



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程主干教材

材料力学(I) (第二版)

苟文选 主编



3



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家级精品课程主干教材

材料力学(I)

(第二版)

苟文选 主编



TB301-43

G43202

科学出版社

北京

内 容 简 介

作为材料力学课程模块化教材的基础模块,本书包括绪论、拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态及应变状态分析、强度理论、组合变形时的强度计算、压杆稳定、动载荷、平面图形的几何性质等内容。各章后均配有适量的思考题及习题,书后附有参考答案。本书配有电子课件,可赠送给任课教师。

本书可作为高等工科院校力学、机械及土建类专业的教材,也可作为上述各类专业函授、电大和网络教育的教材及科技工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学(Ⅰ)/苟文选主编. —2版. —北京:科学出版社,2010
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·国家级精品课程主干教材)
ISBN 978-7-03-026390-2

I. 材… II. 苟… 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(2010)第 007315 号

责任编辑:匡敏 于宏丽 / 责任校对:钟洋
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年1月第 二 版 印张:26 1/4

2010年1月第五次印刷 字数:622 000

印数:9 001—13 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介



苟文选, 1953 年生于陕西礼泉, 在经历了六年多中学教书生涯后, 1978 年考入西北工业大学基础课部材料力学师资班学习, 毕业后留校在材料力学教研室任教, 并攻读固体力学专业研究生。现为西北工业大学教授、博士生导师。

曾任中国力学学会实验力学专业委员会第六、七届专业委员会委员, 西北工业大学工程力学系副主任, 西北工业大学国家工科力学基础课程教学基地建设领导小组副组长。现任西北工业大学图书馆馆长、教育部第三届高等学校图书馆工作指导委员会委员。被首批遴选为西北工业大学跨世纪教学带头人、双百优秀人才、西北工业大学翱翔名师。

长期从事材料力学、工程力学、实验力学等专业的教学和研究工作, 编著出版了《材料力学》(I、II)、《材料力学教与学》、《材料力学概要及试题讲练》、《材料力学典型题解析及自测试题》、《材料力学导教、导学、导考》(上、下) 及《光弹性实验原理和方法》、《现代光测力学》、《西北工业大学图书馆馆史》等多部教材和专著, 主持完成了原国家教委“面向 21 世纪力学系列课程教学内容与体系改革的研究与实践”西北工业大学子项目和“陕西省高等教育面向 21 世纪教改项目——工程力学类课程体系与教学内容改革与实践”项目。发表教学论文二十余篇, 1998 年被评为全国优秀力学教师, 获国家级优秀教学成果一等奖, 陕西省优秀教学成果特等奖、二等奖等。

曾参加和主持多项国家自然科学基金、航空科学基金项目, 发表科研论文四十余篇, 其中多篇被三大索引收录, 获航空基金项目优秀成果二等奖、陕西省教委科技进步三等奖等多项奖励。

第二版前言

根据教育部教高函字(2008)3号文件,本书被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

《材料力学》(I、II)自2005年由科学出版社出版以来,经过多次重印,在广大师生教与学的使用过程中,得到了广泛的好评。但是也发现了一些编排上不尽合理、文字叙述不太准确的地方。本次再版,在内容上主要作了以下的调整:

(1) 为了满足中学时教学的需要,同时保证教材内容的完整性,将“动载荷”一章由《材料力学》(II)中调整到《材料力学》(I)中,使基础模块内容更加完整。

(2) 将《材料力学》(I)“弯曲应力”一章中组合梁的内容调整到《材料力学》(II)中“扭转及弯曲问题的进一步研究”一章中,这样更利于组织教学。

(3) 在《材料力学》(I)“弯曲变形”一章中增加了“梁弯曲变形后挠曲线大致形状确定”的内容,并就接触问题以例题形式进行了阐述;考虑到中、小学时对拓展模块《材料力学》(II)一般不讲授,对变形比较法解超静定问题的内容有所加强。

(4) 删减了验证性例题,增加了有工程背景的例题及习题,以利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

(5) 为了尊重知识产权,对主要理论出处及著者做了脚注,并在书后列有参考文献。

(6) 将书中的文字错误进行了更正,习题答案又一次进行了校对。

《材料力学》(I)(第二版)中第5~7章由高雅丽负责改写,第8~10章由王安强负责改写,第11章和《材料力学》(II)(第二版)中第3章由王锋会负责改写,《材料力学》(II)(第二版)中第6章由矫桂琼负责改写,其余各章由苟文选负责改写。苟文选负责全书的统稿工作并担任主编,王安强负责部分统稿和全书插图工作并任副主编。

本书经胶印试用、大学出版社多次印刷、科学出版社再版,前后已近二十年,其间虽经多次修订,但限于编者水平,疏漏之处仍在所难免,望读者批评指正,使本书内容日臻完善,质量进一步提高。

编 者

2009年冬于西北工业大学兰台

第一版前言

根据教育部“面向 21 世纪力学系列课程教学内容与体系改革的研究与实践”项目及《国家工科基础课程—力学教学基地》建设的要求,组织编写了模块化《材料力学》教材(I)、(II),经过几年的教学实践,数易其稿,现在呈现给广大读者。

教材是课程教学内容和课程体系改革的核心。多年来,老师们在材料力学教材建设方面付出了辛勤的劳动。1991 年张剑英教授等编写了《材料力学》教材。几经试用后,在广泛征求师生意见的基础上,于 1994 年由郑斯滔教授主持,对 1991 年版《材料力学》教材作了重大修改并再版,同时编写了《材料力学解题指导》。这些教材与《材料力学四选一题集》、《材料力学实验》组成了一套完整的多学时材料力学课程教材体系。1997 年,根据原国家教委“面向 21 世纪力学系列课程教学内容与体系改革与实践”立项研究的要求,为适应新形势,组织了模块化教材的编写和教学实践,并取得经验。这套教材就是在此基础上编写而成的。

新的模块化《材料力学》教材包括《材料力学》(I)基础模块、《材料力学》(II)拓展模块和拟议中的《材料力学》(III)研究模块。《材料力学》(III)主要阐述材料力学中的新材料、新理论、新方法,因要贴近学科前沿,适合采用讲座形式介绍,故只能以讲义形式使用。

高等学校的教材,应担当起科学素质培育的责任。教材不仅要帮助学生学会生存、学会学习和学会创造,而且要寓“思”于教材,寓“观”于教材。努力培养基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的具有创新精神的高级人才。在编写这套教材中,我们注重对学生分析问题和解决工程实际问题能力的培养;注意实验技能的训练,为此专列了“实验应力分析概况”一章;在实验方法及叙述中,尽可能与国标达到统一,使得设计及试验规范统一;突破《材料力学》基本假设的限制,除引用一些非线性例题以拓展知识面外,还撰写了“超过弹性极限后材料的变形与强度”,并对非连续体及各向异性体的力学性质作了简要的阐述。

推进教学方法和教学手段的改革,是把教师的主导作用和学生的主体作用有机地结合起来,这是教学过程中处理教与学的基本原则。这一原则要求我们必须积极探索启发式教学、探索充分调动学生积极性和主动性的教学方法。用哲学的视角对科学技术知识中一些重要且基本的科学技术规律、概念、方法等作出某种哲理性的点拨,并在思考题、习题中加以体现,启发和促进学生在学科学术知识的同时学会运用科学的思维方法。本书力图在启发学生的主动思维,揭示本课程学习规律上有所创新和突破。为了便于学生掌握教材内容和教师组织教学时有灵活的选择,书中给出了较多的例题,并着重阐述了解题的思路。同时各章后配有思考题和习题。

《材料力学》(I)的主要内容包括:绪论、拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态及应变状态分析、强度理论、组合变形时的强度条件、压杆稳定及附录等,可供 40~60 学时的工科院校各类专业选修。其中第一、二、三章及附录由苟文选编写,第四章由王安强编写,第五、六、七章由高雅丽、苟文选编写,第八、九、十章由金保森编写,第十一章由王锋会编写。

《材料力学》(II)主要内容包括:能量法、超静定系统、动载荷、疲劳强度、扭转及弯曲问题的进一步研究、超过弹性极限后材料的变形与强度、材料力学行为的进一步认识、实验应力分

析概况等内容。作为拓展模块供力学、机械、建工等各专业选修。其中第一、二、三章由卫丰编写,第四章由王锋会编写,第五章由苟文选编写,第六章由张克实编写,第七章由矫桂琼编写,第八章由金保森、苟文选编写。王安强博士用计算机绘制了全书的插图。全书由苟文选任主编。金宝森,卫丰任副主编。

郑斯滔教授和原国家教委工科课程指导委员会委员俞茂宏教授在百忙中审阅了全部书稿,并提出精辟珍贵的修改意见。西北工业大学教务处教材科的领导和力学与土木建筑学院的领导对本书的出版给予了大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

力学系列课程教学内容和课程体系改革是一项重大课题,但限于编者的水平,教材中难免有疏漏和不妥之处,希望使用本教材的广大师生和读者提出批评意见,以利于教材质量的进一步提高。

编者

2004年10月

主要使用的量和单位

分 类	符 号	名 称	国际单位	备 注
外力	F	集中载荷	N, kN	1kgf=9.81N
	q	分布载荷集度	N/m, kN/m	1kgf/m=9.81N/m
	p	压力、压强、总应力	Pa, MPa	1kgf/cm ² =98100Pa
	M, M_e	外力偶矩	N·m, kN·m	1kgf·m=9.81N·m
	F_{bs}	挤压力	N, kN	
	F_R	约束反力	N, kN	
	$F_A(F_{Ax}, F_{Ay})$	A处的支座反力	N, kN	
内力	F_N	轴力	N, kN	
	F_s, F_{sy}, F_{sz}	剪力	N, kN	
	M, M_y, M_z	弯矩	N·m, kN·m	
	T	扭矩	N·m, kN·m	
应力、应变、位移	$\sigma, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	正应力	Pa, MPa	1Pa=1N/m ²
	$\tau, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$	切应力	Pa, MPa	1kPa=10 ³ Pa
	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	Pa, MPa	1MPa=10 ⁶ Pa
	$\sigma_{\max}$	最大正应力	Pa, MPa	1GPa=10 ⁹ Pa
	$\sigma_{\min}$	最小正应力	Pa, MPa	1MPa=1N/mm ²
	σ_t, σ_c	拉、压应力	Pa, MPa	
	σ_{bs}	挤压应力	Pa, MPa	
	σ_{ri}	相当应力(计算应力)	Pa, MPa	
	$\sigma_{r,m}$	摩尔强度理论中的相当应力	Pa, MPa	
	σ_{cr}	压杆临界应力	Pa, MPa	
	$\epsilon, \epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	线应变(相对变形)		
	ϵ_p, ϵ_e	塑性应变, 弹性应变		
	γ	切应变	rad	
	θ	体应变, 梁的转角	rad	
	w	梁的挠度	mm	
	Δ	广义位移	mm, rad	
	φ	相对转角	rad	
	φ'	单位长度转角	rad/m	
材料特性	σ_u	极限应力	Pa, MPa	
	σ_p	比例极限	Pa, MPa	
	σ_e	弹性极限	Pa, MPa	
	σ_s	屈服极限(屈服点应力)	Pa, MPa	
	σ_b	强度极限	Pa, MPa	
	σ_{bt}	抗拉强度	Pa, MPa	
	σ_{bc}	抗压强度	Pa, MPa	
	$[\sigma]$	许用应力	Pa, MPa	
	$[\sigma_t], [\sigma_c]$	许用拉、压应力	Pa, MPa	

续表

分 类	符 号	名 称	国际单位	备 注
材料特性	$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力	Pa, MPa	
	$[\sigma_{st}]$	稳定许用应力	Pa, MPa	
	$[\tau]$	许用切应力	Pa, MPa	
	$[\theta]$	弯曲许可转角	rad/m	
	$[\varphi']$	单位长度许可转角	rad/m	
	E	弹性模量(杨氏模量)	GPa	
	E_t, E_c	拉伸(压缩)弹性模量	GPa	
	G	切变模量(剪切弹性模量)	GPa	
	μ	泊松比		
	δ	(断后)伸长率		
	ψ	断面收缩率		
	λ	压杆的柔度(长细比)		
	μ	压杆的长度系数		
	α_t	线(膨)胀系数		
	γ	重量密度	N/m ³ , kN/m ³	
	ρ	密度	kg/m ³	
	K	体积模量	GPa	
	K_t	理论应力集中因数		
	k	曲率	mm ⁻¹ , m ⁻¹	
	n	安全因数		
	n_s, n_b	塑性、脆性材料的安全因数		
	n_{st}	稳定安全因数		
	GI_p	圆轴的拉扭刚度	N · m ²	
	GI_t	非圆截面杆的抗扭刚度	N · m ²	
截面特性	A	截面面积	mm ² , m ²	1m ² =10 ⁶ mm ²
	A_{bs}	挤压面积	mm ² , m ²	
	V	体积	mm ³ , m ³	1m ³ =10 ⁹ mm ³
	ρ	曲率半径	mm, m	
	i, i_y, i_z	惯性半径	mm, m	
	S, S_y, S_z	截面一次矩(静矩)	mm ³ , m ³	
	S^*, S_y^*, S_z^*	给定截面一次矩	mm ³ , m ³	
	I, I_y, I_z	截面二次矩(惯性矩)	mm ⁴ , m ⁴	
	I_{yz}	截面二次矩(惯性积)	mm ⁴ , m ⁴	
	I_p	截面二次极矩(极惯性矩)	mm ⁴ , m ⁴	
	W, W_y, W_z	弯曲截面系数	mm ³ , m ³	
	W_p	扭转截面系数	mm ³ , m ³	
	c	截面形心		
	b	截面宽度	mm, m	
	h	截面高度	mm, m	
	r, R	半径	mm, m	
	d, D	直径	mm, m	
	S	弧长	mm, m	
	l, L	长度	mm, m	
	δ	厚度	mm, m	

续表

分 类	符 号	名 称	国际单位	备 注
其他	P, P_k	功率(千瓦)	W, kW	$1\text{W}=1\text{J/s}$
	P_{hp}	功率(马力)	hp	$1\text{hp}=735.5\text{W}$
	W	(外力)功	J	$1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$
	V, V_s	应变能	J	
	v_s	应变能密度	J/mm^3	
	n	转速	r/min	
	t	摄氏温度	$^{\circ}\text{C}$	
	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	(平面)角	$(^{\circ}), \text{rad}$	

注:① 国际单位中的空栏为“无量纲”。

② 主要使用的量和单位表的编写依据是《中华人民共和国国家标准 GB/T 3100—1993 国际单位制及其应用》,GB/T 3101—1993 中“有关量、单位和符号的一般原则”,GB/T 3102.3—1993 中“力学的量和单位”。对标准中无规定的符号,使用依据是高等教育出版社的“材料力学主要符号表”。

1.4 外力、内力及应力的概念	5
1.5 位移、变形及应变的概念	8
1.6 构件的分类 杆件的基本变形	11
思考题	12
习题	12
第2章 拉伸与压缩	15
2.1 概述	15
2.2 轴力和轴力图	15
2.3 截面上的应力	16
2.4 材料拉伸时的力学性质	19
2.5 材料压缩时的力学性质	26
2.6 拉(压)杆的强度条件	28
2.7 拉(压)杆的变形 胡克定律	32
2.8 拉、压、剪静定问题	42
2.9 装配应力和温度应力	43
2.10 冷拉、冷缩时的应变能	56
2.11 应力集中的概念	58
思考题	59
习题	61
第3章 剪切	71
3.1 连接件的强度计算	71
3.2 纯剪切 切应力互等定理 剪切胡克定律	81
3.3 剪应变能	82
思考题	84
习题	84
第4章 扭转	89
4.1 概述	89
4.2 外力偶矩 扭矩和扭矩图	90

目 录

2.3.3 用图解法分析二向应力状态	213
2.3.4 主应力迹线	218
2.4 三向应力状态	219
2.5 平面应变状态分析	224
2.6 广义胡克定律	226
第二版前言	229
第一版前言	232
主要使用的量和单位	233
第1章 绪论	1
1.1 材料力学简史	1
1.2 材料力学的任务	4
1.3 变形固体的基本假设	5
1.4 外力、内力及应力的概念	5
1.5 位移、变形及应变的概念	8
1.6 构件的分类 杆件的基本变形	11
思考题	12
习题	12
第2章 拉伸与压缩	15
2.1 概述	15
2.2 轴力和轴力图	15
2.3 截面上的应力	16
2.4 材料拉伸时的力学性质	19
2.5 材料压缩时的力学性质	26
2.6 拉(压)杆的强度条件	28
2.7 拉(压)杆的变形 胡克定律	32
2.8 拉(压)超静定问题	42
2.9 装配应力和温度应力	48
2.10 拉伸(压缩)时的应变能	56
2.11 应力集中的概念	58
思考题	59
习题	61
第3章 剪切	71
3.1 连接件的强度计算	71
3.2 纯剪切 切应力互等定理 剪切胡克定律	81
3.3 剪切应变能	83
思考题	84
习题	84
第4章 扭转	89
4.1 概述	89
4.2 外力偶矩 扭矩和扭矩图	90

4.3	圆轴扭转时截面上的应力计算	92
4.4	圆轴扭转时的变形计算	99
4.5	圆轴扭转时的强度条件 刚度条件 圆轴的设计计算	101
4.6	材料扭转时的力学性质	106
4.7	圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形	109
4.8	矩形截面杆自由扭转理论的主要结果	112
4.9	扭转超静定问题	114
	思考题	117
	习题	119
第5章	弯曲内力	125
5.1	弯曲的概念	125
5.2	梁的载荷与支座的简化	126
5.3	平面弯曲的内力方程及内力图	127
5.4	载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系	133
5.5	用叠加法作弯矩图	140
5.6	平面刚架与曲杆的内力	142
	思考题	145
	习题	145
第6章	弯曲应力	151
6.1	纯弯曲时梁的正应力	151
6.2	正应力公式的推广 强度条件	156
6.3	矩形截面梁的弯曲切应力	162
6.4	常见截面梁的最大弯曲切应力	165
6.5	弯曲切应力的强度校核	167
6.6	变截面梁和等强度梁的计算	171
6.7	提高梁强度的主要措施	175
	思考题	178
	习题	178
第7章	弯曲变形	183
7.1	概述	183
7.2	挠曲线的近似微分方程	183
7.3	用积分法求梁的变形	185
7.4	用叠加法求梁的变形	192
7.5	梁的刚度条件及提高梁刚度的措施	197
7.6	用变形比较法解简单超静定梁	199
	思考题	203
	习题	203
第8章	应力状态及应变状态分析	208
8.1	概述	208
8.2	用解析法分析二向应力状态	209

8.3	用图解法分析二向应力状态	213
8.4	主应力迹线	218
8.5	三向应力状态	219
8.6	平面应变状态分析	224
8.7	广义胡克定律	226
8.8	三向应力状态下的应变能密度	229
8.9	弹性常数 E, G, μ 的关系	232
	思考题	233
	习题	233
第9章	强度理论	239
9.1	概述	239
9.2	经典强度理论	240
9.3	经典强度理论的试验研究	242
9.4	近代强度理论	244
9.5	统一强度理论	248
9.6	强度理论的应用	249
	思考题	255
	习题	255
第10章	组合变形时的强度计算	258
10.1	概述	258
10.2	斜弯曲	258
10.3	拉伸(压缩)与弯曲的组合	262
10.4	弯曲与扭转的组合	268
10.5	组合变形的普遍情形	274
	思考题	279
	习题	281
第11章	压杆稳定	285
11.1	基本概念	285
11.2	细长压杆的临界压力	286
11.3	压杆的临界应力	291
11.4	压杆的稳定计算	300
11.5	稳定系数法	303
11.6	提高压杆稳定性的措施	306
11.7	纵横弯曲的概念	307
	思考题	310
	习题	311
第12章	动载荷	315
12.1	概述	315
12.2	等加速直线运动及匀速转动时构件的动应力计算	315
12.3	冲击问题	320

12.4 冲击韧度	331
12.5 提高构件抗冲击能力的措施	332
12.6 考虑被冲击构件质量的冲击应力	333
思考题	336
习题	337
附录 A 平面图形的几何性质	343
A.1 静矩和形心	343
A.2 惯性矩 惯性积 惯性半径	346
A.3 平行移轴公式	348
A.4 转轴公式 主惯性矩	353
A.5 惯性矩的莫尔圆法	359
思考题	362
习题	363
附录 B 简单截面图形的几何性质	367
附录 C 简单载荷下梁的弯矩、剪力、挠度和转角	369
附录 D 型钢表	372
附录 E 3号钢各类截面受压直杆的稳定系数 φ	383
附录 F 中英文名词对照	385
习题答案	391
参考文献	402

第1章 绪 论

1.1 材料力学简史

工程实际中广泛地使用各种机械和结构物。组成这些机械和结构物的零件,统称为构件。为确保机械和工程结构的工作性能,一般不允许构件在工作时发生破坏。

我国古代许多伟大的工程饱经沧桑至今仍巍然屹立,其中蕴含着丰富的材料力学知识。据考证,我国在殷商时代(公元前14世纪),房屋建筑就采用了柱、梁、檩、椽的屋架结构,人们逐渐知道了立柱和横梁应采用圆形和矩形截面,积累了合理运用木结构的经验。在以后的生产活动中,人们对各种材料,特别是木材的性能作了仔细的研究,木架结构也随之发展得更加科学、更加完善,成为我国建筑体系的主要特征。所谓木结构,是指用木架作为骨干,下为立柱,上为梁、枋、檩子构成的骨架,其承载着房屋的全部重量。墙壁仅起隔离作用,可以随意开设门窗,这与现代的钢结构和钢混结构相类似。同时,这种梁架结构为简单的静定梁,横梁一层比一层短,使载荷集中地加在靠近支点的地方,大大减小了梁在两荷重间的很大一段长度中的弯曲应力,使梁中切应力仅仅限制在两端很小的范围内,巧妙地运用了静力学和材料力学的原理。特别是用方形木块和前后左右挑出的臂形横木组成的斗拱,作为立柱和梁的过渡部分,将建筑物上面部分的分散重量集中到底部的柱头上,成功地解决了木架结构的横梁与立柱衔接处的切应力集中问题。斗拱结构逐渐发展成尺寸精密、制度完备的结构。建于唐末(公元857年左右)的山西五台山佛光寺大殿,所用斗拱已相当完备。建于辽代(公元1056年)的山西应县佛宫寺释迦塔,是我国现存最古老的一座木塔,塔高67.31m,呈平面八角形,共九层,其中四层为暗层,外观五层六檐,用木材约7400t,全塔重量由32根木柱承受,采用不同规模的斗拱形式多达54种。其结构精密,体量宏伟,反映了我国古代木构建筑的杰出成就。近千年来该塔历经多次地震,其中公元1631年在灵邱一带的地震,震中烈度达9度,该塔却安然无恙。随着人们对砖石等材料耐压性能好这一特性的认识,出现了越来越多的砖石结构建筑。在公元200年左右,我国就有了石拱桥的历史记载。拱桥在材料使用上最经济,尤其当载荷均匀,每块拱石都受压力时更是如此,因为耐压正是石料等脆性材料的特性。我国现存最古老的石拱桥——小商桥,位于河南漯河市郾城县与临颍县交界的颍河上,为敞开式石拱桥,建于隋文帝开皇四年(公元584年),是一座在主拱两端各有一对称腹拱的三桥洞石拱桥,全长计20.87m,桥面宽6.67m,其结构与著名的赵州桥相似。赵州桥修建于公元605年左右,距今已有1400多年,系隋代工匠李春所建,施工技术巧妙绝伦,用石块砌成拱形,材料只受压缩,不受拉伸。该桥长50.82m,两端宽9.6m,中部宽9m,主孔跨度37.37m,其大拱为小于半圆的一段圆弧,拱高仅有7m,与跨高之比为1:5.3(而不是通常的高度和跨度比为1:2)。同时在大拱上还叠加了四个小拱,形成了拱上加拱的敞肩拱桥,既节省材料又可泄洪,减小水流平推力,正如唐玄宗开元年间宰相张嘉贞所言“制造奇特,人不知其所以为”。由于采用了上述方法,可以增加流水面积16.5%,减轻桥身净重15.3%,增加了桥梁安全系数约11.4%,大大增加了桥的寿命。而欧洲出现类似的桥,则比赵州桥晚了700多年。合理利用抗拉材料的例子也有很

多,如 2200 多年前,李冰父子在四川灌县兴造水利工程都江堰,横跨岷江的竹索桥长达 320m,它以木为桩,以竹为揽,上铺木板,旁设翼栏,分 8 孔横跨都江堰鱼嘴和内外两江,是运用竹材抗拉性能优良的实例。船舶制造也是很早就有了发展。早在汉朝(公元前 140 年)已造成了能容千人的大船,6 世纪末隋代就建造了高 100 余尺,能容 800 人的五层大战船。唐代的船舶特别以船身大、容积广、抵抗波涛能力强而闻名。明朝郑和 7 次下西洋,带了长 44 丈^①,宽 18 丈的船 47 艘,共载兵士 2.7 万多人到达波斯湾、红海等亚非 30 多个国家和地区。当时是公元 1405 年至 1433 年,比欧洲航海家的远航早了半个多世纪。公元 1103 年出版的宋代杰出建筑师李诫所著《营造法式》,总结了我国 2000 多年间木结构建筑方面的经验,系统地给出了房屋各部分的尺寸经验公式,如“凡梁之大小,若随其广分为三分,以二分为厚”,即把矩形梁截面尺寸高和宽的比例规定为 3:2,这是由圆木加工成矩形梁的最合理比值(理论上应为 $\sqrt{2}:1$)。使用这样的比值既提高了木梁抗弯性能,又保证了木梁一定的稳定性。意大利的达·芬奇(1452~1519 年)也提出了梁的强度与长度成反比、与宽度成正比,但没有提到高度对梁的影响,在时间上也比李诫晚 400 多年。早在东汉时期,经学家郑玄(公元 127~200 年)通过定量测量得出“假令弓力胜三石,引之中三尺,弛其弦,以绳缓擗之,每加物一石,则张一尺”。清楚地表达了力与变形的关系。1500 多年后英国科学家胡克^②才把它总结成被人们普遍认知的胡克定律。

1662 年,胡克在皇家学会负责实验工作。经过长期的实验研究,于 1678 年发表了著名论文《弹簧》。文中叙述到“取一根长 20、30 或 40 英尺^③的弹簧,上端用钉子钉牢,另一端系一秤盘,用一个双脚规来测量秤盘底到地面间的距离,把该距离记为 F ,然后把重量放入上述秤盘中,测得弹簧的若干次伸长,记下各次数据并加以比较,就会发现每次弹簧的伸长与所加重量成同一比例”。他还用螺旋弹簧、发条、木头等做过实验,从而得出:所有弹性体在变形后恢复至原来位置所具有的力常与所移动的距离或空间成正比。这篇论文被认为是第一篇讨论材料弹性性质的文献。胡克定律的发现,沟通了力与变形间的关系,从而可以通过测量外部载荷来确定变形和应力的关系,同时也可以通过测量局部变形来推算作用力的大小。

中国、古希腊、罗马、埃及以及其他早期文明国家,都曾建造了许多宏伟而耐久的结构,人们都掌握了关于材料力学方面的知识,但大多数都因缺少记述而流失了。“材料力学”作为一门科学,一般认为是以意大利科学家伽利略于 1638 年发表的《关于两种新科学的叙述及其证明》为标志。该书就悬臂梁的应力分布,简支梁受集中载荷的最大弯矩,等强度梁的截面形状和空、实心圆柱的抗弯强度比较进行了阐述。尽管关于悬臂梁的应力分布公式受当时测试手段限制是错误的,但他的这些工作仍有很大的意义,开创了由实验的总结来发展理论的阶段。从此,设计工作有了理论的指导。

17 世纪以后,随着技术革命的发展,新兴的工业、海运、土建、桥梁等大型工程提出了很多构件破坏和强度计算的问题。此时,单靠经验和简单模拟已不能解决问题。科学家们采用了数学解析与试验研究相结合的方法进行研究,走出了经验积累阶段,取得了科学成果,为工程设计提供了计算方法和理论基础,大大地推动了生产的发展。随着生产的发展,工程规模进一步扩大,在结构形式、设计方法、材料性能等方面,又提出更新、更复杂的问题,反过来又推动了

① 1 丈=3.3 米。

② Robert Hooke (1635~1703 年),英国实验主义哲学家,于 1678 年提出以他的名字命名的胡克定律。由于郑玄在《考工记·弓人》的注中已提到这一概念,故可称为郑玄-胡克定律。

③ 1 英尺=3.048 $\times 10^{-1}$ 米。

科学研究的发展,这样交替促进,逐渐发展成系统的材料力学学科。

18世纪时对材料力学贡献最大的科学家当首推法国科学家库仑(1736~1806年)。他在材料力学方面的主要成就是通过实验修正了伽利略关于悬臂梁抗力问题的错误,同时提出了最大切应力强度理论。依照这一理论,梁的危险状态的到达起主要作用的是切应力。从此,梁的平面弯曲问题得到了相当完善的解决。同时,库仑也是在扭转方面取得较大成绩的第一人。到了1826年,由法国著名科学家纳维所著的第一部《材料力学》著作问世。

实践经验的积累,是力学理论发展的重要基础。我国古代在材料力学方面积累了丰富的经验和知识,中国人“在许多重要方面有一些科学技术发明,走在那些创造出著名的‘希腊奇迹’的传奇式人物的前面,和拥有古代西方世界全部文化财富的阿拉伯人并驾齐驱,并在公元3世纪到13世纪保持一个西方所望尘莫及的科学知识水平”。^①

19世纪30年代以后,人们大规模兴建铁路,桥梁建设也随之高速发展,这样又出现了各种各样的新问题。如铁轨的冲击载荷、振动载荷、疲劳强度,桥梁的振动,桁架受压杆件的稳定性等问题。起初这些问题未能得到很好的关注,因而造成了重大损失,这也引起了人们对它的研究。

19世纪中叶,由于国际贸易的迅速发展,特别是远洋贸易的发展,使得造船材料及强度计算成为一个重要问题。1870年,出现了用铁替代木材,以蒸汽动力替代风帆的轮船;1890年开始用钢来制造船舶的某些关键部分,从而提高了船速,增加了船的运载能力。还解决了诸如船舶的振动、各种薄板的计算等强度问题。

第一次世界大战期间和战后,航空工业由于其自身优势及国防意义而得到迅速发展,这大大促进了薄壁及薄壳的强度计算、稳定性、疲劳等理论的发展。

随着工业的蓬勃发展,新材料的不断出现,开展材料性质的实验研究也显得更加迫切。19世纪末,各国先后建立了材料力学性质研究的实验室,并于1895年成立了国际材料实验协会。20世纪以来,实验研究更加广泛,出现了许多重要的实验方法,如以电测和光测为基础的各种实验技术不断创新。新方法和新技术研究解决了许多实际问题,并推动了理论的发展。

另外,不断发生的重大事故,也向科学家提出一个个新的命题,促使材料科学及力学领域不断发展。例如,1912年4月14日,英制4600t被称为“不沉之船”的“泰坦尼克号”游轮,在从南安普敦港驶向纽约的处女航中连同它的1513位乘客,仅在3小时内就被格陵兰冰冷的海水吞没了。这其中除了水手的操作因素外,另一个重要原因则是造船工程师只考虑到要增加钢的强度,而忽略了要增加其韧度。

1986年4月26日,苏联1973年动工修建、1977年投入运行的切尔诺贝利核电站,在一系列操作失误后,反应堆不断工作产生蒸汽却将其输向已经关闭的涡轮机,反应堆外壳承受的压力和温度远远超出了设计的要求,一条30多米高的火柱掀开了反应堆的外壳,爆炸释放的能量相当于500颗广岛原子弹,放射性污染遍及前苏联694.5万人居住的 $1.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ 地区。严重的灾难性事故促使新的设计理念和新材料的不断诞生。

20世纪特别是近50年来,科学技术有了突飞猛进的发展,工业技术高度发展,特别是航空航天工业的崛起,计算机的出现与不断更新换代,各种新型材料的不断问世并应用于工程实际,实验设备日趋完善,实验技术不断提高,这些都使得材料力学所涉猎的领域更加广阔,知识更加丰富。这表明这门学科仍处在不断的发展和更新之中。新材料、新概念、新理论和新技术必将给这门古老的学科注入新的活力。国际空间站的建立使航天飞机穿梭于地面与太空之

^① 李约瑟. 中国科学技术史. 第一卷. 北京: 科学出版社, 1975.