

# 混凝土结构与 砌体结构

主编 翁光远  
主审 杨云峰

非外售



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

要 录 内 容

本书共分两大部分，第一部分为混凝土结构工程，第二部分为砌体结构工程。本书可作为土木工程专业及相关专业的教材，也可供从事土木工程的工程技术人员参考。

# 混凝土结构与砌体结构

清华大学出版社

ISBN 978-7-302-58827-8

主 编 翁光远  
 参 编 柴彩萍 王占锋  
           贺丽娟 刘 洋  
 主 审 杨云峰

清华大学出版社



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 提 要

本书共分为三篇九个项目, 主要内容包括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、结构设计基本原理、梁板结构施工图设计、单层工业厂房施工图设计、多层框架结构施工图设计、砌体结构施工图设计、预应力混凝土基本知识、混凝土构件的使用性能及结构耐久性等。

本书可作为高等院校土木工程类相关专业的教材, 也可作为建筑工程技术人员及相关人员学习的参考用书。

版权专有 侵权必究

### 图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构与砌体结构 / 翁光远主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5682-5039-9

I. ①混… II. ①翁… III. ①混凝土结构—高等学校—教材 ②砌体结构—高等学校—教材 IV. ①TU37 ②TU209

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第309825号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米 × 1092毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 462千字

版 次 / 2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷

定 价 / 72.00元

责任编辑 / 李玉昌

文案编辑 / 李玉昌

责任校对 / 杜 枝

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

## 编审委员会

顾问：胡兴福 全国住房和城乡建设职业教育教学指导委员会秘书长  
全国高职工程管理类专业指导委员会主任委员  
享受政府特殊津贴专家，教授、高级工程师

主任：杨云峰 陕西交通职业技术学院党委书记，教授、正高级工程师

副主任：薛安顺 刘新潮

委员：

于军琪 吴涛 官燕玲 刘军生 来弘鹏

高俊发 石坚 黄华 熊二刚 于均

赵晓阳 刘瑞牛 郭红兵

编写组：

丁源 罗碧玉 王淑红 吴潮玮 寸江峰

孟琳 丰培洁 翁光远 刘洋 王占锋

叶征 郭琴 丑洋 陈军川

# 前 言

本书按照土木工程类相关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。

本书注重理论内容的精炼，突出实践内容的重要性，以“实用”为宗旨，在重要章节内容的编写过程中，附有大量的实践设计，体现知识与能力的结合，力求反映高等教育的教材特点。

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，第一篇为技能基础篇，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；第二篇为技能形成篇，开发教学项目4个，分别为梁板结构施工图设计、单层工业厂房施工图设计和多层框架结构施工图设计和砌体结构施工图设计；第三篇为技能拓展篇，开发教学项目2个，分别为预应力混凝土基本知识和混凝土构件的使用性能及结构耐久性。

本书由翁光远担任主编，柴彩萍、王占锋、贺丽娟和刘洋参与了本书部分章节的编写工作。具体编写分工为：绪论、第二篇项目1的1.4和1.5节、第二篇项目3、第二篇项目4、第三篇项目1由翁光远编写；第一篇项目1、第一篇项目2、第一篇项目3、第三篇项目2和附录B由柴彩萍编写；第二篇项目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，第二篇项目2的2.1、2.2节由王占锋编写；第二篇项目1的1.3.8、1.3.9、1.3.10、1.3.11、1.3.12、1.3.13、1.3.14节和附录A由贺丽娟编写；第二篇项目2的2.3节由刘洋编写。全书最后由翁光远修改定稿，由杨云峰主审。

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。

编 者

# 目 录

## 第一篇 技能基础

### 绪论..... 1

- 0.1 混凝土结构的基本概念..... 1
- 0.2 混凝土结构的特点..... 2
- 0.3 混凝土结构的应用及发展..... 3
- 0.4 砌体结构特点及发展..... 7
- 0.5 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..... 11

- 1.1 钢筋的种类及选用.....11
  - 1.1.1 钢筋的形式.....11
  - 1.1.2 钢筋的种类.....11
  - 1.1.3 钢筋的公称截面面积及质量...12
  - 1.1.4 混凝土结构中钢筋的选用.....12
- 1.2 钢筋的力学性能.....13
  - 1.2.1 钢筋的应力-应变曲线.....13
  - 1.2.2 钢筋的塑性性能.....14
  - 1.2.3 钢筋强度取值.....15
  - 1.2.4 钢筋的弹性模量.....17
- 1.3 混凝土的强度.....17
  - 1.3.1 混凝土立方体抗压强度.....17

1.3.2 混凝土轴心抗压强度.....18

1.3.3 混凝土的轴心抗拉强度.....18

### 1.4 混凝土的变形.....20

- 1.4.1 混凝土在一次短期加载时的变形性能.....20
- 1.4.2 混凝土在长期不变荷载作用下的变形性能(徐变).....21
- 1.4.3 混凝土的收缩.....23
- 1.4.4 混凝土的弹性模量、变形模量.....23

### 1.5 钢筋和混凝土之间的粘结力.....24

- 1.5.1 粘结力的组成.....24
- 1.5.2 影响粘结强度的因素.....24
- 1.5.3 粘结应力的分布及应用.....25

### 1.6 基本锚固长度.....25

- 1.6.1 基本锚固长度的概念.....25
- 1.6.2 基本锚固长度的确定.....26

### 项目2 砌体结构材料的物理力学性能... 29

#### 2.1 砌体的材料及种类.....29

- 2.1.1 砌体的材料.....29
- 2.1.2 砌体的种类.....31

#### 2.2 砌体的受压性能.....33

2.2.1 砖砌体受压的三个阶段 .....	33	1.3.2 多层厂房楼盖设计工作流程 .....	51
2.2.2 砖砌体受压应力状态的分析 .....	34	1.3.3 选择结构平面布置方案 .....	51
2.2.3 影响砌体抗压强度的因素 .....	35	1.3.4 确定计算简图 .....	52
2.2.4 砌体的抗压强度 .....	35	1.3.5 板的截面构造 .....	54
2.2.5 砌体的抗拉、抗弯和抗剪强度 .....	37	1.3.6 梁的截面构造 .....	56
<b>项目3 结构设计基本原理 .....</b>	<b>40</b>	1.3.7 板、次梁、主梁的内力计算 .....	57
3.1 结构的功能要求和极限状态 .....	40	1.3.8 单筋矩形截面配筋设计 .....	65
3.1.1 结构的功能要求 .....	40	1.3.9 板的截面配筋及施工图设计 .....	75
3.1.2 结构的设计使用年限 .....	40	1.3.10 双筋矩形截面配筋设计 .....	78
3.1.3 结构功能的极限状态 .....	41	1.3.11 T形截面配筋设计 .....	83
3.2 极限状态设计原理 .....	42	1.3.12 斜截面设计 .....	90
3.2.1 结构上的作用、作用效应及 结构的抗力 .....	42	1.3.13 次梁的截面配筋及施工图 设计 .....	112
3.2.2 荷载代表值 .....	42	1.3.14 主梁的截面配筋及施工图 设计 .....	112
3.2.3 荷载分项系数及荷载设计值 .....	43	1.4 项目化教学成果展示 .....	113
3.2.4 材料强度取值 .....	44	1.5 练习题 .....	125
3.3 极限状态实用设计表达式 .....	44	<b>项目2 单层工业厂房施工图设计 .....</b>	<b>126</b>
3.3.1 承载能力极限状态设计表 达式 .....	44	2.1 单层工业厂房认知 .....	126
3.3.2 正常使用极限状态设计表 达式 .....	46	2.2 单层工业厂房的结构布置及选型 .....	126
		2.2.1 屋盖结构构件 .....	126
		2.2.2 柱网布置及选型 .....	129
		2.2.3 起重机梁布置及选型 .....	130
		2.2.4 变形缝设置 .....	131
		2.2.5 围护结构布置 .....	131
		2.2.6 支撑的布置 .....	133
		2.2.7 基础选型 .....	137
		2.3 排架结构内力分析 .....	137
		2.3.1 排架的计算简图 .....	138
<b>第二篇 技能形成</b>			
<b>项目1 梁板结构的施工图设计 .....</b>	<b>48</b>		
1.1 受弯构件受力特征 .....	48		
1.2 现浇肋形梁板分类 .....	49		
1.3 单向板肋梁楼盖的设计 .....	50		
1.3.1 多层厂房楼盖设计任务书 .....	50		

2.3.2	排架的荷载计算	138	3.4.1	竖向荷载作用下内力的近似 计算——分层法	176
2.3.3	排架的内力分析	142	3.4.2	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
2.3.4	受压构件简介(截面形式、 尺寸及材料要求)	145	3.4.3	水平荷载作用下侧移的 计算	181
2.3.5	轴心受压构件截面设计	148	3.5	内力组合及截面设计	182
2.3.6	偏心受压构件正截面破坏 形态	154	3.5.1	荷载效应组合	182
2.3.7	偏心受压构件的破坏类型	155	3.5.2	控制截面及最不利内力	183
2.3.8	矩形截面偏心受压构件正截 面的承载力	156	3.5.3	框架梁弯矩调幅	185
2.3.9	矩形截面对称配筋偏心受压 构件承载力	159	3.5.4	框架梁及柱的截面配筋 计算	185
2.3.10	偏心受压构件正截面承载力 $N_u$ 与 $M_u$ 的关系	162	3.6	构造要求	185
2.3.11	偏心受压构件斜截面受剪承 载力	163	3.6.1	框架梁	185
2.3.12	排架柱的设计	163	3.6.2	框架柱	186
2.3.13	牛腿的设计	164	3.6.3	梁柱节点	187
2.3.14	吊装验算	167	3.6.4	钢筋连接和锚固	187

### 项目3 多层框架结构施工图设计 169

3.1	钢筋混凝土多层框架结构简介	169
3.2	结构布置	170
3.2.1	柱网尺寸、层高、总高	170
3.2.2	平面布置	171
3.2.3	变形缝的设置	171
3.3	框架梁、柱截面尺寸及计算简图	173
3.3.1	梁柱截面选择	173
3.3.2	框架计算简图	174
3.4	内力分析及侧移验算	175

### 项目4 砌体结构施工图设计 189

4.1	砌体结构构件的承载力计算	189
4.1.1	无筋砌体受压构件	189
4.1.2	砌体局部受压	194
4.1.3	砌体轴心受拉、受弯和受剪 构件	199
4.1.4	配筋砌体	201
4.2	混合结构房屋的墙体设计	203
4.2.1	房屋的结构布置	203
4.2.2	房屋的静力计算方法	204
4.2.3	墙、柱高厚比验算	206



4.2.4 刚性方案房屋的墙体计算	210
4.3 砌体结构中的过梁、圈梁及挑梁	215
4.3.1 过梁	215
4.3.2 圈梁	218
4.3.3 挑梁	219
4.4 砌体结构的构造措施	222
4.4.1 一般构造要求	222
4.4.2 墙体的布置及构造柱的设置要求	224
4.4.3 防止墙体开裂的主要措施	227

### 第三篇 技能拓展

#### 项目1 预应力混凝土基本知识 230

1.1 预应力混凝土基本概念	230
1.1.1 预应力混凝土的基本原理	230
1.1.2 预应力混凝土的特点和应用	231
1.1.3 预应力混凝土的分类	231
1.2 预应力混凝土的材料	233
1.2.1 预应力钢筋	233
1.2.2 预应力混凝土构件中的混凝土	234
1.2.3 孔道及灌浆材料	234
1.2.4 预应力混凝土构件的锚具	235
1.3 构件设计一般规定	237
1.3.1 张拉控制应力	237
1.3.2 预应力损失	237
1.3.3 预应力损失值的组合	240
1.3.4 先张法构件预应力钢筋的传递长度	240

1.4 预应力混凝土构件构造要求	241
1.4.1 一般规定	241
1.4.2 先张法构件的构造要求	242
1.4.3 后张法构件的构造要求	243

#### 项目2 混凝土构件的使用性能及结构耐久性 247

2.1 钢筋混凝土受弯构件挠度验算	247
2.1.1 受弯构件的变形特点	247
2.1.2 受弯构件在荷载效应标准组合下的短期刚度	248
2.1.3 受弯构件考虑荷载长期作用影响的刚度	249
2.1.4 受弯构件的最小刚度原则和挠度计算	249
2.1.5 验算挠度的步骤	250
2.1.6 减小构件挠度的措施	251
2.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	251
2.2.1 裂缝控制	251
2.2.2 混凝土构件裂缝宽度验算	252
2.2.3 验算最大裂缝宽度的步骤	256
2.3 混凝土结构的耐久性	256
2.3.1 影响混凝土结构耐久性能的主要因素	256
2.3.2 耐久性设计	258

#### 附录A 261

#### 附录B 290

#### 参考文献 294

# 第一篇 技能基础

## 绪 论

### 0.1 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的承重骨架体系。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、矿井以及水利、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,如图 0-1-1 所示。

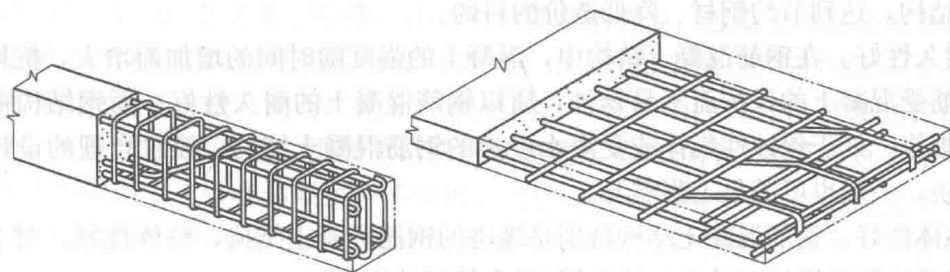


图 0-1-1 钢筋混凝土结构

预应力混凝土结构是指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,其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主要的承重结构。在大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,钢筋的抗拉强度和抗压强度都很高,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,如图 0-1-2(a)所示。梁在受拉区配置适量的钢筋,

即构成钢筋混凝土梁，如图 0-1-2(b)所示。在荷载作用下，梁受拉区的混凝土仍会开裂，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，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。

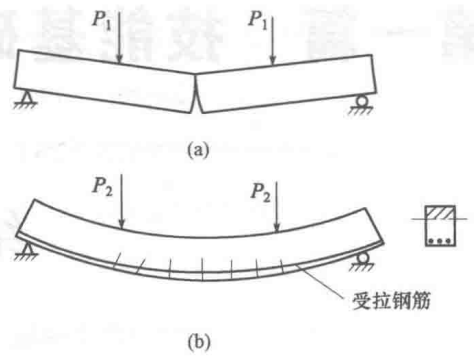


图 0-1-2 素混凝土梁和钢筋混凝土梁  
(a)素混凝土梁；(b)钢筋混凝土梁

## 0.2 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粘结力，能牢固粘结成整体。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  $1.2 \times 10^{-5}$ ，混凝土为  $1.0 \times 10^{-5}$ )，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大，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，特别适用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集料用于钢筋混凝土结构中，

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、木结构需要经常地保养。

虽然混凝土结构具有上述的优点,但在工程应用过程中还存在以下一些缺点:

(1)自重大。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。在严寒地区冬期施工,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。在酷热地区或雨期施工,可采用防护措施,控制水胶比,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 混凝土结构的应用及发展

### 1. 混凝土结构的发展概况

相对于木结构、钢结构、砌体结构而言,混凝土结构起步较晚,其应用仅有 160 多年的历史,可大致划分为四个阶段。从 1850 年到 1920 年为第一阶段,这时由于钢筋和混凝土的强度都很低,仅能建造一些小型的梁、板、柱、基础等构件,钢筋混凝土本身的计算理论尚未建立,只能按弹性理论进行结构设计;自 1920 年至 1950 年为第二阶段,这时已建成各种空间结构,发明了预应力混凝土并应用于实际工程,开始按破损阶段进行构件截面设计;1950 年到 1980 年为第三阶段,由于材料强度的提高,混凝土单层房屋和桥梁结构的跨度不断增大,混凝土高层建筑的高度已达 262 m,混凝土的应用范围进一步扩大,普遍采用各种现代化施工方法,同时广泛采用预制构件,结构构件设计已过渡到按极限状态的设计方法;大致从 1980 年起,混凝土结构的发展进入第四阶段。尤其是近十余年来,大模板现浇和大板建筑等工业化体系进一步发展,高层建筑新结构体系(如框桁架体系和外伸结构等)有较多的应用。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;非线性有限元分析方法的广泛应用,推动了混凝土强度理论和本构关系的深入研究,并形成了“近代混凝土力学”这一分支学科;结构构件的设计已采用极限状态设计方法。

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很多新进展,形成了一些新的混凝土结构形式,如高性能混凝土结构、纤维增强混凝土结构、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。一般将混凝土强度等级大于 C50 的混凝土划分为高强度混凝土。高强度混凝土的强度高、变形小、耐久性好,适应现代工程结构向大

跨、重载、高层发展和承受恶劣环境条件的需要。配置高强度混凝土必须采用较低的水胶比，并应掺入粉煤灰、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胶比；掺入粉煤灰、矿渣、沸石灰则能有效地改善混凝土拌合料的和易性，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。

高强度混凝土在受压时表现出较小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(抗震设防烈度为 9 度时)和 C70(抗震设防烈度为 8 度时)。

(2)纤维增强混凝土结构。在普通混凝土中掺入适当的各种纤维材料而形成纤维增强混凝土，其抗拉、抗剪、抗折强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震和抗爆等性能均有较大提高，因而获得较大发展和应用。

目前，应用较多的纤维材料有钢纤维、合成纤维、玻璃纤维和碳纤维等。

钢纤维混凝土是将短的、不连续的钢纤维均匀、乱向地掺入普通混凝土而制成，有无钢筋纤维混凝土结构和钢纤维钢筋混凝土结构两种。钢纤维混凝土结构的应用很广，如机场的飞机跑道、地下人防工程、地下泵房、水工结构、桥梁与隧道工程等。

合成纤维(尼龙基纤维、聚丙烯纤维等)可以作为主要加筋材料，能提高混凝土的抗拉、韧性等结构性能，用于各种水泥基板材；其也可以作为一种次要加筋材料，主要用于提高水泥混凝土材料的抗裂性。碳纤维具有轻质、高强、耐腐蚀、施工便捷等优点，已广泛用于建筑、桥梁结构的加固补强及机场飞机跑道工程等。

(3)钢与混凝土组合结构。用型钢或钢板焊(或冷压)成钢截面，再将其埋置在混凝土中，使混凝土与型钢形成整体共同受力，这种结构称为钢与混凝土组合结构。国、内外常用的钢与混凝土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五大类。

钢与混凝土组合结构除具有钢筋混凝土结构的优点外，还具有抗震性能好、施工方便，能充分发挥材料的性能等优点，因而可以得到广泛应用。各种结构体系，如框架、剪力墙、框架-剪力墙、框架-核心筒等结构体系中的梁、柱、墙均可采用钢与混凝土组合结构。例如，美国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，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、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。

## 2. 混凝土结构应用概况

混凝土结构广泛应用于土木工程各个领域，下面简要介绍其主要应用情况。

在混凝土结构材料应用方面，混凝土和钢材的质量不断改进、强度逐步提高。例如，美国 20 世纪 60 年代使用的混凝土平均抗压强度为 28 MPa，20 世纪 70 年代提高到 42 MPa，近年来，一些特殊需要的结构混凝土抗压强度可达 80~105 MPa，而实验室制备的混凝土抗压强度可高达 1 000 MPa。目前，强度等级为 C50~C80 的混凝土甚至更高强度混凝土的应用已比较普遍。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；耐热混凝土可达 1 800 ℃ 的高温；钢纤维混凝土和聚合物混凝土、放射线、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等有特殊要求的混凝土也应用在实际工程中。20 世纪 70 年代，苏联使用的钢材平均屈服强度为 380 MPa，20 世纪 80 年代提高到 420 MPa，而

美国在 20 世纪 70 年代所用钢材平均屈服强度已达 420 MPa, 预应力钢筋强度则更高。材料质量与强度的提高为混凝土结构在更大范围应用创造了条件。

目前, 混凝土结构已成为土木工程中的主流结构。例如, 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更为广泛。2010 年投入使用的阿拉伯联合酋长国迪拜哈利法塔(Burj Khalifa Tower), 是已建成的世界最高混凝土结构建筑物(图 0-1-3)。哈利法塔原名迪拜塔(Burj Dubai), 又称迪拜大厦或比斯迪拜塔, 162 层, 总高度为 828 m。号称“亚洲第一高楼”的上海中心, 127 层, 楼高为 632 m, 是亚洲最高的混凝土结构建筑物(图 0-1-4)。1998 年建成的马来西亚石油双塔楼, 88 层, 高度为 452 m, 以及 2003 年建成的中国台北国际金融中心, 101 层, 高度为 455 m, 这两幢房屋均采用钢-混凝土组合结构, 其高度已超过世界上最高的钢结构房屋(美国芝加哥 Sears Tower 大厦)。我国上海金茂大厦, 88 层, 建筑高度为 420.5 m, 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 8 m 高的多方位外伸钢桁架, 为世界高层建筑所罕见。已知世界上计划建造 800 m 以上的塔楼, 有日本东京的千禧年大厦(Millennium Tower), 高度为 840 m, 以及香港超群塔楼(Bionic Tower), 高度为 1 128 m 等。



图 0-1-3 世界第一高楼——哈利法塔



图 0-1-4 亚洲第一高楼——上海中心

混凝土结构在桥梁工程中的应用也相当普遍, 无论是中、小跨度桥梁还是大跨度桥梁, 大都采用混凝土结构建造。如分别于 1991 年与 1997 年建成的挪威 Skarnsundet 桥和重庆长江二桥, 均为预应力混凝土斜拉桥; 广东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(现重庆万州)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, 为目前世界最大跨径拱桥; 贵州江界河 330 m 的桁架式组合拱桥, 广西邕宁江 312 m 的中承式拱桥等均为混凝土桥。尤为值得一提的是当今世界上最长的跨海大桥——青岛海湾大桥(又称胶州湾跨海大桥), 全长 41.58 km, 分上部结构和下部结构两部分, 其中, 上部结构包括钢箱梁、混凝土主塔和悬索等, 下部结构则包括混凝土承台、墩身及桩基等(图 0-1-5)。

位居世界跨海大桥第三的是我国杭州湾跨海大桥(图 0-1-6), 全长 36 km, 据初步核定, 大桥共用钢材 76.7 万 t, 水泥 129.1 万 t, 石油沥青 1.16 万 t, 木材 1.91 万 m<sup>3</sup>, 混凝土 240 万 m<sup>3</sup>, 各类混凝土桩基 7 000 余根, 为国内特大型桥梁之最。

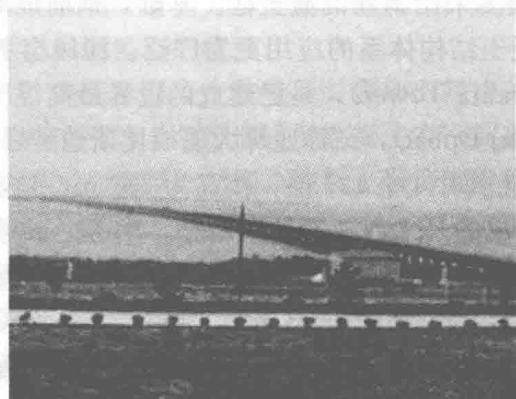


图 0-1-5 世界最长跨海大桥——  
青岛海湾大桥



图 0-1-6 世界第三长跨海大桥——  
杭州湾跨海大桥

混凝土结构在隧道工程、水利工程、地下工程、特种工程中的应用也极为广泛。中华人民共和国成立后, 修建了约 2 500 km 长的铁路隧道, 其中, 成昆铁路线中有混凝土隧道 427 座, 总长 341 km, 占全线路长的 31%。我国除北京、上海、天津、广州等大城市已有地铁外, 许多二、三线城市也建有或正在筹划建造地铁。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仁桑坝, 高度为 285 m, 其次为俄罗斯的萨杨苏申克坝, 高度为 245 m; 我国于 1989 年建成的青海龙羊峡大坝, 高度为 178 m; 四川二滩水电站拱坝, 高度为 242 m; 贵州乌江渡拱形重力坝, 高度为 165 m; 黄河小浪底水利枢纽主坝, 高度为 154 m。我国的三峡水利枢纽, 水电站主坝, 高度为 190 m, 设计装机容量  $1\,820 \times 10^4$  kW, 发电量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。例如, 1989 年建成的挪威北海混凝土近海采油平台, 水深为 216 m; 目前, 世界上最高的电视塔——加拿大多伦多电视塔, 塔高为 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, 高度为 456 m, 居世界第三位。另外, 还有瑞典建成的容积为 10 000 m<sup>3</sup> 的预应力混凝土水塔, 我国山西云冈建成的两座容量为  $6 \times 10^4$  t 的预应力混凝土煤仓等。

### 3. 我国混凝土结构规范编制简介

随着我国土木工程建设经验的积累、科研工作和世界范围内技术的不断进步, 体现我国混凝土结构学科水平的混凝土结构规范也在不断改进与完善。1952 年, 东北地区首先颁布了《建筑物结构设计暂行标准》; 1955 年, 借鉴苏联规范中的破损阶段设计法, 制定了《钢筋混凝土结构设计暂行规范》; 1966 年颁布了中国第一部《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG21—1966), 采用了当时较为先进、以三系数(材料匀质系数、超载系数、工作条件系

数)表达的极限状态设计法;1974年编制的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—1974),采用了多系数分析、单一安全系数表达的极限状态设计法,并辅以相关规定和规程。

为解决各类材料的建筑结构可靠度设计方法的合理与统一问题,我国于1984年颁布了《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—1984),规定各种建筑结构设计规范均统一采用以概率理论为基础的极限状态设计法。其特点是以结构功能的失效概率作为结构可靠度的量度,将极限状态的概念由定值转到非定值,从而将我国结构可靠度方法提升到当时的国际水准。与此相适应,1989年我国颁布了《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—1989)。2001年前后,我国先后颁布了《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)和《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)等。然而,2008年5月12日,震惊中外的汶川大地震造成约700万间房屋倒塌,2400万间房屋受损,给我国土木建筑工作者带来了惨痛的教训,也客观反映出我国原有规范中存在的不足。在进行汶川地震房屋倒塌与损害原因分析的基础上,2009年起,我国先后颁布了《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)和《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010),并首次提出了工程建设标准是最低要求的概念。2015年,我国对《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)进行了局部修订,2016年又对《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)进行了局部修订,以进一步适应当前的发展。但是,以上规范、标准与国际上通用的设计规范相比还有一定的差距,有待进一步发展与完善。不可否认的是,每一次新规范、新标准的颁布,必将极大推动新材料、新工艺与新结构的应用,从而推动我国混凝土结构学科向前发展。

## 0.4 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,用其建造房屋符合“因地制宜、就地取材”的原则。和钢筋混凝土结构相比,其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、石砌体在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、挡墙等构筑物以及桥梁、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;砂浆和块材之间的粘结力较弱,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. 砌体结构的发展

(1)砌体结构简要发展历史:我国素有“秦砖汉瓦”之说,足见砌体结构的悠久历史。考古资料表明:约在五千年前的新石器时代,就有石砌围墙、石砌祭坛和木骨架泥墙建筑;在商代(公元前1600—前1046)以后,开始逐渐采用黏土做成板筑墙;在西周时代(公元前1046—前771)已有烧制瓦存在;战国时代(公元前475—前221)已能烧制大尺寸空心砖;南北朝以后,砖的应用更为普遍;而秦代(公元前221—前207)修建的闻名于世的万里长城,则主要是用土和乱石筑成的城墙,它是我国砌体结构史上光辉的一页;隋代(公元581—617)时由工匠李春建造的河北赵县赵州桥(安济桥),其净跨为37.37 m、高为7 m、宽为9 m,是单孔敞肩式石拱桥,其造型新颖,结构合理,是世界上最早建造且保留至今的石桥;明代建造的南京灵谷寺无梁殿后面走廊的砖砌穹窿,显示出我国古代应用砖石结构上的巨大成就。

砌体结构在我国的发展大致可分为三个阶段:

1)19世纪中叶以前,我国的砖石结构主要为城墙、佛墙、石桥及少数砖砌重型穹拱佛殿。

2)19世纪中叶到20世纪中叶100年左右的时间,我国广泛采用黏土砖建造承重墙。这一阶段对砌体结构的设计按容许应力法粗略计算,而静力分析还没有较正确的理论依据。

3)1950年至今,我国广泛采用砖砌多层房屋、扩大石结构应用范围,发展新结构,采用新材料和新技术(如建造砖薄壳、采用蒸压灰砂砖和粉煤灰砖、混凝土空心砌块、采用各种配筋砌体和大型墙板等),砌体结构有了较快发展。

(2)砌体结构主要发展方向:我国自新中国成立以来,砌体结构有了较快发展,以往砌体结构的固有缺点限制了砌体结构的适用范围,并且不符合大规模建设的要求。但砌体结构在很多领域的使用仍具有现实意义,因此研制轻质高强块体,使砂浆具有高强度,采用工业化方法和机械化施工,利用工业废料制作块体等,是砌体结构的主要发展方向。

1)研制轻质高强块体。目前,我国采用的烧结砖,抗压强度一般都比较低;而国外市场供应的砖,抗压强度可高达 $140\text{ N/mm}^2$ ,两者差距较大。轻质高强意味着砌体抗压强度的提高,因而墙厚可减薄,自重可减轻。

大尺寸、高孔洞率、高强度的空心砖,有利于减轻结构自重、节约材料、降低工程造价。我国的承重空心砖孔洞率一般在30%以内,抗压强度设计值为 $10\sim 30\text{ N/mm}^2$ ,国外的承重空心墙孔洞率往往在40%以上,抗压强度普遍可达 $30\sim 40\text{ N/mm}^2$ ,有的国家还可以达到 $50\sim 80\text{ N/mm}^2$ 。采用高强轻质空心砖可以建造高层建筑,如瑞士用孔洞率为28%、抗压强度为 $60\text{ N/mm}^2$ 的空心砖先后建成了19层和24层的塔式住宅,而墙体厚度仅为380 mm。为节省钢材和水泥、造价,有必要研制适合时代发展的高强度轻质砖或砌块。

2)利用工业废料制作块体。城市工业废料如粉煤灰、炉渣或经过处理的垃圾,可以制成硅酸盐砖、加气硅酸盐砌块或炉渣混凝土砌块等,这样既可处理城市建设中的部分工业垃圾,又可以减少烧结砖的使用,进而保护了耕地。

3)采用大型墙板结构。大型墙板作为悬挂的外墙,墙内采用现浇钢筋混凝土墙(俗称内浇外挂)的结构,是北京、唐山等地住宅建筑的一种主要承重结构形式,其有利于加快建筑速度、减轻砌墙的繁重体力劳动,促进建筑工业化、施工机械化,是墙体改革的一种趋向。