稍有选择或允许有选择的条文, 表示允许稍有选择, 在条件许可时首先应这样做, 正面词用“宜”, 反面词用“不宜”, 表示有选择, 在一定条件可以这样做的, 采用“可”表示。熟悉并学会应用有关标准、规范、规程是学习本课程的重要任务之一, 因此, 学习中应自觉结合课程内容学习, 以达到逐步熟悉并正确应用之目的。

思考题

1. 钢筋混凝土结构有哪些优、缺点? 如何克服其缺点?
2. 钢筋与混凝土这两种物理力学性能不同的材料, 为何能共同工作?
3. 砌体结构有哪些优、缺点? 如何克服其缺点?
4. 学习本课程应注意哪些问题?

项目 1 钢筋混凝土材料的力学性能

本项目主要介绍了钢筋和混凝土的力学性能以及两者之间的粘结作用。通过学习,了解钢筋的分类,掌握钢筋的强度和变形;掌握混凝土的各种强度概念,了解混凝土的变形;掌握钢筋与混凝土间粘结作用;能利用钢筋和混凝土材料性能解决实际工程问题。

任务 1.1 钢筋的性能及要求

了解钢筋的分类;掌握钢筋的强度和变形特点;掌握混凝土结构中钢筋选用要求,能根据钢筋性能和要求合理选用实际工程中所需钢筋的类型。

1.1.1 钢筋的类型

1.1.1.1 按加工方法不同分类

按加工方法的不同,钢筋可分为热轧钢筋、热处理钢筋、冷加工钢筋、钢丝和钢绞线。

热轧钢筋:低碳钢、普通低合金钢在高温状态下轧制而成,包括光圆钢筋和带肋钢筋。等级分为 HPB235 级(I 级)、HRB335 级(II 级)、HRB400 级(III 级)和 RRB400 级。

热处理钢筋:将热轧钢筋在通过加热、淬火和回火等调质工艺处理的钢筋。热处理后钢筋强度能得到较大幅度的提高,而塑性降低并不多。

冷加工钢筋:由热轧钢筋和盘条经冷拉、冷拔、冷轧和冷扭加工后而成的钢筋。冷加工的目的在于提高钢筋的强度,节约钢材。但经冷加工后,钢筋的延伸率降低。近年来,冷加工钢筋的品种很多,应根据专门规程使用。

钢丝和钢绞线:钢丝包括光面钢丝、螺旋钢丝、刻痕钢丝,钢绞线是由多根高强钢丝捻制在一起,并经低温回火处理清除内应力后制成,可分为 2 股、3 股和 7 股 3 种。

1.1.1.2 按化学成分分类

按化学成分的不同,钢筋可分为碳素钢钢筋和普通低合金钢筋。

钢筋的主要化学成分是铁元素,另外还含有少量的碳、硅、锰等杂质元素和硫、磷等有害元素。各种化学成分含量的多少,对钢筋机械性能和可焊性的影响极大。

随着含碳量的增加,钢材的硬度和强度将提高,而塑性和韧性则下降,材性变脆,其焊接性也随之变差。碳素钢钢筋按含碳量多少,又分为低碳钢钢筋、中碳钢钢筋和高碳钢钢筋。

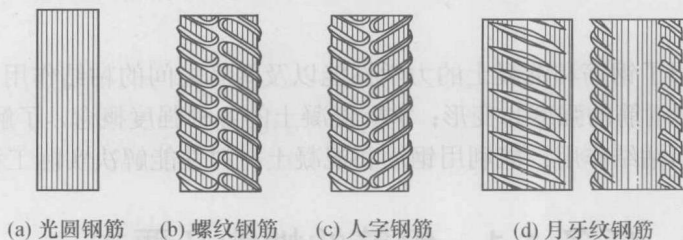
硅、锰是作为脱氧剂加入钢中的,可使钢的强度和硬度增加并保持一定的塑性。硫、磷是钢中的有害元素,能使钢材易脆断。除上述元素外,还可加入少量合金元素,获得强度高和综合性能好的钢种,在钢筋中常用的合金元素有硅、锰、钒和钛等。

1.1.1.3 按有无物理屈服点分类

按有无物理屈服点,把有物理屈服点的钢筋叫软钢,如热轧钢筋和冷拉钢筋等;无物

理屈服点的钢筋叫硬钢，如钢丝和热处理钢筋等。

钢筋的分类从外形上还可分为光圆钢筋和变形钢筋，常用的钢筋外形如图 1-1 所示。



(a) 光圆钢筋 (b) 螺纹钢筋 (c) 人字钢筋 (d) 月牙纹钢筋

图 1-1 常用的钢筋外形

1.1.2 钢筋的力学性能

1.1.2.1 钢筋的应力—应变曲线

软钢的拉伸应力—应变曲线如图 1-2 所示。应力值在 A 点以前，应力与应变成比例变化，与 A 点对应的应力称为比例极限 σ_p 。过 A 点后，应变较应力增长为快，到达 $B_{\perp}$ 点后钢筋开始塑流，到 $B_{\perp}$ 点称为屈服上限，待 $B_{\perp}$ 点降至屈服下限 B_F 点，这时应力基本不增加而应变急剧增长，曲线接近水平线。曲线延伸至 B 点， $B_{\perp}B$ 段称为流幅或屈服台阶。钢筋到达屈服阶段时，虽尚未断裂，但一般已不能满足结构的设计要求，所以设计时是以这一阶段的应力值为依据，而屈服上限与加载速度、截面形式、试件表面光洁度等因素有关，通常 $B_{\perp}$ 点是不稳定的，所以取其下限值 B_F ，屈服下限也叫屈服强度用 σ_y 表示。过 B 点以后，应力又继续上升，说明钢筋的抗拉能力又有所提高。随着曲线上升到最高点 C ，相应的应力称为钢筋的极限强度 σ_b ， BC 段称为钢筋的强化阶段。试验表明，过了 C 点，试件薄弱处的截面将会突然显著缩小，发生局部颈缩，变形迅速增加，应力随之下降，达到 D 点时试件被拉断。断裂后的残余应变称为伸长率，用 δ 表示。

硬钢的拉伸应力—应变曲线如图 1-3 所示，由图知这类钢筋无明显屈服强度，为了使此类钢筋与国家标准相一致，《混凝土结构设计规范》中也规定在构件承载力设计时，取极限抗拉强度 σ_b 的 85% 作为条件屈服点，即残余应变为 0.2% 的应力 $\sigma_{0.2}$ 为其条件屈服强度。

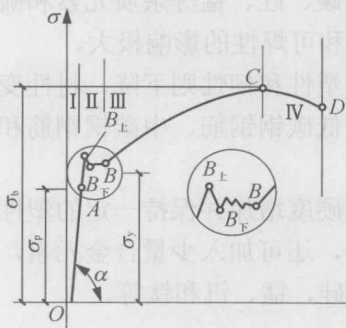


图 1-2 软钢的拉伸应力—应变曲线

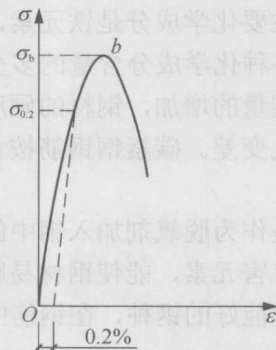


图 1-3 硬钢的拉伸应力—应变曲线

另外，钢筋除了要有足够的强度外，还应具有一定的塑性变形能力。钢筋的塑性指标

除了前面提到的伸长率外还有冷弯性能。这两个指标反映了钢筋的塑性性能和变形能力。冷弯是将直径为 d 的钢筋围绕直径为 D 的弯芯弯曲到规定的角度后无裂纹断裂及起层现象,则表示合格。弯芯的直径 D 越小,弯转角越大,说明钢筋的塑性越好。伸长率越大塑性越好。

钢筋的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。普通钢筋的强度标准值见表 1-1, 设计值见表 1-2; 预应力钢筋的强度标准值见表 1-3, 设计值见表 1-4; 钢筋的弹性模量见表 1-5。

表 1-1 普通钢筋强度标准值

种类		符号	$d(\text{mm})$	$f_{yk}(\text{N/mm}^2)$
热轧钢筋	HPB235(Q235)	Φ	8~20	235
	HRB335(20MnSi)	Φ	6~50	335
	HRB400(20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi)	Φ	6~50	400
	RRB400(20MnSi)	Φ^R	8~40	400

表 1-2 普通钢筋强度设计值

种类		符号	$f_y(\text{N/mm}^2)$	$f_y'(\text{N/mm}^2)$
热轧钢筋	HPB235(Q235)	Φ	210	210
	HRB335(20MnSi)	Φ	300	300
	HRB400(20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi)	Φ	360	360
	RRB400(20MnSi)	Φ^R	360	360

注: (1) 在钢筋混凝土结构中, 当轴心受拉和小偏心受拉的钢筋抗拉强度设计值大于 300N/mm^2 时, 仍应按 300N/mm^2 取用;

(2) 构件中配有不同种类的钢筋时, 每种钢筋采用各自的强度设计值。

表 1-3 预应力钢筋强度设计值

种类		符号	$d(\text{mm})$	$f_{\text{ptk}}(\text{N/mm}^2)$
钢绞线	1×3	Φ^{S}	8.6、10.8	1 860、1 720、1 570
			12.9	1 720、1 570
	1×7		9.5、11.1、12.7	1 860
			15.2	1 860、1 720
消除应力钢丝	光面 螺旋肋	Φ^{P} Φ^{H}	4、5	1 770、1 670、1 570
			6	1 670、1 570
			7、8、9	1 570
	刻痕	Φ^{I}	5、7	1 570
热处理钢筋	40Si2Mn	Φ^{HT}	6	1 470
	48Si2Mn		8.2	
	45Si2Cr		10	

注: (1) 钢绞线直径 d 系指钢绞线外接圆直径, 即国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 中的公称直径 D_g ;

(2) 消除应力光面钢丝直径 d 为 4~9mm, 消除应力螺旋肋钢丝直径 d 为 4~8mm。