

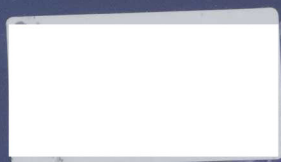
工 程 结 构

(新 规 范 版)

邵军义 主 编

王君鹏 姜吉坤 副主编

申建红 主 审



化 学 工 业 出 版 社

工程结构

(新规范版)

邵军义 主 编
王君鹏 姜吉坤 副主编
申建红 主 审



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材共 13 章, 主要内容包括混凝土结构及其材料的力学性能、混凝土结构基本设计原则、钢筋混凝土受弯构件截面承载力计算、钢筋混凝土轴向受力构件、受扭构件承载力计算、钢筋混凝土结构的适用性和耐久性、预应力混凝土构件、单层厂房、框架结构、砌体结构、钢结构等。

本教材注意了以教学为主, 以实际应用为重, 在讲述基本原理和概念的基础上, 结合了相关规范和工程实际, 并注意与其它课程和教材的衔接与综合应用。为体现工程管理专业与相关方向的特点, 加大了构造要求的阐述。章节中解析了典型的例题, 而且各章均有提要、思考题、习题, 可供高等学校工程管理专业及相关专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构 (新规范版)/邵军义主编. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-122-13984-9

I. 工… II. 邵… III. 工程结构-高等学校-教材
IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 068689 号

责任编辑: 董琳

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 吴静

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 25½ 字数 729 千字 2012 年 8 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

《工程结构（新规范版）》编委会

主 编：邵军义

副主编：王君鹏 姜吉坤

主 审：申建红

编 委（按姓氏笔画排序）：

于 水	于英乐	王志强	王君鹏	牛腾飞	申建红
朱 珊	庄 丽	庄云娇	刘 明	刘庆施	李松青
李晓冬	邵军义	张立新	张贵华	陈为公	陈红玉
陈传联	周盛世	赵 岩	胡龙伟	姜吉坤	夏宪成
郭 平	郭海滨	黄 蕾	曹卫群	董伟强	韩立红

新版前言

工程管理专业具有较强的综合性和较大的专业覆盖范围。如何办好这一新专业,从而适应土木工程专业教育的发展和变化,有效地为国家、社会培养满足工程建设事业持续发展所需要的高级专业管理人才,是摆在设置该专业的高等学校面前的一个重大课题。

《工程结构》课程是工程管理专业(含国际工程项目管理、工程造价、房地产方向)的技术平台课程中的一门主干课程,其目的是通过本课程的教学使学生掌握工程结构的基本概念、原理和结构设计的理论与实用设计方法,具备根据建设(土木)工程项目的特点、性质、功能和业主要求能够正确、合理地进行工程结构设计,尤其是工程管理能力。本着“重视培养学生的创新精神、实践能力、创新能力和创业能力”的教育思想观念,广泛、充分地借鉴国内相关高校和专家的先进的科学技术成果,参照工程管理专业指导委员会编制的全国高等学校工程管理专业本科教育培养目标和培养方案及主干课程教学基本要求,本教材综合了《混凝土结构设计原理》、《混凝土结构设计》、《砌体结构》等课程的内容,精简详繁兼而有之。

我校教师编写的《工程结构》教材第一版共15章,分为上、下两册,是根据《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)2001版和《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)编写。2011年《建筑结构荷载规范》更新为(GB 50010—2001)2006版、《混凝土结构设计规范》更新为(GB 50010—2010),并于2011年7月实施,原教材已不能满足新知识的要求,因此需推出新版《工程结构》教材,并补充了钢结构的内容,以适应新的结构材料和结构体系发展需要。

本教材共13章,主要内容包括混凝土结构及其材料的力学性能、混凝土结构基本设计原则、钢筋混凝土受弯构件截面承载力计算、钢筋混凝土轴向受力构件、受扭构件承载力计算、钢筋混凝土结构的适用性和耐久性、预应力混凝土构件、单层厂房、框架结构、砌体结构、钢结构等。编写本教材时,注意了以教学为主,以实际应用为重,在讲述基本原理和概念的基础上,结合了相关规范和工程实际,并注意与其它课程和教材的衔接与综合应用。为体现工程管理专业与相关方向的特点,加大了构造要求的阐述。章节中解析了典型的例题,而且各章均有提要、思考题、习题,以便于作为教材使用。

本教材的编写人员都具有丰富的教学和工程实践经验。青岛理工大学邵军义教授主编,青岛理工大学姜吉坤、王君鹏副主编。书中的第1、4、6、9章由邵军义编写,第2、5章由王君鹏编写,第3、8章由姜吉坤编写,第7章由赵岩编写,第10章由夏宪成编写,第11章由黄蕾编写,第12章由胡龙伟编写,第13章由刘庆施、董伟强编写。本教材由青岛理工大学申建红教授担任主审。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,欢迎读者批评指正。

编者
2012年3月

目 录

第 1 章 绪论 1

1.1 工程结构简介 1

1.1.1 基本概念 1

1.1.2 研究工程结构的意义 2

1.2 工程结构的分类与应用概况 2

1.2.1 按所用材料的不同分类 2

1.2.2 按受力和构造特点的不同分类 5

1.2.3 其它分类 7

1.3 工程结构课程简介和学习要点 7

1.3.1 课程简介 7

1.3.2 本课程学习要点 8

第 2 章 混凝土结构及其材料的力学

性能 9

2.1 混凝土结构 9

2.1.1 混凝土结构的一般概念 9

2.1.2 混凝土结构的组成 10

2.1.3 混凝土结构的发展和应用简况 11

2.2 混凝土结构的钢筋 13

2.2.1 钢筋的品种和成分 13

2.2.2 钢筋的形式 13

2.2.3 钢筋的力学性能 14

2.2.4 混凝土结构对钢筋质量的要求 15

2.3 混凝土 16

2.3.1 混凝土的强度 16

2.3.2 混凝土的变形性能 18

2.3.3 混凝土的时随变形——徐变和收缩 23

2.4 钢筋与混凝土的黏结 24

2.4.1 基本术语 24

2.4.2 黏结力的组成 24

2.4.3 黏结力的试验 24

2.4.4 影响黏结强度的因素 26

第 3 章 混凝土结构基本设计原则 29

3.1 极限状态设计原则 29

3.1.1 设计理论和概率理论之间的关系 29

3.1.2 建筑结构的性能要求 29

3.1.3 结构可靠度和安全等级 30

3.1.4 结构的极限状态 30

3.1.5 结构上的作用 F 、作用效应 S 与结构抗力 R 31

3.1.6 结构极限状态方程 32

3.2 荷载和材料强度的取值 32

3.2.1 荷载代表值 33

3.2.2 材料强度标准值 33

3.2.3 材料强度的设计值 34

3.3 概率统计极限状态设计方法 34

3.3.1 结构安全度的三种处理方法 34

3.3.2 可靠度、失效概率、可靠指标 35

3.3.3 目标可靠指标 $[\beta]$ 36

3.3.4 极限状态设计表达式 37

第 4 章 钢筋混凝土受弯构件截面承载力

计算 40

4.1 概述 40

4.1.1 基本术语 40

4.1.2 概述 40

4.2 受弯构件正截面受弯性能 41

4.2.1 适筋梁实验研究分析 41

4.2.2 适筋梁正截面工作的三个阶段 42

4.2.3 配筋率对正截面破坏性质的影响 43

4.3 受弯构件正截面承载力计算方法 45

4.3.1 基本术语 45

4.3.2 基本假定 45

4.3.3 适筋梁正截面的受力分析 46

4.3.4 等效矩形应力图形 46

4.3.5 界限受压区高度 ξ_b 与界限配筋率 ρ_b 47

4.3.6 最小配筋率 48

4.4 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算 49

4.4.1 一般构造要求 49

4.4.2 单筋矩形受弯构件正截面基本计算公式与适用条件 51

4.4.3 基本公式的应用 51

4.5 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算 54

4.5.1 受压钢筋的强度 54

4.5.2 基本计算公式与适用条件 55

4.5.3 基本公式的应用 55

4.6 T 形截面受弯构件正截面承载力计算 58

4.6.1	概述	58	5.5.6	小偏心受压构件中远离轴向偏心力一侧的钢筋应力	101
4.6.2	基本公式与适用条件	59	5.6	不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	101
4.6.3	基本公式的应用	60	5.6.1	大偏心受压构件正截面承载力计算 ($\xi \leq \xi_b$)	101
4.7	受弯构件斜截面承载力计算	63	5.6.2	小偏心受压构件正截面承载力计算 ($\xi > \xi_b$)	103
4.7.1	概述	63	5.6.3	偏心受压构件正截面承载力校核	105
4.7.2	无腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态	64	5.6.4	不对称配筋条件下大小偏心受压构件的判别	105
4.7.3	有腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态	67	5.7	对称配筋矩形截面偏压构件的承载力计算公式	107
4.7.4	影响斜截面受剪承载力的主要因素	67	5.7.1	对称配筋条件下大、小偏心受压构件的判别	107
4.7.5	受弯构件斜截面抗剪承载力计算	70	5.7.2	偏心受压构件对称配筋截面承载力的计算与复核	108
4.7.6	受弯构件斜截面承载力的计算方法	74	5.8	I形截面偏心受压构件	111
4.7.7	纵向钢筋的弯起	77	5.8.1	非对称配筋截面	111
4.7.8	纵向钢筋的截断、锚固和连接	79	5.8.2	对称配筋截面承载力计算	112
第5章 钢筋混凝土轴向受力构件		87	5.9	N_u-M_u 相关曲线	112
5.1	受压构件概述	87	5.10	受拉构件承载力计算	113
5.2	受压构件的基本构造要求	88	5.10.1	概述	113
5.2.1	材料强度等级	88	5.10.2	轴心受拉构件的构造要求	114
5.2.2	截面形式和尺寸	88	5.10.3	轴心受拉构件正截面承载力计算	114
5.2.3	纵向钢筋	88	5.10.4	矩形截面偏心受拉构件	115
5.2.4	箍筋	89	5.10.5	小偏心受拉构件正截面承载力计算	116
5.2.5	柱中钢筋的搭接	91	5.10.6	大偏心受拉构件正截面承载力计算	116
5.3	配有普通箍筋的轴心受压构件的正截面承载力计算	92	5.11	轴向偏心受力构件斜截面受剪承载力计算	118
5.3.1	轴心受压短柱的应力分布及破坏形态	92	5.11.1	偏心受压构件斜截面承载力计算	118
5.3.2	轴心受压长柱的应力分布及破坏形态	92	5.11.2	偏心受拉构件斜截面承载力计算	119
5.3.3	轴心受压构件正截面承载力计算	94	第6章 受扭构件承载力计算		122
5.4	螺旋式(或焊环式)箍筋轴心受压构件正截面承载力计算	95	6.1	概述	122
5.4.1	螺旋式箍筋的横向约束作用	95	6.2	构件的开裂扭矩	122
5.4.2	配置螺旋式箍筋构件正截面受压承载力计算	95	6.2.1	矩形截面构件的开裂扭矩	123
5.5	偏心受压构件正截面承载力计算的有关原理	97	6.2.2	带翼缘截面受扭构件的开裂扭矩	124
5.5.1	偏心受压构件正截面的破坏形态和机理	97	6.2.3	纯扭构件的受扭承载力计算	124
5.5.2	偏心受压构件的纵向弯曲影响	99	6.3	T形和I形截面纯扭构件承载力计算	128
5.5.3	偏心受压构件正截面承载力计算的基本假定	100			
5.5.4	附加偏心距	100			
5.5.5	两种破坏形态的界限	100			

6.4 受弯矩、剪力和扭矩共同作用的构件承载力计算	128	8.3 预应力轴心受拉构件各阶段的应力分析	166
6.4.1 弯扭构件概述	129	8.3.1 先张法预应力混凝土轴心受拉构件各阶段应力状态	166
6.4.2 剪扭构件承载力的计算	129	8.3.2 后张法预应力混凝土轴心受拉构件各阶段应力状态	168
6.4.3 弯扭构件的配筋计算	131	8.4 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	172
6.4.4 弯剪扭构件的构造要求	131	8.4.1 使用阶段强度计算	173
6.4.5 带翼缘截面的弯剪扭构件承载力计算	132	8.4.2 使用阶段裂缝验算	173
第7章 钢筋混凝土结构的适用性和耐久性	134	8.4.3 施工阶段验算	174
7.1 概述	134	8.5 预应力混凝土受弯构件各阶段应力状态	174
7.2 裂缝的控制与验算	134	8.5.1 预应力混凝土受弯构件截面形式	174
7.2.1 裂缝的原因、形态及影响因素	134	8.5.2 受弯构件各阶段的应力分析	175
7.2.2 荷载引起的裂缝控制的目的与验算	138	8.6 预应力混凝土受弯构件承载力计算	175
7.2.3 裂缝的出现与分布规律	139	8.6.1 破坏阶段应力分析	175
7.2.4 平均裂缝间距	139	8.6.2 预应力混凝土受弯构件正截面承载力计算	177
7.2.5 平均裂缝宽度	140	8.6.3 预应力混凝土受弯构件斜截面受剪承载力计算	178
7.3 最大裂缝宽度与裂缝宽度验算	142	8.7 预应力混凝土受弯构件的裂缝控制验算	179
7.3.1 影响裂缝宽度的主要因素	142	8.7.1 正截面裂缝控制验算	179
7.3.2 最大裂缝宽度的计算	142	8.7.2 裂缝宽度计算	180
7.4 受弯构件的挠度控制	143	8.7.3 预应力混凝土受弯构件的挠度计算	180
7.4.1 挠度控制的目的和要求	143	8.7.4 受弯构件裂缝出现时的弯矩 M_{cr}	181
7.4.2 受弯构件刚度的试验研究分析	144	8.8 预应力的传递长度和锚固区的局部承压	182
7.4.3 受弯构件短期刚度的计算	145	8.8.1 预应力的传递长度	182
7.5 受弯构件长期刚度及挠度的验算	147	8.8.2 锚固区的局部承压	182
7.5.1 受弯构件长期刚度	147	8.9 预应力混凝土构件的构造要求	184
7.5.2 受弯构件的变形验算	148	8.9.1 先张法构件	185
7.6 混凝土结构的耐久性	148	8.9.2 后张法构件	185
7.6.1 研究结构耐久性的重要意义	148	8.10 无黏结预应力混凝土的基本原理	187
7.6.2 影响结构耐久性的因素	149	8.10.1 无黏结预应力混凝土的概念与特点	187
7.6.3 材料的劣化	150	8.10.2 无黏结预应力混凝土的材料与锚固体体系	188
7.6.4 混凝土结构耐久性设计	154	8.10.3 无黏结预应力混凝土板的形式	189
7.6.5 提高混凝土结构耐久性的技术措施	156	8.10.4 无黏结预应力混凝土梁的形式及截面选择	190
第8章 预应力混凝土构件	159	8.10.5 无黏结预应力混凝土受弯构件的一般构造要求	191
8.1 概述	159		
8.1.1 预应力的概念	159		
8.1.2 预应力混凝土的等级与预应力度	161		
8.1.3 预应力混凝土结构的类型	162		
8.1.4 预应力混凝土结构的优缺点	163		
8.1.5 预应力混凝土及其工作原理	164		
8.1.6 预应力混凝土的使用范围	164		
8.2 预应力损失	165		
8.2.1 预应力损失的影响因素	165		
8.2.2 预应力损失的组合	165		

8.11	体外预应力混凝土结构简介	191
8.11.1	现代体外预应力混凝土结构的发展	192
8.11.2	体外预应力混凝土结构的组成	193
第9章	钢筋混凝土梁板结构	195
9.1	概述	195
9.2	现浇整体式楼盖结构的分类	196
9.3	现浇整体式楼盖结构布置	197
9.3.1	柱网布置	197
9.3.2	梁格布置	197
9.4	肋梁楼盖的受力体系	197
9.4.1	板	197
9.4.2	次梁与主梁	198
9.5	钢筋混凝土单向板肋梁楼盖的内力计算	198
9.5.1	按弹性理论计算	198
9.5.2	考虑塑性内力重分布的计算方法	202
9.6	单向板的计算和配筋	205
9.6.1	设计要点	205
9.6.2	配筋构造	206
9.7	次梁的计算和配筋	208
9.7.1	设计要点	208
9.7.2	配筋构造	208
9.8	主梁的计算和配筋	209
9.8.1	计算要点	209
9.8.2	截面配筋构造	210
9.9	单向板肋梁楼盖设计例题	210
9.9.1	设计步骤	211
9.9.2	绘制配筋图	222
9.10	双向板楼盖	222
9.10.1	双向板的受力特点	222
9.10.2	弹性体系双向板的静力计算	224
9.10.3	双向板按塑性理论的计算方法	226
9.10.4	双向板的极限荷载	226
9.10.5	双向板按塑性理论的设计	228
9.10.6	双向板支承梁的计算	229
9.11	装配式楼盖	230
9.11.1	预制构件	230
9.11.2	预制构件的计算特点	231
9.11.3	装配式混凝土楼盖的连接构造	232
9.11.4	装配整体式楼盖	233
9.11.5	楼梯、雨篷的计算与构造	233

第10章	单层厂房结构	239
10.1	概述	239
10.1.1	单层厂房的特点	239
10.1.2	单层厂房的结构体系	239
10.2	单层厂房的结构组成与结构布置	242
10.2.1	结构组成及其主要构件	242
10.2.2	平剖面结构布置及变形缝设置	250
10.3	排架内力分析	254
10.3.1	计算简图	254
10.3.2	荷载计算	255
10.3.3	排架内力分析	260
10.3.4	排架内力组合	263
10.4	钢筋混凝土柱设计	264
10.4.1	柱的计算长度	265
10.4.2	吊装、运输阶段的承载力和裂缝宽度验算	265
10.4.3	牛腿设计	266
10.5	钢筋混凝土柱下独立基础设计	269
10.5.1	独立基础底面积的确定	269
10.5.2	偏心受压独立基础高度验算	270
10.5.3	偏心受压基础配筋计算	272
10.5.4	偏心受压基础的其它构造要求	272
第11章	框架结构	275
11.1	概述	275
11.2	结构布置、梁柱尺寸及计算简图	276
11.2.1	框架结构布置	276
11.2.2	梁、柱截面尺寸	277
11.2.3	框架计算简图	277
11.3	在竖向荷载作用下框架内力的近似计算	278
11.3.1	分层计算法	278
11.3.2	梁柱节点构造要求	282
11.4	水平荷载作用下框架柱剪力的近似计算	285
11.4.1	反弯点法	285
11.4.2	D值法	286
11.5	框架内力计算	291
11.6	水平荷载作用下框架侧移近似计算	292
11.6.1	梁、柱弯曲变形引起的侧移	292
11.6.2	柱轴向变形引起侧移	292
11.6.3	框架侧移	294
11.7	荷载效应组合	294
11.7.1	荷载效应组合公式	294
11.7.2	控制截面及最不利内力	294

11.7.3 不利荷载布置及内力塑性调幅	295	13.3 钢材的材料	345
11.8 防连续倒塌设计原则	296	13.3.1 钢材的破坏形式	345
第12章 砌体结构	298	13.3.2 钢材的主要力学性能	345
12.1 概述	298	13.4 钢材种类、牌号及其选用	347
12.1.1 砌体结构的特点	298	13.4.1 钢材的种类	347
12.1.2 砌体结构的应用范围	298	13.4.2 钢材的规格	347
12.2 砌体材料及其力学性能	299	13.4.3 钢材的选用	348
12.2.1 砌体材料	299	13.5 钢结构连接	349
12.2.2 砌体的种类	301	13.5.1 连接种类及特点	349
12.2.3 砌体的力学性能	303	13.5.2 焊缝形式	349
12.2.4 砌体的变形	308	13.5.3 对接焊缝及其连接的计算	350
12.3 砌体结构设计方法及强度指标	308	13.5.4 角焊缝连接构造及其计算	352
12.3.1 极限状态设计方法	308	13.5.5 焊接应力和焊接变形	355
12.3.2 砌体的强度标准值和设计值	310	13.6 螺栓连接的构造和工作性能	356
12.4 无筋砌体构件承载力计算	312	13.6.1 排列和构造	356
12.4.1 受压短柱的承载力分析	312	13.6.2 螺栓连接的计算	356
12.4.2 砌体局部受压计算	316	13.6.3 高强度螺栓连接的工作性能和计算	358
12.5 配筋砖砌体构件承载力及构造措施	319	13.7 受弯构件	359
12.5.1 网状配筋砖砌体受压构件	319	13.7.1 受弯构件的形式和应用	359
12.5.2 组合砖砌体构件	319	13.7.2 梁的强度和刚度	361
12.5.3 砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	322	13.7.3 梁的整体稳定性	363
12.5.4 配筋砌块砌体构件	323	13.7.4 梁的局部稳定	365
12.6 混合结构房屋墙、柱设计	323	13.8 轴心受压构件	366
12.6.1 概述	323	13.8.1 轴心受力构件的类型	366
12.6.2 混合结构房屋的结构布置方案	323	13.8.2 轴心受力的强度和刚度	366
12.6.3 房屋的静力计算方案	325	13.8.3 实腹式轴压的稳定	368
12.6.4 砌体房屋墙、柱设计计算	328	附录	372
12.7 混合结构房屋其它构件及墙体构造措施	332	附录1 钢筋的强度与弹性模量	372
12.7.1 圈梁	332	附录2 混凝土的强度与弹性模量	373
12.7.2 过梁	333	附录3 钢筋混凝土构件正常使用有关的规定	374
12.7.3 墙梁	335	附录4 受压构件的最小相对界限偏心距	374
12.7.4 混合结构房屋的构造措施	336	附录5 钢筋混凝土耐久性、构造等有关规定及物理量	375
第13章 钢结构	343	附录6 梁、板在常用荷载下作用的内力系数	378
13.1 钢结构的特点及应用	343	附录7 民用建筑楼面均布活荷载	388
13.2 钢结构的计算原则	343	附录8 单阶变截面柱的柱顶反力系数	389
13.2.1 钢结构的计算方法概述	343	附录9 钢结构计算参数表	390
13.2.2 以概率论为基础的极限状态设计法	344	参考文献	395

第1章 绪 论

本章提要 本章叙述了工程结构的一般概念、工程结构的分类以及各类结构的特点,讨论了研究的意义,介绍了各类结构的应用及发展前景。本章还介绍了工程结构课程的特点和学习方法。

1.1 工程结构简介

一个成功的工程(设计)必然是以选择一个经济合理的结构方案为基础,就是要选择一个切实可行的结构形式和结构体系;同时在各种可行的结构形式和结构体系的比较中,又要能在特定的物质与技术条件下,具有尽可能好的结构性能、经济效果和建造速度。对于建筑物来说,一般都是针对某一具体建筑相对地突出某一方面或两方面来判别其合理性,例如特别重要的建筑物(如核电站、人民大会堂一类的建筑),结构性能的安全可靠是十分重要和突出的;而对于大量性的居住建筑,则要求具有尽可能好的经济效果和建造速度,当然其它方面也是需要认真对待的。结构方案的选择还必须要有可靠的施工方法来保证,如果没有一个适宜的施工方法加以保证,结构方案的合理性和经济性均无从谈起,方案本身也难以成立。工程的建造者(设计者)如对结构知识有较深刻的了解,对于工程的成功建造至关重要。

1.1.1 基本概念

为便于大家更深入地理解工程结构课程,首先有必要学习相关的专业术语,并了解其相互之间的关系。

(1) 建筑物 (building) 通称建筑。是人工营造的,供人们进行生产、生活或其它活动的房屋或场所。一般指房屋建筑,也包括纪念性建筑、陵墓建筑、园林建筑和建筑小品等。构成建筑物的基本要素有:建筑功能、物质技术条件和建筑形象。

(2) 工程结构 (building and civil engineering structure) 在房屋、桥梁、铁路、公路、水工、港口等工程的建筑物、构筑物和设施中,以建筑材料制成的各种承重构件相互连接成一定形式的组合体的总称即为工程结构。其中房屋工程的结构一般称为建筑结构;其它工程的结构常指实体的承重骨架,是在一定力系作用下维持平衡的一个部分或几个部分的合成体,如桥梁结构、路基结构、贮仓结构、贮液池结构等。

从上述意义上讲,工程结构包括了建筑结构,涵盖钢筋混凝土结构、砌体结构、道路工程、桥梁结构和特种结构等课程。

(3) 构筑物 (structure) 又称结构物。是为某种工程目的而建造的、人们一般不直接在其内部进行生产和生活活动的某项工程实体和附属建筑设施。前者如纪念性结构物、道路、桥梁、堤坝、隧道、上下水道、矿井等,后者如烟囷、水塔、贮液池、储气罐、贮仓等。构筑物除满足使用功能和物质技术条件外,还必须注意建筑形象,以与周围环境相协调。

(4) 建筑结构 (building structure) 房屋建筑和土木工程的建筑物的实体。从狭义上说,指各种建筑物实体的承重骨架,也就是若干构件或部件按确定的方法组成互相关联的能承受作用的平面或空间体系。

(5) 结构构件 (member) 简称构件,即组成结构的单元(杆件)。按受力状态的不同,有受拉构件、受压构件、受弯构件、受扭构件等。

(6) 作用 (action) 施加在结构上的集中力或分布力 (直接作用, 也称为荷载) 和引起结构外加变形或约束变形的原因 (间接作用)。

(7) 作用效应 (effect of an action) 由作用引起的结构或结构构件的反应, 例如内力、变形和裂缝等。

(8) 结构承载力 (bearing capacity of structure) 简称承载力。结构、构件或截面承受作用效应的能力。通常以在一定的受力状态和工作状况下结构或构件所能承受的最大内力, 或达到不适于继续承受作用的变形时相应的内力来表示。按受力状态有受拉承载力、受压承载力、受弯承载力、受剪承载力、受扭承载力等; 按工作状态有静态承载力、动态承载力等。

(9) 结构刚度 (stiffness of structure) 简称刚度。指结构或构件抵抗变形的能力。通常以施加于结构或构件上的作用所引起的内力与其相应的构件变形之比来表示。

(10) 结构变形 (survey of structure) 结构或构件位移、沉降、倾斜、挠度、转动的总称。

(11) 结构耐久性 (aging resistance of structure) 结构和构件在使用过程中, 抵抗其自身和环境的长期破坏作用, 保持其原有性能而不破坏、不变质和大气稳定性的能力。

1.1.2 研究工程结构的意义

工程结构即工程实体的承重骨架, 是工程实体赖以存在的物质基础, 它的选择、设计和施工质量的好坏, 对于工程的可靠性和寿命具有决定性作用, 对于生产和使用影响重大。研究工程结构的主要意义在于以下几个方面。

(1) 结构方案决定着建筑设计的平面、立面和剖面。工程设计中, 尽管建筑设计先于结构设计, 但结构方案的选择决定着建筑设计的内容。

(2) 结构的可能性是保证工程使用要求、材料的选用和施工难易的前提。因为不同类型的工程, 它们的结构具有不同的受力特点和构造特点, 大至结构体系的构成及选型, 小至构件尺寸的大小。建筑设计和工程管理工作都应具有比较清晰的概念。

(3) 经济合理的结构方案是成功的设计的必然基础。也就是说要选择一个切实可行的结构形式和结构体系, 同时在各种可行的结构形式和结构体系的比较中, 又要能在特定的物质与技术条件下, 具有尽可能好的结构性能、经济效果和建造速度。

(4) 结构方案的选择是工程设计审查的主要内容。工程管理者如对结构知识有较深刻的了解, 建筑与结构之间的关系处理得好, 就能相得益彰, 做到适用经济, 还可以达到美观的效果。相反, 两者关系处理不好, 不是结构妨碍建筑, 就是建筑给结构带来困难。两者互相制约。

一个较复杂的土建工程, 往往需要各专业工种互相配合完成。选择一个合理的结构形式, 就意味着经济可行。最后值得一提的是, 工程结构是工程管理的基础和对象。

1.2 工程结构的分类与应用概况

工程结构的分类与应用问题, 主要从结构所用材料的不同和结构受力构造的不同两个方面来讨论。

根据所用材料的不同, 工程结构有金属结构、木结构、砌体结构、混凝土结构、混合结构和组合结构等。

1.2.1 按所用材料的不同分类

(1) 金属结构 (metal structure) 由普通低碳钢、普通低合金钢或铝合金的板材和型材采用焊缝、螺栓、铆钉或铰接连接组成的结构。分普通钢结构 (简称钢结构)、冷弯薄壁型钢结构和铝合金结构等三大类, 以普通钢结构用途最广。目前, 金属材料已逐步成为主要的工程结构材料, 它的特点如下。

① 金属材料强度高 金属材料做成的构件截面小、重量轻、运输和施工方便。

② 金属材料均质及同向性 金属材料是接近各向同性的材料,质地均匀,符合一般工程力学的假定,结构计算简捷,结构可靠性高。

③ 金属材料一般具有可焊性 由于金属材料的可焊、可黏结、可切割性,使得金属结构制造工艺比较简单,提高了工程结构工业化生产的程度和速度。

④ 金属材料易锈蚀 由于金属材料本身的化学性质,决定了金属结构在湿度大、有侵蚀性介质的环境中,特别容易锈蚀,使结构受到严重的损害,缩短了使用期限。为了避免锈蚀造成的结构承载力降低或破坏,要花费较高的费用经常性地维修。

⑤ 金属材料耐火能力差 金属材料尤其是钢材的耐火能力远较钢筋混凝土和砖石的差。温度约在 200°C 以内,钢材的性能变化很小,因而钢结构的长期耐高温性能比其它结构好。但当温度接近 500°C 时,钢材的弹性模量、抗拉强度和屈服点同时迅速下降,使钢结构丧失抵抗外力作用的能力。因此在某些有特殊防火要求的建筑中采用金属(钢)结构时,必须用耐火材料予以围护。

⑥ 金属材料成本较高 在一定时期或特定条件下,金属工程材料相对于其它工程材料单位工程量的成本要高一些。

钢材的这些特性决定了钢结构在建筑中的应用范围。目前除公共建筑的超高层楼房,重型车间的承重骨架、板结构、塔桅结构、桥梁结构、贮仓、建筑机械等的承重骨架多用钢结构外,在工业与民用建筑的屋盖结构中,钢结构也占有一定的地位。特别是在飞机库、车站、大会堂、剧场、体育场馆和展览馆等大跨建筑物的屋盖结构中,减轻承重结构的自重往往成为结构经济与否的决定因素,因而在这一类建筑物的屋盖结构中,常采用钢结构。

(2) 木结构 (timber structure) 利用种子植物类的乔木(通称树木)作为承重构件材料的结构。在山区、林区、古建筑房屋或桥梁中虽有应用,但因产量受其生长期太长的影响和环境保护要求日趋少用,所以不再赘述。

(3) 砌体结构 (masonry structure) 以砖砌体、砌块砌体、石砌体或土坯砌体为主建造的结构。在工程结构中的应用历史悠久,砖石砌体和砌块砌体具有许多优点,简述如下。

① 可就地取材 砌体结构材料来源广泛,易于就地取材。石材、黏土、砂等是天然材料,分布广,易于就地取材,价格也较水泥、钢材、木材便宜。此外,工业废料如煤矸石、粉煤灰、页岩等都是制作块材的原料,用来生产砖或砌块不仅可以降低造价,也有利于保护环境。

② 耐火能力和耐久性好 由于材料本身和加工工艺的原因,砌体结构有很好的耐火能力和较好的耐久性,使用年限长。

③ 保温性好 砌体特别是砖砌体的保温、隔热性能好,节能效果明显。

④ 施工工艺简单,成本相对低廉 采用砌体结构较钢筋混凝土结构可以节约水泥和钢材,并且砌体砌筑时不需要模板及特殊的技术设备,可以节省木材。新砌筑的砌体上即可承受一定荷载,因而可以连续施工。

正是基于上述优势,砌体结构尤其是砖石结构才可以从两千多年前延续至今。当然,砌体结构也有下述缺陷。

① 砌体结构自重大 一般砌体的强度较低,建筑物(构筑物)中墙、柱的截面尺寸较大,材料用量较多,因而结构的自重大,构件及结构笨重。

② 砌体结构强度低 砌筑砂浆和砖、石、砌块之间的黏结力较弱,因此无筋砌体的抗拉、抗弯及抗剪强度低,抗震及抗裂性能较差。

③ 现场作业量大 砌体结构砌筑工作繁重。砌体基本采用手工方式砌筑,劳动量大,生产效率较低。

④ 砖砌体材料的生产侵占农田,不利于环保。

砖砌体结构的黏土砖用量很大,往往占用农田,影响农业生产。据统计,全国每年生产黏土

砖上千亿块, 毁坏农田近 10 万亩, 使我国人口多、耕地少的矛盾更显突出, 故砖砌体结构已不能适应可持续发展的要求。

由于砌体结构具有很多明显的优点, 因此应用范围广泛。但由于砌体结构存在的缺点, 也限制了它在某些场合下的应用。随着墙体材料改革的深入发展, 大型板材、轻质高强砌块、工业固废料砖、混凝土空心墙板、配筋砌体等不断涌现, 大大拓宽了砌体结构的应用范围。

砌体主要用于承受压力的构件, 房屋的基础、内外墙、柱等都可用砌体结构建造。无筋砌体房屋一般可建 5~7 层, 配筋砌块剪力墙结构房屋可建 8~18 层。此外, 过梁、屋盖、地沟等构件也可用砌体结构建造。在某些石材丰富的地区, 用毛石或料石建造房屋, 目前已建到 5 层。

在工业与民用建筑中, 砌体往往被用来砌筑围墙和填充墙, 构筑物中的烟囱、料斗、管道支架、对渗水性要求不高的水池等特殊构件也可用砌体建造。农村建筑如仓库、跨度不大的加工厂房也可用砌体结构建造。

在交通运输方面, 砌体结构可用于桥梁、隧道工程; 各种地下渠道、涵洞、挡土墙等也常用石材砌筑; 在水利建设方面, 可用石材砌筑坝、堰和渡槽等。

(4) 混凝土结构 (concrete structure) 以混凝土为主制作的结构, 它是素混凝土结构、钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构的总称。在工程结构中是最主要的结构形式。混凝土结构具有许多优点, 分述如下。

① 混凝土结构耐久性好 除通常意义外, 混凝土的耐久性还包括抗渗, 抗冻, 抗侵蚀、碳化、碱骨料反应及混凝土中的钢筋锈蚀等。密实的、保护层厚度适当的混凝土, 耐久性良好。若处于侵蚀性的环境时, 只要选用适宜的水泥品种及外加剂, 增大保护层厚度, 也能满足工程耐久性的要求。因此混凝土结构的维修较少, 不像钢结构和木结构那样需要经常的保养。

② 混凝土结构耐火能力高 比起容易燃烧的木结构和导热快且抗高温性能较差的钢结构来讲, 混凝土结构的耐火性相当高。因为混凝土是不良热导体, 遭受火灾时, 混凝土起隔热作用, 使钢筋不致达到或不致很快达到降低其强度的温度, 经验表明, 虽然经受了较长时间的燃烧, 混凝土常常只损伤表面。对承受高温作用的结构, 还可应用耐热混凝土。

③ 可就地取材 在混凝土结构的组成材料中, 用量最多的石子和砂等原料可以就地取材, 有条件的地方还可以将工业废料制成人造骨料应用, 这对材料的供应、运输和工程结构的造价都提供了有利的条件。

④ 用材合理 钢筋混凝土结构合理地发挥了钢筋和混凝土两种材料的性能特长, 在一般情况下可以代替钢结构, 从而能节约钢材、降低造价。与砌体结构和木结构相比, 性价比也较大。

⑤ 可模性好 可模性是指混凝土凝结硬化前可以浇制成各种形状和尺寸的构件或结构物。因为新拌和未凝固的混凝土具有良好的塑性, 可以按模板图浇筑成建筑师所设计的各种形状和尺寸的构件, 如曲线型的梁和拱、空间薄壳等形状复杂的结构。

⑥ 结构刚度大、整体性好 整体浇筑或装配整体式的钢筋混凝土结构刚度较大, 抗变形能力强, 且整体性好, 对抵抗地震、风载和爆炸冲击作用有良好性能。

⑦ 具有防辐射性 混凝土结构还可以用于防辐射的工作环境, 如用于建造原子反应堆安全壳、防原子武器的工事等。

当然, 混凝土结构同样也存在以下缺点。

① 普通钢筋混凝土结构自重较大 这使得素混凝土和钢筋混凝土不利于建造大跨结构、高层建筑, 而且构件运输和吊装也比较困难等。

② 抗裂性差 由于混凝土材料的抗拉强度较低, 其抗裂性差, 受拉和受弯构件在正常使用阶段往往带裂缝工作。过早开裂虽不影响承载力, 但对要求防渗漏的结构, 如容器、管道等, 使用受到一定限制。

③ 工序多、现场湿作业多 现场浇筑的混凝土结构施工工序多,现场湿作业多,需要模板、费工费料,养护期长、工期长,并受施工环境和气候条件限制等。

④ 不可焊性 这使得混凝土结构补强修复较困难。

⑤ 保温、隔声性能差 同砌体结构相比,混凝土结构的保温、隔声性能差得多。

这些缺点,在一定条件下限制了混凝土结构的应用范围。不过随着人们对于混凝土结构这门学科研究认识的不断提高,近年来,上述一些缺点随着技术方面的革新以及材料、工艺和施工方面的改进,已经得到克服或改善。

混凝土结构的应用范围非常广泛,几乎任何工程都可用它。除了一般工业与民用建筑构件广泛采用钢筋混凝土结构外,其它如特种结构的高烟囱、贮液池、水塔、贮仓、桥梁、道路路面等;公共建筑的高层楼房、大跨度会堂、剧院、展览馆等,也都可用钢筋混凝土结构建造。因此,混凝土结构成为本课程的主要研究对象。

(5) 混合结构 (mixed components structure) 有多种结构(砌体结构、混凝土结构、木结构、轻型钢结构)的构件所组成的结构,兼有各种结构的优缺点。

在混合结构中,常以砖、石、混凝土、或灰土等材料做基础,用各类砌体做主要承重的墙、柱,用钢筋混凝土做楼板或屋盖,或用木楼板、木屋盖、或用轻型钢结构做屋盖。混合结构中,如以砖砌体作为承重墙、柱,有时也称为砖混结构。基于经济上的原因,混合结构多用在中小型的工业和民用建筑中。

(6) 组合结构 (composite structure) 同一截面或各杆件由两种或两种以上材料制作,依靠交互作用或材料的黏结作用协同工作的结构。因为参与组合的材料能充分发挥各自的优势并互相弥补对方之不足,能在结构性能、材料消耗、施工工艺或使用效果等方面显示出较好的技术经济效益。

有用不同种类混凝土叠合而成的组合梁及组合板(又称叠合梁及叠合板)、钢-混凝土组合梁、钢-木组合梁、钢-混凝土组合柱、钢管混凝土柱、砖砌体-混凝土组合柱、钢-混凝土组合桁架及钢木桁架,以及组合的空间结构等都是组合结构。

钢筋混凝土结构长期来已形成一个独立的结构体系,不包括在组合结构中。近年来,组合结构应用越来越多。

1.2.2 按受力和构造特点的不同分类

按照受力和构造特点的不同分类,工程结构可分为以下几种。

(1) 墙板结构 (wall-slab structure) 由竖向构件为墙体和水平构件为楼板和屋面板所组成的房屋建筑结构。

(2) 框架结构 (frame structure) 由梁和柱以刚接或铰接相连接成承重体系的房屋建筑结构。

(3) 延性框架 (ductile frame) 梁、柱及其节点具有一定的塑性变形能力,并能满足侧向变形要求的框架。

(4) 板柱结构 (slab-column structure) 由水平构件为板和竖向构件为柱所组成的房屋建筑结构。如升板结构、无梁楼盖结构、整体预应力板柱结构等。

(5) 筒体结构 (tube structure) 由竖向悬臂的筒体组成能承受竖向、水平作用的高层建筑结构。筒体分剪力墙围成的薄壁筒和由密柱框架围成的框筒等。筒体结构又可以细分为以下几种。

① 框架-筒体结构 (frame-tube structure) 由中央薄壁筒与外围的一般框架组成的高层建筑结构。

② 单框筒结构 (framed tube structure) 由外围密柱框筒与内部一般框架组成的高层建筑结构。

- ③ 筒中筒结构 (tube in tube structure) 由中央薄壁筒与外围框筒组成的高层建筑结构。
- ④ 成束筒结构 (bundled tube structure) 由若干并列筒体组成的高层建筑结构。
- (6) 悬挂结构 (suspended structure) 将楼(屋)盖荷载通过吊杆传递到竖向承重体系的建筑结构。悬挂结构又可以细分为以下几种。
- ① 核心筒悬挂结构 (core tube supported suspended structure) 由中央薄壁筒作为竖向承重体系的悬挂结构。
- ② 多筒悬挂结构 (multi-tube supported suspended structure) 由多个薄壁筒组成竖向承重体系的悬挂结构。
- (7) 排架结构 (framed bent structure) 屋盖承重构件在柱顶与柱铰接,而柱与基础为刚接的一种单层框架,是一般单层工业厂房常用的结构形式。平排架结构随跨数不同可分为单跨、双跨或多跨排架;随各跨高度的变化可分为等高排架和不等高排架;按所用材料的不同可分为钢筋混凝土排架、钢排架和钢屋架与钢筋混凝土柱组成的排架。也可以做砌体柱排架。
- (8) 框架-剪力墙结构 (frame-shear wall structure) 又称框架-承重墙结构。简称框墙结构或框剪结构。在高层建筑或工业厂房中,承重墙和框架共同承受竖向和水平作用的一种组合型结构。这种结构既具有框架结构在使用上的灵活性,又具有承重墙结构较大的刚度和较好的抗震能力。承重(剪力)墙和框架各自承受一部分水平力,它们的协同工作,有利于减小形和顶点位移,提高整体刚度。
- (9) 剪力墙结构 (shear wall structure) 在高层和多层建筑中,由一系列纵向、横向的剪力墙(承重墙)和楼盖组成,且竖向和水平作用均由剪力墙承受的结构。在侧向荷载作用下,可以认为剪力墙自身平面刚度较大,平面外刚度很小。
- (10) 壳体结构 (shell structure) 由各种形状的壳与边缘构件(梁、拱、桁架)组成的空间结构。
- (11) 悬索结构 (cable-suspended structure) 由一系列受拉的曲线形索及其边缘构件所组成的承重结构。这些索按一定规律组成各种不同形式的体系,并悬挂在相应的支承结构上。索一般采用由高强度钢丝组成的钢绞线、钢丝绳或钢丝束,也可采用圆钢筋或带状的薄钢板等。索通过锚具固定在支承结构上。
- 由于通过索的拉伸来抵抗外荷载作用,可以充分利用钢材的强度。当采用高强度材料时,更可大大减轻结构自重,因而这种结构能较经济地跨越很大的空间,但其支承结构往往需耗费较多材料。悬索结构有单层悬索结构和双层悬索结构,且形式多样,能适应各种建筑功能和表达形式的需要。施工较方便,不需很多脚手架,也不需大型起重设备。这些特点使悬索结构在大跨度建筑中得到日益广泛的应用。
- (12) 斜拉结构 (cable-stayed structure) 由斜拉钢索(杆)和梁共同工作的结构,它利用了结构所覆盖或跨越之上的上部空间,用竖塔和拉索(杆)与梁构成结构体系。因为在共同工作中充分发挥了高强钢索(杆)的轴心受拉优势,梁的跨度小、负担轻、截面小,是一种有效的大跨度结构。
- (13) 拱结构 (arch structure) 由支座支承的一种曲线或折线形构件。它主要承受各种作用产生的轴向压力、有时也承受弯矩、剪力或扭矩。有带拉杆和不带拉杆之分。用砖石砌体、钢筋混凝土、木材、金属材料建造的拱结构在桥梁结构及房屋结构中都有广泛应用。
- 拱结构跨度可以很大,我国已建成的四川万县长江大桥是跨长为420m的拱结构。
- (14) 烟囱 (chimney) 由筒体等组成承重体系,将烟气排入高空的高耸构筑物。
- (15) 水塔 (water tower) 由水柜和支筒或支架等组成承重体系,用于储水和配水的高耸构筑物。
- (16) 贮仓 (silos) 由竖壁和斗体等组成承重体系,用于贮存松散的原材料、燃料或粮食的构筑物。

1.2.3 其它分类

(1) 按照几何体系分类

① 静定结构 (statically determinate structure) 结构构件为无赘余约束的几何不变体系, 用静力平衡原理即可求解其作用效应。

② 超静定结构 (statically indeterminate structure) 结构构件为有赘余约束的几何不变体系, 用静力平衡原理和变形协调原理求解其作用效应。

(2) 按照空间工作情况分类

① 平面结构 (plane structure) 组成的结构及其所受的外力, 在计算中可视作为位于同一平面内的计算结构体系。

② 空间结构 (space structure) 组成的结构可以承受不位于同一平面内的外力, 且在计算时进行空间受力分析的计算结构体系。

③ 杆系结构 (structural system composed of bar) 以直线形或曲线形杆件作为基本计算单元的结构体系的总称。如连续梁、桁架、框架、网架、拱、曲梁等。

1.3 工程结构课程简介和学习要点

1.3.1 课程简介

一般来讲, 工程管理专业的工程结构课程的内容可分为两个部分。

(1) 结构设计原理和建筑结构设计 这部分内容讨论材料的性能、计算原理、构件 (如受弯、受剪、受压、受拉和受扭等构件以及预应力混凝土构件) 的计算方法、构造等, 这一部分既有工程结构的理论知识的学习, 又有专业知识的应用。

(2) 工程结构设计 这部分讲述混凝土楼 (层) 盖单层工业房屋、多层房屋和砌体结构房屋、道路工程、桥梁工程和各种构筑物结构 (又称特种结构) 的结构布置, 各种结构部件的型式、设计计算和构造要求、各部件的联结和整体工作, 介绍计算原理、设计原则和构造要求等。由于篇幅的原因, 本书不再包含道路工程、桥梁工程和各种构筑物结构的内容, 学习时可另选专门教材。

工程结构课程和许多课程关系密切, 互相呼应配合, 有的需要先行掌握, 有的是后续课程。

(1) 先行课程

① 土木工程材料 要能正确理解混凝土结构的性能, 就必须先熟悉钢筋和混凝土材料的性能, 因此要在土木工程材料课程中有关混凝土和钢材的基本知识的基础上, 进一步掌握钢筋和混凝土的物理力学性能。

② 材料力学 材料力学的研究对象主要是匀质、弹性材料的构件, 而工程结构主要是非匀质、非弹性的材料, 情况不同。材料力学解决问题的观点和方法, 可供解决工程结构问题借鉴, 只不过考虑问题时要顾及工程材料具体性能的特点。

③ 结构力学 该课程中对各种结构的内力分析和变形计算, 都是工程结构计算中要用到的, 必须掌握。另外, 结构计算的基本原理, 又是工程结构中所共用的。

④ 房屋建筑学 有关建筑方案、房屋构造方面的知识等在工程结构中显得十分重要。

(2) 后续课程

① 工程结构抗震 我国是一个多地震的国家, 工程管理类的专业一般都开设工程结构抗震课程, 而工程结构课程中的内容是抗震课程的先行知识。

② 土力学与地基基础 土木工程或是采用天然地基、或是采用人工地基, 都要进行适当的选择, 并确定地基的反力, 以及考虑基础的沉降、基础与上部结构的相互作用, 这些都涉及工程