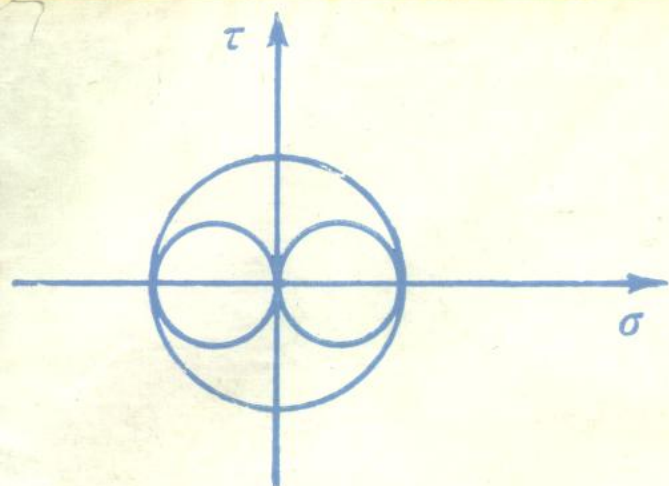




工程力学

吕全忠 周昌国 编

中国科学技术大学出版社



TB12

L91

355085

工 程 力 学

吕全忠 周昌国 编



中国科学技术大学出版社

1991 · 合肥



工 程 力 学

吕全忠 周昌国 编

中国科学技术大学出版社出版

(安徽省合肥市金寨路66号)

蚌埠海军士官学校印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本: 850×1168/32 印张: 11.75 字数: 302千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数: 1-4000册

ISBN 7-312-00291-9/O·96 定价: 4.90元

278.23/12
内 容 简 介

本书是根据国家教委高等工科学校课程指导小组制定的少学时工程力学课程的基本要求编写的。全书以静力学和材料力学为基本内容，分设十一章和三个附录；较系统简明地介绍了学科的基本概念、基本理论和基本方法，并适当反映了学科发展的新成果；力求突出学科核心理论，加强各部分知识间的联系；注重对例题结果的分析，并配置适量的典型习题。本书可用作高等工业学校、军事院校和成人高校60学时左右的工程力学教材，也可供有关工程技术人员作参考。



序

工程力学是一门实用而有趣的科学。随着生产和科学技术的发展,工程力学也取得了很大的发展,在包括土木建筑、机械、造船、航空等在内的民用、军事工程中得到广泛的应用。高等工科院校中的大多数专业都设有工程力学或类似的课程,它在培养工程技术人员中具有重要的地位。

为了适应军事指挥院校课程体系改革的需要,蚌埠坦克学院吕全忠副教授和合肥炮兵学院周昌国副教授合作编写了这本少学时《工程力学》教材。

少学时工程力学课程教学的目的在于教给学生有关材料力学所必需的静力学基础知识和材料力学的基本概念与基本理论,使他们具有分析有关强度、刚度和稳定问题的初步能力,为后续的专业课程教学创造条件。本书作者着力于教材与课程的教学目的相适应,使得此教材不仅适用于军事指挥院校,而且也适用于高等工科院校、成人高等学校中有关专业60~70学时左右的工程力学本科教学。

这本教材具有如下几个主要特点:

1. 削枝强干,较系统简明地阐述了学科的基本概念、基本理论和基本方法。针对培养目标的要求,增强了重点的核心内容,突出了“强度”这条主线;合理调整章节结构,增强了各部分内容之间的有机联系;精选例题并加强对例题结果的分析。
2. 合理地确定了教学起点,使教学内容与结构布局有利于提高知识水平和教学效率,也便于读者自学。
3. 力求教学内容的更新,适当反映学科发展的某些新成果,拓宽了知识面。如介绍了“强度理论的进展”、“材料含初始裂

纹时的强度简介”、“应力波引起的断裂”等。

4. 加强了学科知识与培养目标之间的联系。在教学内容上，精选了与军事装备有关的知识。如“温度差引起的弯曲变形”和“厚壁圆筒的强度问题”等。在理论应用上，编选了与军事工程有关的例题和习题。

本书作者在军事院校的工程力学课程教学中，认真钻研教材，努力改进教学方法，不断提高教学效率和教学质量，积累了丰富的教学经验，取得了许多成果。本书是他们长期辛勤劳动的结晶之一。在此，我真诚地祝愿他们为国防现代化建设的伟大事业作出更大贡献。

《工程力学》教材即将出版，十分高兴。谨此表示我的祝贺之忱。

郑芳怀

1991年5月30日

于大连理工大学

前 言

根据国家教委高等工科学校工程力学课程指导小组制定的基本要求，为适应高等工科学校、军事院校、成人高校60学时左右的工程力学（含静力学和材料力学）教学的需要，我们编写了这本教材。

本书有静力学基础、力矩和力偶理论、力系的合成和平衡，轴向拉伸和压缩、扭转、弯曲强度、弯曲变形、压杆的稳定性、应力状态分析和强度理论、冲击和疲劳强度简介及厚壁圆筒的强度问题等十一章。此外，还有工程剪切、圆柱形密封圈螺旋弹簧及型钢表等三个附录。其中带有*号的章节具有相对的独立性，在教学中可根据需要选用或删除，而不影响其它内容的系统性和科学性。

全书共有典型例题80余题、配置习题120余题。为了便于学习，全部习题均给出了参考答案。插图中构件的尺寸，凡未说明单位符号的一律以毫米（mm）为单位。

本书由合肥炮兵学院马明儒副教授主审。参予审阅的还有合肥工业大学刘其昌教授、安徽工学院屈福源副教授、蚌埠坦克学院张述祖等同志。他们对本书原稿提出了不少宝贵的修改意见。孟庆良为本书习题作了解答工作，杨利民绘制了全书的插图。在编写过程中，还得到蚌埠坦克学院、合肥炮兵学院很多领导和同志的支持和帮助。国家教委高等学校工科力学课程教学指导委员会委员、大连理工大学郑芳怀教授为本书作了序。谨在此一并表示我们的诚挚的谢意。

限于我们的水平，教材中会存在失误和不妥之处，希冀使用本书的广大师生和读者不吝批评指正，以便今后改正。

吕全忠 周昌国

1991年6月

本书主要字符分类表

分类	字 符 符	字 符 意 义	国 际 单 位	备 注
外 力	$F、P、S、\dots$ $N、X、Y、Z\dots$ $I、M、T$ $M_0(F)$ $M_x(F)、\dots$ q p	集中外力 约束反力 力偶矩, 转矩 力矩 力对轴之矩 线分布力集度 压力、压强	N, kN 同上 N·m, kN·m 同上 同上 N/m, kN/m Pa, MPa	1 kgf = 9.81N 1 kgf·m = 9.81N·m 1 kgf/m = 9.81N/m 1 kgf/cm ² = 98100Pa
力特 征 系量	R R' L_0	合力 力系主矢 力系主矩	N, kN 同上 N·m, kN·m	
内 力	N Q M_n M	轴力 剪力 扭矩 弯矩	N, kN 同上 N·m, kN·m 同上	
应力 、 应变 、 位移	σ $\sigma_1、\sigma_2、\sigma_3$ τ ε $\varepsilon_1、\varepsilon_4、\varepsilon_3$ γ γ φ θ	正应力 主应力 剪应力 线应变 主应变 剪应变 挠度 扭转角 梁横截面转角 单位长度扭转角	Pa, kPa, MPa 同上 同上 mm, m rad (弧度) 同上 rad/m	1 Pa = 1 N/m ² 1 kPa = 10 ³ N/m ² 1 MPa = 10 ⁶ N/m ² 1 MPa = 10.2kgf/cm ² 1 MPa = 1 N/mm ²
截 面 特 性	A $S_y、S_z$ $I_y、I_z$ I_p $W_p、W_n$ $W_y、W_z$ i	截面面积 截面静矩 截面惯性矩 极惯性矩 抗扭截面模量 抗弯截面模量 惯性半径	mm ² , m ² mm ³ , m ³ mm ⁴ , m ⁴ 同上 mm ³ , m ³ 同上 mm, m	1 m ² = 10 ⁶ mm ² 1 m ³ = 10 ⁹ mm ³ 1 m ⁴ = 10 ¹² mm ⁴

续表

分类	字 符	字符意义	国际单位	备 注
材 料 特 性	σ^0, τ^0 σ_p, τ_p σ_e σ_s σ_b σ_r σ_c $[\sigma], [\tau]$ $[\sigma_+]$ $[\sigma_-]$ $[\sigma_{iy}]$	极限应力 比例极限 弹性极限 屈服极限 强度极限 持久极限 临界应力 许用应力 许用拉应力 许用压应力 许用挤压应力	与应力的单位 相 同	
	E G	拉压弹性模量 剪切弹性模量	GPa (GN/m ²) 同上	1GPa=10 ⁹ Pa
	μ δ ψ	泊松比 延伸率 断面收缩率		
	a_k K_c	冲击韧性 断裂韧性	J/mm ² , J/m ² MPa·m ^{1/2}	1J=1N·m
	ρ γ	质量密度 重量密度	kg/m ³ N/m ³	
其 它	d, D e f i, j, k K_d N_k n r, R W x, y, z λ	直径 偏心距 滑动摩擦系数 单位矢量 动荷系数 功率 安全系数 转速 半径 功 坐标轴 坐标 压杆的柔度	mm, m 同上 W, kW S ⁻¹ mm, m J (N·m) mm, m	1W=1J/S 1kgf·m/S=9.81W 1 [米制]马力= =735.5W 1 S ⁻¹ =60rpm (转/分)

目 录

序.....	I
前言.....	II
本书主要字符分类表.....	V
第一篇 静力学.....	1
第一章 静力学基础.....	3
§ 1.1 静力学基本概念.....	3
§ 1.2 静力学公理.....	4
§ 1.3 物体的受力分析.....	8
§ 1.4 汇交力系的合成和平衡.....	15
习题.....	23
第二章 力矩和力偶理论.....	28
§ 2.1 力矩.....	28
§ 2.2 力偶.....	34
§ 2.3 空间力偶系的合成和平衡.....	36
习题.....	38
第三章 力系的合成和平衡.....	41
§ 3.1 空间力系向一点的简化及结果.....	41
§ 3.2 平行力系的中心·重心.....	47
§ 3.3 平面力系的平衡问题.....	53
§ 3.4 空间力系的平衡问题.....	60
* § 3.5 考虑摩擦时的平衡问题.....	65
习题.....	71
第二篇 材料力学.....	80
第四章 轴向拉伸和压缩.....	82
§ 4.1 轴向拉伸(压缩)的概念和内力分析.....	82

§ 4.2	轴向拉伸(压缩)时的应力分析	85
§ 4.3	拉(压)杆的变形 横向变形系数	90
§ 4.4	材料在拉伸和压缩时的力学性质	97
§ 4.5	拉(压)杆的强度条件及其应用	105
* § 4.6	应力集中的概念	110
	习题	111
第五章	扭转	116
§ 5.1	扭转的概念和内力分析	116
§ 5.2	薄壁圆管扭转的应力分析	119
§ 5.3	圆轴扭转时的应力和强度问题	123
§ 5.4	圆轴扭转时的变形和刚度问题	132
* § 5.5	非圆截面杆的扭转	136
	习题	139
第六章	弯曲强度	146
§ 6.1	弯曲的概念和内力分析	146
§ 6.2	截面的几何性质	155
§ 6.3	弯曲时的正应力和强度问题	161
* § 6.4	弯曲时的剪应力和强度问题	173
§ 6.5	拉伸(压缩)与弯曲的组合强度	180
	习题	185
第七章	弯曲变形	194
§ 7.1	弯曲变形的量度及其基本公式	194
§ 7.2	积分法求梁的变形	198
§ 7.3	叠加法求梁的变形 梁的刚度计算	203
§ 7.4	简单超静定梁的解法	213
* § 7.5	温度差引起的弯曲变形	217
	习题	219
第八章	压杆的稳定性	225
§ 8.1	平衡稳定性的概念	225

§ 8.2	细长压杆的临界力	227
§ 8.3	压杆的临界应力总图	230
§ 8.4	压杆的稳定计算	235
习题		239
第九章	应力状态分析和强度理论	242
§ 9.1	二向应力状态分析	242
§ 9.2	三向应力状态的最大应力	249
§ 9.3	广义虎克定律	257
§ 9.4	强度理论简介	260
§ 9.5	弯曲(或拉压)与扭转组合变形时的强度	268
* § 9.6	材料含初始裂纹时的强度简介	275
习题		281
第十章	冲击和疲劳强度简介	288
§ 10.1	在冲击载荷下的强度问题	288
* § 10.2	应力波引起的断裂	295
§ 10.3	交变应力下构件的疲劳强度	297
习题		306
* 第十一章	厚壁圆筒的强度问题	308
§ 11.1	厚壁圆筒的基本方程	308
§ 11.2	厚壁圆筒的应力	312
§ 11.3	厚壁圆筒的强度问题	315
习题		318
附录 I	工程剪切	319
§ I.1	概述	319
§ I.2	剪切和挤压的实用计算	320
习题		326
附录 II	圆柱形密封圈螺旋弹簧	328
§ II.1	概述	328
§ II.2	弹簧的应力	329

§ II.3 彈簧的變形.....	330
习题.....	333
附录Ⅱ 型钢表.....	334
习题参考答案.....	352
主要参考书目.....	362

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。它是工程力学的基础。

所谓**力系**，是指作用于物体的一群力。

在静力学中，**平衡**是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。如房屋、机床的床身、作匀速直线飞行的飞机等等，都是处于平衡状态。任何物体的运动是绝对的，而平衡只是相对的、暂时的；平衡是物体机械运动的一种特殊形式。

静力学将研究：（1）物体的受力分析；（2）力系的简化理论（即力系的等效替换）；（3）物体在力系作用下的平衡条件。

在进行力学的理论研究时，需要建立力学模型作为其研究对象。这种力学模型应反映研究对象本质性的主要属性，忽略那些与研究目的影响不大的次要因素，以利于理论研究，从而得到有用的规律和结论。

虽然，物体在受到外力作用或温度变化时都要产生变形，但这种变形往往很微小。当物体的微小变形对其运动的影响可以忽略不计时，就可以把真实的物体抽象为不变形的物体——**刚体**。在静力学中，刚体是一种理想化的力学模型。

静力学在工程实际中有广泛的应用。机械零件和工程结构的杆件，我们统称为**构件**。它们工作时大多处于或近似处于平衡状态。设计这些构件，需要运用静力学知识进行受力分析，并依据力系的平衡条件来确定其上所受的未知力的大小和方向；需要运

用力系平衡的必要条件来确定构件的内力，以便进行构件有关强度、刚度和稳定性的分析和计算。力系简化理论不仅是研究力系平衡条件的需要，而且在其它力学学科中也有重要的作用。因此，静力学理论是工程技术的基础理论之一。

第一章 静力学基础

§ 1.1 静力学基本概念

力的概念是从劳动中产生的。人们在推、拉、提、掷物体时，从肌肉的紧张收缩中，感觉到人对物体施加了作用，影响了物体的运动，这种作用就是力。通过长期的生产实践和科学实验，人们建立了力的概念：力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态发生变化（包括变形）。例如地球对月球的引力使月球不断改变运动方向而环绕地球运转，锻锤对锻件的冲击力使锻件改变形状等。

力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应，而力使物体产生变形的效应称为力的内效应。实践表明，力对物体的效应取决于三个要素：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。

在国际单位中，力的大小的单位为牛顿（N）。目前工程实际中，力的常用单位为公斤力（kgf）。两者的换算关系为

$$1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$$

力的三要素可用有向线段（矢量）来表示。如图1.1所示，矢线的始端（或末端）表示力的作用点。通过力的作用点 A_1 沿着力的方向引出的直线，称为力的作用线，它表示力的方位。在作用线上截取一定长度的线段 AB ，并在线段的端部画出符合力的指向的箭头。线段的长度按一定的比例代表力的大小，有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 表示了一个力。力是既有大小，又有方向的量，而且力的相加服从矢量加法规则（参见§1.2），因此力是矢量。在静力学篇的理

论中，矢量用黑体字母（如 $\mathbf{F}$ ）来标记，而以普通字母（如 F ）表示这矢量的模（即大小）。

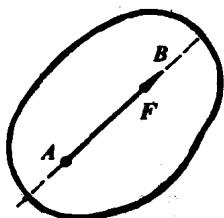


图1.1 刚体

作用在物体上的力，往往不只一个。两个以上同时作用在同一物体上的力称为力系。作用在物体上的力系如果可以用另一个适当的力系来代替，而对物体的效应相同，那么这两个力系互称等效力系。

如果物体在力系的作用下处于平衡状态，这种力系称为平衡力系。力系平衡所应满足的条件称为平衡条件。

实践表明，任何物体受力时总要产生程度不同的变形。但是，工程实践中的机械零件和结构构件在正常工作情况下的变形是很微小的。这种微小的变形对于力的外效应影响极小，可以忽略不计，这样就可以把物体看作是不变形的。在受力情况下保持形状和大小不变的物体称为刚体。

应该指出，刚体是对实际的物体进行抽象简化后得到的一种理想模型。在研究力对物体的外效应（包括平衡）时，由于变形这一因素是次要因素，因此忽略了这一次要因素，把物体视为刚体是许可的。但是，当变形这一因素在所研究的问题中跃居主要地位时（例如在材料力学中），则必须把实际物体看作是可变形固体。

§ 1.2 静力学公理

人们经过长期的实践、认识、再实践、再认识的过程，对力的基本性质进行了概括和总结，得出了静力学公理。这些公理是静力学的基本规律，它们构成了静力学理论的基础。静力学公理的正确性为大量的实践所证实。