

高等学校规划教材

建筑结构

王琼梅 王刚 郭泽英 主编

JIANZHU
JIEGOU

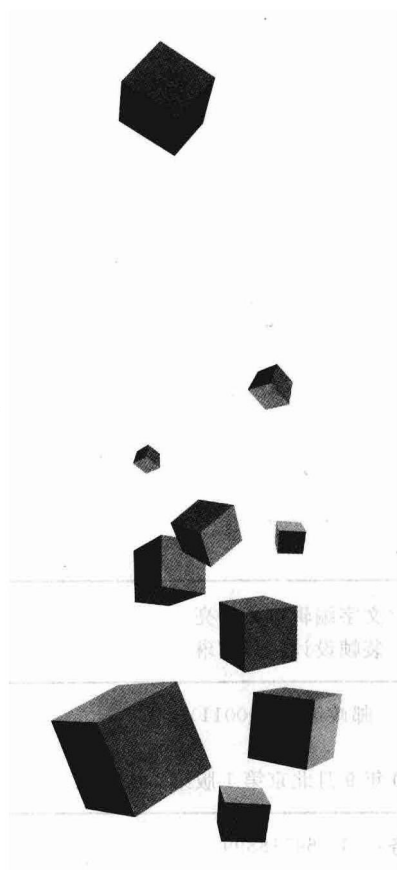


化学工业出版社

高等学校规划教材

建筑结构

王琼梅 王 刚 郭泽英 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以现行的国家标准及规范为依据,以钢筋混凝土结构为基本内容,将砌体结构、钢结构等内容有机地结合起来。书中还介绍了其他类型结构和建筑抗震设计等相关知识。全书共 11 章,包括概论、建筑结构设计基本原理、混凝土结构、砌体结构和木结构、钢结构、钢筋混凝土单层工业厂房、多层与高层建筑结构、其他类型结构简介、抗震设计基本概念、多层砌体结构抗震设计、钢筋混凝土多层框架结构抗震设计。通过学习本书,读者可以对建筑结构的设计原理和设计方法有比较全面的理解,并能进行一般的常用结构和构件的设计。

本书适合于高等院校需要对建筑结构知识有较全面了解的专业的本科生,如工程管理专业、建筑学专业及相关专业,也适合用作成人高等教育和职业高等教育的相关教材和土木与建筑工程相关专业人员的学习和培训教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构/王琼梅,王刚,郭泽英主编. —北京:化学工业出版社,2010.8
高等学校规划教材
ISBN 978-7-122-09099-7

I. 建… II. ①王…②王…③郭… III. 建筑结构-高等学校-教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 131791 号

责任编辑:满悦芝
责任校对:蒋宇

文字编辑:吴开亮
装帧设计:尹琳琳

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)
印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 492 千字 2010 年 9 月北京第 1 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:39.80 元

版权所有 违者必究

前 言

建筑结构课程是土木工程类非结构专业的主要专业基础课，是工程管理、建筑学、建筑给水与排水工程、采暖通风工程等专业的必修课程。

建筑结构是一门知识涉及面较广的课程，本教材主要阐述钢筋混凝土结构及构件的基本理论设计方法、混合结构设计原理、木结构设计基本知识、钢结构的设计、高层建筑结构的设计概念及抗震的概念等内容等，使学生通过学习，掌握结构的概念设计方法，为专业课学习打好基础。

本书共分 11 章，主要内容有：概论、建筑结构设计基本原理、混凝土结构、砌体结构和木结构、钢结构、钢筋混凝土单层工业厂房、多层与高层建筑结构、其他类型结构简介、抗震设计基本概念、多层砌体结构抗震设计、多层框架结构抗震设计等。

本书由成都理工大学环境与土木工程学院和山西师范大学工程学院的部分教师编写，由王琼梅任主编，王刚、郭泽英任副主编，全书由王琼梅统稿。参加本书编写的人员及分工如下：王琼梅（第 1 章，第 2 章，第 3 章 3.1 节、3.2 节）；王刚（第 3 章其他节，第 6 章）；郭泽英（第 4 章，第 8 章）；高涌涛（第 5 章）；胡潇（第 7 章，第 9 章，第 10 章，第 11 章）。

编者在编写过程中参考了《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002）、钢结构设计规范（GB 50017—2003）、砌体结构设计规范（GB 50003—2001）、木结构设计规范（GB 50005—2003）、建筑抗震设计规范（GB 50011—2001）等大量文献，在此一并表示衷心感谢！并对为本书出版付出辛勤劳动的编辑同志表示衷心感谢！

限于编者水平，书中难免存在疏漏之处，敬请读者指正。

编者

2010 年 7 月

目 录

第1章 概论	1	3.6 预应力混凝土基本知识	76
1.1 建筑结构的分类	1	3.6.1 预应力混凝土的基本概念	76
1.1.1 建筑结构的概念	1	3.6.2 预应力混凝土的分类	76
1.1.2 建筑结构的类型	1	3.6.3 预加应力的方法	77
1.2 本课程的任务	4	3.6.4 预应力混凝土的材料	78
思考题	5	3.6.5 张拉控制应力	79
第2章 建筑结构设计基本原理	6	3.6.6 预应力损失	79
2.1 结构上的荷载	6	3.7 钢筋混凝土楼盖	81
2.1.1 荷载的分类	6	3.7.1 现浇单向板肋梁楼盖的设计与 计算	81
2.1.2 荷载代表值	6	3.7.2 现浇双向板肋梁楼盖	88
2.2 概率极限状态设计法	7	3.7.3 装配式楼盖	89
2.2.1 结构的功能	7	思考题	99
2.2.2 结构的极限状态	7	习题	100
2.2.3 概率极限状态设计法	8	第4章 砌体结构和木结构	102
思考题	12	4.1 砌体结构的材料和选择	102
习题	12	4.1.1 砌体结构的材料	102
第3章 混凝土结构	13	4.1.2 块材及砂浆的选择	105
3.1 钢筋和混凝土的力学性能	13	4.1.3 砌体的种类	106
3.1.1 钢筋	13	4.2 砌体的力学性能	107
3.1.2 混凝土	16	4.2.1 砌体的受压性能	107
3.1.3 钢筋与混凝土之间的黏结与 锚固	21	4.2.2 砌体的受拉、受弯、受剪性能	109
3.2 受弯构件	23	4.2.3 砌体强度标准值与设计值	111
3.2.1 概述	23	4.2.4 砌体的其他性能	116
3.2.2 受弯构件的构造要求	23	4.3 砌体结构房屋的承重方案	116
3.2.3 正截面承载力计算	29	4.3.1 横墙承重体系	117
3.2.4 斜截面承载力计算	45	4.3.2 纵墙承重体系	117
3.3 受压和受拉构件	53	4.3.3 纵横墙承重体系	118
3.3.1 轴心受压构件	53	4.3.4 内框架承重体系	118
3.3.2 偏心受压构件	55	4.4 砌体结构构件的承载力计算	119
3.3.3 受压构件的一般构造要求	64	4.4.1 受压构件的承载力分析	119
3.3.4 受拉构件	65	4.4.2 局部受压	125
3.4 受扭构件	67	4.4.3 轴心受拉、受弯和受剪构件	129
3.4.1 矩形截面纯扭构件承载力计算	68	4.4.4 配筋砌体构件	131
3.4.2 矩形截面弯剪扭构件承载力 计算	69	4.4.5 配筋砌块砌体构件	133
3.4.3 受扭构件的构造	71	4.5 刚性方案墙、柱的计算	133
3.5 变形和裂缝宽度的计算	73	4.5.1 房屋静力计算方案的分类	133
3.5.1 裂缝宽度验算	73	4.5.2 刚性和刚弹性方案房屋的横墙	134
3.5.2 变形验算	74	4.5.3 墙、柱的高厚比验算	134
		4.5.4 刚性方案结构的计算	137

4.6 过梁、挑梁及墙梁	144	5.5.3 角焊缝的构造和计算	194
4.6.1 过梁	144	5.5.4 焊接应力和焊接变形	199
4.6.2 挑梁	146	5.5.5 普通螺栓连接的构造和计算	205
4.6.3 墙梁	149	思考题	219
4.7 刚性基础	152	习题	219
4.7.1 刚性基础的类型和材料	152	第6章 钢筋混凝土单层工业厂房	222
4.7.2 刚性基础台阶的允许宽高比	153	6.1 单层工业厂房的结构形式及组成	222
4.7.3 基础埋置深度	154	6.1.1 单层工业厂房的结构形式	222
4.8 木结构	154	6.1.2 单层工业厂房的组成	223
4.8.1 材料	154	6.2 单层工业厂房的结构布置	223
4.8.2 连接和构造	156	6.2.1 柱网布置	223
4.8.3 普通木结构	159	6.2.2 变形缝	224
4.8.4 轻型木结构	160	6.2.3 支撑布置	225
4.8.5 木结构防火、防护	160	6.2.4 抗风柱的布置	227
4.9 构造措施	161	6.2.5 圈梁、连系梁、过梁和基础梁的 布置	227
4.9.1 墙、柱的构造要求	161	6.3 单层工业厂房主要构件的选型	228
4.9.2 圈梁	163	6.3.1 屋盖结构构件	228
4.9.3 墙体开裂的原因及主要防治 措施	165	6.3.2 吊车梁	228
思考题	167	6.3.3 排架柱	228
习题	167	6.3.4 基础	228
第5章 钢结构	170	思考题	229
5.1 钢结构的材料	170	第7章 多层与高层建筑结构	230
5.1.1 钢材的力学性能	170	7.1 概念设计	230
5.1.2 影响钢材力学性能的因素	171	7.1.1 多层与高层建筑结构的定义	230
5.1.3 钢结构的疲劳强度	174	7.1.2 多高层建筑结构的结构布置 原则	231
5.1.4 钢结构用钢材的分类及钢材的 选用	174	7.1.3 多高层建筑结构抗震概念设计 的一般规定	233
5.2 轴心受力构件	177	7.2 框架结构	233
5.2.1 轴心受拉构件	177	7.2.1 适用范围	233
5.2.2 轴心受压构件	177	7.2.2 框架结构的受力变形特性	234
5.3 受弯构件	182	7.2.3 框架结构布置	234
5.3.1 受弯构件的计算内容	182	7.2.4 框架结构分类	235
5.3.2 受弯构件的强度	183	7.2.5 框架结构内力和侧移计算 原理	236
5.3.3 受弯构件的整体稳定	184	7.3 剪力墙结构	238
5.3.4 受弯构件的局部稳定和加劲肋 设置	186	7.3.1 适用范围	238
5.4 拉弯和压弯构件	188	7.3.2 剪力墙的分类	239
5.4.1 拉弯和压弯构件的破坏特点	188	7.3.3 剪力墙结构布置	239
5.4.2 拉弯和压弯构件的截面强度和 刚度	188	7.4 多层与高层建筑基础	240
5.4.3 实腹式压弯构件的整体稳定	189	7.4.1 概述	240
5.4.4 实腹式压弯构件的局部稳定	189	7.4.2 高层建筑基础的常用形式	240
5.5 钢结构的连接	192	7.4.3 多层与高层建筑的基础设计的 一般原则	243
5.5.1 钢结构焊接连接	192	思考题	243
5.5.2 对接焊缝的构造和计算	193		

第 8 章 其他类型结构简介	244	第 9 章 抗震设计基本概念	261
8.1 拱结构	244	9.1 地震的基础知识	261
8.1.1 拱式结构的形式	244	9.2 建筑抗震设防目标与设计方法	262
8.1.2 拱式结构的选型	245	9.2.1 建筑抗震设计的基本目的与抗震 设防目标	262
8.2 单层刚架结构	246	9.2.2 抗震设防烈度	262
8.3 桁架结构	247	9.2.3 建筑抗震设防分类和设防标准	262
8.3.1 桁架结构的特点	247	9.2.4 设计方法	263
8.3.2 桁架结构的形式和适用范围	248	9.3 地震作用的计算	263
8.4 薄壁空间结构	250	9.3.1 概述	263
8.4.1 概述	250	9.3.2 设计反应谱	264
8.4.2 圆顶	251	9.3.3 底部剪力法	265
8.4.3 筒壳	251	思考题	265
8.4.4 折板	252	第 10 章 多层砌体结构抗震设计	266
8.4.5 幕结构	253	10.1 结构的布置	266
8.5 网架结构	253	10.2 构造措施	267
8.5.1 概述	253	思考题	270
8.5.2 网架结构的支承形式	254	第 11 章 多层框架结构抗震设计	271
8.5.3 网架结构的构造	255	11.1 结构的抗震等级	271
8.6 网壳结构	255	11.2 设计准则	271
8.7 悬索结构	256	11.3 震害分析	272
8.8 薄膜结构	257	11.3.1 框架的震害	273
8.8.1 薄膜结构的特点	257	11.3.2 填充墙的震害	273
8.8.2 薄膜结构的材料	257	11.3.3 地基或其他原因造成的震害	273
8.8.3 薄膜结构形式	258	11.4 抗震措施	273
8.9 大跨度空间结构	258	思考题	276
8.9.1 混合空间结构	258	附录	277
8.9.2 斜拉混合结构	259	参考文献	293
8.9.3 空间大跨度开闭结构	259		
思考题	260		

第 1 章 概 论

本章重点

掌握建筑结构的概念及分类。

1.1 建筑结构的分类

1.1.1 建筑结构的概念

在建筑中,由若干承重构件(如柱、梁、板等)连接而成,能够承受各种“作用”的体系,称为建筑结构。作用可分为直接作用和间接作用两类。直接作用是指作用在结构上的各种荷载,如构件自重、楼面和屋面活荷载、风荷载等,它们能直接使结构产生内力和变形。间接作用则是指由于地基变形、混凝土收缩、温度变化和地震等在结构中引起外加变形和约束变形,从而产生内力。建筑结构在建筑中起骨架作用,是建筑的重要组成部分。

1.1.2 建筑结构的类型

建筑结构可按所用材料和承重结构的类型进行分类。

1.1.2.1 按所用材料分类

按所用材料来分,建筑结构可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构。

(1) 混凝土结构

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。

素混凝土结构指在混凝土中不配置钢筋或不配置受力钢筋而形成的结构。素混凝土结构的抗压强度较高,但抗拉强度很低,因而素混凝土只适用于受压构件。素混凝土结构的破坏比较突然,在工程中极少采用。

钢筋混凝土结构指在混凝土中配置受力的钢筋制成的结构。与素混凝土构件相比,由于钢筋的存在,钢筋混凝土构件的力学性能大为改善。钢筋混凝土结构应用范围十分广泛,除大量应用于工业与民用建筑外,一些特种结构,如烟囱、水塔、挡土墙等,也多采用钢筋混凝土建造。

预应力混凝土结构指在混凝土中配置预应力筋,再通过张拉或其他方法建立预加应力制成的结构。一般在构件使用前,预先对其使用时的受拉区混凝土施加一定的压应力。与钢筋混凝土构件相比,它的抗裂性能大大提高,构件在荷载作用下裂缝宽度很小甚至不开裂,构件的刚度较大。

钢筋和混凝土这两种性质不同的材料之所以能有效地结合在一起共同工作,主要是由于混凝土硬化后钢筋与混凝土之间产生了良好的黏结力,使两者可靠地结合在一起,从而保证在荷载的作用下,钢筋与相邻混凝土能够共同变形;其次,钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数的数值比较接近(钢筋的温度线膨胀系数为 1.2×10^{-5} ,混凝土的为 $1 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$),所以当温度变化时,不会产生较大的温度应力而破坏两者之间的黏结,从而保持结构的整体性;另外,钢筋混凝土结构中,混凝土总是包裹在钢筋的周围,起着保护钢筋、使钢筋免遭锈蚀的作用,这对两种材料的共同工作无疑也是一项保证。

钢筋混凝土结构除了能合理利用钢筋和混凝土两种材料的性能外,还具有以下

优点。

① 强度高。钢筋混凝土的强度很高，适用于做各类承重结构，近代许多高层建筑都是采用钢筋混凝土建造的。

② 耐久性好。混凝土的强度随时间增长而增长，同时，钢筋被混凝土所包裹而不易锈蚀。因此，和钢结构相比，钢筋混凝土结构耐久性较好，几乎不必维修。

③ 可模性好。可以根据工程的需要浇制成各种形状和截面尺寸的构件，给选择合适的结构形式提供了有利条件。

④ 耐火性好。混凝土材料的耐火性能较好。钢筋在混凝土保护层的保护下，在发生火灾后的一定时间内，不致很快达到软化温度而导致结构破坏。因此它比钢结构、木结构的耐火性能好。

⑤ 可就地取材。钢筋混凝土除钢筋和水泥外，砂、石所占的比重较大，而砂、石易于就地取材，便于组织运输，以降低工程造价。

⑥ 抗震性能好。钢筋混凝土结构尤其是现浇的钢筋混凝土结构，因为整体性好，具有一定的延性（结构受力后允许变形的能力），在地震烈度较高地区，建筑物和构筑物常采用钢筋混凝土建造。

钢筋混凝土除具有上述优点外，还存在着一些缺点，如自重大、抗裂性能差、现浇时耗费模板多、施工受气候条件影响较大、工期长等。随着生产和科学技术的发展，钢筋混凝土的这些缺点正在逐步得到克服。如采用轻骨料混凝土减轻混凝土的自重，采用预应力混凝土提高构件的抗裂性，以及采用预制钢筋混凝土构件、添加外加剂、用飞模和滑模施工等克服模板耗费多、施工受气候条件影响较大和工期长等缺点。

（2）砌体结构

砌体结构是由块材（砖、石材、砌块）和砂浆按一定规则砌筑而成的整体结构。它是砖砌体结构、石砌体结构和砌块砌体结构的统称。砌体中由于砌筑用的砂浆强度要比块材强度低，加之灰缝铺砌不均匀，使砌体的抗压强度远低于所用块材的强度。总的来说，砌体结构抗压强度较好，抗拉强度很低。

砌体结构的主要优点是易于就地取材，造价低廉；具有良好的耐火性及耐久性；具有良好的保温、隔热、隔音性能；施工简单，技术容易掌握和普及，不需要特殊的设备；砌块砌体可节约土地，使建筑向绿色、环保方向发展。砌体结构在我国房屋建筑中占有很大比例。在现代建筑中，除用于单层和多层建筑外，在特种结构中，如烟囪、水塔、小型水池和重力式挡土墙等，也广泛采用砌体结构。但砌体结构有自重大、强度低、抗震性能差等缺点。

在实际工程中，砌体结构主要用作建筑结构中的竖向承重构件（如墙、柱等），而水平承重构件（如梁、板等）多采用钢筋混凝土结构。这种由两种及两种以上材料作为主要承重结构的建筑物称为混合结构。

（3）钢结构

钢结构是指以钢材为主制成的结构。钢结构的主要优点如下。

① 强度高、自重小。钢材的重度虽然比钢筋混凝土、砌体及木材大，但因其强度较高，在承载力相同的条件下，采用钢结构时构件的截面较小，因而钢结构的自重比其他结构要小，从而能承担更多的外加荷载，或具有更大的跨度。同时，自重小也便于运输和吊装。

② 塑性、韧性好。钢材破坏前要经受很大的塑性变形，能吸收和消耗很大的能量，因此一般情况下不会发生脆性破坏，对动力荷载的适应性强，抗震性能好。

③ 钢材材质均匀，质量稳定，并且钢材各向同性，弹性模量大，为理想的弹塑性体，

完全符合目前所采用的计算方法和基本理论,因此工作可靠性高。

④ 适于机械化加工,生产、安装工业化程度高,施工现场工程量小,施工周期短。钢结构生产具备成批大件生产和高度准确性的特点,可以采用工厂制作、工地安装的施工方法,所以其生产作业面多,可缩短施工周期,进而为降低造价、提高效益创造条件。此外,钢结构工程主要是干作业,能改善施工环境,有利于文明施工。

⑤ 抗震及抗动力荷载性能好。钢结构因自重轻、质地均匀,具有较好的延性,因而抗震及抗动力荷载性能好。

⑥ 密闭性能好。由于焊接结构可以做到完全密封,一些要求气密性和水密性好的高压容器、大型油库、气柜、管道等板壳结构都采用钢结构。

⑦ 钢结构可重复利用。钢结构拆除后可回炉再生循环利用,有的还可以搬迁重复使用,可大大减少灰色建筑垃圾。因此采用钢结构有利于保护环境,节约资源,它被认为是环保产品。

钢结构的缺点如下。

① 耐火性能差。虽然钢材耐热性能好,但耐火性能差,需要有相应的隔热及防火措施。温度在 250°C 以内,钢材的性质变化很小,温度达到 300°C 以上,强度逐渐下降,达到 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ 时,强度降为零。因此,钢结构可用于温度不高于 250°C 的场合。在自身有特殊防火要求的建筑中,钢结构必须用耐火材料予以维护。当防火设计不当或者当防火层处于破坏的状况下,有可能将产生灾难性的后果。

② 抗腐蚀性较差。钢结构的最大缺点是易于锈蚀,锈蚀严重时会影响结构的使用寿命,必须采取良好的防锈措施。新建造的钢结构一般都需仔细除锈、镀锌或刷涂料。使用过程中每隔一定时间还需重新刷涂料,维护费用较高。

钢结构是应用比较广泛的一种建筑结构。一些高度或跨度较大的结构、荷载或吊车起重量很大的结构、有较大振动的结构、高温车间的结构、密封要求很高的结构、要求能活动或经常装拆的结构等,可以考虑采用钢结构。目前在我国建筑工程中钢结构大多应用在以下领域。

① 承受荷载大的结构,如重型厂房。

② 大跨度结构,如大型公共建筑物(体育馆、影剧院、大会堂等)、大型工业厂房、飞机维修库等。

③ 高层建筑,如高层旅馆、饭店。

④ 轻型钢结构,如轻钢屋盖结构。

⑤ 可以拆卸和搬迁的结构,如装配式活动房屋。

其中轻钢结构是近年来发展最快的领域,这种结构工业化、商品化程度高,施工快,综合效益高,市场需求量很大。

(4) 木结构

木结构是以木材为主制作的结构。木结构的优点是能就地取材、制作简单、造价较低、便于施工、抗震性能好;缺点是木材的各向异性、易燃、易腐、易受虫害侵蚀、结构变形较大。由于木材产量受到自然生长条件的限制,为了保护自然生态环境,目前在大、中城市中已经限制采用木结构,只是在林区和农村的房屋中还有少量应用。

1.1.2.2 按承重结构类型分类

(1) 砖混结构

砖混结构是指建筑物中的墙、柱等竖向承重构件采用砖或者砌块砌筑,梁、楼板、屋面板等水平承重构件采用钢筋混凝土结构。也就是说砖混结构是用小部分钢筋混凝土及大部分

砖墙承重的结构。

由于砖混结构具有就地取材,施工方便,造价低廉等优点,所以,砖混结构在我国应用颇为广泛。它多用于六层以下的住宅、旅馆、办公楼、教学楼以及单层工业厂房中。

(2) 框架结构

框架结构是由纵、横向的梁和柱刚性连接的骨架结构,多采用钢筋混凝土建造。框架结构比砖混结构的强度高,有较好的延性和整体性,因此其抗震性能较好。框架结构具有建筑平面布置灵活,可任意分割空间,容易满足生产工艺和使用要求等优点。它既可用于大空间的商场、工业厂房、礼堂、食堂,也可用于住宅、办公楼、医院、学校等建筑。因此,框架结构在单层和多层工业与民用建筑中获得了广泛应用。

(3) 框架-剪力墙结构

房屋在水平荷载(风荷载或水平地震作用)作用下,底部承重构件的内力(弯矩和剪力)和房屋的侧向位移随房屋高度的增加而急剧增大。因此,当房屋高度超过一定限度后,若再采用框架结构,会使框架梁、柱的尺寸增大,不但增加房屋的造价,而且会减小建筑物的使用面积。此时,可采用框架-剪力墙结构。

框架-剪力墙结构是在框架纵、横方向的适当位置,在柱与柱之间设置几道钢筋混凝土墙体而形成的。由框架构成自由灵活的使用空间,来满足不同建筑功能的要求;剪力墙平面内的侧向刚度比框架的侧向刚度大得多,所以,剪力墙主要承受水平荷载作用,而框架主要承受竖向荷载。由于框架-剪力墙结构充分发挥了剪力墙和框架各自的优点,因此,在高层建筑中采用框架-剪力墙结构比框架结构更经济合理。框架-剪力墙结构广泛应用于高层办公和公共建筑,也大量应用于高层旅馆建筑。

(4) 剪力墙结构

剪力墙结构是由纵、横向的钢筋混凝土墙所组成的结构。这种墙体除抵抗水平荷载和竖向荷载作用外,还对房屋起围护和分割作用。因为剪力墙结构的墙体较多,侧向刚度大,所以它可以建得很高。但是,由于布置门、窗需要在墙体上开洞口,影响其强度,因此剪力墙结构的缺点是空间划分不够灵活。目前,我国剪力墙结构多用于10~30层的住宅、宾馆建筑中。

(5) 筒体结构

随着房屋层数的进一步增加,结构需要具有更大的侧向刚度,以抵抗风荷载和地震的作用,因而出现了筒体结构。

筒体结构是用密柱深梁的框架或钢筋混凝土墙围成侧向刚度很大的筒体,在水平荷载作用下起整体空间作用。由密柱深梁框架组成的筒体称为框筒;由剪力墙组成的筒体称为薄壁筒。由一个或数个筒体作为主要抗侧力构件而形成的结构称为筒体结构,为了满足采光的要求,在筒壁上开有孔洞,它多用于高层或超高层公共建筑中,如写字楼、饭店、银行等。

除上述几种结构外,常见的还有排架结构、大跨结构、拱结构、网壳结构、悬索结构、薄膜结构等。

1.2 本课程的任务

通过本课程学习,能够了解钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的组成,初步获得一般工业与民用建筑结构设计的基本概念和基本理论;主要掌握一般构件和结构的布置及构造情

况，同时了解房屋抗震设计的基本知识；具有一般结构构件分析和验算的能力，为解决工程中的结构问题提供理论基础；具有正确识读结构施工图的能力。

思 考 题

1. 建筑结构按所用材料可分为哪几类？
2. 建筑结构按承重结构的类型可分为哪几类？
3. 钢筋和混凝土共同工作的原因是什么？

第 2 章 建筑结构设计基本原理

本章重点

通过本章的学习,使学生了解建筑结构的性能要求、极限状态和概率极限状态设计方法的基本概念;掌握承载能力极限状态和正常使用极限状态实用设计表达式;理解结构重要性系数及各分项系数。

2.1 结构上的荷载

2.1.1 荷载的分类

结构在使用过程中,除承受自重外,还承受人群荷载、设备重量、风荷载、雪荷载等荷载作用,这些荷载直接施加在结构上并使结构变形,称为直接作用。由于地基不均匀沉降、混凝土收缩、温度变化或地震使结构产生外加变形或约束变形,称为间接作用。

直接作用习惯上称荷载。《建筑结构荷载规范》将结构上的荷载分为以下三类。

(1) 永久荷载(恒荷载)

在结构使用期间,其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。例如结构自重、土压力、预应力等。

(2) 可变荷载(活荷载)

在结构使用期间,其值随时间变化,且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。例如楼面活荷载、屋面活荷载和积灰荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等。

(3) 偶然荷载

在结构使用期间不一定出现,一旦出现,其值很大且持续时间很短的荷载。例如爆炸力、撞击力等。

2.1.2 荷载代表值

为了适应不同极限状态下的设计要求,《荷载规范》规定,进行建筑结构设计时,对不同荷载应采用不同的代表值:对永久荷载应采用标准值作为代表值;对可变荷载应根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为代表值;对偶然荷载应按建筑结构使用的特点确定其代表值。

(1) 荷载标准值

荷载标准值是荷载的基本代表值,而其他代表值都可在标准值的基础上乘以相应的系数后得出。荷载标准值是指其在结构的使用期间可能出现的最大荷载值。由于最大荷载是随机变量,故荷载标准值原则上应根据荷载的设计基准期最大荷载概率分布的某一分位系数(使其保证率达到 95%)确定。但有些荷载并不具备充分的统计资料,只能结合工程经验,经分析判断确定。各类荷载的标准值可见《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)。

① 永久荷载标准值 对于结构或构件的自重,由于变异性不大,一般以其平均值作为荷载标准值,即可按结构设计规定的尺寸和材料或结构构件单位体积的自重(或单位面积的自重)平均值确定。对于自重变异性较大的材料(如现场制作的保温材料、混凝土薄壁构件等),在设计中应根据荷载对结构有利或不利,分别取其自重的下限值或上限值。材料的自

重详见《建筑结构荷载规范》附录 A。

② 可变荷载标准值 在设计基准期（为确定可变荷载代表值而选用的时间参数）内按最大荷载概率分布的某个分位值确定。《建筑结构荷载规范》已给出了各种可变荷载标准值的取值，设计时可直接查用。附表 1、附表 2 为有关楼面、屋面均布活荷载的标准值。

(2) 可变荷载组合值

当结构上要求同时考虑两种或两种以上的可变荷载时，由于所有可变荷载同时达到其单独出现时可能达到的最大值的概率非常小，因此，除了主导荷载（产生最大效应的荷载）仍采用标准值为代表值外，其他荷载采用标准值的组合值为荷载代表值。可变荷载组合值为可变荷载标准值乘以荷载组合值系数，荷载组合值系数见附表 1、附表 2。

(3) 可变荷载准永久值

荷载准永久值是指在设计基准期内，超越的总时间约为设计基准期一半的可变荷载值，它对结构的影响类似永久荷载。可变荷载准永久值为可变荷载标准值乘以荷载准永久值系数，荷载准永久值系数见附表 1、附表 2。

(4) 可变荷载频遇值

可变荷载在设计基准期内，其超越的总时间为规定的较小比率或超越频率为规定频率的荷载值。可变荷载的频遇值为可变荷载标准值乘以荷载频遇值系数，荷载频遇值系数见附表 1、附表 2。

2.2 概率极限状态设计法

2.2.1 结构的功能

结构设计的目的，是使所设计的结构在设计使用年限内能满足各种预定的功能要求。对建筑结构应具备的功能要求如下。

(1) 安全性

建筑结构在正常施工和正常使用时应能承受可能出现的各种荷载、外加变形、约束变形的作用，偶然事件（如地震等）发生时以及发生后能保持结构必需的整体稳定性，不致倒塌。

(2) 适用性

建筑结构在正常使用时，应能满足预定的使用要求，如不发生影响正常使用的变形和裂缝。

(3) 耐久性

建筑结构在正常维护下，具有足够的耐久性能。如在设计规定的使用期内，不发生由于保护层碳化或裂缝宽度开展过大导致钢筋的锈蚀，混凝土不发生严重腐蚀而影响结构的使用寿命。

安全性、适用性、耐久性是衡量结构可靠的标志，总称为结构的可靠性。因此，结构可靠性可定义为结构在规定的时间内（即结构设计基准期，一般为 50 年），在规定的条件下（正常设计、正常施工、正常使用和正常维护），完成预定功能的能力。需要注意的是，设计基准期不等于结构的寿命。因为当使用年限达到或超过设计基准期后并不意味着结构立即不能再使用了，而是指它的可靠度在逐渐降低。

2.2.2 结构的极限状态

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求，此特定状态称为该功能的极限状态。若结构能满足功能要求，称结构“可靠”或“有效”；否则，

称结构“不可靠”或“失效”。“极限状态”是区分结构工作状态的“可靠”与“失效”的界限。

结构极限状态分为两类，它们均有明确的标志或限值。

(1) 承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了承载能力极限状态。

- ① 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡（如倾覆等）。
- ② 结构构件或连接因超过材料强度而破坏（包括疲劳破坏），或因过度变形而不适于继续承载。
- ③ 结构转变为机动体系。
- ④ 结构或结构构件丧失稳定（如压屈等）。
- ⑤ 地基丧失承载能力而破坏（如失稳等）。

(2) 正常使用极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。

当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态。

- ① 影响正常使用或外观的变形。
- ② 影响正常使用或耐久性能的局部损坏（包括裂缝）。
- ③ 影响正常使用的振动。
- ④ 影响正常使用的其他特定状态。

2.2.3 概率极限状态设计法

2.2.3.1 可靠指标

由于结构可靠性随着各种作用、材料性能和几何参数的变异而不同，结构可靠性也是随机变化的。结构在规定时间内，在规定条件下，完成预定功能的概率，称为结构可靠度。可靠度是对结构可靠性的一种定量描述，用可靠指标 β 来度量。

建筑设计时，应根据结构破坏可能产生的后果（危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等）的严重性，采用不同的安全等级。《建筑结构可靠度设计统一标准》将建筑结构分为三个安全等级，采用不同的可靠指标 β （表 2-1）。

结构和结构构件的破坏类型分为延性破坏和脆性破坏两类。延性破坏有明显的预兆，可及时采取补救措施，目标可靠指标 β 可定得稍低些。脆性破坏常常是突发性破坏，破坏前没有明显预兆，目标可靠指标 β 就应定得高一些。

表 2-1 建筑结构的的安全等级及结构构件承载能力极限状态的可靠指标

安全等级	破坏后果	建筑物类型	目标可靠指标 β	
			延性破坏	脆性破坏
一级	很严重	重要的房屋	3.7	4.2
二级	严重	一般的房屋	3.2	3.7
三级	不严重	次要的房屋	2.7	3.2

2.2.3.2 极限状态方程

结构和结构构件的工作状态可以由该结构构件所承受的荷载效应和结构抗力两者的关系来描述：

$$Z=R-S=g(R,S)$$

式中， S 为作用效应，是作用引起结构构件产生的内力或变形值。当“作用”为“荷

载”时，作用效应也可以称为荷载效应。此时荷载 Q 与荷载效应 S 可以近似地表示成线性关系，即 $S=CQ$ 。式中 C 为荷载效应系数。如均布荷载 q 作用下的简支梁，跨中弯矩 $M=\frac{1}{8}ql_0^2$ ， M 即为荷载效应， $\frac{1}{8}l_0^2$ 相当于荷载效应系数 C 。

R 为结构抗力，是结构或构件抵抗内力和变形的能力，是结构自身具有的性能，如受弯承载力 M_u 、受剪承载力 V_u 、轴向承载力 N_u 、抗扭承载力 T_u 、允许最大挠度 f_{lim} 、允许最大裂缝宽度 ω_{lim} 等。结构的抗力 R 与材料的强度等级、截面尺寸、配筋情况等有关。

上式称为功能函数，可以用来表示结构的三种工作状态（图 2-1）。

当 $Z>0$ 时， $R>S$ ，结构能完成预定功能，处于可靠状态。

当 $Z<0$ 时， $R<S$ ，结构不能完成预定功能，处于不可靠状态，即失效状态。

当 $Z=0$ 时， $R=S$ ，结构处于极限状态。此时， $Z=R-S=0$ ，称为极限状态方程。

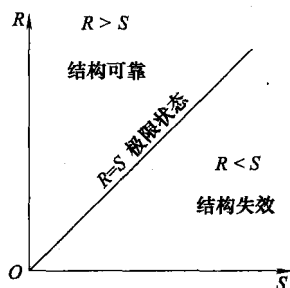


图 2-1 结构的工作状态

2.2.3.3 极限状态设计表达式

理论上，当荷载的概率分布、统计参数以及材料性能、尺寸的统计参数已确定，即可按照结构可靠度的概率分析方法进行设计。但是，这样进行设计对于一般性结构构件工作量很大，过于烦琐。考虑到实用上的简便以及广大工程设计人员的习惯，《建筑结构可靠度设计统一标准》没有推荐直接根据可靠指标来进行结构设计，而是仍然采用工程设计人员熟悉的结构构件实用设计表达式。

结构构件的极限状态设计表达式，应根据各种极限状态的设计要求，采用有关的荷载代表值、材料性能标准值、几何参数标准值以及各种分项系数等表达。设计表达式中的各种分项系数，则是根据基本变量的统计特性，以结构可靠度的概率分析为基础，经优选确定的，它们间接地反映了可靠指标值 β 的大小。

(1) 承载能力极限状态

① 设计表达式 对于承载能力极限状态，结构构件应按荷载效应的基本组合，必要时应按荷载效应的偶然组合采用下列极限状态设计表达式

$$\gamma_0 S \leq R \quad (2-1)$$

式中， γ_0 为重要性系数：对安全等级为一级或设计使用年限为 100 年及以上的结构构件，不应小于 1.1；对安全等级为二级或设计使用年限为 50 年的结构构件，不应小于 1.0；对安全等级为三级或设计使用年限为 5 年及以下的结构构件，不应小于 0.9；在抗震设计中，不考虑结构构件的重要性系数。

② 基本组合 对于基本组合，荷载效应组合的设计值 S 应从下列组合值中取最不利值确定。

a. 由可变荷载效应控制的组合：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (2-2)$$

b. 由永久荷载效应控制的组合：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (2-3)$$

对于一般排架、框架结构，基本组合可采用简化规则，并按下列组合值中取最不利值

确定。

a. 由可变荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} \quad (2-4)$$

$$S = \gamma_G S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (2-5)$$

b. 由永久荷载效应控制的组合仍按公式 (2-3) 式采用。

式中, γ_G 为永久荷载分项系数, 当永久荷载效应对结构构件的承载能力不利时, 对由可变荷载效应控制的组合, 应取 1.2, 对由永久荷载效应控制的组合, 应取 1.35, 当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时, 不应大于 1.0; 永久荷载分项系数, 一般情况下可取 1.2, 当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时, 不应大于 1.0; γ_{Q1} 、 γ_{Qi} 为第 1 个和第 i 个可变荷载分项系数, 其中 γ_{Q1} 为可变荷载 Q_1 的分项系数, 当可变荷载效应对结构构件的承载能力不利时, 在一般情况下应取 1.4, 对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载取 1.3, 当可变荷载效应对结构构件的承载能力有利时, 应取为 0; S_{Gk} 为按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值; S_{Qik} 为按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值, 其中 S_{Q1k} 为各可变荷载效应中起控制作用的; ψ_{ci} 为可变荷载 Q_i 的组合值系数, 民用建筑楼面均布活荷载、屋面均布活荷载的组合值系数按附表 1、附表 2 采用; n 为参与组合的可变荷载数。

③ 偶然组合 当按荷载效应偶然组合进行设计时, 荷载效应组合的设计值公式, 应符合专门规范的规定。

(2) 正常使用极限状态

① 设计表达式 按正常使用极限状态设计时, 应验算结构构件的变形、抗裂度或裂缝宽度。由于结构构件达到或超过正常使用极限状态时的危害程度不如承载力不足引起结构破坏时大, 故对其可靠度的要求可适当降低。因此, 按正常使用极限状态设计时, 对于荷载组合值, 不需再乘以荷载分项系数, 也不再考虑结构的重要性系数 γ_0 。

同时, 由于荷载短期作用和长期作用对于结构构件正常使用性能的影响不同, 对于正常使用极限状态, 应根据不同的设计要求, 采用荷载的标准组合、频遇组合或准永久组合, 并按下列设计表达式进行设计:

$$S \leq C \quad (2-6)$$

式中, C 为结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值, 例如变形、裂缝、振幅、加速度、应力等的限值, 应按各有关规范的规定采用。

② 荷载效应组合

a. 标准组合 对于标准组合, 荷载效应组合的设计值 S 应按下式采用:

$$S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (2-7)$$

b. 频遇组合 对于频遇组合, 荷载效应组合的设计值 S 应按下式采用:

$$S = S_{Gk} + \psi_{f1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (2-8)$$

式中, ψ_{f1} 为可变荷载 Q_1 的频遇值系数; ψ_{qi} 为可变荷载 Q_i 的准永久值系数。

c. 准永久组合 对于准永久组合, 荷载效应组合的设计值 S 可按下列公式采用:

$$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (2-9)$$

③ 验算内容 正常使用极限状态的验算内容有如下几项。

a. 挠度验算 根据使用要求需控制变形的构件, 应进行变形验算。对于受弯构件, 按照