



普通高等教育“十二五”规划教材

材料力学

季顺迎 主编

郑芳怀 主审



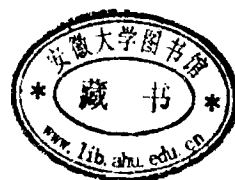
科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

材料力学

季顺迎 主编
郑芳怀 主审

科学出版社
北 京



内 容 简 介

本书根据教育部力学高等学校教学指导委员会制定的“材料力学课程教学基本要求”编写。全书共 14 章,包括材料力学基本概念、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析与强度理论、组合变形、压杆稳定、能量法、静不定结构、动载荷、疲劳,并将截面图形的几何性质等内容列入附录。各章均附有习题,并在书后给出了参考答案。

本书注重材料力学的基本原理、基本概念和基本方法。在内容编排上,注重课程的基础性、应用性和教学的适用性,可满足不同层次的教学要求。另外,本书采用了国际通用符号,并引入部分材料力学知识的发展简史,可读性强。

本书可作为高等工科学校力学、机械、动力、材料、船舶、汽车、航空航天及相关专业的“材料力学”课程教材,也可供其他院校教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/季顺迎主编. —北京:科学出版社,2013. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-036304-6

I. ①材… II. ①季… 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(2012)第 314466 号

责任编辑:朱晓颖 张丽花 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:阎 磊 / 封面设计:迷底书装

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>

保定市中美美凯印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张:19 3/4

字数:504 000

定价:42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书根据教育部高等学校力学教学指导委员会制定的“材料力学课程教学基本要求”编写,内容包括材料力学基本概念、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析与强度理论、组合变形、压杆稳定、能量法、静不定结构、动载荷、疲劳以及截面图形的几何性质等,适用于多学时材料力学课程的教学。

本书传承了大连理工大学工程力学系在材料力学课程教学中的知识体系和风格特色,特别注重材料力学的基本原理、基本概念和基本分析方法。此外,在本书编写过程中也参考了大量的国内外优秀教材,力求体现内容的适当更新。本书的内容特色主要体现在:(1)增强趣味性,增加了对材料力学发展过程及重要历史人物的简介;(2)增强了教材内容的工程性;(3)采用了国际通用、容易理解的力学符号。

全书由季顺迎主编。参加本书编写工作的主要有:季顺迎(第1章)、马红艳(第2、3、4章)、毕祥军(第5、6、7章)、李锋(第8、9章)、张昭(第10章,附录A1、A2、A3、A4)、王博(第11、12章)、马国军(第13、14章)。此外,王守新、关东媛等也参与了本书的编写讨论。

在本书编写过程中,程耿东院士、洪明教授和杨春秋教授给予了很大的支持和鼓励,并提出了许多建设性意见,在此深表感谢。

本书得到大连理工大学教务处教材出版基金的资助,也得到大连理工大学运载工程与力学学部、工程力学系的大力支持。大连理工大学郑芳怀教授对本书给予了悉心的指导,并审阅了全部书稿,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,恳请专家、读者批评指正。

编 者

2012年7月

主要符号表

A	面积	$\bar{T}$	单位载荷引起的扭矩
A_s	剪切面面积	n	转速、螺栓个数
A_{bs}	挤压面面积	n_s	对应于塑性材料 σ_s 的安全因数
a	间距	n_b	对应于脆性材料 σ_b 的安全因数
b	宽度	n_{st}	稳定安全因数
D, d	直径	N	循环次数、疲劳寿命
E	弹性模量	p	压强
E_k	动能	P	功率
E_p	势能	q	分布载荷集度
F	力, 集中载荷	R, r	半径
F_{Ax}, F_{Ay}	点 A 的 x 、 y 方向约束反力	u_d	畸变能密度
F_N	轴力	u_v	体积改变能密度
$\bar{F}_N$	单位载荷引起的轴力	u_e	应变能密度
F_{cr}	临界载荷	V_e	应变能
F_d	动载荷	W	功、重量
F_S	剪力	W_i	内力功
$\bar{F}_S$	单位载荷引起的剪力	W_e	外力功
F_R	合力、主矢	W_z	抗弯截面系数
F_T	拉力	W_t	抗扭截面系数
F_u	极限载荷	α	倾角、线膨胀系数
$[F]$	许用载荷	β	角度、表面质量因数
F_x, F_y, F_z	x 、 y 、 z 方向力的分量	θ	梁截面转角、单位长度相对扭转角、体积应变
G	切变模量	φ	相对扭转角
H, h	高度	γ	切应变、重力密度
I	惯性矩	Δ	增量符号
I_p	极惯性矩	Δ	位移
I_{xy}	惯性积	δ	厚度、变形、位移
i	惯性半径	ϵ	正应变
S	静矩、一次矩	ϵ_e	弹性应变
s	路程、弧长	ϵ_p	塑性应变
K	弹簧常量, 刚度系数, 应变计灵敏因数	λ	柔度
L, l	长度、跨度	μ	长度因数
M, M_y, M_z	弯矩	ν	泊松比
$\bar{M}$	单位载荷引起的弯矩	ρ	曲率半径、材料密度
M_e	外力偶矩	ρ_k	质量密度
M_O	对点 O 的矩	σ	正应力
T	扭矩、周期、温度	σ_s	应力幅

σ_t	拉应力	$\sigma_{0.2}$	名义屈服极限
σ_c	压应力	σ_s	屈服极限
σ_m	平均应力	σ_r	持久极限,相当应力、残余应力
σ_b	强度极限	σ_μ	名义应力
σ_{bs}	挤压应力	τ	切应力
$[\sigma]$	许用应力	τ_u	极限切应力
σ_{cr}	临界应力	$[\tau]$	许用切应力
σ_d	动应力	w	挠度
σ_p	比例极限		

目 录

前言

主要符号表

第 1 章 材料力学基本概念	1
1.1 材料力学的任务和研究对象	1
1.2 材料力学的发展过程	2
1.3 材料力学的基本假设	4
1.4 外力、内力和应力.....	5
1.5 位移、变形和应变.....	8
1.6 杆件变形的基本形式	9
习题	10
第 2 章 轴向拉伸和压缩	11
2.1 概述.....	11
2.2 轴力和轴力图.....	11
2.3 拉压杆的应力.....	13
2.4 材料在拉伸和压缩时的力学性能.....	16
2.5 轴向拉压杆的强度条件.....	23
2.6 拉压杆的变形.....	26
2.7 拉压静不定问题.....	30
2.8 应力集中的概念.....	36
习题	37
第 3 章 剪切	42
3.1 概述.....	42
3.2 剪切的实用计算.....	42
3.3 挤压的实用计算.....	44
习题	47
第 4 章 扭转	49
4.1 概述.....	49
4.2 扭矩和扭矩图.....	49
4.3 纯剪切、切应力互等定理和剪切胡克定律	51
4.4 圆轴扭转时的应力及强度条件.....	52
4.5 圆轴扭转时的变形及刚度条件.....	58
4.6 扭转静不定问题.....	61
4.7 圆柱形密圈螺旋弹簧的强度.....	63
4.8 非圆截面杆件的扭转.....	64

4.9 薄壁截面杆的扭转·····	66
习题·····	69
第5章 弯曲内力 ·····	73
5.1 概述·····	73
5.2 剪力和弯矩·····	75
5.3 剪力图和弯矩图·····	77
5.4 剪力、弯矩和分布载荷集度间的微分关系·····	80
5.5 平面刚架和曲梁的内力·····	85
习题·····	87
第6章 弯曲应力 ·····	92
6.1 概述·····	92
6.2 弯曲正应力·····	92
6.3 弯曲切应力·····	96
6.4 梁的强度条件·····	102
6.5 非对称截面梁的平面弯曲和弯曲中心·····	106
6.6 提高弯曲强度的措施·····	107
6.7 梁基本理论的发展历程·····	112
习题·····	114
第7章 弯曲变形 ·····	118
7.1 概述·····	118
7.2 挠曲线近似微分方程·····	118
7.3 积分法求梁的变形·····	119
7.4 叠加法求梁的位移·····	125
7.5 梁的刚度条件与合理刚度设计·····	130
7.6 简单静不定梁·····	131
习题·····	136
第8章 应力状态分析与强度理论 ·····	142
8.1 概述·····	142
8.2 平面应力状态分析·····	144
8.3 平面应力状态的应力圆·····	148
8.4 三向应力状态的最大应力·····	149
8.5 广义胡克定律·····	150
8.6 空间应力状态下的应变能和畸变能·····	153
8.7 常用的四个古典强度理论·····	154
习题·····	160
第9章 组合变形 ·····	165
9.1 概述·····	165
9.2 斜弯曲·····	165
9.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合·····	170

9.4	偏心拉伸(压缩)与截面核心	172
9.5	弯曲与扭转的组合	175
	习题	179
第 10 章	压杆稳定	183
10.1	概述	183
10.2	细长压杆的临界力和欧拉公式	184
10.3	中、小柔度杆的临界力和临界应力总图	189
10.4	压杆的稳定校核	191
10.5	提高压杆稳定性的措施	193
	习题	194
第 11 章	能量法	196
11.1	概述	196
11.2	外力功和应变能	196
11.3	卡氏定理	200
11.4	变形体虚功原理	205
11.5	单位载荷法	207
11.6	互等定理	215
	习题	218
第 12 章	静不定结构	224
12.1	概述	224
12.2	力法和力法正则方程	225
12.3	对称性的利用	233
	习题	239
第 13 章	动载荷	243
13.1	概述	243
13.2	等加速运动构件的应力和应变	243
13.3	冲击应力和变形	247
13.4	提高构件抗冲击能力的措施	253
	习题	254
第 14 章	疲劳	257
14.1	概述	257
14.2	持久极限	259
14.3	对称循环构件的疲劳强度校核	263
14.4	非对称循环构件的疲劳强度校核	264
14.5	提高构件疲劳强度的措施	265
	习题	265
附录 A1	截面图形的几何性质	267
A1.1	静矩	267
A1.2	惯性矩和惯性积	270

A1.3 平行移轴公式	272
A1.4 转轴公式和主惯性轴	274
A1.5 组合图形的形心主惯性矩	277
习题.....	278
附录 A2 型钢表	280
附录 A3 常用材料的力学性能	293
附录 A4 常用截面图形的几何性质	294
参考文献.....	296
部分习题参考答案.....	297

第 1 章 材料力学基本概念

1.1 材料力学的任务和研究对象

材料力学是在不断地解决机械、土木等工程问题的过程中产生和发展起来的,其目的是为不同工程结构的分析和设计提供理论基础和计算方法。材料力学又是固体力学的入门课程,其作用是奠定学习变形体固体力学的基础。因此,工程应用性和理论基础性构成了材料力学课程的特点。

工程结构和机械是由若干单个部分或零部件组成的,这些单个组成部分或零部件统称**构件**。只有每一个构件都正常工作,才能保证整个结构正常工作,材料力学重点研究单个构件正常工作的基本力学条件。

1.1.1 强度、刚度和稳定性

工程结构和机械的各组成部分,在外力作用下会发生尺寸改变和形状改变,这两种改变统称**变形**。构件受外力发生变形,外力卸除后能消失的变形称为**弹性变形**,不能消失的变形称为**塑性变形**或**残余变形**。工程结构和机械设计的基本要求是安全可靠和经济合理。材料力学要解决的问题主要是建立构件正常工作的强度、刚度和稳定性条件。

强度是指构件抵抗破坏的能力。构件在外力的作用下可能断裂,也可能发生显著的不能消失的塑性变形。这两种情况都属于破坏。构件正常工作需具有足够的强度,以保证在规定的使用条件下不发生意外断裂或显著的塑性变形,这类条件称为**强度条件**。

刚度是指构件抵抗变形的能力。多数构件在正常工作时只允许发生弹性变形。将构件的变形控制在设计范围以内,以保证其在规定的使用条件下不产生过大变形,这类条件称为**刚度条件**。

稳定性是指构件维持原有平衡形式的能力。材料力学研究的构件一般都处于平衡状态,但平衡状态的稳定程度是各不相同的。构件应具有稳定平衡需要满足的条件,以保证其在规定的使用条件下不失稳,这类条件称为**稳定性条件**。

材料力学的任务是研究建立构件的强度条件、刚度条件和稳定性条件,为经济合理地设计构件提供基本理论和分析方法。

在材料力学研究中,建立在简化假设基础上的理论需要由实验来验证、材料的力学性能需要由实验测定,在理论上尚未解决的问题,要通过实验方法解决。因此完成材料力学的任务也要重视实验研究的地位和作用。此外,近年来计算机科学技术的飞速发展作为材料力学的基础研究和工程应用提供了有力的工具。

1.1.2 材料力学的研究对象

长度方向的尺寸远大于横向尺寸的构件,称为**杆件**。工程中最常见、最基本的构件是杆件。梁、柱、传动轴、支撑杆等构件都可以抽象为杆件。

描述杆件的几何要素是**横截面**和**轴线**。垂直于杆的长度方向的平切面称为**横截面**。所有

横截面形心的连线称为杆的**轴线**。杆件的横截面与轴线相正交。横截面的大小和形状都相同的杆件称为**等截面杆**(图 1-1(a)、(b)),不相同的称为**变截面杆**(图 1-1(c))。

轴线为直线的杆称为**直杆**(图 1-1(a)、(c)),轴线为曲线的杆称为**曲杆**(图 1-1(b))。材料力学的研究对象主要是等截面直杆,简称**等直杆**(图 1-1(a))。材料力学中等直杆的计算原理一般可以近似用于曲率很小的曲杆和横截面变化不大的变截面杆。

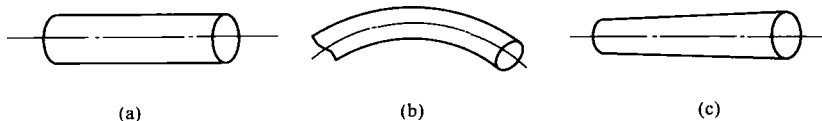


图 1-1

1.2 材料力学的发展过程

材料力学的建立和发展在人们的日常生活、生产和工程实践中经历了漫长的历史时期。我国古代对材料力学的发展也做出了重要贡献。作为一门相对独立、系统的学科,材料力学是从文艺复兴时期的 17 世纪建立并不断发展完善起来的。近年来,随着科学技术的高速发展,材料力学也不断面临着新的研究课题。

1.2.1 我国古代有关材料力学的生产和工程实践

在我国历史上,人们在日常生活和工程实践中积累了丰富的力学经验。我国劳动人民的智慧充分地体现在大型水利和建筑工程的应用中,形成了朴素的材料力学基础。春秋战国时代的《考工记》、《墨经》、《荀子》、汉代的《淮南子》、宋代的《营造法式》、明朝的《天工开物》等著作中,已有关于刚性、韧性、挠度和复合材料的初步知识。古代文献中最早关于力的概念的论述出在《墨经》中,定义力为“力,刑之所以奋也”^①,即力是物体之所以改变运动状态的原因。这与牛顿第一定律“任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态,直到受到其他物体的作用力迫使它改变这种状态为止”是一致的。该书还提及“发均县(悬),轻而发绝,不均也。均,其绝也莫绝。”它指的是:用多根头发悬挂重物,物很轻时头发就断了,是因为头发受力不均匀;如果受力均匀,该断时也不会断。这段话的力学基础是静不定及强度理论。

公元 31 年,即东汉建武七年,杜诗创造了水排,表明人们已经很清楚地知道如何用拉压杆、弯曲梁、扭转轴等构件设计出一个完整的工程结构。东汉经学家郑玄(127~200)在《考弓记·弓人》中以弓的拉力为研究对象建立了力与位移的比例关系,形成了朴实的弹性定律。此外,明代宋应星(1587~1664)的《天工开物》(1637)也谈及弓拉力与拉长的线弹性关系。对于矩形截面梁的高宽比,我国北宋李诫在其《营造法式》中推荐取值为 3:2,这一取值处在最佳强度设计($\sqrt{2}:1$)和最佳刚度设计($\sqrt{3}:1$)之间。近年来,我国学者对 8~12 世纪建筑中 121 根木梁截面的测量结果发现,53.7%的高宽比在($\sqrt{2}:1$)~($\sqrt{3}:1$),由此表明我国古代建筑技术中力学知识的科学性和合理性。

^① 这里“刑”同“形”,指物体。

我国古代对材料力学的贡献还集中表现在桥梁建筑等工程结构中。例如,公元 608 年工匠李春利用石料耐压不耐拉的特性,主持建造了跨长 37.37m、拱圈矢高 7.23m 的拱桥,跨越河北赵县的洨河上,即著名的赵州桥(图 1-2)。其主拱上的小拱不仅便于排水,而且表明工匠李春对减重省材、优化结构的力学效应已有清楚的认识。在当时同类石拱桥中,赵州桥的设计与工艺之先进堪称世界之冠。世界上现存最高的木结构建筑——山西应县木塔(图 1-3)距今已近一千年的历史,在 1305 年曾经历过一次 6.5 级的大地震,附近民房全部倒塌,而木塔仍完整地屹立至今。

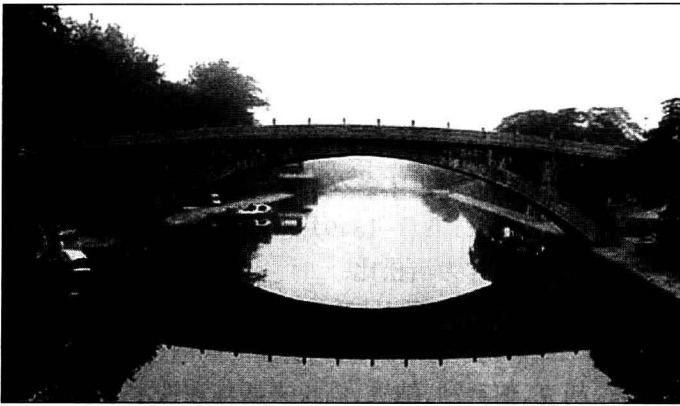


图 1-2

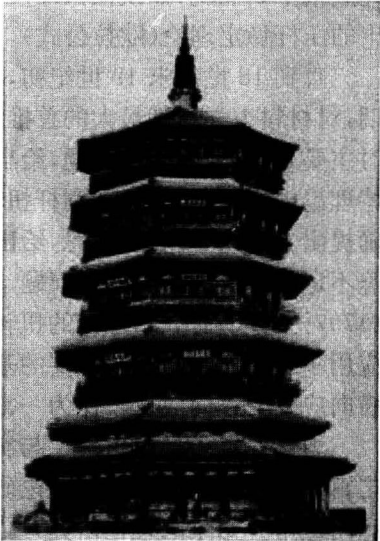


图 1-3

综上所述,我国古代有丰富的有关材料力学的生产和工程实践,并作出卓越贡献,主要表现在工程建设的实践活动中,但缺乏理论上的总结和交流传播。由于封建制度的长期延续,严重地束缚了生产力的发展,因而也限制了科学技术的成长,致使经典力学,乃至材料力学作为一个系统的学科没能在中国产生,而是于文艺复兴期间在欧洲建立并发展起来。

1.2.2 材料力学的建立与发展

任何一门科学都不是个别人在短期内创造出来的。源于实践活动的材料力学知识也由来已久。文艺复兴初期的意大利美术大师、力学家、工程师达·芬奇(1452~1519)应用虚位移原理的概念研究过起重机具上的滑轮和杠杆系统,并做过铁丝的拉伸实验。一般认为,意大利科学家伽利略(1564~1642)的《关于力学和局部运动的两门新科学的对话和数学证明》一书的发表(1638 年)是材料力学开始形成一门独立学科的标志(图 1-4)。在该书中这

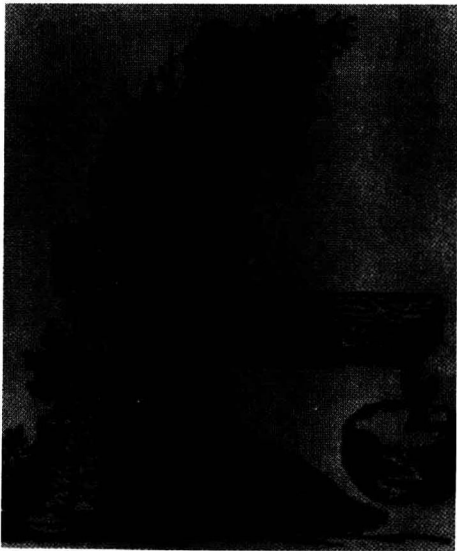


图 1-4 伽利略的木梁弯曲试验

位科学巨匠尝试用科学的解析方法确定构件的尺寸,讨论的第一问题是直杆轴向拉伸问题,得到承载能力与横截面积成正比而与长度无关的正确结论。

对材料力学的系统研究一般认为是以 17 世纪 80 年代胡克和马略特的工作为代表。英国科学家胡克(1635~1703)通过对一系列试验资料作总结,在 1678 年提出了物体弹性变形与所受的力成正比的规律,即胡克定律。它是材料力学进一步发展的基础,并在该领域内得到广泛的应用。近代把应力表示成应变分量的函数可以认为是胡克定律的通式。所以胡克是材料力学这门科学的奠基人之一。随着牛顿和莱布尼兹所建微积分的发展和应用,材料力学的研究成果不断涌现,如欧拉(1707~1783)和伯努利(1700~1782)所建立的梁的弯曲理论、欧拉提出的压杆稳定理论(欧拉公式),直到今天依然被广泛应用。

直到 18 世纪末 19 世纪初,材料力学作为一门学科,才真正形成比较完整的体系。这一时期,对材料力学贡献最大的首推法国科学家库伦(1736~1806)。他系统地研究了脆性材料(当时主要是石料)的破坏问题,给出了判断材料强度的重要指标。同时他还修正了伽利略和马略特理论中的错误,获得了圆杆扭转切应力的正确计算结果。法国科学家纳维(1785~1838)明确提出了应力、应变的概念,给出了各向同性和各向异性弹性体的广义胡克定律,研究了梁的静不定问题及曲梁的弯曲问题。他于 1826 年出版了第一本《材料力学》。法国科学家圣维南(1797~1886)研究了柱体的扭转和一般梁的弯曲问题,提出了著名的圣维南原理,为材料力学应用于工程实际奠定了重要的基础。法国科学家泊松(1781~1840)发现在弹性范围内材料的横向应变与纵向应变之比为—常数,这一比值也因此称为泊松比。

力学发展史呈现出理论与实验相结合的交叉式递进、探索与创新相交融的螺旋式发展的丰富多彩的画面。以梁的理论研究为例,从 1510 年达·芬奇开始讨论梁的问题,到 1638 年伽利略最早开始梁的理论研究,再历经马略特、胡克、伯努利、纳维、儒拉夫斯基和铁木辛柯,历经 400 年的探索才将梁的系统理论建立起来。可见,科学研究不可能是一帆风顺的,常常要经历一个不断发展和变革的漫长过程。在这个过程中,尽管一些科学家得到的成果不完备,甚至是不正确的,但对最终得到正确解答也会起到很大的促进作用。除了弯曲理论的研究外,扭转、疲劳、压杆稳定、强度理论等材料力学中的许多理论,从问题的提出、研究发展到基本完善均经历了较长的发展阶段,其间对材料力学的理论都存在一个由猜测到确认、从模糊到清晰的认识过程。

19 世纪中期至 20 世纪,铁路、桥梁的发展,以及钢铁和其他新材料的出现,向力学工作者提出了更广泛更深入的研究课题,使得力学的分工越来越细,出现了更多的以材料力学、结构力学、弹性力学和塑性力学为基础的固体力学分支。在材料力学教学内容和体系方面,美籍俄罗斯力学家铁木辛柯作出了卓越的贡献。他一生编著了《材料力学》、《结构力学》、《弹性力学》、《弹性稳定理论》、《工程中的振动问题》和《材料力学发展史》等 20 多部书籍,均可列为力学经典名著,被人们普遍确认为是力学的经典书籍。此外,他还于 1953 年出版了《材料力学史》,对材料力学这一学科的发展沿革进行了全面的论述。

1.3 材料力学的基本假设

由于工程材料的多种多样性,构件的微观结构非常复杂。按照实际构件材料的性质进行精确的力学计算既不可能也无必要。为了简化力学模型,在满足工程精度要求的条件下,对材料力学研究的可变形固体作出以下基本假设。

1.3.1 连续性假设

认为固体材料的整个体积内毫无间隙地充满了物质。构件在其占有的几何空间内是密实的和连续的,而且变形后仍然保持这种连续状态。这一假设意味着构件变形时材料既不相互分离,也不相互挤入。这样,固体的力学量就可以表示为坐标的连续函数,便于应用数学分析的方法。

1.3.2 均匀性假设

认为固体材料内任一部分的力学性能都完全相同。由于固体材料的力学性能反映的是其所有组成部分的性能的统计平均量,所以可认为力学性能是均匀的,不随坐标位置而改变。这样就可以从物体中任取一微小部分进行分析和试验,其结果可适用于整体。

1.3.3 各向同性假设

认为固体材料在各个方向上的力学性能都是完全相同的。虽然工程上常用的金属材料在微观尺度下各个单晶并非各向同性,但是构件中包含着许许多多无序排列的晶粒,综合起来并不显示出方向性的差异,而是宏观上呈现出各向同性的性质。具备这种性质的材料称为各向同性材料。而沿不同方向力学性能不同的材料,则称为各向异性材料。

1.3.4 小变形假设

认为固体材料在外力作用下产生的变形量远远小于其原始尺寸。材料力学所研究的问题大部分只限于这种情况。这样,在研究平衡问题时就可以不考虑因变形而引起的尺寸变化,按其原始尺寸进行分析,使计算得以简化。但对构件作强度、刚度和稳定性研究,以及对大变形平衡问题进行分析时,就不能忽略构件的变形。

综上所述,材料力学一般将实际材料看做是连续、均匀和各向同性的可变形固体,并在具有弹性力学行为的小变形条件下进行研究。

1.4 外力、内力和应力

1.4.1 外力

对于材料力学所研究的构件来说,其他构件与物体作用于其上的力均为外力,包括载荷和约束反力。按照外力的作用形式,可分为表面力和体积力。作用在构件表面的力,称为表面力,如两物体间的接触压力;作用在构件各质点上的外力,称为体积力,如重力和惯性力。

按照表面力在构件表面的分布情况,又可分为分布力和集中力。作用在构件上的外力如果作用面积远小于构件尺寸,可以简化为集中力,如图 1-5(a)所示,单位为牛(N)或千牛(kN)。

如果力的作用范围较大时则应简化为分布力;简化为一条线上的连续作用的力称为线分布力,如长杆的重力就可以简化为作用在杆的轴线上的线分布力,如图 1-5(b)所示,其大小用线分布力集度 $q(x)$ 表示,单位为 N/m 或 kN/m。 $q(x)$ 是常数时称为均布力,或均布载荷,如图 1-5(c)所示。图 1-5(d)是单位宽度的水闸受到静水压力作用时沿深度方向的线性线分布力的简化图。单位宽度的压力容器内的压力载荷是典型的面分布力,如图 1-5(e)所示。其大小

用 p 表示,单位为 Pa ($1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$)。

图 1-5(f)是**集中力偶**的示意图,单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$,图 1-5(g)则为**线分布力偶**的示意图,其单位为 $\text{N} \cdot \text{m}/\text{m}$ 。

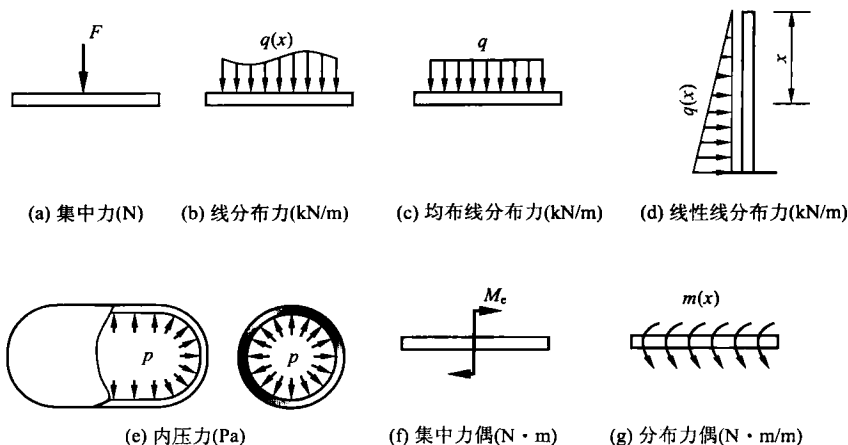


图 1-5

按照载荷是否随时间变化的情况,载荷又可分为**静载荷**和**动载荷**。随时间变化极缓慢或不变化的载荷,称为**静载荷**。其特征是在加载过程中,构件的加速度很小可以忽略不计。例如水库静水对坝体的压力、建筑物上的雪载荷等。随时间显著变化或使构件各质点产生明显加速度的载荷,称为**动载荷**,又称为**交变载荷**或**冲击载荷**。例如,锻造时汽锤连杆受到的冲击力、汽车在行驶中对地面的作用力。构件在静载荷和动载荷作用下的力学行为不同,分析方法也有一定的差异,前者是后者的基础。

1.4.2 内力和截面法

物体受外力作用产生变形时,内部各部分因相对位置改变而引起的相互作用力称为**内力**。不受外力作用时,物体内部各质点间也存在着相互作用力,在外力作用下则会引起原有相互作用力改变。材料力学中的内力,就是指这种因外力引起的物体内部各部分相互作用力的改变量。

构件的强度、刚度和稳定性与内力密切相关。因此,内力分析是解决材料力学问题的基础。

内力是物体内部各相连部分相互作用的力,只有将物体假想地截开才可能把内力显露出来并进行分析计算。以图 1-6(a)中在平衡力系作用下物体为例,沿截面 C 假想地将物体截为 A 、 B 两部分,如图 1-6(b)所示。 A 部分的截面上因为 B 部分对它的作用而存在着内力,按照连续性假设,内力在该截面上也是连续分布的。这种分布内力可以向截面形心 O 简化为主矢 $\mathbf{R}$ 和主矩 $\mathbf{M}_O$,如图 1-6(c)所示。这里将分布内力的合力称为**截面上的内力**。同理, B 部分的截面上也存在着因 A 部分对它的作用而产生的内力 $\mathbf{R}'$ 和 $\mathbf{M}'_O$ 。

根据作用与反作用定律,同一截面两侧的内力必大小相等方向相反,即任一截面处的内力总是成对的。整个物体处于平衡状态时,若对 A 、 B 两部分中任意一部分进行观察,它也必然保持平衡,因此对该部分建立平衡方程就可以确定该截面上的内力。这种用假想截面把构件

截开后求内力的方法称为**截面法**。

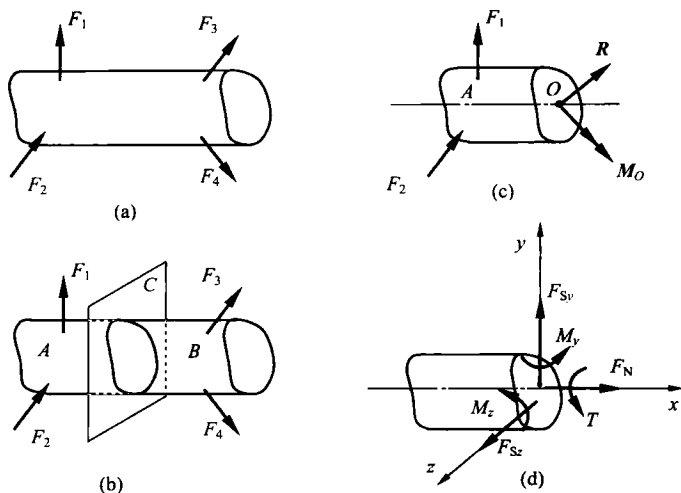


图 1-6

截面法是计算内力的基本方法,其步骤如下:

- (1) **截开**。若确定某一截面上的内力,就沿该截面假想地把构件截分为两部分;
- (2) **脱离**。取其中一部分作为研究对象,将另一部分对研究对象的作用力用内力代替;
- (3) **平衡**。对研究对象建立平衡方程,并求解出内力。

在材料力学中,通常将构件横截面上的内力(主矢 $\mathbf{R}$ 和主矩 $\mathbf{M}_O$) 分解为六个内力分量计算(图 1-6(d)),即

轴力 F_N :力作用线通过截面形心并垂直于横截面;

剪力 F_S :力作用线与横截面平行, F_{Sy} 、 F_{Sz} 分别表示平行于 y 、 z 轴的剪力;

扭矩 T :力偶作用面与横截面平行,或力偶矩矢与横截面垂直;

弯矩 M :力偶作用面与横截面垂直,力偶矩矢平行于 y 轴的弯矩记为 M_y ,平行于 z 轴的记为 M_z 。

1.4.3 应力

内力是连续分布的,用截面法确定的内力是这种分布内力的合力。为了描述内力的分布情况,需要引入应力的概念。截面上一点处内力分布的集度,称为**应力**。

在截面上某一点 D 处其微小面积 ΔA 上的内力设为 ΔF ,其法向内力为 ΔF_N ,切向内力为 ΔF_S ,如图 1-7(a)所示。应力按其作用线相对于截面的方向和位置可分为**正应力**和**切应力**,如图 1-7(b)所示。

作用线垂直于截面的应力称为**正应力**,用 σ 表示,定义为

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_N}{\Delta A} = \frac{dF_N}{dA} \quad (1-1)$$

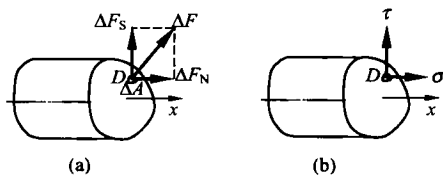


图 1-7