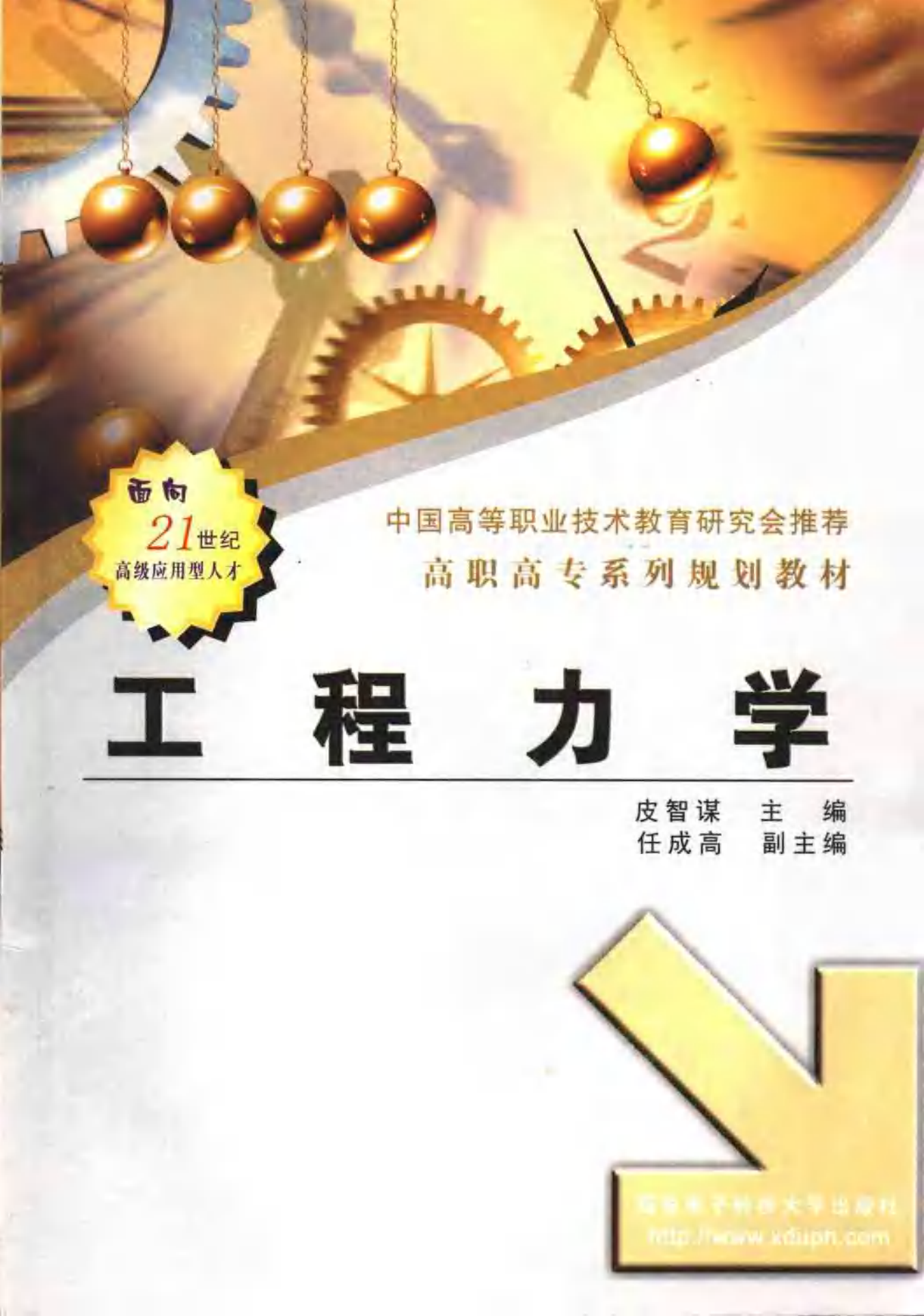




面向
21世纪
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列规划教材

工 程 力 学

皮智谋 主 编
任成高 副 主 编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列规划教材

工 程 力 学

主 编 皮智谋
副主编 任成高
参 编 程 莉 杨 红
主 审 胡德淦

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了静力学基础知识,内容包括:静力学的基础概念与物体的受力图、平面力系的平衡、空间力系的平衡;构件承载能力分析计算的基础知识,包括杆件的轴向拉伸与压缩、扭转与剪切、构件弯曲与组合变形;运动力学基础知识,包括质点的运动、刚体的运动、动能定理等。每章后都附有思考与练习题。

本书可作为职业院校和高等专科学校非机械类专业的工程力学(少学时)课程教材,也可作为相关工程技术人员参考读物。

★本书配有电子教案,需要的老师可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/皮智谋主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2004. 11

(高职高专系列规划教材)

ISBN 7-5606-1442-6

I. 工... II. 皮... III. 工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 098905 号

责任编辑 潘恩祥 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2004 年 11 月第 1 版 2006 年 1 月第 2 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 10.125

字 数 230 千字

印 数 4001~8000 册

定 价 12.00 元

ISBN 7-5606-1442-6/TH·0042(课)

XDUP 1713001-2

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李家亮

机电类专业系列高职高专教材

编审专家委员会名单

主任: 刘跃南 (深圳职业技术学院教务长, 教授)

副主任: 方 新 (北京联合大学机电学院副院长, 教授)

李荣才 (西安电子科技大学出版社总编辑, 教授)

成 员: (按姓氏笔画排列)

刘守义 (深圳职业技术学院工业中心主任, 副教授)

李七一 (南京工业职业技术学院机械工程系主任, 副教授)

李望云 (武汉职业技术学院机械系主任, 副教授)

宋文学 (西安航空技术高等专科学校机械系副主任, 副教授)

邱士安 (成都电子机械高等专科学校机电工程系副主任, 副教授)

胡德淦 (郑州工业高等专科学校机械工程系副教授)

高鸿庭 (上海电机技术高等专科学校机械系副教授)

郭再泉 (无锡职业技术学院自控与电子工程系副主任, 副教授)

蒋敦斌 (天津职业大学机电工程系主任, 教授)

董建国 (湖南工业职业技术学院机械工程系主任, 副教授)

翟 轰 (陕西工业职业技术学院院长, 教授)

项目总策划: 梁家新

项目策划: 马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案: 马武装

前 言

本书是依据教育部最新制定的“工程力学”课程教学基本要求编写而成的，适合作为高职高专 60 学时左右的“工程力学”课程教学用书。

在本书编写过程中，充分吸取了近几年高职高专教学改革的经验，力求体现高职高专培养技术应用型人才的特色。全书由具有多年“工程力学”教学经验的一线教师编写，在内容上着重讲清力学概念，真正简化理论推导，加强实践应用，切实做到简明易懂，实际实用。

本书由皮智谋副教授担任主编，任成高副教授担任副主编。湖南工业职业技术学院任成高副教授编写了第 1 章、第 2 章，程莉讲师编写了第 3 章、第 4 章，皮智谋副教授编写了第 5 章、第 6 章，杨红讲师编写了第 7 章。

本书由郑州工业高等专科学校胡德淦副教授担任主审。

限于编者的水平和经验，书中错误与欠妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2004 年 8 月

目 录

第 1 章 静力学基本概念与物体的受力图	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 力的概念	1
1.1.2 力的基本性质	3
1.2 力矩与力偶	5
1.2.1 力矩	5
1.2.2 力偶	7
1.3 约束与约束反力	9
1.3.1 柔索约束	9
1.3.2 光滑接触面约束	10
1.3.3 光滑圆柱铰链约束	10
1.3.4 固定端约束	12
1.4 物体的受力图	12
思考与练习	15
第 2 章 平面力系的平衡	19
2.1 平面任意力系向一点简化	19
2.1.1 力的平移定理	19
2.1.2 平面任意力系向一点简化	20
2.1.3 简化结果的讨论	21
2.2 平面任意力系的平衡方程及应用	23
2.3 几种特殊平面力系的平衡问题	25
2.3.1 平面汇交力系的平衡	25
2.3.2 平面力偶系的平衡	27
2.3.3 平面平行力系的平衡	28
2.4 物系的平衡	30
2.4.1 静定与静不定问题的概念	30
2.4.2 物系的平衡	31
2.5 考虑摩擦时的平衡问题	34
2.5.1 滑动摩擦	34
2.5.2 摩擦角与自锁现象	35
2.5.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	37
2.5.4 滚动摩擦简介	40

思考与练习	41
第3章 空间力系的平衡	48
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	48
3.1.1 直接投影法	48
3.1.2 二次投影法	49
3.1.3 合力投影定理	50
3.2 力对轴之矩	51
3.2.1 力对轴之矩的计算	51
3.2.2 合力矩定理	52
3.3 空间力系的平衡	53
3.3.1 平衡条件及平衡方程	53
3.3.2 应用举例	54
思考与练习	57
第4章 杆件的轴向拉伸与压缩	61
4.1 轴向拉伸与压缩的概念与实例	61
4.2 轴力与轴力图	62
4.2.1 内力与截面法	62
4.2.2 轴力与轴力图	62
4.3 轴向拉(压)时横截面上的应力	64
4.3.1 应力的概念	64
4.3.2 轴向拉(压)时横截面上的应力	65
4.4 轴向拉(压)时的变形	66
4.4.1 纵向线应变与横向线应变	66
4.4.2 泊松比	67
4.4.3 胡克定律	67
4.5 金属材料在拉伸与压缩时的力学性能	69
4.5.1 拉伸试验和应力—应变曲线	69
4.5.2 低碳钢拉伸时的力学性能	69
4.5.3 其他材料拉伸时的力学性能	71
4.5.4 材料压缩时的力学性能	72
4.6 轴向拉(压)时的强度计算	74
4.6.1 极限应力、许用应力	74
4.6.2 轴向拉(压)时的强度计算	74
思考与练习	76
第5章 扭转与剪切	82
5.1 扭转的概念与实例	82
5.1.1 扭转的概念	82
5.1.2 受扭圆轴实例	82
5.2 外力偶矩与扭矩	83

5.2.1 外力偶矩的计算	83
5.2.2 扭矩的计算	83
5.2.3 扭矩图	84
5.3 圆轴扭转的切应力与强度计算	86
5.3.1 变形几何关系	86
5.3.2 横截面上的切应力	87
5.3.3 强度计算	88
5.4 圆轴扭转变形与刚度计算	90
5.4.1 扭转变形	90
5.4.2 刚度条件	90
5.5 剪切与挤压的实用计算	91
5.5.1 剪切与挤压的概念	91
5.5.2 实用计算	92
思考与练习	93
第6章 弯曲	95
6.1 弯曲的概念与实例	95
6.1.1 基本概念	95
6.1.2 梁的类型	96
6.2 梁的内力与内力图	96
6.2.1 剪力与弯矩	96
6.2.2 剪力图和弯矩图	98
6.3 弯曲时的正应力与强度计算	101
6.3.1 变形几何关系	101
6.3.2 横截面上的正应力	102
6.3.3 弯曲正应力强度条件	103
* 6.4 梁的变形	105
6.4.1 挠度与转角	105
6.4.2 计算变形的叠加法	106
6.4.3 刚度条件	107
6.5 提高梁的承载能力的措施	108
* 6.6 组合变形简介	109
6.6.1 组合变形的概念	109
6.6.2 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	110
6.6.3 扭转与弯曲的组合变形	112
思考与练习	114
第7章 运动动力学基础	117
7.1 质点的运动	117
7.1.1 自然表示法	117
7.1.2 直角坐标表示法	122
7.1.3 矢量表示法	125
7.2 刚体的运动	126

7.2.1 刚体的平动	126
7.2.2 刚体的定轴转动	128
7.3 动能定理	132
7.3.1 力的功	132
7.3.2 刚体的动能	135
7.3.3 动能定理	138
7.4 动静法	141
7.4.1 惯性力的概念	141
7.4.2 质点的达朗贝尔原理	142
7.4.3 质点系的达朗贝尔原理	143
7.4.4 刚体惯性力系的简化	143
思考与练习	146
参考文献	151

第 1 章 静力学基本概念与物体的受力图

1.1 基本概念

1.1.1 力的概念

人们在长期的生活和生产实践中,逐步形成了对力的感性认识,比如,当人们用手握、举、推、拉物体时,由于肌肉的紧张而感到力的作用,这种感性认识上升到理性认识,就建立起了抽象的力的概念。力是物体间相互的机械作用。物体间相互的机械作用大致可分为两类:一类是物体直接接触的作用,另一类是场的作用。这种作用使物体的运动状态或形状尺寸发生改变。物体运动状态的改变称为力的外效应或运动效应,物体形状尺寸的改变称为力的内效应或变形效应。

实践证明,力对物体的效应取决于力的三要素,即力的大小、方向和作用点。

在国际单位制中,力的单位为 N 或 kN, $1 \text{ kN} = 10^3 \text{ N}$ 。

力是一个既有大小又有方向的量,称为矢量。矢量可用一具有方向的线段来表示,如图 1.1 所示。线段 AB 的起点(或终点)表示力的作用点,线段 AB 的方位和箭头指向表示力的方向,沿力的方向画出的直线,称为力的作用线,而线段 AB 长度则按一定的比例表示力的大小。本书中用黑体字母表示矢量,如 $\boldsymbol{F}$,用普通字母表示力的大小,如 F 。

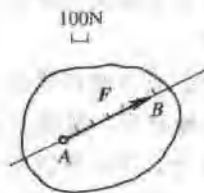


图 1.1

若力 $\boldsymbol{F}$ 在平面 Oxy 内,其矢量表达式为

$$\boldsymbol{F} = F_x \boldsymbol{i} + F_y \boldsymbol{j} = F_x \boldsymbol{i} + F_y \boldsymbol{j} \quad (1.1)$$

式中, F_x 、 F_y 分别表示力 $\boldsymbol{F}$ 沿平面直角坐标轴 x 、 y 方向上的两个分量; F_x 和 F_y 分别为力 $\boldsymbol{F}$ 在平面直角坐标轴 x 、 y 上的投影; $\boldsymbol{i}$ 、 $\boldsymbol{j}$ 分别为直角坐标轴 x 、 y 上的单位矢量。

如图 1.2 所示,由力 $\boldsymbol{F}$ 的起点 A 和终点 B 分别作 x 轴的垂线,垂足分别为 a 、 b , 线段

ab 冠以适当的正负号称为力 F 在 x 轴上的投影, 用 F_x 表示, 即

$$F_x = \pm ab \quad (1.2)$$

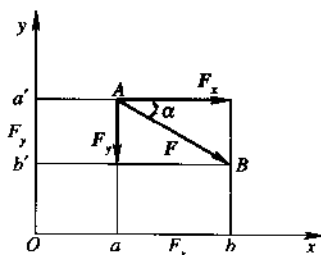


图 1.2

投影的正负号规定如下: 若从 a 到 b 的方向与 x 轴正向一致, 则取正号; 反之则取负号。同样, 力 F 在 y 轴上的投影为

$$F_y = \pm a'b' \quad (1.3)$$

如图 1.2 所示, 力 F 在 x 轴和 y 轴的投影分别为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= -F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

由此可见, 力在坐标轴上的投影是代数量。

若已知力 F 在平面直角坐标轴上的投影 F_x 和 F_y , 则该力的大小和方向为

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan \alpha &= \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

式中, α 表示力 F 与 x 轴所夹的锐角, F 的指向由 F_x 和 F_y 的正负来确定。

作用于一个物体上的若干个力称为力系。若两个力系对物体的作用效应完全相同, 则这两个力系称为等效力系。如一个力与一个力系等效, 则此力称为该力系的合力, 而该力系中的各力称为合力的分力。把各分力等效代换成合力的过程称为力系的合成, 把合力等效代换成各分力的过程称为力的分解。

平衡是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动的状态。

如果物体在一力系作用下处于平衡状态, 则该力系称为平衡力系。

工程力学的研究对象往往比较复杂, 在对其进行力学分析时, 首先必须根据研究问题的性质, 抓住其主要矛盾, 忽略其次要因素, 对其进行合理的简化, 科学地抽象出力学模型。

在分析物体的运动规律时, 如果物体的形状和大小与运动无关或对运动的影响很小, 则可将物体抽象为质点。质点是指具有质量而形状、大小可忽略不计的力学模型。

在研究物体的平衡问题时, 若物体的微小变形对平衡问题影响很小, 则可将物体当作刚体。刚体是指受力时保持形状、大小不变的力学模型。

在分析强度、刚度和稳定性问题时, 由于这些问题都与变形密切相关, 因此即使是极

其微小的变形也必须加以考虑,这时就必须把物体抽象为变形体这一力学模型。

1.1.2 力的基本性质

人们在长期的生活和生产活动中,经过实践—认识—再实践—再认识的过程,总结出了许多力所遵循的规律,其中最基本的性质有以下几条。这些性质的正确性已被实践所验证,为大家所公认,所以也称为静力学公理。

性质一 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力使刚体处于平衡状态的充要条件是:这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一条直线上,如图 1.3 所示。用矢量表示,即为

$$\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B \quad (1.6)$$

对于变形体,这个条件是必要的,但不是充分的。

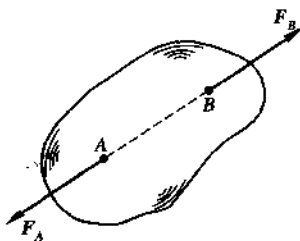


图 1.3

工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件或二力杆。根据上述性质,二力构件上的两个力必沿两力作用点的连线,且等值、反向,如图 1.4 所示。

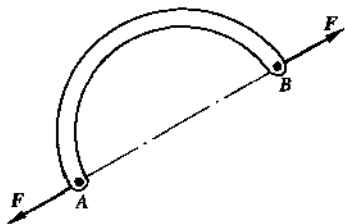


图 1.4

性质二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系上,加上或者减去一个平衡力系,都不会改变原力系对刚体的作用效果。由此可得如下推论:

推论 1 力的可传性

刚体上的力可沿其作用线移到该刚体上的任意位置,并不改变该力对该刚体的作用效应。

如图 1.5 所示, 作用于小车 A 点的推力 F 沿其作用线移到 B 点, 得拉力 F' , 虽然推力变为拉力, 但对小车的作用效应是相同的。由此可见, 力的作用点对刚体来说已不是决定力作用效应的要素。因此, 作用于刚体上的力的三要素是力的大小、方向和作用线。

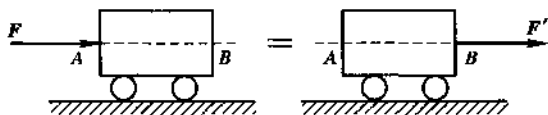


图 1.5

性质三 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力, 合力的作用点仍在该点, 合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定, 如图 1.6(a)所示。其矢量表达式为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1.7)$$

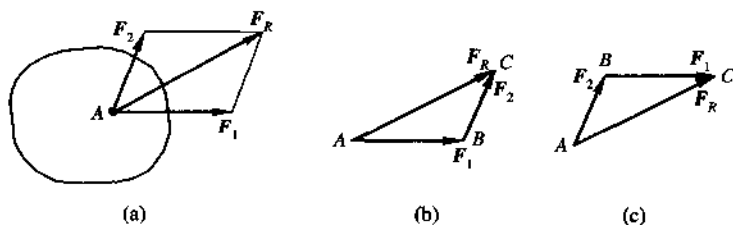


图 1.6

为方便起见, 在利用矢量加法求合力时, 可不必画出整个平行四边形, 而是从 A 点作矢量 F_1 , 再由 F_1 的末端 B 作矢量 F_2 , 则矢量 $\overrightarrow{AC}$ 即为合力 F_R 。这种求合力的方法称为力的三角形法则, 如图 1.6(b)所示。显然, 若改变 F_1 、 F_2 的顺序, 其结果不变, 如图 1.6(c)所示。

力的平行四边形法则是力系合成的法则, 也是力系分解的法则。该法则表明了最简单力系简化的规律, 它也是复杂力系简化的基础。

由上可推出 n 个力作用的情况。设一刚体上有 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 共 n 个力作用, 力系中各力的作用线共面且汇交于同一点(称为平面汇交力系), 根据性质三和式(1.7)将此力系合成为一个合力 F_R , 此合力应为

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum F_i \quad (1.8)$$

可见, 平面汇交力系的合力矢量等于力系各分力的矢量和。

将式(1.8)分别向 x 、 y 轴投影可得

$$\left. \begin{aligned} F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = \sum F_{ix} \\ F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = \sum F_{iy} \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

式(1.9)表明, 力系的合力在某一直角坐标轴上的投影等于力系中各分力在同一轴上投影的代数和, 此即为合力投影定理。

合力的大小和方向为

$$\left. \begin{aligned} F_R &= \sqrt{(F_{Rx})^2 + (F_{Ry})^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \tan \alpha &= \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right| \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

式中, α 表示力 F_R 与 x 轴所夹的锐角, F_R 的指向由 $\sum F_x$ 和 $\sum F_y$ 的正负来确定。

推论 2 三力平衡汇交定理

刚体受三个共面但互不平行的力作用而平衡时, 此三力必汇交于一点。

此定理说明了不平行的三力平衡的必要条件, 而且, 当两个力的作用线相交时, 可用来确定第三个力的作用线方位。

证明 刚体上 A 、 B 、 C 三点, 分别作用着使该刚体平衡的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 , 它们的作用线都在一个平面内但不平行, F_1 、 F_2 的作用线交于 O 点。根据力的可传性原理, 将这两个力分别移至 O 点, 则此两个力的合力 F_R 必定在此平面内且通过 O 点, 而 F_R 必须和 F_3 平衡, 由二力平衡的条件可知, F_3 与 F_R 必共线, 所以 F_3 的作用线亦必过 F_1 、 F_2 的交点 O , 即三个力的作用线汇交于一点。如图 1.7 所示。

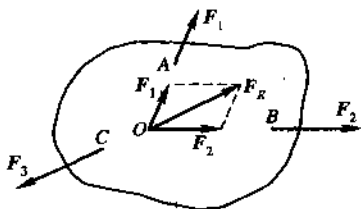


图 1.7

性质四 作用与反作用定律

两物体间的作用力与反作用力, 总是大小相等, 方向相反, 沿同一条直线, 分别作用在这两个物体上。

此定律概括了自然界中物体间相互作用关系, 表明一切力总是成对出现的, 揭示了力的存在形式和力在物体间的传递方式。

特别要注意的是, 必须把作用与反作用定律、二力平衡公理严格地区分开来。作用与反作用定律是表明两个物体相互作用的力学性质, 而二力平衡公理则说明一个刚体在两个力作用下处于平衡时两力满足的条件。

1.2 力矩与力偶

1.2.1 力矩

人们从生产实践活动中得知, 力不仅能够使物体沿某方向移动, 还能够使物体绕某点产生转动。例如人用扳手拧紧螺母时, 施于扳手的力 F 使扳手与螺母一起绕转动中心 O 转

动, 由经验可知, 转动效应的大小不仅与 F 的大小和方向有关, 而且与转动中心点 O 到 F 作用线的垂直距离有关, 因此, 在 F 作用线和转动中心点 O 所在的同一平面内 (如图 1.8 所示) 我们将点 O 称为矩心, 点 O 到 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂, 力使物体绕转动中心的转动效应, 就用力 F 的大小与力臂 d 的乘积并冠以适当的正负号来度量, 该量称为力对 O 点之矩, 简称力矩, 记作 $M_O(F)$, 即

$$M_O(F) = \pm Fd \quad (1.11)$$

平面内的力对点之矩是一个代数量, 其正负号规定为: 若力使物体绕矩心逆时针方向转动时, 则力矩为正; 反之, 力矩为负。力矩的常用单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

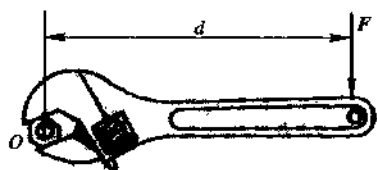


图 1.8

由力矩的定义可知, 力矩有以下性质:

- (1) 力对点之矩的大小, 不仅取决于力的大小, 还与矩心的位置有关。
- (2) 力对任意点之矩的大小, 不因该力的作用点沿其作用线移动而改变。
- (3) 力的大小为零或力的作用线通过矩心时, 力矩为零。
- (4) 互成平衡的二力对同一点之矩的代数和为零。

设物体上作用有一个平面汇交力系 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 其合力为 F_R 。由于合力与力系等效, 因此合力对平面内任意点之矩等于力系中所有分力对同一点之矩的代数和, 即

$$M_O(F_R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \dots + M_O(F_n) = M_O(F_i) \quad (1.12)$$

这就是合力矩定理。

对于有合力的其他力系, 合力矩定理同样成立。

当力矩的力臂不易求出时, 常将力正交分解为两个易确定力臂的分力, 然后应用合力矩定理计算力矩。

【例 1.1】 如图 1.9 所示, 力 $F=150 \text{ N}$, 作用在锤柄上, 柄长 $l=320 \text{ mm}$, 试求 (a)、(b) 两种情况下力 F 对支点 O 的力矩。

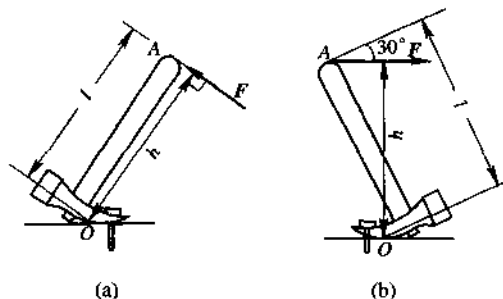


图 1.9

解 在(a)种情况下, 支点 O 到力 F 作用线的垂直距离 $h=l$, 力 F 使锤柄绕 O 点逆时针转动, 则力 F 对 O 点的力矩为

$$M_O(F) = Fh = 150 \times 320 = 48\,000 \text{ N} \cdot \text{mm} = 48 \text{ N} \cdot \text{m}$$

在(b)种情况下, 支点 O 到力 F 作用线的垂直距离 $h=l \cos 30^\circ$, 力 F 使锤柄绕 O 点顺时针转动, 则力 F 对 O 点的力矩为

$$M_O(F) = -Fh = -150 \times 320 \times \cos 30^\circ = -41\,568 \text{ N} \cdot \text{mm} = -41.568 \text{ N} \cdot \text{m}$$

【例 1.2】 一齿轮受到与它相啮合的另一齿轮的法向压力 $F_n=1400 \text{ N}$ 的作用, 如图 1.10 所示, 已知压力角(作用在啮合点的力与啮合点的绝对速度之间所夹的锐角) $\alpha=20^\circ$, 节圆直径 $D=0.12 \text{ m}$, 求法向压力 F_n 对齿轮轴心 O 之矩。

解 用两种方法计算。

(1) 用力矩定义求解, 如图 1.10(a)所示。

$$\begin{aligned} M_O(F_n) &= -F_n r_o = -F_n \frac{D}{2} \cos \alpha \\ &= -1400 \times \frac{0.12}{2} \cos 20^\circ \\ &= -78.93 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(2) 用合力矩定理求解, 如图 1.10(b)所示。

将力 F_n 在啮合点处分解为圆周力 $F_t = F_n \cos \alpha$ 和径向力 $F_r = F_n \sin \alpha$, 由合力矩定理, 得

$$\begin{aligned} M_O(F_n) &= M_O(F_t) + M_O(F_r) = -F_t \times \frac{D}{2} + 0 \\ &= -1400 \times \cos 20^\circ \times \frac{0.12}{2} \\ &= -78.93 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

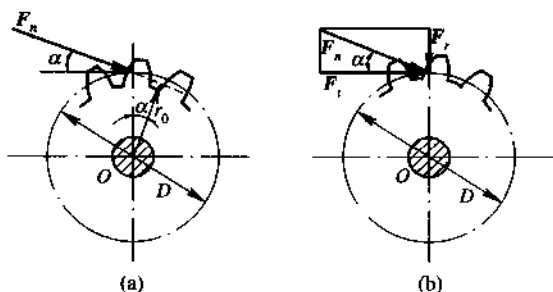


图 1.10

1.2.2 力偶

在日常生活和生产实践中, 经常会遇到物体受大小相等、方向相反、作用线互相平行的两个力作用的情形。如人用手拧水龙头开关, 如图 1.11(a)所示; 司机用双手转动方向盘, 如图 1.11(b)所示; 钳工用丝锥攻螺纹, 如图 1.11(c)所示等。实践证明, 这样的两个力(F, F')对物体只产生转动效应, 而不产生移动效应。