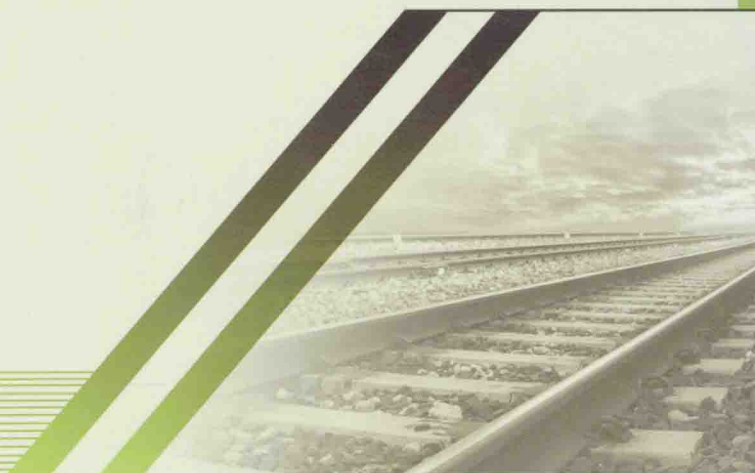


GANGJIN HUNNINGTU JIEGOU YU QITI JIEGOU

钢筋混凝土结构与 砌体结构

(第2版)

翁光远 主编
薛安顺 主审



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>



钢筋混凝土结构 与砌体结构

(第 2 版)

翁光远 主编
薛安顺 主审

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书根据建设部颁布的相关最新规范、规程和标准,系统介绍了混凝土结构设计原理、混凝土结构设计及砌体结构的相关内容。

本书以项目教学法的理念为主线,对混凝土构件设计原理、混凝土结构设计及砌体结构有充分的论述,概念清晰、理论简洁。本书文字通俗易懂,论述由浅入深,循序渐进,便于自学理解。

本书主要作为应用型本科及高职高专院校建筑工程技术专业或土建类其他相关专业的教学用书,同时也可作为岗位培训教材或土建相关工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土结构与砌体结构/翁光远主编. —2版. —北京:北京交通大学出版社:清华大学出版社,2014.7

ISBN 978-7-5121-2001-3

I. ①钢… II. ①翁… III. ①钢筋混凝土结构-结构设计②砌体结构-结构设计
IV. ①TU375.04②TU360.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第163040号

责任编辑:赵彩云 特邀编辑:张奉格

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969 <http://www.tup.com.cn>

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

印刷者:北京艺堂印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:18.25 字数:456千字

版 次:2014年8月第2版 2014年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-2001-3/TU·130

印 数:1~2500册 定价:38.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

第 2 版前言

本书按照“建筑工程技术”专业人才培养目标对“混凝土结构与砌体结构”课程的基本教学要求，依据我国现行的最新结构设计规范和标准编写而成。

本书的内容注重理论内容的精练，突出实践内容的重要性，以“实用”为宗旨。在重要项目的内容编写过程中，附有大量的实践设计，体现知识与能力的结合，力求反映职业教育的教材特点。

本书遵循项目化教材的编写思路，突出技术技能的培养。全书分为三篇，第 1 篇为技能基础篇，开发教学项目 3 个，分别为钢筋混凝土结构材料的物理力学性能、砌体结构材料的物理力学性能和结构设计基本原理；第 2 篇为技能形成篇，开发教学项目 4 个，分别为梁板结构的施工图设计、单层工业厂房的施工图设计、多层框架结构施工图设计和砌体结构施工图设计；第 3 篇为技能拓展篇，开发教学项目 2 个，分别为钢筋混凝土预应力构件基本知识和钢筋混凝土构件正常使用性能及耐久性。

本教材编写具体情况为：绪论、第 2 篇项目 3、第 2 篇项目 4，第 3 篇项目 2 由陕西交通职业技术学院翁光远编写；第 1 篇项目 1、第 1 篇项目 2、第 1 篇项目 3、第 3 篇项目 1 和附录 B 由陕西交通职业技术学院柴彩萍编写；第 2 篇项目 1 的 1.1、1.2、1.3.1、1.3.2、1.3.3、1.3.4、1.3.5、1.3.6、1.3.7 节，第 2 篇项目 2 的 2.1、2.2 节由陕西交通职业技术学院王占锋编写；第 2 篇项目 1 的 1.3.8、1.3.9、1.3.10、1.3.11、1.3.12 节和附录 A 由陕西交通职业技术学院贺丽娟编写；第 2 篇项目 2 的 2.3 节由陕西交通职业技术学院刘洋编写。全书最后由翁光远修改定稿。陕西交通职业技术学院薛安顺教授担任主审。

本书编写过程中参考了大量的国内外文献，在书末的参考文献中均已列出，特此向其作者表示感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2014 年 7 月

第 1 版前言

本书按照“建筑工程技术”专业人才培养目标对“混凝土结构与砌体结构”课程的基本教学要求，依据我国现行的最新结构设计规范和标准编写而成。

本书的内容注重理论内容的精练，突出实践内容的重要性，以“实用”为宗旨。在重要项目的内容编写过程中，附有大量的实践设计，体现知识与能力的结合，力求反映职业教育的教材特点。

全书分为三部分。内容包括混凝土结构设计原理、混凝土结构设计、砌体结构。其中，混凝土结构设计原理包括：绪论、材料的物理力学性能、结构设计基本原理、钢筋混凝土受弯构件计算、钢筋混凝土受压构件、钢筋混凝土受拉构件、钢筋混凝土受扭构件、预应力混凝土构件；混凝土结构设计包括楼盖和楼梯、单层厂房设计、框架结构。砌体结构包括：砌体结构基本知识、混合结构房屋设计、砌体结构抗震设计。重要章节都附有设计实例及课程设计任务书，可供学习时使用。

本教材编写具体情况为：第 1、2、3、4 章由陕西交通职业技术学院张省侠编写；第 5 章由陕西交通职业技术学院寸江峰编写；第 6 章由陕西交通职业技术学院丰培洁编写；第 7、13 章由陕西交通职业技术学院唐娴编写；第 8、9 章由陕西交通职业技术学院柴彩萍编写；第 10、11、12 章由陕西交通职业技术学院翁光远编写。全书最后由翁光远修改定稿。陕西交通职业技术学院薛安顺教授主审本书，西安建筑科技大学王社良教授、长安大学建筑工程学院曹照平审阅了部分内容，他们均提出了许多宝贵的意见。陕西交通职业技术学院张鹏、邹艳琴、殷青英、焦莉、郭红兵、王占峰在本书编写过程中给予了大力支持，特在此对他们表示感谢。

本书编写过程中参考了大量的国内外文献，在书末的参考文献中均已列出，特此向其作者表示感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2008 年 3 月

目 录

第1篇 技能基础

项目0 绪论	1
0.1 任务一：混凝土结构的基本概念	1
0.2 任务二：混凝土结构的特点	2
0.3 任务三：混凝土结构的应用及发展	3
0.4 任务四：砌体结构特点及发展	7
0.5 任务五：课程特点与学习方法	9
项目1 钢筋混凝土结构材料的物理力学性能	12
1.1 任务一：钢筋的种类及选用	12
1.1.1 学习情境一：钢筋的形式	12
1.1.2 学习情境二：钢筋的种类	12
1.1.3 学习情境三：钢筋的公称截面面积及重量	13
1.1.4 学习情境四：混凝土结构中钢筋的选用	15
1.2 任务二：钢筋的力学性能	15
1.2.1 学习情境一：钢筋的应力—应变曲线	15
1.2.2 学习情境二：钢筋的塑性性能	16
1.2.3 学习情境三：钢筋强度取值	17
1.2.4 学习情境四：钢筋的弹性模量	19
1.3 任务三：混凝土的强度	20
1.3.1 学习情境一：混凝土立方体抗压强度	20
1.3.2 学习情境二：混凝土轴心抗压强度	21
1.3.3 学习情境三：混凝土的轴心抗拉强度	22
1.4 任务四：混凝土的变形	23
1.4.1 学习情境一：混凝土在一次短期加载时的变形性能	23
1.4.2 学习情境二：混凝土在长期不变荷载作用下的变形性能（徐变）	25
1.4.3 学习情境三：混凝土的收缩	26
1.4.4 学习情境四：混凝土的弹性模量、变形模量	27
1.5 任务五：钢筋和混凝土之间的黏结力	27
1.5.1 学习情境一：黏结力的组成	28
1.5.2 学习情境二：影响黏结强度的因素	28

1.5.3 学习情境三：黏结应力的分布及应用	28
1.6 任务六：基本锚固长度	29
1.6.1 学习情境一：基本锚固长度的概念	29
1.6.2 学习情境二：基本锚固长度的确定	29
项目2 砌体结构材料的物理力学性能	32
2.1 任务一：砌体的材料及种类	32
2.1.1 学习情境一：砌体材料	32
2.1.2 学习情境二：砌体种类	35
2.2 任务二：砌体的受压性能	37
2.2.1 学习情境一：砖砌体受压的三个阶段	37
2.2.2 学习情境二：砖砌体受压应力状态的分析	38
2.2.3 学习情境三：影响砌体抗压强度的因素	38
2.2.4 学习情境四：砌体的抗压强度	39
2.2.5 学习情境五：砌体的抗拉、抗弯和抗剪强度	41
项目3 结构设计基本原理	43
3.1 任务一：结构的功能要求和极限状态	43
3.1.1 学习情境一：结构的功能要求	43
3.1.2 学习情境二：结构的设计使用年限	43
3.1.3 学习情境三：结构功能的极限状态	44
3.2 任务二：极限状态设计原理	45
3.2.1 学习情境一：结构上的作用、作用效应及结构的抗力	45
3.2.2 学习情境二：荷载代表值	45
3.2.3 学习情境三：荷载分项系数及荷载设计值	46
3.2.4 学习情境四：材料强度取值	47
3.3 任务三：极限状态实用设计表达式	47
3.3.1 学习情境一：承载能力极限状态实用设计表达式	48
3.3.2 学习情境二：正常使用极限状态设计表达式	48

第2篇 技能形成

项目1 梁板结构的施工图设计	51
1.1 任务一：受弯构件受力特征	51
1.2 任务二：现浇肋形梁板分类	52
1.3 任务三：单向板肋梁楼盖的设计	53
1.3.1 学习情境一：多层厂房楼盖设计任务书	53
1.3.2 学习情境二：多层厂房楼盖设计工作流程	54
1.3.3 学习情境三：选择结构平面布置方案	55
1.3.4 学习情境四：确定计算简图	55
1.3.5 学习情境五：板的截面构造	57
1.3.6 学习情境六：梁的截面构造	59

1.3.7	学习情境七：板、次梁、主梁的内力计算	61
1.3.8	学习情境八：单筋矩形截面配筋设计	69
1.3.9	学习情境九：板的截面配筋及施工图设计	79
1.3.10	学习情境十：双筋矩形截面配筋设计	82
1.3.11	学习情境十一：T形截面配筋设计	87
1.3.12	学习情境十二：斜截面设计	96
1.3.13	学习情境十三：次梁的截面配筋及施工图设计	112
1.3.14	学习情境十四：主梁的截面配筋及施工图设计	112
1.4	项目化教学成果展示	114
1.5	练习题	124
项目2	单层工业厂房的施工图设计	126
2.1	任务一：单层工业厂房认知	126
2.2	任务二：单层工业厂房的结构布置及选型	126
2.2.1	学习情境一：屋盖结构构件	126
2.2.2	学习情境二：柱网布置及选型	128
2.2.3	学习情境三：吊车梁布置及选型	129
2.2.4	学习情境四：变形缝设置	130
2.2.5	学习情境五：围护结构布置	131
2.2.6	学习情境六：支撑的布置	133
2.2.7	学习情境七：基础选型	136
2.3	任务三：排架结构内力分析	136
2.3.1	学习情境一：排架的计算简图	136
2.3.2	学习情境二：排架的荷载计算	137
2.3.3	学习情境三：排架的内力分析	141
2.3.4	学习情境四：受压构件简介（截面形式、尺寸，材料要求）	144
2.3.5	学习情境五：轴心受压构件截面设计	147
2.3.6	学习情境六：偏心受压构件正截面破坏形态	153
2.3.7	学习情境七：偏心受压构件的破坏类型	155
2.3.8	学习情境八：矩形截面偏心受压构件正截面的承载力	156
2.3.9	学习情境九：矩形截面对称配筋偏心受压构件承载力	158
2.3.10	学习情境十：偏心受压构件正截面承载力 N_u 与 M_u 的关系	162
2.3.11	学习情境十一：偏心受压构件斜截面受剪承载力	163
2.3.12	学习情境十二：排架柱的设计	164
2.3.13	学习情境十三：牛腿的设计	165
2.3.14	学习情境十四：吊装验算	168
项目3	多层框架结构施工图设计	169
3.1	任务一：钢筋混凝土多层框架结构简介	169
3.2	任务二：结构布置	170
3.2.1	学习情境一：柱网尺寸、层高、总高	170

3.2.2 学习情境二：平面布置	171
3.2.3 学习情境三：变形缝的设置	171
3.3 任务三：框架梁、柱截面尺寸及计算简图	173
3.3.1 学习情境一：梁柱截面选择	173
3.3.2 学习情境二：框架计算简图	174
3.4 任务四：内力分析及侧移验算	175
3.4.1 学习情境一：竖向荷载作用下内力的近似计算——分层法	175
3.4.2 学习情境二：框架在水平荷载作用下内力的近似计算——反弯点法和 D 值法	176
3.4.3 学习情境三：水平荷载作用下侧移的计算	181
3.5 任务五：内力组合及截面设计	182
3.5.1 学习情境一：荷载效应组合	182
3.5.2 学习情境二：控制截面及最不利内力	184
3.5.3 学习情境三：框架梁弯矩调幅	185
3.5.4 学习情境四：框架梁及柱的截面配筋计算	185
3.6 任务六：构造要求	185
3.6.1 学习情境一：框架梁	185
3.6.2 学习情境二：框架柱	186
3.6.3 学习情境三：梁柱节点	187
3.6.4 学习情境四：钢筋连接和锚固	187
项目4 砌体结构施工图设计	189
4.1 任务一：砌体结构构件的承载力计算	189
4.1.1 学习情境一：无筋砌体受压构件	189
4.1.2 学习情境二：砌体局部受压	193
4.1.3 学习情境三：砌体轴心受拉、受弯和受剪构件	198
4.1.4 学习情境四：配筋砌体	200
4.2 任务二：混合结构房屋的墙体设计	202
4.2.1 学习情境一：房屋的结构布置	202
4.2.2 学习情境二：房屋的静力计算方法	204
4.2.3 学习情境三：墙、柱高厚比验算	205
4.2.4 学习情境四：刚性方案房屋的墙体计算	210
4.3 任务三：砌体结构中的过梁、圈梁及挑梁	215
4.3.1 学习情境一：过梁	215
4.3.2 学习情境三：圈梁	217
4.3.3 学习情境三：挑梁	219
4.4 任务四：砌体结构的构造措施	221
4.4.1 学习情境一：一般构造要求	221
4.4.2 学习情境二：墙体的布置及构造柱的设置要求	223
4.4.3 学习情境三：防止墙体开裂的主要措施	225

第3篇 技能拓展

项目1 预应力混凝土的基本知识	229
1.1 任务一：预应力混凝土基本概念	229
1.1.1 学习情境一：预应力混凝土的基本原理	229
1.1.2 学习情境二：预应力混凝土的特点和应用	230
1.1.3 学习情境三：预应力混凝土的分类	230
1.2 任务二：预应力混凝土的材料	232
1.2.1 学习情境一：预应力钢筋	232
1.2.2 学习情境二：预应力混凝土构件中的混凝土	233
1.2.3 学习情境三：孔道及灌浆材料	233
1.2.4 预应力混凝土构件的锚具	233
1.3 任务三：构件设计一般规定	235
1.3.1 学习情境一：张拉控制应力	235
1.3.2 学习情境二：预应力损失	236
1.3.3 学习情境三：预应力损失值的组合	238
1.3.4 学习情境四：先张法构件预应力钢筋的传递长度	239
1.4 任务四：预应力混凝土构件的构造要求	240
1.4.1 学习情境一：一般规定	240
1.4.2 学习情境二：先张法构件的构造要求	241
1.4.3 学习情境三：后张法构件的构造要求	242
项目2 混凝土构件的使用性能及结构耐久性	244
2.1 任务一：钢筋混凝土受弯构件的挠度验算	244
2.1.1 学习情境一：受弯构件的变形特点	244
2.1.2 学习情境二：受弯构件在荷载效应标准组合下的短期刚度	245
2.1.3 学习情境三：受弯构件考虑荷载长期作用影响的刚度	245
2.1.4 学习情境四：受弯构件的最小刚度原则和挠度计算	246
2.1.5 学习情境五：验算挠度的步骤	247
2.1.6 学习情境六：减小构件挠度的措施	247
2.2 任务二：钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	247
2.2.1 学习情境一：裂缝控制	247
2.2.2 学习情境二：混凝土构件裂缝宽度验算	248
2.2.3 学习情境三：验算最大裂缝宽度的步骤	252
2.3 任务三：混凝土结构的耐久性	252
2.3.1 学习情境一：影响混凝土结构耐久性能的主要因素	253
2.3.2 学习情境二：耐久性设计	254
附录A 工程结构设计基本数据	257
附录B 排架柱内力计算系数	278
参考文献	282

项目 0

绪 论

0.1 任务一：混凝土结构的基本概念

在建筑物中，承受和传递作用的各个部件的总和称为结构。任何结构都是由许多基本构件通过一定的连接方式而组成承重骨架体系的。建筑结构中的板、柱、梁、墙、基础等称为基本构件。基本构件按受力与变形的特点分为受弯构件、受压构件、受扭构件、受拉构件等。在工程实际中，有些构件的受力和变形比较简单，而有些构件的受力和变形则比较复杂，可能是几种受力状态的组合。

按材料不同将结构分为混凝土结构、钢结构、砌体结构、木结构和混合结构等。混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构，这种结构广泛应用于建筑、桥梁、隧道、矿井及水利、港口等工程。混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构及配置各种纤维筋的混凝土等。

素混凝土结构是由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构，常用于路面和一些非承重结构。

钢筋混凝土结构见图 0-1-1，是由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成，是一种最为常见的结构形式。

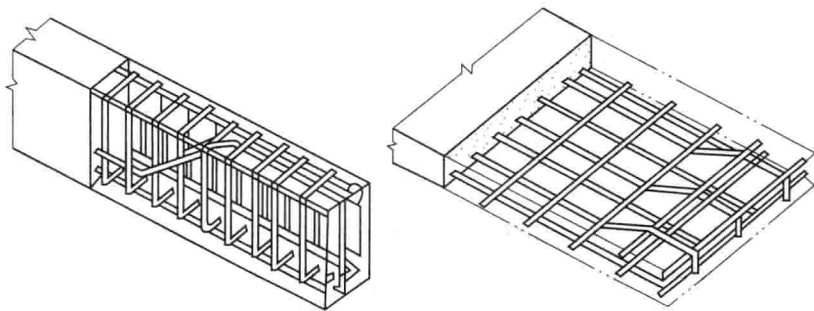


图 0-1-1 钢筋混凝土结构

预应力混凝土结构是充分利用高强度材料来改善钢筋混凝土结构的抗裂性能的结构，是由配置的受力钢筋通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构。

钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构常用作土木工程中的主要承重结构。在多数情况下混凝土结构是指钢筋混凝土结构。钢筋和混凝土都是土木工程中重要的建筑材料，钢筋的抗

拉和抗压强度都很高,但混凝土的抗拉强度很低,其抗拉强度约为抗压强度的十分之一。素混凝土梁的承载力很低,见图0-1-2(a)。梁在受拉区配置适量的钢筋,即构成钢筋混凝土梁,见图0-1-2(b)。在荷载作用下,梁的受拉区混凝土仍会开裂,由于钢筋的作用,可以代替受拉区混凝土承受拉力,裂缝不会迅速发展,受压区的压应力仍由混凝土承受,因此

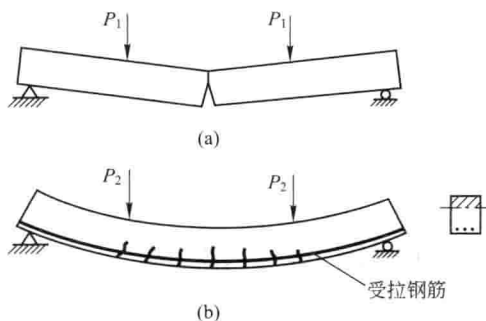


图0-1-2 素混凝土梁和钢筋混凝土梁

梁可以承受继续增大的荷载,直到钢筋的应力达到其屈服强度。随后荷载仍可略有增加致使受压区混凝土被压碎,混凝土抗压强度得到了充分利用,梁最终被破坏。可见,配置在受拉区的钢筋明显地加强了受拉区的抗拉能力,从而使钢筋混凝土梁的承载力比素混凝土梁有很大的提高。这样,混凝土的抗压能力和钢筋的抗拉能力都得到了充分利用,而且在梁破坏前,其裂缝充分发展,其变形迅速增大,有明显的破坏预兆。结构的受力特性得到显著改善。

0.2 任务二：混凝土结构的特点

钢筋和混凝土这两种物理和力学性能不同的材料,能有机地结合在一起共同受力,主要是由于它们之间有良好的黏结力,能牢固黏结成整体。当构件承受荷载时,钢筋和混凝土协调变形,不产生相对滑动。此外,钢筋和混凝土的线膨胀系数较接近(钢筋为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 1.0×10^{-5}),当温度变化时,两种材料间不致产生温度应力,不会产生较大的相对变形,不破坏结构的整体性,不会在未受荷载之前,钢筋和混凝土之间就产生相互作用而开裂或破坏。

钢筋混凝土结构除了较合理地利用钢筋和混凝土二者的材料性能外还具有很多优点。

(1) 承载力高。混凝土结构和砌体、木结构相比,其承载力高。在一定条件下,可以用来代替钢结构,达到节约钢材、降低造价的目的。

(2) 耐久性好。在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度随时间的增加而增长,抗风化能力强,且钢筋受混凝土的保护而不易锈蚀,所以钢筋混凝土的耐久性好;而钢结构需要经常的保养和维修。处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,经过合理的设计及采取特殊的措施,一般也可满足工程需要。

(3) 整体性好。钢筋混凝土结构特别是现浇的钢筋混凝土结构,整体性好,对于抵抗地震作用(或抵抗强烈爆炸时冲击波的作用)具有较好的性能。

(4) 耐火性好。混凝土是热的不良导体,导热性差。混凝土包裹在钢筋之外,起着保护作用,若有足够的保护层,就不致因遭受火灾而使钢材很快达到软化的危险温度,造成结构的整体破坏。

(5) 可模性好。钢筋混凝土可根据设计需要浇制成各种形状和尺寸的结构。便于建筑造型的实现和建筑设备、工程开孔、留洞需要。特别适宜于建造外形复杂的大体积结构及空间薄壁结构。这一特点是砖、石、钢、木等结构所没有的。

(6) 就地取材。钢筋混凝土所用的原材料砂和石,一般均较易于就地取材。在工业废料(如矿渣、粉煤灰等)比较多的地方,还可将工业废料制成人造骨料用于钢筋混凝土结构中。可以降低工程造价。

(7) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的性能,在某些情况下可以代替钢结构,从而节约钢材并降低造价。

(8) 隔声性好。与钢、木结构相比,钢筋混凝土结构的隔声性能相对较好。

(9) 保养费省。钢筋混凝土结构很少需要维修,不像钢、木结构需要经常的保养。

虽然混凝土结构具有上述优点,但在工程应用过程中尚存在一些缺点。

(1) 自重。混凝土结构不利于建造大跨度结构及高层建筑。

(2) 抗裂性能差。由于混凝土抗拉强度低,所以钢筋混凝土构件在使用阶段往往免不了带有裂缝。

(3) 施工的季节性。在严寒地区冬季施工,混凝土浇筑后可能冻坏,这时可采用预制装配式结构,也可在混凝土中掺加化学拌和剂加速凝结、增加热量,防止冻结,还可以采用保温措施。在酷热地区或雨季施工,可采用防护措施,控制水灰比,加强保养,或采用预制装配式结构。

(4) 费工、费模板。现场施工工期长而建造的整体式钢筋混凝土结构比较费工;同时又需大量模板和支撑,且混凝土需要在模板内进行一段时间的养护。

0.3 任务三：混凝土结构的应用及发展

1. 混凝土结构的发展阶段

钢筋混凝土结构与砖石砌体结构、钢木结构相比,历史并不长,至今约有 150 年的历史,但是,在土木工程各个领域取得了飞速的发展和广泛的应用。混凝土结构的发展大体上经历了四个阶段。

第一阶段从 1850 年到 1920 年。1824 年英国人 J. 阿斯普汀(J. Asptin)发明了波特兰水泥,1856 年转炉炼钢成功,为钢筋混凝土的发明提供了充分而坚实的物质基础。钢筋混凝土开始被用来建造各种简单的楼板、柱、基础等,19 世纪 80 年代初步奠定钢筋混凝土结构在建筑工程上应用的科学基础。由于当时所采用的钢筋和混凝土的强度较低,计算理论套用弹性理论,设计方法采用容许应力法,所以混凝土结构在建筑工程中的应用发展较慢,直到 1903 年才在美国辛辛那提建造了世界上第一栋混凝土结构的高层建筑——英格尔大楼。而在第一次世界大战(1914—1918)前只是在多高层建筑的基础和楼盖中得到应用。

第二阶段从 1920 年到 1950 年。这一阶段混凝土和钢筋的强度有所提高,1928 年法国工程师弗雷西内(Freyssinet)研制成功了预应力混凝土,为钢筋混凝土结构向大跨度、高层发展提供了保障,装配式钢筋混凝土和薄壁空间混凝土结构有了很大的发展。混凝土结构的试验研究开始进行,在计算理论上已开始考虑材料的塑性,按破坏阶段计算结构的破坏承载力。

第三阶段从 1950 年到 1980 年。这一阶段的特点是随着高强混凝土和高强钢筋的出现,预制装配式混凝土结构、高效预应力混凝土结构、泵送商品混凝土及各种新的施工技术等广

泛地应用于各类土木工程,如超高层建筑、大跨度桥梁、跨海隧道、高耸结构等。在计算理论上已过渡到充分考虑混凝土和钢筋塑性的极限状态设计理论,在设计方法上已过渡到以概率论为基础的多系数表达的设计公式。

第四阶段大致从1980年起,尤其是在近10年大模板现浇等工业化体系进一步发展,高层建筑结构体系有较广泛的应用。振动台试验、拟动力试验和风洞试验较普遍地开展。计算机辅助设计和绘图的程序化,改进了设计方法并提高了设计质量,也减轻了设计工作量。结构构件的设计已经采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

2. 混凝土结构的应用

混凝土结构广泛应用于土木工程的各个领域,下面简要介绍其主要应用情况。

混凝土强度随生产的发展而不断提高,目前C50~C80级混凝土甚至更高强度混凝土的应用已较普遍。各种特殊用途的混凝土不断研制成功并获得应用,如超耐久性混凝土的耐久年限可达500年;耐热混凝土可耐达1800℃的高温;钢纤维混凝土和聚合物混凝土,防射线、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等有特殊要求的混凝土也应用于实际工程之中。

房屋建筑中的住宅和公共建筑,广泛采用钢筋混凝土楼盖和屋盖。单层厂房很多采用钢筋混凝土柱、基础,钢筋混凝土或预应力混凝土屋架及薄腹梁等。高层建筑混凝土结构体系的应用甚为广泛。吉隆坡石油双塔大厦见图0-1-3,88层,高450m,为目前世界最高的混凝土建筑;我国上海金茂大厦见图0-1-4,88层,建筑高度420.5m,建筑面积290000m²,为钢筋混凝土和钢构架混合结构,其中横穿混凝土核心筒的三道8m高的多方位外伸钢桁架,为世界高层建筑所罕见,已嵌入世界名楼的版图,在施工中解决了若干重大技术难题。2007年7月,上海已建成95层460m高的浦东环球金融中心大厦,内筒为钢筋混凝土结构,成为目前世界上最高建筑物。世界上计划建造800m以上的塔楼,有日本东京的千禧年塔楼,高840m,以及香港超群塔楼,高1128m。



图0-1-3 吉隆坡石油双塔大厦



图0-1-4 上海金茂大厦

香港中国银行大厦见图0-1-5,在1989年建成,地上71层,高315m,天线顶端高368m。按建筑师贝聿铭的造型,平面为52m×52m的正方形,沿正方形对角线划分成4个等腰三角形,向上每隔若干层切去一个角区,仅一个角区至楼的顶部,上部结构由4个角

区组合在一起,高度递增不同的三棱柱组成。整座大楼由8片钢结构平面支撑和5根型钢混凝土柱所组成的混合结构“大型立体支撑体系”。型钢混凝土柱平面尺寸为 $4.3\text{ m}\times 7.93\text{ m}$,该建筑的受力体系比较合理。

桥梁工程中的中小跨度桥梁绝大部分采用混凝土结构建造,大跨度桥梁也有相当多的是采用混凝土结构建造。如1991年建成的挪威 Skarnsundet 预应力斜拉桥,跨度达 530 m ,居世界第一位;重庆长江二桥为预应力混凝土斜拉桥,跨度达 444 m ,居世界第二位;虎门大桥中的辅航道桥为预应力混凝土刚架公路桥,跨度达 270 m ;攀枝花预应力混凝土铁路刚架桥,跨度为 168 m 。公路混凝土拱桥应用也较多,其中突出的如1997年建成的四川万县长江大桥,为上承式拱桥,采用钢管混凝土和型钢骨架组成三室箱形截面,跨长 420 m ,目前居世界上第一位;贵州江界河 330 m

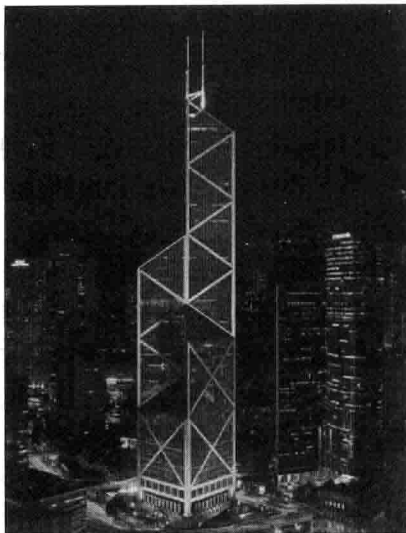


图0-1-5 香港中国银行大厦

的桁架式组合拱桥, 312 m 的广西邕宁江中承式拱桥等均为混凝土桥。隧道及地下工程多采用混凝土结构建造。中华人民共和国成立后修建了约 $2\,500\text{ km}$ 长的铁路隧道,其中成昆铁路线中有隧道 427 座,总长 341 km ,占全线路长 31% ;修建的公路隧道约 400 条,总长约 80 km 。日本1994年建成的青函海底隧道全长 53.8 km ,我国仅上海就修建了 4 条过江隧道。我国除北京、上海、天津、广州已有地铁外,许多城市正在筹划建造地铁。我国许多城市建有地下商业街、地下停车场、地下仓库、地下工厂、地下旅店等。

水利工程中的水电站、拦洪坝、引水渡槽、污水排灌管等均采用钢筋混凝土结构。目前世界上最高的重力坝为瑞士的大狄桑坝,高 285 m ;其次为俄罗斯的萨杨苏申克坝,高 245 m ;我国于1989年建成的青海龙羊峡大坝,高 178 m ;四川二滩水电站拱坝,高 242 m ;贵州乌江渡拱形重力坝,高 165 m ;黄河小浪底水利枢纽,主坝高 154 m 。我国在建的三峡水利枢纽,水电站主坝高 190 m ,设计装机容量 $1\,820\times 10^4\text{ kW}$,建成后该枢纽发电量将居世界单一水利枢纽发电量的第一位。另外,举世瞩目的南水北调大型水利工程,沿线将建造很多预应力混凝土渡槽。

特种结构中的烟囱、水塔、筒仓、储水池、电视塔、核电站反应堆安全壳、近海采油平台等也有很多采用混凝土结构建造。如1989年建成的挪威北海混凝土近海采油平台,水深 216 m ;目前世界上最高的电视塔是加拿大多伦多电视塔,塔高 553.3 m ,为预应力混凝土结构;上海东方明珠电视塔由三个钢筋混凝土筒体组成,高 456 m ,居世界第三位。瑞典建成容积为 $10\,000\text{ m}^3$ 的预应力混凝土水塔,我国山西云冈建成两座容量为 6万 t 的预应力混凝土煤仓等。

3. 混凝土结构的新进展

钢筋混凝土和预应力混凝土结构,除在一般工业与民用建筑中得到了极为广泛的应用外,当前令人瞩目的是它在高层建筑、大跨桥梁和高耸结构物应用中的突飞猛进、日新月异的发展。随着技术的发展,混凝土结构在其所用材料和配筋方式上有了许多新进展,形成了一些新的混凝土结构形式,如高性能混凝土、纤维增强混凝土及钢与混凝土组合结构等。

1) 高性能混凝土结构

高性能混凝土具有高强度、高耐久性、高流动性及高抗渗透性等优点,是今后混凝土材料发展的重要方向。我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)将混凝土强度等级大于C50的混凝土划为高强混凝土。我国在高层建筑中,已使用C50~C60级,个别工程用到C80,我国已研制成C100级的混凝土。罗马尼亚已研制成C170级,美国已研制成C200级混凝土,预计未来可达到C400级。高强混凝土的强度高、变形小、耐久性好,适应现代工程结构向大跨、重载、高耸的方向发展,并且满足了承受恶劣环境条件的需要。配制高强混凝土必须采用很低的水灰比并掺入粉煤灰、矿渣、沸石灰、硅粉等混合料。在混凝土中加入高效减水剂可有效地降低水灰比;掺入粉煤灰、矿渣、沸石灰则能有效地改善混凝土拌和料的工作度,提高硬化后混凝土的力学性能和耐久性;硅粉对提高混凝土的强度最为有效,并使混凝土具有耐磨和耐冲刷的特性。

高强混凝土在受压时表现出较少的塑性和更大的脆性,因而在结构构件计算方法和构造措施上与普通强度混凝土有一定差别,在某些结构上的应用受到限制,如有抗震设防要求的混凝土结构,混凝土强度等级不宜超过C60(设防烈度为9度时)和C70(设防烈度为8度时)。

2) 纤维增强混凝土结构

纤维增强混凝土是指在普通混凝土中掺加适量的纤维材料而形成改良混凝土。纤维材料有钢纤维、耐碱玻璃纤维、合成纤维、植物纤维等。纤维增强混凝土结构,可达到提高结构构件的抗拉、抗剪、抗折强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震、抗爆等性能,因而被广泛应用于各种工程,如抗震框架节点区、刚性防水屋面、地下防水工程、地下人防工程、混凝土拱桥拱体受拉区、桥梁桥面、公路路面、机场道面、隧洞衬砌、结构加固工程、大坝防渗面板、泄洪洞、水工结构中的高速水流冲刷和腐蚀的部位。

3) 钢与混凝土组合结构

用型钢或钢板焊(或冷压)成钢截面,再将其埋置于混凝土中,使混凝土与型钢整体共同受力,这种结构称为钢与混凝土组合结构,见图0-1-6。国内外常用的组合结构有压型钢板与混凝土组合楼板、钢与混凝土组合梁、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和外包钢混凝土结构等五大类。

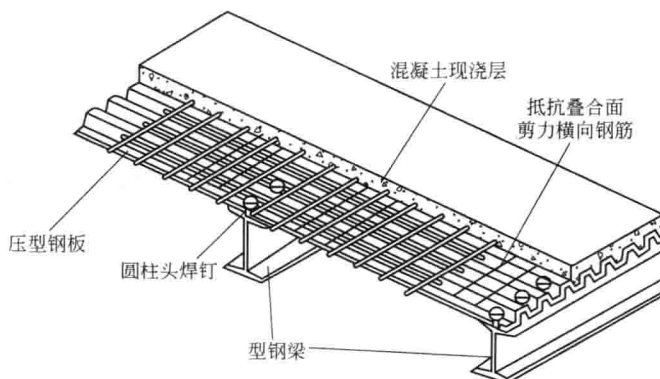


图0-1-6 钢与混凝土组合结构

钢与混凝土组合结构除具有钢筋混凝土结构的优点外,还有抗震性能好、施工方便、能充分发挥材料的性能等优点,因而得到了广泛应用。各种结构体系,如框架、框架—剪力

墙、剪力墙、框架—核心筒等结构体系中的梁、柱、墙均可采用组合结构。例如，美国近年建成的太平洋第一中心大厦（44层）和双联广场大厦（58层）的核心筒大直径柱子，以及北京环线地铁车站柱，都采用了钢管混凝土结构；上海金茂大厦外围柱及95层上海浦东世界环球金融中心大厦的外框筒柱，采用了型钢混凝土柱。我国在电厂建筑中推广使用了外包钢混凝土结构。

0.4 任务四：砌体结构特点及发展

1. 砌体结构的特点

砌体结构是砖砌体、砌块砌体、石砌体建造的结构的统称。这些砌体是分别将黏土砖、各种砌块或石材等块体用砂浆砌筑而成的。由于过去大量应用的是砖砌体和石砌体，所以习惯上称为砖石结构。

众所周知，砖、石是地方材料，用之建造房屋符合“因地制宜、就地取材”的原则。和钢筋混凝土结构相比，可以节约水泥和钢材，降低造价。砖石材料具有良好的耐火性、较好的化学稳定性和大气稳定性。在施工方面，砖石砌体砌筑时不需要特殊的技术设备。此外，砖石砌体特别是砖砌体，具有较好的隔热、隔声性能。

砌体结构的另一个特点是其抗压强度远大于抗拉、抗剪强度，即使砌体强度不是很高，也能具有较高的结构承载力，特别适合于以受压为主的构件。由于上述这些特点，砌体结构得到了广泛的应用，不但大量应用于一般工业与民用建筑，而且在高塔、烟囱、料仓、挡墙等构筑物及桥梁、涵洞、墩台等也有广泛的应用。闻名世界的中国万里长城和埃及金字塔就是古代砌体结构的光辉典范。

砌体结构与其他材料结构相比有许多缺点，砌体的强度较低，因而必须采用较大截面的墙、柱构件，体积大、自重大、材料用量多、运输量也随之增加；砂浆和块材之间的黏结力较弱，因此砌体的抗拉、抗弯和抗剪强度较低，抗震性能差，使砌体结构的应用受到限制；砌体基本上采用手工方式砌筑，劳动量大，生产效率较低。此外，在我国大量采用的黏土砖与农田争地的矛盾十分突出，已经到了政府不得不加大禁用黏土砖力度的程度。

随着科学技术的进步，针对上述种种缺点已经采取各种措施加以克服和改善，古老的砖石结构已经逐步走向现代砌体结构。

2. 我国砌体结构的最新进展

我国在砌体结构研究和应用方面做了大量工作。

新中国成立初期，由东北人民政府工业局拟定出《砖石结构设计临时标准》（1952年），规定结构分析和设计应基于弹性理论和允许荷载。1955年国家建筑工程部公布了《砖石及钢筋砖石结构临时设计规范》，这是参照苏联破损阶段设计法结合我国情况修订的。1960年和1966年规范修订组提出了《砖石结构设计规范草案》，这是在苏联1955年按极限状态设计规范颁布后结合我国实际情况修订的，但没有正式颁布，实际上设计工作是采用苏联1955年规范。

1973年在大量试验研究和总结新中国成立以来工程实践经验基础上颁布了《砖石结构设计规范》（GBJ 3—73），它和钢筋混凝土结构设计规范一样采用了多系数分析、单一安全