

教育科学“十五”国家级规划课题研究成果

材 料 力 学

邱棣华 主编

胡性侃 陈忠安 秦飞 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是教育科学“十五”国家规划课题成果,是普通高等学校的适用教材。本教材的特点是:从工程实践中提出问题,运用理论指导和解决工程中的实际问题;努力去反映学科范围的新概念、新理论和新方法;在保障学科体系完整的前提下,教材删繁就简,力求符合教与学的规律。

全书共十六章,包括了材料力学的基础理论和有关的专题部分,各章均附有复习题和习题。

本书可作为普通高等学校和成人高等教育土建类专业的教材,也可作为参加高等教育自学考试的考生和工程技术人员的参考书。

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787× 960 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	0. 000	印 次	年 月第 次印刷
字 数	0	定 价	0. 00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换.

版权所有 侵权必究

策划编辑 黄 毅
责任编辑 张玉海
封面设计 刘晓翔
责任绘图 朱 静
版式设计 马静如
责任校对
责任印制

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型本科人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。目前,教材建设工作存在的问题不容忽视,适用于应用型人才培养的优秀教材还较少,大部分国家级教材对一般院校,尤其是新办本科院校来说,起点较高,难度较大,内容较多,难以适应一般院校的教学需要。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书,电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部即将启动的“高等学校教学质量和教学改革工程”的实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心
2003 年 4 月

序

作为适应 21 世纪需求的应用型人才教材之一,本书是提供给土建类专业学生的“材料力学”,邱棣华主编和胡性侃、陈忠安、秦飞副主编在本书的撰写上付出了辛勤的劳动。

对材料力学最为需求的专业应首推土建类,这是由其专业特点决定的。如果把视野由工科转向理科,我们会看到,多数开设了弹性力学的理科专业并不开设材料力学。例如多数物理专业开设的连续介质力学中就含有弹性理论的内容。这种现象发人深思:同为变形体力学,材料力学又是变形体力学的基础,为什么相应的理科专业开设弹性力学的有关内容,而不开设材料力学呢?这就是因工科与理科面对的主要研究对象的不同,所导致的开设课程的差别:工科尽管也面对“自然世界”,但主要是面对“人造世界”,尤其要对“人造世界”的设计、制造或施工、运行、管理提供必要的理论基础;材料力学的工具性和基础性作用决定了它在有关工科专业中的地位。

与工科比较,理科主要是研究“自然世界”规律的,因此弹性变形作为一种基本的自然变形现象就当然受到关注了。相反,不少工科专业尽管非常重视材料力学,却未能重视弹性力学。现在看来,对于作为有限元方法和软件基础的弹性力学,理所当然地应予以关注。然而,囿于课时,不少专业还是不能开设弹性力学,于是,材料力学在继续发扬其实用性的特点时,应当强调对基本弹性变形的阐述,以弥补不设弹性力学造成的缺憾。经验表明:学生们对材料力学学得深入、基本概念和方法掌握得扎实,他们在学习结构力学时就会轻松愉快得多,乃至他们今后在自学弹性力学时,也没有太大的困难。

从现代教育观念来审视材料力学的课程教学,就不能过于被工具性、实用性牵制住我们的思想。换句话说,我们除了因为材料力学对于土建类专业的重要工具作用,要重视材料力学的知识结论外,同时,还应当特别关注材料力学知识的发生过程。表面看来,材料力学的发展是“实验—观察—假定—理性推导—实验验证”的过程,但是,这也是相当多的基于实验观察的学科发生与发展的历程。

材料力学独具特点的突破在于:跳出力平衡方法论,从变形方法论中寻求出路。对于刚体这种相对位置不变的质点系,单纯依靠力的平衡就能成功地解决问题。对于变形体仅靠力平衡就不行了,必需突破传统思维方式的束缚,从数学

上看,平衡方程不足,靠变形方程补充。为了联立求解平衡方程和变形方程,就必须沟通力与变形的关系。或者说,沟通应力与应变的关系,这就是物性方程或本构关系的提出,后者是实验在材料力学中的本质作用。总之,材料力学一开始取得突破,接着就在各种基本变形上逐一解决问题,“平衡—变形—物性”都是真正发挥作用的方法论基石,也是包括弹性力学、塑性力学和流体力学等变形体力学的方法论基石。

贯穿材料力学知识体系的发生与发现过程,体现了隐藏在知识背后的科学方法论和科研能力,也体现了为材料力学发展做出贡献的历代科学家和工程师们综合素质的作用。当今,在材料力学的课程教学中,完全应当从“知识—能力—素质”三个层面进行发掘。这当中,在重视材料力学工具性作用的同时,一定要注意它在方法论上对未来工程师的熏陶作用。也许这就应当是面对 21 世纪人才需求,材料力学课程应当发挥的其他学科不可替代作用吧。

本书的作者们为了忠实体现应用型人才应当达到的目标,花费了大量时间,参阅了近年来国内外大量的相关教材、习题集和试题,同时融入了他们的深入思考以及他们几十年来教授材料力学丰富经验的积累。衷心希望这本书能够为 21 世纪土建类专业应用型人才培养发挥作用。

隋允康^{*}
2004 - 3 - 18

^{*} 北京工业大学教授,学术委员会副主任,工程力学博士点主任,北京市教学名师,中国力学学会理事,北京力学学会副理事长,教育部力学教学指导委员会委员兼非力学专业力学课程指导委员会副主任。

前 言

本教材属于教育科学“十五”国家规划课题研究成果,是应用型普通高等学校的适用教材。

全书共分十六章,包括拉伸(压缩)、剪切、扭转、弯曲等基本变形与应力状态、强度理论、组合变形、压杆稳定、动荷载、极限荷载、电测应力分析等基本理论与计算。全书突出了对工程意识的培养,重点训练学生从工程中抽象和简化力学模型的能力,帮助学生建立力学思维模式。

本教材重视加强基础及概念的更新与拓宽,在教学实践中总结经验,按照学与教的规律调整了部分章节和内容。教材力求精简、叙述清楚、便于学生阅读。

本教材由邱棣华主编,胡性侃、陈忠安、秦飞担任副主编。参加本书讨论、编写与校订的有张富强、郑承沛、陈军权、唐银桥、李英、谢佩英。

编写分工:邱棣华,第1、2、3、4、10章;胡性侃,第6章;陈忠安,第8、9、14、16章;秦飞,第11、12、13章;郑承沛,第15章;陈军权,第5章;唐银桥,第7章、附录A。

单辉祖教授、隋允康教授、姚希梦教授对本书的编写提出了许多指导意见并给予帮助。编写中得到了高等教育出版社理工科首席策划黄毅编审和姜凤编辑的支持与帮助。同时得到北京工业大学、孝感学院、江苏大学、河北建工学院领导的关心与支持。另外,编写过程中参阅了近年来国内、外一些著名的材料力学教材、习题集和试题。在此一并致以衷心感谢!

本教材承蒙大连理工大学郑芳怀教授主审,他提出了许多精辟而中肯的意见,在此致以衷心感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在不少缺点与不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2004年1月

主要符号表

A	面积	s	路程、弧长
A_S	剪切面面积	k	弹簧常量, 刚度系数, 应变计灵敏因数
A_{bs}	挤压面面积		
a	间距	l, L	长度、跨度
b	宽度	M, M_y, M_z	弯矩、外力偶矩
D, d	直径	M	单位荷载引起的弯矩
E	弹性模量、杨氏模量	M_e	外力偶矩
E_k	动能	M_O	对 O 点的矩
E_p	势能	T	扭矩、周期、摄氏温度
F	力	T	单位荷载引起的扭矩
F_{AX}, F_{AY}	A 点 x, y 方向约束反力	n	转速、螺栓个数
F_N, F_{Nz}	轴力	n_s	对应于塑性材料 σ_S 的安全因数
F_N	单位荷载引起的轴力	n_b	对应于脆性材料 σ_b 的安全因数
F_p	集中荷载	n_{st}	稳定安全因数
F_{cr}	临界荷载	N	循环次数、疲劳寿命
F_d	动荷载	p	压强
F_S	剪力	P	功率
F_S	单位荷载引起的剪力	q	分布荷载集度
F_R	合力、主矢	R, r	半径
F_T	拉力	$[u]$	许用位移
F_u	极限荷载	v_d	畸变能密度
$[F_u]$	许用荷载	v_V	体积改变能密度
F_x, F_y, F_z	x, y, z 方向力分量	v_ε	应变能密度
G	切变模量	V_ε	应变能
h	高度	W	功、重量
I	惯性矩	W_i	内力功
I_p	极惯性矩	W_e	外力功
I_{xy}	惯性积	W_z	抗弯截面系数
i	惯性半径	W_p	抗扭截面系数
S	静矩、一次矩		

α	倾角、线膨胀系数	σ_a	应力幅值
β	角度	σ_t	拉应力
θ	梁截面转角、单位长度相对 扭转角、体积应变	σ_c	压应力
φ	相对扭转角	σ_m	平均应力
γ	切应变	σ_b	抗拉强度
Δ	增量符号	σ_{bs}	挤压应力
Δ	位移	[σ]	许用应力
δ	厚度、变形、位移、滚动摩擦 系数	σ_{cr}	临界应力
ε	线应变	σ_d	动应力
ε_e	弹性应变	σ_p	比例极限
ε_p	塑性应变	$\sigma_{0.2}$	名义屈服强度
λ	柔度、长细比、压杆轴向位移	σ_s	屈服强度
μ	长度因数	σ_r	疲劳极限
ν	泊松比	σ_r	相当应力、残余应力
ρ	曲率半径、材料密度	σ_n	名义应力
ϱ	重度	τ	切应力
σ	正应力	τ_u	极限切应力
		[τ]	许用切应力
		w	挠度

目 录

- 第一章 绪论
 - § 1 - 1 工程中的材料力学问题
 - § 1 - 2 变形固体的性质与基本假设
 - § 1 - 3 杆件的外力、内力与内力分量
 - § 1 - 4 杆件的应力与应变
 - § 1 - 5 杆件变形的基本形式
 - 复习题
 - 习题
- 第二章 轴向拉伸与压缩
 - § 2 - 1 工程中的拉、压杆件
 - § 2 - 2 拉压杆件的轴力与轴力图
 - § 2 - 3 拉压杆的应力
 - § 2 - 4 拉压杆的变形与位移
 - § 2 - 5 材料在拉伸与压缩时的力学性能
 - § 2 - 6 安全因数、许用应力、强度条件
 - § 2 - 7 拉、压杆超静定问题
 - 复习题
 - 习题
- 第三章 连接件强度的实用计算
 - § 3 - 1 工程中的连接件
 - § 3 - 2 剪切实用计算
 - § 3 - 3 挤压实用计算
 - § 3 - 4 焊接实用计算
 - 复习题
 - 习题
- 第四章 扭转
 - § 4 - 1 工程中的受扭杆件
 - § 4 - 2 传动轴的外力偶矩、扭矩及扭矩图
 - § 4 - 3 纯剪切、切应力互等定理、剪切胡克定律

§ 4 - 4	等直圆轴扭转时的应力及强度条件
§ 4 - 5	等直圆轴扭转时的变形及刚度条件
§ 4 - 6	圆轴扭转斜截面上的应力
* § 4 - 7	圆柱形密圈螺旋弹簧的计算
§ 4 - 8	非圆截面杆的扭转
复习题	.....
习题	.....
第五章	弯曲内力
§ 5 - 1	工程中的梁及力学简图
§ 5 - 2	梁的内力 – 剪力与弯矩
§ 5 - 3	剪力图和弯矩图
§ 5 - 4	剪力、弯矩与荷载集度之间的微分关系
§ 5 - 5	静定平面刚架和曲杆的内力图
复习题	.....
习题	.....
第六章	弯曲应力
§ 6 - 1	梁的弯曲正应力公式及强度条件
§ 6 - 2	梁的弯曲切应力及强度条件
§ 6 - 3	开口薄壁截面梁的弯曲中心
§ 6 - 4	提高梁弯曲强度的措施
复习题	.....
习题	.....
第七章	弯曲变形
§ 7 - 1	工程中对梁变形的要求
§ 7 - 2	梁变形的基本方程
§ 7 - 3	积分法求梁的变形
§ 7 - 4	计算梁位移的叠加法
§ 7 - 5	梁的刚度条件与合理刚度设计
§ 7 - 6	用变形比较法求解简单超静定梁
复习题	.....
习题	.....
第八章	应力状态分析和应力 - 应变关系
§ 8 - 1	点的应力状态
§ 8 - 2	平面应力状态分析

§ 8 - 3 空间应力状态分析简介
§ 8 - 4 应力和应变之间的关系
§ 8 - 5 由测点处的正应变确定应力状态
§ 8 - 6 空间应力状态下的应变能和畸变能
复习题
习题
第九章 强度理论
§ 9 - 1 强度失效与强度理论的概述
§ 9 - 2 适用于脆性断裂的强度理论
§ 9 - 3 适用于塑性屈服的强度理论
§ 9 - 4 莫尔强度理论
§ 9 - 5 强度理论的应用
复习题
习题
第十章 组合变形及计算实例
§ 10 - 1 工程中杆件的组合变形
§ 10 - 2 两个相互垂直平面内的弯曲——斜弯曲
§ 10 - 3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形
§ 10 - 4 截面核心在土建类构件设计中的应用
§ 10 - 5 扭转与弯曲的组合变形
§ 10 - 6 组合变形强度计算实例
复习题
习题
第十一章 能量法
§ 11 - 1 杆件的外力功与应变能
§ 11 - 2 莫尔定理
§ 11 - 3 卡氏定理
§ 11 - 4 互等定理
§ 11 - 5 用能量法求解超静定系统
复习题
习题
第十二章 压杆稳定
§ 12 - 1 工程中杆件的失稳问题
§ 12 - 2 两端铰支细长压杆的临界力
§ 12 - 3 杆端不同约束下细长压杆的临界力

§ 12 - 4	欧拉公式的应用范围、临界应力总图
§ 12 - 5	压杆的稳定校核
§ 12 - 6	压杆稳定计算的折减系数法
§ 12 - 7	工程中提高压杆稳定性的措施
复习题	.....
习题	.....
第十三章	动荷载
§ 13 - 1	构件作等加速直线运动或等角速转动时的动应力计算
§ 13 - 2	构件受冲击时应力和变形的计算
§ 13 - 3	提高构件抗冲击能力的措施
复习题	.....
习题	.....
第十四章	交变应力
§ 14 - 1	引言
§ 14 - 2	交变应力和疲劳破坏
§ 14 - 3	S - N 曲线和疲劳极限
§ 14 - 4	钢结构构件及其连接部位的疲劳计算
复习题	.....
习题	.....
第十五章	材料在弹塑性状态下的强度计算
§ 15 - 1	概述
§ 15 - 2	简单桁架的弹塑性分析
§ 15 - 3	圆轴的弹塑性扭矩
§ 15 - 4	梁的弹塑性弯曲
§ 15 - 5	残余应力的概念
复习题	.....
习题	.....
第十六章	电测法实验应力分析
§ 16 - 1	电阻应变计
§ 16 - 2	电阻应变仪
§ 16 - 3	静态电阻应变测量
复习题	.....
习题	.....
附录 A	平面图形的几何性质
§ A - 1	静矩和形心

§ A - 2 极惯性矩
§ A - 3 惯性矩 · 惯性积.....
§ A - 4 惯性矩的平行移轴定理
§ A - 5 主形心轴 · 主形心惯性矩
习题
附录 B 常见截面的几何性质
附录 C 常用材料的力学性能
附录 D 简单梁的挠度与转角
附录 E 型钢表
附录 F 构件和连接分类表
参考文献
习题答案
索引
Synopsis
Contents
作者简介

第一章 绪 论

§ 1 - 1 工程中的材料力学问题

20 世纪飞速发展的高科技, 在土木工程方面表现为: 高层建筑、大跨度新型桥梁、海洋平台、海底隧道等, 这些建筑物与构筑物里蕴含了无数力学理念。是力学的理论基础, 支撑了它们的存在。

建筑物与构筑物由构件组成。图 1 - 1 所示为香港青马大桥, 主结构由框式主塔架、悬索、连续箱梁等组成。桥长 2 200 m, 建成时是世界上最长并兼有铁路、公路的行车吊桥。10 级风以下, 车辆在桥面上行驶; 10 级风以上时, 车辆可以在封闭的桥箱内行驶。



图 1 - 1

参观者看到大桥, 首先想到的是悬索会不会被拉断? 桥面会不会被破坏? 无疑, 这是设计者应该考虑的问题。悬索和桥梁在荷载作用下应该具有抵抗破坏的能力, 即这些构件有足够的强度; 车辆在桥面上行驶时, 桥梁不允许有过量的变形, 桥梁构件有抵抗变形的能力, 即有足够的刚度; 主塔架通过悬索支撑着大桥, 塔架立柱受力后应该具有保持原有平衡形式的能力, 即有足够的稳定性。

工程师设计一座大桥、一栋大楼、一台运行的机器, 首先应考虑到组成结构的构件要有足够的强度、刚度、稳定性, 才能安全、正常地工作。通常增大构件尺

寸是一种有效的措施, 但是不合理地加大了构件的尺寸, 后果会是怎样呢? 例如设计汽车时, 如果不合理地加大了传动轴、车桥、车轴等机件的尺寸, 势必增加了车的自重, 其后果是耗材、耗能、污染环境、车辆的持久性差、成本高, 从经济角度考虑也是不合理的。在建筑设计中, 如果不适当地使用“肥梁胖柱”, 不仅不能增加安全度, 反而浪费了材料, 也缩短了使用年限。

安全和经济存在着矛盾, 材料力学就是试图解决这一矛盾的学科。材料力学的任务是: 研究构件的强度、刚度、稳定性理论, 为设计安全、经济的构件及结构提供相应的理论指导, 检测构件的力学性能、确保其安全运行, 研究新型的构件、结构和鉴定新材料。

在宇航工程、星际开发、海底建设、生命工程、核工程、新型结构、新型材料的研制等高科技领域中, 材料力学有不可替代的作用, 同时, 也在不断地发展、更新。

§ 1 - 2 变形固体的性质与基本假设

材料力学研究的构件, 在外力作用下都会产生变形。所谓变形, 是指在外力作用下构件几何形状和尺寸的改变。这些变形与构件的强度、刚度、稳定性等方面的问题密切相关, 为了突出组成构件的固体特性, 通常把构件称为变形固体。

变形固体在外力作用下会产生变形, 就其变形的性质可分为弹性变形和塑性变形。

弹性变形 作用在变形固体上的外力去掉后可以消失的变形。

塑性变形 作用在变形固体上的外力去掉后不能消失的变形, 也称残余变形。

小变形 工程中大多数构件在荷载作用下, 其几何尺寸的改变量和构件本身的尺寸相比是一个很微小的量, 这种变形称小变形。在研究构件的平衡和运动等问题时, 均可忽略这种小变形量, 按构件的原始尺寸进行计算, 而且在计算整体平衡时, 可按刚体考虑。

材料力学在研究变形固体时, 为了建立简化模型, 忽略了对研究主体影响不大的次要因素, 保留了主体的基本性质, 对变形固体作了如下假设。

一、连续性假设

假设物质连续无间隙地充满构件所占有的空间。实际变形固体, 就其微观组织来看, 都具有不同程度的空隙。然而, 这些空隙的大小与构件尺寸相比, 都是极其微小的, 因而, 可以忽略不计, 而认为变形固体的结构是密实的。根据这