



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(第4版)

工程力学



静力学

北京科技大学 编
东 北 大 学



高等教育出版
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工 程 力 学

静 力 学

(第4版)

北京科技大学 编
东北大学

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。自1997年出版以来,前三版教材,选材恰当,侧重基础部分,内容精练,深广度适当,难易适度,适应多层次教学要求。第4版教材在原有基础上,着重对有关理论和概念的研讨,对典型例题的剖析,增强分析问题的能力,以适应21世纪培养人才的要求。

本教材分静力学、运动学和动力学以及材料力学三个分册。静力学分册共六章,内容包括:静力学的基本概念及受力图、平面汇交力系,力矩及平面力偶系,平面一般力系,摩擦,空间力系及重心等。运动学和动力学分册共十一章,内容包括:点的运动,刚体的基本运动,点的合成运动,刚体的平面运动,质点的运动微分方程,刚体绕定轴的转动微分方程,动静法,动能定理,动量定理和动量矩定理,振动,虚位移法等。材料力学分册共十章,内容包括:轴向拉伸和压缩,剪切,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形及静不定梁,应力状态和强度理论,组合变形构件的强度,压杆的稳定,材料的力学性能等。

本书可作为高等学校冶金、材料、热加工、能源动力、地矿、仪器仪表、轻工纺织、食品化工、环境及各相关专业的教材,也可供独立学院、高职高专、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.静力学/北京科技大学,东北大学编.—4版.
—北京:高等教育出版社,2008.1
ISBN 978-7-04-022673-7

I.工… II.①北…②东… III.①工程力学—高等学校—教材②静力学—高等学校—教材 IV.TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第178472号

策划编辑 黄毅 责任编辑 葛心 封面设计 张志奇 责任绘图 郝林
版式设计 张岚 责任校对 姜国萍 责任印制 韩刚

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京中科印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	1979年7月第1版
印 张	11.25	印 次	2008年1月第4版
字 数	200 000	定 价	2008年1月第1次印刷 13.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22673-00

第4版序

本教材第1版于1979年分三册出版,上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学。第2版于1987年出版,分为理论力学和材料力学两分册出版。第3版于1997年出版,分静力学、材料力学以及运动学和动力学三册。

本书自1979年第1版出版以来,获得了众多院校师生的欢迎与厚爱。展望未来,在新形势下,国家加快教育的发展,在原有的基础上,本书还会有更广泛的更远的发展前景!

本书第4版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

为了使本书日臻完善,倍感此次修订的必要,但修订后的第4版仍具有原书的特色,如:由浅入深,由特殊到一般,循序渐进,简明扼要,易于接受等。在此基础上,对部分内容进行了如下修订:

1. 为了加强对基本理论和基本概念的理解,对书中文字叙述作了少量修改。

2. 为了提高学生分析问题与解决问题的能力,在某些例题及某些小结中,加强了题目类型的分析、解题方法步骤的分析等内容,并增删了少量的思考题与习题。

3. 根据最新修订的课程教学基本要求(B类),增加了部分内容,如:静力学分册增加了由空间力系简化建立平衡方程;材料力学分册增加了拉压杆斜截面上的应力和应力圆等;运动学和动力学分册增加了牵连运动为转动时的加速度合成定理、机械能守恒定律、相对质心动量矩定理和平面运动微分方程,作为专题部分,增加“虚位移法”一章。

4. 根据国家标准、量和单位的规定等,对书中的名词术语、量和单位的名称、字符及书写规则等,进行了全面修订。

本教材适用于高等学校冶金、材料、热加工、能源动力、地矿、仪器仪表、轻工纺织、食品化工、环境及相关专业的理论力学、材料力学以及工程力学等课程,也可供独立学院、高职高专、成人高校师生及有关工程技术人员参考。

为适应不同专业的需求,本书分为三册出版。即《工程力学(静力学)》、《工程力学(材料力学)》和《工程力学(运动学和动力学)》。各册之间既相互配合又相对独立,读者可按照需要选用。

参加第4版修订的有:北京科技大学纪炳炎(静力学分册第一章至第四章,材料力学分册第四章至第六章),屈革(静力学分册第五章至第六章,材料力学

分册第一章至第三章),东北大学周康年(材料力学分册第七章至第十章),殷汝珍和山东轻工学院刘思汉(共同修订运动学和动力学分册第一章至第十一章,由殷汝珍执笔)。

第4版承蒙北京航空航天大学谢传锋教授和大连理工大学郑芳怀教授审阅,提出了许多宝贵意见与建议,对此表示衷心的感谢。

本书自1979年出版后,受到广大读者的关怀,使本书得到不断改进,此次修订得到北京科技大学和东北大学等院校师生的支持与帮助,对此表示衷心的感谢。

本修订版恐仍有疏漏或欠妥之处,希望广大教师和读者批评指正。

编者

2007年8月

1997年修订版序

本书自第一版(1979年)出版以来,已有18年,为了适应教育改革的需要并符合国家有关新规定及新标准,我们在保持本书原有体系和特点的基础上,对本书进行了修订,其要点如下:

(1) 在本版中,对全书的文字叙述做了必要增删与修改,力图做到主次分明,详略适当。对全书插图也进行了修改与舍弃,力求文字更精练,插图更鲜明。

(2) 在本版中,增删了部分思考题和习题。这对读者理解基本概念和基本理论,提高学习兴趣,是极为有益的,特别是有利于培养读者分析问题和解决问题的能力。

(3) 工程力学是一门理论性较强的技术基础课,为了使读者易于掌握,本版按照循序渐进、由简到繁、由特殊到一般的认识规律安排内容。每章之后有小结,有利于读者复习和总结所学知识。保留原书一些带*的选修内容,供不同专业选用。

(4) 在本版中,根据国家颁布的新标准与新规定,逐章逐节地重新统一了名称、符号和单位。

本书主要适用于高等工科院校冶金、地质、采矿、轻工、材料、石油、热加工等专业少学时理论力学、材料力学或工程力学课程,也可供有关技术人员参考。

为了便于使用,本书分为三册:静力学、材料力学、运动学和动力学。各册之间既相互配合,又相对独立,读者可根据需要选用。

参加本版修订的有:北京科技大学(原北京钢铁学院)纪炳炎(静力学第一章至第四章,材料力学第四章至第六章),屈革(静力学第五章、第六章,材料力学第一章至第三章);东北大学(原东北工学院)周康年(材料力学第七章至第十章),殷汝珍(运动学和动力学第三章、第四章、第八章、第十章);山东轻工学院刘思汉(运动学和动力学第一章、第二章、第五章、第六章、第七章、第九章)。

本书出版十余年来,得到广大读者厚爱,使本书能够不断改进,修订中得到北京科技大学、东北大学和读者们的关心与帮助。借本书修订出版之际,在此表示衷心谢意。

书中若有疏漏或欠妥之处,殷切希望读者批评指正。

编者

1997年5月

第2版序

本教材是在北京钢铁学院与东北工学院合编的《工程力学》的基础上,参照一九八〇年五月在南京审订的《工程力学教学大纲》(草案)中理论力学部分(60学时)修订而成的。根据一九八二年理论力学教材编委扩大会议和材料力学教材编委扩大会议的建议,将《工程力学》分为《理论力学》和《材料力学》,理论力学又分成静力学、运动学和动力学,并独立成册出版,以利配合使用。

本教材适用于高等学校工科冶金、地质、轻工、材料、石油等类专业的少学时理论力学课程,也可供有关工程技术人员参考。

本教材的内容都是本学科的基本内容,是教学大纲所要求的。但为适应各类专业的不同要求,本教材还编写了一些带“*”号的选修内容。考虑到当前学生入学的水平、大学普通物理和高等数学的教学情况,本教材适当地提高了起点,加强了矢算法的应用。为了便于教师选用和学生自学,本教材各章编排了较多的例题和习题,较难的题目附有“*”号。此外,各章之后还附有小结和思考题,以期帮助读者总结收获和澄清概念。

参加本教材修订工作的有,静力学部分:北京钢铁学院纪炳炎(第一章、第二章、第三章、第四章),屈革(第五章、第六章)。运动学和动力学部分:东北工学院刘思汉(第一章、第二章、第五章、第六章、第七章、第九章)殷汝珍(第三章、第四章、第八章、第十章)。第二版序、绪论、各部分引言和附录由本书主编刘思汉执笔。

本教材承天津大学毕学涛同志、北京航空学院周耀珊同志主审,清华大学罗远祥同志复审。审稿的同志对本教材提出了许多宝贵意见。此外,在修订过程中还得到许多兄弟院校的帮助和支持。东北工学院、北京钢铁学院理论力学教研室的同志也十分关心本教材的修订工作,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,本教材中必然存在不少缺点和错误,诚恳希望广大读者批评指正。

编者

一九八五年五月

第 1 版序

本教材是根据 1977 年 11 月教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议的建议,按照 120 学时的教学要求编写的。本教材主要适用于地质、采矿、冶金、热加工、材料等类专业;作适当增删后,也可适用于 100~130 学时的有关专业。

为适应各类专业的不同要求,本教材还编写了一些带有“*”号的选学内容。各章之后附有小结、思考题和习题,以期帮助读者总结收获,澄清概念和加强基本训练。习题的数量和类型已考虑了一定的选择范围和专业需要,不足之处可另作补充。

本教材采用国际单位制,同时也介绍了工程单位制及二者的换算关系。

为使用上的方便及适应不同专业的需要,本教材分为三册出版:上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学,并分别独立成章。各册之间有一定的配合,也有相对的独立性。根据不同的教学要求及安排,可采用本教材的全部或其中的某一册或两册;作少量内容调整后,也可先讲授上、下册,然后再讲授中册。

本教材在编写过程中,得到许多兄弟院校的帮助和支持。初稿完成后,于 1978 年 10 月由教育部委托召开了审稿会议。参加会议的有中南矿冶学院、重庆大学、昆明工学院、中国矿业学院、西安交通大学、西安冶金建筑学院、武汉地质学院、河北矿冶学院、鞍山钢铁学院和上海工业大学等十个院校,由中南矿冶学院和重庆大学主审。在此一并表示谢意。

参加本教材编写的有:北京钢铁学院纪炳炎(上册第一、二、三、四章),屈革(上册第五、六章,中册第二、三章),马安禧(中册第一、四、五、六章);东北工学院于绥章(中册第七、八、九章),周康年(中册第十章),刘思汉(下册第一、二、五、六、七、九章),殷汝珍(下册第三、四、八、十章);由刘思汉(上、下册)、马安禧(中册)主编。

限于编者水平,同时由于编写时间匆促,本教材必然存在不少缺点和错误。殷切希望读者批评指正。

编 者

1978 年 12 月

目 录

引言	1
第一章 静力学的基本概念 受力图	3
§ 1-1 力的概念	3
§ 1-2 刚体的概念	4
§ 1-3 静力学公理	5
§ 1-4 约束与约束反力	9
§ 1-5 物体的受力分析 受力图	13
小结	18
思考题	19
习题	22
第二章 平面汇交力系	25
§ 2-1 工程中的平面汇交力系问题	25
§ 2-2 平面汇交力系合成的几何法	25
§ 2-3 平面汇交力系平衡的几何条件	27
§ 2-4 平面汇交力系合成的解析法	30
§ 2-5 平面汇交力系平衡方程及其应用	33
小结	36
思考题	36
习题	39
第三章 力矩 平面力偶系	43
§ 3-1 力对点之矩	43
§ 3-2 力偶与力偶矩	45
§ 3-3 力偶的等效	47
§ 3-4 平面力偶系的合成与平衡	48
小结	51
思考题	52
习题	54
第四章 平面一般力系	57
§ 4-1 工程中的平面一般力系问题	57
§ 4-2 力线平移定理	58
§ 4-3 平面一般力系向一点简化 主矢与主矩	60
§ 4-4 简化结果的分析 合力矩定理	61
§ 4-5 平面一般力系的平衡条件与平衡方程	64

§ 4-6	平面平行力系的平衡方程	70
§ 4-7	静定与静不定问题	72
§ 4-8	物体系的平衡	73
*§ 4-9	桁架	83
	小结	87
	思考题	89
	习题	94
第五章	摩擦	104
§ 5-1	工程中的摩擦问题	104
§ 5-2	滑动摩擦	104
§ 5-3	考虑摩擦时的平衡问题举例	106
§ 5-4	摩擦角与自锁现象	110
§ 5-5	滚动摩擦的概念	114
	小结	117
	思考题	118
	习题	120
第六章	空间力系 重心	126
§ 6-1	工程中的空间力系问题	126
§ 6-2	力在空间坐标轴上的投影	127
§ 6-3	力对轴之矩	128
§ 6-4	空间力系的平衡方程	131
§ 6-5	重心的概念	139
§ 6-6	重心坐标公式	140
§ 6-7	物体重心的求法	142
	小结	148
	思考题	151
	习题	152
附录一	习题答案	158
第二章	平面汇交力系	158
第三章	力矩 平面力偶系	158
第四章	平面一般力系	159
第五章	摩擦	161
第六章	空间力系 重心	162
附录二	索引	163



引言

物体在空间的位置随时间的改变,称为机械运动。这是人们在日常生活和生产实践中最常见的一种运动形式。静力学是研究物体机械运动的特殊情况——物体的平衡问题的科学。所谓物体的平衡,是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。但是,在宇宙中没有绝对的平衡,“一切平衡都只是相对的和暂时的”。

若物体处于平衡状态,那么作用于物体上的一群力(称为力系)必须满足一定的条件,这些条件称为力系的平衡条件。平衡时的力系称为平衡力系。研究物体的平衡问题,实际上就是研究作用于物体上的力系的平衡条件,并应用这些条件解决工程实际问题。

在研究物体的平衡条件或计算工程实际问题时,须将一些比较复杂的力系进行简化,就是将一个复杂的力系简化为一个简单的力系,使其作用效应相同。这种简化力系的方法称为力系的简化。另一方面,力系简化的结果也是建立平衡条件的依据。因此,在静力学中研究下面两个基本问题:

- (1) 力系的简化;
- (2) 物体在力系作用下的平衡条件。

静力学是工程力学的基础部分,在工程技术中有着广泛的应用。例如桥式吊车(图0-1),它是由桥架、吊钩和钢丝绳等构件所组成。为了保证吊车能正常地工作,设计时首先必须分析各构件所受的力,并根据平衡条件算出这些力的大小,然后才能进一步考虑选择什么样的材料,并设计构件的尺寸。

力在物体平衡时所表现出来的基本性质,也同样表现于物体作变速运动的情形中。在静力学里关于力的合成、力的分解与力系简化的研究结果,可以直接应用于动力学。以后还将看到,动力学问题还可以化为具有静力学问题的形式来解。

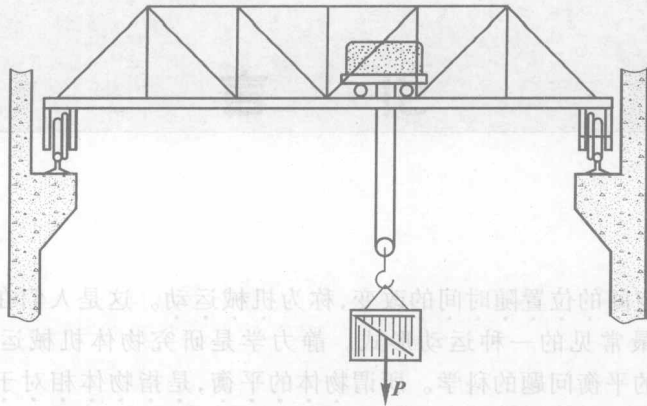


图 0-1

由此可见,静力学是研究材料力学和动力学的基础,在工程中具有重要的实用意义。

静力学是研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。

静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。

静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。

静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。

静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。

静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。静力学研究物体在力的作用下平衡的规律,是工程力学的基础。

第一章 静力学的基本概念 受力图

本章将介绍静力学中的一些基本概念和几个公理,这些概念和公理是静力学的基础。最后,介绍物体的受力分析和受力图。

§ 1-1

力的概念

力的概念是人们在生活和生产实践中,通过长期的观察和分析而形成起来的。例如:拾物体的时候,物体压在肩上,由于肌肉紧张而感受到力的作用;用手推小车,小车就由静止开始运动;受地球引力作用自高空落下的物体,速度越来越大;挑担时扁担发生弯曲;落锤锻压工件时,工件就产生变形,等等。人们就是从这样大量的实践中,从感性到理性,逐步地建立起力的概念。所以,力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化,或者使物体发生变形。

因此,力不能脱离物体而存在。虽然看不见力,但它的作用效应完全可以直接观察,或用仪器测量出来。人们也正是从力的作用效应来认识力本身的。正如恩格斯所深刻指出的:“力以它的表现来量度”。

力使物体的运动状态发生变化的效应,叫做力的外效应。而力使物体发生变形的效应,则叫做力的内效应。静力学只研究力的外效应,而材料力学将研究力的内效应。

由经验可知,力对于物体的作用效应,取决于力的大小、方向和作用点,通常称为力的三要素。当这三个要素中任何一个改变时,力的作用效应也就不同。

力是一个既有大小又有方向的量,因此,力是矢量。在力学中,矢量可用一具有方向的线段来表示,如图 1-1 所示。用线段的起点表示拉力的作用点,用线段的终点表示压力的作用点;用线段的方位和箭头指向表示力的方向;用线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小。通过力的作用点沿力的方向的直线,称为力的

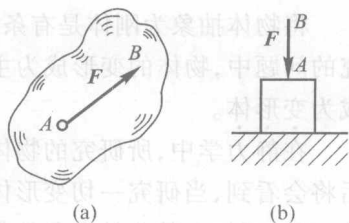


图 1-1

作用线。本书中,力的矢量用黑斜体字母例如 \boldsymbol{F} 表示,而力的大小则用普通字母 F 表示。

力的单位是 N 或 kN, $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ 。

§ 1-2

刚体的概念

任何物体在力的作用下,或多或少总要产生变形。而工程实际中构件的变形,通常都非常微小,在许多情形下,可以忽略不计。例如,图 1-2 所示的桥式起重机,工作时由于起重物体与它自身的重量,使桥架产生微小的变形。这个微小的变形对于应用平衡条件求支座反力,几乎毫无影响。因此,就可把起重机桥架看成是不变形的刚体。

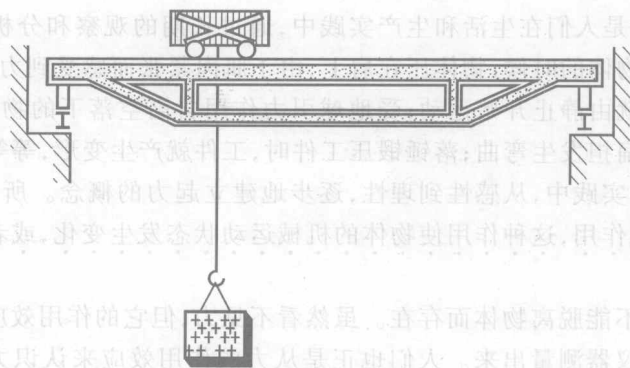


图 1-2

刚体是指在任何情况下都不发生变形的物体。显然,这是一个抽象化的模型,实际上并不存在这样的物体。这种抽象化的方法,在研究问题时是非常必要的。因为只有忽略一些次要的、非本质的因素,才能充分揭露事物的本质。

将物体抽象为刚体是有条件的,这与所研究问题的性质有关。如果在所研究的问题中,物体的变形成为主要因素时,就不能再把物体看成是刚体,而要成为**变形体**。

在静力学中,所研究的物体只限于刚体。因此,静力学又称**刚体静力学**。以后将会看到,当研究一切变形体的平衡问题时,都是以刚体静力学的理论为基础的,不过再加上某些补充条件而已。

§ 1-3

静力学公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中总结概括出来的。这些公理简单而明显,也无需证明而为大家所公认。它们是静力学的基础。

公理一 二力平衡公理 作用于刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是:这两力大小相等,指向相反,并作用于同一直线上(图 1-3)。

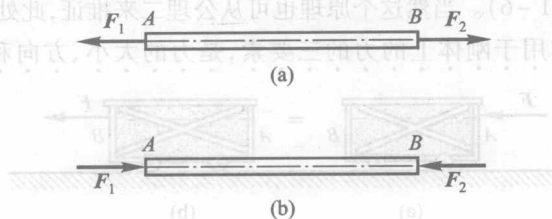


图 1-3

这个公理揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时,所必须满足的条件。对刚体来说,这个条件是必要与充分的;但是,对于变形体,这个条件是不充分的。例如图 1-4 所示,软绳受两个等值反向的拉力作用时可以平衡,当受两个等值反向的压力作用时,就不能平衡了。



图 1-4

只在两个力作用下处于平衡的构件,称为二力构件(或二力杆)。工程上存在着许多二力构件。二力构件的受力特点是,两个力必沿作用点的连线。例如,矿井巷道支护的三铰拱(图 1-5),其中 BC 杆质量不计,就可以看成是二力构件。

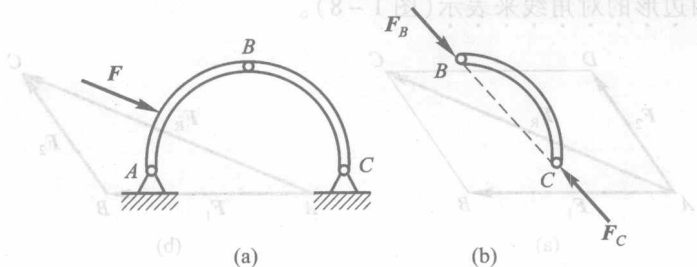


图 1-5

公理二 加减平衡力系公理 在作用于刚体上的任何一个力系上,加上或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

这是显而易见的,因为平衡力系对于刚体的平衡或运动状态没有影响。这个公理常被用来简化某一已知力系。

推论 力的可传性原理 作用于刚体上的力,可以沿其作用线移至刚体内任意一点,而不改变它对刚体的作用效应。

这个原理也是我们所熟知的。例如,人们在车后 A 点推车,与在车前 B 点拉车,效果是一样的(图 1-6)。当然这个原理也可从公理二来推证,此处就不论述了。

由此可知,作用于刚体上的力的三要素,是力的大小、方向和作用线。

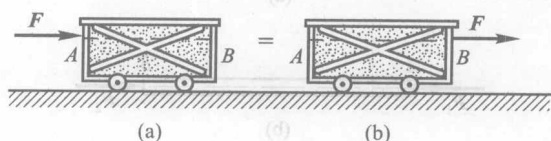


图 1-6

应该注意,力的可传性原理只适用于刚体,而不适用于变形体。例如,图 1-7a 所示的变形杆 AB ,受到等值共线反向的拉力作用,杆被拉长。如果把这两个力沿作用线分别移到杆的另一端,如图 1-7b 所示,此时杆就被压短。

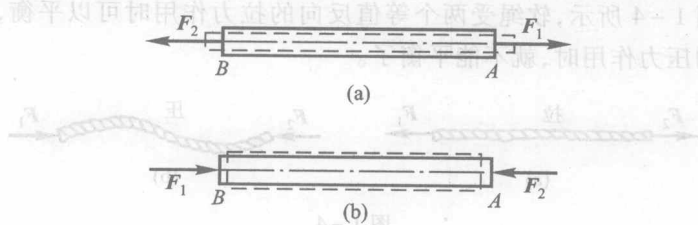


图 1-7

公理三 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,合力的大小和方向是以这两个力为边所作的平行四边形的对角线来表示(图 1-8)。

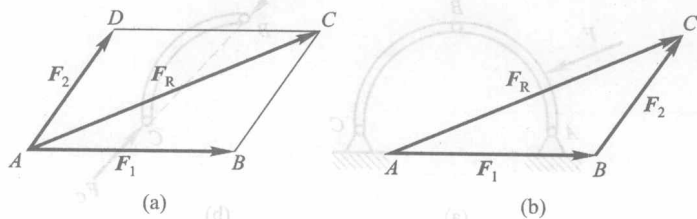


图 1-8

这种合成力的方法,称为**矢量加法**,合力称为这两力的**矢量和**(或**几何和**)。可用公式表示为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

应该指出,式(1-1)是**矢量等式**,它与代数等式 $F_R = F_1 + F_2$ 的意义完全不同,不能混淆。

为了方便,在用**矢量加法**求合力时,往往不必画出整个的平行四边形,如图1-8b所示,可从A点作一个与力 F_1 大小相等、方向相同的矢量 \overrightarrow{AB} ,过B点作一个与力 F_2 大小相等、方向相同的矢量 \overrightarrow{BC} 。则 \overrightarrow{AC} 即表示力 F_1 、 F_2 的合力 F_R 。这种求合力的方法,称为**力三角形法则**。但应注意,力三角形只表明力的大小和方向,它不表示力的作用点或作用线。应用力三角形法则求解力的大小和方向时,可应用数学中的三角公式或在图上量测。

例 1-1 在安装胶带时,需有一定的预紧力,这样轴上将受到压力。设胶带的预紧力为 F_1 和 F_2 , $F_1 = F_2 = F_0$,包角为 α ,求这两个预紧力的合力。

解:将胶带的预紧力沿它们的作用线移到A点(图1-9),以这两个力为边作平行四边形,它的对角线即表示这两个预紧力的合力 F 。它的大小为

$$F = 2F_0 \sin \frac{\alpha}{2}$$

也就是胶带作用在轴O上的压力。三角胶带的预紧力 F_0 ,一般可按胶带轮的大小和型号在设计手册中查出。

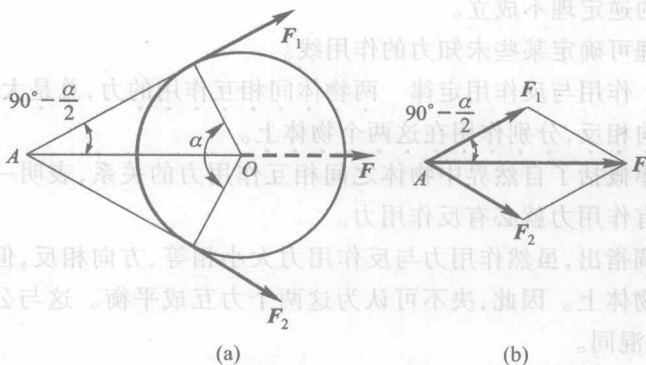


图 1-9

平行四边形法则既是力的合成的法则,也是力的分解的法则。例如,沿斜面下滑的物体(图1-10),有时就把重力 P 分解为两个分力,一个是与斜面平行的分力 F ,这个力使物体沿斜面下滑;另一个是与斜面垂直的分力 F_N ,这个力使物体下滑时紧贴斜面。这两个分力的大小分别为:

$$F = P \sin \alpha, \quad F_N = P \cos \alpha$$