



普通高等教育“十五”国家级规划教材

工程力学

■ 下 册 ■

主编 梅凤翔 副主编 周际平 水小平



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

工程力学

下 册

主 编 梅凤翔

副主编 周际平 水小平

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,全书是在北京理工大学重点教学改革项目“工程力学课群教学体系和内容改革”的研究成果基础上,借鉴了国内外一些优秀教材并经过两年教学实践的基础上编写的,作为北京市重点资助项目,被列为北京市精品教材。本书以力学的基本概念和原理为主线,优化课程体系,重组教学内容,对工科力学课程进行了整合,内容包括理论力学、材料力学和流体力学初步等基础知识,以便于学生建立起对力学学科的整体认识。

全书分上、下两册。本书为下册,共分13章,分别为组合变形、能量法、静不定结构、压杆稳定、实验应力分析、动能定理、动量原理(包括动量定理与动量矩定理)、达朗贝尔原理、变形固体的动力失效问题、动力学普遍方程和拉格朗日方程、流体静力学、流体运动学、流体动力学等。

本书可作为高等学校机械类、土建类、航天航空类、水利类、工程力学类专业本科生的教材,也可供高等职业大学和成人教育学院师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学. 下 / 梅凤翔主编. —北京: 高等教育出版社, 2003.8

ISBN 7-04-011852-1

I. 工... II. 梅... III. 工程力学—高等学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 025482 号

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 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 29
字 数 540 000

版 次 2003 年 8 月第 1 版
印 次 2003 年 8 月第 1 次印刷
定 价 33.00 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

序

本书是根据 21 世纪对人才培养的要求和教育部关于面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的指示精神,吸取我校基础力学系列课程多年的教学经验和丰富的改革成果,借鉴国内外一些优秀教材并经过两年教学实践的基础上编写的。本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,同时也被列为北京市精品教材(重点资助)。该教材有以下特色:(1) 优化课程体系,重组教学内容,减少不必要的重复,突出主要内容,加强前后呼应,实现教学内容的相互贯通,相互融合和相互综合;(2) 更多地采用从一般到特殊的内容体系,以便于全面、准确地阐述基本概念和基本定理;(3) 提高数学起点,使推导严谨,表述简明;(4) 增大例题难度,这主要体现在例题的深度、广度和综合性上,以利于学生对基本理论的透彻理解和正确应用;(5) 注重启发性,结合相关内容安排一定数量的思考题,以培养学生独立思考问题的能力和创新能力;(6) 增加面对计算机的有关知识介绍,初步培养学生的力学建模能力和利用计算机解决工程实际中力学问题的能力;(7) 加强理论联系实际和实验环节,激发学生的学习兴趣,促使学生养成爱思考的习惯和动手能力;(8) 开设一定数量的反映后续相关课程的有关内容以及近现代力学发展成果的接口和窗口,以拓宽学生的知识面和视野,引导学生进入新的知识领域,培养学生自己去获取知识的能力等。

本书采用贯通式编写思路,涵盖了原有工科理论力学、材料力学和流体力学初步等教学内容,计划学时为 192,可作为高等院校机械类、土建类、航天航空类、水利类、工程力学等专业本科生的教材,也可供高等职业大学和成人教育学院师生及有关工程技术人员参考。

本书的内部讲义于 1999 年 9 月开始在北京理工大学机械工程与自动化学院的 98 级学生中试用,2000 年 9 月在全校 99 级机械类学生中全面使用。本教材是在这两轮教学实践的基础上改写的。

参加本教材编写工作的有:梅凤翔、周际平、水小平、韩斌、刘海燕、秦晓桐、李海龙。具体分工如下:第 1 章至第 4 章,第 8 章由刘海燕编写;第 5 章至第 7 章,第 19 章至第 21 章,第 23 章,下册附录 IV 由水小平编写;第 9 章至第 14 章由韩斌编写;第 15 章至第 17 章,第 22 章,上册附录 I、II、III 由周际平编写;第 18 章由秦晓桐编写;第 24 章至第 26 章由李海龙编写。统稿由梅凤翔、周际平、水

小平完成。

本书在编写过程中得到北京理工大学各级领导的关心、鼓励 and 大力支持,戴泽墩教授、刘耀乙教授、程兆雄教授、张永发教授、赵树信教授、胡更开教授等提出了很好的建议,同时还得到了北京理工大学理学院力学系许多教师的支持与帮助。北京航空航天大学谢传锋先生、大连理工大学郑芳怀先生、北京理工大学张世影先生在百忙中认真审阅了书稿并提出了许多宝贵意见。在此一并表示感谢。

限于编者水平,教材中难免有疏漏,敬请读者批评指正。

梅凤翔 周际平 水小平

2002年12月

主要符号表

a	加速度	g	重力加速度
a_n	法向加速度	G	切变模量
a_t	切向加速度	h, H	高度
a_a	绝对加速度	i	x 轴的单位矢量
a_r	相对加速度	i	惯性半径
a_e	牵连加速度	I	惯性矩, 光强
a_C	科氏加速度	I	冲量
a_R	转动加速度	I_p	极惯性矩
a_N	向轴加速度	I_{yz}	平面图形对 y, z 轴的惯性积
A	面积, 振幅	j	y 轴的单位矢量
c	音速	J_C	刚体对过质心轴的转动惯量
C	质心	J_l	刚体对 l 轴的转动惯量
e	偏心距	J_{xy}	刚体对 x, y 轴的惯性积
E	弹性模量	k	弹簧刚度系数
f	动摩擦因数, 材料条纹值	k	z 轴的单位矢量
f	体积力	K	理论应力集中因数, 应变片的灵敏度
f_s	静摩擦因数	K	刚度矩阵
F	力	K_d	动荷因数
F_{cr}	临界载荷	K_I	应力强度因子
F_f	静滑动摩擦力	K_{Ic}	断裂韧性
F_I	惯性力	K_s	单根金属丝灵敏度
F_{IC}	科氏惯性力	K_r	应变仪灵敏度
F_{le}	牵连惯性力	K_σ, K_τ	有效应力集中因数
F_N	法向约束力	L	拉格朗日函数
F_N	轴力	L_C	刚体对质心 C 的动量矩
F_R	力系的主矢	L_O	刚体对点 O 的动量矩
F_S	剪力		

m	质量, 分布力偶矩集度	v	速度
M	弯矩, 马赫数	v_a	绝对速度
M	力偶矩, 主矩	v_r	相对速度
M_e	外加弯曲力偶矩	v_e	牵连速度
M_{IC}	刚体的惯性力系对其质心 C 的主矩	V	势能, 体积
$M_O(F)$	力 F 对点 O 的矩	V_e	应变能
M_t	外加扭转力偶矩	w	挠度
n	质点数目, 转速, 安全因数, 等差线级数	W	力的功, 弯曲截面系数, 复势函数
n_f	疲劳安全因数	W_p	扭转截面系数
n_{st}	稳定安全因数	X_i	静不定结构中的多余未知力
p	静水压强	x, y, z	直角坐标
p	动量	α	角加速度, 角度坐标, 收缩因数
p_0	自由面压力	α_l	线膨胀系数
P	重量, 功率, 压强梯度	β	表面质量因数, 角度坐标
q	分布载荷集度, 广义坐标	γ	切应变, 重度, 绝热指数
q_m	质量流量	Γ	速度环量
q_v	体积流量	δ	滚动摩阻系数, 位移, 厚度, 光程差, 相对密度
Q	广义力	δ	变分符号
r	半径, 循环特征	Δ	变形, 位移
r	矢径	ϵ	正应变
R	半径, 曲率半径, 气体常数	ϵ_t	温度应变
Re	雷诺数	ϵ_s, ϵ_r	尺寸因数
s	弧坐标	η	塑性粘度
S	静矩	θ	角度坐标, 梁横截面的转角, 体应变, 等倾线角度
S	变形速度张量	λ	柔度, 长细比
t	时间, 温度	μ	长度因数, 粘性系数
T	动能, 扭矩, 温度	ν	泊松比, 运动粘性系数
u	水平位移, 轴向位移	Π	总势能
v_d	畸变能密度	ρ	密度, 曲率半径
v_v	体积改变能密度		
v_e	应变能密度		

σ	正应力	φ	角度坐标, 相对扭转角,
σ_a	应力幅		速度势函数
σ_b	强度极限	φ'	单位长度相对扭转角
σ_m	平均应力	φ_ξ 或 φ_ζ	斜射角
σ_{bs}	挤压应力	Φ	势函数
$[\sigma]$	许用应力	φ_f	摩擦角
σ_{cr}	临界应力	ψ	角度坐标, 流函数
σ_e	弹性极限	ω_0	固有频率
σ_p	比例极限	ω	角速度, 面积
$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力	ω_a	绝对角速度
σ_s	屈服应力	ω_r	相对角速度
τ	切应力, 粘性切应力	ω_c	牵连角速度
$[\tau]$	许用切应力		

策	划	黄	毅
责任	编辑	李	澈
封面	设计	刘	晓翔
责任	绘图	朱	静
版式	设计	王	艳红
责任	校对	康	晓燕
责任	印制	杨	明

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 82028899 转 6897 (010)82086060

传真：(010) 82086060

E-mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮编：100011

购书请拨打读者服务部电话：(010)64054588

梅凤翔简介

梅凤翔,男,1938年3月生于辽宁省沈阳市。

北京理工大学应用力学系教授,博士生导师。1963年毕业于北京大学数学力学系,1982年5月获法国国家科学博士学位,1989年被评为全国优秀教师,1992年被授予国家有突出贡献的中青年技术专家。从事一般力学与应用数学的教学和科研工作,出版专著10部,发表学术论文280篇。曾获国家教委科学技术进步一等奖,国防科学技术二等奖和光华科技基金二等奖。现任中国力学学会常务理事、一般力学专业委员会主任委员,《力学与实践》副主编,《力学进展》常务编委,《固体力学学报》编委,北京理工大学学术、学位委员会委员,北京理工大学科学技术学院学术、学位委员会主任,《北京理工大学学报》主编。曾任国家教委工科力学课程教学指导委员会副主任、中国科协第三届全委会委员,北京理工大学应用力学系主任等。

目 录

(下 册)

第 14 章 组合变形	(1)
§ 14.1 组合变形的概念与分析方法	(1)
§ 14.2 强度理论概论	(2)
§ 14.3 常用的强度理论	(3)
§ 14.4 斜弯曲	(11)
§ 14.5 拉(压)弯组合及偏心拉伸(压缩)	(14)
§ 14.6 弯扭组合	(22)
§ 14.7 组合变形的普遍情形	(25)
习题	(26)
第 15 章 能量法	(34)
§ 15.1 弹性变形势能的计算	(34)
§ 15.2 虚位移原理用于变形固体	(41)
§ 15.3 单位载荷法	(43)
§ 15.4 计算莫尔积分的图乘法	(48)
§ 15.5 互等定理	(55)
§ 15.6 势能驻值原理和最小势能原理	(57)
习题	(62)
第 16 章 静不定结构	(68)
§ 16.1 概述	(68)
§ 16.2 力法求解静不定结构	(71)
§ 16.3 利用对称性简化静不定结构的计算	(82)
§ 16.4 装配应力和温度应力	(88)
§ 16.5 静不定结构的特点	(93)
§ 16.6 矩阵位移法简介	(93)
习题	(107)
第 17 章 压杆稳定	(112)
§ 17.1 概述	(112)
§ 17.2 静力法	(114)
§ 17.3 能量法	(118)

§ 17.4 不同支承条件下细长压杆的临界载荷	(124)
§ 17.5 柔度 临界应力总图	(125)
§ 17.6 压杆的稳定计算	(130)
§ 17.7 提高压杆稳定性的措施	(137)
§ 17.8 其他形式构件的失稳问题	(139)
习题	(140)
第 18 章 实验应力分析	(146)
§ 18.1 应变电测法	(147)
§ 18.2 测量电桥电路与应变仪	(149)
§ 18.3 应变测量电桥的组接	(152)
§ 18.4 光弹性实验方法	(157)
习题	(171)
第 19 章 动能定理	(173)
§ 19.1 质点系质量分布的特征量	(174)
§ 19.2 动能	(180)
§ 19.3 动能定理	(186)
习题	(192)
第 20 章 动量原理	(198)
§ 20.1 动量	(198)
§ 20.2 冲量	(200)
§ 20.3 动量定理	(200)
§ 20.4 质心运动定理	(203)
§ 20.5 动量矩	(206)
§ 20.6 动量矩定理	(210)
§ 20.7 刚体定点运动的欧拉动力学方程	(218)
§ 20.8 刚体一般运动的动力学方程	(221)
§ 20.9 陀螺运动的近似理论	(221)
§ 20.10 关于动力学的三个基本定理	(225)
习题	(225)
第 21 章 达朗贝尔原理	(230)
§ 21.1 惯性力的概念	(230)
§ 21.2 达朗贝尔原理	(232)
§ 21.3 质点系达朗贝尔惯性力系的简化	(232)
§ 21.4 动静法的应用举例	(237)
§ 21.5 定轴转动刚体的轴承附加动约束力	(243)
习题	(248)
第 22 章 变形固体的动力失效问题	(253)
§ 22.1 概述	(253)

§ 22.2 惯性力问题	(253)
§ 22.3 冲击问题	(257)
§ 22.4 交变应力问题	(271)
§ 22.5 断裂力学与损伤力学简介	(294)
习题	(297)
第 23 章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	(303)
§ 23.1 动力学普遍方程	(303)
§ 23.2 第二类拉格朗日方程	(305)
§ 23.3 第二类拉格朗日方程的首次积分	(312)
§ 23.4 第二类拉格朗日方程在微振动中的应用	(317)
§ 23.5 第一类拉格朗日方程和多刚体系统动力学简介	(326)
§ 23.6 力学从牛顿定律到混沌	(332)
§ 23.7 分析力学简介	(333)
习题	(334)
第 24 章 流体静力学	(339)
§ 24.1 流体的密度	(339)
§ 24.2 流体的特性	(340)
§ 24.3 静水压强	(340)
§ 24.4 浮力	(344)
§ 24.5 一般体积力的平衡	(349)
§ 24.6 空气静力学	(351)
§ 24.7 表面张力	(352)
习题	(354)
第 25 章 流体运动学	(358)
§ 25.1 描述流体运动的两种方法	(358)
§ 25.2 迹线和流线	(360)
§ 25.3 流管	(362)
§ 25.4 速度分解定理	(363)
§ 25.5 连续性方程	(368)
习题	(370)
第 26 章 流体动力学	(373)
§ 26.1 流体的粘性	(373)
§ 26.2 理想流体动力学	(374)
§ 26.3 粘性流体动力学	(392)
§ 26.4 理想气体的一元可压缩流动	(399)
习题	(406)
附录 IV 简单均质几何体的质心、转动惯量和惯性积	(412)
主要参考文献	(417)

习题参考答案	(419)
下册名词索引	(434)
Synopsis	(443)
Contents	(445)
梅凤翔简介	封三

第14章

组合变形

构件中同时存在两种或两种以上基本变形且其影响皆不可忽略的情况称为组合变形。此时,构件中某些危险点处于二向或三向应力状态。本章介绍常见的几种强度理论;并讨论工程上常见的斜弯曲、拉(压)弯、偏心拉(压)、弯扭等组合变形形式的强度计算。

§ 14.1 组合变形的概念与分析方法

杆件的拉伸(压缩)、剪切、扭转、弯曲是四种基本变形形式。但工程结构中的某些构件往往同时存在几种基本变形。例如,小型压力机框架受力如图14.1所示,外力 F 不通过框架立柱的轴线,将其向立柱轴线简化后,可看出立柱承受了由 F 引起的拉伸和力偶矩 $M = Fa$ 引起的弯曲。又如图 14.2 所示的传动轴,皮带拉力 F_{T1} 与 F_{T2} 的作用使得轴产生扭转和弯曲。构件在外力作用下同时产生两种或两种以上基本变形的情况就称为组合变形。

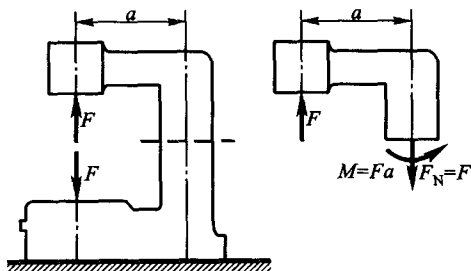


图 14.1

在组合变形时,构件的受力和变形虽然比较复杂,但只要构件处于线弹性范围之内,且变形很小,就可将全部载荷分解为静力等效的几组载荷,使每组载荷

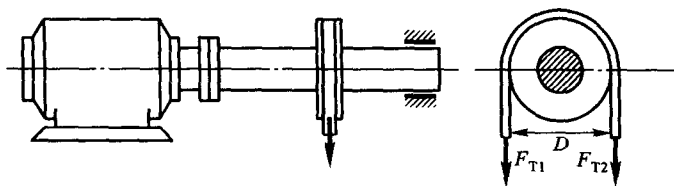


图 14.2

对应于一种基本变形。不同的基本变形各自独立计算,互不耦合。最后将各种基本变形引起的内力、应力、应变和位移分别叠加起来,就是构件在组合变形下的内力、应力、应变和位移。

但是,对组合变形下的构件进行强度计算时,如何判断构件是否安全呢?在单向应力状态情况下,材料出现失效现象(如屈服或断裂)时的极限应力可由实验测定,再考虑到一定的安全因数,就得到强度条件 $\sigma \leq [\sigma]$ 。因此,对于危险点为单向应力状态的情况,都可应用以上形式的以实验为基础的强度条件。但是,构件如果属于组合变形,构件内危险点多为二向或三向应力状态。这种情况下靠实验来测定各种各样的应力状态下的失效力并建立强度条件往往是难以实现的。因此,二向或三向应力状态下的强度条件的建立,常常是依据部分实验结果提出假说,推测材料失效的原因,从而建立起强度理论。下面介绍常用的几种强度理论。

§ 14.2 强度理论概论

各种材料因强度不足引起的失效现象是不同的,但主要还是表现为屈服和断裂两类。同时衡量构件受力变形程度的量又有应力、应变、能量等。根据对材料破坏现象的分析和大量的实验资料,人们对强度的失效提出了各种假说,就称为强度理论。不同的强度理论认为,材料之所以按某种方式(屈服或断裂)失效,是由于应力、应变、能量等因素中的某一个达到了其极限状态,且失效的原因与应力状态无关。

强度理论既是假说,它是否正确及适用于什么情况,就必须由实践来检验。通常适用于某一种材料的强度理论并不适用于另一种材料;而在某种条件下适用的理论却不适用于另一种条件。下面介绍4种常用的强度理论和莫尔强度理论,它们都是在常温静载条件下,适用于均匀、连续的各向同性材料的。当然,强度理论还有很多,但仍不能完满解决所有的强度问题,这方面还有待于进一步发展和完善。