

现代远程教育系列教材

XIANDAI YUANCHENG JIAOYU XILIE JIAOCAI

建筑结构原理

【 刘 禹 / 主编 】

www.esp.com.cn

管理类学科适用

财经类院校适用



经济科学出版社
Economic Science Press

现代远程教育系列教材

建筑结构原理

刘 禹 主编

经济科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构原理/ 刘禹主编. —北京: 经济科学出版社,
2007. 3

(现代远程教育系列教材)

ISBN 978 - 7 - 5058 - 6150 - 3

I. 建… II. 刘… III. 建筑结构 - 理论 - 远距离
教育 - 教材 IV. TU31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 027845 号

责任编辑: 范 莹

责任校对: 徐领柱

技术编辑: 董永亭

建筑结构原理

刘 禹 主编

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100036

总编室电话: 88191217 发行部电话: 88191540

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

北京欣舒印务有限公司印刷

永明装订厂装订

787 × 1092 16 开 19.75 印张 400000 字

2007 年 3 月第一版 2007 年 3 月第一次印刷

印数: 0001—6000 册

ISBN 978 - 7 - 5058 - 6150 - 3/F · 5411 定价: 26.00 元 (含《操作与习题手册》)

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

现代远程教育系列教材 编 审 委 员 会

主任委员：

阙澄宇 杨 青

委 员（以姓氏笔画为序）：

王立国	王来福	王绍媛	史 达	刘永泽
吴大军	李洪心	张军涛	张树军	於向平
林 波	林清高	武献华	姜文学	赵建国

总 序

随着知识经济和信息化时代的到来，终身学习成为社会大趋势，网络教育作为现代远程教育的一种先进模式正在成为人们终身学习的首选形式。

网络教育具有开放性、交互性、共享性、协作性、自主性等特点，突破了时间和空间的限制，使高等学校的优良教育资源冲破校园围墙的限制，被更多的学习者共享。现代远程教育的“学习环境”，提供了学生自主建构知识的空间，帮助人们随时随地学习，实现了学生个体与群体的融合，从而满足了人们在校园外接受高等教育的愿望。

经历了近十年的光阴，现代远程教育已经发展到 67 所远程教育试点院校，学生近百万人。各高校网络教育学院结合财经、管理学科专业适合网络教育的特点，近年来推出了远程教育高等学历课程体系，最大限度地满足学生个性化自主学习的需要和社会对财经、管理人才的需要。为了确保网络教育质量，本着“我们的产品是教育服务”的宗旨，各高等学校网络教育学院正在努力建立标准化的网络教育管理系统，为学生提供全面周到的服务，建设有中国特色的一流网络大学。

网络教育的不断发展对网络学习教材建设提出新的挑战。如何在尊重传统教育的系统性的同时，在教材的内容上更能满足人们继续学习的需要，增强教材的实用性和适用性；在教材的表现

形式上更直观、更易理解、更便于自学,是我们正在努力解决的一个重大课题。为此,我们结合网络教学和课件的特点,组织具有丰富教学经验的老师编写了这套现代远程教育系列教材,尽力做到知识点明确,突出重点、要点,使之便于学生自学;同时,在教材内容上也更强调实用性和适用性,意在使这套教材既适用于现代远程教育学习者使用,也适合财经管理在校修学的学生和在职人员学习。

教材的改革是教育理念转变的结果,而教育理念的转变是一个长期而艰巨的过程。它不仅需要教师的努力,更需要广大学生和读者的积极参与。我们热切地希望读者对这套教材提出自己的意见和建议,使这套教材不断得以完善。

这套丛书的编写得到了经济科学出版社的大力支持。他们对此套丛书从选题策划到整体设计都提出了中肯的、有建设性的建议,并为其能够及时出版与广大读者见面付出了大量的、艰辛的努力,在此表示衷心的感谢。

现代远程教育系列教材编委会

杨 青

2003年9月

前言

常常有一些与土木工程相关专业的学生，如建筑学、工程管理等专业，在学习《建筑结构原理》等课程时出现很多的困惑，究其原因，是这些专业的学生没有经过或很少有大量的力学课程的学习作为铺垫。《建筑结构原理》中许多深奥的概念，大多是在《结构力学》、《材料力学》甚至是《结构动力学》学习基础之上才能够理解的。现行的有关教材多数是由传统土木工程院校编写的，是基于钢筋混凝土结构、钢结构、砖石结构、结构抗震、高层建筑结构设计等多门课程的思维方法与逻辑，来阐述这门课程的。而《建筑结构原理》又是必不可缺的一门课程，是进一步学习相关课程的基础。可以想像，对于仅仅经过不足 100 个学时（甚至不足 60 学时）力学课程学习的学生来讲，《建筑结构原理》无疑是难以理解和枯燥乏味的，而又是不得不学的知识。

另外，从我国现今高等院校的专业构成来看，相当多的工程管理专业并非源于土木工程学科，而是以建筑经济、工程造价等专业为主要教育方向。这些专业大多设置于财经院校，其力学等课程的基础教育显然不能与设置于土木工程学科领域的工程管理专业相比。根据这些院校所作的专业定位，其学生毕业后的就业与发展方向在于工程造价、工程投资、房地产开发、工程法律等方面。《结构设计原理》对于这些学生来讲，更重要的在于对于建筑结构的一种相对浅显理解，以便作为日后工作的背景知识（而不是实用知识与技能），能够和专业工程师相沟通。就是说他们既不需要十分精深的结构设计理论基础，也不从事与设计有关的工作。

这就产生一个问题：能否以一种简单的方式，向那些没有深厚力学基础理论的学生阐述一系列复杂的概念，使其能够具有相关知识背景呢？本书将在这方面作一些尝试。

结构设计是一系列课程的综合内容，要在一本书中来阐述相关原理，并做到力求使一名初学者在阅读本书之后，就能够具备基本的工程技术背景，是十分困难的。但

著名的结构工程大师林同炎先生曾讲过：“建筑设计的目的是创造一个有效的环境整体，即一个由许多相互关联的环境分体系形成的整体。所以，设计者在开始处理结构方面的问题时，必然希望在形成和处理总体方案时，着眼于相互有关的各主要分体系，而不是构件和细部构造。但是，与总体考虑的必然效果相反，建筑和工程专业的学生往往是通过学习基本构件及其有关的具体设计和施工要点来学习工程知识。这种方法假设学生自己会返回去发现怎样把各部分结合成整体那当然好。但不幸的是，这种假设很少会实现，因为学习的模式和建筑设计思路的自然流程相反。一个设计者的实际设计经验模式与学习技术知识的模式之间如此的不协调，将使学生难以在设计思路形成的阶段应用这些技术知识。”^① 这就是本书在写作中所秉承的基本宗旨的出发点，即以宏观的结构设计概念为基础，逐步阐述建筑结构的设计过程与原理。

因此在本书的章节编排过程中，按照建筑结构设计的基本过程，力求解决两个基本问题，那就是结构受什么样的力？结构应该进行什么样的处理以防止破坏的发生。其实在这两个问题中间还有一个环节，就是结构在力的作用下有什么样的反应，包括内力、应力与变形，这是在力学课程中所需要解决的。这将在另一本书《建筑力学简明教程》中以最为简单明了的方式加以阐述。

本书主要内容如下：

第一章，作为绪论简单地介绍一下什么是建筑结构，有什么作用，又是如何构成的。

第二章，向读者阐述建筑结构上要受到哪些荷载与作用，也就是说要解决结构上受什么样的力这一问题。为了进一步具体说明这一问题，在这一章中介绍了风与地震这两种特殊的荷载对于建筑的影响。

第三章，向读者说明结构的用材与选材的问题。材料的性能对于结构的影响不言而喻，在该章中主要介绍了混凝土与钢材的性能，并初步阐述了钢筋混凝土的工作原理。

第四章，结合前两章的内容，讲述材料强度—内力—荷载之间的构成关系，即设计原理。读者通过这一章可以明确一个结构设计的过程。

第五章，不仅向读者讲解各种常见的建筑结构形式的受力特点与应用领域，而且阐述了结构设计概念原则。

前五章是从宏观的结构设计与结构分析入手，说明结构设计的基本过程。在经历了这一阶段之后，结构设计将是针对具体构件的设计与计算。因此，在第六、第七章，着重讲解了钢筋混凝土梁、柱这两种最为常见构件的设计。

^① 林同炎、S. D. 斯多台斯伯利著，高立人、方鄂华、钱稼茹译：《结构的概念和体系（第二版）》，中国建筑工业出版社1999年版，第8~9页。

第六章,以梁为例讲述跨度结构的设计原理,这是结构中最常见的构件,也是钢筋混凝土结构设计理论的基础。在本章中所涉及的内容包括正截面设计、斜截面设计、裂缝与变形设计、受扭设计等。同时还简单讲述了无梁楼盖、井字楼盖、密肋楼盖、双向板、楼梯等构件的基本构造与原则。

第七章,讲述垂直结构体系的设计,重点阐述压弯构件的设计原理。

结合第六、第七章的内容,可以构成一个较为完整的结构体系——框架结构,这是在结构设计中最为多见的一种结构体系。

第八章,讲述了相对特殊的结构模式——预应力结构与构件。这是可以更加充分发挥混凝土受压性能的一种结构,有着更大的刚度,能更好地控制裂缝的发生。在很多工程实践中,预应力结构被用来控制结构的层高与裂缝。

第九章,简单地介绍了钢结构的有关知识,包括结构体系的几种类型和构件的简单构成。钢结构是比较复杂的结构形式,不论是计算理论还是构造方法,在学习中应该更多的参考有关力学书籍来做进一步的了解。

第十章,阐述结构的地基与基础的相关问题,从土的构成、土的压缩性、土的强度、稳定性到基础的简单选择与设计方法。

从整体来看,本书涉及到结构工程领域的多门课程,由于篇幅限制与本书目标读者的选择,不可能一一阐述,更不能以深奥理论阐述为原则。力求深入浅出是本书的特点,本书所提到的结构设计理论与计算理论也比较浅显,对于相对复杂与难以理解的部分均作了适当的删减,更有利于力学基础不是很深厚的初学者学习。在阅读本书后,如果您对一些问题感兴趣,这本书的基础知识将对您进一步的学习与研究提供帮助。

参加本书编写的还有东北财经大学张建新(第八章)、杜贵成(第十章)老师。尽管在写作之初的想法是力求使本书能够做到:“内行愿意看,外行也看得懂。”但是,由于作者专业水平、理论基础以及实践经验的欠缺,书中难免会有错误与表述不当之处,敬请读者谅解,也请各位及时指正。在本书的写作过程中,还参考了大量的书籍和规范,并详列于参考书目之中,在此一并表示感谢。

作者

2006年8月于大连黑石礁

目 录

第一章 建筑结构的基本知识	1
1.1 结构的作用	1
1.2 结构的组成	3
1.3 建筑物对于结构的基本要求	5
本章小结	6
思考题	6
第二章 荷载的基本概念	7
2.1 荷载及其分类	7
2.2 活荷载取值	9
2.3 特殊荷载与作用简介	10
本章小结	16
思考题	16
第三章 常用的结构材料	17
3.1 结构材料的基本要求	17
3.2 建筑用混凝土	22
3.3 建筑用钢材	27
3.4 建筑用复合材料——钢筋混凝土、劲性混凝土与钢管混凝土	34
3.5 结构用其他材料	40
本章小结	42
思考题	42

第四章 结构设计原理	44
4.1 结构设计的极限状态理论	46
4.2 建筑物的重要度与设计基准期	48
4.3 荷载效应与结构抗力	50
4.4 荷载与作用的组合与分布	52
4.5 建筑结构设计过程综述	56
本章小结	58
思考题	58
第五章 常见的建筑结构体系与受力特点	59
5.1 结构的经济性、效率与构件的形式	60
5.2 结构概念设计与结构选型	65
5.3 砖石砌体结构	74
5.4 框架结构的设计原理	85
5.5 剪力墙结构的设计原理	90
5.6 排架结构的设计原理	94
5.7 悬索与拱结构	99
本章小结	103
思考题	104
第六章 最常见的跨度结构——钢筋混凝土梁板结构体系分析	105
6.1 钢筋混凝土梁板结构体系的构成	106
6.2 钢筋混凝土梁式结构的正截面设计	114
6.3 钢筋混凝土梁的耐久性与刚度问题——裂缝与变形	131
6.4 钢筋混凝土梁的斜截面设计	136
6.5 钢筋混凝土梁板结构的特殊问题——受扭作用	145
6.6 其他钢筋混凝土水平结构	150
6.7 单向板肋梁楼盖设计案例	156
本章小结	167
思考题	168
第七章 钢筋混凝土垂直结构体系分析	169
7.1 受压构件综述	169
7.2 轴心受压构件	172

7.3 偏心受压构件	175
7.4 受压构件的综合分析	183
7.5 钢筋混凝土受拉构件	186
本章小结	187
思考题	188
 第八章 预应力混凝土结构原理与应用	189
8.1 预应力混凝土结构概述	189
8.2 施加预应力的方法	193
8.3 预应力混凝土的材料和锚具	194
8.4 预应力损失与张拉控制应力	196
8.5 预应力混凝土构件的一般构造	197
本章小结	200
思考题	200
 第九章 钢结构的基本构件与结构体系	201
9.1 钢结构的结构体系	201
9.2 钢结构的构件连接方式	203
9.3 钢结构构件的计算与构造	207
本章小结	213
思考题	213
 第十章 结构的地基与基础	214
10.1 地基的基本概念	215
10.2 土中应力的分布	218
10.3 土的压缩性与地基沉降	221
10.4 地基承载力	222
10.5 土坡的稳定问题	225
10.6 基础的设计原理	228
10.7 独立基础的设计计算	232
本章小结	234
思考题	235
 附录一：特定词语的解释	236

附录二：常用建筑材料的性能与相关计算规定·····	241
附录三：世界最高的建筑一览·····	245
参考书目·····	246

第一章 建筑结构的基本知识

学习导读

学习建筑结构的设计原理，就必须了解什么是结构，结构是如何构成的，结构在建筑中究竟起着什么作用，以及建筑物结构体系的基本要求是什么。这些概念表面看上去并不复杂，但一名资深的结构工程师与初学者对此类问题的理解是有着极大的差异的，当您已经阅读完这本书再回到这里时，相信和第一次阅读时的感受是不一样的。在这一章，不需要掌握深奥的理论，对于一时不能理解的问题也不必着急，随着学习的进展，就会慢慢的理解。重要的是，在这一章之后，您就会对您所居住的房子有了一些新认识。

关键概念

建筑结构 结构的作用 结构的组成 建筑对于结构的基本要求

建筑物与构筑物（桥梁、水坝）在人们的生产与生活中的作用是毋庸置疑的。为了保证这些建筑物与构筑物在各种自然的与人为的作用下，保持其自身的工作状态，如跨度、高度、稳定性等，必须有相应的受力、传力体系，这个体系就是所谓的结构。

建筑结构是构成建筑物并为使用功能提供空间环境的支撑体，承担着建筑物的重力、风力撞击、振动等作用下所产生的各种荷载；同时又是影响建筑构造、建筑经济和建筑整体造型的基本因素。

常见建筑物的梁、柱、板；桥梁的桥墩、桥跨；水坝、堤岸等就是结构，而人们在日常活动中看不到的基础也属于结构。有了结构，建筑物与构筑物就可以抵抗自然界与人为的各种作用，因此结构必须是安全的。在各种自然与人为的作用下结构必须保持其基本强度要求——不破坏；保持其基本刚度要求——不发生大的变形；保持其基本稳定要求——不出现整体与局部的倾覆。

1.1 结构的作用

从结构的最基本原则来看，结构要承受各种力与作用，从自然的到人为的，并把

这些力与作用传递到大地。

1.1.1 抵抗结构自身的自重作用

自重是地球上的任何物体均存在的基本物理特征,组成结构的材料也同样存在自重。尽管初学者在学习力学基础时,由于简化计算的需要,经常忽略结构的自重。实际上,建筑材料的比重(单位体积的重量)非常大,从而会使自重成为结构的主要荷载,在结构设计中根本不能忽略,如混凝土结构、砖石砌体结构等。

自重是均匀的分布在结构上的,因此自重在计算中经常被简化为均布性的竖直荷载,如梁板的计算。但也有时会为了计算简化的需要,在不影响整体结构受力效果的前提下,将自重简化为集中荷载,如在桁架的计算中,会将构件的自重简化为作用在节点上的集中力。

1.1.2 承担其他外部重力荷载

结构上的各种附加物,如设备、装饰物、人群等,均存在重量,上部结构对于下部结构来讲,也是附加的外部重力荷载,这些都需要下部结构来承担。结构需要承担各种外部重力形成的荷载作用,这是对结构的基本要求,也是单层结构发展为多层结构的前提。

结构所承担的重力荷载多种多样,根据建筑物的差异而不同。北欧地区冬季降雪量极大,因此雪荷载是该地区结构设计所要考虑的重要内容,这也是为什么这里的古典建筑大多是采用尖顶的原因。在下雪时,倾斜的屋面不会存下积雪,而避免建筑物在雪压下倒塌。而大型的加工车间在结构设计时,要考虑屋顶的积灰产生的重力荷载。

1.1.3 承担侧向力与作用

不仅仅是垂直力的作用,抵抗侧向力对于建筑物也是十分重要的。对于较低建筑物,侧向力并不构成主要的破坏作用。但是随着建筑物的增高,侧向力逐步取代垂直的重力作用,成为影响建筑物的主要作用。常见的侧向作用有风和地震作用。

风是由于空气的流动所形成的,由于建筑物对于风的流动会形成阻力,因此风也会对于建筑物形成推力。

地震时,地面会往复运动,产生侧向位移,由于惯性的原因,建筑物会保持原有的静止状态,因此地面与建筑物之间会形成运动状态的差异,从而形成侧向力的作用。与风不同,地震不是直接产生的力作用在建筑物上。

特定的构筑物由于要满足特殊的功能要求,除了风与地震外,还要承担特定的侧向力,如桥梁要承担车辆的水平制动力;水坝与堤岸要承担波浪的侧压力与冲击力;

挡土墙要承担土的侧压力等。在结构设计中,侧向力与作用是不能够忽视的,且多数侧向力与作用属于动荷载。

1.1.4 承担特殊作用

除了常规的力与作用外,建筑物可能由于特殊的功能或原因,承担特殊的作用。如我国北方冬季严寒、夏季酷热,温度变化范围可达 60°C 以上,冬季室内外温差也可以达到 50°C 以上,温度的变化产生的结构变形不协调是结构内力的重要原因。有的时候,建筑物的地基会产生沉陷,当沉陷不均匀时,也会使建筑产生破坏。结构设计者也要考虑这些特殊原因产生的影响,所设计的结构才是安全的。

1.2 结构的组成

结构是由构件经过稳固的连接而形成的,构件是结构直接承担荷载的部分,连接可以将构件所承担的荷载传递到其他构件上,并进而传递到结构基础上。

从一般的建筑来理解,结构有以下几个特定的组成部分:跨度构件、垂直构件、抗侧向力构件和基础。

1.2.1 形成跨度的构件与结构

建筑物内部要形成必要的使用空间,跨度是必不可少的尺度要求,没有跨度不可能形成内部的空间;没有跨度构件,各种跨度以上的垂直重力荷载不可能传至地面。

常见的跨度构件是梁。有了梁的作用,既可以保证梁下部的空间,又可以在其上部形成平面,从而可以形成第二层的人工空间。梁是轴线尺度远远大于截面尺度的构件,在计算时可以将其简化为截面尺度为零的构件。侧向正交力是梁的基本受力特征,弯曲是梁的基本变形特征。板是梁水平侧向尺度的变异性构件,其原理和作用与梁基本相同,只是板由于尺度与约束的共同作用,体现出明显的空间特征时,其计算原理才会稍有变化。

桁架、拱以及悬索属于特殊的形成跨度的构件与结构,这些结构与构件不是以受弯为基本特征的。在大跨度结构中,梁的弯曲效应过大,对于结构与使用均非常不利,因此大多采用桁架、拱以及悬索等不会形成较大挠度的结构形式。

1.2.2 垂直传力的构件与结构

当跨度构件形成空间并承担相应的重力荷载时,其两端必然形成对于其他构件的向下压力作用,这种压力作用需要传递至地面;同时,任何空间都需要高度方向的尺

度,必须有相应的构件形成这种高度要求,这就是垂直传力构件或结构。

常见的垂直传力构件或结构是柱。常规来讲,柱的顶端是梁,梁将其承担的垂直作用传给柱;柱的下部是基础,将作用传递至地面。当然,柱的下部也可以是柱,从而形成多层建筑。在特殊的情况下,柱的下部也可以是梁,一般称之为托梁,托梁将其上柱的垂直力向其两端分解传递。

柱的轴线尺度也远远大于截面尺度,在计算时也可以将其简化为截面尺度为零的构件,轴向力是柱的基本受力特征,同时由于轴向力的偏心影响,柱会同时受弯。墙是柱水平侧向尺度的变异性构件,其垂直方向的受力原理和作用与柱基本相同,但是由于墙的侧向尺度的影响,使其在较大侧向尺度方向上的刚度很大,从而具有良好的抵抗侧向变形的能力,这是柱所不具备的。

1.2.3 抵抗侧向力的构件与结构

建筑物内部要有相应的构件或结构,来抵抗侧向力或者作用。常见的抵抗侧向力的构件是墙,由于侧向尺度较大,墙的侧向刚度也较大,抗侧移能力较强,可以有效抵御侧向变形与荷载。更重要的是墙可以直接与地面相连接,从而使建筑物形成整体的刚度空间。

楼板的侧向刚度也较大,但板并不直接与地面相连,板只能够将建筑物在板所在的平面内形成刚性连接体,而不能如墙一样使建筑物不同层间形成刚度。

除了墙以外,柱与柱之间可以利用支撑来形成抵抗侧向变形的结构,在许多全部采用钢材的建筑中,这种支撑是必不可少的,其作用与墙是相同的。

1.2.4 基础

基础是人工结构的最下部,是将建筑物上部的各种荷载与作用传递至地面的重要部分,没有基础,建筑物就是空中楼阁。由于建筑物所承受的各种荷载与作用,基础也要承担垂直力、水平侧向力、弯曲作用等复杂的作用。基础必须向地面以下埋置一定的深度,以确保建筑物的整体稳定性。但有时由于建筑物埋置深度较深,而建筑物本身自重并不大,地下水可能将建筑物浮起来,如地下车库,因此需要基础具有抗浮(拔)功能。

并不是建筑物地面以下的部分都是基础,大多数情况下,地下室空间并不是基础,可以列为结构的一部分。只有当地下空间必须依靠整体作用,才能形成所必需的作为基础的功能时,地面以下才全部属于基础,这种基础通常称为“箱形基础”。其他常见的基础有桩、筏板、梁、墩台、独立基础等,是根据其形状与受力原理进行分类的。

地基是基础以下的持力土层或岩层,是上部荷载最终的承接者。因此,地基必须