

理论力学

主编 崔红光 张本华

理论力学

主 编	崔红光	张本华
副主编	姜迎春	王 京
参 编	冯龙龙	沈明杰
主 审	李永强	

内 容 简 介

根据高等院校应用型本科专业学生的培养要求, 编者在编写本书时特别注重内容的编排和素材的选取, 着眼于理论的应用与工程实际问题的解决, 尽量减少理论的推导、避开就题论题。本书共14章, 按照传统的静力学、运动学、动力学和分析力学基础进行编排。本书中的例题、思考题和习题精选工程和生活实际问题, 突出实用性和趣味性; 在内容的选取上, 较好地处理了“理论力学课程”与“大学物理”课程的衔接问题, 做到既有联系, 又不重复; 在内容的编排上, 既突出应用型专业培养目标的需求, 又不失完整性和连续性。全书理论体系清晰、层次分明、重点突出、难点分散。在例题的分析中, 既阐明了解题的思路和步骤, 又有较好的教学适用性。

本书可作为高等院校工科类专业理论力学课程的教材和教学参考书, 也可供有关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/崔红光, 张本华主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5682-4707-8

I. ①理… II. ①崔… ②张… III. ①理论力学—高等学校—教材 IV. ①O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 204556 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 471 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 75.00 元

责任编辑 / 陆世立

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

理论力学是高等院校工科类专业必修的一门专业基础课,重点讲授物体机械运动的一般规律及其在工程中的实际应用问题。其中的概念、理论和方法既可以直接用于解决现代科技问题,又是其他专业课程的基础。

随着教学改革的不深入,应用型本科教育对于推动中国经济发展,培养高层次应用型人才以及推进中国高等教育大众化进程起到了积极的促进作用。为了适应对大学生素质拓展的需要,针对工科类应用型专业大学生的特点,编者在编写本书的过程中重点考虑以下几方面问题:

(1) 保留了国内外经过多年教学经验证明的最为科学的理论力学教学体系,即静力学—运动学—动力学—分析力学基础。

(2) 重点讲解基本概念、理论及方法的同时,着眼于工程和生活实际问题的解决。通过这些问题的提出,培养学生的逻辑思维能力和利用所学知识解决实际问题的能力。

(3) 不追求冗长的公式推导和烦琐的数学运算。

(4) 以二维平面问题为重点,同时兼顾空间问题。

(5) 删繁就简,又不失完整的理论体系。正确定位理论力学在工科类教学课程中的地位,在不破坏课程系统性和完整性的前提下,精简了一些与其他先修课程重复的内容。

本书编委由长期从事理论力学的一线教师组成。本书由崔红光、张本华担任主编并统稿,姜迎春、王京担任副主编,李永强主审。参与编写的有冯龙龙、沈明杰。其中,崔红光对全书的插图进行了修改,李永强完成了书稿的审阅工作,并提出了许多宝贵意见。本书参考了许多国内外专家的著作和论文,未能一一列出,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中的疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基础	7
-----------------	---

第一节 静力学公理	7
第二节 约束与约束反力	11
第三节 物体的受力分析和受力图	14
思考题	18
习题	19

第二章 平面力系的简化与平衡	23
----------------------	----

第一节 平面汇交力系的简化与平衡	23
第二节 平面力偶系的简化与平衡	29
第三节 平面任意力系的简化与平衡	33
第四节 物体系的平衡问题及应用	42
思考题	48
习题	50

第三章 静力学应用问题	56
-------------------	----

第一节 平面静定桁架	56
第二节 考虑摩擦时物体的平衡问题	60
思考题	72
习题	73

第四章 空间力系	78
第一节 空间力系的简化	78
第二节 空间力系的平衡方程及应用	83
思考题	86
习题	87

第二篇 运 动 学

第五章 点的运动学	91
第一节 矢量分析法	91
第二节 直角坐标法	92
第三节 自然坐标法	94
第四节 点的运动学应用	97
思考题	103
习题	103

第六章 刚体的基本运动	106
第一节 刚体的平行移动	106
第二节 刚体的定轴转动	107
第三节 定轴轮系传动分析	111
思考题	113
习题	113

第七章 点的复合运动	116
第一节 基本概念	116
第二节 点的速度合成定理	118
第三节 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	121
第四节 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	124
思考题	129
习题	129

第八章 刚体的平面运动	134
第一节 基本概念	134
第二节 平面图形内各点的速度分析	136
第三节 平面图形内各点的加速度分析	142

思考题	146
习题	147

第三篇 动 力 学

第九章 动力学基础	153
-----------------	-----

第一节 牛顿运动定律	153
第二节 质点的运动微分方程	154
第三节 质点动力学的两类基本问题及应用	155
思考题	160
习题	160

第十章 动量定理	164
----------------	-----

第一节 基本概念	164
第二节 质点和质点系的动量定理	167
第三节 质心运动定理	173
思考题	178
习题	180

第十一章 动量矩定理	183
------------------	-----

第一节 质点和质点系的动量矩	183
第二节 质点和质点系的动量矩定理	186
第三节 刚体绕定轴转动微分方程	189
第四节 刚体对轴的转动惯量	192
第五节 质点系相对质心的动量矩定理	199
第六节 刚体平面运动微分方程	200
思考题	203
习题	205

第十二章 动能定理	209
-----------------	-----

第一节 功和动能	209
第二节 质点和质点系的动能定理	218
第三节 机械能守恒定律	224
第四节 功率和功率方程	231
第五节 动力学普遍定理综合应用	234
思考题	240

习题	241
第十三章 达朗贝尔原理	245
第一节 达朗贝尔原理概述	245
第二节 刚体惯性力系的简化	250
第三节 静平衡和动平衡	257
思考题	260
习题	261
第十四章 虚位移原理	264
第一节 约束、虚位移、虚功	264
第二节 虚位移原理及应用	269
思考题	275
习题	277
习题参考答案	281
参考文献	292

绪 论

一、理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学，具体地说，就是研究力与机械运动的变化之间的关系。

所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间而变化的过程。物体的运动各种各样，不仅包括位置的变动、发光、发热、电磁现象、化学过程，还包括人们头脑中的思维活动等。机械运动是物体运动中最简单、最初级的一种形式，人们在生产和生活中经常遇到。例如，各种交通工具的运行、机器的运转、大气的运动、河水的流动、人造卫星和宇宙飞船的运行、建筑物的振动等，都是机械运动。物体的平衡（如相对于地球静止或匀速直线运动）是机械运动的特殊情况，理论力学也研究物体的平衡规律。物体之间相互的机械作用，即力的作用，使物体的运动状态发生改变。

理论力学所研究的内容以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础，研究速度远小于光速的宏观物体的机械运动，属于古典力学的范畴。19 世纪后期，由于近代物理学的发展，人们发现许多力学现象不能用古典力学的定律来解释，因而产生了研究高速（接近光速）物质运动规律的相对论力学和研究微观粒子运动规律的量子力学。在这些新的研究领域内，古典力学内容已不再适用。但在研究低速（远小于光速）、宏观物体的运动，特别是一般工程上的力学问题时，古典力学的结果已足够精确。目前，在古典力学基础上诞生的各个新的力学分支正在迅速发展。

本课程内容为静力学、运动学和动力学三部分。

静力学：研究物体在力作用下的平衡规律即物体平衡时作用力所应满足的条件，同时也研究力的一般性质及力系的简化方法。

运动学：从几何学的角度来研究物体的运动（如轨迹、速度和加速度等），不研究引起运动的物理原因。

动力学：研究作用于物体上的力与其运动变化之间的关系。

二、理论力学的研究方法

力学是古老的科学之一，它产生和发展的过程就是人类对物体运动的认识不断深化的过程。这种认识是通过长期的生产实践和无数次的科学实验而形成的。经过无数次“实践—理论—实验”的循环反复过程，人们对物体运动的认识不断提高和深化，逐步总结和归纳出物体机械运动的一般规律。

（1）观察和实验是理论力学发展的基础。在力学的萌芽时期，人类通过从事建筑和农业

等劳动,以及对自然现象的直接观察,建立了力的概念,并得出杠杆原理等一些力学的规律。实验是力学研究的重要一环,理论力学中的摩擦定律和惯性定律等都是直接建立在实验基础上的。从近代力学的研究和发展来看,实验更是重要的研究方法之一。

(2) 在观察和实验的基础上,经过抽象化建立力学模型,上升到理论。由于人们所观察到的素材复杂多样,一时不易认识它的本质。因此,必须从这些复杂的现象中,抓住主要的因素,撇开次要的、局部的、偶然的因素,才能深入到现象的本质,理解事物的内在联系,这就是抽象的过程。通过抽象可以把所研究的对象简化为理想模型。例如,在研究物体的机械运动时,略去物体的变形,就得到了刚体的模型;略去物体的几何尺寸,就得到了质点的概念。正确的抽象不仅简化了所研究的问题,而且更接近实际。如果客观条件改变了,事物的内在矛盾就会转化。这时,就需要引入新的主要因素,建立新的模型,使它更接近于实际。

通过抽象,进一步把人类长期以来从直接观察、实验,以及生产活动中得来的经验与认识到的个别特殊规律加以分析、综合、归纳,找出事物的普遍规律,从而建立起一些最基本的普遍定律作为本学科的理论基础。

(3) 根据基本理论,进行数学演绎推理,得出各种形式的定理和结论。在理论力学中,广泛地利用数学这一有力工具。数学不仅应用在逻辑推理方面,而且应用于量的计算方面。力学现象之间的关系是通过数量来表示的,计算技术对力学的应用和发展有着巨大的作用。近代计算机的发展和普及,使其不仅能完成力学问题中大量而复杂的数值计算,而且其在逻辑推演、公式推导等方面也是非常有效的工具。当然,数学不能脱离具体的研究对象,只有将数学运算与力学现象的物理本质紧密地联系起来,才能得出符合实际的正确结论。而这些结论还必须回到实践中接受实践的检验,只有当理论正确地反映了客观实际时,才能确定这个理论是正确的。

三、学习理论力学的意义

学习理论力学有重要的意义,具体如下:

(1) 理论力学是解决工程实际问题的重要基础理论。有些工程问题可以直接应用理论力学的一些定理和结论去解决,有些则需要用理论力学与其他专业知识共同来解决。因此学习理论力学可以为解决工程问题打下一定的基础。

(2) 学习理论力学可以为学习一系列后续课程打基础。例如,材料力学、结构力学、弹性力学、水利学、机械原理(含振动理论)等课程,都要以理论力学为基础。在很多专业课程中,也不同程度地用到理论力学的知识。

(3) 理论力学的分析和研究方法具有一定的典型性。学生在学习过程中,可以逐步形成正确的逻辑思维能力,以及对待实际问题具有抽象、简化和正确进行理论分析的能力。因此,本课程有助于培养学生辩证唯物主义世界观及分析问题和解决问题的能力。

四、理论力学的学习方法

理论力学的学习方法如下:

(1) 正确地理解并能灵活应用课程中所涉及的基本概念、公理、定律、定理和结论。

(2) 对所学的基本理论及解题方法进行恰当的分类,如对杆、轮的动力学问题应分别采用什么样的方法来解决,各需要什么样的运动学补充方程,一个自由度及两个自由度的动力

学问题一般采用什么方法求解更容易一些等。学生要善于将学过的知识、掌握的解题方法进行归纳、总结,举一反三,找出一些规律性的东西。

(3) 解题是理论力学学习中的一个重要的环节。只有通过必要的、相当数量的解题训练,才会深刻地理解理论、概念、公式及定理的细节和实际运用的灵活技巧,并从中发现学习中存在的问题;解题时应特别注意的问题是,严格按例题的解题步骤和要求认真做题,一个受力图、速度矢量图或加速度矢量图的正确与否直接影响结果的正确性。

(4) 学习新知识,复习学过的内容。理论力学课程学习周期长、课时多,不能学了后面的,忘了前面的。静力学、运动学是动力学的学习基础,其受力分析方法、力系简化方法及一系列的运动学关系经常被应用于动力学的解题过程。只有经常不断地复习前面的知识,才能适时、正确地将其用于动力学的学习中。

五、理论力学的发展史

1. 理论力学的萌芽

古希腊的阿基米德(公元前 287—前 212 年)著的《论比重》奠定了静力学基础,我国墨翟(公元前 468—前 376 年)所著的《墨经》是最早记述有关力学理论的著作。意大利的达·芬奇(1452—1519 年)研究了滑动摩擦、平衡、力矩。波兰的哥白尼(1473—1543 年)创立了宇宙“日心说”。德国的开普勒(1571—1630 年)提出行星运动三定律。意大利的伽利略(1564—1642 年)提出了自由落体规律、惯性定律及加速度的概念。英国科学家牛顿(1643—1727 年)在 1687 年版的《自然哲学的数学原理》一书中提出动力学的三个基本定律、万有引力定律、天体力学等,是力学奠基人。

2. 理论力学的发展期

瑞士的数学家伯努利(1667—1748 年)1717 年提出虚位移原理。瑞士的数学家和物理学家欧拉(1707—1783 年)的著作《力学》提出了用微分方程表示的分析方法解决质点运动的问题,并发展了摩擦、刚体运动等方面的研究。1743 年法国科学家达朗贝尔(1717—1783 年)在名著《动力学专论》中提出达朗贝尔原理。法国的拉格朗日(1736—1813 年)在分析力学上获得了辉煌的成绩,他把虚位移和达朗贝尔原理结合起来,提出了第二类拉格朗日方程。英国数学家、物理学家哈密顿(1805—1865 年)提出了哈密顿原理。

3. 理论力学的现代问题

物理学家爱因斯坦(1879—1955 年)创立了相对论力学,为力学学科的发展作出了划时代的贡献。力学学科极其广泛地与数学、物理、化学、天文、地理、生物等基础学科和几乎所有的工程学科相交叉、渗透,形成了大量的新兴交叉学科,使力学学科保持着旺盛的生命力。近年来在分析力学、运动稳定性理论、非线性振动、陀螺理论等方面有了很大的发展。我国力学家如钱学森、周培源、钱伟长等也为力学的发展作出了突出贡献。美国近年来研制出的十倍音速的飞机就是根据钱学森在 20 世纪 50 年代提出的理论研发的。



第一篇 静 力 学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学，主要研究以下三方面的问题：

(1) 物体的受力分析，即分析物体共受多少力，每个力的大小、方向和作用点位置，以便对所研究的力系做初步了解。

(2) 力系的简化。力系就是作用在物体上的一群力。力系的简化的目的是抓住不同力系的共同本质，明确力系对物体作用的总效果。

所谓力系的简化，就是将作用在物体上的复杂力系用最简单的和它等效的力系来代替。这个最简单的和它等效的力系的作用效果就是力系的总的作用效果，它确定了物体的运动状态的改变量。例如，在田间工作的农具，它受到牵引力、土壤阻力、重力等力的作用，这些力分别作用在农具的各处，每个力都影响农具的运动，要了解农具的运动规律，就必须了解这些力的总作用效果，这就需要将这此力组成的力系加以简化，然后才能进一步确定农具的运动规律。由于平衡是运动的特殊情况，因此研究力系的简化还可以导出力系的平衡条件。所以，无论研究物体的哪一种运动状态，平衡与否，都必须从力系的简化开始。

(3) 建立力系的平衡条件，即研究物体平衡时，作用在物体上的各种力系所需满足的条件。

力系的平衡条件在静力学中具有重要的意义。它在理论上给出了各种力系平衡时具有的独立平衡方程的个数，为分析和实际问题起到了指导作用。在工程实际中存在着大量的静力学问题，如当对各种工程结构的构件（如梁、桥墩、屋架等）进行设计时，要用静力学理论进行受力分析，再应用平衡条件及相应的平衡方程进行受力计算，为构件的强度和刚度设计提供理论依据；机械工程设计时，也要应用静力学的知识分析机械零部件的受力情况作为强度计算的依据；对于运转速度缓慢或速度变化不大的构件的受力分析通常都可简化为平衡问题来处理。此外静力学中力系的简化理论与物体的受力分析方法可直接应用于动力学和其他学科，而且动力学问题还可从形式上转换成平衡问题，从而应用静力学理论求解。因此，静力学在工程中有着广泛的应用，在力学理论中占有重要的地位。

静力学基础

【内容提要】

静力学公理是静力学理论的基础,对物体进行受力分析则是理论力学中的重要基本技能。本章包括静力学基本概念、公理及物体的受力分析等基本内容。

第一节 静力学公理

一、基本概念

1. 力的概念

力是物体与物体之间的相互机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化或使物体产生变形。力的概念是广大劳动人民在日常生活和长期的生产斗争实践中建立起来的。最初,人们对力的认识是由推、提、拉、搬等活动中感到肌肉紧张而得来的。例如,用手推动小车、提起重物、拉长弹簧等,人们就会感到肌肉紧张。这时,人们就说人对小车、重物和弹簧作用了力,使小车和重物改变了运动状态或使弹簧改变了形状。后来人们又通过实践进一步认识到,不仅人对物体能产生力的作用,而且物体对物体也能产生力的作用。例如,物体自由下落时越来越快,这是因为物体受到地球的吸引力;拖拉机牵引犁前进,是拖拉机的牵引力使犁的运动状态发生了变化;气缸内静止的活塞开始运动,是燃烧气体的压力使活塞运动状态发生了变化;气锤锻压工件,是气锤的锻压力使工件的形状发生了变化。

理论力学不探究力的物理来源,仅研究力的表现。力对物体产生两方面的效应,一是使物体的运动状态发生改变(称为外效应),二是使物体产生变形(称为内效应)。理论力学主要研究物体机械运动的一般规律,所以着重考虑力的外效应;材料力学着重研究力的内效应。

实践表明,力对物体的作用效应取决于力的三要素,即力的大小、方向和作用点。所以力是矢量,而且是定位矢量。

在作图时,可用一个矢量表示力的三要素,如图 1-1 所示。该矢量的长度(AB)按一定比例表示力的大小。矢量线的方位和箭头的指向表示力的方向,矢量的始端(点 A)或终端(点 B)表示力的作用点。表示力的矢量称为力矢,力矢线段所在的直线称为力的作用线(如图 1-1 中的虚线)。人们常用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢,而用普通字母 F 表示力的大小。书写时,

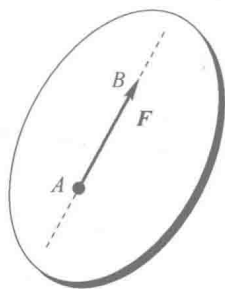


图 1-1

为简便起见，常在普通字母上方加一带箭头的横线或箭头表示力矢。

本书涉及的单位采用国际单位制（SI）。其中力的单位为 N（牛顿）或 kN（千牛顿）。

2. 刚体

刚体是在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体，或在任何情况下都不变形的物体。事实上，永远不变形的物体并不存在，刚体只是一个为了研究方便而把实际物体抽象化后得到的理想化力学模型。当物体在受力后变形很小，对研究物体的平衡问题不起主要作用时，

其变形可忽略不计，这样可以大大简化所研究的问题。

理论力学主要研究物体宏观运动状态的变化，即外效应，所以理论力学的主要研究对象是刚体。刚体这个理想化模型将会作为主要力学模型出现在静力学、运动学和动力学中。

刚体是大量质点的集合，是一个理想化的力学模型。实际物体在力 F 的作用下，其内部各点间的相对距离总会有变化，刚体模型可以看成是对这些距离施加约束的结果（认为距离不变）。因此，在分析假设为刚体的某物体的受力时，忽略其变形也就不必考虑它的材料力学性质，这是刚体静力学与变形体静力学的重要区别。

实际物体能否简化为刚体，主要取决于研究问题的性质，如在研究飞机的平衡问题或飞行规律时，可将飞机视为刚体；但在研究飞机的振动问题时，机翼等的变形虽然非常小，但也必须把飞机看作弹性体模型。另外，在计算某些工程结构时，若忽略其变形而采用刚体模型，则可能导致问题无法求解。

3. 质点和质点系

所谓质点，是指具有一定质量而其形状和大小可以忽略不计的物体。所谓质点系，是指由多个有着一定联系的质点组成的系统。质点和质点系也都是理想模型。在力学中被视为质点的物体的大小是相对的，要视研究的问题而定。例如，在研究行星绕太阳的运动时，尽管行星本身体积很大，但与其运动的范围来比是相当小的，因此可以把行星看成质点；若研究行星的自转问题，则不能将行星看成质点。刚体是由无限个质点组成的不变质点系，当刚体的尺寸对问题的研究不起主要作用时，也可将其抽象为质点。由若干个刚体组成的系统也是质点系，称为物体系统，简称物系。

4. 平衡的概念

平衡是指物体相对于周围物体保持静止或做匀速直线运动。需要注意的是，运动是绝对的，平衡只是暂时的或相对的。在工程问题中，房屋、桥梁、机床的床身、做匀速直线飞行的飞机等都可视为处于平衡状态。平衡是物体运动的一种特殊形式。

当一个物体受到许多个力的作用，若这些力的作用效果互相抵消，则物体相对于地面做匀速直线运动或静止，这种状态称为平衡；若这些力的作用效果不能互相抵消，则物体的运动状态必然会改变，这时，物体就处于非平衡状态。如果物体虽处于非平衡状态，但它的运动状态改变较缓慢，这时也可当作平衡状态来处理。

二、认识静力学公理

公理是人们经过长期观察和经验积累而得到的结论, 又经过实践反复验证, 无须证明而被大家公认。以下的公理有些是牛顿定律, 有些则是根据牛顿定律推导出的结论。静力学公理是静力学理论的基础。

公理 1 (二力平衡公理) 作用于刚体上的两个力, 使刚体保持平衡的必要和充分条件是, 这两个力大小相等、方向相反且作用于同一直线上, 如图 1-2 所示。

$$\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B$$

公理 1 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。对于刚体, 这个条件是必要而充分的; 对于变形体, 这个条件仅为必要条件。

由公理 1 可知, 力系中任何力的作用线均与其他力的合力的作用线在同一直线上。

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。根据公理 1, 作用于二力构件的两个力一定沿着两作用点的连线且等值反向, 而与刚体的形状无关, 如图 1-3 所示。

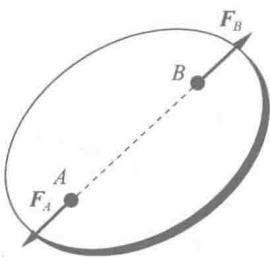


图 1-2

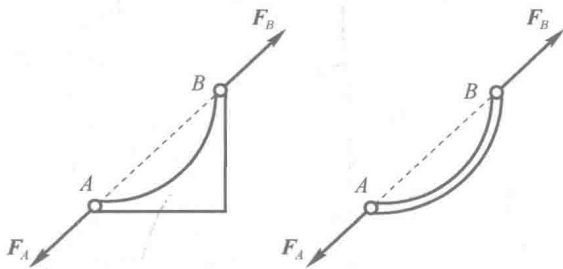


图 1-3

公理 2 (加减平衡力系公理) 在作用于刚体的任意力系上增加或减少任意平衡力系, 不改变原力系对刚体的效应。

公理 2 揭示了任何平衡力系均不能改变刚体的运动状态, 平衡力系可变大也可变小, 这有利于力系的简化, 是研究力系等效替换的重要依据。

推论 1 (力的可传性原理) 作用于刚体上的力, 可以沿着其作用线移至刚体内任意一点, 而不改变该力对刚体的作用效应。

证明: 设力 $\mathbf{F}$ 作用于刚体的 A 点 (图 1-4), 在其作用线上任取一点 B , 根据公理 2 可在 B 点加上一对平衡力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$, 而且满足 $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 = \mathbf{F}$ 时, 并不改变原来力 $\mathbf{F}$ 对刚体的作用效应。又根据公理 1 知 $\mathbf{F}$ 与 $\mathbf{F}_2$ 相互平衡, 属于平衡力系, 可以应用公理 2 将其去除。这样就仅余下作用于刚体 B 点的力 $\mathbf{F}_1$ 了, 它与原来作用于 A 点的力 $\mathbf{F}$ 等效。

可见在作用于刚体上的力的三个要素中, 作用点这一要素并不重要, 常用作用线表示。力可以沿着其作用线在刚体上任意移动, 并不改变该力对刚体的作用效应。这种矢量称为滑动矢量。需要注意的是, 力的可传性只限于在力所作用的刚体内沿力作用线滑动, 而不能由一个刚体移至另一个刚体, 因为这意味着改变力的作用对象。

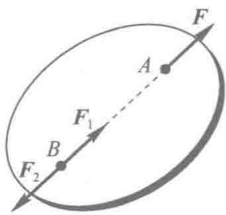


图 1-4