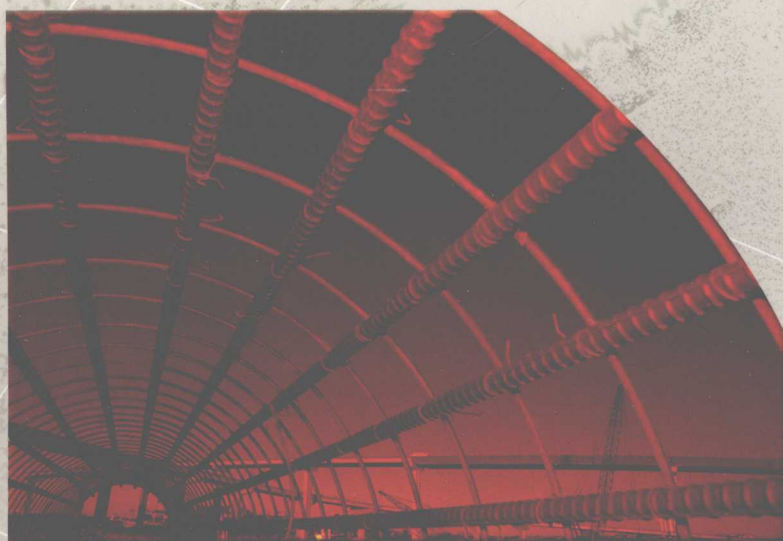


高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



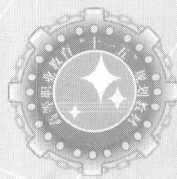
工程力学

杨继宏 主编
于 辉 主审



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



工程力学

杨继宏 主 编
熊光荣 官 腾 王 蕴 魏仁胜 副主编
于 辉 主 审



华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/杨继宏 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008年10月
ISBN 978-7-5609-4908-6

I. 工… II. 杨… III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149009 号

工程力学

杨继宏 主编

策划编辑:张 毅

责任编辑:张 毅 朱怡捷

责任校对:刘 竣

封面设计:刘 卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉正风图文照排中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

版次:2008年10月第1版

ISBN 978-7-5609-4908-6/TB·106

印张:20.5 插页:2

印次:2008年10月第1次印刷

字数:500 000

定价:34.00 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

高等职业教育“十一五”规划教材 21世纪高职高专机电类规划教材 编审委员会

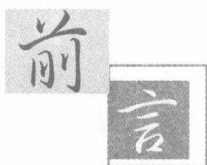
顾 问 陈吉红（教授，华中科技大学博导）

委 员 （以姓氏笔画为序）

丁原廉 王 瑞 尹玉珍 刘合群 牟应华 许小明
李传军 李正峰 李振斌 余小燕 苏 明 吴水萍
陆全龙 陈新耘 张晓娟 张 健 张安全 邱文萍
杨继宏 杨晓光 林承全 明志新 周卫东 娄 琳
俞礼钧 洪 霞 贺 剑 郭建农 徐国洪 游英杰
崔梁萍 盛国林 熊裕文 熊光荣 熊建云 管 剑

秘 书 张 毅





本书是依据教育部最新制定的高职高专机电及电气类专业“工程力学”课程教学的基本要求编写而成的,可作为高职高专机电及电气类、机械类和相近专业的“工程力学”课程的教学用书,也可作为其他同类学校相关专业的教材。

本书在编写过程中,根据国家对高职高专人才培养的要求,力求体现培养技术应用型人才的特色。在文字论述上,力求准确、简练和严谨;在内容安排上,着重讲清基本概念、基本原理、基本方法,简化理论推导,加强实践应用。本书严格把握读者定位,对教学内容精心选择、合理安排,注重“以应用为目的,以就业为导向”,贯彻“以必需、够用为度”的精神,体现了高职高专教育的特色。

全书有3篇,共20章。其中,吉林电子信息职业技术学院王丹编写第1章、第2章,朱楠编写第19章、第20章,杨继宏编写第4章、第5章、第17章、第18章,鄂东职业技术学院熊光荣编写第3章,随州职业技术学院官腾编写第10章、第11章,陈克芹编写第7章、第8章,周明明编写第9章,肖强编写第12章、第13章,山东省三河口矿业有限责任公司张晓玲编写第16章,白城师范学院王蕴编写第14章、第15章,北京经济管理职业学院魏仁胜编写第6章。吉林电子信息职业技术学院马莹莹、李明奇在文字、图片编辑中做了大量的工作。

本书由杨继宏担任主编并负责统稿工作,由吉林电子信息职业技术学院于辉主审。

因编者水平有限和编写时间仓促,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2008年6月

第 0 章 绪论	(1)
0.1 工程力学的主要内容	(1)
0.2 工程力学的研究方法	(1)
0.3 工程力学在工程技术中的地位和作用	(2)

第 1 篇 静 力 学

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	(4)
1.1 静力学的基本概念	(4)
1.2 静力学公理	(5)
1.3 约束与约束反力	(8)
1.4 受力图	(12)
本章小结	(14)
思考题	(15)
习题 1	(17)
第 2 章 平面汇交力系	(20)
2.1 工程中的平面汇交力系实例	(20)
2.2 平面汇交力系合成与平衡的几何法	(20)
2.3 平面汇交力系合成的解析法	(24)
2.4 平面汇交力系平衡方程及其应用	(26)
本章小结	(29)
思考题	(29)
习题 2	(31)
第 3 章 力矩与平面力偶系	(34)
3.1 力对点之矩与合力矩定理	(34)
3.2 平面力偶系	(36)
本章小结	(40)
思考题	(40)
习题 3	(41)



第4章 平面一般力系	(44)
4.1 工程中的平面一般力系实例	(44)
4.2 力的平移定理	(45)
4.3 平面一般力系向作用面内的一点简化	(46)
4.4 简化结果的分析与合力矩定理	(47)
4.5 平面一般力系的平衡条件与平衡方程	(49)
4.6 平面平行力系的平衡方程	(53)
4.7 静定和静不定问题与物体系统的平衡	(55)
4.8 平面简单桁架的内力计算	(61)
本章小结	(63)
思考题	(64)
习题4	(66)
第5章 摩擦	(72)
5.1 滑动摩擦	(72)
5.2 考虑摩擦时物体的平衡问题	(74)
5.3 摩擦角与自锁现象	(77)
5.4 滚动摩擦的概念	(80)
本章小结	(82)
思考题	(82)
习题5	(83)
第6章 空间力系	(87)
6.1 工程中的空间力系实例	(87)
6.2 力在空间坐标轴上的投影	(87)
6.3 力对轴之矩	(88)
6.4 空间力系的平衡方程	(91)
6.5 重心的概念	(95)
6.6 重心坐标公式	(96)
6.7 物体重心的求法	(98)
本章小结	(101)
思考题	(102)
习题6	(103)

第2篇 材料力学

第7章 材料力学的基本概念	(107)
7.1 变形固体的基本假设	(107)
7.2 外力及其分类	(107)



7.3 内力、截面法和应力的概念	(108)
7.4 杆件变形的基本形式	(109)
本章小结	(110)
第8章 轴向拉伸与压缩	(111)
8.1 轴向拉伸与压缩的概念	(111)
8.2 拉、压杆横截面上的内力	(111)
8.3 拉、压杆横截面和斜截面上的应力	(113)
8.4 材料拉、压时的力学性能	(117)
8.5 拉、压杆的强度计算	(121)
8.6 应力集中的概念	(124)
8.7 拉、压杆的变形及胡克定律	(125)
本章小结	(129)
思考题	(130)
习题8	(131)
第9章 剪切与扭转	(134)
9.1 剪切与挤压的概念、剪切胡克定律	(134)
9.2 剪切和挤压的实用计算	(136)
9.3 扭转的概念	(140)
9.4 扭矩和扭矩图	(141)
9.5 圆轴扭转时的应力	(143)
9.6 圆轴扭转的强度计算	(145)
9.7 圆轴扭转时的变形与刚度计算	(146)
本章小结	(148)
思考题	(149)
习题9	(150)
第10章 弯曲	(153)
10.1 平面弯曲的概念	(153)
10.2 梁的弯曲内力及内力图	(154)
10.3 梁的弯曲应力和强度条件	(161)
10.4 梁的弯曲变形和刚度条件	(169)
本章小结	(175)
思考题	(176)
习题10	(176)
第11章 应力状态和强度理论	(179)
11.1 应力状态的概念	(179)
11.2 平面应力状态分析	(181)
11.3 广义胡克定律	(183)



11.4 强度理论简介	(184)
本章小结	(187)
思考题	(188)
习题 11	(188)
第 12 章 组合变形	(190)
12.1 组合变形概述	(190)
12.2 斜弯曲	(190)
12.3 拉伸(压缩)与弯曲组合变形	(193)
12.4 弯曲与扭转组合变形	(198)
本章小结	(200)
思考题	(201)
习题 12	(202)
第 13 章 压杆稳定	(205)
13.1 压杆稳定的概念	(205)
13.2 计算临界力的欧拉公式	(206)
13.3 压杆的临界应力	(208)
13.4 压杆的稳定计算	(211)
13.5 提高压杆稳定性的措施	(213)
本章小结	(214)
思考题	(214)
习题 13	(215)

第 3 篇 运动力学

第 14 章 点的运动	(218)
14.1 点的运动的矢量表示法	(218)
14.2 点的运动的直角坐标表示法	(219)
14.3 点的运动的自然表示法	(222)
本章小结	(227)
思考题	(227)
习题 14	(227)
第 15 章 刚体的基本运动	(230)
15.1 刚体的移动	(230)
15.2 刚体的定轴转动	(231)
15.3 转动刚体上点的速度和加速度	(233)
本章小结	(236)
思考题	(237)
习题 15	(237)



第 16 章 点的复合运动	(239)
16.1 绝对运动、相对运动和牵连运动	(239)
16.2 点的速度合成定理	(240)
16.3 牵连运动为移动时点的加速度合成定理	(242)
本章小结	(244)
思考题	(244)
习题 16	(245)
第 17 章 刚体的平面运动	(248)
17.1 刚体平面运动分解为移动和转动	(248)
17.2 平面图形上点的速度和速度瞬心	(249)
17.3 平面图形上点的加速度	(255)
本章小结	(256)
思考题	(257)
习题 17	(257)
第 18 章 质点的运动微分方程	(260)
18.1 动力学的基本定律	(260)
18.2 质点的运动微分方程	(262)
本章小结	(266)
思考题	(267)
习题 18	(267)
第 19 章 动力学普遍定理	(269)
19.1 动量定理	(269)
19.2 动量矩定理	(275)
19.3 动能定理	(283)
19.4 动力学普遍定理的综合应用	(290)
本章小结	(294)
思考题	(295)
习题 19	(295)
第 20 章 动静法	(299)
20.1 关于惯性力的概念	(299)
20.2 质点的动静法	(300)
20.3 质点系的动静法	(301)
20.4 刚体惯性力系的简化	(302)
本章小结	(306)
思考题	(306)
习题 20	(307)
附录 型钢规格表	(309)
参考文献	(316)

第0章 绪 论

0.1 工程力学的主要内容

工程力学是一门研究物体机械运动规律以及构件强度、刚度和稳定性等计算原理的学科。它包括静力学、材料力学和运动力学三部分内容。

静力学的主要任务是分析物体的受力及其平衡条件。

材料力学的主要任务是研究构件在外力作用下的变形、受力和破坏的规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析的基本理论和方法。

运动力学的主要任务是研究质点的运动和刚体的基本运动,以及物体的运动与其受力之间的关系。

0.2 工程力学的研究方法

与其他任何一门学科一样,工程力学的研究方法也必须遵循人们认识过程的客观规律,即:从实践出发或通过实验观察,经过抽象、综合、归纳,建立公理或提出基本假设,再用数学演绎和逻辑推理得到定理和结论,然后通过实践来证实理论的正确性。

首先,观察生活和生产实践中的各种现象,必要时还要进行多次的科学实验,通过对观察现象和实验结果的分析、综合和归纳,总结出力学的最基本的概念和规律。例如,“力”、“力矩”等基本概念,以及“二力平衡”、“杠杆原理”、“力的平行四边形法则”和“万有引力”等力学基本定律,都是通过上述方法得到的。

其次,在对生活和生产实践中的客观现象进行观察和科学实验的基础上,从影响客观事物的诸多复杂因素中,抓住起决定性作用的主要因素,忽略次要的、局部的和偶然性的因素,深入现象的本质,明确事物间的内部联系,用抽象化的方法建立数学模型,使研究的问题大为简化并能更深刻地反映事物的本质。例如,在研究物体的静平衡问题时,忽略了受力产生的变形,得到刚体的模型;在研究物体的机械运动时,忽略了物体的几何形状和尺寸,得到质点的模型;在研究物体的内力、变形及失效规律时,物体的变形则成为主要因素,得到变形固体的模型等。对不同的问题,采用不同的力学模型,是工程力学研究问题的重要方法。

最后,在建立数学模型的基础上,根据公理、定律和基本假设,使用数学工具,通过演绎、推理的方法,考虑到问题的具体条件,得到各种形式的正确的具有物理意义和实用价值的定



理和结论。

需要指出的是,人们对事物的认识来自于实践,由此得出的理论也必须在实践中应用、验证和发展。

0.3 工程力学在工程技术中的地位和作用

工程力学是一门理论性较强的技术基础学科,在工科各专业的教学计划中都占有重要的地位。工程力学的定理、定律和结论广泛应用于各行各业的技术之中,它是解决工程实际问题的重要基础;工科专业的很多课程,都要以工程力学为基础的,所以,它是学习后续课程的重要基础;更重要的是,工程力学的研究方法具有普遍意义,有助于培养学生分析问题和解决问题的能力。在学习本课程时,读者不仅要学好工程力学的内容,还要通过学习,逐步领会和掌握其研究方法,为今后的学习、工作和科研打下坚实的基础。

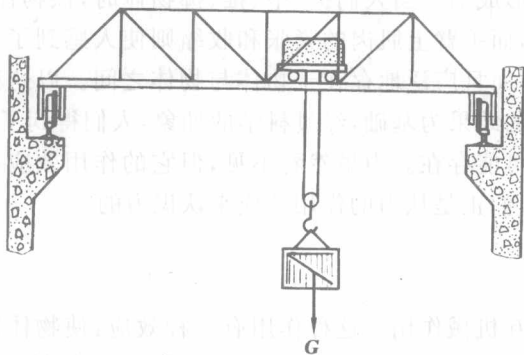
第1篇 静力学

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到的一种运动形式。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,则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,需要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,在静力学中将研究两个基本问题: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,在工程技术中有着广泛的应用。例如,下图所示的桥式吊车,它由桥架、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,并根据平衡条件计算这些力的大小,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。在静力学中关于力的合成、分解与力系简化结果,可以直接应用于动力学。同时,动力学问题也可转化为静力学问题来求解。

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际意义。

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析

本章阐述静力学中的一些概念和静力学公理,还将介绍工程中常见的几种约束及约束反力的确定,并在此基础上进行物体的受力分析。受力分析不仅是静力学和动力学中最关键、最基本的内容,也是设计工程结构和机器零部件的基础。因此,对于这部分内容,初学者尤其要深刻领会,熟练掌握。

1.1 静力学的基本概念

1.1.1 力的概念

人们在日常生活中经常使用“力”这个词,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逐步形成的。当人们提、举、推、掷物体时,该物体从静止开始运动,从而使其运动状态发生改变,而手臂上肌肉的紧张和收缩则使人感到了力的作用。这种作用不仅存在于人与物体之间,而且广泛地存在于物体与物体之间。以这种直接的感觉和对机械运动变化现象长期观察的结果为基础,经过科学的抽象,人们得到了力的概念。大量事实说明,离开了物体,力就不可能存在。力虽然看不见,但它的作用效应可以直接观察到或用仪器测量出来。实际上,人们正是从力的作用效应来认识力的。

1. 力的定义

力是物体之间的相互机械作用。这种作用有两种效应:使物体产生运动状态变化和形状变化,分别称为运动效应(外效应)和变形效应(内效应)。本章只讲力的运动效应。力的变形效应将在研究变形体的材料力学中讨论。

2. 力的三要素

力对物体作用的效应取决于力的大小、方向和作用点这三个因素,通常称它们为力的三要素。在这三个要素中,如果改变其中任何一个,也就改变了力对物体的作用效应。

度量力的大小的单位将随所采用的单位制不同而不同。本书采用国际单位制(SI),力的单位是 N(牛[顿])或 kN(千牛[顿])。

力的方向包含方位和指向两个意思,如铅直向下、水平向右等。

力的作用点指的是力在物体上的作用位置。一般说来,力的作用范围并不是一个点而



是一定的面积,应为分布力。但是,当作用面积很小以至可以忽略不计时,就抽象为一个点,而认为力集中作用于这一点,这种力则称为集中力。集中力在实际中是不存在的,它是分布力的理想化模型,而分布力的分布规律一般比较复杂,也需要进行简化。

力具有大小和方向,是矢量(也称向量)。矢量可用一具有方向的线段来表示,如图 1-1 所示。用线段的起点或终点表示力的作用点;用线段的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,称为力的作用线。本书中,力的矢量用黑斜体字母如 $\boldsymbol{F}$ 表示,而力的大小则用普通斜体字母如 F 表示。

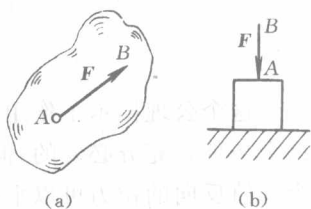


图 1-1

3. 力系

作用在物体上的若干个力总称为力系。对同一物体产生相同效应的两个力系互称为等效力系。如果一个力系与某个力等效,则此力称为该力系的合力,而力系中的各力则称为合力的分力。作用于物体上使之保持平衡的力系称为平衡力系。

1.1.2 平衡

所谓物体的平衡,工程上一般是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。

静力学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,并利用这些条件解决具体问题。

1.1.3 刚体

任何物体受力后都将或多或少地发生变形。但是,工程实际中构件的变形通常是非常微小的,在研究其平衡或运动时可以忽略不计。

所谓刚体,是指在受力情况下保持其几何形状和尺寸不变的物体,即受力后任意两点之间的距离保持不变的物体。显然,这只是一种理想化的模型,实际上并不存在这样的物体。这种抽象简化的方法,虽然在研究许多问题时是必要的,而且也是许可的,但它是有条件的。在研究物体的变形以及与变形有关的截面内力分布时,即使变形很小,也必须考虑物体的变形情况,即把物体视为变形体而不能再看成刚体。

1.2 静力学公理

所谓公理,就是符合客观现实、符合事物发展的普遍规律。静力学公理是人类从反复实践中总结出来的,它的正确性已被人们所公认。静力学的全部理论,都是以静力学公理为依据导出的,所以,它是静力学的基础。

1. 公理一 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力平衡的充分必要条件是:这两力大小相等、指向相反,并作用于



同一直线上(图 1-2)。



图 1-2

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,这个条件是充分必要的;但是,对于变形体,这个条件是不充分的。如图 1-3 所示,软绳受两个等值反向的拉力可以平衡,当受两个等值反向的压力时,就不能平衡了。



图 1-3

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)。二力构件的受力特点是两个力必沿作用点的连线。工程上存在着许多二力构件。例如,矿井巷道支承的三铰拱(图 1-4),若杆质量不计,BC 就可以看成是二力构件。

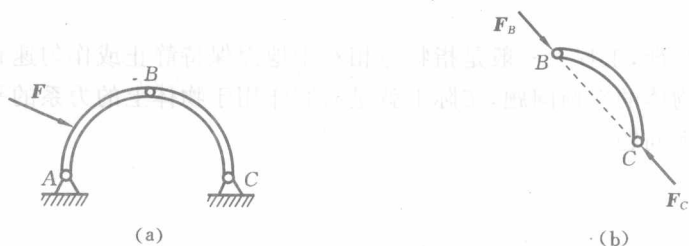


图 1-4

2. 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 点推车的效果与在车前 B 点拉车的效果是一样的(图 1-5)。当然,这个原理也可从公理二来推证,此处就不论述了。

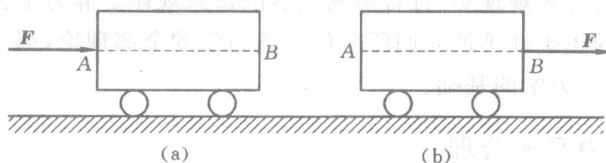


图 1-5



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 1-6(a)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 1-6(b)所示,此时杆就被压短。

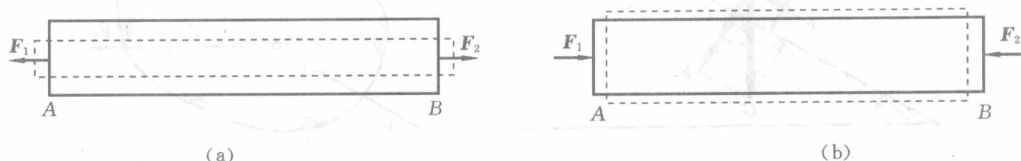


图 1-6

3. 公理三 力的平行四边形公理

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,合力的大小和方向以这两个力为边所作的平行四边形的对角线来表示(图 1-7)。

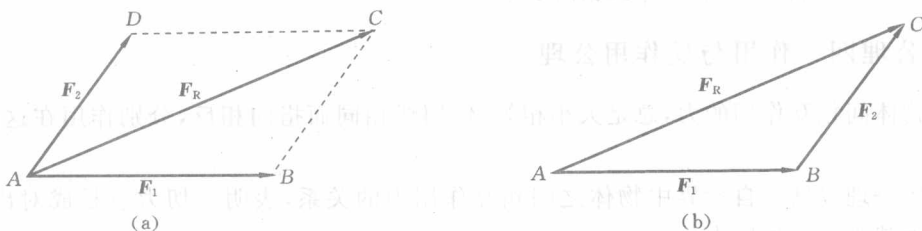


图 1-7

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

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

应该指出的是,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,往往不必画出整个平行四边形,如图 1-7(b)所示,可从 A 点作一个与力 $\mathbf{F}_1$ 大小相等、方向相同的矢量 $\overrightarrow{AB}$,过 B 点作一个与力 $\mathbf{F}_2$ 大小相等、方向相同的矢量 $\overrightarrow{BC}$,则 $\overrightarrow{AC}$ 即表示力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的合力 $\mathbf{F}_R$ 。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。

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 1-8),有时就把重力 $\mathbf{G}$ 分解为两个分力,一个是与斜面平行的分力 $\mathbf{F}$,这个力使物体沿斜面下滑;另一个是与斜面垂直的分力 $\mathbf{F}_N$,这个力使物体下滑时紧贴斜面。这两个分力的大小分别为

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

推论 三力平衡汇交定理 刚体受不平行的三力作用而平衡,则三力作用线必汇交于一点且位于同一平面内(图 1-9)。

证明: 设有不平行的三个力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 和 $\mathbf{F}_3$,分别作用于刚体上的 A、B、C 三点,使刚体处于平衡。