



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

混凝土及砌体结构

赵歆冬 丁怡洁 编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

混凝土及砌体结构

赵歆冬 丁怡洁 编

北 京

冶金工业出版社

2014

内 容 提 要

本书系按照高等院校土木工程及相关专业的教学要求,以我国新近修订的结构设计规范为依据进行编写的,主要内容包括:混凝土材料的物理力学性能;结构构件极限状态设计方法的基本原理;结构构件受弯、轴心受力、偏心受力、受扭等受力性能分析的基本理论;混凝土梁板结构,单层工业厂房结构,多、高层房屋结构,砌体结构等结构设计计算方法和构造措施。

本书为普通高等院校土木工程、工程管理、工程造价等专业的教材,也可供从事混凝土及砌体结构设计、施工和科研工作的人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土及砌体结构/赵歆冬,丁怡洁编. —北京:冶金工业出版社,2014.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6596-4

I. ①混… II. ①赵… ②丁… 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 ②TU36

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第141154号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6596-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京印刷一厂印刷

2014年7月第1版,2014年7月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;17.75印张;428千字;270页

38.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

“混凝土及砌体结构”是土木工程专业及相关专业（如工程管理专业）的必修课程，目前的教材多适合结构工程专业本科教学使用，对于非结构工程专业学生及结构工程专业非本科学生而言，显得概念较多、内容庞杂。为此，本书在编写时结合非结构工程专业学生及结构工程专业非本科学生的培养目标和教学要求，力求在符合教学大纲的前提下，做到概念清楚，内容精炼，知识全面。

本书按照我国新近修订的一些规范，如《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2012）、《工程结构可靠性设计统一标准》（GB 50153—2008）、《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）、《砌体结构设计规范》（GB 50003—2011）、《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2011）等进行编写。全书分为14章，大体分为3部分，其中第1章~第10章为第1部分，主要讲述混凝土结构基本理论；第11章~第13章为第2部分，主要讲述混凝土结构设计；第14章为第3部分，主要讲述砌体结构基本理论与设计。本书的编写注重从基础理论到结构设计，由浅入深，循序渐进，力求使学生在清楚了解基本概念之后，能较容易地掌握混凝土及砌体结构的设计计算方法和设计步骤，并能够做到灵活应用。

本书由西安建筑科技大学赵歆冬、丁怡洁编写。其中第1章、第3章、第7章~第10章、第12章~第14章由赵歆冬编写；第2章、第4章~第6章和第11章由丁怡洁编写。西安建筑科技大学王社良教授、陈平教授在审阅书稿过程中提出了许多宝贵的意见，特在此对他们表示诚挚的谢意。

在编写过程中，参考了一些国内外的文献，在此对文献作者表示衷心感谢。

本书如果能为读者的学习和工作提供帮助，作者将深感欣慰。鉴于作者水平有限，书中不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

2014年1月

目 录

1 绪论	1
1.1 混凝土结构的基本概念	1
1.2 钢筋混凝土共同工作的基础	1
1.3 混凝土结构的特点	2
1.4 混凝土结构的应用及发展	2
1.4.1 混凝土结构发展概况	2
1.4.2 混凝土结构的应用	3
1.4.3 混凝土结构的发展趋势	3
1.5 砌体结构的一般概念	5
1.5.1 砌体结构的基本概念及发展	5
1.5.2 砌体结构的特点及应用范围	6
1.6 本书的主要内容、特点及学习方法	6
1.6.1 本书的主要内容	7
1.6.2 本书的特点及学习方法	7
小结	8
复习思考题	8
2 混凝土结构材料的物理力学性能	9
2.1 钢筋的物理力学性能	9
2.1.1 钢筋的成分、级别和品种	9
2.1.2 钢筋的强度和变形性能	10
2.1.3 钢筋的冷加工	13
2.1.4 钢筋的选用原则	13
2.2 混凝土的物理力学性能	14
2.2.1 混凝土的强度	14
2.2.2 混凝土的变形	18
2.2.3 混凝土的选用原则	22
2.3 钢筋与混凝土的粘结	22
2.3.1 钢筋与混凝土的粘结作用	22
2.3.2 粘结强度及影响因素	23
2.3.3 钢筋的锚固和连接	24
小结	27

复习思考题	27
3 结构设计方法	29
3.1 结构设计的要求	29
3.2 结构上的作用、作用效应及抗力	30
3.2.1 结构上的作用和作用效应	30
3.2.2 结构抗力	31
3.3 荷载与材料强度取值	31
3.3.1 荷载代表值的确定	31
3.3.2 材料强度标准值的确定	33
3.4 工程结构设计计算方法	33
3.4.1 混凝土结构构件设计计算方法	33
3.4.2 概率极限状态设计法	34
3.5 极限状态设计表达式	37
3.5.1 结构的设计状况	37
3.5.2 承载能力极限状态设计表达式	38
3.5.3 正常使用极限状态设计表达式	39
小结	41
复习思考题	41
4 受弯构件正截面承载力计算	42
4.1 概述	42
4.1.1 受弯构件的受力特点和配筋形式	42
4.1.2 受弯构件的一般构造要求	43
4.2 受弯构件正截面受力性能试验研究	45
4.2.1 试验方案	45
4.2.2 适筋梁正截面受力的三个阶段	45
4.2.3 正截面受弯的三种破坏形态	48
4.3 受弯构件正截面承载力计算的一般规定	48
4.3.1 基本假定	48
4.3.2 受压区等效矩形应力图形	49
4.3.3 相对界限受压区高度和最小配筋率	50
4.4 单筋矩形截面受弯承载力计算	52
4.4.1 基本公式及适用条件	52
4.4.2 基本公式的应用	53
4.4.3 计算系数及其应用	56
4.5 双筋矩形截面受弯承载力计算	57
4.5.1 基本公式及适用条件	58
4.5.2 双筋矩形截面的计算方法	59

4.6 T形截面受弯承载力计算	62
4.6.1 T形截面受压翼缘的计算宽度	62
4.6.2 基本公式及适用条件	64
4.6.3 T形截面的计算方法	66
小结	69
复习思考题	69
5 受压构件正截面承载力计算	71
5.1 概述	71
5.1.1 受压构件的分类	71
5.1.2 受压构件的一般构造要求	71
5.2 轴心受压构件正截面承载力计算	73
5.2.1 轴心受压普通箍筋柱正截面受压承载力	74
5.2.2 轴心受压螺旋箍筋柱正截面受压承载力	76
5.3 偏心受压构件正截面承载力分析	78
5.3.1 破坏形态	78
5.3.2 大、小偏心受压破坏的界限	80
5.3.3 附加偏心距 e_a 和初始偏心距 e_i	80
5.3.4 偏心受压构件的二阶效应	80
5.4 矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	83
5.4.1 基本公式及适用条件	83
5.4.2 截面设计	85
5.4.3 截面复核	91
5.5 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	92
5.5.1 基本公式及适用条件	92
5.5.2 截面设计	93
5.5.3 截面复核	95
小结	96
复习思考题	97
6 受拉构件正截面承载力计算	98
6.1 概述	98
6.2 轴心受拉构件正截面受拉承载力计算	98
6.3 偏心受拉构件正截面受拉承载力计算	99
6.3.1 小偏心受拉 $\left(e_0 \leq \frac{h}{2} - a_s\right)$	99
6.3.2 大偏心受拉 $\left(e_0 > \frac{h}{2} - a_s\right)$	101
小结	103

复习思考题	103
7 受弯构件斜截面承载力计算	104
7.1 概述	104
7.2 钢筋混凝土梁斜截面受力分析	104
7.2.1 梁斜截面受力分析	104
7.2.2 梁沿斜截面破坏的主要形态	106
7.2.3 影响梁斜截面受剪承载力的主要因素	107
7.3 受弯构件斜截面受剪承载力计算	108
7.3.1 受力分析	108
7.3.2 仅配有箍筋梁的斜截面受剪承载力	109
7.3.3 配有箍筋和弯起钢筋梁的斜截面受剪承载力	110
7.3.4 公式的适用范围	110
7.3.5 板类构件的受剪承载力	111
7.4 受弯构件斜截面受剪承载力的设计计算方法	112
7.4.1 计算截面确定	112
7.4.2 设计计算步骤	112
7.5 钢筋混凝土梁斜截面受弯承载力和钢筋构造要求	117
7.5.1 抵抗弯矩图	118
7.5.2 纵筋的截断	119
7.5.3 钢筋的构造要求	120
小结	122
复习思考题	122
8 受扭构件扭曲截面承载力计算	125
8.1 概述	125
8.2 矩形截面纯扭构件承载力计算	125
8.2.1 素混凝土纯扭构件的受力性能	125
8.2.2 钢筋混凝土纯扭构件的破坏形态	126
8.2.3 纯扭构件的受扭承载力	126
8.3 矩形截面弯剪扭构件承载力计算	128
8.3.1 剪扭承载力相关性	128
8.3.2 矩形截面剪扭构件承载力计算	129
8.3.3 弯扭构件承载力计算	129
8.4 弯剪扭构件承载力计算	130
8.4.1 截面尺寸限制条件及构造配筋要求	130
8.4.2 弯剪扭构件承载力计算	131
小结	131
复习思考题	132

9 混凝土结构适用性及耐久性	133
9.1 概述	133
9.2 裂缝宽度计算	133
9.2.1 裂缝的形成、分布及开展过程	133
9.2.2 平均裂缝间距	134
9.2.3 平均裂缝宽度	136
9.2.4 最大裂缝宽度验算	136
9.3 受弯构件变形验算	137
9.3.1 混凝土受弯构件变形计算的特点	137
9.3.2 短期刚度 B_s	137
9.3.3 受弯构件刚度 B	138
9.3.4 受弯构件挠度计算	138
9.4 混凝土结构耐久性	139
9.4.1 影响结构耐久性能的主要因素	139
9.4.2 混凝土结构耐久性设计	140
小结	141
复习思考题	141
10 预应力混凝土结构	142
10.1 预应力混凝土结构基本概念	142
10.2 预应力混凝土的分类	143
10.3 施加预应力的方法	143
10.3.1 先张法	143
10.3.2 后张法	144
10.4 锚具	144
10.5 预应力混凝土结构的材料	146
小结	147
复习思考题	147
11 混凝土楼盖结构	148
11.1 概述	148
11.2 单向板肋梁楼盖	149
11.2.1 单向板与双向板	149
11.2.2 单向板肋梁楼盖结构布置及构件截面尺寸确定	149
11.2.3 单向板肋梁楼盖计算简图	150
11.2.4 折算荷载	152
11.2.5 单向板肋梁楼盖内力的弹性理论计算方法	153
11.2.6 单向板肋梁楼盖内力的塑性理论计算方法	154

11.2.7 单向板肋梁楼盖的配筋计算与构造要求	158
11.3 双向板肋梁楼盖	163
11.3.1 双向板肋梁楼盖结构布置及构件截面尺寸确定	163
11.3.2 双向板肋梁楼盖内力的弹性理论计算方法	163
11.3.3 双向板肋梁楼盖内力的塑性理论计算方法	165
11.3.4 双向板肋梁楼盖的构造要求	166
11.4 单向板肋梁楼盖设计实例	166
11.5 楼梯	179
11.5.1 梁式楼梯	179
11.5.2 板式楼梯	181
小结	181
复习思考题	182
12 单层厂房结构	183
12.1 概述	183
12.2 单层厂房结构的组成和布置	184
12.2.1 结构组成	184
12.2.2 结构布置	185
12.3 构件选型及截面尺寸确定	189
12.3.1 柱	189
12.3.2 屋面板	190
12.3.3 屋面梁和屋架	191
12.3.4 天窗架和托架	192
12.3.5 吊车梁	192
12.3.6 基础	192
12.4 排架内力分析	193
12.4.1 排架的主要荷载及传力路径	193
12.4.2 计算简图	195
12.4.3 荷载计算	196
12.4.4 内力分析	199
12.4.5 内力组合	200
12.5 单层厂房柱、基础设计	201
12.5.1 柱设计	201
12.5.2 柱下独立基础设计	204
小结	205
复习思考题	206
13 多、高层建筑结构设计	207
13.1 概述	207

13.2 结构体系	207
13.2.1 框架结构体系	207
13.2.2 剪力墙结构体系	208
13.2.3 框架-剪力墙结构体系	209
13.2.4 筒体结构体系	209
13.3 结构布置	210
13.3.1 结构布置的原则	210
13.3.2 结构的总体布置	211
13.3.3 结构布置的一般要求	213
13.4 结构设计计算的特点及要求	215
13.4.1 结构设计计算的特点	215
13.4.2 结构计算的一般原则	215
13.4.3 结构的设计要求	216
小结	216
复习思考题	217
14 砌体结构设计	218
14.1 砌体结构材料	218
14.1.1 砌块	218
14.1.2 砂浆	219
14.1.3 块材及砂浆的选材	219
14.2 砌体及其力学性能	220
14.2.1 砌体种类	220
14.2.2 无筋砌体的强度和变形性能	221
14.3 无筋砌体结构构件承载力计算	226
14.3.1 受压构件承载力计算	226
14.3.2 受拉、受弯和受剪构件承载力计算	231
14.4 混合结构房屋设计	232
14.4.1 混合结构房屋的结构布置	232
14.4.2 混合结构房屋静力计算方案	234
14.4.3 墙、柱的高厚比验算	236
14.4.4 刚性方案房屋承重纵墙计算	237
14.4.5 刚性方案房屋承重横墙计算	240
14.5 混合结构房屋其他构件设计	241
14.5.1 钢筋混凝土雨篷	241
14.5.2 过梁	242
14.6 墙体的构造要求和防止墙体开裂的措施	244
14.6.1 圈梁	244
14.6.2 墙、柱的一般构造要求	245

14.6.3 防止或减轻墙体开裂的措施	246
小结	248
复习思考题	248
附录	250
附录1 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 附表	250
附录2 《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011) 附表	257
附录3 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表	258
附录4 双向板计算系数表	265
参考文献	270

1 绪 论

1.1 混凝土结构的基本概念

以混凝土为主要材料建造的工程结构，称为混凝土结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。混凝土结构被广泛应用于各类土木工程，如建筑工程、桥梁工程、隧道工程、水利及港口工程等。

混凝土是由水泥、砂子（细骨料）、石子或其他骨料（粗骨料）、水及其他添加剂经配制、混合、搅拌、浇筑、硬化而形成的建筑材料。这种材料具有较高的抗压强度和较低的抗拉强度，抗拉强度约为抗压强度的 10%。因此，素混凝土结构的应用范围较小，通常应用于以受压为主的结构构件中，如柱墩等；当结构构件中存在较大的拉应力时，素混凝土结构可能由于其拉应力达到抗拉强度而产生裂缝，甚至破坏，而此时混凝土的抗压强度远未得到充分利用。为此，工程人员在混凝土中加入抗拉强度较高的材料来承担结构构件中的拉应力，以弥补混凝土材料的不足。目前，工程中经常使用的抗拉材料为钢材，这样就形成了钢筋混凝土结构。在钢筋混凝土结构中，混凝土主要抵抗结构构件中的压力，钢筋主要抵抗结构构件中的拉力。除了在混凝土结构中设置钢筋以外，还有设置型钢等材料以抵抗结构构件中的拉力，形成型钢混凝土结构（也称为组合结构）。

1.2 钢筋混凝土共同工作的基础

钢筋与混凝土两种材料能够有效地结合在一起而共同工作，主要基于三个条件：

(1) 钢筋与混凝土之间存在着粘结力，使两者能有效地结合在一起。受外界作用影响后，结构中钢筋与混凝土的变形能够协调，共同受力，共同工作。因此，粘结力是这两种不同性质的材料能够共同工作的基础。

(2) 钢筋与混凝土两种材料的线膨胀系数很接近。钢筋为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。因此，钢筋与混凝土之间不会因温度变化而产生较大的相对变形，这样就不会破坏两种材料之间的粘结力。

(3) 钢筋埋置于混凝土中，混凝土对钢筋起到了保护和固定作用。比如：在遭受火灾时不致因钢筋很快软化而导致结构整体破坏；在大气环境及有侵蚀性的环境中保护钢筋，防止钢筋发生锈蚀，提高结构的耐久性；当构件受压时，防止钢筋受压失稳。因此，在混凝土结构中，钢筋表面必须留有一定厚度的混凝土作保护层。

1.3 混凝土结构的特点

混凝土结构的主要优点如下:

(1) 就地取材。砂、石是混凝土的主要成分,均可就地取材。在工业废料(例如矿渣、粉煤灰等)比较多的地方,可利用工业废料制成人造骨料用于混凝土结构中。

(2) 耐久性好。处于正常环境下的混凝土耐久性好。在混凝土结构中,钢筋受到保护不易锈蚀,所以混凝土结构具有良好的耐久性。对处于侵蚀性环境下的混凝土结构,经过合理设计及采取有效措施后,一般可满足工程需要。

(3) 有较好的耐火性。混凝土为不良导热体,埋置在混凝土中的钢筋受高温影响远较暴露的钢结构小。只要钢筋表面的混凝土保护层具有一定厚度,发生火灾时钢筋就不会很快软化,可避免结构倒塌。

(4) 良好的整体性。现浇或装配整体式混凝土结构具有良好的整体性,从而使结构的刚度增大,稳定性增强。这有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波。

(5) 良好的可模性。新拌和的混凝土为可塑的,因此可根据需要制成任意形状和尺寸的结构,这有利于建筑造型。

(6) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地利用了材料的性能,发挥了钢筋与混凝土各自的优势,与钢结构相比能节约钢材并降低造价。

混凝土结构也具有下列缺点:

(1) 自重。混凝土结构自身重力较大,这样它所能负担的有效荷载相对较小。这对大跨度结构、高层建筑结构都是不利的。另外,自重大会使结构地震作用加大,故对结构抗震也不利。

(2) 抗裂性差。钢筋混凝土结构在正常使用情况下,构件截面受拉区通常存在裂缝,如果裂缝过宽,则会影响结构的耐久性和应用范围。

(3) 需用模板。混凝土结构的制作,需要模板予以成型。如采用木模板,则可重复使用的次数少,会增加工程造价。

此外,混凝土结构施工工序复杂,周期较长,且受季节气候影响;对于现役混凝土结构,如遇损伤则修复困难;隔热、隔声性能也比较差。随着科学技术的不断发展,混凝土结构的缺点正在被逐渐克服或有所改进。如采用轻质、高强混凝土及预应力混凝土,可减小结构自身重力并提高其抗裂性;采用可重复使用的钢模板会降低工程造价;采用预制装配式结构,可以改善混凝土结构的制作条件,少受或不受气候条件的影响,并能提高工程质量及加快施工进度等。

1.4 混凝土结构的应用及发展

1.4.1 混凝土结构发展概况

混凝土结构出现至今约有 170 年的历史,与砖石结构、木结构相比,在当时是一种比较新的结构形式,由于其无可比拟的优越性,得到了快速的发展,成为目前应用最为广泛

的结构形式。其出现及发展可大致划分为四个阶段：

(1) 1850 年到 1920 年为第一阶段。1824 年英国人 J. Aspdin 发明波特兰水泥, 1849 年法国人 J. L. Lambot 用水泥砂浆涂抹在铁丝网两面做成小船, 出现了最早的钢筋混凝土结构。但是人们普遍认为发明并应用钢筋混凝土结构的人是法国花匠 J. Monier。Monier 在 1861 年制成了用铁丝作为配筋的花盆, 并于 1867 年获得了制作这种花盆的专利, 而这种花盆也成为公认的最早的钢筋混凝土结构。后来他又继续获得制造钢筋混凝土板、管道、拱桥等的专利。不过, 由于 J. Monier 不懂钢筋混凝土构造原理, 因此将钢筋设置在板的中部。1884 年以后, 德国人 Wayss、Bauschinger 和 Koenenn 等提出, 应将钢筋配置于结构受拉部位的概念和钢筋混凝土板的计算方法。在这之后, 钢筋混凝土结构逐渐得到了应用和推广。在这一阶段, 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, 结构设计按弹性理论进行。

(2) 1920 年到 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已应用于实际工程, 这一阶段的标志是装配式钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢筋混凝土薄壁空间结构的出现, 以及开始采用破损阶段的设计计算方法。

(3) 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 262m, 混凝土的应用范围进一步扩大; 各种现代化施工方法普遍采用, 同时广泛采用预制构件, 提出了更为合理的按极限状态的设计方法。

(4) 大致从 1980 年起, 混凝土结构的发展进入第四阶段。尤其是近 30 余年来, 大模板现浇和大板等工业化体系进一步发展, 钢与混凝土组合结构开始出现并广泛应用, 高层建筑新结构体系(如框桁架体系和外伸结构等)不断涌现, 计算机辅助设计和绘图程序化, 非线性有限元分析方法广泛应用。

1.4.2 混凝土结构的应用

混凝土结构可应用于土木工程中的各个领域, 在房屋建筑中混凝土结构占有相当大的比例。如 1990 年建成的美国芝加哥的 S. Wacker Drive 大楼, 65 层, 高 296m, 为当时建成的世界上最高的混凝土建筑; 朝鲜平壤的柳京饭店, 105 层, 高 319.8m, 也为混凝土结构。在我国, 混凝土结构的房屋更加普遍, 尽管钢结构得到很大的发展, 但超过 100m 的高层建筑中绝大多数是混凝土和钢的组合结构, 如 88 层高的上海金茂大厦采用的就是钢-混凝土组合结构。

隧道、桥梁、高速公路、城市高架公路、地铁等大都采用混凝土结构, 如上海南浦大桥和杨浦大桥的塔架、穿越黄浦江的多条隧道等。

混凝土结构还用于建造大坝、拦海闸墩、渡槽、港口等工程设施, 如 1962 年建造的瑞士大狄克桑期坝, 高 285m, 是世界最高的混凝土重力坝。核电站的安全壳、热电厂的冷却塔、储水池、储气罐、海洋石油平台等一般也为混凝土结构。

1.4.3 混凝土结构的发展趋势

随着科学技术的发展, 混凝土结构在所用材料和配筋方式上都有了许多新进展, 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。同时,混凝土结构的计算理论和设计方法也有了较大发展。

1.4.3.1 材料的发展

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)将混凝土强度等级超过 C50 的混凝土划为高强混凝土。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、高耸发展和承受恶劣环境条件的需要。

利用天然轻集料(如浮石、凝灰岩等)、工业废料轻集料(如炉渣、粉煤灰、煤矸石等)及其轻砂、人造轻集料(页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等)制成的轻集料混凝土具有自重轻、相对强度高以及保温、抗冻性能好等优点,一般常用轻集料混凝土的强度等级为 C15~C20,高强轻集料混凝土的强度等级可达 C100,自重为 $17\sim 18\text{kN/m}^3$ 。自 20 世纪 60 年代以来,轻质高强混凝土是建造高层、大跨度结构的主要材料。

为了改善混凝土抗拉强度较低和延性较差的缺点,在混凝土中掺加纤维形成纤维增强混凝土,以改善混凝土的性能。目前研究较多的有掺钢纤维、耐碱玻璃纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维等。钢纤维混凝土具有抗拉、抗弯、抗剪、耐磨、抗疲劳、延性及韧性好等优点,得到了广泛的工程应用。

1.4.3.2 结构形式

用型钢或钢板焊(或冷压)成钢截面,再将其埋置于混凝土中,使混凝土与型钢形成整体共同受力,称为钢与混凝土组合结构。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,还有抗震性能好、施工方便、能充分发挥材料性能等优点,因而得到了广泛应用。在各种结构体系,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以及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。

1.4.3.3 混凝土结构的计算理论和设计方法

设计计算理论方面的发展,是从把材料看做弹性体的容许应力古典理论(结构内力和构件截面计算均套用弹性理论,采用容许应力设计方法)发展为考虑材料塑性的极限强度理论,并迅速发展成按极限状态设计的理论体系。目前在工程结构设计规范中已采用基于概率论和数理统计分析的可靠度理论。

混凝土的微观断裂和内部损伤机理、混凝土的强度理论及非线性变形的计算理论、钢筋与混凝土间粘结滑移理论等方面也有很大的进展。钢筋混凝土有限元方法和现代测试技术的应用,使得混凝土结构的计算理论和设计方法向更高的阶段发展,并日趋完善。结构分析可以根据结构类型、构件布置、材料性能和受力特点选用线弹性分析方法、考虑塑性内力重分布的分析方法、塑性极限分析方法、非线性分析方法和实验分析方法等。

随着计算机的大量应用,有限元分析软件的涌现,大量工程设计软件如 SAP2000、ETABS、PKPM 系列软件等被广泛应用于工程设计,提高了计算精度及设计效率。

在混凝土结构耐久性设计方面,已建立了相关的材料性能劣化计算模型进行结构使用年限的定量计算,并基于混凝土在环境作用(碳化、氯盐、冻蚀、酸腐蚀)下的损伤机理,提出了结构设计应采取的防护措施。

1.5 砌体结构的一般概念

1.5.1 砌体结构的基本概念及发展

砌体结构是指用砖、石或砌块为块体,用砂浆砌筑而成的结构。按照所采用块体的不同,砌体可分为砖砌体、石砌体和砌块砌体三大类。由于过去大量应用的是砖砌体和石砌体,所以习惯上也称为砖石结构。

我国是砖石结构应用很早的国家,远在西周到战国时期就已经出现了烧制的瓦和大尺寸空心砖,南北朝时砖的使用已很普遍。我国古代的砖石结构广泛用于建造城墙、佛塔、穹拱以及石桥等,著名的万里长城、南京灵谷寺的无梁殿、河北赵县安济桥等,都是其中的光辉代表。在欧洲,中世纪已开始用砖砌筑拱、券、穹隆和圆顶等结构。

砌块的生产和应用在世界上仅有 100 多年的历史,其中最早生产的是混凝土砌块。自 1824 年发明波特兰水泥后,最早的混凝土砌块于 1882 年问世。随后,美国于 1897 年建成第一幢砌块建筑。1933 年,美国加利福尼亚长滩大地震中无筋砌体震害严重,之后便推出了配筋混凝土砌块结构体系,建造了大量的多层和高层配筋砌体建筑,如 1952 年建成的 26 幢 6~13 层的美国退伍军人医院,1966 年在圣地亚哥建成的 8 层海纳雷旅馆和洛杉矶 19 层公寓等,这些砌块建筑大部分都经历了强烈地震的考验。

近年来,砌体结构得到了迅速发展和广泛应用。主要表现在以下几个方面:

(1) 砌体结构的应用范围不断扩大。除了传统的各类房屋外,砌体结构还广泛应用于各种构筑物,如烟囟、水池、料仓、渡槽和水塔等。大跨度桥梁也广泛采用砌体结构,如 1971 年建成的四川丰都九溪沟变截面敞肩式公路石拱桥,跨度为 116m;1991 年建成的湖南鸟巢河双肋公路石拱桥,净跨度达 120m,是世界上跨度最大的石拱桥。

(2) 新材料、新技术和新结构不断研制和使用。20 世纪 60 年代以来,我国承重空心砖的生产和应用有较大发展,如南京市用承重空心砖建成的 8 层旅馆建筑等,由于墙厚减薄,墙体重量减轻等,收到了较好的经济效益,同时房屋的使用面积也有所增大。南京、西安等地还研制和生产出构造巧妙、很有特色的拱壳砖,又称带钩空心砖,并用拱壳砖建成 14m×10m 的双曲扁壳屋盖实验室,10m×10m 两跨双曲扁壳屋顶的车间,以及 24m 跨双曲拱屋盖等。同时,大型板材墙体也有较大发展,如 1965~1972 年在北京用烟灰矿渣混凝土作墙板建成的 11.5 万平方米住宅,节约普通黏土砖约 1900 万块;1986 年在长沙建成的内墙采用混凝土空心大板、外墙采用砖砌体的 8 层住宅等。此外,无筋砖砌体、约束砖砌体以及采用混凝土、轻集料混凝土和各种工业废渣、粉煤灰、煤矸石等制成的混凝土砌块在我国也有较大发展。