



高等院校教材

工程力学简明教程

焦永树 主 编

范慕辉 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

高等院校教材

工程力学简明教程

主 编 焦永树
副主编 范慕辉
参 编 郭全梅 李银山 马玉英

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书包括理论力学和材料力学的主要内容,全书共分四篇 17 章。第一篇刚体静力学部分,包括静力学的基本概念、平面汇交力系与平面力偶系、平面一般力系和空间力系;第二篇弹性杆件力学部分,包括弹性杆件力学的基本概念、内力与内力图、轴向拉伸与压缩、圆轴的扭转、梁的应力与变形、应力状态与强度理论、组合变形的强度分析和压杆稳定;第三篇点与刚体运动学部分,包括点的运动与刚体的简单运动、点的复合运动和刚体的平面运动;第四篇动力学专题,包括质点与质系动力学和刚体动力学。每章配有思考题与习题,并且书末附有习题答案。

本书可作为高等学校工科本科非机械类、非土建类各专业中、少学时的工程力学教材,也可供高职高专与成人高校师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学简明教程/焦永树主编. —北京:科学出版社,2006
(高等院校教材)

ISBN 7-03-017361-9

I. 工… II. 焦… 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(2006)第 057325 号

责任编辑:匡敏 余江 潘继敏/责任校对:刘小梅

责任印制:张克忠/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>

铁成印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年8月第一版 开本:B5(720×1000)

2006年8月第一次印刷 印张:24 3/4

印数:1—4 000 字数:468 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈铁成〉)

前 言

本书是河北省精品课程“工程力学”的配套教材,是根据教育部高等工科本科理论力学和材料力学(中学时)基本要求以及教育部工科力学课程教学指导委员会面向 21 世纪工科力学课程教学改革的要求编写而成,适用于工科非机械类、非土建类各专业本科 70~90 学时的工程力学课程。

本书凝聚了编者多年从事工程力学教学的经验 and 体会,在内容的编排、概念的阐述、例题的选取和课件的研制等诸方面都作了新的尝试和探索。在保证教学内容系统性、逻辑性和完整性的基础上,力求编排新颖又不失连贯。全书共分四篇 17 章。第一篇为刚体静力学,主要讲授力的基本性质及其对刚体的外效应,进而研究刚体的平衡规律;第二篇为弹性杆件力学,主要讲授力的内效应,并运用平衡规律分析弹性杆件的内力,从而进行杆件的强度、刚度和稳定性设计与计算;第三篇为点与刚体运动学,主要分析运动的几何性质,为进行机构分析和设计提供必要的理论基础;同时,为了保持教学内容的系统性和完整性,本书第四篇为动力学专题,主要讲授质系和刚体动力学的基本理论及其在机构分析中的应用。全书各部分既独立成篇,又前后衔接,形成一个完整的课程内容体系,各学校可根据学时情况自行取舍。

在编写中,编者本着简而明的原则,对与大学物理重复的内容叙述尽量简略,概念相似或相近的内容尽量合并。力求做到语言精炼而不失严谨,论述简明而不失透彻。如将传统教材中分散于各章的内力分析集中于一章讲述,将概念相似的刚体的几何性质和平面图形的几何性质集中于附录 A 中讲述。这样,既建立了不同教学内容之间的联系,又节省了篇幅。

为了满足课堂教学的需要,书中各章都精选了与教学内容相关的思考题,可作为课堂讨论和课后复习之用。另外,编者制作了与本书配套的多媒体课件,可无偿提供给选用本书的教师使用。

参加本书编写工作的有:郭全梅(第 1~4 章),焦永树(第 5、8、9、12 章和附录 A),范慕辉(第 6、7、10、11 章和附录 B、C),李银山(第 13~17 章),马玉英负责本书多媒体课件的制作工作,郟彦辉、桑建兵、贾海朋和杨理诚参加全部习题的组集和习题答案的整理工作,范慕辉负责绘制书中的插图,本书由焦永树定稿。

本书承蒙天津大学蔡宗熙教授和刘海笑教授主审,在此致以深深的谢意。
限于编者水平,书中难免有不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2006年5月

科学出版社高等教育分社

教学支持说明

科学出版社高等教育分社为了对教师的教学提供支持，特对教师免费提供本教材的电子教案，以方便教师教学。

获取电子教案的教师需要填写如下情况的调查表，以确保本电子教案仅为任课教师获得，并保证只能用于教学，不得复制传播。否则，科学出版社保留诉诸法律的权利。

地址：北京东黄城根北街16号，100717

科学出版社 高等教育分社 余江（收）

联系方式：010-6401 0637 010-6403 4725（Fax）

E-mail: yujiang@mail.sciencep.com

请复印后签字盖章，邮寄或者传真到本社，我们确认销售记录后立即赠送。

如果您对本书有任何意见和建议，也欢迎您告诉我们。意见一旦被采纳，我们将赠送书目，教师可以免费选书一本。

证 明

兹证明_____大学_____学院/_____系
第_____学年□上/□下学期开设的课程，采用科学出版社出版的
的_____ / _____（书名/作者）作为
上课教材。任课老师为_____共_____人，
学生_____个班共_____人。

任课教师需要与本教材配套的电子教案。

电 话：_____

传 真：_____

E-mail: _____

地 址：_____

邮 编：_____

学院/系主任：_____（签字）

（学院/系办公室章）

_____年____月____日

目 录

前言

第一篇 刚体静力学

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	3
1.1 基本概念	3
1.2 静力学公理	4
1.3 约束和约束力	7
1.4 受力分析与受力图.....	11
思考题	14
习题	16
第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系	18
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法.....	18
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法.....	21
2.3 力矩与力偶.....	24
2.4 平面力偶系的合成与平衡.....	28
思考题	31
习题	32
第 3 章 平面一般力系	36
3.1 力线平移定理.....	36
3.2 平面一般力系向已知点简化.....	37
3.3 平面一般力系的平衡条件与平衡方程.....	42
3.4 平面平行力系的平衡.....	46
3.5 物体系统的平衡.....	50
3.6 考虑摩擦时的平衡问题.....	56
思考题	66
习题	68
第 4 章 空间力系	75
4.1 力在空间直角坐标轴上的投影.....	75
4.2 力对点之矩与力对轴之矩.....	76

4.3 空间力系的平衡方程及其应用·····	80
思考题·····	87
习题·····	89

第二篇 弹性杆件力学

第5章 弹性杆件力学的基本概念 ·····	97
5.1 弹性体及其基本假设·····	97
5.2 杆件的承载能力·····	97
5.3 杆件的内力与应力·····	98
5.4 杆件的变形与应变·····	100
思考题·····	102
第6章 内力与内力图 ·····	103
6.1 轴力与轴力图·····	103
6.2 扭矩与扭矩图·····	106
6.3 剪力与弯矩、剪力图与弯矩图·····	110
思考题·····	119
习题·····	120
第7章 轴向拉伸与压缩 ·····	124
7.1 拉压杆的应力·····	124
7.2 拉压杆的变形·····	127
7.3 低碳钢和铸铁在拉压时的力学性能·····	130
7.4 许用应力和强度条件·····	135
7.5 简单拉压超静定问题·····	137
7.6 温度应力和装配应力·····	139
7.7 连接件的实用计算·····	142
思考题·····	147
习题·····	148
第8章 圆轴的扭转 ·····	153
8.1 切应力互等定理与剪切胡克定律·····	153
8.2 圆轴扭转应力与强度条件·····	155
8.3 圆轴扭转变形与刚度条件·····	159
思考题·····	161
习题·····	161
第9章 梁的应力与变形 ·····	165

9.1	梁的正应力及强度条件	165
9.2	梁的切应力及强度条件	171
9.3	梁的变形及刚度条件	176
9.4	提高梁承载能力的措施	185
	思考题	187
	习题	188
第 10 章	应力状态与强度理论	193
10.1	应力状态的概念	193
10.2	平面应力状态分析	195
10.3	三向应力状态中的最大应力	199
10.4	广义胡克定律与畸变能密度	201
10.5	四个常用的强度理论	204
	思考题	207
	习题	208
第 11 章	组合变形的强度分析	211
11.1	拉伸(压缩)与弯曲的组合	211
11.2	弯曲与扭转的组合变形	215
	思考题	220
	习题	220
第 12 章	压杆稳定	225
12.1	压杆稳定的概念	225
12.2	细长压杆临界力的欧拉公式	226
12.3	中、小柔度压杆的临界力	230
12.4	压杆的稳定条件与合理设计	232
	思考题	234
	习题	235

第三篇 点与刚体运动学

第 13 章	点的运动与刚体的简单运动	241
13.1	描述点的运动的矢径法	241
13.2	描述点的运动的直角坐标法	242
13.3	描述点的运动的自然法	245
13.4	刚体的平移	250
13.5	刚体的定轴转动	251

思考题	256
习题	256
第 14 章 点的复合运动	261
14.1 复合运动中的基本概念	261
14.2 复合运动中运动方程之间的关系	262
14.3 复合运动中速度之间的关系	262
14.4 复合运动中加速度之间的关系	266
思考题	272
习题	273
第 15 章 刚体的平面运动	278
15.1 平面运动的运动方程	278
15.2 平面运动的速度分析	279
15.3 平面运动的加速度分析	286
思考题	289
习题	289

第四篇 动力学专题

第 16 章 质点与质系动力学	297
16.1 质点运动微分方程	297
16.2 质系动力学的研究方法	300
16.3 质系动量定理	300
16.4 质系动量矩定理	306
16.5 质系动能定理	310
思考题	317
习题	318
第 17 章 刚体动力学	325
17.1 刚体的平行移动	325
17.2 刚体的定轴转动	327
17.3 刚体的平面运动	330
思考题	338
习题	339
参考文献	343
附录 A 质量和面积的几何性质	344
A.1 质心与形心	344

A.2 转动惯量与惯性矩	346
A.3 惯性矩与转动惯量的平行移轴定理	348
思考题	350
习题	351
附录 B 梁在简单载荷作用下的变形	354
附录 C 型钢表	356
部分习题参考答案	370

第一篇 刚体静力学

刚体静力学是研究物体在外力作用下平衡规律的一门科学。

所谓刚体,是指在力的作用下不变形的物体。实际上,任何物体受力后或多或少都会发生变形,但是许多物体的变形与其原始尺寸相比十分微小,对静力学所研究的问题而言,略去变形不会对研究结果产生显著的影响,却能大大减少问题的复杂程度。因此,把所研究的物体抽象为刚体不仅是合理的,而且是必要的。

所谓平衡,是指物体机械运动的一种特殊状态。当物体相对于惯性参考系静止或做等速直线运动时,则称物体处于平衡状态。要使物体保持平衡状态,作用于物体上的力就要满足一定的条件,这种条件称为力系平衡条件。刚体静力学研究物体在各种力系作用下的平衡条件,并应用这些条件解决工程技术问题。有时,为了便于寻求各种力系对于物体作用的效应,常常需要将力系进行简化,使其变为另一个与其作用效应相同的等效力系,这也是刚体静力学的研究内容之一。

刚体静力学理论是建立在静力学公理基础之上的。静力学公理是经过长期实践并经反复验证的普遍规律,是人们关于力的基本性质的概括和总结。它不能为更简单的原理所取代,也无须证明而为大家所公认。

刚体静力学理论是对机械零件和结构构件进行受力分析和计算的基础,在工程技术中有着广泛的应用。

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析

1.1 基本概念

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。

1.1.1 静力学的基本概念

1. 平衡的概念

平衡,是指物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或做匀速直线运动的状态。平衡是机械运动的特殊情况。

平衡条件,是指当物体处于平衡状态时,作用于物体上的各种力系所应满足的条件。

2. 刚体的概念

刚体,是指在力的作用下不发生变形的物体。其特征是物体内部任意两点之间的距离始终保持不变。这是一个理想化的力学模型。

实际上,世界上并无刚体存在。但在一般工程中由钢材、混凝土等材料制成的物体,在力的作用下变形都很微小。在研究物体平衡问题时,这些微小的变形不起主要作用,可以将其忽略不计,认为物体是不变形的。

静力学中所研究的对象主要是刚体,因此静力学也称为刚体静力学。

3. 力的概念

力,是物体间相互的机械作用。例如,人用手推车,就有推力;用刀具切削工件,就有切削力。物体之间有相互机械作用,就产生了力。

物体受到力的作用后,一方面可改变运动状态,另一方面也改变了物体原来的形状。前者称为力的外效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应。刚体静力学主要研究力的外效应。

力的大小、方向和作用点称为力的三要素。力是定位矢量,可用有向线段表示(图 1-1)。线段的长度按一定比例尺表示力的大小;线段的方位和箭头的指向表示力的方向;线段的起点(或终点)表示力的作用点,与线段重合的直线表示力

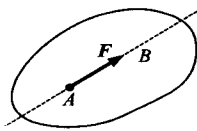


图 1-1

的作用线。在静力学部分,力矢量用黑体字母(如 \mathbf{F})表示,而力的大小用普通字母(如 F)表示。

在国际单位制(SI)中,力的单位是牛顿(N),或千牛顿(kN)。

作用于物体上的一组力称为力系。满足平衡条件的力系称为平衡力系。

1.1.2 静力学的研究内容

1. 物体的受力分析

指分析某个物体共受几个力作用,以及每个力的作用位置和方向。

2. 力系的等效替换(或简化)

将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替,称为等效替换。用一简单力系等效地替换另一个复杂力系,则称为力系的简化。

如果一个力与一个力系等效,则此力称为该力系的合力。该力系中的各力称为合力的分力。

3. 力系平衡条件的建立及其应用

研究作用在物体上的各种力系平衡所需满足的条件。

力系按作用线分布情况的不同有下列几种:所有力的作用线在同一平面内分布时称为平面力系;力的作用线在空间分布时称为空间力系;力的作用线汇交于同一点时称为汇交力系;力的作用线互相平行时称为平行力系;而所有力的作用线任意分布时,则称为一般力系。

力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义,是设计结构、构件和机械零件时静力计算的基础。因此,静力学在工程中有着广泛的应用。

1.2 静力学公理

静力学公理是人类经过长期实践概括和归纳出的最基本的静力学的一般规律。它不断被实践所验证,是无须证明而为人们所普遍接受的客观真理。

公理 1 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要与充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。

对于刚体,二力平衡条件是必要与充分条件[图 1-2(a)];而对于变形体,该条件只是必要条件,而非充分条件。如图 1-2(b)所示,绳索的两端受拉时平衡,而受压时则不平衡。

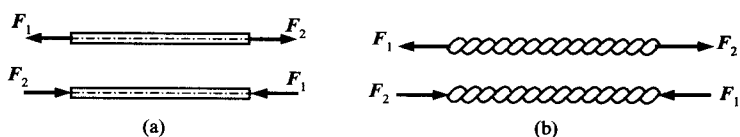


图 1-2

工程上常常遇到只受两个力作用而平衡的刚体,称之为二力杆。二力杆不一定是直杆,也可能是弯杆或其他形状的物体,因此又称为二力体或二力构件,如图 1-3 所示。由公理 1 可知,作用于二力杆上的两个力必沿两作用点的连线。

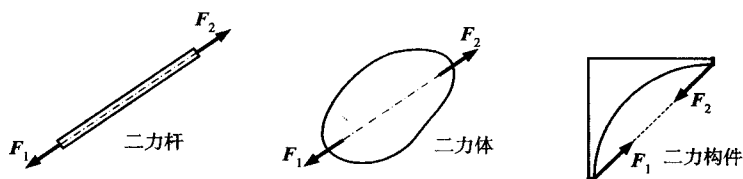


图 1-3

公理 2 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

这个公理是研究力系等效替换的重要依据。据此可以导出如下推论:

推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力,可以沿其作用线移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用。

证明 在图 1-4(a)所示刚体上的 A 点作用一力 F 。根据加减平衡力系公理,在力的作用线上任一点 B 加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ,且使 $F_2 = -F_1 = F$ [图 1-4(b)]。由于力 F 和 F_1 也是一个平衡力系,故可去掉。这样只剩下一个力 F_2 [图 1-4(c)],即原来的力 F 沿其作用线移到了 B 点。显然它与原来作用于 A 点的力 F 等效。因此,对于刚体来说,力可以沿着作用线移动,这种矢量称为滑动矢量。

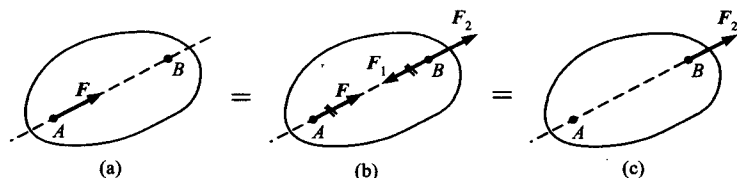


图 1-4

应该注意,尽管力沿着作用线移动不改变其对物体的外效应,但会改变其对物体的内效应。因此力的可传性只适用于刚体,而不适用于变形体。

公理 3 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。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线来确定[图 1-5(a)]。或者说,合力等于这两个力矢量的矢量和,即

$$F_R = F_1 + F_2$$

实际上,求两个汇交力的合力无须作出整个平行四边形,可通过力三角形求两汇交力的合力,如图 1-5(b)和(c)所示。

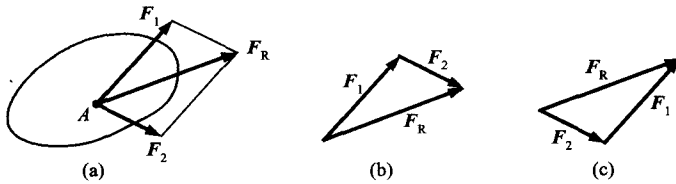


图 1-5

这个公理是对复杂力系进行简化的基础。据此可以导出如下推论:

推论 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上的三个相互平衡的力,若其中两个力的作用线汇交于一点,则第三个力的作用线亦必通过该汇交点,且此三力必在同一平面内。

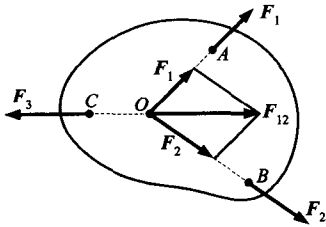


图 1-6

证明 在图 1-6 所示刚体的 A、B、C 三点,作用着平衡力系 F_1 、 F_2 和 F_3 。根据力的可传性原理,将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O。再根据力的平行四边形法则,求得合力 F_{12} 。则力 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于二力平衡必须共线,所以力 F_3 必定通过力 F_1 和 F_2 的交点 O,且与力 F_1 和 F_2 共面。

三力平衡汇交定理给出了不平行的三个力平衡的必要条件,有时应用它可确定第三个力的作用线方位。

公理 4 作用和反作用定律

两物体间的作用力与反作用力总是同时存在,两力的大小相等,方向相反,沿着同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。

作用和反作用定律是分析物体受力时必须遵循的原则,为研究从一个物体过渡到多个物体的物体系统问题提供了基础。