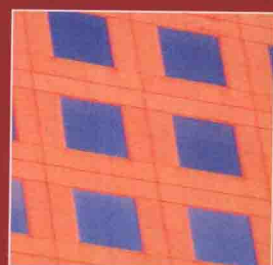




全国高等院校工程管理专业
应·用·型·系·列·规·划·教·材

工程结构 (第二版)

许成祥 关 萍 主 编
刘正保 杨海旭 副主编



科学出版社

全国高等院校工

划教材



工 程 结 构

(第二版)

许成祥 关 萍 主 编
刘正保 杨海旭 副主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书依据高等学校土建学科教学指导委员会工程管理专业指导委员会对工程管理专业学生的基本要求和审定的教学大纲,在第一版的基础上结合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等有关规范、规程编写而成,体现了新近出版规范的规定。

全书分为十三章,包括绪论,钢筋混凝土材料的力学性能,混凝土结构基本设计原则,钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算,钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算,钢筋混凝土受压构件承载力计算,钢筋混凝土受拉构件承载力计算,钢筋混凝土结构的裂缝、变形和耐久性,预应力混凝土结构构件计算与设计,钢筋混凝土梁板结构设计,砌体结构设计,单层厂房结构设计,混凝土多高层房屋结构设计。为便于教学,每章均附有思考题和习题。

本书可作为高等院校工程管理、土木工程专业及相关专业的教学用书,也可作为继续教育的教材和土建设计、工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构/许成祥,关萍主编. —2版. —北京:科学出版社,2015
(全国高等院校工程管理专业应用型系列规划教材)
ISBN 978-7-03-044214-7

I. ①工… II. ①许… ②关… III. ①工程结构-高等学校-教材
IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 090708 号

责任编辑:任加林 / 责任校对:柏连海
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京鑫丰华彩印有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 5 月第 二 版 印张:38 1/4

2015 年 5 月第五次印刷 字数:862 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈鑫丰华〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

第二版前言

《工程结构》于2012年2月出版以后,《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)分别于2012年08月01日和2012年10月1日颁布实施。为了使该教材能够反映我国结构设计规范新的有关规定,根据正式颁布的《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)和《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)等规定,作者对本书第一版进行了修订,主要对第十一章和第十三章相关内容进行了修改,对相关例题也进行了相应的修改。具体由杜国锋和王怀亮分别修改第十一章和第十三章。

由于编者水平有限,对新修订的规范学习理解还有所缺欠,书中仍难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015年5月

第一版前言

本书依据高等学校土建学科教学指导委员会工程管理专业指导委员会对工程管理专业学生的基本要求和审定的教学大纲,并结合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)和《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)等有关规范、规程编写而成,体现了新近出版规范的相关内容。

本书编写注重理论内容的精练,突出实践内容的重要性,强化应用型人才的专业技能和工程实用技术的培养。在重要章节的内容编写过程中,附有实践设计例题,体现知识与能力的结合,力求反映教材实用性的特点。

本书由工作在教学一线且具有多年丰富教学经验的教师编写。本书由许成祥、关萍担任主编并统稿,刘正保、杨海旭担任副主编。各章编写分工如下:第一章由许成祥、王晓菡负责编写;第二章由余建强负责编写;第三章由许成祥、王晓菡负责编写;第四、五章由关萍负责编写;第六~八章由王晓菡负责编写;第九章由杨海旭负责编写;第十章由刘正保负责编写;第十一章由杜国锋负责编写;第十二章由刘正保负责编写;第十三章由王怀亮负责编写;附表由许成祥、王晓菡负责编写。

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

由于时间仓促及编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2011年10月

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 绪论	1
1.1 混凝土结构的基本概念	1
1.2 混凝土结构的特点	1
1.3 混凝土结构的发展概况及趋势	2
1.3.1 混凝土结构的发展概况	2
1.3.2 混凝土结构的发展趋势	3
1.4 砌体结构的特点	6
1.5 砌体结构的发展概况	7
1.5.1 砌体结构的发展现状	7
1.5.2 砌体结构的计算理论	7
1.5.3 砌体结构的发展展望	8
1.6 导学	10
1.6.1 课程的地位、作用 and 任务	10
1.6.2 课程教学目的 and 要求	10
1.6.3 课程特点	10
1.6.4 规范简称	12
思考题	12
第二章 钢筋混凝土材料的力学性能	13
2.1 钢筋	13
2.1.1 钢筋的品种 and 牌号	13
2.1.2 钢筋强度和变形	15
2.1.3 钢筋的冷加工	17
2.1.4 混凝土结构对钢筋质量要求	18
2.2 混凝土	19
2.2.1 混凝土强度	19
2.2.2 混凝土变形	24
2.2.3 混凝土选用原则	31
2.3 钢筋与混凝土之间的黏结	32
2.3.1 黏结力的组成	32
2.3.2 黏结机理	32

2.3.3 影响黏结性能的因素	34
思考题	36
习题	36
第三章 混凝土结构基本设计原则	37
3.1 结构设计的要求	37
3.1.1 结构的功能要求	37
3.1.2 结构的极限状态	37
3.1.3 结构上的作用	38
3.1.4 作用效应 S 和结构抗力 R	39
3.1.5 结构功能函数	39
3.2 概率极限状态设计法	40
3.2.1 失效概率与可靠指标	40
3.2.2 目标可靠指标与安全等级	42
3.3 极限状态的实用设计表达式	43
3.3.1 荷载代表值	43
3.3.2 材料强度的标准值和设计值	44
3.3.3 承载能力极限状态设计表达式	45
3.3.4 正常使用极限状态设计表达式	47
思考题	48
习题	49
第四章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	50
4.1 梁板构造	50
4.1.1 板的构造要求	50
4.1.2 梁的构造要求	52
4.2 受弯构件正截面受力性能试验分析	54
4.2.1 适筋梁试验研究与分析	54
4.2.2 适筋梁正截面工作的三个阶段	55
4.2.3 配筋率对正截面破坏形态的影响	57
4.3 受弯构件正截面承载力计算原则	58
4.3.1 基本假定	58
4.3.2 等效矩形应力图形	60
4.3.3 适筋和超筋破坏的界限条件	61
4.3.4 适筋和少筋破坏的界限条件	62
4.4 单筋矩形截面受弯构件承载力	63
4.4.1 基本计算公式与适用条件	63
4.4.2 计算系数	64
4.4.3 基本公式的应用	65

4.5 双筋矩形截面受弯构件承载力	69
4.5.1 受压钢筋的应力	69
4.5.2 基本计算公式与适用条件	70
4.5.3 基本公式的应用	71
4.6 T形截面受弯构件承载力	74
4.6.1 基本公式与适用条件	74
4.6.2 基本公式的应用	78
思考题	81
习题	82
第五章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	84
5.1 斜截面开裂前受力分析及斜裂缝的出现	84
5.2 无腹筋梁的抗剪性能	85
5.2.1 斜裂缝出现后梁受力状态变化	85
5.2.2 无腹筋梁剪切破坏形态	87
5.2.3 影响无腹筋梁受剪承载力的主要因素	88
5.3 有腹筋梁斜截面受剪承载力	89
5.3.1 箍筋作用	89
5.3.2 有腹筋梁破坏形态	89
5.3.3 斜截面承载力计算公式	91
5.3.4 计算公式适用范围	93
5.4 斜截面承载力计算方法和步骤	94
5.4.1 计算截面位置	94
5.4.2 截面设计与复核	95
5.5 受弯构件钢筋布置	100
5.5.1 抵抗弯矩图	100
5.5.2 纵向钢筋弯起、截断和锚固	102
5.5.3 箍筋构造要求	108
5.5.4 架立钢筋及纵向构造钢筋	109
思考题	109
习题	109
第六章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	111
6.1 概述	111
6.2 轴心受压柱正截面承载力	111
6.2.1 普通钢箍柱	111
6.2.2 螺旋钢箍柱	115
6.3 矩形截面偏心受压柱正截面承载力	118
6.3.1 偏心受压柱破坏特征	118

6.3.2 偏心受压柱基本公式	120
6.3.3 $N-M$ 相关曲线	123
6.3.4 偏心受压构件的二阶效应	124
6.3.5 截面配筋计算	125
6.3.6 截面承载力复核	130
6.3.7 对称配筋	133
6.4 T形和工字形截面偏心受压柱正截面承载力	138
6.4.1 非对称配筋截面	138
6.4.2 对称配筋截面	140
6.5 偏心受压柱斜截面承载力	143
6.5.1 轴向压力对构件斜截面承载力影响	143
6.5.2 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算公式	143
6.6 柱一般构造要求	144
6.6.1 材料强度要求	144
6.6.2 截面形式及尺寸	145
6.6.3 纵向钢筋	145
6.6.4 箍筋	145
思考题	146
习题	147
第七章 钢筋混凝土受拉构件承载力计算	149
7.1 轴心受拉构件承载力	149
7.2 偏心受拉构件正截面承载力	150
7.2.1 两种偏心受拉构件	150
7.2.2 大偏心受拉构件	150
7.2.3 小偏心受拉构件	152
7.3 偏心受拉构件斜截面承载力	153
思考题	154
习题	154
第八章 钢筋混凝土结构的裂缝、变形和耐久性	155
8.1 变形和裂缝的计算要求	155
8.1.1 变形的计算要求	155
8.1.2 裂缝的计算要求	155
8.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	156
8.2.1 受弯构件裂缝宽度计算	156
8.2.2 轴心受拉和偏心受力构件裂缝宽度计算	161
8.3 钢筋混凝土构件的变形计算	164
8.3.1 钢筋混凝土受弯构件刚度	164

8.3.2 钢筋混凝土受弯构件挠度计算	167
8.4 混凝土结构的耐久性设计	169
8.4.1 结构工作环境分类	169
8.4.2 结构耐久性对混凝土的基本要求	170
思考题	171
习题	171
第九章 预应力混凝土结构构件计算与设计	172
9.1 预应力混凝土结构原理及规定	172
9.1.1 预应力混凝土概念	172
9.1.2 预应力混凝土材料	173
9.1.3 施加预应力方法	178
9.1.4 预应力混凝土分类及裂缝控制等级	179
9.1.5 张拉控制应力	182
9.1.6 预应力损失	183
9.1.7 组合预应力损失	188
9.2 预应力混凝土轴心受拉构件	189
9.2.1 预应力混凝土轴心受拉构件应力分析	189
9.2.2 预应力混凝土轴心受拉构件设计	193
9.3 预应力混凝土受弯构件	199
9.3.1 预应力混凝土受弯构件应力分析	200
9.3.2 预应力混凝土受弯构件承载力计算	203
9.3.3 疲劳验算	208
9.3.4 预应力混凝土受弯构件抗裂验算及裂缝宽度计算	210
9.3.5 预应力混凝土受弯构件挠度验算	213
9.3.6 施工阶段验算	215
9.4 预应力混凝土构件构造规定	224
思考题	227
习题	227
第十章 钢筋混凝土梁板结构设计	229
10.1 楼盖结构及布置	229
10.1.1 楼盖结构分类	230
10.1.2 楼盖结构布置及受力特点	231
10.2 单向板肋梁楼盖设计	235
10.2.1 结构平面布置	235
10.2.2 计算简图	236
10.2.3 连续梁、板按弹性理论方法的内力计算	241
10.2.4 连续梁、板按塑性理论方法的内力计算	244

10.2.5 单向板肋梁楼盖的截面设计与构造要求	252
10.3 双向板肋梁楼盖设计	277
10.3.1 双向板的受力分析和试验研究	277
10.3.2 双向板内力计算	279
10.3.3 双向板的截面设计与构造要求	284
10.3.4 双向板支承梁的设计	285
10.4 楼梯和雨篷设计	290
10.4.1 楼梯设计	290
10.4.2 雨篷设计	301
思考题	304
习题	304
第十一章 砌体结构设计	307
11.1 砌体结构材料及砌体力学性能	307
11.1.1 砌体材料	307
11.1.2 砌体种类	311
11.1.3 砌体力学性能	312
11.1.4 砌体变形	318
11.1.5 砌体强度标准值和设计值	321
11.1.6 砌体的强度设计值调整系数	324
11.2 砌体结构构件承载力计算	325
11.2.1 受压构件承载力计算	325
11.2.2 砌体局部受压承载力计算	332
11.2.3 轴心受拉、受弯和受剪构件承载力计算	339
11.3 配筋砖砌体构件承载力计算及构造措施	341
11.3.1 网状配筋砖砌体受压构件	341
11.3.2 组合砖砌体构件	345
11.3.3 砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	349
11.3.4 配筋砌块砌体构件	351
11.4 混合结构房屋墙体设计	354
11.4.1 混合结构房屋结构布置方案	354
11.4.2 房屋静力计算方案	357
11.4.3 砌体房屋墙体高厚比计算	361
11.4.4 砌体房屋墙体设计计算	366
11.4.5 承重横墙计算	376
11.4.6 多层刚弹性方案房屋的计算	382
11.5 混合结构房屋其他构件及墙体构造措施	383
11.5.1 过梁	383

11.5.2 挑梁	388
11.5.3 墙梁	393
11.5.4 墙体构造措施	403
思考题	411
习题	411
第十二章 单层厂房结构设计	415
12.1 概述	415
12.1.1 单层厂房特点	415
12.1.2 单层厂房结构体系	415
12.2 单层厂房的结构组成与结构布置	416
12.2.1 结构组成及其主要构件	416
12.2.2 平剖面结构布置及变形缝设置	426
12.3 排架内力分析	434
12.3.1 计算简图	435
12.3.2 荷载计算	437
12.3.3 内力分析	443
12.3.4 内力组合	447
12.4 排架柱设计	449
12.4.1 排架柱的二阶效应	449
12.4.2 排架柱计算长度	450
12.4.3 柱吊装、运输阶段承载力和裂缝宽度验算	450
12.4.4 牛腿与预埋件设计	451
12.5 钢筋混凝土柱下独立基础设计	456
12.5.1 基础底面尺寸确定	457
12.5.2 基础高度确定	459
12.5.3 基础底板配筋计算	460
12.5.4 基础构造要求	461
12.6 单层厂房结构设计实例	468
12.6.1 设计任务	468
12.6.2 设计参考资料	469
12.6.3 结构构件选型及柱截面尺寸确定	471
12.6.4 荷载计算	472
12.6.5 排架内力分析	475
12.6.6 内力组合	481
12.6.7 柱截面设计	487
思考题	492
习题	493

第十三章 混凝土多高层房屋结构设计	495
13.1 多层及高层房屋结构设计的一般原则	495
13.1.1 多层及高层房屋结构体系	495
13.1.2 多层及高层建筑结构布置	496
13.1.3 多层及高层建筑结构的风荷载和地震作用	498
13.1.4 多层及高层建筑结构内力和位移计算一般原则	499
13.1.5 截面设计和结构构造的一般原则	500
13.2 钢筋混凝土框架结构	503
13.2.1 框架结构的组成和布置	503
13.2.2 框架结构内力和水平位移的近似计算方法	505
13.2.3 框架结构内力组合	517
13.2.4 框架结构构件设计一般要求	519
13.2.5 无抗震设防要求时框架结构构件设计	520
13.2.6 有抗震设防要求时框架结构构件设计	522
13.3 钢筋混凝土剪力墙结构	526
13.3.1 剪力墙结构布置	526
13.3.2 剪力墙结构计算假定及剪力墙分类	527
13.3.3 整体墙和小开口墙计算	529
13.3.4 双肢墙计算	534
13.3.5 多肢墙计算	542
13.3.6 壁式框架计算	543
13.3.7 剪力墙截面设计	547
13.4 钢筋混凝土框架-剪力墙结构	557
13.4.1 变形及受力特点	557
13.4.2 框架-剪力墙结构布置	557
13.4.3 框架-剪力墙结构内力计算	558
13.4.4 框架-剪力墙结构截面设计及结构	567
思考题	568
习题	568
附表	570
参考文献	597

第一章 绪 论

1.1 混凝土结构的基本概念

混凝土结构是指以混凝土为主制成的结构，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，其应用范围极广，是目前土木建筑工程中应用最多的一种结构形式。

素混凝土结构是指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构。素混凝土结构由于承载力低、性质脆，很少用来作为重要的承力结构，一般主要用于承受压力的结构，如重力堤坝、支墩、基础、挡土墙、地坪、水泥混凝土路面、飞机场跑道及砌块等。

钢筋混凝土结构是由配置受力普通钢筋的混凝土结构。钢筋混凝土结构中，主要利用混凝土的抗压能力，钢筋的抗拉和抗压能力。常用的钢筋混凝土构件，按其受力特点可分为：

- (1) 受弯构件，如板、梁、楼盖等。
- (2) 受压构件，如柱、剪力墙、筒、屋架的压杆等。
- (3) 受拉构件，如水池的池壁、屋架的拉杆等。
- (4) 受扭构件，如框架结构的边梁、吊车梁等。

预应力混凝土结构是由配置受力的预应力筋，通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土结构。预应力混凝土结构由于抗裂性好、刚度大和强度高，适宜建造一些跨度大、荷载重及有抗裂抗渗要求的结构，如大跨屋架、桥梁、水池等。

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。

1.2 混凝土结构的特点

钢筋混凝土结构是以混凝土承受压力、钢筋承受拉力，比较充分合理地利用混凝土和钢筋这两种材料的力学特性。与素混凝土结构相比，钢筋混凝土结构承载力大大提高，破坏有明显的裂缝和变形发展过程，呈延性特征。对于一般工程结构，经济指标优于钢结构。

钢筋有时也可以用来协助混凝土受压，改善混凝土的受压破坏脆性性能和减少截面尺寸。

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种材料组成，这两种物理、力学性质不同的材料之所以能有效地结合在一起而共同工作，主要有以下 3 点：

- (1) 钢筋与混凝土之间存在有良好的黏结。混凝土硬化后钢筋和混凝土形成整体，保证在外荷载作用下，钢筋与相邻混凝土能够协调变形，共同工作。

(2) 钢筋和混凝土温度线性膨胀系数基本相近。钢筋温度线性膨胀系数为 1.2×10^{-5} ；混凝土温度线性膨胀系数为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ ，当温度变化时，两者之间不会产生较大的相对变形而破坏它们之间的结合。

(3) 混凝土的包裹使钢筋不易发生锈蚀。构件至构件边缘之间的混凝土保护层，起着防止钢筋发生锈蚀有作用，保证结构的耐久性。

钢筋混凝土结构与其他结构相比，有以下优点：

(1) 合理用材。合理地利用钢筋和混凝土两种材料的受力性能，可以形成具有高承载力的结构构件。在一定条件下可用来代替钢构件，因而能节约钢材，降低造价。

(2) 耐久性好。在一般环境下，钢筋受到混凝土的保护而不易生锈。正常使用条件下不需要经常性的保养和维修。

(3) 耐火性好。混凝土是不良导热体，遭火灾时，钢筋因有混凝土包裹而不至于很快升温到失去承载力的程度。

(4) 可模性好。新拌和的混凝土是可塑的，可根据需要设计制成各种形状和尺寸的结构或构件。

(5) 整体性好。整体浇筑的钢筋混凝土结构整体性好，再通过合适的配筋，可获得较好的延性，有利于抗震、防爆和防辐射。

(6) 易于就地取材。混凝土所用的原材料中占很大比例的石子和砂子，产地普遍，便于就地取材，且可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废渣有利于保护环境。

钢筋混凝土结构也存在着一些缺点：

(1) 自重过大。相对于钢结构来说，混凝土结构自重偏大，这对于建造大跨度结构和高层建筑是不利的。

(2) 抗裂性较差，开裂过早。由于混凝土的抗拉强度较低，在正常使用时，钢筋混凝土结构往往带裂缝工作，裂缝存在会影响结构物的正常使用性和耐久性。

(3) 施工比较复杂，工序多。浇注混凝土时需要模板支撑，户外施工受季节条件限制。

(4) 补强修复比较困难。新老混凝土不易形成整体，混凝土结构一旦破坏，修补和加固比较费事。

由于钢筋混凝土结构具有许多优点，且其缺点正在不断被逐渐克服或有所改进，在房屋建筑、地下结构、桥梁隧道、水工海港等土木工程中得到了广泛应用。

1.3 混凝土结构的发展概况及趋势

1.3.1 混凝土结构的发展概况

与砌体结构、木结构、钢结构相比，混凝土结构的历史并不长。由于混凝土和钢筋材料性能的不断改进，结构理论和施工技术的进步，钢筋混凝土结构得到迅速发展，目前混凝土结构已成为世界各国现代土木工程建设中占主导地位的结构，应用十分广泛。混凝土结构发展大致经历了3个阶段。

第1阶段,从钢筋混凝土发明至20世纪初。1824年英国烧瓦工人约瑟夫·阿斯普丁(Joseph Aspdin)发明硅酸盐水泥,为钢筋混凝土的发明奠定了物质基础。1849年法国技师朗波(L. Lambot)制造了第一只钢筋混凝土小船,标志着混凝土结构的诞生。1872年在纽约建造第一所钢筋混凝土房屋,1890年美国人Ransome在San Francisco建造了一幢312ft^①长的二层建筑物,从此开始了钢筋混凝土结构在土木工程中应用。1884年以后,德国人Wayss、Bauschinger和Koenen等提出了钢筋应配置在结构中受拉力部位的概念和钢筋混凝土板的计算方法。此后,钢筋混凝土结构逐渐得到了推广。

这一阶段混凝土和钢筋的强度都较低,钢筋混凝土的计算理论尚未建立,内力计算和构件截面设计均采用基于弹性理论的容许应力设计方法。混凝土主要应用在一些小型梁、板、柱、基础等构件。

第2阶段,从20世纪初到第二次世界大战前后。1928年法国工程师弗来西奈(E. Freyssinet)发明了预应力混凝土,使得混凝土结构可以用来建造大跨度结构。1933年法国、苏联和美国分别建成跨度达60m的圆壳、扁壳和圆形悬索屋盖,1931年美国在纽约建成了102层、高381m的帝国大厦。1922年英国人狄森提出了受弯构件按破损阶段的计算方法。1950年苏联根据极限平衡理论制定了“塑性内力重分布计算规程”。

这一阶段混凝土和钢筋的强度有所提高,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,按破损阶段计算结构的破坏承载力,出现了装配式钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和壳体空间结构。

第3阶段,从第二次世界大战以后到现在。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、泵送商品混凝土以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。

这一阶段概括为材料强度不断提高,计算理论趋于完善,施工机械化程度越来越高,建筑物向大跨和高层发展。

1.3.2 混凝土结构的发展趋势

1. 混凝土和配筋材料的发展

随着现代材料科学的不断进步,传统的混凝土材料已逐渐向高强、高性能、多功能和智能化发展。

高强混凝土是指强度等级为C60及其以上的混凝土称为高强混凝土。目前我国已制成100N/mm²强度的混凝土,美国已制成200N/mm²强度的混凝土。在建筑物的梁、柱结构中采用高强度混凝土优越性非常明显,在同等条件下,混凝土强度越高,其结构构件的尺寸、体积就会相对减少,混凝土用量也将成比例地减少。同时由于结

^① 1ft=0.3048m,下同。

构断面的减少,不但使建筑物在观感上给人以舒适的感觉,而且增加了建筑物的实际使用面积,经济效益非常明显。

高性能混凝土是在 1990 年,美国 NIST 和 ACI 召开的一次国际会议上首先提出来的,并立即得到各国学者和工程技术人员积极响应。但对高性能混凝土国内外尚无统一的认识和定义。根据一般的理解,对高性能混凝土有以下几点共识:①混凝土的使用寿命要长;②混凝土应具有较高的体积稳定性;③高性能混凝土应具有良好的施工性能;④具有一定的强度和密实度,但不一定是高强,亦可以是中、低强度高性能。混凝土达到高性能最重要的技术手段是使用新型外加剂和超细矿物质掺和料(超细粉),降低水灰比、增大坍落度和控制坍落度损失,给予混凝土高的密实度和优异的施工性能填充胶凝材料的空隙,保证胶凝材料的水化体积安定性,改善混凝土的界面结构,提高混凝土的强度和耐久性。

智能混凝土是在混凝土原有组分基础上复合智能型组分,使混凝土具有自感知和记忆、自适应、自修复特性的多功能材料。根据这些特性可以有效地预报混凝土材料内部的损伤,满足结构自我安全检测需要,防止混凝土结构潜在脆性破坏,并能根据检测结果自动进行修复,显著提高混凝土结构的安全性和耐久性。

钢筋的发展方向是高强、较好的延性和较好的黏结锚固性能。目前,GB 50010—2010 根据“四节一环保”的要求,提倡应用高强、高性能钢筋。推广 400MPa、500MPa 级高强热轧带肋钢筋作为纵向受力的主导钢筋;推广具有较好的延性、可焊性、机械连接性能及施工适用性的 HRB 系列普通热轧带肋钢筋;淘汰锚固性能很差的刻痕钢丝。为了提高钢筋的防腐性能带有环氧树脂涂层的热轧钢筋已在有特殊防腐要求的工程中使用。

采用纤维筋代替钢筋的研究也取得了较大的进展。常用的纤维筋有树脂黏结的碳纤维筋(GFRP)、玻璃纤维筋(GFRP)及芳纶纤维筋(AFRP)。纤维筋的优点是抗腐蚀、高强度,此外,还具有良好的抗疲劳性能、大的弹性变形能力、高电阻及低磁性。纤维筋的缺点是断裂应变性能较差、较脆、徐变(松弛)值较大,热膨胀系数较大,玻璃纤维筋的抗碱化性能较差。

2. 混凝土结构形式的发展

钢筋混凝土结构在一般工业与民用建筑中使用最为广泛。结构工程中,采用的框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构等也多采用混凝土结构。

预应力混凝土结构由于抗裂性能好,可利用高强度材料,实现了跨度大、自重轻、节约建筑材料、节省建筑层高、改善建筑与结构功能等突出的优点,迎合了近代土木工程的发展趋势。近些年来,由于预应力混凝土材料、预应力体系、施工技术等领域的发展,预应力混凝土结构发生了很大的变化,各种新技术、新方法及新的设计构思层出不穷。部分预应力混凝土结构因其兼有预应力和钢筋混凝土结构的优点,克服了全预应力混凝土结构预压应力过高的缺点。无黏结体内预应力混凝土结构,消除了后张预应力筋管道的压浆,降低了预应力在管道内的摩阻损失,已在简单的实心板式结构中广泛应用。混凝土受拉区预压、受压区预拉的双向预应力体系是预应力概念的一