



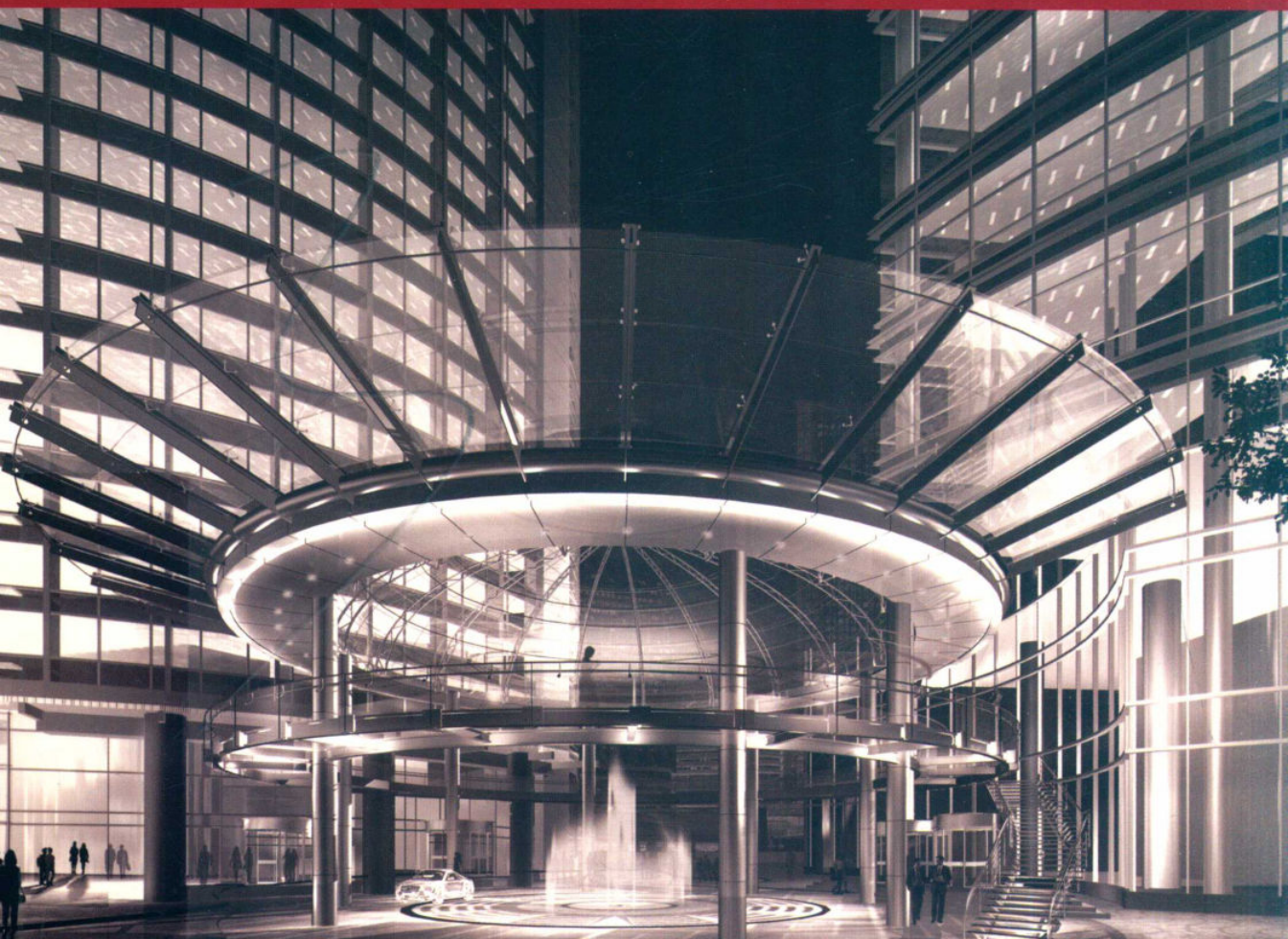
高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

建筑结构 (第二版)

(工程管理、建筑学专业适用)

郭继武 主编



中国建筑工业出版社

高等学校规划教材

建筑结构（第二版）

（工程管理、建筑学专业适用）

郭继武 主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构/郭继武主编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 2

高等学校规划教材. 工程管理、建筑学专业适用
ISBN 978-7-112-20365-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 013845 号

《建筑结构》是高等学校工程管理、建筑学、土木工程等专业的主干课程之一。是根据《高等学校工程管理本科指导性专业规范》、《高等学校建筑学本科指导性专业规范》并参考相关规范编写的。

全书分为四篇: 建筑结构概率极限状态设计法; 混凝土结构; 砌体结构和建筑抗震设计。内容包括: 建筑结构荷载, 建筑结构概率极限状态设计法; 钢筋和混凝土材料的力学性能, 受弯、受压、受拉、受扭构件承载力计算, 钢筋混凝土构件变形和裂缝计算, 预应力混凝土构件的计算, 现浇钢筋混凝土楼盖设计; 砌体材料及其力学性能, 砌体结构构件承载力计算, 混合结构房屋墙、柱设计; 抗震设计原则, 场地、地基与基础, 地震作用与结构抗震验算, 钢筋混凝土房屋抗震设计, 多层砌体房屋抗震设计。

本书第二版是根据新版《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 (2015 年版) 和新版《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 (2016 年版) 内容修订的。

本书可作为高等学校工程管理、建筑学、土木工程专业教材, 也可供建筑设计、建筑施工、工程管理、工程监理等工程技术人员学习新规范的参考。

* * *

责任编辑: 牛松 吉万旺
责任校对: 李欣慰 姜小莲

高等学校规划教材
建筑结构 (第二版)
(工程管理、建筑学专业适用)

郭继武 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 31¼ 字数: 775 千字
2019 年 6 月第二版 2019 年 6 月第十次印刷
定价: 60.00 元

ISBN 978-7-112-20365-9
(29900)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第二版前言

《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（2015年版）和《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010（2016年版）已公布施行。为了满足教学和工程界广大读者学习新规范的需要，参照新版规范有关内容对本书第一版进行了修订。

一、混凝土结构部分

新版《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（2015年版）主要对混凝土结构用钢筋的品种和规格进行了调整。具体修改内容如下：

1. 取消 HRBF335、限制使用 HRB335 和 HPB300 钢筋的规定。
2. HRB500 钢筋抗拉强度设计值由原来的 $410\text{N}/\text{mm}^2$ 调整为 $435\text{N}/\text{mm}^2$ 。
3. 对轴心受压构件，当钢筋抗压强度设计值大于 $400/\text{mm}^2$ 时，应取 $400/\text{mm}^2$ 。
4. 预应力螺纹钢筋的抗压强度设计值由原来的 $410\text{N}/\text{mm}^2$ 调整为 $400\text{N}/\text{mm}^2$ 。

根据上述规定，除第 3 款本书第 5 章已按规定计算外，对本书第一版相关内容都做了修订和调整。

二、建筑抗震设计部分

1. 介绍了《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010（2016年版）修改后的我国主要城镇新的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组。

2. 调整了桩基可不进行承载力抗震验算的建筑类别。
3. 补充说明地震设防烈度与地震系数之间的关系。
4. 对土的液化标准贯入试验判别法计算公式作了补充说明。
5. 进一步说明设计特征周期 T_g 的确定原则和方法。
6. 补充了建筑形体及其构件布置的规则性要求。
7. 补充了抗震墙约束边缘构件的范围及配筋要求的说明。
8. 增加了多层砌体房屋的建筑布置和结构体系的要求。

本书第一版于 2012 年 6 月出版至 2016 年 10 月 4 年间印刷达 7 次，许多高校采用本书作为专业教材，承蒙师生的好评。本次修订仍保持第一版的特点，即紧密结合国家最新的标准规范，力求内容由浅入深，循序渐进，理论联系实际。编者认为，作为教材不应只给出规范公式，还要说明其来源，作必要的数学推导，这不仅使学生深入地了解公式的物理概念，同时也可学习到科研的方法。从而提高他们解决问题的能力。

在编写本书时，参考了公开发表的一些文献。谨向这些作者表示感谢。

由于编者水平所限，书中可能存在不足和疏漏之处，请读者批评指正。

第一版前言

《建筑结构》是高等学校工程管理、建筑学及土木工程专业主干课程之一。众所周知，其特点是内容多、符号多、计算公式多、构造规定多，涉及的相关规范多。因此，应根据工程管理专业培养目标的要求，把涉及建筑结构学科的相关课程加以整合。对其内容采取删繁就简的同时，还应注意学科的科学性、系统性，并保证具有一定的深广度。

本教材就是根据这一思路，按照高等学校工程管理及建筑学本科指导性专业规范并参考相关结构设计规范编写的。教学时数为128学时。内容包括：第一篇 建筑结构概率极限状态设计法（建筑结构荷载，建筑结构概率极限状态设计法）；第二篇 混凝土结构（钢筋和混凝土材料的力学性能，受弯、受压、受拉、受扭构件承载力计算，钢筋混凝土构件变形和裂缝的计算，预应力混凝土构件计算，现浇钢筋混凝土楼盖、楼梯的计算）；第三篇 砌体结构（砌体材料及其力学性能，砌体结构构件承载力的计算，混合结构房屋设计）；第四篇 建筑抗震设计（抗震设计的原则，场地、地基与基础，地震作用与结构抗震验算，钢筋混凝土房屋抗震设计，多层砌体房屋抗震设计）。

在编写本教材时，笔者力求由浅入深，循序渐进，理论联系实际。对规范的一些条文规定、有关公式等作了必要的解释和说明。在讲授某些概念时，力求简明易懂，而又不失严密性。例如：

(1) 在叙述以概率为基础的极限状态设计法时，为了使理解这一方法的实质内容，包括可靠度的概念，建筑荷载的确定、混凝土和钢筋强度取值等，教材对概率论的基本知识作了讲解和复习。这样，学生对概率分布、分位值等内容就不会生疏了。在接受荷载标准值、准永久值和频遇值及材料强度标准值等这些概念就可迎刃而解。

(2) 混凝土正截面等效矩形应力图系数是混凝土教学中的一个难点。为了使掌握它的确定原则和方法，在教材中用不太多的篇幅把它讲清楚是很有必要的，例如，规范对混凝土强度等级C80的图形系数 α_1 为何取0.94， β_1 为何取0.74，了解了这些系数的来源，这对理解问题的物理概念是有帮助的。

(3) 在钢筋混凝土偏压构件中，新版《混凝土结构规范》编入了 $P-\delta$ 效应新的计算方法，即 $C_m-\eta_{ns}$ 法。该方法考虑了杆端不同弯矩的情形。为了说明这一方法的物理概念，本教材采用了“等代柱法”进行讲解，这样，学生就很容易理解和接受 $C_m-\eta_{ns}$ 法的含义了。

(4) 在讲述底部剪力法公式时，避开了从振型分解反应谱法推导，而是将多质点体系折算成等效单质点体系。折算的原则是，两者的底部剪力相等、相应的振动周期相同，这样就求出等效单质点体系的底部剪力 F_{Ek} ，然后将 F_{Ek} 按分配系数分给多质点体系各质点，即可得到水平地震作用 F_i 。

(5) 在工程设计中，经常遇到双向板的计算。本教材重点介绍了塑性理论方法。并编制了计算系数用表，给出了直接计算配筋面积的计算公式。使计算得以简化。这一方法已为大量工程所证明，它是安全可靠的。

本教材绪论、第一、第二、第四篇由郭继武编写，第三篇由郭全编写。

由于笔者水平所限，书中可能有疏漏之处，特别是有些看法仅为一孔之见，尚请广大读者批评指正。编写本书过程中，参考了公开发表的一些文献和专著，谨向这些作者表示感谢。

目 录

绪论	1
§ 0.1 建筑结构的分类及其应用范围	1
§ 0.2 建筑结构发展简史	5
§ 0.3 本课程内容及学习要求	7
小结	7
思考题	7
习题	7
第一篇 建筑结构概率极限状态设计法	
第 1 章 建筑结构荷载	11
§ 1.1 结构可靠度应用概率论简介	11
§ 1.2 建筑结构荷载的分类及其代表值	18
小结	23
思考题	24
习题	24
第 2 章 建筑结构概率极限状态设计法	25
§ 2.1 建筑结构的设计使用年限和安全等级	25
§ 2.2 概率极限状态设计法	26
§ 2.3 混凝土结构的耐久性	32
小结	35
思考题	35
习题	36
第 3 章 钢筋和混凝土材料的力学性能	39
§ 3.1 混凝土的力学性能	39
§ 3.2 钢筋的种类及其力学性能	48
§ 3.3 钢筋与混凝土的粘结、锚固长度	55
小结	57
思考题	58
第 4 章 受弯构件承载力计算	59
§ 4.1 概述	59
§ 4.2 梁、板的一般构造	60
§ 4.3 受弯构件正截面承载力的试验研究	64
§ 4.4 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算基本理论	67
§ 4.5 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	76
§ 4.6 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	83

§ 4.7 T形截面受弯构件正截面承载力计算	88
§ 4.8 受弯构件斜截面受剪承载力计算	94
§ 4.9 纵向受力钢筋的切断与弯起	106
§ 4.10 受弯构件钢筋构造要求的补充	109
小结	112
思考题	113
习题	113
第5章 受压构件承载力计算	116
§ 5.1 概述	116
§ 5.2 受压构件的构造要求	116
§ 5.3 轴心受压构件	119
§ 5.4 偏心受压构件正截面受力分析	124
§ 5.5 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	133
§ 5.6 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	136
§ 5.7 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	144
小结	145
思考题	146
习题	146
第6章 受拉构件承载力计算	147
§ 6.1 概述	147
§ 6.2 轴心受拉构件正截面受拉承载力计算	148
§ 6.3 偏心受拉构件承载力计算	148
小结	153
思考题	153
习题	153
第7章 受扭构件承载力计算	155
§ 7.1 概述	155
§ 7.2 纯扭构件承载力计算	155
§ 7.3 剪扭和弯扭构件承载力计算	161
§ 7.4 钢筋混凝土弯剪扭构件承载力计算	164
小结	169
思考题	169
习题	170
第8章 钢筋混凝土构件变形和裂缝计算	171
§ 8.1 受弯构件变形的计算	171
§ 8.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度的计算	178
小结	183
思考题	183
习题	183

第 9 章 预应力混凝土构件的计算	184
§ 9.1 概述	184
§ 9.2 预加应力的方法	185
§ 9.3 预应力混凝土的材料	186
§ 9.4 预应力钢筋锚具	187
§ 9.5 张拉控制应力	189
§ 9.6 预应力损失及其组合	190
§ 9.7 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	195
§ 9.8 预应力混凝土轴心受拉构件使用阶段的计算	202
§ 9.9 预应力混凝土轴心受拉构件施工阶段的验算	205
小结	211
思考题	211
习题	212
第 10 章 现浇钢筋混凝土楼盖设计	213
§ 10.1 概述	213
§ 10.2 肋形楼盖的受力体系	214
§ 10.3 单向板肋形楼盖的计算简图	215
§ 10.4 钢筋混凝土连续梁的内力计算	215
§ 10.5 单向板的计算与构造	224
§ 10.6 次梁的计算与构造	227
§ 10.7 主梁的计算与构造	229
§ 10.8 单向板楼盖计算例题	232
§ 10.9 双向板的计算与构造	242
§ 10.10 楼梯计算	256
小结	265
思考题	265
习题	265
第三篇 砌体结构	
第 11 章 砌体材料及其力学性能	269
§ 11.1 块材	269
§ 11.2 砂浆	271
§ 11.3 砌体抗压强度	272
§ 11.4 砌体轴心抗拉、弯曲抗拉和抗剪强度	278
§ 11.5 砌体弹性模量	280
§ 11.6 砌体结构的耐久性	281
小结	283
思考题	283
第 12 章 砌体结构构件承载力计算	285

§ 12.1	砌体结构承载力计算基本表达式	285
§ 12.2	受压构件承载力计算	286
§ 12.3	轴心受拉、受弯和受剪构件承载力计算	293
§ 12.4	砌体局部受压承载力计算	296
	小结	303
	思考题	303
	习题	303
第 13 章	混合结构房屋墙、柱设计	304
§ 13.1	墙体承重体系	304
§ 13.2	房屋静力计算方案及其计算简图	306
§ 13.3	墙、柱高厚比的验算	309
§ 13.4	多层刚性方案房屋墙、柱承载力的验算	314
§ 13.5	单层房屋墙、柱承载力的计算	323
	小结	327
	思考题	327
	习题	327
第四篇 建筑抗震设计		
第 14 章	抗震设计原则	331
§ 14.1	构造地震	331
§ 14.2	地震波、震级和烈度	331
§ 14.3	地震基本烈度和地震烈度区划图	339
§ 14.4	建筑抗震设防分类、设防标准和设防目标	339
§ 14.5	建筑抗震性能设计	343
§ 14.6	建筑抗震设计的基本要求	344
	小结	348
	思考题	349
第 15 章	场地、地基与基础	350
§ 15.1	场地	350
§ 15.2	天然地基与基础	354
§ 15.3	液化土地基	356
§ 15.4	桩基的抗震验算	369
§ 15.5	软弱黏性土地基	370
	小结	371
	思考题	371
	习题	371
第 16 章	地震作用与结构抗震验算	372
§ 16.1	概述	372
§ 16.2	单质点弹性体系的地震反应	372

§ 16.3 单质点弹性体系水平地震作用——反应谱法	376
§ 16.4 多质点弹性体系水平地震作用的计算	384
§ 16.5 竖向地震作用的计算	391
§ 16.6 结构抗震验算	393
小结	397
思考题	397
习题	397
第 17 章 钢筋混凝土房屋抗震设计	399
§ 17.1 概述	399
§ 17.2 抗震设计一般规定	400
§ 17.3 框架、抗震墙和框架-抗震墙结构水平地震作用的计算	408
§ 17.4 框架结构内力和侧移的计算	410
§ 17.5 抗震构造措施	426
小结	433
思考题	433
习题	433
第 18 章 多层砌体房屋抗震设计	435
§ 18.1 概述	435
§ 18.2 抗震设计一般规定	435
§ 18.3 多层砌体房屋抗震验算	438
§ 18.4 抗震构造措施	456
小结	463
思考题	464
附录 A 《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 (2015 版) 材料力学指标	465
附录 B 钢筋公称直径和截面面积	468
附录 C 《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 (2015 版) 有关规定	472
附录 D 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下内力系数表	474
附录 E 《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203—2011 有关规定	481
附录 F 我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组 (节录)	482
参考文献	488

目前,我国生产的普通热轧带肋钢筋,其立方体抗压强度 f_{cu} 可达到 $80\text{N}/\text{mm}^2$,普通钢筋的抗拉强度 f_t 可达到 $400\text{N}/\text{mm}^2$ 。因此,钢筋混凝土的强度比砖、石的强度高得多。在抗震设计中,我国主要采用钢筋混凝土建造。

2) 耐久性好

混凝土强度高,密实性好,强度高,在大气中,有一定厚度的保护层加以保护,在正常使用情况下,不易锈蚀。维修费用低。因此,钢筋混凝土结构的耐久性好。

3) 可模性好

根据建筑和环境的要求,可制成各种形状和尺寸,和钢筋混凝土结构体系。这有利于建造高层建筑,同时也有利于处理特殊结构,如筒仓、桥墩等。

绪 论

§ 0.1 建筑结构的分类及其应用范围

在房屋建筑中,由构件(如梁、板、柱、墙体、基础等)组成的能承受“作用”的骨架体系,叫作建筑结构。这里的“作用”是指施加在结构上的荷载或引起建筑结构外加变形或约束变形的原因(如地震作用、基础沉降、温度变化等)。前者称为直接作用,后者称为间接作用。

建筑结构可按所用的材料和承重结构的类别分类。

0.1.1 按所用材料来分

1. 混凝土结构

以混凝土为主制成的结构称为混凝土结构。它又分为以下三类:

(1) 素混凝土结构

由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构,称为素混凝土结构。

(2) 钢筋混凝土结构

由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构,称为钢筋混凝土结构。

(3) 预应力混凝土结构

由配置受力的预应力钢筋,通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构,称为预应力混凝土结构。

混凝土结构在土木建筑工程中应用十分广泛。例如,多、高层民用建筑、单层和多层工业厂房、电视塔、桥梁、水工结构等大多采用钢筋混凝土或预应力混凝土建造。

图 0-1 为中央电视塔,电视塔高 386.5m。它是由钢筋混凝土建造的。

混凝土结构应用之所以这么广泛,是因为它具有以下优点:

(1) 强度较高

目前,我国生产的混凝土的强度等级可达到 C80,即其立方体抗压强度 f_{cu} 可达到 80N/mm^2 ,普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 则可达到 435N/mm^2 。因此,钢筋混凝土的强度比砖、石的强度高得多。近代的一些高层建筑大多采用钢筋混凝土建造。

(2) 耐久性好

混凝土强度高、密实性好,钢筋配置在混凝土中,有一定厚度的保护层加以保护,在正常情况下,不易锈蚀,维修费用很少。故钢筋混凝土结构的耐久性好。

(3) 可模性好

根据建筑和结构的需要,可浇筑成各种形状和尺寸的钢筋混凝土结构构件。这将有利于建筑造型,同时也为选择合理的结构形式提供了可能性。

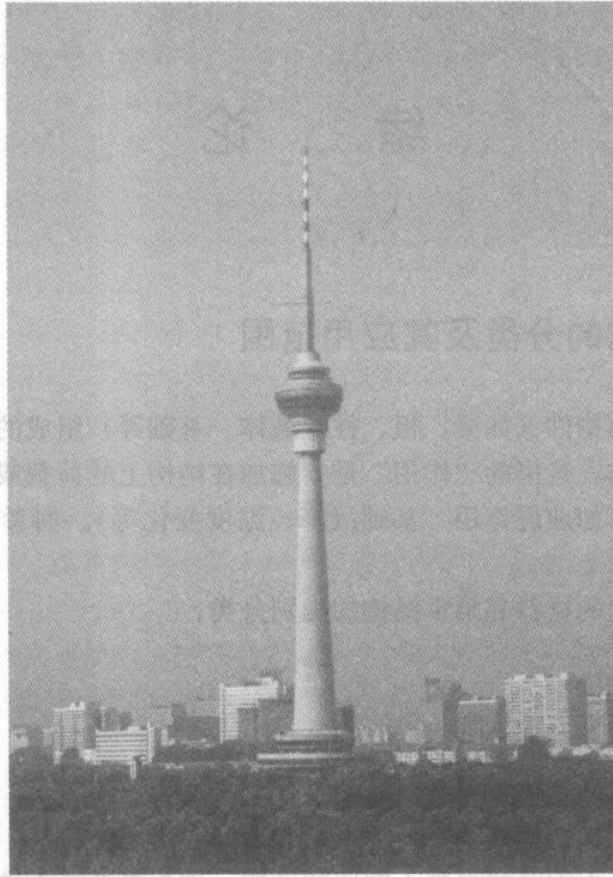


图 0-1 中央电视塔

(4) 耐火性能好

钢筋混凝土为不燃烧体，以结构厚度或截面最小尺寸为 180mm 为例，其耐火极限可达到 3.5h，比木结构、钢结构耐火性能要好得多。

(5) 整体性好

现浇钢筋混凝土结构整体性好。因此，其抗震性能比砌体结构好得多，因此，钢筋混凝土房屋可建得很高。由于其整体性很好，也有利于抵抗振动和冲击波的作用。

钢筋混凝土还存在一些缺点，如自重大、抗裂性能差、现浇时耗费模板多、施工复杂、工期长等。随着生产和科学技术的发展，钢筋混凝土这些缺点正逐步得到克服。如采用轻骨料高强混凝土，以减轻普通混凝土的自重，采用预应力混凝土提高构件的抗裂度，以及采用预制钢筋混凝土构件克服模板耗费多和工期长等缺点。

2. 砌体结构

砌体结构是由块体和砂浆砌筑而成的墙、柱作为建筑物主要受力构件的结构。是砖砌体、砌块砌体和石砌体结构的总称。

砌体结构有就地取材、造价低廉、耐火性能好，以及容易施工等优点。因此，在工业与民用建筑中获得了广泛的应用。此外，在构筑物中，如烟囱、水塔、小型水池和重力挡土墙等，砌体结构也获得了广泛的应用。

砌体结构的缺点是自重大、强度低、抗震性能差。因此，在地震高烈度区的砌体房屋不应建得太高。

3. 钢结构

钢结构是由钢材制成的结构。一般由型钢和钢板等制成梁、桁架、柱、板等构件组成。各部分之间用焊接、螺栓或铆钉连接，有些钢结构还部分采用钢丝绳或钢丝束。钢结构多用于重工业厂房的承重骨架和吊车梁，大跨度建筑的屋盖结构，多层和高层建筑骨架，大跨度的桥梁，塔桅结构，可拆卸、搬运的轻型房屋等。钢结构的优点是：强度高，重量轻、材质均匀，可靠性高、安装方便，施工期限短等。它的缺点是：耐火性差、耐锈蚀性差，需定期维护。

4. 木结构

木结构是指全部或大部用木材制成的结构。所以木结构要消耗大量木材，由于木材产量受到自然生长条件的限制，因此，节约木材对我国社会主义建设具有十分重要的意义。目前，在房屋建筑中已很少采用木结构。

0.1.2 按承重结构类型来分

1. 混合结构

混合结构是指由砌体制成的竖向承重构件（墙、柱），并与钢筋混凝土或预应力混凝土楼盖、屋盖组成的房屋建筑结构。

由于混合结构具有就地取材，施工方便，造价低廉等优点，所以，它在城市和广大农村应用颇为广泛。它多用于六层以下的住宅、旅馆、商店、办公楼、教学楼以及单层工业厂房等建筑中。

2. 框架结构

框架结构是由横梁、纵梁和柱组成的结构。目前，我国框架结构多采用钢筋混凝土建造。框架结构具有布置灵活，可任意分割房间，容易满足生产工艺和使用要求。它既可以用于大空间的商场，工业生产车间、礼堂、食堂，也可用于住宅、办公楼、医院和学校建筑。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。

现浇钢筋混凝土框架结构比混合结构有较高的承载力，较好的延性和整体性，因此它的抗震性能好。

框架结构超过一定高度后，其侧向刚度将显著减小。这时，在风荷载或水平地震作用下侧向位移较大。因此，钢筋混凝土框架结构多用于 10 层以下的建筑，个别也有超过 10 层的。如北京长城饭店采用的就是 18 层的钢筋混凝土框架结构（图 0-2）。

3. 框架-剪力墙结构

计算表明，房屋在风荷载或水平地震作用下，靠近底层的承重构件的内力（弯矩 M 、剪力 V ）和屋顶的侧向位移随房屋的高度的增加而急剧增大。因此，当房屋高度超过一定限度时，再采用框架结构，其梁、柱横截面尺寸就会很大。这样，房屋投资不仅增加，而且建筑使用面积也会减小。在这种情况下，通常采用钢筋混凝



图 0-2 北京长城饭店

土框架-剪力墙结构。

钢筋混凝土框架-剪力墙结构，是在框架结构纵、横方向的适当位置，在柱与柱之间设置几道厚度大于140mm的钢筋混凝土墙体而形成的。由于在这种结构中的剪力墙平面内的侧向刚度比框架的侧向刚度大得多，所以，在风荷载或水平地震作用下，产生的剪力主要由剪力墙承担，一小部分由框架承担，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的各自优点。因此，在高层建筑中采用框架-剪力墙结构比框架结构更为合理。

北京饭店东楼（18层，高80.55m）采用的就是钢筋混凝土框架-剪力墙结构。

4. 剪力墙结构

剪力墙结构是由纵、横向的钢筋混凝土墙体所组成的结构。这种墙体除抵抗水平荷载和竖向荷载外，还对房屋起围护和分割作用。这种结构适用于高层住宅、旅馆等建筑。图0-3所示为高93m、23层的北京西苑饭店；图0-4所示为高115m、28层的北京国际饭店，它们采用的都是钢筋混凝土剪力墙结构。

5. 筒体结构

随着房屋层数进一步增加，结构需具有更大的侧移刚度，以抵抗风荷载或地震作用，因而出现了筒体结构。

筒体结构是用钢筋混凝土墙围成侧移刚度很大的筒体，其受力特点与一个固定于基础上的筒形悬臂构件相似。为了满足采光和通风的要求，在筒壁上开有洞口，这种筒体称为空腹筒。当建筑物高度更高，侧向刚度要求更大时，可采用筒中筒结构。这种筒体由空腹外筒和实腹内筒组成。内外筒之间用平面内刚度很大的楼板相联系，使之共同工作，形成一个空间结构。

筒体结构多用于高层和超高层（ $H \geq 100\text{m}$ ）公共建筑，如饭店、银行、通讯大楼等。图0-5所示为北京彩电中心大楼（高106m，26层），它采用的就是钢筋混凝土筒体结构。

6. 大跨结构

大跨结构是指竖向承重构件采用钢筋混凝土柱，屋盖采用钢网架、薄壳或悬索结构。这种结构多用于体育馆、大型火车站、航空港等公共建筑。

首都体育馆是我国首先采用钢网架屋盖的大跨度的建筑。它的屋盖宽度99m，长度



图0-3 北京西苑饭店

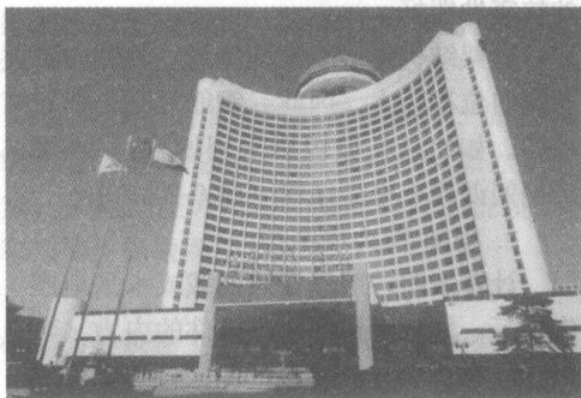


图0-4 北京国际饭店



图 0-5 北京彩电中心大楼

112.2m, 用钢量仅为 $65\text{kg}/\text{m}^2$ 。之后, 上海体育馆、福州体育馆、南京体育馆等也相继采用了这种屋盖体系, 收到了良好的效果。

§ 0.2 建筑结构发展简史

大量的考古发掘资料表明, 我国在新石器时代末期 (约 6000~4500 年前) 就已有地面木架建筑。至西周时期 (公元前 1134~公元前 771 年) 已有烧制的瓦, 在战国时期, (公元前 403~公元前 221 年) 有了烧制的砖。到东晋 (公元 317~公元 419 年) 砖的使用已十分普遍。砖的出现使人们开始广泛的大量修建房屋、城防建筑等。

石料在我国的应用历史也是十分悠久的。多用于建造桥梁、房屋的台基、栏杆等。

在公元前两世纪修建、驰名中外的万里长城, 它是我国古代劳动人民勇敢、智慧和血汗的结晶, 是伟大中华民族的象征。

我国古代石拱桥的杰出代表当属举世闻名的赵州桥 (位于河北省赵县)。由隋朝 (公元 581~617 年) 石工李春所建。该桥是一座单孔空腹式石拱桥, 净跨 37.37m, 拱的矢高 7.23m, 桥宽 9m。在拱圈两肩各设有两个跨度不等的腹拱 (图 0-6), 这样, 既能减轻桥身自重, 节省材料, 又利于排洪, 增加美观。赵州桥的设计构思和工艺技巧, 在我国古代桥梁史上是首屈一指。据世界桥梁的考证, 像这样的敞肩拱桥, 欧洲到 19 世纪中期才出现, 比我国晚了 1200 多年。

赵州桥迄今已逾 1300 年, 虽经历洪水 and 大地震的袭击, 但仍屹立于中华大地而完好无损。足见我国古代劳动人民的造桥技术水平之高。

伟大的万里长城、优美的赵州桥以及许许多多的宏伟的宫殿和寺院、宝塔等中国古代建筑, 都充分显示出我国古代劳动人民对建筑工程有着相当高的技艺。但由于当时生产力的发展水平的限制, 这些无数的建筑高超技艺未能提炼成系统的科学理论。

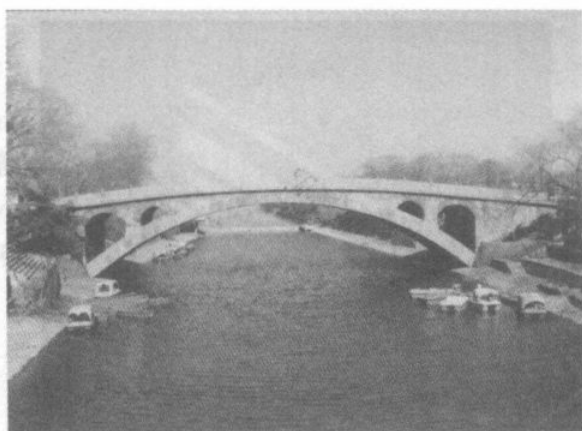


图 0-6 赵州桥

17 世纪工业革命后，随着资本主义国家工业化的发展，建筑、铁路和水利工程的兴建，推动了建筑结构的发展，17 世纪 70 年代开始使用生铁，19 世纪初开始用熟铁建造桥梁和房屋，这是钢结构出现的前奏，自 19 世纪中叶开始，在冶金业中冶炼并轧成强度高、延性好、质地均匀的建筑钢材，随后又生产出高强钢丝、钢索。为适应社会生产发展的需要，钢结构获得了蓬勃的发展。新的结构形式，如桁架、框架、网架和悬索结构不断推出，建筑结构的跨度从砖（石）结构和木结构的几米，几十米发展到钢结构的百米、几百米，直到千米。建筑高度也不断增加，达到几百米。如英国的亨伯钢索桥跨度达 1410.8m，美国芝加哥的钢结构西尔斯大厦为 110 层，高 443m。

19 世纪 20 年代波特兰水泥制成后，混凝土相继问世。但由于混凝土抗拉强度低，应用受到限制。随后出现了钢筋混凝土结构。使混凝土受压，钢筋受拉，发挥两种材料各自的优点。从而，自 20 世纪初以来，钢筋混凝土结构广泛应用于建筑工程各个领域。由于钢筋混凝土结构抗裂性能差、刚度小的缺点，20 世纪 30 年代出现了预应力混凝土结构，使混凝土应用范围更加广泛。混凝土的出现给建筑带来新的、经济和美观的建筑结构形式。这不能不说是建筑工程发展的一次飞跃。

19 世纪末 20 世纪初，我国开始采用钢筋混凝土结构建造梁、板和柱等构件。但是，直到新中国成立前夕，钢筋混凝土结构发展十分缓慢，高层建筑寥寥无几。

20 世纪 50 年代~80 年代，这一阶段初期，我国工业蓬勃发展，兴建大量单层工业厂房，装配式钢筋混凝土结构广泛采用。在砖混结构中，钢筋混凝土预制构件，如预应力圆孔板、进深梁等大量采用。这时，混凝土结构应用范围进一步扩大。预应力混凝土结构广泛采用。国内结构计算采用破损阶段计算理论。进入 20 世纪 80 年代，我国《建筑结构设计统一标准》GBJ 68—84 公布实施，建筑结构计算采用极限状态设计理论。

进入 20 世纪 80 年代，随着我国改革开放进一步发展，城市建设进程加快，北京、上海等大城市高层建筑如雨后春笋般拔地而起。有轨交通纵横交错，混凝土强度和钢材强度进一步提高，钢筋混凝土和预应力混凝土应用范围不断地扩大。这一时期建筑结构设计理论进入一个崭新的阶段，一些建筑结构国家标准和相关规范相继公布实施，这些标准和规范包括：《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—2012、《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010、《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011、《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 和《高层建筑混凝土结构技术规程》

JGJ 3—2010 等。这些标准和规范充分反映了国家半个世纪以来建筑结构设计经验及科研成果。使我国建筑结构设计理论达到了国际先进水平。

§ 0.3 本课程内容及学习要求

《建筑结构》是高等学校工程管理、建筑学及土木工程专业主干课程之一。本教材根据高等学校工程管理及建筑学本科指导性专业规范编写，包括以下内容：

1. 建筑结构概率极限状态设计法

概率论基础知识，建筑荷载的分类及荷载代表值，概率极限状态设计法。

掌握建筑结构荷载分类及其取值，熟悉结构极限状态的意义及实用设计表达式。

2. 混凝土结构基本构件

混凝土、钢筋的材料力学性能，受弯、受压、受拉、受扭构件承载力的计算，钢筋混凝土构件变形和裂缝的计算，预应力混凝土构件的计算，现浇钢筋混凝土楼盖的设计。

掌握混凝土和钢筋的力学性能，熟悉混凝土与钢筋的锚固，掌握受弯构件正截面承载力和斜截面受剪承载力的计算，轴心和偏心受压构件正截面承载力计算，熟悉受拉、受扭构件承载力计算，熟悉钢筋混凝土构件变形和裂缝的计算，掌握施加预应力方法，熟悉张拉控制应力和预应力损失，熟悉预应力混凝土轴心受拉构件的计算，掌握单向板和双向板楼盖设计，熟悉楼梯设计。

3. 砌体结构构件计算

砌体材料及其力学性能，砌体结构构件承载力计算，混合结构房屋墙、柱设计与计算。掌握砌体结构构件承载力计算，熟悉混合结构房屋墙、柱设计计算。

4. 建筑结构抗震设计

建筑抗震设计原则，场地、地基和基础，地震作用与结构抗震验算，钢筋混凝土房屋抗震设计要点及抗震构造措施，多层砌体房屋抗震设计及抗震构造措施。

熟悉建筑抗震设防分类、设防标准和设防目标（三水准，二阶段设计），熟悉建筑场地的分类，了解天然地基基础承载力验算，了解土的液化判别及消除液化土的措施，了解地震作用与结构抗震验算，了解钢筋混凝土房屋抗震设计要点和抗震构造措施，了解多层砌体房屋抗震验算和抗震构造措施。