

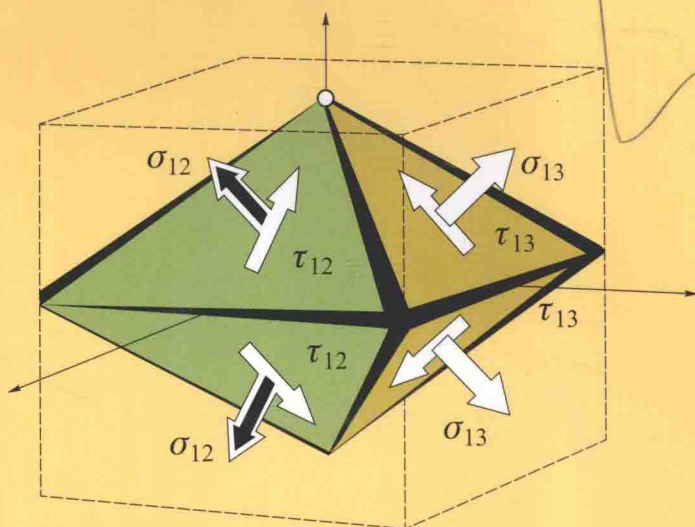
高等学校教材

Mechanics of Materials

材料力学

第2版

● 俞茂宏 编著



高等教育出版社

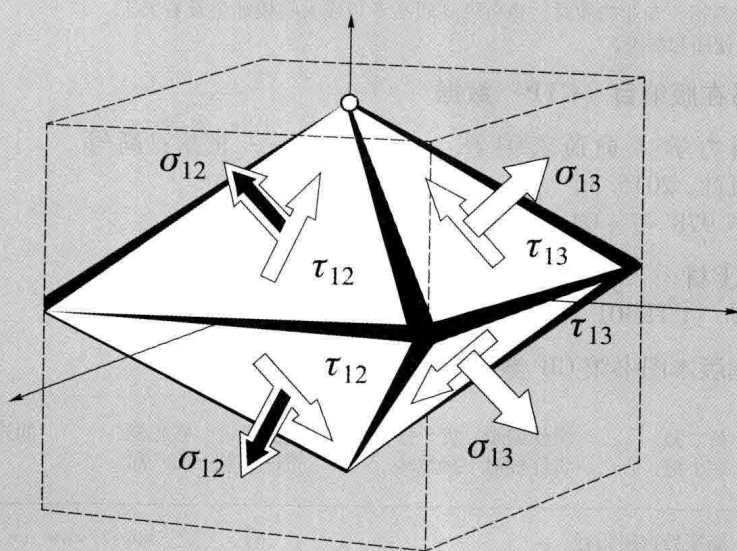
高等学校教材

CAILIAO LIXUE

材料力学

第2版

● 俞茂宏 编著



高等教育出版社·北京

内容提要

本书第1版是根据原教育部高等学校工科力学教材编审委员会审定的90学时材料力学教学大纲编写的,经由原教育部材料力学教材编委扩大会议(苏州)评选作为90学时类型的材料力学通用教材。

本书第2版是按照2010年教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》编写的。本书从系统性、创新性、知识性、启发性、历史性、趣味性等要求考虑,力图成为传统与创新兼具的特色材料力学教材。

本书共分十六章,包括绪论、基本概念,轴向拉伸和压缩、剪切、扭转,平面图形的几何性质,梁的内力,弯曲构件的应力,梁的变形,应力状态理论,强度理论,组合变形(复合应力),能量法,动载荷,交变应力下的构件疲劳强度,压杆的稳定性与结构塑性分析等。其中能量法(第十二章)与结构塑性分析(第十六章)及带有*号部分内容,可根据专业需要选用或只作为学生的课外阅读材料。各章有习题(包括思考题)和课外阅读参考材料,书后给出了部分参考答案。本书强度理论一章以属于世界创新并获得国家自然科学奖的统一强度理论为主线进行了较大的改革,同时在附录中保留了传统单一强度理论的相关内容,以便比较和参考。书中有较多信息,力求引导学生创造性地思考和学习。

本书可作为高等学校本科机械、土建、水利、航空、航天、船舶、海洋、电机及各相关专业的教材,也可供高职高专与成人院校师生及有关工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 俞茂宏编著. -- 2版. -- 北京: 高等教育出版社, 2015.3

ISBN 978-7-04-041667-1

I. ①材… II. ①俞… III. ①材料力学-高等学校-教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 297365 号

策划编辑 黄 强
插图绘制 宗小梅

责任编辑 黄 强
责任校对 杨凤玲

封面设计 张志奇
责任印制 田 甜

版式设计 王艳红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京铭传印刷有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 39
字 数 720千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 1986年5月第1版
2015年3月第2版
印 次 2015年3月第1次印刷
定 价 55.00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
物 料 号 41667-00

第 2 版序言

本书 1986 年初版至今,已近 30 年。在这期间,我国的生产建设发生了巨大的变化,成为世界第二大经济体,高等教育也得到空前的发展。特别是我国的工业生产总量和发电量已经超过美国,居世界第一。工业生产总量是标志一个国家强大的重要指标,它们与材料力学的发展也有密切的关系,因为许多工业产品都涉及强度问题。此外,与材料力学有关的基础理论研究也有所进展。这些为材料力学的学科发展、教学质量的提高和教材建设的发展提供了强大的物质基础和理论基础。

现在,我国在很多领域的工程建设中出现了世界第一。如世界最长的跨海大桥(杭州湾跨海大桥,见第二章图),世界最高的输电铁塔群(舟山-大陆跨海输电线,塔高 370 m),世界最长的高速铁路,世界最长的斜拉桥(苏通长江大桥),4 万吨的世界最大单缸模锻液压机(西安国家航空高技术产业基地,2012 年,我国又制造了一座 8 万吨的模锻液压机,见第六章图)。又如世界第一高拱坝(锦屏水电站,大坝高度 305 m),曾经的世界第一高楼(台北 101 大楼,高 508 m),最长的钢拱桥(上海卢浦大桥),等等。这些结构的世界第一并不重要,它们也可能被以后更大、更高、更长的结构所超越。例如重庆朝天门长江拱桥主跨达到 552 m。最近,拱长 667 m 的迪拜湾拱桥建成,长 1 700 m,宽 64 m,拱高 205 m,成为世界上最长和最高的大跨度拱桥;2010 年出现高 828 m 的迪拜塔。实际上,与普通大楼相比,高楼的维护成本、舒适度、消防安全以及节约能源等方面都没有优势,美国芝加哥已出台法令,规定建筑物的楼层高度不可超过 40 层。

这些结构,无论是在地上地下,水上水下,抑或天上的航天航空结构,它们的设计、制造、施工、运行和保护工作中所遇到的强度、刚度、稳定性等问题均与材料力学密切相关,因而也对材料力学的教学提出了更高的要求。即使不是世界第一的结构,其他的大飞机、大船舶、大机器、大电机、大楼、大桥,以及其他各种中小工程结构也无一不与强度、刚度和稳定性问题有关。材料力学是关于结构构件的强度、刚度和稳定性的最基础的入门课程,它的教学质量具有十分重要的意义。

本书第 1 版于 1986 年被评为 90 学时的全国通用教材并由高等教育出版社出版。此后十多年,每年重印都在 1 万册以上。这本书有一些特色,为一些读者所怀念,书中有些图例被其他材料力学教科书所选用和参考,至今仍然有学校把

它作为研究生考试的参考书。

本书第2版是根据2010年教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》而编写的,其基本要求包括:

“创新性,吸收科学研究的新成果”;

“增强教材的启发性、知识性、趣味性”;

“发挥学生的学习积极性、主动性”;

“扩大知识面(不一定老师讲,学生可以自己主动去看)”;

“注意学生能力的培养:建模能力、分析能力、自学能力”;

“加强材料力学与国家建设和生产实践(包括生活实际中的力学问题)的联系”;

“加强关于材料力学发展历史的知识”。

例如,强度理论是材料力学复杂应力状态强度计算的基础。传统教材采用各种不同的假设得出各种强度理论。它们的结果各不相同,相互之间没有内在的联系。学生要真正理解和掌握并不容易。现在,我们采用力学模型、数学建模以及试验确定材料参数的解析方法,从而得出一个具有统一力学模型、统一数学建模方程和统一表达式的统一强度理论。统一强度理论产生了一系列新的准则,形成一个有序排列的破坏准则的集合,覆盖了外凸区域内的全部范围,可以适用于不同的材料。此外,统一强度理论并不排斥传统理论,而是将它们作为特例或线性逼近而包容于其中。统一强度理论是一个具有和谐性的理论。

双剪统一强度理论的研究,从1961年的双剪强度理论到1985年的广义双剪强度理论,再到1991年的统一强度理论,历经30余年,效率不高。现在,发现它是那么简单,每个大学生都能够把它推导出来。2012年和2013年,笔者在清华大学土木水利学院和航空航天学院进行了两次学术交流。清华大学工程力学系主任谈到他每年都在讲课中介绍统一强度理论,受到学生的欢迎。双剪统一强度理论不是课程大纲中的内容,在课程学时减少的情况下,增加新的内容实属不易。清华大学、浙江大学、上海交通大学、武汉大学、同济大学、四川大学、河海大学、西安交通大学、西北工业大学、西南交通大学等都有比较多的老师在每年的教学中引入双剪统一强度理论,并取得了很好的教学效果和社会效益。笔者对各位老师表示深切的敬意。

此外,在本书的其他章节中,或在内容上,或在理论联系实践上,或在工程应用上,或在理论的可视化(几何图示)上,或在科学发展史方面等,进行了一些新的努力。例如,在应力状态理论一章,补充了几种新的单元体,对切应力互等定理进行了扩展等。现在国内外力学书中的切应力互等关系实际上只讲到一种,切应力互等关系在理论上可以有三种互等条件。切应力互等关系并不局限于两

个相互垂直的截面,而可能有其他的切应力互等,它们的截面并不相互垂直。这种扩展可以避免造成学生认识的局限性。

材料力学是一门独特和奇妙的课程。几百年来吸引了许多科学家为之“献身”,并做出了或大或小、或多或少、或正确或不完全正确的贡献;材料力学的发展如此缓慢,一些问题的正确结论经历了长时间的研究,最后得出的正确结论又是如此简明,应用的范围又是那么广泛。正可谓“材料力学如此多娇,引无数学者竞折腰”!

材料力学的发展与人类社会的发展密切相关,材料力学发展史是人类文明史的一部分,其内容极其丰富。今天我们有幸来学习材料力学,对我们会有很大的启发和帮助。日本一位材料力学作者,在他的前言中讲到:希望大家能够怀着感激的心情潜心地钻研,灵活掌握和应用所学过的知识。本书特别加强了关于材料力学历史的知识。几百年来,那么多的伟大科学家为材料力学的发展作出了贡献,我们今天能够学到这么多的、简明而实用的理论知识,的确要感谢他们。日本的这位材料力学作者指出:从手机、眼镜、文具到学校、车站、高楼大厦,甚至汽车、飞机、火车、自行车……材料力学与世界上所有的机械和结构都有关!它就像一名在背地里卖力却无人知晓的无名英雄。

此外,材料力学也是一门在不断发展和深入的学科。材料力学的很多章节都是可以深入学习和研究的专题,例如弯曲理论、扭转理论、应力状态理论、强度理论、结构稳定性、疲劳、动载荷问题、结构塑性极限分析,等等;而每个专题也都有很多内容可以进一步深入,如梁的弯曲问题就有连续梁、曲梁、组合梁、夹芯梁、弹性地基梁、复合材料梁,等等。学生可以深入学习的内容实在是很多。笔者相信,学生在学习材料力学的过程中,如果对某一个专题感兴趣,可以找几本有关参考书来看看,写一点读书笔记或读书报告,从而会有很多新的收获。

笔者在这本书的撰写过程,也是一个学习提高的过程。本书得到校内外很多老师的大力支持和帮助,仅在此对他们表示衷心的感谢。

限于作者的水平,教材有疏漏和不妥之处,深望各位老师和同学及不同领域的读者批评和指正。

全书共有插图 790 余幅,其中照片 227 帧,习题图 289 幅;书中有例题 110 个,习题 352 题,课外阅读材料 80 则。

俞茂宏于古都西安

2014 年 6 月

第 1 版序言

本书是根据原教育部高等学校工科力学教材编审委员会审定的 90 学时材料力学大纲编写的,经原教育部材料力学教材编委扩大会议(苏州)评选作为中学时类型材料力学全国通用教材。

教材共分十二章和附录,其中能量法(第九章)、电测应力分析(附录)及带有 * 号的部分系 90 学时大纲之外的内容,可根据专业需要选用或删除。

本书由西安交通大学建筑与结构工程系俞茂宏和工程力学系汪惠雄编写。编写中参考了 1972 年和 1978 年俞茂宏编写的材料力学教材和近年来国内外出版的材料力学教材。俞茂宏编写第一、二、七、八、十一和第十二章,汪惠雄编写第三、四、五、六、九和第十章,陆才善校阅各章初稿,最后由俞茂宏进行全书统稿,何丽南协助整理,凌伟、赵武山、侯得门协助部分工作。

教材中收集和选用了国内外一些工程结构和机器的构件(零件)的设计、使用和破坏的实例,反映了西安交通大学材料力学教学和科学研究的部分成果以及兄弟院校的一些教学经验。全书共有例题 104 题,大小习题 300 余题,插图 500 余幅,照片 38 帧。

本书在编写中得到了原教育部材料力学教材编审小组、高等教育出版社和校内外很多老师的关怀和帮助并提供各种资料、图片和建议;武汉水利电力学院粟一凡教授审阅了全书,并提出了很多宝贵的修改意见,在此表示深切的感谢。

限于编者的水平,教材有疏漏和不妥之处,深望使用本书的广大师生和读者提出批评和指正。

俞茂宏于西安交通大学

1986 年 6 月

主要符号表

分类	字符	字符意义	国际单位	备注
外力	F	集中外力	N, kN	1 kgf = 9.81 N
	q	线分布力集度	N/m, kN/m	1 kgf/m = 9.81 N/m
	p	压力, 压强	Pa, MPa	1 kgf/cm ² = 98 100 Pa
	T	转矩, 力偶矩	N · m, kN · m	
	F_R	支座约束力	N, kN	
内力	F_N	轴力	N, kN	
	F_S	剪力	N, kN	
	M_n, T	扭矩	N · m, kN · m	
	M	弯矩	N · m, kN · m	
应力	σ	正应力	Pa, kPa, MPa	1 Pa = 1 N/m ²
	τ	切应力		1 kPa = 10 ³ N/m ²
	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力		1 MPa = 10 ⁶ N/m ²
	τ_1, τ_2, τ_3	主切应力		1 MPa = 10.2 kgf/cm ²
	$\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{31}$	主切应力作用面上的正应力		1 MPa = 1 N/mm ²
应变位移	ε	线应变	mm, m	
	γ	切应变	rad(弧度)	
	f, δ	挠度, 位移		
	φ	扭转角	rad(弧度)	
	θ	梁的转角 单位长度扭转角	rad/m	
截面特性	A	截面面积	mm ² , m ²	1 m ² = 10 ⁶ mm ²
	S_y, S_z	截面静矩	mm ³ , m ³	1 m ³ = 10 ⁹ mm ³
	I_y, I_z	截面惯性矩	mm ⁴ , m ⁴	1 m ⁴ = 10 ¹² mm ⁴
	I_p	极惯性矩	mm ⁴ , m ⁴	
	W_n	抗扭截面模量	mm ³ , m ³	
	W_y, W_z	抗弯截面模量	mm ³ , m ³	

续表

分类	字符	字符意义	国际单位	备注
材料特性等	σ_0	极限应力	与应力的单位相同	
	σ_p	比例极限		
	σ_e	弹性极限		
	σ_b	强度极限		
	$[\sigma]$	许用应力		
	E	弹性模量	GPa	$1 \text{ GPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$
	G	切变模量	GPa	
	ρ	质量密度	kg/m^3	
	γ	重量密度	N/m^3	
	μ	泊松比		
	δ	延伸率		
	Ψ	断面收缩率		
	a_K	冲击韧度		
强度理论	$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0$	强度理论函数	同应力单位	$\alpha = \sigma_1 / \sigma_e$ ($0 \leq b \leq 1$)
	α	材料拉压强度比		
	b	统一强度理论参数		
	σ^{eq}	等效应力		
	$\sigma_{\text{UYC}}^{\text{eq}}$	统一屈服准则等效应力		
	$\sigma_{\text{UST}}^{\text{eq}}$	统一强度理论等效应力		
其他	W	功	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
	P	功率	W, kW	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
	E_U	应变能	J	$1 \text{ kgf} \cdot \text{m/s} = 9.81 \text{ W}$
	n	安全因数		$1 \text{ 马力} = 735.5 \text{ W}$
		转速	s^{-1}	$1 \text{ s}^{-1} = 60 \text{ r/min}$ (转每分)
	λ	压杆的柔度(细长比)		

目 录

第一章 绪论 基本概念	3
§ 1-1 材料力学的任务	3
§ 1-2 材料力学与生产实践的关系	6
§ 1-3 变形固体的概念及其基本假设	12
§ 1-4 内力 截面法	14
§ 1-5 应力与应变	17
§ 1-6 杆的基本变形形式	19
§ 1-7 杆的组合变形	21
习题	21
课外阅读材料	26
第二章 轴向拉伸和压缩	32
§ 2-1 概述	32
§ 2-2 轴力 横截面上的应力	33
§ 2-3 拉(压)杆的变形 泊松比	35
§ 2-4 材料在拉伸时的力学性能	41
§ 2-5 材料在压缩时的力学性能	47
* § 2-6 温度和时间因素对材料的力学性能的影响	52
§ 2-7 拉(压)杆斜截面上的应力	53
§ 2-8 拉(压)杆的强度计算	55
§ 2-9 应力集中的概念	61
§ 2-10 简单超静定问题	62
习题	69
课外阅读材料	77
第三章 剪切	82
§ 3-1 概述	82
§ 3-2 剪切和挤压的实用计算	85
§ 3-3 计算实例	89
§ 3-4 焊缝实用计算	92

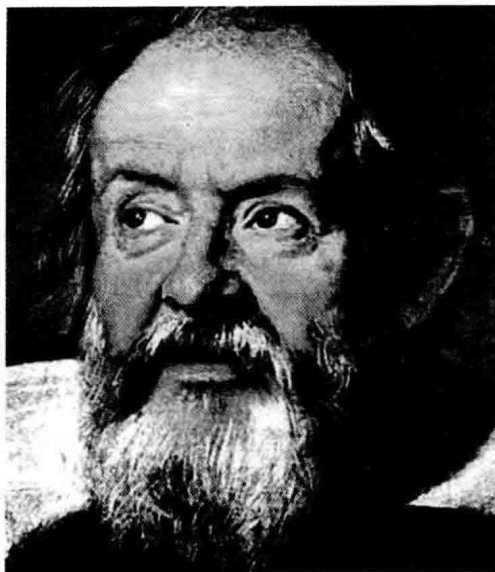
* § 3-5	胶结连接的实用计算	93
§ 3-6	剪切问题的进一步研究	94
习题		95
课外阅读材料		99
第四章	扭转	104
§ 4-1	概述.....	104
§ 4-2	外力偶矩 扭矩和扭矩图	105
§ 4-3	薄壁圆管的扭转	108
§ 4-4	圆轴扭转时的应力和强度计算	111
§ 4-5	圆轴扭转时的变形和刚度计算	117
§ 4-6	圆轴扭转切应力分析.....	120
§ 4-7	矩形截面杆扭转理论的主要结果	123
* § 4-8	圆柱形密圈螺旋弹簧的应力分析	125
* § 4-9	圆柱形密圈螺旋弹簧的变形分析	128
§ 4-10	圆轴扭转时的应力集中	129
习题		130
课外阅读材料		135
第五章	平面图形的几何性质	140
§ 5-1	概述.....	140
§ 5-2	静矩和形心	140
§ 5-3	惯性矩	144
§ 5-4	平行移轴公式	147
习题		150
课外阅读材料		154
第六章	梁的内力	160
§ 6-1	概述.....	160
§ 6-2	梁的简化 梁的典型形式	162
§ 6-3	梁弯曲时的内力——剪力、弯矩及其符号规则	166
§ 6-4	剪力方程式和弯矩方程式 剪力图和弯矩图	168
* § 6-5	载荷集度、剪力和弯矩之间的关系	174
习题		179
课外阅读材料		188
第七章	弯曲构件的应力	193
§ 7-1	概述.....	193

§ 7-2	弯曲构件在纯弯曲时的正应力	194
§ 7-3	弯曲时正应力的强度计算	199
§ 7-4	轴向力(纵向荷载)引起的弯曲	204
§ 7-5	弯曲时的切应力和强度计算	204
§ 7-6	提高梁弯曲强度和合理使用材料的一些途径	211
* § 7-7	非对称截面梁的弯曲问题简介	217
	习题	218
	课外阅读材料	228
第八章	梁的变形	234
§ 8-1	概述	234
§ 8-2	弯曲变形的量度及其基本公式	235
§ 8-3	用直接积分法求梁的变形	237
§ 8-4	用叠加法求梁的变形	241
§ 8-5	弯曲刚度计算 提高梁弯曲刚度的措施	244
§ 8-6	用变形比较法解简单的超静定梁	247
§ 8-7	梁的结构转换	250
	习题	251
	课外阅读材料	257
第九章	应力状态理论	261
§ 9-1	一点的应力状态及其分类	261
§ 9-2	二向应力状态分析	266
§ 9-3	三向应力状态时的最大切应力	274
§ 9-4	切应力互等第一、第二和第三定理	278
§ 9-5	梁中的主应力	280
§ 9-6	单剪单元体和双剪单元体	281
§ 9-7	广义胡克定律	283
	习题	291
	课外阅读材料	298
第十章	强度理论	303
§ 10-1	概述	303
§ 10-2	德鲁克公设 强度理论的外凸性	305
§ 10-3	统一强度理论的力学模型	306
§ 10-4	统一强度理论的数学建模	308
§ 10-5	统一强度理论中的参数的实验确定	308

§ 10-6	统一强度理论的数学表达式	309
§ 10-7	统一强度理论的各种特例	310
* § 10-8	统一强度理论的极限面	314
§ 10-9	统一强度理论在 $\sigma - \tau$ 复合应力时的表达式和极限迹线	319
§ 10-10	统一强度理论等效应力	322
* § 10-11	强度理论与试验结果的对比	324
§ 10-12	统一强度理论的应用及其经济意义	325
§ 10-13	薄壁压力容器的强度设计统一解	325
§ 10-14	汽车传动轴的强度设计:容许最大扭矩	327
§ 10-15	汽车传动轴的强度设计:传动轴外径设计	330
§ 10-16	应用强度理论解决实际问题的步骤	331
	习题	337
	课外阅读材料	342
第十一章	组合变形(复合应力)	348
§ 11-1	概述	348
§ 11-2	拉伸(压缩)与弯曲的组合	351
§ 11-3	弯曲(拉压)与扭转的组合	358
§ 11-4	薄壁压力容器壁厚设计的统一解	364
	习题	367
	课外阅读材料	376
* 第十二章	能量法	382
§ 12-1	概述	382
§ 12-2	杆件的应变能计算	383
§ 12-3	卡氏定理	390
§ 12-4	应用卡氏定理求解超静定问题	399
	习题	410
	课外阅读材料	419
第十三章	动载荷	425
§ 13-1	概述	425
§ 13-2	惯性力问题	426
§ 13-3	等速转动时构件的应力计算	428
§ 13-4	冲击载荷	432
§ 13-5	水平冲击时动荷因数的确定	436
§ 13-6	扭转冲击时的应力计算	441

§ 13-7 冲击载荷下的强度计算	442
§ 13-8 提高构件承受冲击载荷能力的措施	442
§ 13-9 冲击韧度	443
§ 13-10 结构的动强度问题	445
习题	447
课外阅读材料	453
第十四章 交变应力下的构件疲劳强度	458
§ 14-1 概述	458
§ 14-2 构件疲劳破坏的特点	461
§ 14-3 交变应力的循环特征	461
§ 14-4 材料在对称循环下的持久极限	463
§ 14-5 影响构件持久极限的因素	466
§ 14-6 对称循环下构件的强度条件	471
§ 14-7 提高构件持久极限的措施	473
习题	475
课外阅读材料	478
第十五章 压杆的稳定性	483
§ 15-1 平衡稳定性的概念	483
§ 15-2 细长压杆的临界力	486
§ 15-3 其他约束情况下压杆的临界力 临界应力	490
§ 15-4 欧拉公式的应用范围 中长杆和粗短杆的计算	492
§ 15-5 压杆的稳定计算	494
§ 15-6 提高压杆稳定性的措施	499
习题	503
课外阅读材料	509
* 第十六章 结构塑性分析	514
§ 16-1 概述	514
§ 16-2 承受轴力的两端固定的等截面直杆	517
§ 16-3 超静定桁架的弹性极限载荷和塑性极限载荷	518
§ 16-4 超静定桁架杆件的截面设计	521
§ 16-5 圆轴的塑性扭转	522
§ 16-6 梁的弹塑性弯曲	523
§ 16-7 结构塑性极限分析的进一步研究	529
习题	530

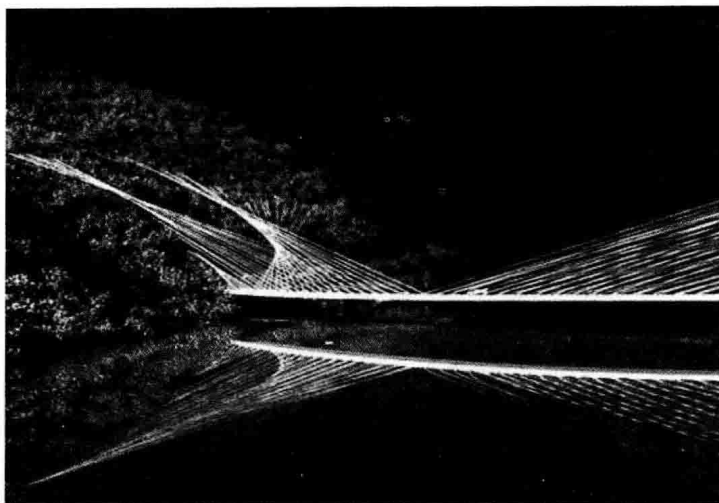
课外阅读材料	532
参考文献	535
附录 A 关于强度理论的传统阐述	539
附录 B 简支梁、悬臂梁和外伸梁在简单载荷下的变形	549
附录 C 型钢表	552
附录 D 习题答案	569
汉英名词对照表	589
材料力学(第 2 版) 跋	598
作者简介	602



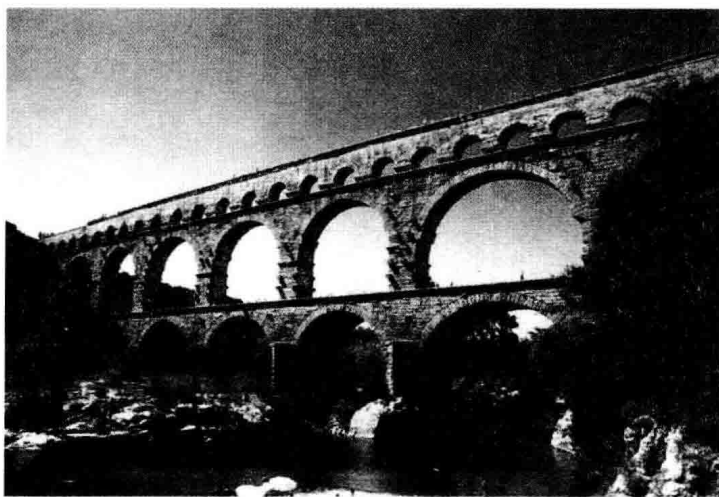
伽利略·伽利雷(Galileo Galilei, 1564—1642), 意大利著名数学家、物理学家、天文学家、哲学家、近代实验科学的先驱者。他在 1638 年的《关于两门新科学的对话》中开启了现代科学的研究。他是材料力学的最早研究者, 下图是他在 1638 年《关于两门新科学的对话》中的关于梁的弯曲实验的示意图。



下面两座桥梁,一为钢索吊桥,一为石块拱桥,都充分发挥了钢的受拉性能和石料的受压性能。它们显示了力与美,成为科学与艺术相结合的双重杰作的典范。这是力与美兼具的两个人类杰作。



1955年由林同炎和 D. Allan Firmage 共同设计的美国加州横跨美利坚河 (American River) 之上的 Ruck-A-Chucky 弯桥方案,首次用科学的方法使艺术得到高度发挥(参考本书第一章课外阅读材料 1-5 和第十六章课外阅读材料 16-6)。



法国尼姆市加尔水渠桥,长 275 m、高 49 m,建于公元前 63—前 13 年,已有两千多年的历史。其高峻、雄奇和精妙绝伦常为人们所赞美。