

高等院校教材

工程力学

聂毓琴 李洪 编著



科学出版社
www.sciencep.com

TB12
94

高等院校教材

工 程 力 学

聂毓琴 李 洪 编 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书根据最新“高等工业学校力学课程教学基本要求”编写,对传统的工程力学体系作了较大改进,以适应现代科学技术的需要。全书共分4篇16章,包括静力学、构件的承载能力、运动学与动力学、动强度计算4个部分。在各章末配有思考题、习题,并在书末附有习题答案。

本书可作为高等工业学校中、少学时工程力学教材,也可供其他专业和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/聂毓琴,李洪编著. —北京:科学出版社, 2006

高等院校教材

ISBN 7-03-016282-X

I. 工… II. ①聂…②李… 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(2005)第 109633 号

责任编辑:段博原 贾瑞娜/责任校对:李奕莹

责任印制:黄晓靖/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

*

2006年1月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006年1月第一次印刷 印张: 28 1/2

印数: 1—4 000 字数: 546 000

定价: 32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

本书是依据教育部最新修订的“高等工业学校力学课程教学基本要求”，总结我们多年的教学实践经验，并汲取了兄弟院校教材的精华而编写的。

本书有以下几个特点：

- 1) 适当地提高起点，删减与物理学的某些重复部分。
- 2) 加强了工程力学的基本概念、基本理论和基本方法的阐述，基本内容介绍得全面明确、重点突出、易于理解、容易掌握，注意培养学生综合应用、解决问题、理论联系实际的能力。
- 3) 在将基本概念、基本理论贯穿于全书的基础之上，着重强调了工程力学的分析方法，如外力分析、内力分析、应力分析、变形分析、运动分析、动力分析等，着重于工程应用，强化工程意识。

为了实施国家标准规范的物理量的名称和符号，采用了最新国家标准的符号规定。对常用金属材料的牌号采用了最新标准，全部插图用计算机绘制。

本教材包括绪论、静力学、构件的承载能力、运动学与动力学、动强度计算、附录和习题答案等部分。全书共分4篇16章，各章中配有例题、思考题和习题。

本书由聂毓琴、李洪合编。其中绪论、第一篇、第三篇、附录B由李洪编写与绘图；第二篇、第四篇、附录A、附录C由聂毓琴编写，插图由孙瑜、宋平绘制。

本教材在编写的过程中，得到吉林大学力学系全体同仁的大力支持，他们提出了许多宝贵的意见，在此深表谢意。本教材的编写与出版还受到吉林大学教务处的关怀，并得到了吉林大学“十五”规划教材建设基金的资助，在此一并致谢。

编者要特别感谢科学出版社的领导和编辑们，他们对本教材的出版工作给予了精心指导和大力支持。

由于我们水平所限，书中的错误及不妥之处恳请广大读者批评指正，以期不断完善。

编 者

2005年6月于吉林大学

绪 论

宇宙中的一切物质都处在不断地运动变化之中,没有不运动的物质,也不能离开物质谈运动。运动是物质的存在形式,是物质的固有属性。大至宇宙空间,小至基本粒子,从简单的位置变动到复杂的思维活动,都体现出多种多样的运动形式。对各种物质和各种运动形式以及它们之间的相互转化规律的研究,形成了许多科学的分支。力学是研究物体机械运动规律的科学。机械运动是指物体的空间位置随时间的变化。固体的移动和变形、气体和液体的流动都属于机械运动。工程中,对结构或机械都要求有一定的承载能力。机器上工件的旋转移动、航天器、舰艇、车辆的运动,地球围绕太阳的公转和本身的自转,地震时地壳的运动,人体中血液的流动等,都是机械运动的现象。在运动的同时,构件要发生变形,当外载荷超过一定限度时,构件要发生破坏,对各种不同形态的机械运动的研究产生了不同的力学分支。工程力学就是其中一个包含着极其广泛内容的分支,即研究物体在外力作用下,运动、变形和破坏的规律,一般认为,工程力学包含以下几部分:

- 静力学问题。
- 静载下构件的承载能力问题。
- 运动与动力学问题。
- 动载下构件的强度问题。

其中,第一部分研究物体的受力与平衡规律,即根据所研究的物质及其周围物体之间的联系,确定作用在所研究的物体上有哪些力,以及这些力之间的数量关系。第二部分研究物体在静载荷作用下的变形、破坏的规律,即研究由于变形物体内部将产生哪些力,以及当这些内部相互作用力超过一定限度时,物体将会丧失哪些正常功能。第三部分主要研究物体的运动规律,分析物体产生运动的原因,建立物体的运动与作用在物体上的力的相互关系。第四部分研究物体在动载荷作用下的强度问题。

另外,在工程实际中,物体受力后都要发生不同程度的变形,但在绝大多数工程问题中这种变形都是很小的。因此,当分析物体的运动和平衡规律时,这种微小变形的影响是极小的,可略去不计。这时的物体抽象为“刚体”。

当分析强度、刚度和稳定问题时,由于这些问题与变形密切相关,因而即使是微小变形也必须加以考虑,这时的物体看作是“变形体”。

所以,同一个研究对象,在研究不同的问题时,采用不同的模型。在本书的第一和第三篇中,主要研究物体的平衡与运动规律,其模型为刚体。第二和第四篇在研究与变形有关的问题时,其模型为变形体;但在研究平衡问题时,又可忽略其变形,视为刚体。

以后各篇中,会详细介绍根据不同的问题,抽象成不同的力学模型,采用不同的分析方法。

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 静 力 学

第 1 章 静力学基本知识	4
1.1 力的概念	4
1.2 静力学公理	5
1.3 约束和约束反力	7
1.4 物体的受力分析和受力图	10
思考题	15
习题	16
第 2 章 力系的简化	20
2.1 汇交力系	20
2.2 力偶系	22
2.3 任意力系	23
2.4 平行力系与重心	32
思考题	37
习题	39
第 3 章 力系的平衡	42
3.1 平面力系的平衡条件与平衡方程	42
3.2 物体系统的平衡、静定和静不定问题	47
3.3 平面简单桁架的内力计算	52
3.4 摩擦	55
思考题	60
习题	64

第二篇 构件的承载能力

第 4 章 变形体力学概述	76
4.1 变形体力学的任务	76

4.2 可变形固体的性质及其基本假设	77
4.3 内力、截面法和应力的概念	78
4.4 变形与应变的概念	81
4.5 构件的分类、杆件变形的基本形式	82
思考题	84
习题	85
第5章 轴向拉伸和压缩	86
5.1 轴向拉伸和压缩的概念和实例	86
5.2 轴向拉伸或压缩时的内力和应力	87
5.3 材料在轴向拉伸和压缩时的力学性质	93
5.4 许用应力、安全系数和强度条件	100
5.5 轴向拉伸或压缩时的变形	103
5.6 轴向拉伸或压缩时的弹性变形能	107
5.7 拉伸、压缩静不定问题	109
5.8 应力集中的概念	116
思考题	117
习题	119
第6章 扭转和剪切	125
6.1 扭转的概念和实例	125
6.2 外力偶矩的计算、扭矩和扭矩图	125
6.3 薄壁圆筒的扭转、纯剪切	128
6.4 圆轴扭转时的应力与强度条件	130
6.5 圆轴扭转时的变形与刚度条件	137
6.6 非圆截面杆扭转的概念	139
6.7 剪切和挤压的实用计算	141
思考题	146
习题	147
第7章 平面弯曲	152
7.1 平面弯曲静定梁的基本形式	152
7.2 平面弯曲时梁横截面上的内力	155
7.3 平面弯曲时梁的应力及强度计算	165
7.4 平面弯曲梁的变形及刚度计算	185
7.5 简单弯曲静不定问题	200
思考题	203
习题	205

第 8 章 应力 应变分析 强度理论及组合变形构件的强度计算	213
8.1 概述	213
8.2 应力分析	216
8.3 应力应变分析、广义胡克定律.....	229
8.4 复杂应力状态的变形比能	233
8.5 强度理论	235
8.6 组合变形构件的强度计算	240
思考题.....	253
习题.....	255
第 9 章 压杆稳定	260
9.1 稳定的概念	260
9.2 细长压杆的临界力	262
9.3 欧拉公式的适用范围、经验公式.....	267
9.4 压杆的稳定校核	272
9.5 提高压杆稳定性的措施	276
思考题.....	279
习题.....	279

第三篇 运 动 学

第 10 章 运动学基础知识	284
10.1 矢径法.....	284
10.2 直角坐标法.....	285
10.3 自然法.....	287
10.4 刚体的平动.....	290
10.5 刚体绕定轴的转动.....	291
10.6 转动刚体上各点速度和加速度.....	291
思考题.....	293
习题.....	294
第 11 章 点的合成运动	300
11.1 绝对运动、相对运动、牵连运动.....	300
11.2 点的速度合成定理.....	301
11.3 牵连运动是平动时点的加速度合成定理.....	304
思考题.....	305
习题.....	305

第 12 章 刚体的平面运动	310
12.1 刚体平面运动方程	310
12.2 刚体平面运动分解为平动和转动	311
12.3 平面图形上各点的速度分析——基点法	312
12.4 平面图形上各点的速度分析——速度瞬心法	315
12.5 平面图形上各点的加速度分析——基点法	317
思考题	320
习题	321
第 13 章 达朗贝尔原理	326
13.1 惯性力、质点的达朗贝尔原理	326
13.2 质点系的达朗贝尔原理	328
13.3 刚体惯性力系的简化	330
思考题	338
习题	339
第 14 章 动能定理	346
14.1 质点和质点系的动能	346
14.2 力的功	350
14.3 动能定理	357
14.4 功率、功率方程、机械效率	362
14.5 势力场、势能、机械能守恒定律	364
思考题	368
习题	370
第四篇 动强度计算	
第 15 章 动应力	378
15.1 构件有加速度时的动应力计算	378
15.2 构件受冲击时的动应力计算	382
15.3 冲击韧度	389
思考题	390
习题	390
第 16 章 交变应力	393
16.1 概述	393
16.2 交变应力的有关参数	396
16.3 材料的持久极限	398
16.4 构件的持久极限	400

16.5 对称循环下构件的疲劳强度计算.....	404
16.6 提高构件疲劳强度的主要措施.....	406
思考题.....	407
习题.....	408
参考文献.....	445
附录 A 平面图形的几何性质.....	409
A.1 静矩和形心	409
A.2 惯性矩、惯性半径、惯性积	410
A.3 平行移轴公式	413
A.4 转轴公式、主惯性矩	414
思考题.....	415
习题.....	416
附录 B 转动惯量.....	417
附录 C 型钢表	421
习题答案.....	431

第一篇 静 力 学

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律,或者说研究物体平衡时作用在其上的力系所应满足的条件。

静力学的研究对象是刚体,因此,静力学又称为刚体静力学。所谓刚体,是指在力的作用下不变形的物体。事实上,物体在受力时都会产生不同程度的变形,但如果变形很小,不影响所研究问题的性质,就可以忽略变形,将其视为刚体。这种经过抽象化而形成的理想模型,可使问题的研究大为简化,也更深刻地反映了事物的本质。

在静力学中,我们将研究以下三个问题。

(1) 物体的受力分析

(2) 力系的等效替换和简化

力系是指作用在物体上的一组力。如果两个力系使刚体产生相同的运动状态变化,则这两个力系互为等效力系。一个力系用其等效力系来代替,称为力系的等效替换。用一个简单力系等效替换一个复杂力系,称为力系的简化。如果一个力和一个力系等效,则称这个力是该力系的合力。

(3) 刚体在各种力系作用下的平衡条件及其应用

平衡是物体机械运动的一种特殊状态。若物体相对惯性参考系处于静止或做匀速直线运动,则称该物体处于平衡。工程实际中大多数问题可把固连于地球的参考系近似地认为是惯性参考系。

物体受到力系作用时,一般情况下,其运动状态将发生改变。如果作用在物体上的力系满足一定条件,即可使物体保持平衡,这种条件称为力系的平衡条件。满足平衡条件的力系称为平衡力系。在刚体静力学中,力系的平衡与物体的平衡为同一概念。

静力学的理论与方法在工程实际中有着广泛的应用,它是机械零件、工程结构静力计算及设计的理论基础。另外,静力学中建立的概念和理论又是学习材料力学、动力学和某些后继课程(如结构力学、机械原理、机械零件、有限元分析等)的基础。

第 1 章 静力学基本知识

1.1 力的概念

人们通过长期的生活与生产实践,从感性到理性逐步形成了力的概念。**力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。**如人用手推车、蒸汽推动汽缸内的活塞,手和车或蒸汽与活塞之间有相互作用;锻锤压在工件上,其间也有相互作用。引起车、活塞机械运动状态改变和工件变形的这种作用就是力。

物体间作用的形式很多,因而我们会遇到各种各样的力,但力大体上可以分为两类:一类是两个物体直接接触作用,如两物体间的压力及摩擦力;另一类是“场”对物体的作用,如地球的引力场对于物体的引力。

力使物体运动状态发生改变的效应称为**外效应**,而使物体形状发生改变的效应则称为**内效应**。实践表明,力对物体的作用效应,决定于力的大小、方向和作用点,这三者称为**力的三要素**。

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。本书采用的是国际单位制,力的单位是牛[顿](N)或千牛[顿](kN), $1\text{kN}=10^3\text{N}$ 。

力的方向即物体之间机械作用的方向。力的方向包括力作用的方位和指向。

力的作用点是物体间作用位置的抽象化。力的作用位置,一般说并不是一个点,而是物体某一部分面积或体积,前者如两相接触物体之间的压力,后者如物体的重力,这种分布作用的力称为**分布力**。但作用面积很小时则可将其近似地看成作用在一个点上,这种力称为**集中力**,此点称为力的作用点。通过力的作用点沿力的方向的直线,称为力的**作用线**。

力是矢量,记作 F 。可以用一有向线段表示力的三要素,如图 1-1 所示。线段的长度 $\overline{AB}$ 按一定的比例尺表示力的大小,线段的起点或终点表示力的作用点,线段 $\overline{AB}$ 所沿着的直线(图 1-1 上的虚线)表示力的作用线。如不指明作用点,单一的矢量符号 F 或有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 仅能表明力的大小和方向,称为**力矢量**。作用点固定的矢量称为**定位矢量**,力是**定位矢量**。本书用黑体字母表示矢量,用对应的普通字母代表矢量的大小。

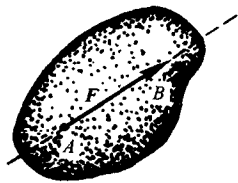


图 1-1

原书缺页

原书缺页

1.2 静力学公理

公理是人们在生活与生产中长期观察所总结出的结论,可以认为它是真理而不需证明,在一定范围内它正确反映了事物最基本、最普遍的客观规律。它是静力学全部理论的基础。

公理1 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力可以合成为一个合力,合力也作用于该点,其大小和方向由这两个力为边所构成的平行四边形的对角线确定。如图1-2(a)所示, F_R 为 F_1 和 F_2 的合力。此法则是矢量最基本的运算规则——加法规则,矢量 F_R 称为矢量 F_1 与 F_2 的几何和或矢量和。用式子表示为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

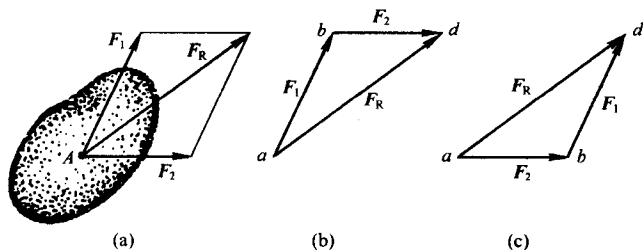


图 1-2

如果只要确定合力 F_R 的大小和方向,则只需画出半个平行四边形即可。如图1-2(b)所示,先从任意点 a 作矢 $\vec{ab} = F_1$,再从点 b 作矢 $\vec{bd} = F_2$,连接 a 、 d 两点的矢 $\vec{ad}$ 即表示合力 F_R 的大小和方向。三角形 abd 称为力三角形。此种作图法称为力三角形法则。如果先画 F_2 ,后画 F_1 (图1-2(c)),也可得到合力矢 F_R 。此法则既是力的合成法则,也是力的分解法则。

公理2 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。如图1-3所示,以矢量式表示为

$$F_1 = -F_2 \quad (1-2)$$

显然,满足二力平衡条件的力系是最简单的平衡力系。

工程中把忽略自重,仅在两点受力而平衡的杆件

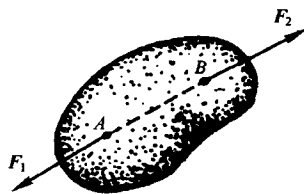


图 1-3

或构件称为二力杆或二力构件。据公理 2, 此构件所受的两个力必大小相等、方向相反、且沿两个受力点的连线。

公理 3 加减平衡力系原理

在作用于刚体的已知力系中, 加上或去掉任意的平衡力系, 并不改变原力系对刚体的作用。

公理 4 作用和反作用定律

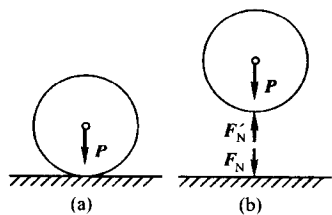


图 1-4

任何两个物体间的相互作用力, 总是大小相等、方向相反、沿同一作用线, 分别作用在这两个物体上。如图 1-4(a) 所示, 重为 P 的球放在支承面上, 此球给支承面的作用力为 F_N , 支承面同时给球一反作用力 F'_N , 且有 $F_N = -F'_N$ (图 1-4(b))。小球受地球引力 P 作用, 与其相应的反作用力 P' 则作用在地球上。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡, 如将此变形体刚化为刚体, 则平衡状态不变。

此公理表明, 当变形体处于平衡时, 必然满足刚体的平衡条件。因此, 可将刚体的平衡条件应用到变形体静力学中去。但应注意, 刚体的平衡条件, 对变形体而言只是必要的, 而不是充分的。如图 1-5 所示, 如将变形后平衡的绳子换成刚杆, 其平衡状态不变; 反之, 如刚杆在压力下处于平衡, 将其换成绳子, 则平衡状态必然破坏。从上述公理出发, 通过数学演绎的方法, 可以推导出许多新的结论。



图 1-5

1. 力的可传性

作用于刚体上某点的力, 可以沿其作用线移至刚体内任一点, 而不改变它对刚体的作用。

证明 如图 1-6(a) 所示, 力 F 作用于刚体上的点 A , 若取 $F = F_2 = -F_1$, 据公理 3, 在力 F 作用线任一点 B 加上两个互成平衡的力 F_1 和 F_2 (图 1-6(b)), 再减去平衡力系 F_1 和 F , 剩下作用于 B 点的力 F_2 (图 1-6(c)) 仍与原力 F 等效, 即力 F 沿其作用线移到了 B 点, 而作用效应不变。

力的可传性表明, 力对刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关。这样, 作用于刚体上力的三要素为: 大小、方向和作用线。沿作用线可任意滑动的矢量称为滑动矢量, 作用于刚体上的力是滑动矢量。