

高等学校教学用书

混凝土及 砌体结构

● 王社良 熊仲明 主编

● 童岳生 主审

HUNNINGTU
JI QITI
JIEGOU

冶金工业出版社

高等学校教学用书

混凝土及砌体结构

王社良 熊仲明 主编
童岳生 主审



北 京

冶金工业出版社

2004

内 容 提 要

本书是根据我国高等技术教育“建筑工程”专业的教学要求,同时结合国家最新颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)和《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)等编写而成的。全书内容共16章,分为混凝土与砌体结构两大部分,除了绪论、材料的物理力学性能、结构构件以概率理论为基础的极限状态设计方法,以及受弯构件、轴心受力构件、偏心受力构件、受扭构件、预应力混凝土构件的受力性能分析、设计计算和构造措施外,还包括混凝土梁板结构设计、单层工业厂房、多层与高层房屋结构基本知识以及混合结构房屋设计等基本内容。为便于自学理解,每章后面还附有小结、思考题或习题等内容。

本书可供普通高等学校工程管理、建筑工程、工程造价等专业教学使用,亦可供从事混凝土及砌体结构设计、科研和施工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土及砌体结构/王社良,熊仲明主编. —北京:
冶金工业出版社,2004.2

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-3175-6

I. 混… II. ①王…②熊… III. ①混凝土结构—
高等学校—教学参考资料②砌体结构—高等学校—
教学参考资料 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 124415 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 王秋芬 美术编辑 王耀忠 责任校对 刘倩 责任印制 李玉山

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2004年2月第1版,2004年2月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 25.5印张; 616千字; 395页;

41.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

混凝土及砌体结构是建筑工程专业的主要专业课程,也是工程管理等非结构类专业的必修专业课。由于缺乏合适的教材,许多院校都借用土木工程专业的本科教材,学生反映教材内容深,学习时不适应,学后又不得要领。实际教学中因课时数限制,教师常根据自己的理解删减部分内容,致使教学内容不完整。同时,往往仅学习基本构件的设计计算,不重视建筑结构的总体概念和基本设计原理,学生对结构设计缺乏整体认识,难以达到结构课程的教学要求。

为适应教学需要,本教材根据建筑工程专业(专)和工程管理(本)等非结构类专业混凝土及砌体结构课程的培养目标和教学要求,同时结合学生的数学和力学基础以及我国最新颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)等内容,构建了课程内容的新体系,目的是使学生切实学到必要的、内容完整的结构设计知识。全书共 16 章,分三部分。第一部分为 1~10 章,内容是混凝土构件设计原理,主要讲述材料的物理力学性能,混凝土及砌体结构以概率理论为基础的极限状态设计方法,以及混凝土基本构件,如受弯、受压、受剪及受扭构件的性能分析、设计计算方法和构造措施等。同时还讲述了预应力混凝土构件的基本原理、计算方法与构造措施。第二部分为 11~13 章,内容是混凝土结构设计原理,主要介绍结构方案的选择,结构布置以及构件类型的确定,作用在结构上的各类荷载及其他作用,讲述混凝土梁板结构的内力分析和设计计算方法以及单层厂房结构和多层房屋结构的基本知识等。第三部分为 14~16 章,内容是砌体结构,讲述块体、砂浆及砌体的物理力学性能,砌体结构构件的承载力计算,混合结构房屋的墙体设计方法及主要抗震设计原则和构造措施等。各章内容相对独立,便于根据不同的教学要求进行取舍。

本书在编写过程中注意突出重点,简明扼要,注意对现行规范的理解和应用,同时也注意到学生从数学、力学等基础课程到学习专业课程的认识规律,由浅入深,循序渐进,力求对基本概念论述清楚,使读者能较容易地掌握结构构件的力学性能及理论分析方法,有明确的计算方法和实用设计步骤,力求做到能具体应用。书中有相当数量的计算例题,以利于学生理解和掌握设计原理。为了便于自学,每章都附有小结、思考题或习题等内容。

本书由西安建筑科技大学土木工程学院和长安大学建筑工程学院的部分教师编写。第 1~5 章由王社良执笔;第 6~9 章由薛建阳执笔;第 10 章由长安

大学苗晓瑜执笔;第11~13章由赵歆冬执笔;第14~16章由熊仲明执笔。全书最后由王社良、熊仲明修改定稿。

资深教授童岳生先生对全书进行了审阅,并提出了许多宝贵的意见;西安建筑科技大学职业技术学院和继续教育学院为本书的出版予以了资助;西安建筑科技大学土木工程学院混凝土教研室全体同仁在本书的编写过程中给予了热情支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限以及时间仓促,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2003年10月

目 录

1 绪论

1.1 混凝土结构的基本概念	1
1.2 混凝土结构的特点	2
1.3 混凝土结构的应用及发展	3
1.3.1 混凝土结构的发展阶段	3
1.3.2 混凝土结构的工程应用	4
1.3.3 混凝土结构的发展简况	4
1.4 砌体结构的一般概念	6
1.4.1 砌体结构的基本概念及发展	6
1.4.2 砌体结构的特点及应用范围	7
1.5 本课程的主要内容及特点	8
1.5.1 本课程的主要内容	8
1.5.2 本课程的特点与学习方法	9
小结	10
思考题	10

2 混凝土结构材料的物理力学性能

2.1 钢筋的物理力学性能	11
2.1.1 钢筋的成分、级别和品种	11
2.1.2 钢筋的强度和变形性能	12
2.1.3 钢筋的冷加工	14
2.1.4 混凝土结构对钢筋性能的要求	16
2.2 混凝土的物理力学性能	16
2.2.1 混凝土的强度	16
2.2.2 混凝土的变形性能	24
2.3 钢筋与混凝土的粘结	31
2.3.1 概述	31
2.3.2 粘结应力的特点	32
2.3.3 粘结破坏机理	33
2.3.4 影响粘结强度的因素	35
2.3.5 钢筋的锚固和连接	36

小结	39
思考题	40

3 混凝土及砌体结构设计方法

3.1 结构可靠度及结构安全等级	41
3.1.1 结构上的作用、作用效应及结构抗力	41
3.1.2 结构的预定功能及结构可靠度	42
3.1.3 结构的安全等级	42
3.2 荷载和材料强度的取值	43
3.2.1 荷载标准值的确定	43
3.2.2 材料强度标准值的确定	44
3.3 概率极限状态设计法	46
3.3.1 结构的极限状态	46
3.3.2 结构的设计状况	47
3.3.3 结构的功能函数和极限状态方程	47
3.3.4 结构可靠度的计算	48
3.4 极限状态设计表达式	50
3.4.1 承载能力极限状态设计表达式	50
3.4.2 正常使用极限状态设计表达式	52
3.5 砌体结构设计方法概述	54
3.5.1 基本表达式	54
3.5.2 荷载效应组合模式	55
3.5.3 砌体结构的可靠指标	55
小结	56
思考题	56

4 受弯构件正截面承载力

4.1 概述	58
--------------	----

4.2 正截面受弯性能的试验研究	60	5.3 受弯构件斜截面受剪承载力	
4.2.1 适筋梁的受弯性能	60	计算	116
4.2.2 正截面受弯的三种破坏形态	65	5.3.1 计算原则	116
4.2.3 适筋梁的配筋率范围	66	5.3.2 仅配有箍筋梁的斜截面	
4.3 正截面受弯承载力分析	68	受剪承载力	117
4.3.1 基本假定	68	5.3.3 配有箍筋和弯起钢筋梁的	
4.3.2 受压区等效矩形应力图形	70	斜截面受剪承载力	118
4.3.3 相对界限受压区高度与最小		5.3.4 公式的适用范围	119
配筋率	71	5.3.5 板类构件的受剪承	
4.4 单筋矩形截面受弯承载力计算	73	载力	120
4.4.1 基本计算公式及适用条件	73	5.4 受弯构件斜截面受剪承载力	
4.4.2 基本公式的应用	75	的设计计算	121
4.4.3 计算系数及其应用	79	5.4.1 计算截面的确定	121
4.4.4 截面尺寸及纵向钢筋的构造		5.4.2 设计计算	121
要求	83	5.4.3 计算例题	122
4.5 双筋矩形截面受弯承载力计算	85	5.5 受弯构件斜截面受弯承载力和	
4.5.1 概述	85	钢筋构造要求	126
4.5.2 受压钢筋的应力	86	5.5.1 抵抗弯矩图	127
4.5.3 基本公式及适用条件	87	5.5.2 纵筋的弯起	128
4.5.4 双筋矩形截面的计算方法	89	5.5.3 纵筋的截断	129
4.6 T形截面受弯承载力计算	93	5.5.4 应用实例	131
4.6.1 T形截面梁的应用	93	5.5.5 钢筋的构造要求	133
4.6.2 T形截面翼缘的计算宽度	95	小结	136
4.6.3 基本公式及适用条件	97	思考题	137
4.6.4 T形截面的计算方法	101	习题	138
小结	105		
思考题	106		
习题	107		
5 受弯构件斜截面承载力		6 受扭构件扭曲截面承载力	
5.1 概述	109	6.1 概述	140
5.2 受弯构件受剪性能试验		6.2 纯扭构件的受力性能及承载力	
研究	109	计算	140
5.2.1 无腹筋简支梁的受剪		6.2.1 素混凝土纯扭构件的受力	
性能	109	性能	140
5.2.2 有腹筋简支梁的受剪		6.2.2 素混凝土纯扭构件的承载	
性能	112	力计算	141
5.2.3 影响梁斜截面受剪		6.2.3 钢筋混凝土纯扭构件的	
承载力的主要因素	114	承载力	142
		6.3 钢筋混凝土弯剪扭构件的	
		承载力	144
		6.3.1 剪扭承载力的相关	
		关系	144

6.3.2 剪扭构件的承载力		7.3.7 I形截面偏心受压构件的正	
计算	145	截面受压承载力计算	173
6.3.3 构造配筋条件	147	7.3.8 偏心受压构件斜截面受剪	
6.3.4 弯剪扭构件的承载力计算		承载力计算	176
及配筋	147	7.3.9 构造要求	177
6.3.5 配筋的上限和下限	148	小结	177
6.4 受扭构件的构造要求	149	思考题	178
6.5 钢筋混凝土压扭构件的		习题	178
承载力	150		
6.5.1 压扭构件的受扭承		8 受拉构件承载力	
载力	150	8.1 概述	179
6.5.2 压弯剪扭构件的剪扭		8.2 轴心受拉构件正截面受拉承	
承载力	151	载力	179
小结	151	8.3 偏心受拉构件正截面	
思考题	151	受拉承载力	179
习题	152	8.3.1 小偏心受拉	179
		8.3.2 大偏心受拉	180
7 受压构件承载力		8.4 偏心受拉构件斜截面受剪	
7.1 概述	153	承载力	182
7.2 轴心受压构件正截面受压		小结	182
承载力	153	思考题	182
7.2.1 配置普通箍筋的轴心		习题	183
受压构件	153		
7.2.2 配置螺旋或焊接环式箍筋		9 混凝土结构的使用性能	
的轴心受压构件	156	9.1 概述	184
7.2.3 构造要求	158	9.2 钢筋混凝土构件的裂缝宽度	
7.3 偏心受压构件正截面受压		验算	184
承载力	160	9.2.1 裂缝的形成和开展过程	
7.3.1 偏心受压构件的破坏			184
特征	160	9.2.2 平均裂缝间距	185
7.3.2 两类偏心受压破坏的		9.2.3 平均裂缝宽度	186
界限	161	9.2.4 最大裂缝宽度	187
7.3.3 附加偏心距	162	9.2.5 最大裂缝宽度验算	188
7.3.4 偏心距增大系数	162	9.3 受弯构件挠度验算	189
7.3.5 非对称配筋矩形截面偏心		9.3.1 钢筋混凝土构件抗弯刚度	
受并压构件正截面承载力		的计算原理	189
计算	163	9.3.2 受弯构件短期刚度 B_s 的	
7.3.6 对称配筋矩形截面偏心		计算	190
受压构件正截面承载力		9.3.3 受弯构件长期刚度 B 的	
计算	170	计算	190

9.3.4 受弯构件的挠度计算	190
9.3.5 挠度验算	191
9.4 混凝土结构的耐久性	192
9.4.1 环境类别	192
9.4.2 混凝土的基本要求	192
小结	193
思考题	193
习题	194

10 预应力混凝土构件

10.1 预应力混凝土的基本知识	195
10.1.1 一般概念	195
10.1.2 预应力混凝土的 分类	196
10.1.3 施加预应力的 方法	197
10.1.4 锚具	199
10.1.5 预应力混凝土的 材料	200
10.1.6 预应力混凝土的 特点	201
10.2 预应力混凝土构件设计的 一般规定	201
10.2.1 张拉控制应力 σ_{con}	201
10.2.2 预应力损失	202
10.2.3 有效预应力沿构件长度 的分布	211
10.3 预应力混凝土轴心受拉构件 的应力分析	212
10.3.1 先张法轴心受拉构件各 阶段的应力变化	212
10.3.2 后张法轴心受拉构件各 阶段的应力变化	215
10.3.3 先、后张法计算公式的 比较	217
10.4 预应力混凝土轴心受拉构件 的计算和验算	218
10.4.1 使用阶段正截面承载力 计算	218
10.4.2 使用阶段正截面裂缝	

控制验算	219
10.4.3 施工阶段混凝土压应力 验算	221
10.4.4 施工阶段后张法构件端部局 部受压承载力计算	221
10.5 预应力混凝土构件的构造 要求	228
10.5.1 先张法构件	228
10.5.2 后张法构件	229
小结	230
思考题	231
习题	232

11 钢筋混凝土梁板结构

11.1 概述	233
11.2 单向板肋梁楼盖	234
11.2.1 单向板肋梁楼盖结构布 置及构件截面尺寸 确定	234
11.2.2 单向板肋梁楼盖按弹性 理论计算结构内力	236
11.2.3 单向板肋梁楼盖按塑性 理论计算结构内力	240
11.2.4 单向板肋梁楼盖配筋 计算及构造要求	245
11.3 双向板肋梁楼盖	249
11.3.1 双向板肋梁楼盖结构布 置及构件截面尺寸 确定	249
11.3.2 双向板肋梁楼盖按弹性 理论计算结构内力	250
11.3.3 双向板楼盖支承梁内力 计算	251
11.3.4 双向板肋梁楼盖按塑性 理论计算结构内力	251
11.3.5 双向板肋梁楼盖的构造 要求	252
11.4 楼梯	265
11.4.1 楼梯的结构选型	265
11.4.2 梁式楼梯的计算	266

11.4.3 板式楼梯的计算	268
小结	268
思考题	268

12 单层工业厂房结构设计

12.1 概述	270
12.2 单层厂房结构的组成与 布置	270
12.2.1 结构组成	270
12.2.2 结构布置	272
12.2.3 主要构件的选型	277
12.3 单层工业厂房结构设 计计算	278
12.3.1 荷载传递途径	278
12.3.2 计算简图	279
12.3.3 荷载计算	280
12.3.4 内力分析	281
12.3.5 内力组合	281
12.3.6 柱及基础的设计 计算	282
小结	285
思考题	286

13 多、高层建筑设计概论

13.1 概述	287
13.2 结构体系	287
13.2.1 框架结构体系	287
13.2.2 剪力墙结构体系	288
13.2.3 框架-剪力墙结构 体系	289
13.2.4 筒体结构体系	289
13.3 结构布置	290
13.3.1 结构布置的原则	290
13.3.2 结构的总体布置	290
13.3.3 结构布置的一般 要求	293
13.4 结构设计计算的特点及 要求	295
13.4.1 结构设计计算的	

特点	295
----------	-----

13.4.2 结构计算的一般 原则	295
----------------------------	-----

13.4.3 结构的设计要求	296
----------------------	-----

小结	296
----------	-----

思考题	297
-----------	-----

14 砌体材料的力学性能和砌体的计算指标

14.1 块体及砂浆的分类、强度 等级	298
14.1.1 块体的分类	298
14.1.2 块材的强度等级	300
14.1.3 砂浆	300
14.1.4 块材及砂浆的选材	300
14.2 砌体种类	301
14.2.1 无筋砌体	301
14.2.2 配筋砌体	301
14.3 无筋砌体的强度和变形 性能	303
14.3.1 砌体的抗压强度	303
14.3.2 影响砌体抗压强度 的因素	304
14.3.3 各类砌体的强度 指标	305
14.3.4 砌体的弹性模量、剪变 模量	310
14.3.5 砌体的线膨胀系数、收 缩率和摩擦系数	311
小结	312
思考题	312

15 砌体结构构件承载力计算

15.1 受压构件承载力计算	314
15.1.1 短柱受压承载力	314
15.1.2 长柱受压承载力	315
15.2 局部受压	317
15.2.1 砌体局部受压强度提高 系数 γ	317
15.2.2 局部均匀受压承载力	

计算	318
15.2.3 梁端支承处砌体的局 部受压	319
15.2.4 梁端下设有垫块或垫梁 时,砌体的局部受压承载 力计算	320
15.3 受拉、受弯和受剪构件	323
15.3.1 轴心受拉构件承载力 计算	323
15.3.2 受弯构件承载力 计算	323
15.3.3 受剪构件承载力 计算	324
小结	325
思考题	326
习题	327

16 混合结构房屋墙体设计

16.1 混合结构房屋的结构布置	328
16.1.1 概述	328
16.1.2 墙体承重体系	328
16.2 混合结构房屋空间刚度和静 力计算方案	331
16.2.1 房屋的受力分析与空 间刚度	331
16.2.2 房屋的静力计算 方案	333
16.2.3 刚性和刚性方案 房屋的横墙	334
16.3 墙、柱的高厚比验算	334
16.3.1 墙、柱的计算高度	334
16.3.2 允许高厚比及影响高厚 比的因素	335
16.3.3 高厚比验算	336
16.4 刚性方案单层房屋墙、柱的 计算	340
16.4.1 计算单元及荷载	340
16.4.2 内力分析	341
16.5 刚性方案多层房屋墙、柱的 计算	342

16.5.1 计算单元	342
16.5.2 计算简图	342
16.5.3 刚性方案房屋承重纵墙 的计算	342
16.5.4 刚性方案房屋承重横墙 的计算	345
16.6 墙体的构造要求和防止墙体 开裂的措施	352
16.6.1 墙、柱的一般构造要求	352
16.6.2 防止或减轻墙体开裂 的措施	354
16.6.3 圈梁的作用和布置	359
16.6.4 圈梁的构造要求	359
16.7 钢筋混凝土雨篷和过梁	360
16.7.1 钢筋混凝土雨篷	360
16.7.2 过梁	363
16.8 混合结构房屋抗震设计的 一般原则及构造措施	365
16.8.1 地震对混合结构房屋 的作用及震害破坏 的特点	365
16.8.2 抗震设计的一般规定	366
16.8.3 多层砌体房屋的抗震构 造措施	369
小结	372
思考题	373

附录

附录1 《混凝土结构设计规范》 (GB 50010—2002)附表	375
附录2 《砌体结构设计规范》 (GB 50003—2001)附表	382
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	383
附录4 双向板计算系数表符号 说明	390

参考文献	395
------------	-----

1 绪 论

1.1 混凝土结构的基本概念

混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构,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、港口等工程中。我国每年混凝土用量约 9 亿 m^3 ,钢筋用量约 2000 万 t,用于混凝土结构的投资达 2000 亿元以上。

混凝土材料的抗压强度较高,而抗拉强度却很低。因此,由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的素混凝土结构,其工程应用受到了很大限制。例如图 1-1(a)所示素混凝土简支梁,随着荷载的逐渐增大,梁截面中的拉应力及压应力也不断增加。当荷载达到一定数值时,弯矩最大截面受拉边缘的混凝土首先被拉裂,随后由于该截面高度减小致使开裂截面受拉区的拉应力进一步增大,于是裂缝迅速向上伸展并立即引起梁的破坏。这种梁的破坏非常突然,其受压区混凝土的抗压强度未充分利用,且由于混凝土的抗拉强度很低,故梁的极限承载力也很低。所以,对于在外荷载作用下或其他原因会在截面中产生拉应力的结构,不应采用素混凝土结构。

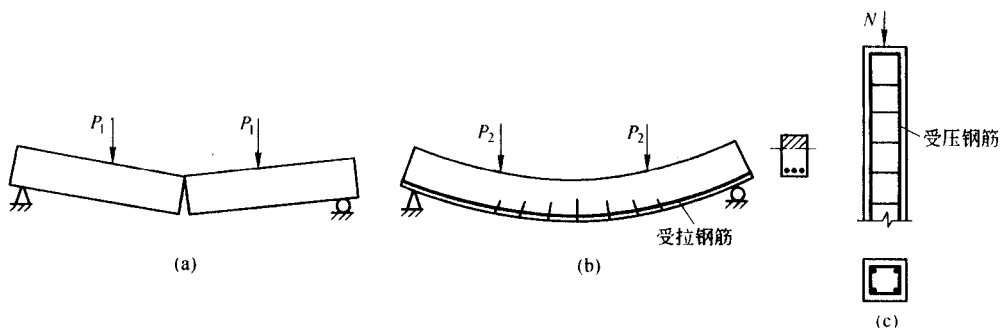


图 1-1 素混凝土梁及钢筋混凝土梁、柱
(a)素混凝土梁;(b)钢筋混凝土梁;(c)轴心受压钢筋混凝土柱

与混凝土材料相比,钢筋的抗拉强度很高。若将混凝土和钢筋这两种物理力学性能不同的材料有效地结合在一起,并使混凝土主要承受压力,而钢筋则主要承受拉力,这就形成了钢筋混凝土结构。例如,图 1-1(b)所示作用集中荷载的钢筋混凝土简支梁,在截面受拉区配有适量的钢筋。当荷载达到一定数值时,梁受拉区边缘混凝土仍然开裂,但开裂截面的变形性能及梁的破坏形式与素混凝土梁的大不相同。由于受拉区的钢筋与周围混凝土牢固地粘结在一起,故在裂缝截面处原由混凝土承受的拉力现转由钢筋承受;而钢筋的强度和弹性模量都很高,所以此时裂缝截面的钢筋拉应力和受拉变形均很小。这样,受拉钢筋就能够

有效地约束裂缝的开展,使其不致无限制地向上延伸而使梁发生断裂破坏。如此,钢筋混凝土梁上的荷载还可继续加大,直至梁受拉钢筋的应力达到其屈服强度,随后截面受压区混凝土被压坏,梁才达到破坏状态。由此可见,在钢筋混凝土梁中,钢筋与混凝土两种材料的强度都得到了较为充分的利用,破坏过程较为缓和,且这种梁的极限承载力大大超过同样条件的素混凝土梁。

钢筋的抗压强度也很高,所以在轴心受压柱(图 1-1(c))中也配置纵向受压钢筋与混凝土共同承受压力,以提高柱子的承载能力和变形能力,减小柱截面的尺寸,还可负担由于某种原因而引起的弯矩和拉应力。如果钢筋单独受压,则极易发生压曲失稳,而受压钢筋位于混凝土之中,则钢筋的受压情况即可得到改善。由于上述一些原因,即使在轴心受压柱中,亦通常配置受压钢筋。

通过上述两个简单例子,说明了将钢筋与混凝土两种材料加以结合形成钢筋混凝土结构的合理性。这样的结合能否实现,尚有赖于一定的条件,即钢筋与混凝土两种材料之所以能够有效地结合在一起而共同工作,主要依赖于下述三个条件:

(1) 钢筋与混凝土之间存在着粘结力,使两者能够结合在一起。这样在外荷载作用下,结构中的钢筋与混凝土协调变形,共同工作。否则,两种材料虽合在一起,但亦发挥不了受力作用。因此,粘结力是这两种不同性质材料能够共同工作的先决条件。

(2) 钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数很接近,钢筋为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$ 。这样当温度变化时,两者间不会产生较大的相对变形,两者间的粘结力不致因温度变化而遭到破坏。否则,由于相对变形过大而发生滑移,使两者不能结合在一起,或者因变形不协调而引起材料破坏或混凝土开裂而出现过宽裂缝。因此,钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数基本相同,是保证两者共同工作的必要条件。

(3) 钢筋埋置于混凝土中,混凝土对钢筋可起到保护及固定作用,使钢筋不容易发生锈蚀,受压时不易压曲失稳,并且在遭受火灾时不致因钢筋很快软化而导致结构整体破坏。所以,在混凝土结构中,钢筋表面必须留有一定厚度的混凝土做保护层。这是保证两者共同工作的必要措施。

此外,为了提高混凝土结构的抗裂性和耐久性,可用在加载前张拉钢筋的方法使混凝土截面内产生预压应力,以全部或部分抵消荷载作用下的拉应力,这即为预应力混凝土结构;也可在混凝土中加入各种纤维筋(如钢纤维、碳纤维筋等),形成纤维加强混凝土结构。

1.2 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,也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。处于正常环境下的混凝土耐久性好,高强混凝土的耐久性更好。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,一般也可满足工程需要。

(3) 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,则在发生火灾时钢筋就不会很快软

化,这样就可避免结构倒塌。

(4) 整体性: 现浇或装配整体式混凝土结构具有良好的整体性,从而使结构的刚度及稳定性都比较好。这有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波等。

(5) 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,这样有利于建筑造型。

(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点,与钢结构相比能节约钢材并降低造价。

混凝土结构也具有以下缺点:

(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。这对于大跨度结构、高层建筑结构等都是不利的。另外,自重大会使结构的地震力加大,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,从而增加工程造价。

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;对于服役混凝土结构,如遇损伤则修复困难;隔热、隔声性能也比较差。

然而,随着科学技术的不断发展,混凝土结构的缺点正在逐渐被克服或有所改进。例如采用轻质、高强混凝土及预应力混凝土,即可减小结构自身重力并提高其抗裂性能;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。

1.3 混凝土结构的应用及发展

1.3.1 混凝土结构的发展阶段

混凝土结构的应用约有 150 年的历史,可大致划分为四个阶段。1850 年到 1920 年为第一阶段,当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,结构设计按弹性理论进行。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,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 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,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 10 余年来,大模板现浇和大板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”这一学科分支。结构构件的设计已采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

1.3.2 混凝土结构的工程应用

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 混凝土甚至更高强度等级混凝土的应用已较为普遍。各种特殊用途的混凝土不断研制成功并获得应用,例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。须特别指出的有:马来西亚石油双塔楼,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,88 层,建筑高度 420.5m,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;上海正在建造 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,建成后将成为世界上最高的建筑物。已知世界上计划建造 800m 以上的塔楼,有日本东京的千禧年塔楼(Millennium Tower),高 840m,以及香港超群塔楼(Bionic Tower),高 1128m。

此外,混凝土结构在桥梁、隧道、矿井、水工建筑、港口等领域也有着广泛的应用,并且也在朝着高强、大型和大跨结构方向发展。

1.3.3 混凝土结构的发展简况

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。

1.3.3.1 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—2002)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。配制高强混凝土必须采用很低的水灰比并应掺入粉煤灰、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(设防烈度为 9 度时)和 C70(设防烈度为 8 度时)。

1.3.3.2 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之中而制成,有**无筋钢纤维混凝土结构**和**钢纤维钢筋混凝土结构**。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,以提高混凝土的抗拉和韧性等结构性能,主要用于各种水泥基板材;也可以作为一种次要加筋材料,用于提高水泥混凝土材料的抗裂性等。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以及机场飞机跑道工程等。

1.3.3.3 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等五大类。

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正在建造的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。

1.3.3.4 混凝土结构的计算理论和设计方法逐步完善

关于混凝土基本构件的计算理论,在早期是采用以弹性理论为基础的容许应力方法。由于这种方法与实际情况出入较大,故随着对混凝土基本构件极限强度试验研究的进展,到20世纪40年代出现了考虑材料塑性的按破坏阶段的计算方法。此后,随着对荷载和材料变异性的不断研究,在20世纪50年代又提出了按极限状态的计算方法。这种方法经过多年来的继续研究与实践,其理论不断发展与完善,已为多数国家的设计规范所采用。

建国以来,我国的混凝土结构设计规范经历了几个不同的发展阶段。第一阶段(1949~1965年),直接采用国外的规范即当时苏联的规范,其中前期采用的规范是按破坏阶段的计算方法,后期采用的规范是按极限状态的计算方法。第二阶段(1966~1988年),采用我国自己编制的规范,其中《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG—66)是我国在1966年颁布的第一本自己编制的混凝土结构设计规范。在此基础上,根据科学技术的发展及实践经验的积累,1974年颁布了当时新修订的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)。这两本规范都采用了按极限状态的计算方法,前者以多系数表达,后者以单一安全系数表达,原则相仿,仅具体表达方式有一定不同。第三阶段自1989年开始,颁布了《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)。该规范采用以概率理论为基础的极限状态计算方法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用以分项系数设计公式的表达形式,对提高构件设计的合理性及实用性具有重要意义。

近10多年来,随着我国经济建设的加快以及混凝土结构研究的新进展,在工程建设领域出现了许多新技术和新材料,并且随着人民生活水平的提高,对结构安全性、适用性及耐久性的要求也进一步提高,原有规范已显得不能适应工程建设的需要。因此,我国从1997年开始,又组织了有关高校、科研和设计单位对原规范进行了修订,并于2002年颁布了新的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)。该规范将混凝土强度等级提高为C15~C80,

混凝土结构中的非预应力钢筋以 HRB400 级作为主导钢筋,预应力钢筋以钢绞线和高强钢丝作为主导钢筋,并适当调整了材料设计强度的取值以提高结构的安全性。同时,还增加了混凝土结构耐久性设计的有关内容,增加了结构内力及应力分析的一些方法,并对结构构件承载力计算方法以及各类构件的构造措施等进行了修订、补充和完善,明确了工程设计人员必须遵守的强制性条文。这些都反映了近年来工程建设中的新经验和混凝土结构的新发展,标志着我国混凝土结构的计算理论和设计水平又有了新的提高。

1.4 砌体结构的一般概念

1.4.1 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(公元前 1066 年到公元前 200 年)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,如公元 532 年~637 年建于君士坦丁堡的圣索菲亚教堂,东西向长 77m,南北向长 71.7m,正中是直径 32.6m 的穹顶,全部用砖砌成。

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(位于 9 度区)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。1958 年,我国也建成了采用混凝土空心砌块做墙体的建筑。

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,如烟囱、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 年~1972 年在北京用烟灰矿渣混凝土作墙板建成的 11.5 万 m² 住宅,节约普通粘土砖约 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