



“十一五”高等学校通用教材（建筑类）

# 材料力学

CAILIAO LIXUE

● 杨国义 主编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



“十一五”高等学校通用教材(建筑类)

---

Cailiao Lixue

---

# 材料力学

杨国义 主编



中国计量出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

材料力学/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 978-7-5026-2591-7

I. 材… II. 杨… III. 材料力学-高等学校-教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 016889 号

## 内 容 提 要

本书为土木工程专业“十一五”系列教材,是根据 1998 年国家教育部委托召开的高等学校工科学教材会议上讨论的土建类专业多学时“材料力学课程基本要求”编写的。适用于以培养应用型人才为主的高等院校中土木工程、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。

全书共分 15 章。内容包括轴向拉(压),剪切和联接的实用计算,扭转,截面图形的几何性质,平面弯曲,简单超静定问题,计算弹性位移的能量法,应力状态分析和强度理论,组合变形,压杆稳定,动载荷和交变应力,考虑材料塑性的极限分析等。

---

## 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 迁安万隆印刷有限责任公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 26.25

字 数 627 千字

版 次 2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

印 数 1—3 000

定 价 46.00 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	郗伟	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

编 委 (按姓氏笔画排序)

副主编 唐 明

李军卫

柳艳杰

孟 莉

李淑英

胡金萍

张 斌 王 明 王 明 王 明 王 明  
 李 明 李 明 李 明 李 明 李 明  
 王 明 王 明 王 明 王 明 王 明  
 李 明 李 明 李 明 李 明 李 明  
 王 明 王 明 王 明 王 明 王 明  
 李 明 李 明 李 明 李 明 李 明  
 王 明 王 明 王 明 王 明 王 明  
 李 明 李 明 李 明 李 明 李 明  
 王 明 王 明 王 明 王 明 王 明  
 李 明 李 明 李 明 李 明 李 明

忠 烈 李 兰 定 欣 殷 策

# 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 •

本书是根据1998年国家教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议上讨论的土建类专业多学时“材料力学课程基本要求”编写的。适用于以培养应用型人才为主的高等院校中土木工程、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分工也逐渐明确。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学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。

作为工程专业一门重要基础科学教材,它肩负着双重责任。首先,它要为后续课、专业课的学习打下坚实的力学基础;同时,作为教学的重要工具,通过对材料力学研究问题、分析问题的方法和思维逻辑的剖析,起到有益于提高学生的专业素质和能力素质的作用。

本教材作者在编写此书的过程中,力求把握课程的特点和地位,依照培养应用型人才的目标,内容的选择遵循“少而精”的原则,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,易懂,能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。为了有利于对基本理论和方法的理解和巩固,例题和习题的选择注意典型性、代表性、对基本概念涵盖性。

全书共分15章。其中,第一章到第十二章为材料力学的基本内容,包括杆件的基本变形、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆稳定和简单超静定问题,第十三章为计算弹性位移的能量法,第十四章为动荷载和交变应力,第十五章为考虑材料塑性的极限分析。将超静定问题单列一章,一是考虑减少篇幅,二是有利于强化对超静定问题求解的基本理念的理解。第十五章介绍了杆件基本变形中塑性分析的基本概念和方法,以期对工程结构设计中应用日趋广泛的塑性极限分析理论有一基本了解。

书中带“\*”号的章节可作为选学内容。

本书的第一、二、九、十一、十三、十四、十五章由黑龙江东方学院杨国义编写;第四、六章由广东省惠州学院唐明编写;第三、十、十二章由黑龙江大学柳艳杰编写;第五、七、八由黑龙江工程学院李淑英编写。黑龙江东方学院的胡金萍、李军卫、孟莉担负了部分素材的收集、书稿校对和部分习题的选编与解算。

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,本书一定存在诸多疏漏、不妥乃至错误,诚望广大教师和读者在使用本书后给我们提出宝贵意见,以利及早改进。

编者

2007年1月

# 目 录

## • CONTENTS •

<b>第一章 绪论及基本概念</b> .....	(1)
第一节 材料力学的基本任务 .....	(1)
第二节 变形固体的概念及其基本假设 .....	(2)
第三节 内力 截面法 应力 .....	(5)
第四节 位移和应变的概念 .....	(8)
第五节 杆件及其变形的基本形式 .....	(10)
小结 .....	(11)
思考题与习题 .....	(11)
<b>第二章 轴向拉伸与压缩</b> .....	(13)
第一节 轴向拉伸和压缩的概念及实例 .....	(13)
第二节 轴力 轴力图 .....	(13)
第三节 轴向拉(压)杆中的应力 .....	(16)
第四节 拉(压)杆的变形 胡克定律 .....	(19)
第五节 轴向拉(压)杆件的应变能 .....	(24)
第六节 材料拉伸和压缩时的力学性能 .....	(26)
第七节 强度条件 安全因数 许用应力 .....	(33)
第八节 应力集中的概念 .....	(37)
第九节 内外压作用下薄壁圆筒和薄壁球壳的应力计算 .....	(38)

小结 .....	(40)
思考题与习题 .....	(42)
<b>第三章 剪切和联接的实用计算</b> .....	<b>(48)</b>
第一节 剪切的概念和实例 .....	(48)
第二节 剪切和挤压的实用计算 .....	(49)
第三节 铆钉连接的计算 .....	(54)
小结 .....	(60)
思考题与习题 .....	(61)
<b>第四章 扭转</b> .....	<b>(66)</b>
第一节 概述 .....	(66)
第二节 扭转外力及内力 .....	(68)
第三节 薄壁圆筒的扭转 .....	(72)
第四节 等直圆轴扭转时的应力 强度条件 .....	(75)
第五节 等直圆杆扭转时的变形 刚度条件 .....	(82)
第六节 圆杆扭转时的应变能 .....	(85)
第七节 矩形截面杆自由扭转时的应力和变形计算 .....	(87)
第八节 开口和闭口薄壁截面杆自由扭转时的应力和变形 .....	(90)
小结 .....	(95)
思考题与习题 .....	(97)
<b>第五章 截面的几何性质</b> .....	<b>(103)</b>
第一节 静矩和形心 .....	(103)
第二节 惯性矩 惯性积 极惯性矩 .....	(106)
第三节 惯性矩和惯性积的平行移轴公式及转轴公式 .....	(109)
第四节 组合截面的形心主惯轴和形心主惯矩 .....	(113)
小结 .....	(115)
思考题与习题 .....	(116)

<b>第六章 梁的内力</b> .....	(121)
第一节 平面弯曲的概念及梁的计算简图 .....	(121)
第二节 梁的内力、剪力图和弯矩图 .....	(125)
第三节 弯矩、剪力、荷载集度间的微分关系 .....	(135)
第四节 叠加法作弯矩图 .....	(140)
小结 .....	(144)
思考题与习题 .....	(144)
<b>第七章 梁的应力和强度计算</b> .....	(153)
第一节 梁的正应力 .....	(153)
第二节 横力弯曲梁横截面上的切应力 .....	(160)
第三节 梁的弯曲强度 .....	(167)
第四节 梁的合理设计 .....	(170)
第五节 弯曲中心的概念 .....	(175)
小结 .....	(177)
思考题与习题 .....	(178)
<b>第八章 梁的变形</b> .....	(185)
第一节 概述 .....	(185)
第二节 梁的挠曲线近似微分方程 .....	(186)
第三节 积分法计算梁的位移 .....	(187)
第四节 叠加法计算梁的位移 .....	(191)
第五节 共轭梁法计算梁的位移 .....	(196)
第六节 梁的刚度校核 .....	(199)
第七节 梁的弯曲应变能 .....	(200)
小结 .....	(201)
思考题与习题 .....	(202)
<b>第九章 简单的超静定问题</b> .....	(208)
第一节 超静定问题及其解法 .....	(208)

第二节	拉压超静定梁 .....	(209)
第三节	扭转超静定问题 .....	(212)
第四节	简单超静定梁 .....	(214)
小结	.....	(217)
思考题与习题	.....	(218)
<b>第十章</b>	<b>应力状态和强度理论 .....</b>	<b>(224)</b>
第一节	应力状态的概念 .....	(224)
第二节	平面应力状态分析 .....	(225)
第三节	主应力迹线的概念及应用 .....	(235)
第四节	空间应力状态 .....	(237)
第五节	复杂应力状态下的应力和应变之间的关系 .....	(239)
第六节	复杂应力状态下的应变能密度 .....	(243)
第七节	强度理论 .....	(244)
第八节	莫尔强度理论 .....	(248)
第九节	各种强度理论的应用 .....	(250)
小结	.....	(253)
思考题与习题	.....	(254)
<b>第十一章</b>	<b>杆件组合变形的强度计算 .....</b>	<b>(261)</b>
第一节	概述 .....	(261)
第二节	斜弯曲 .....	(261)
第三节	拉伸(压缩)与弯曲 .....	(266)
第四节	截面核心 .....	(271)
第五节	扭转与弯曲 .....	(274)
小结	.....	(277)
思考题与习题	.....	(278)
<b>第十二章</b>	<b>压杆稳定 .....</b>	<b>(284)</b>
第一节	压杆稳定性的概念 .....	(284)

第二节	细长中心受压直杆临界力的欧拉公式	(285)
第三节	临界应力 欧拉公式的适用范围 临界应力总图	(291)
第四节	压杆稳定性条件及实用计算	(295)
第五节	提高压杆稳定性的措施	(298)
小结		(299)
思考题与习题		(300)
<b>第十三章</b>	<b>能量法基础</b>	<b>(305)</b>
第一节	概述	(305)
第二节	摩尔积分法计算位移	(305)
第三节	计算摩尔积分的图乘法	(311)
第四节	卡氏定理	(313)
第五节	用能量法求解超静定问题	(315)
小结		(318)
思考题与习题		(319)
<b>第十四章</b>	<b>动荷载 交变应力</b>	<b>(323)</b>
第一节	概述	(323)
第二节	简单惯性力问题	(323)
第三节	构件受冲击时的应力和变形计算	(329)
第四节	交变应力和疲劳破坏的概念	(336)
第五节	对称循环下材料持久极限的测定	(340)
第六节	影响构件持久极限的因素	(342)
第七节	钢结构构件及其连接的疲劳强度计算	(346)
小结		(351)
思考题与习题		(352)
<b>第十五章</b>	<b>考虑材料塑性的极限分析</b>	<b>(360)</b>
第一节	塑性变形 塑性极限分析的假设	(360)
第二节	拉压杆系的极限荷载	(363)

第三节 等直圆杆扭转时的极限荷载 .....	(365)
第四节 梁的极限弯矩 塑性铰 .....	(368)
第五节 超静定梁的极限荷载 .....	(374)
小结 .....	(377)
思考题与习题 .....	(377)
<b>附录 型钢表 .....</b>	<b>(381)</b>
<b>思考题与习题答案 .....</b>	<b>(390)</b>
<b>主要符号表 .....</b>	<b>(402)</b>
<b>主要参考文献 .....</b>	<b>(405)</b>



# 第一章 绪论及基本概念

## 第一节 材料力学的基本任务

### 一、工程构件正常工作的基本条件

各种机械、建筑和结构物等都是由若干单个组件构成的,工程中统称这些单个组件为构件。构件在机械或结构中的作用是承受和传递外力。例如,汽车作用于桥梁上的力,吊起的重物作用于起重机械臂上的力等等。这些主动作用于构件上的外力在工程中统称为荷载。由于构件受到荷载作用时是要产生变形的,所以构件的承载能力是有限的,当荷载超过一定数值时构件就不能再正常工作。例如,房屋中的楼板梁,当受到的荷载过大时就可能断裂,汽车的传动轴荷载过大时有可能产生塑性变形(力取消以后不能再恢复的变形),这两种情况统称为破坏;再如,机床主轴在荷载作用下即便没有发生断裂或塑性变形,但若弹性变形(力取消以后能够消除的变形)过大,也不能保证加工精度;还有,某些构件,如矿井里的支柱,荷载增加到一定大小时平衡形式会发生变化,这种现象称为失稳。无论是破坏、产生过大的弹性变形、还是失稳,构件都不能正常工作,都是工程上所不能允许的。由上述讨论可知,要使构件能够正常工作,必须具备以下三个基本条件。

(1)具有足够的抵抗破坏的能力,工程上称为有足够的强度。

强度以高、低而论,强度高是指能够承受较大的荷载而不易破坏,生活中亦称之为坚固,反之,则称强度低。足够的强度,即构件能够安全地承受所要求的荷载,而不致发生断裂或产生严重的永久变形。

(2)具有足够的抵抗弹性变形的能力,工程上称为有足够的刚度。

刚度以大、小而论,刚度大是指在荷载作用下不易变形,反之,则称刚度小。足够的刚度,即在要求荷载的作用下,构件的最大变形不超过工程所容许使用的范围。

(3)具有足够的保持原有平衡形态的能力,工程上称为有足够的稳定性。

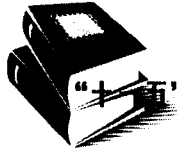
稳定性以好、差而论。稳定性好是指能够承受较大的荷载而又能保持原有的平衡形式,反之则称稳定性差。足够的稳定性,即在要求荷载的作用下,构件足以保持原有的平衡形式。

足够的强度、足够的刚度、足够的稳定性是工程构件正常工作的三个基本条件,这三个条件是彼此独立的,相互不能代替,但对结构中不同的构件可以有主次之分。例如,拉杆就不存在稳定性问题,而对细长压杆,稳定性则是其正常工作的最主要条件。

### 二、材料力学的任务

如何保证构件具备正常的工作条件,是工程构件设计中必须解决的问题。直观的经验给人的感觉,似乎选用好材料或增加横向尺寸可以达到目的,其实这是没有根据的。例如,对用





普通碳钢制成的细长压杆,想要通过选用高级钢提高其稳定性,几乎无济于事;再例如,要增加汽车大梁的承载能力,想以截面积较大的实心钢梁代替原来的槽形钢梁,也不一定奏效。然而,如果盲目地这样做,却可能使工程造价提高很多,而造出的东西又不适用,可见经验还不是科学。科学的作用在以揭示事物的本质和内在规律,使问题得到合理地解决。在材料力学中,“合理”的含义是“既安全可靠,又经济适用”。这是一对矛盾。我们不可能忽视安全,那是不容许的;我们也不可能不考虑经济,忽视经济也是不容许的。正确解决这对矛盾的科学的理论和方法就是材料力学,因为材料力学是研究材料和构件的力学性质的科学。

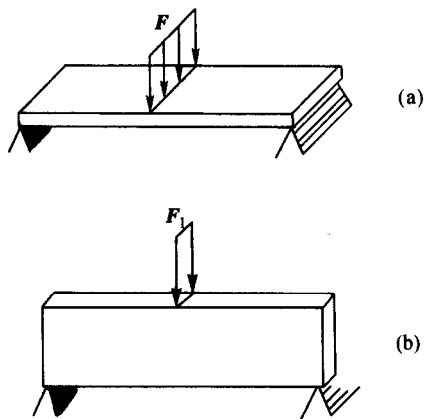


图 1—1

实践中我们会注意到,许多时候并不需要增加构件的横向尺寸或更换好的材料,就可以使其承载能力大大提高。例如,一块狭长矩形截面板,如果按图 1—1(a)所示方式平放在支座上,它能承受的荷载  $F$  并不大。可是,若将其按图 1—1(b)所示的方式侧放,它的承载能力就可以提高许多。再例如,一块竖立在地面上的平板的稳定性是很差的,承载能力也很小,但若将其做成圆筒,它的承载能力可以提高很多倍,所以在高层建筑中常常采用筒式结构。还有,铁轨的截面为什么是工字形的,汽车的传动轴为什么是空心的,起重机的臂,截面为什么是箱形的等等。诸如此类的例子在工程中随处可见,这其中包含着诸多的材料力学的原理和方法。

综上所述,材料力学是运用辩证唯物论的观点和多个学科的基础知识(如物理、力学、数学等),在科学研究和生产实践的基础上发展起来的一门研究构件抗力性能的科学。它的主要任务就是从保证构件能够正常工作的要求出发,研究并提供有关强度、刚度、稳定性方面的理论和计算方法。帮助我们合理地选择构件的材料和形状,确定所需要的尺寸;判断已有构件是否能够正常使用,并考虑如何改进以适应新的要求。

构件的强度、刚度、稳定性主要是由材料的力学性能,构件的形状、尺寸,以及荷载的大小、方向、位置所决定的,学习中对这些要有全面的理解才能更好地掌握和运用。

还应强调,材料力学不是纯理性的科学,它与工程实际有着密切联系,它的研究方法包括实践(验)、理论、再实践、再理论的循环发展的全过程。其中,实验研究是材料力学赖以发展的重要方面和分支,有些问题尚无理论解答,有些理论还有待实验验证,有些理论需要依靠试验去发展。因此,理论研究和实验研究在材料力学的发展中,是相辅相成、同等重要的两个方面,认识这一点无论在学习时、科学研究中、还是工程实践上都将有重要意义。

## 第二节 变形固体的概念及其基本假设

### 一、变形固体的概念

自然界中的任何固体受力后都会产生或大或小的变形。因此,可以说,所有的固体都是变形固体。理论力学中,我们曾经将物体看成刚体,那是一种科学的抽象,是因为当物体的变形