

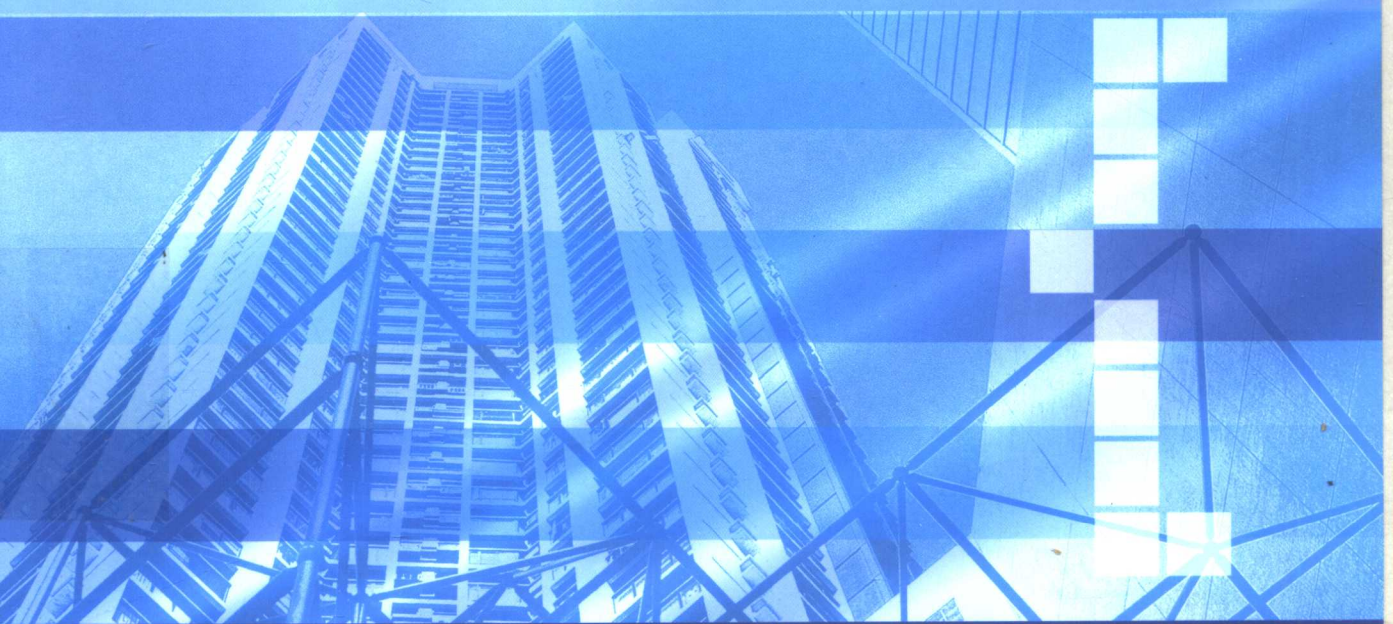


“十一五”高等学校通用教材（建筑类）

结构力学

JIEGOU LIXUE

● 杨国义 主编



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

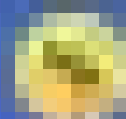
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

结构力学

JI GOU LI XUE

第 2 版

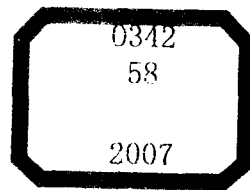
李国雄 主编



清华大学出版社



“十一五”高等学校通用教材（建筑类）



Jiegou Lixue

结构力学

杨国义 主编



中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

结构力学/杨国义主编. —北京: 中国计量出版社, 2007. 2

“十一五”高等学校通用教材 (建筑类)

ISBN 978-7-5026-2592-4

I. 结… II. 杨… III. 结构力学—高等学校—教材 IV. O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 016888 号

内 容 提 要

本教材是按照教育部力学课程教学指导委员会拟定的“结构力学课程教学基本要求”编写的。全书共十二章, 主要内容包括: 静定结构计算、力法、位移法、渐进法、矩阵位移法、结构的动力计算、结构稳定计算及极限荷载分析等。

本书的特点是力学理念清晰, 以结构力学的基本概念、基本原理和基本方法为主线, 从学习过程中的认知规律出发, 结合教学经验, 在整体上建构合理, 在各部分内容的讨论中阐述透彻、准确、简练, 联系实际, 注重分析, 叙述通俗, 思路清晰, 易读易懂, 能使学生在相对少的时间内较好地掌握和运用本课程的概念、理论和方法分析、解决工程实际问题。

本书可作为普通高等学校土木、道路桥梁、船舶、水利等专业的教材, 也可作为相关专业工程技术人员参考书。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号 (邮编 100013)
电 话 (010) 64275360
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 北京市迪鑫印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 28.75
字 数 690 千字
版 次 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷
印 数 1—3 000
定 价 48.00 元

如有印装质量问题, 请与本社联系调换
版权所有 侵权必究

教材编委会

主任 赵惠新 刘国普

副主任 刘宝兰 景海河 丁琳 薛志成 杨国义

委员 (按姓氏笔画排序)

于秀娟 邓一兵 王福彤 付伟庆 左宏亮

左敬岩 孙林 刘汉青 吕名云 齐伟军

刘俊玲 乔雅敏 安静波 陈勇 李小勇

杜永峰 李国东 宋国利 李绍峰 张春玉

李保忠 张俊杰 张智均 张新全 张燕坤

周莉 杨璐 郦伟 胡焜 赵文军

赵延林 姜连馥 高建岭 徐晓红 钱晓丽

程楨 董连成 程选生 潘睿 谭继亮

策划 刘宝兰 李保忠

— 本 书 编 委 会 —

主 编 杨国义

副主编 安英浩

程选生

唐 明

编 委 (按姓氏笔画排序)

李军卫

孟 莉

胡金萍

编写说明

近年来,建筑业的快速发展对整个社会经济起到了良好的推动作用,尤其是房地产业和各项基础设施建设的深入开展与逐步完善,使国民经济逐步走上了良性发展的道路。与此同时,建筑行业自身的结构性调整也在不断进行,这种调整使其对本行业的技术水平、知识结构和人才特点提出了更高的要求。为此,教育部对普通高校“建筑类”各专业的设置和教材也多次进行了相应的调整,使“建筑工程”和“交通土建工程”等相关专业逐步向“土木工程”转化,“十一五”期间,这种转化将进一步得到完善,这将使“土木工程”的内涵大大拓宽。所以,编写高等院校建筑类各专业所需的基础课和专业课教材势在必行。

针对这些变化与调整,由中国计量出版社牵头组织了“十一五”高等学校通用教材(建筑类)的编写与出版工作,该套教材主要适用于应用型人才培养院校的土木工程、工程管理、道路与桥梁、交通土建以及水利工程等相关专业。该学科具有发展迅速、技术应用性强的特点,因此,我们有针对性地组织了黑龙江科技学院、黑龙江大学、兰州理工大学、北方工业大学、黑龙江工程学院、广东惠州学院、深圳大学、哈尔滨工程大学、东北林业大学、大庆石油学院、大连大学、哈尔滨学院以及黑龙江东方学院等45所相关高校中兼具丰富工程实践和教学经验的专家学者担当各教材的主编与主审,从而为我们成功推出该套框架好、内容新、适应面广的好教材提供了必要的保障,以此来满足建筑类各专业高等教育的不断发展和当前全社会范围内建设工程项目安全体系建设的迫切需要;这也对培养素质全面、适应性强、有创新能力的高技术专门人才,进一步提高建筑工程类各专业教材的

编写水平起到了积极的推动作用。

针对应用型人才培养院校建筑类各专业的实际教学需要,本次教材的编写尤其注重了理论体系的实用性与前沿性,不仅将建筑工程领域科技发展的新理论合理融入教材中,使读者通过教材的学习可以深入把握国际建筑业发展的全貌,而且使学生通过学习能将教材中的理论迅速应用于工程实践,这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。相信该套教材的成功推出,必将会推动我国建筑工程类高校教材体系建设的逐步完善和不断发展,从而对国家的新世纪人才培养战略起到积极的促进作用。

教材编委会

2007年1月

前 言

• FOREWORD •

本书是按照教育部力学课程教学指导委员会拟定的“结构力学课程基本要求”编写的，适用于以培养应用型人才为主的高等院校土木工程、道路桥梁、水利、矿业等专业，也可以作为上述专业职业教育和工程技术工作者的参考书。近10年来，我国高等教育有了长足的发展，各院校在人才培养目标上的定位和特色也逐渐明确。编写此教材的初衷就是考虑市场对人才多元化的需求及高等院校人才培养目标多元化的格局，要求一批定位得当的教材以满足不同培养目标的高等院校的教学需求。

本教材在编写的过程中，力求把握课程的特点和定位，依照培养应用型人才的目标；选择内容时在符合大纲要求的原則下力求“少而精”，减少不必要的数学推演，把握好基本知识点，加强基本概念、基本理论、基本方法（简称“三基”）的讨论；从学习过程中的认知规律出发，结合教学经验，从整体上理顺构架，既要建构合理的系统性和完整性，又要减少重复，避免与后续课程脱节；在内容的取舍、整合、编写上删繁就简，突出基本理论和基本方法主线；文字阐述

上力求清晰、准确、简练，联系实际，注重分析，叙述通俗，思路清晰，易读易懂，能使学生在相对少的时间内较好地掌握和运用本课程的概念、理论和方法分析、解决工程实际问题。为了达到上述目的，本书适当增加了例题和习题的数量与深广度及例题的分析内容。例题的选择注意典型性、代表性、对基本概念涵盖性，以利基本理念的领悟和掌握。

全书共十二章，分为静定结构、超静定结构和专题三篇。

本书的第一、二、四、五、八、十、十二章由黑龙江东方学院杨国义编写；第三章由广东省惠州学院唐明编写；第六、七章由黑龙江大学安英浩编写；第九、十一章由兰州理工大学程选生编写。黑龙江东方学院的胡金萍、李军卫、孟莉承担了部分素材的收集、书稿校对和部分习题的选编与解算的工作。

本教材在编写过程中得到了黑龙江东方学院吴振声教授、张跃良教授等专家的指导和支持，在此深表感谢。

限于编者水平和时间的仓促，书中错漏之处在所难免，诚望广大教师和读者批评指正。

编 者

2007年3月

目 录

• CONTENTS •

第一章 绪论	(1)
第一节 结构力学的研究对象和任务	(1)
第二节 结构的计算简图及简化要点	(4)
第三节 荷载的分类	(10)
思考题与习题	(10)
第二章 平面体系的几何组成分析	(12)
第一节 概述	(12)
第二节 平面体系的自由度·计算自由度·零载法	(12)
第三节 几何不变体系的简单组成规则	(21)
第四节 瞬变体系的概念	(23)
第五节 简单平面体系的几何组成分析	(27)
小结	(31)
思考题与习题	(32)

第一篇 静定结构

第三章 静定结构的受力分析	(39)
第一节 单跨和多跨静定梁	(40)
第二节 静定平面刚架	(51)
第三节 三铰拱	(61)
第四节 静定平面桁架	(72)
第五节 组合结构	(87)
第六节 静定结构特性	(90)
小结	(93)
思考题与习题	(95)

第四章 虚功原理和结构的位移计算	(107)
第一节 概述	(107)
第二节 虚功原理及其在刚体体系位移计算中的应用	(108)
第三节 虚功原理在结构位移计算中的应用	(111)
第四节 静定结构在荷载作用下的位移计算	(116)
第五节 荷载作用下结构位移计算的图乘法	(122)
第六节 静定结构位移计算的一般公式	(126)
第七节 互等定理	(129)
小结	(133)
思考题与习题	(135)

第五章 静定结构的影响线	(140)
第一节 移动荷载和影响线的概念	(140)
第二节 静力法作影响线	(141)
第三节 结点荷载作用下梁的影响线	(149)
第四节 静力法作桁架结构的影响线	(152)
第五节 机动法作静定梁的影响线	(154)
第六节 影响线的应用	(157)
第七节 铁路·公路的标准荷载制和换算荷载	(166)
第八节 简支梁的包络图和绝对最大弯矩	(170)
小结	(173)
思考题与习题	(173)

第二篇 超静定结构

第六章 力法	(181)
第一节 超静定结构的概念与超静定次数	(181)
第二节 力法原理和力法典型方程	(184)
第三节 力法计算示例	(188)
第四节 对称性的利用	(196)
第五节 两铰拱的计算	(203)
第六节 支座移动和温度改变时超静定结构的计算	(207)
第七节 超静定结构的位移计算和最后内力图的校核	(213)
第八节 单跨超静定梁在外因作用下的杆端力	(216)
小结	(219)
思考题与习题	(220)

第七章 位移法	(226)
第一节 位移法的基本概念	(226)
第二节 等截面直杆的刚度方程	(230)
第三节 无侧移刚架的计算	(233)
第四节 有侧移刚架的计算	(235)
第五节 位移法的基本体系与典型方程	(238)
第六节 对称性的利用	(245)
第七节 支座移动和温度改变时的计算	(248)
小结	(252)
思考题与习题	(252)
第八章 渐进法	(256)
第一节 力矩分配法的基本概念	(256)
第二节 多结点的力矩分配	(261)
第三节 对称结构的计算	(263)
第四节 无剪力分配法	(264)
第五节 无剪力分配法的推广	(270)
第六节 剪力分配法	(273)
小结	(275)
思考题与习题	(276)
第九章 矩阵位移法	(280)
第一节 概述	(280)
第二节 单元刚度矩阵	(281)
第三节 连续梁的整体刚度矩阵	(287)
第四节 刚架的整体刚度矩阵	(294)
第五节 等效结点荷载	(297)
第六节 用先处理法计算平面刚架	(300)
第七节 忽略轴向变形时矩形刚架的整体分析	(305)
第八节 桁架的整体分析	(308)
小结	(313)
思考题与习题	(314)

第三篇 专 题

第十章 结构的动力计算	(319)
第一节 概述	(319)

第二节	单自由度体系的自由振动	(322)
第三节	单自由度体系的强迫振动	(326)
第四节	阻尼对振动的影响	(334)
第五节	多自由度体系的自由振动——刚度法	(342)
第六节	多自由度体系的自由振动——柔度法	(351)
第七节	多自由度体系主振型的正交性和主振型矩阵	(359)
第八节	多自由度体系在简谐荷载下的强迫振动	(363)
第九节	无限自由度体系的自由振动	(370)
第十节	近似法求自振频率	(372)
	小结	(381)
	思考题与习题	(384)
第十一章	结构弹性稳定计算	(388)
第一节	概述	(388)
第二节	用静力法确定等截面压杆的临界荷载	(390)
第三节	用静力法确定变截面压杆的临界荷载	(392)
第四节	用能量法确定临界荷载	(395)
第五节	等截面直杆稳定	(399)
第六节	组合压杆稳定	(402)
第七节	刚架稳定	(407)
	小结	(411)
	思考题与习题	(411)
第十二章	结构的极限荷载	(414)
第一节	概述	(414)
第二节	静定梁的极限荷载	(416)
第三节	超静定梁的极限荷载	(421)
第四节	比例加载时判定极限荷载的一般定理	(426)
第五节	刚架的极限荷载	(428)
	小结	(432)
	思考题与习题	(432)
	习题参考答案	(435)
	主要符号表	(444)
	主要参考文献	(446)

第一章 绪 论

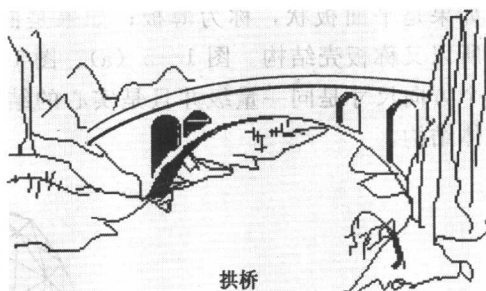
第一节 结构力学的研究对象和任务

一、结构

在生产和生活中随处可遇各种各样的建筑物、构筑物和设备，例如房屋、桥梁、塔台、厂房以及车、船、飞机（图 1—1～图 1—5）等，但是在这些建筑物或设备中，并不是每一部分都承受荷载，例如房屋的门、窗、排水设施及维护、隔墙，电视塔的避雷设施等，都不是用于承受荷载的，而梁、柱、楼梯、剪力墙等则是起承受荷载作用的。凡是在建筑物或设备中承受荷载而起骨架作用的部分，统称为结构。结构一般是由多个杆件联结而成的，如桁架、框架、多跨静定梁等。最简单的结构是单个杆件，如梁、柱等。



图 1—1



拱桥

图 1—2

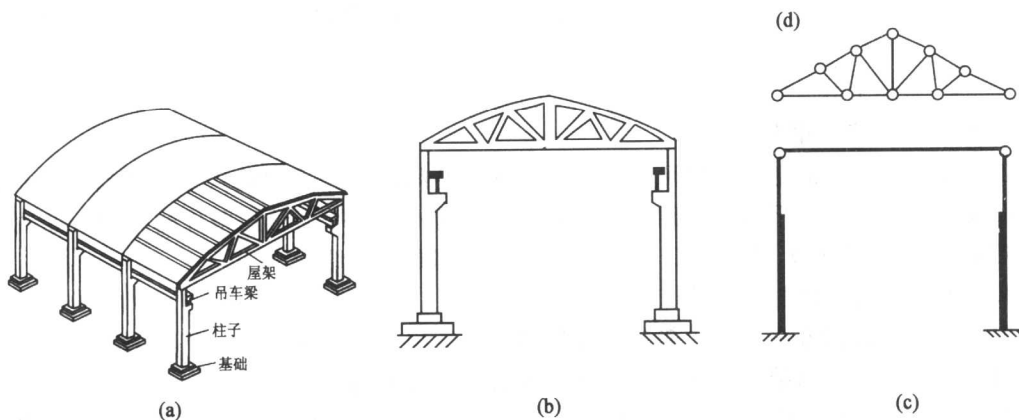


图 1—3

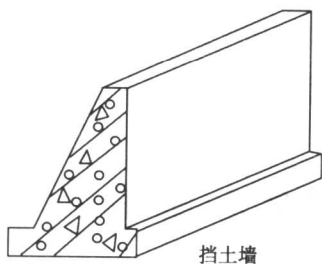
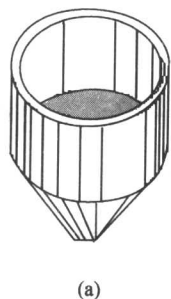


图 1—4



水槽

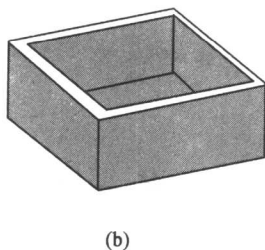


图 1—5

二、工程结构的分类

工程结构的种类繁多,为了研究和表述方便,可从不同的角度对其进行分类。常见的分类方式有:

1. 按几何特征分类

工程结构按几何特征可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构三类。**杆件结构**是由若干杆件组成的,如图 1—6 和图 1—7 所示的桁架、图 1—8 所示的刚架等都是杆件结构;**薄壁结构**是由薄壁构件组成的。薄壁构件的几何特征是其厚度远远小于其他两个方向的尺寸。薄壁构件如果是平板状,称为薄板;如果是曲面形状,称为壳。薄壁结构都是由板、壳组成的,所以又称板壳结构。图 1—5 (a)、图 1—5 (b) 所示的水槽就是薄壁结构;**实体结构**是指三个方向尺寸是同一量级并且是实心的结构,如图 1—4 所示的挡土墙、水库的堤坝等都是实体结构。

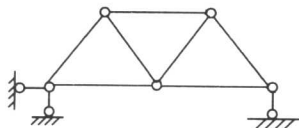


图 1—6

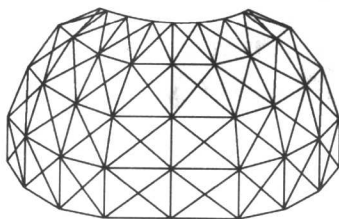


图 1—7

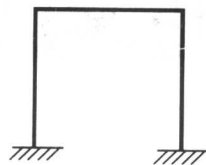


图 1—8

2. 按结构的形状分类

工程结构按结构的形状可分为平面结构和空间结构。平面结构是指所有构件的轴线或中面及荷载均在同一平面内的结构;空间结构泛指不具备平面结构条件的结构,如图 1—7 中的桁架和图 1—5 (a)、图 1—5 (b) 所示的水槽都是空间结构。

3. 按计算方法分类

工程结构按计算方法可分为静定结构和超静定结构。凡是依靠静力平衡方程就能求得反力、内力等全部解答的结构称为静定结构;反之,则称为超静定结构。

本书的研究对象只限于平面杆件结构。这里所说的平面杆件结构包括空间杆件结构简化以后的计算模型。薄壁结构和实体结构属于弹性力学的研究范畴。

三、杆件结构的分类

杆件结构通常可分为下列几类：

1. 梁

梁是由受弯构件组成的结构，其轴线通常为直线。梁可以是单跨的，也可以是多跨的。最简单的单跨静定梁只有三种形式，即简支梁、伸臂梁和悬臂梁，如图 1—9 (a)、图 1—9 (b)、图 1—9 (c) 所示。任何复杂的多跨静定梁都是由这三种简单静定梁组合而成。因此，单跨静定梁也是多跨静定梁的计算基础。

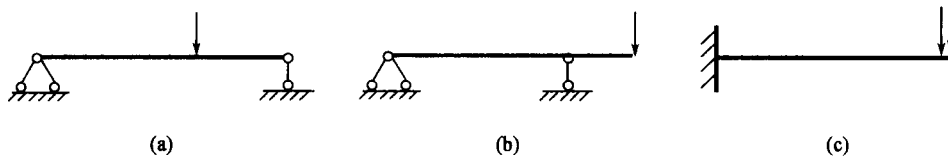


图 1—9

2. 拱

拱的轴线为曲线，其力学特点是在竖向荷载的作用下，有水平支反力（推力）产生，如图 1—10 所示。拱的这些特点可以使其受力更加合理。

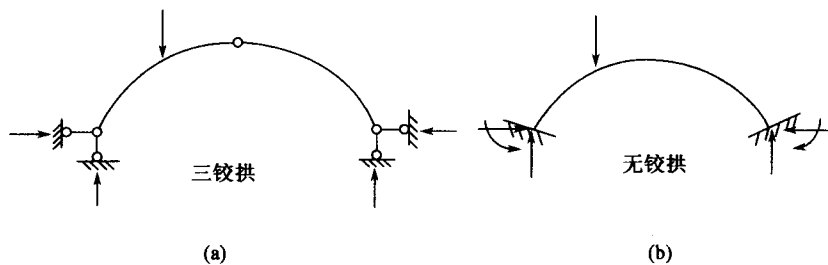


图 1—10

3. 桁架

桁架是由直杆组成的，所有的结点都是光滑铰结点，所有的荷载都作用在结点上。图 1—6、图 1—7 为桁架的示意图。

4. 刚架

刚架是由直杆组成并且具有刚结点结构，如图 1—8 所示的结构。

5. 组合结构

这是由桁架与梁或刚架组合而成的结构，如图 1—11 所示。组合结构中含有组合结点。

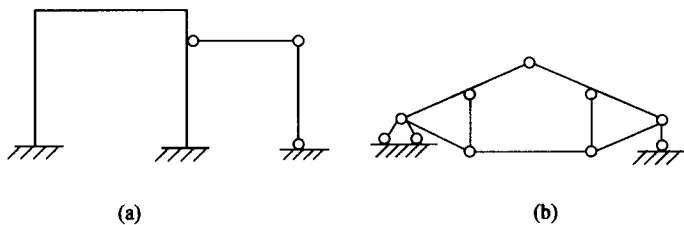


图 1—11