

高等职业技术教育试用教材

工程力学

徐广民 主编 李培虎 主审



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等职业技术教育试用教材

工 程 力 学

徐广民 主 编
李培虎 主 审

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是根据 1999 年教育部制定的高职高专机械类专业工程力学课程教学基本要求及教学内容和课程体系改革的需要,经教学实践,最终编写而成。

全书共分三篇 15 章。第一篇“刚体静力学”部分包括:静力学基础、平面力系的简化与平衡、空间力系。第二篇“材料力学”部分包括:材料力学基础、轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、平面弯曲、组合变形时杆的强度计算、压杆稳定、疲劳强度。第三篇“工程运动力学”部分包括:质点的动力分析与计算、基本运动刚体的动力分析与计算、动能定理、点和刚体的合成运动。每章后均有习题,并附习题答案。与本教材配套的还有练习题集。

本书可作为高等专科及高等职业技术学院(包括成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校)或重点中等专业学校机械类与近机械类各专业工程力学课程的教材。也可供有关技术人员作为自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/徐广民主编. —成都:西南交通大学出版社, 2004.8
ISBN 7-81057-907-X

I. 工... II. 徐... 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(2004)第 065831 号

工 程 力 学

徐广民 主编

*

责任编辑 王 旻

封面设计 绿光设计室

西南交通大学出版社出版发行

新华书店 经销

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 21.5

字数: 507 千字 印数: 1—3000 册

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-907-X/TB · 343

定价: 28.00 元

图书如有印装问题,本社负责退换

版权所有,盗版必究,举报电话:(028) 87600562

前 言

本书是根据教育部 1999 年制定的高职高专机械类专业工程力学课程教学基本要求编写的，适合作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人高等学校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校等机械类（120 学时）与近机类（90 学时）专业工程力学课程的教学用书。

在本书编写过程中，我们结合多年来的教学实践并吸收了高职高专院校最新教学改革的成果，以技术应用能力的培养为主线，贯彻理论教学内容“以必需、够用为度”的原则，理论推导从简，强化应用，加强与工程实际的联系，按照常规的工程设计思路来编排教学内容，注意培养学生的工程意识和力学素养，力求体现高职高专培养技术应用型专门人才的特色。

本书注意知识更新，尽可能将国内外与力学教学相关的最新知识、成果或经验引入教材，在专业术语、名词及符号的表达上力求规范统一。这不仅可满足高职高专院校教学的需要，而且也从一定程度上体现了本教材的先进性和适用性。

参加本书编写的有：马仁听、李先武、石智华、徐广民、黄天应、李培虎、楼纪国、张超平。全书（含与教材配套的练习题集）由徐广民任主编，张超平任副主编并负责工程力学练习题集的统稿工作。

本书由李培虎担任主审，王艳芬、祖国庆、陆善云、吴雁平、刘青、李朝英也参加了审校工作，他们对书稿提出了许多宝贵意见，特向他们表示衷心的感谢。

限于我们的水平，且编写时间仓促，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 7 月

主要符号表

符 号	量的名称	符 号	量的名称
A	面积	h	高度
a	间距	i	截面的回转半径 ($i = \sqrt{I/A}$)
a	加速度	I	截面二次矩
a_a	绝对加速度	I_p	截面二次极矩
a_c	牵连加速度	I_x, I_y, I_z	截面对 x, y, z 轴的二次矩
a_r	相对加速度	J	转动惯量
a_t	切向加速度	K_d	动荷系数
a_n	法向加速度	K	弹簧刚度系数
B	宽度	l, L	长度、跨度
C	质心, 重心	M	质量
D	直径	M	力偶矩
D	力偶臂, 直径, 距离	M_e	外加扭转力偶矩
E	弹性模量 (杨氏模量)	M_f	滚动阻力偶
E_k	动能	M_O	力系对点 O 的主矩
e	偏心距	$M_O(F)$	力 F 对点 O 之矩
f	动摩擦因数	M_x	扭矩
f_s	静摩擦因数	M, M_z, M_y	弯矩
F	力	n	转速, 安全因数
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰支座反力	$[n]_{st}$	稳定安全因数
F_I	达朗贝尔惯性力 (惯性力)	P	功率
F_N	轴力	p	总应力
F_P	载荷	q	分布载荷集度
F_{Pcr}	临界载荷	R, r	半径
F_Q	剪力	S_x, S_y	截面对 x, y 轴的一次矩, 静面矩
F_R	合力, 主矢	s	路程, 弧长, 弧坐标
F_T	拉力	t	时间, 摄氏温度
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的投影	u	水平位移, 轴向位移
G	重量, 切变模量	$[u]$	许用轴向位移
g	重力加速度	v	速度

符 号	量的名称	符 号	量的名称
v_a, v_c, v_r	绝对速度, 牵连速度, 相对速度	η	机械效率
v_d	形状改变比能	λ	柔度, 长细比
v_{BA}	平面图形上点 B 相对基点 A 的速度	μ	长度系数
W	功, 重量, 弯曲截面系数	ν	泊松比
W_p	扭转截面系数	ρ	密度, 曲率半径, 惯性半径
α	倾角, 角加速度, 线膨胀系数	ω	角速度
β	角	σ	正应力
θ	梁横截面的转角, 单位长度相对与扭转角	σ^+	拉应力
φ	相对扭转角	σ^-	压应力
φ_m	摩擦角	σ_b	强度极限
γ	切应变	σ_c	挤压应力
Δ	变形、位移	$[\sigma]$	许用应力
δ	厚度, 滚动摩阻系数, 断后伸长率	σ_{cr}	临界应力
ε	线应变	σ_e	弹性极限
ε_e	弹性应变	σ_p	比例极限
ε_p	塑性应变	$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
		σ_s	屈服应力
		τ	切应力
		$[\tau]$	许用切应力
		ψ	断面收缩率
		w	挠度

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 刚体静力学

第 1 章 静力学基础	7
§ 1-1 静力学的基本概念	7
§ 1-2 平面汇交力系合成的解析计算	10
§ 1-3 力对点之矩	12
§ 1-4 力偶	15
§ 1-5 力的平移定理	18
§ 1-6 约束与约束反力	19
§ 1-7 分离体和受力图	23
习 题	26
第 2 章 平面力系的简化与平衡	32
§ 2-1 平面任意力系的简化	33
§ 2-2 平面力系的平衡方程及其应用	35
§ 2-3 物体系统的平衡问题	41
* § 2-4 平面简单桁架的内力计算	46
§ 2-5 考虑摩擦时的平衡问题	49
习 题	59
第 3 章 空间力系	65
§ 3-1 力在空间直角坐标轴上的投影	65
§ 3-2 力对轴之矩	67
§ 3-3 空间力系的平衡方程及其应用	68
习 题	73

第二篇 材料力学

第 4 章 材料力学基础	77
§ 4-1 材料力学的任务	77

§ 4-2 变形固体及其基本假设	78
§ 4-3 杆件变形的基本形式	79
§ 4-4 内力 截面法	81
§ 4-5 应力、应变及其相互关系	82
习 题	86
第 5 章 轴向拉伸与压缩	87
§ 5-1 轴向拉伸（或压缩）时的内力计算	87
§ 5-2 轴向拉（压）杆的应力分析	90
§ 5-3 轴向拉（压）杆的变形与位移计算	94
§ 5-4 轴向拉（压）杆的静不定问题	96
§ 5-5 材料拉伸和压缩时的力学性能	100
§ 5-6 轴向拉（压）杆的强度计算	105
§ 5-7 应力集中的概念	108
习 题	110
第 6 章 剪切和挤压	114
§ 6-1 剪切和挤压的基本概念与工程实例	114
§ 6-2 剪切和挤压的实用计算	115
习 题	119
第 7 章 圆轴扭转	122
§ 7-1 扭转时的内力计算	122
§ 7-2 圆轴扭转时的应力及变形与位移计算	125
§ 7-3 圆轴扭转时的强度和刚度计算	130
习 题	133
第 8 章 平面弯曲	136
§ 8-1 平面弯曲时的内力计算	136
§ 8-2 平面弯曲时的正应力	146
§ 8-3 弯曲时的切应力简介	151
§ 8-4 梁的弯曲强度计算	153
§ 8-5 提高梁弯曲强度的主要措施	158
§ 8-6 梁的弯曲变形与位移计算	162
* § 8-7 简单静不定梁	172
习 题	173
第 9 章 组合变形时的强度计算	183
§ 9-1 组合变形的概述	183
§ 9-2 弯曲与拉伸（压缩）组合变形时的强度计算	183
§ 9-3 弯曲与扭转组合时的应力分析	187
§ 9-4 应力状态分析	189

§ 9-5 强度理论	194
§ 9-6 弯曲与扭转组合变形时的强度计算	199
习 题	202
第 10 章 压杆稳定	209
§ 10-1 压杆稳定的概念	209
§ 10-2 细长压杆的临界力	210
§ 10-3 压杆的临界应力	212
§ 10-4 压杆的稳定计算	216
§ 10-5 提高压杆稳定性的措施	219
习 题	220
第 11 章 疲劳强度	224
§ 11-1 交变应力的概念	224
§ 11-2 疲劳失效的特点与原因	226
§ 11-3 材料的疲劳极限及其影响因素	226
§ 11-4 提高构件疲劳强度的措施	228
习 题	229
第三篇 工程运动力学	
第 12 章 质点的动力分析与计算	233
§ 12-1 点的运动	233
§ 12-2 质点动力学基本方程	245
§ 12-3 质点的动静法	250
习 题	252
第 13 章 基本运动刚体的动力分析与计算	256
§ 13-1 刚体的基本运动	256
§ 13-2 刚体动力学基础	262
§ 13-3 刚体做基本运动时惯性力系的简化	268
习 题	272
第 14 章 动能定理	276
§ 14-1 功和功率	276
§ 14-2 动 能	282
§ 14-3 动能定理	283
* § 14-4 构件受冲击载荷作用时的应力计算	287
习 题	290
第 15 章 点和刚体的合成运动	294
§ 15-1 点的合成运动 速度合成定理	294

§ 15-2 刚体的平面运动	298
习 题	306
附录 A 平面的几何性质	310
附录 B 型钢规格表	318
附录 C 习题参考答案	325
参考文献	334

绪 论

1. 工程力学的性质和任务

工程力学是研究物体机械运动一般规律以及构件承受载荷能力的一门学科。

按照辩证唯物主义的理解,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中发生的一切现象和过程——从简单的位置变化直到人的思维活动。机械运动则是所有运动形式中最简单的一种,是指物体在空间的位置随时间的改变。平衡是机械运动的特殊情况。

本教材讨论的工程力学,主要内容分两大类:一类是研究物体的运动,研究作用在物体上的力和运动之间的关系;另一类是研究物体的变形,研究作用在物体上的力和变形之间的关系。当然,这两类问题并非完全孤立,它们之间有一些交叉。例如,当研究运动物体的变形时,必须首先分析运动状态;又如,研究某些运动(冲击)问题时也必须考虑变形。

工程力学涉及众多的力学学科分支与广泛的工程技术学科。作为高等工科院校的一门技术基础课程,工程力学只是其中最基础的部分。它涵盖了原有理论力学和材料力学两门课程的主要经典内容。本教材分为刚体静力学、材料力学和工程运动力学三部分。

刚体静力学的任务是研究刚体在力系作用下的平衡规律。它包括三个方面:物体的受力分析方法;力系的等效与简化;力系的平衡条件与平衡方程。材料力学的任务是研究对杆类构件或零件进行静力学的强度、刚度和稳定性计算的原理。工程运动力学的任务是研究物体运动的几何性质(如轨迹、速度、加速度、角速度和角加速度等),提出对物体进行运动分析的一般方法,并研究物体的受力与其运动状态变化间的关系,同时涉及弹性杆的动应力分析与失效问题。

2. 工程力学的研究对象

自然界与各种工程中涉及机械运动的物体有时是很复杂的,在外力作用下物体的变形和破坏形式也是各不相同的,这就要求我们在分析研究其机械运动时,必须抓住主要因素,忽略一些次要因素的影响,对其进行合理的简化,从而抽象出比较合乎实际的力学模型和失效与设计准则。

当所研究的物体运动范围远远超过其本身的几何尺寸时,物体的形状和大小对运动的影响很小,这时可将其抽象为只有质量而无体积的“质点”。由若干相互间有一定联系的质点组成的系统,称为“质点系”。

实际物体在力的作用下都将或多或少地发生变形。但是,对于那些在运动中变形很小,或者虽有变形但不影响其整体运动的物体,变形只是次要因素,因而可以忽略不计,将其简化为“刚体”。但当要研究作用在物体上的力和变形规律时,则不能将其简化为刚体。因为这时变形就成为一个不可忽略的因素,所以必须把物体作为可变形的固体。刚体与变形固

体也不是绝对的,例如,在变形问题的分析中,当涉及平衡问题时,大部分情形下依然可以沿用刚体模型。

3. 工程力学的研究方法

力学的产生和发展过程就是人类对于物体机械运动认识的深化过程。人们通过长期的生活实践、生产实践和科学实验,积累了关于机械运动的丰富材料,经过“去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的改造制作功夫,造成概念和理论的系统”,又回到实践中去加以检验并指导实践;再从实践中获得材料,推动理论的进一步发展和完善,逐步总结和归纳形成了物体机械运动的一般规律。在形成工程力学的概念和系统理论的过程中,抽象化和数学演绎这两种方法起着重要的作用。

所谓抽象化就是根据所研究问题的性质和来自实践的大量资料,从具体事物的复杂现象中,找出起决定性作用的主要因素,略去次要的、偶然的因素,深入事物的本质,了解其内部联系,从而可用一个较简单的模型来代替原来具体的事物。例如,在研究物体平衡时,其变形就是次要因素,忽略了这一点,就可将真实物体视为刚体来研究。但是在研究物体的强度及刚度时,变形就成了主要因素,因此只有用变形固体这一力学模型来代表真实物体,才能反映问题的本质。又如,研究自由物体的降落时,略去空气阻力,才得到自由落体的运动规律。列宁曾说过:“当思维从具体的东西上升到抽象的东西时,它不是离开——如果它是正确的……——真理,而是接近真理。物质的抽象,自然规律的抽象,价值的抽象等等,一句话,那一切科学的(正确的、郑重的、不是荒唐的)抽象,都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”在这里,列宁既指出了抽象的重大意义,又告诫我们,抽象必须是“科学的抽象”。如果不顾条件,随意取舍,结果就将是荒谬的。例如,在研究远射程炮弹的运动时,要是像通常研究抛射体的运动那样,忽略炮弹的大小、形状以及空气阻力等因素,结果必将偏离射击目标很远。

将长期实践和实验所积累的感性材料加以分析、综合、抽象、归纳,得到一些基本的概念和定律或公理之后,再在此基础上建立起系统的理论。在这个过程中,数学演绎是一种广泛应用的方法。它是以基本概念和定律或公理为基础,经过严密的数学推演,得到一些定理和公式,构成系统的理论。但是,应当注意,数学推演是在经过实践证明其为正确的理论基础上进行的,并且,由此导出的定理或公式,还必须回到实践中去,经过实践检验证明其为正确时才能成立。我们知道,理论力学的许多定理都是以牛顿定律为基础,经过严密的数学推导得到的。这些定理揭示了力学中一些物理量之间的内在联系,并经过实践证明是正确的。但是,我们也知道,这些定理只是相对真理,只在一定的范围内才成立。所以,对数学演绎既要重视,又不可错误地把数学演绎绝对化,不能把力学理论看作只是数学演绎的结果而忽视实践的作用。

怎样将工程实际问题抽象成为力学问题,然后以已有的力学理论为依据,运用数学工具求得问题的解,是本课程教学的核心内容。

构件的承载能力与所选材料的力学性能有关。材料的力学性能是材料在力的作用下,抵抗变形和破坏所表现出来的性能是材料固有的性质,它是通过各种试验测定的。另外,对于现有理论还不能解决的某些复杂的工程力学问题,有时要依靠试验方法得以解决。因此,试验方法在工程力学中占有重要的地位。

上述是传统的工程力学研究方法,即理论方法和实验方法。20世纪60年代以来,计算

机解题能力大大提高，形成了计算机科学。由于计算机技术的飞速发展和广泛应用，现在又增加了一种计算机分析方法。而且，即使是传统的理论方法和实验方法，也要求助于计算机，在理论研究中，人们可以借助于计算机推导那些复杂的人们难以导出的公式，从而求得复杂的解析解。在实验研究中，计算机不仅可以整理数据、绘制实验曲线、显示图形，而且可以选用最优参数。由此可以看出，由于计算机的不断进步，工程力学的研究方法也需要更新。正如钱学森院士所说：“今日力学是一门用计算机计算去回答一切宏观的实际科学技术问题的学科，计算方法非常重要；另一个辅助手段是巧妙设计的实验。”

第一篇 刚体静力学

本篇的研究对象是刚体，主要研究刚体受力作用时的平衡规律。具体讨论以下几个问题：

1. 物体的受力分析

即研究物体受到哪些力的作用，弄清每个力的大小、方向、作用点（线）。

2. 力系的等效与简化

力系是指作用在物体上的一组力或一群力。将物体所受的复杂力系加以简化，即用一个简单的力（称为原力系的合力）或力系（称原力系的等效力系）等效地替换原来复杂的力系。这个过程称为力系的简化，或称为力系的合成。

3. 力系的平衡条件

作用于物体上的力系必须满足某些条件，物体才会处于平衡状态，这些条件称为力系的平衡条件。

静力学是工程力学的基础部分，在工程实际中有着广泛的应用。它所研究的内容，对于研究物体的运动和变形都有十分重要的意义。因为研究物体的运动和变形时都要分析力系对物体的总的作用效果，都要知道作用在物体上的各种力（包括未知力）的大小、方向及作用点。此外，各种机器零部件和工程结构的设计，也都需要静力学的知识。

第1章 静力学基础

§ 1-1 静力学的基本概念

1-1-1 刚体的概念

任何物体受力后都将或多或少地发生变形。但是工程实际中构件的变形通常是非常微小的，在很多情况下，在研究其平衡或运动时，变形只是次要因素，因而可以忽略不计。例如，一根梁，当其受力弯曲时，由于变形微小，两支点之间距离（跨度）的变化量也很小，在求支承反力时若考虑小变形的影响，不仅十分复杂，而且没有必要，直接采用刚体模型（认为梁的跨度不变）进行计算，完全能够满足工程需要。

所谓刚体是指在受力情况下保持其几何形状和尺寸不变的物体，亦即受力后任意两点之间的距离保持不变的物体。显然，这只是一种理想化了的模型，实际上并不存在这样的物体。这种抽象简化的方法，虽然在研究许多问题时是必要的，而且也是许可的，但它是有条件的。后面我们将会看到，在研究物体的变形以及与变形有关的截面内力分布时，即使变形很小，也必须考虑物体的变形情况，即把物体视为变形体而不能再看作刚体。

1-1-2 力的性质

性质 1 力对物体的作用效应取决于力的三要素。

力是物体之间的相互机械作用。其作用效应是使物体的机械运动发生变化，同时使物体发生变形，前者称为力的运动效应（外效应），后者称为力的变形效应（内效应）。实践证明：力对物体的作用效应取决于力的基本特征或要素，即力的大小、方向和作用点，通常称为力的三要素。在这三个要素中，如果改变其中任何一个，也就改变了力对物体的作用效应。

力的大小表示物体之间机械作用的强度，它可以通过力的运动效应或变形效应来度量，在静力学中常用测力器的弹性变形来测量。度量力的大小的单位将随着采用的单位制不同而不同。在国际单位制中，力的单位为牛顿（中文代号为牛，国际代号为 N）或千牛顿（中文代号为千牛，国际代号为 kN）。

力的方向表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向两个意思，如铅垂向下、水平向右等。

力的作用点是物体间机械作用位置的抽象化。一般说来，物体相互接触时，力总是分布作用在一定的面积上。如果力作用的面积很大，这种力称为分布力。如果力作用的面积很小以至于可以忽略不计其大小时，就可抽象为一个点，而认为力集中作用于这一点，这种力则称为集中力，此点称为力的作用点。集中力在实际中是不存在的，它是分布力的理想化模型。