

工程力学

贾启芬 刘习军 李昀择 主编



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

工 程 力 学

主 编

贾启芬 刘习军 李昀择

参编人员

贾启芬 刘习军 李昀择
张 英 郝淑英

天津大学出版社

内 容 提 要

本书是面向 21 世纪力学系列课程教材。

本书共两篇。第一篇系统地介绍了刚体静力学、运动学和动力学的基本概念、基本理论和基本方法以及工程应用问题。第二篇介绍了基本构件的内力、应力强度设计和变形与刚度设计、杆及杆系结构定性计算及动强度等问题。

本书采用模块式结构,其内容丰富,通俗易懂,由浅入深,以务实、应用为根本。可用于工科高等院校各专业及高职、高专各专业的工程力学中、少学时课程使用,也适用于少学时的理论力学与材料力学课程单独使用,同时也可供工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/贾启芬等主编. —天津:天津大学出版社,
2002.6
ISBN 7-5618-1595-6

I.工… II.贾… 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(2002)第 034923 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨风和
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 河北省永清县印刷厂
经 销 全国各地新华书店
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 27.75
字 数 687 千
版 次 2002 年 6 月第 1 版
印 次 2002 年 6 月第 1 次
印 数 1—3 000
定 价 35.00 元

前 言

工程力学是高等工科院校一门重要的技术基础课。理论密切联系实际、培养学生工程概念是本课程的显著特点。

本教材是按照工程力学课程教学大纲要求编写的,是教学活动和学科知识的综合反映。编写方法上,一是确定了基本要求和学习重点,加强了基本概念、基本理论和基本分析方法的应用;二是适度加强了基本功训练,加大了习题和例题的数量,引导学员首先掌握分析问题的方法和思路,进而增强逻辑思维能力和解决问题的能力,为其自学深造和拓宽知识面打下坚实的基础;三是注意加强工程概念,教材内容以适应社会需求为目标,以强化应用为重点。以上三点构成了本书的特色。

本书共22章:第1~4章介绍了刚体静力学的主要理论应用。第5~8章重点讨论了运动学基础和点的合成运动、刚体的平面运动。第9~11章分别对牛顿定律、动能定理以及达朗贝尔原理进行了论述。第12~22章主要内容包括构件的强度、刚度和稳定性的计算以及动强度等问题。一般工科院校中学时类型的工程力学课程,使用本教材可以讲授全部内容;少学时的理论力学课程可选用本书第一篇的内容。

本书在编写中,还参考了高自考的基本要求以及高职、高专类各专业对工程力学课程的要求。因此,该教材也满足这部分人才培养的需求。

本书的编写得到天津大学理论力学教研室全体教师的支持,其中理论力学部分以萧龙翔等主编的教材为基础编写,是教研室三代人几十年教学经验的积累和总结。本书的编写人员有天津大学贾启芬、刘习军,天津理工学院李昀择,参加本书编写工作的还有张英、郝淑英。钟顺、黄元英、王德利等同志参加了制图及审校等工作。

本书承蒙张琪昌、孟庆国二位教授详细审阅,提出了许多宝贵的意见,在此谨向他们致以衷心的感谢。本书在编写过程中,参考了国内外一些优秀教材,并选用了其中的部分例题和习题,在此也向这些教材的编者一并致谢。

限于水平,书中定有错误和不妥之处,敬请读者不吝指正。

编 者
2001年8月

目 录

绪论	(1)
----------	-------

第一篇 理论力学

静力学

第 1 章 静力学基础	(5)
1.1 力的概念	(5)
1.2 力的性质	(6)
1.3 约束与约束力	(8)
1.4 物体的受力分析和受力图	(12)
研究问题	(16)
习题	(17)
第 2 章 力的简化	(20)
2.1 平面汇交力系	(20)
2.2 平面力偶系	(22)
2.3 平面一般力系	(26)
2.4 平行力系中心和重心	(30)
研究问题	(37)
习题	(38)
第 3 章 力系的平衡	(44)
3.1 平面力系的平衡	(44)
3.2 静定问题与超静定问题	(51)
3.3 物系平衡问题的应用	(52)
3.4 空间力系的平衡	(59)
研究问题	(66)
习题	(67)
第 4 章 静力学应用问题	(76)
4.1 平面静定桁架	(76)
4.2 摩擦	(80)
4.3 考虑滑动摩擦的平衡问题	(85)
研究问题	(91)
习题	(93)

动力学

第 5 章 点的动力学	(100)
5.1 点的运动的矢径表示法	(100)
5.2 点的运动的直角坐标表示法	(101)
5.3 点的运动的弧坐标表示法	(102)

研究问题	(111)
习题	(112)
第 6 章 刚体的基本运动	(115)
6.1 刚体的平行移动	(115)
6.2 刚体的定轴转动	(116)
6.3 定轴转动刚体内各点的速度与加速度	(117)
6.4 定轴轮系传动比	(121)
研究问题	(123)
习题	(124)
第 7 章 点的合成运动	(129)
7.1 点的绝对运动 相对运动和牵连运动	(129)
7.2 速度合成定理	(129)
7.3 牵连运动为平移时,点的加速度合成定理	(133)
7.4 牵连运动为转动时,点的加速度合成定理	(135)
研究问题	(137)
习题	(138)
第 8 章 刚体的平面运动	(145)
8.1 刚体平面运动的运动方程	(145)
8.2 求平面图形内各点速度的基点法	(147)
8.3 求平面图形内各点速度的瞬心法	(149)
8.4 平面图形内各点的加速度	(154)
研究问题	(158)
习题	(159)
第 9 章 动力学基础	(167)
9.1 牛顿定律及质点运动微分方程	(167)
9.2 质点动力学的两类基本问题	(169)
9.3 质点系的基本惯性特征	(171)
研究问题	(176)
习题	(176)
第 10 章 动能定理	(180)
10.1 力的功	(180)
10.2 质点的动能定理	(183)
10.3 质点系和刚体的动能	(185)
10.4 质点系的动能定理	(186)
10.5 功率 功率方程	(191)
10.6 势力场 势能 机械能守恒定律	(193)
研究问题	(195)
习题	(195)
第 11 章 达朗贝尔原理	(202)

11.1 达朗贝尔原理	(202)
11.2 刚体惯性力系的简化	(204)
11.3 刚体绕定轴转动时达朗贝尔原理的特殊形式	(207)
研究问题	(211)
习题	(212)

第二篇 材料力学

第 12 章 材料力学的基本概念	(217)
12.1 材料力学的任务	(217)
12.2 材料力学的基本假设	(218)
12.3 杆件变形的基本形式	(218)
研究问题	(219)
第 13 章 轴向拉伸与压缩	(220)
13.1 概述	(220)
13.2 截面上的内力	(220)
13.3 轴向拉(压)杆横截面上的应力	(223)
13.4 轴向拉(压)杆斜截面上的应力	(225)
13.5 轴向拉伸和压缩时的变形	(226)
13.6 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(227)
13.7 其他材料的力学性能	(230)
13.8 许用应力 强度条件	(232)
13.9 简单拉压超静定问题	(236)
13.10 应力集中的概念	(239)
研究问题	(240)
习题	(242)
第 14 章 剪切	(249)
14.1 剪切变形的基本概念	(249)
14.2 剪切的实用计算	(250)
14.3 挤压的实用计算	(251)
14.4 计算实例	(252)
研究问题	(256)
习题	(257)
第 15 章 扭转	(261)
15.1 概述	(261)
15.2 扭矩时的内力	(262)
15.3 纯剪切	(265)
15.4 圆轴扭转时的应力和强度条件	(267)
15.5 圆轴的扭转变形和刚度条件	(275)

研究问题	(279)
习题	(281)
第 16 章 弯曲内力	(286)
16.1 梁的平面弯曲	(286)
16.2 梁的内力——剪力与弯矩	(288)
16.3 剪力图和弯矩图	(290)
16.4 弯矩 剪力与分布荷载之间微分关系	(294)
研究问题	(299)
习题	(300)
第 17 章 梁的应力	(304)
17.1 概述	(304)
17.2 纯弯曲时梁的正应力	(304)
17.3 弯曲正应力强度条件	(308)
* 17.4 弯曲切应力	(312)
17.5 提高梁弯曲强度的途径	(315)
研究问题	(317)
习题	(318)
第 18 章 弯曲变形	(324)
18.1 基本概念	(324)
18.2 挠曲线的微分方程	(325)
18.3 用积分法求梁的变形	(325)
18.4 用叠加法求梁的变形	(331)
18.5 梁的刚度条件和提高弯曲刚度的主要措施	(332)
18.6 简单超静定梁的解法	(334)
研究问题	(336)
习题	(337)
第 19 章 应力状态理论和强度理论	(344)
19.1 应力状态的基本概念	(344)
19.2 平面应力状态分析	(345)
19.3 空间应力状态	(351)
19.4 强度理论	(353)
研究问题	(358)
习题	(358)
第 20 章 组合变形	(363)
20.1 组合变形的基本概念	(363)
20.2 弯曲与拉伸(压缩)的组合	(363)
20.3 弯曲与扭转的组合	(368)
研究问题	(372)
习题	(373)

第 21 章 压杆稳定问题	(377)
21.1 基本概念	(377)
21.2 细长压杆临界力	(378)
21.3 压杆的临界压力及欧拉公式的适用范围	(380)
21.4 压杆稳定的计算	(383)
21.5 提高压杆稳定性的措施	(386)
研究问题	(386)
习题	(386)
第 22 章 动荷载 交变应力	(390)
22.1 惯性荷载	(390)
22.2 冲击荷载	(393)
* 22.3 强迫振动时的动荷系数	(395)
22.4 交变应力	(398)
研究问题	(403)
习题	(404)

附 录

附录 A 典型约束和约束力	(407)
附录 B 常用简单形状均质物体的重心	(408)
附录 C 常用材料的滑动摩擦因数	(409)
附录 D 常用材料的滚动摩阻因数	(410)
附录 E 简单均质刚体的转动惯量与惯性积	(411)
附录 F 平面图形的几何性质	(415)
附录 G 型钢表	(420)
附录 H 计量单位	(429)
参考书	(431)

绪 论

工程力学是研究物体机械运动、力与机械运动关系以及工程材料的力学性能、构件的强度、刚度及稳定性的一门科学。作为高等工科院校及职业技术专科教育的一门技术基础课,工程力学课程将研究内容限定为理论力学和材料力学两门课程的有关内容。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。机械运动是指物体在空间位置随时间的变化。具体地说,其任务是研究描述物体机械运动的方法、产生机械运动的物理因素和条件。

理论力学研究内容由三部分组成:

- (1)静力学,主要研究受力物体平衡时作用力应满足的条件;
- (2)运动学,从几何的角度来研究物体运动的变化规律;
- (3)动力学,研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

理论力学在研究物体机械运动的一般规律中,形成了由基本概念、基本理论和基本方法组成的刚体力学体系。它已经成为对现代工程对象进行动力分析的基础以及为学习现代工程动力学后续课程、分析和解决工程中的动力学基础。

结构物、设备和机器都是由构件组成的。构件在工作时,总要受到荷载的作用。为了使构件在荷载的作用下能正常工作而不损坏,也不发生过度的变形而丧失稳定性,就要求构件具有一定的强度(构件抵抗荷载而不损坏的能力)、刚度(构件抵抗变形的能力)和稳定性(构件抵抗丧失稳定的能力)。因此,材料力学就是研究构件强度、刚度和稳定性等计算原理的科学。

本书将理论力学和材料力学两门课程的有关内容相互贯通,并融会成一个有机的整体——工程力学课程体系。作为工科院校的技术基础课,它的教学内容、研究方法及课程的设置有其自身的特点。

理论密切联系工程实际,培养学生工程概念,是工程力学课程的一个显著的特点。工程力学起源于工程技术,并与之互相促进共同发展。力学在理论上的每一重大进展都具有工程背景,并推动科学技术、工程技术的巨大进步。18世纪由于航海事业的发展,提出了关于船舶的摇摆运动规律问题,推动了刚体定点运动的研究,欧拉建立了刚体定点运动微分方程,形成了以牛顿-欧拉方程为代表的矢量方法。其后,随着机器生产的迅速发展,将自由度较多的受约束系统力学的研究提到日程上来,《分析力学》应运而生,产生了以拉格朗日方程为代表的数学分析方法。20世纪50年代以后,由于现代科学技术的发展,出现了由多个刚体组成的运动的机械系统,如航天器、机器人等。与此同时,也出现了计算速度高的数字计算机,在这种背景下产生了力学新分支——多刚体系统动力学。作为研究材料力学行为及构件强度、刚度及稳定性计算理论的材料力学更是近代科学技术及工程技术发展的产物。总之,力学与生产实践密切结合,随着生产的发展而发展。显然,探索力学对科学技术和工程技术发展的推动作用也是力学发展的动力。

从另一角度看,机械或者是传递、转换某种运动,或者是实现某种特定的运动,结构则是在承受荷载的情况下,实现特定的使用功能。因此,工程力学的习题,绝大多数都是从工程实际中简化而来的,或者习题本身就是一个简单的工程实际问题。在自然界以至人类的日常生活中,机械运动、结构承载到处可见,这是在技术理论课程中少见的。

建立力学模型和描述其数学物理方程的研究方法是工程力学课程另一显著特色,也是大

学本科中第一门需要学生自己选择研究对象,并对其进行合理的抽象和简化,然后建立描述研究对象力学特征的数学方程的课程。一般来讲,在课程中对学生能力的培养,要通过分析、练习一定的习题来实现。力学课程对培养这种能力具有得天独厚的条件,特别是要求学生自己选择研究对象并列写运动微分方程的习题比比皆是,这种解题方法是学生习惯于运用公式求解方法的一个飞跃。

建立力学模型和建立数学方程是科技和工程技术人员必备的本领,是业务素质的重要组成部分。在研究自然界与工程对象的机械运动时必须对复杂的实际的物理对象进行简化,根据研究的目的定义这些物理对象的力学模型。对于不同形态机械运动的研究产生了不同的力学分支。由于研究的目的不同,在这些分支中的力学模型也各不相同。当物体运动的范围远远大于其本身的大小,或它的形状对其运动的影响可以忽略不计时,那么可将该物体简化为有质量而无几何尺寸的点,这种力学模型称为质点;如在对大量的机械、车辆等对象进行运动分析时,当构成工程对象各部件的变形对其运动性态影响可不予考虑时,各部件的力学模型可定义为刚体。但当要研究作用在物体上的力与变形规律时,则不能将其简化为刚体。刚体与变形体也不是绝对的,例如在分析变形问题中,当涉及平衡概念时,则可应用刚体模型。

毫无疑问,在工程力学课程教学中既要广泛联系工程实际,又要符合各专业的工程力学课程标准大纲。作为教学活动、学科知识和学习经验的综合反映,在课程内容和课程内容的构造方式上,应具有针对性、应用性和综合性的特点。特别要注意对学生建模能力的培养。正确的模型,对于课程是重要的,但更重要的是,要讲清模型的适用性和局限性。要注意加强工程概念,特别强调广义的工程概念。这包括与工程力学密切相关的工程领域,如建筑、桥梁、飞机、舰船、运载火箭、航天飞机、空间站;也包括以其他学科为主,但也对工程力学提出大大小小的问题的工程,例如核反应堆容器、舰载飞机、计算机硬盘驱动器;还包括一些非工业工程,例如体育工程等等。强调广义工程概念,就是强调工程力学教育属于素质教育。这对于拓宽学生的工程知识面、增强学生的适应性也是非常重要的。

第一篇 理论力学

静力学

静力学是研究物体在力作用下的平衡规律的科学。这里的物体是指抽象化的刚体。即指在任何情况下永远不变形的物体。这一特征表现为刚体内任意两点的距离永远保持不变。但是,宇宙中并无刚体存在,它不过是人们在研究客观世界时,把实际的物体经过抽象化所得到的理想模型。这是处理问题的一种方法,即科学的抽象。实际物体在力的作用下,都会产生不同程度的变形,但是,如果这种变形对所研究的问题影响很小,则可把该物体看做是刚体。这种抽象不仅抓住了问题的本质,又使问题的研究得以简化。本部分也称刚体静力学。

应该指出,把物体抽象化为刚体时,要注意所研究的内容和条件,当变形这一因素在所研究的问题中转化为主要因素时,就必须以另一种模型——变形体来代替。这种问题将在变形体力学(如材料力学、结构力学、弹塑性力学以及流体力学等)中研究,并且在那里将会看到,一切变形体平衡问题的研究也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。

平衡是相对的,是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。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。

为了便于寻求各种力系对于物体作用的总效应和力系的平衡条件,需要将力系进行简化,使其变换为另一个与其作用效应相同的简单力系。若作用于同一刚体的两组不同力系能使该刚体的运动状态产生完全相同的变化,则称这两组力系互为等效力系。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。

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。

静力学的演绎必须以若干条公理为出发点,这些公理是人类经过长期的缜密观察和经验积累而得到的结论,它可以在实践中得到验证。公理不可能用更简单的原理去代替,也无需证明而为大家所公认。

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。

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。

公理三(力的平行四边形法则) 作用于物体某一点的两个力的合力,亦作用于同一点上,其大小及方向可由这两个力所构成的平行四边形的对角线来表示。

公理四(作用与反作用定律) 两物体间相互作用的力,总是大小相等、方向相反、沿同一直线分别作用在相互作用的两个物体上。

公理五(刚化公理) 变形体受已知力系作用而成平衡,若将该物体变成为刚体(刚化),则平衡状态不受影响。

第1章 静力学基础

1.1 力的概念

1.1.1 力

力是物体之间的相互机械作用。其作用效果是使物体的运动状态和形态发生改变。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。一般来讲,这两种效应是同时存在的。但是,为了使问题的研究简化,通常将运动效应和变形效应分开来研究。本篇主要研究力的外效应。

力的作用效果与三种因素有关。

(1)力的大小。力的大小是指物体间相互作用的强弱程度。度量力的大小的单位,本书采用国际单位制(SI),力的单位用牛顿,简写牛(N);或千牛顿,简写千牛(kN)。

(2)力的方向。力的方向通常包括方位和指向两个涵义。例如,说重力的方向是“铅垂朝下”,“铅垂”是力的方位,“朝下”是力的指向。

(3)力的作用点。力的作用点是指物体受力作用的地方,它实际上不是一个点而是一块面积,不过当作用面积很小时就可近似地看做一个点。而作用于这个点上的力称为集中力,这个点称为作用点。

以上三个因素,称为力的三要素。改变力的任一因素,也就改变了力对物体作用的效应。所以,要确定一个力,必须说明它的大小、方向和作用点。因此,力是矢量,且是定位矢量。所以,可以用一个定位的有向线段来表示力,如图1-1所示。线段的长度代表力的大小(一般的定性表示即可)。线段的方位和指向代表力的方向,线段的起点(或终点)表示力的作用点。线段所在的直线称为力的作用线。在书写中,通常用大写字母上加箭头作为力的矢量符号,如 \vec{F} 。在本书中,用黑体大写字母 F 表示力矢量,用普通字母 F 表示力的大小。

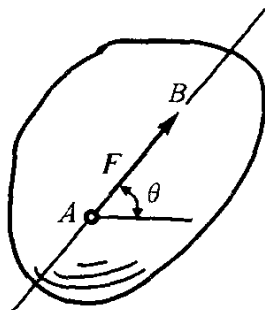


图 1-1

1.1.2 力系

力系是指作用于物体上的一群力。一个力是一种最简单的力系。在保持对刚体作用效果不变的前提下,用一个简单力系代替一个复杂力系,称为力系的简化。如果一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的合力。求合力的过程称为力系的合成;该力系中各力称为其合力的分力或分量。

力系按照作用线分布情况可以分为下列几种。

1. 平面力系

所有力的作用线在同一平面内的力系为平面力系。平面力系又可分为:

- (1)平面汇交力系,即所有力的作用线汇交于同一点的平面力系;
- (2)平面平行力系,即所有力的作用线都相互平行的平面力系;
- (3)平面任意力系,即所有力的作用线既不汇交于同一点,又不相互平行的平面力系。

2. 空间力系

所有力的作用线不在同一平面内的力系为空间力系。空间力系又可分为：

- (1) 空间汇交力系, 即所有力的作用线汇交于同一点的空间力系;
- (2) 空间平行力系, 即所有力的作用线都相互平行的空间力系;
- (3) 空间任意力系, 即所有力的作用线既不汇交于同一点, 又不相互平行的空间力系。

由于平面力系可视为空间力系的特殊情况, 而汇交力系和平行力系又可视为任意力系的特殊情况, 所以, 空间任意力系是力系的最复杂、最普遍、最一般的形式, 其他各种力系都可看成是它的一种特殊情况。

按照力的相互作用的范围来区分, 力可以分为集中力与分布力两类。

(1) 集中力 这是指作用于物体某一点上的力。事实上, 集中力是一个抽象出来的概念, 任何两物体之间的相互作用不可能局限于无面积大小的一个点上, 只不过当这种作用面积与物体尺寸比较很小时, 可以近似认为作用在一个点上。另外, 对刚体而言, 一些分布力的作用效果可以用一个与之等效的集中力来代替, 以使问题得到简化, 如重力用一等效集中力作用于刚体重心上。

尽管集中力是抽象的结果, 但它却是最重要、最普遍的一种力, 大多数力的作用可以用集中力来描述。下文如不特别说明, 所说的力均指集中力。

(2) 分布力 这是指作用在构件整个或部分长度或面积上、体积上的力, 例如风、雪、水、气等的压力, 都是分布力。沿长度分布的力其大小用符号 q 表示,

$$q = \lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta L}$$

式中 ΔL ——所确定力大小的点附近很小的一段长度;

ΔP ——在该段长度内所作用的分布力的合力。

q 叫做分布力的**集度**。如果力的分布是均匀的, 那就叫做**均布力**。均质等截面管道每单位长度的重量都相等, 其迎风面每单位面积(指投影面积)所受的风压力也都相等, 这些都是均布力的例子。水池的水平池底所受的水压力是均布力(图 1-2(a)), 侧壁所受的水压力则是按三角形规律分布的分布力(图 1-2(b))。

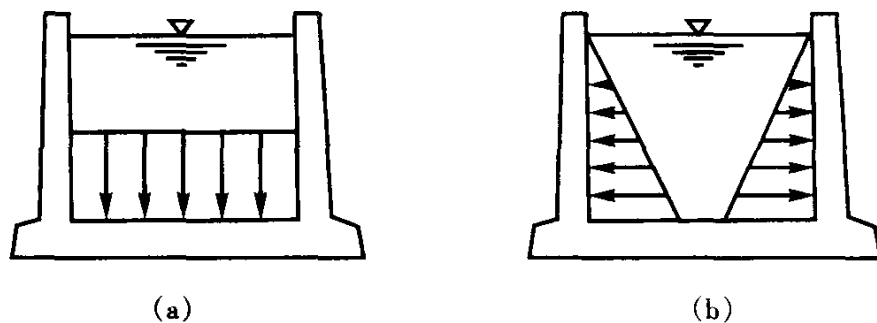


图 1-2

1.2 力的性质

对于刚体, 力的作用只改变其运动效应, 因此, 力的性质可表述如下。

性质 1 作用于刚体的力可沿其作用线移动而不致改变其对刚体的运动效应(既不改变移动效应, 也不改变转动效应)。例如, 用小车运送物品时(图 1-3), 不论在车后 A 点用力 F 推

车,还是在车前同一直线上的 B 点用力 F 拉车,效果都是一样。力的这种性质称为力的可传性。

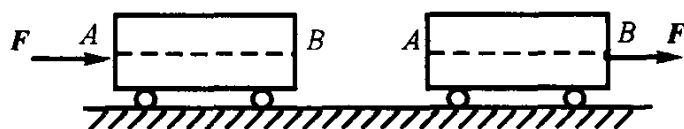
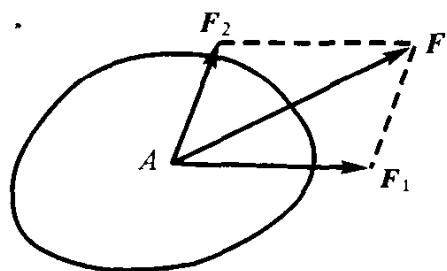


图 1-3

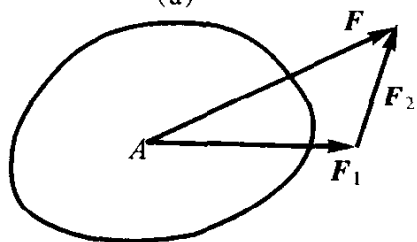
考虑到这一性质,作用于刚体的力的三要素可改为:大小、方向和作用线。作用于刚体的力沿作用线可任意滑动,因此作用于刚体的力是滑动矢量。但此结论不适用于变形体。对于变形体,力的作用效果与作用点密切相关。

性质 2 在同一作用点上作用的两个力,其合力的大小与方向由表示两力的有向线段为边所构成的平行四边形的对角线确定,且具有相同的作用点。

此性质称为力的平行四边形法则,它表明力的合成符合矢量求和规则。



(a)



(b)

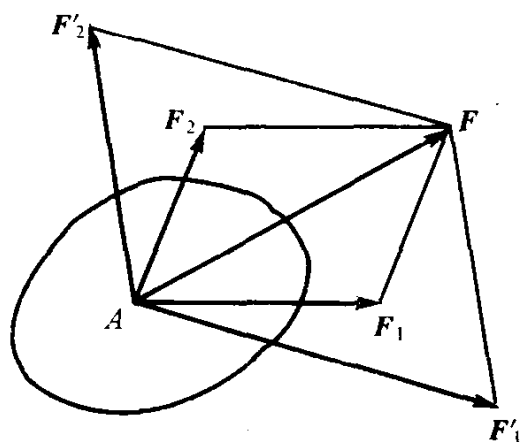
图 1-4

在图 1-4(a)中,设在物体的 A 点作用两个力 F_1 和 F_2 ,则其合力 F 由平行四边形对角线决定。 F 称为力 F_1 和 F_2 的矢量和或几何和,即

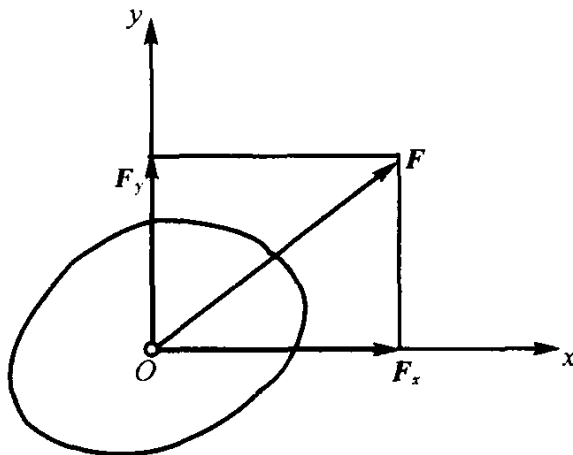
$$F = F_1 + F_2$$

另外,为了简单,可以用力平行四边形的一半来表示这一合成过程,如图 1-4(b)所示,即依次将 F_1 和 F_2 首尾相接,最后,三角形的封闭边即为此二力的合力 F 。这称为力的三角形定则。力三角形定则与绘制此二力的次序无关。注意这里的各力均应按比例画出。

这一定则同时也提供了将一个力 F 分解为作用于同一点的两个分力 F_1 和 F_2 的方法。与合成过程不同,这里分解的结果并不惟一,如图 1-5(a)所示,除非给定必要的限制条件,其中最重要的一种分解是正交分解,如图 1-5(b)。



(a)



(b)

图 1-5

性质 3 两物体间相互作用的力(作用力与反作用力)同时存在,大小相等,作用线相同而指向相反。

这一定律就是牛顿第三定律。不论物体是静止的还是运动着的,这一定律都成立。这一

定律表明,作用力与反作用力是一对矛盾,各以其对立面为自己存在的前提。但应注意,力不能脱离物体而存在。作用力与反作用力是分别作用在两个物体上的。在研究某一物体的运动或平衡时,只应考虑它所受到的别的物体对它作用的力,而不应考虑它作用于别的物体的力。

1.3 约束与约束力

一般将物体运动受控制的程度划分为两类。一类是,物体在空间的位置不受任何限制,可以在空间取得任意方向的位移。这种物体称为**自由体**,如飞行中的飞机、火箭等。另一类是,物体在空间的位置(或运动)受到周围物体对它预先给定的不同程度的限制,而不能随意运动。这种物体称为**非自由体**。这类物体在工程实际中占绝大多数,如在汽缸中运动的活塞受到汽缸的限制,行驶的列车受铁轨的限制等等。非自由体之所以不能随意运动是由于受到了与之相连物体的限制,因而在运动中必须满足事先给定的几何条件。这种对非自由体预先给定的限制运动几何条件称为**约束**。

约束通常是通过物体间的直接接触形成的。

既然约束限制着物体的运动,那么,当物体沿着约束所能限制的方向有运动或运动趋势时,约束对该物体必然有力的作用,以阻碍物体的运动,这种力称为**约束反力**,简称**反力**。约束反力的方向总是与约束所能阻止的物体的运动或运动趋势的方向相反,它的作用点就在约束与被约束物体的接触点。在静力学中,约束对物体的作用,完全决定于约束反力。

与约束反力相对应,凡能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力,称为**主动力**。例如,重力、风力、水压力等。主动力在工程中也称为**荷载**。通常主动力是已知的,约束反力是未知的。

将工程中常见的约束抽象出来,根据其特征,亦即约束力的性质,分成以下各种类型的约束。约束简图和约束力的符号根据约束类型已形成一种约定的画法和标注方法。下面在进行物体的受力分析时,一律采用这些约定。

1.3.1 柔性体约束

柔软、不可伸长的约束物体称为柔性体约束,如绳索、链条、皮带等等。如不特别指明,这类约束的截面尺寸及重量一律不计。这类约束的特点是:只能限制物体沿柔性体约束拉伸方向的运动,即只能承受拉力,不能承受压力。**柔性的约束力是沿其中心线的拉力**,通常用字母 T 或 S 表示,如图 1-6 所示。

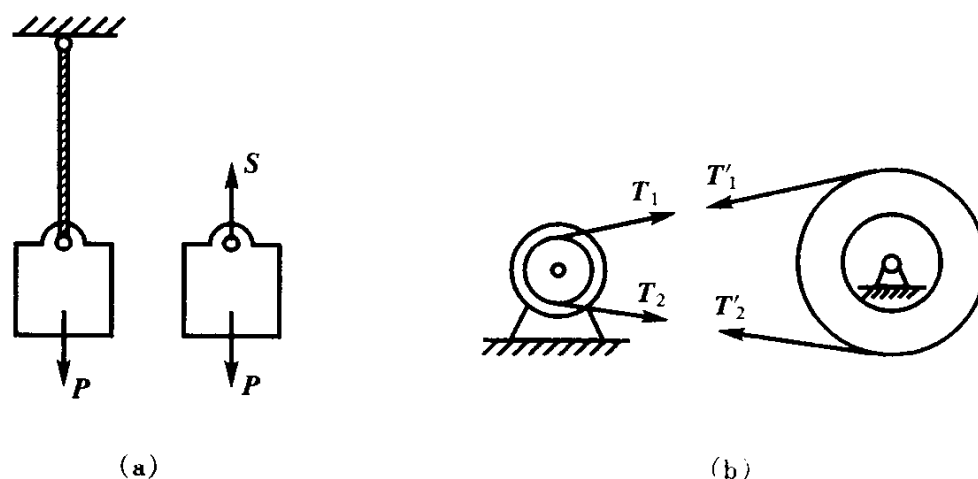


图 1-6