



21世纪机电专业规划教材

理论力学

主编 张洪霞 张玉贤

主审 王俊发



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

031/148

2008

 21 世纪机电专业规划教材

理论力学

主 编	张洪霞	张玉贤	
副主编	陈 振	魏天路	刘明亮
	王艳凤	张耀宇	
主 审	王俊发		

哈尔滨工业大学出版社

内容简介

本书是 21 世纪机电专业规划教材。字数较少,内容深浅适宜,全书简明、易学。

全书内容根据理论力学课程的基本要求,分静力学、运动学和动力学三篇共 14 章:静力学基础、平面基本力系、平面任意力系、空间力系、点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动、质点动力学基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理。

本书适用于普通高等工科、高等职业院校的相关专业,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/张洪霞等主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-5603-2611-5

I. 理… II. 张… III. 理论力学 - 高等学校 - 教材
IV. O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 164395 号

责任编辑 许雅莹

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 10 字数 231 千字

版 次 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2611-5

印 数 1 ~ 5 000 册

定 价 21.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

21 世纪机电专业规划教材

编写委员会名单

主 任 魏天路

编 委 (按姓氏笔画排序)

于淑芳	王 冬	王俊发	王艳凤
刘力强	刘建军	刘明亮	刘新柱
孙红旗	朱向东	阮世鑫	张玉贤
张连军	张洪霞	张耀宇	李 东
李玉清	李亚芹	李 伟	李宪芝
李春玉	李清臣	杨 海	杨 康
陈永波	陈 振	姜永成	赵占鳌
赵玉冰	高士杰	黄嘉宁	黄 燕
董晓威	潘 锲	鞠红香	

总 序

“机电一体化”技术就是加工制造业为了适应现代生产环境及市场的动态变化,将微电子技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术综合应用于制造加工生产全过程的一批高新复合技术群。21 世纪中国将需要一大批掌握先进控制技术,能从事数控机床、加工中心、智能机器人以及其他新型机电一体化技术和产品的设计、安装、调试、操纵、编程与开发的高级复合应用型创新技术人才。按照人事部最新统计预测,“机电一体化”专业技术人才是我国今后几年急需紧缺的八大最热门专业人才之一。因此,加大机电专业的学科建设和人才培养迫在眉睫。

目前的机电专业呈现出两大特点:首先是机电专业的技术知识发展迅速。由于激光技术、模糊技术和信息技术的融入,使机电专业的知识领域向周围各领域扩展,形成许多新的边缘科学知识。其次是对专业技术能力的要求不断提高。

本系列教材从培养学生的技术应用能力、自我学习能力和实践能力出发,贯彻现代教育思想,遵循理论为技术应用服务的原则,突出专业教育特点,进行有效的课程整合,结合实践教学的条件积极编写教材,以适应教学模式,由现在的理论教学型向边教学、边实践工学结合型的施教模式转化。教材编写过程中,得到了各院校领导及一线教师的大力支持,在此一并表示感谢。

由于稿件编写时间有限,以及编者对知识的把握程度有限,所以,书中难免有所疏漏,敬请读者给予批评指正。

教材编委会
2007 年 7 月

前 言

本书是 21 世纪机电专业规划教材。

本教材根据培养应用型人才的教学需要,结合目前学生状况,以及培养人才的规格,由多所学校的具有丰富教学实践经验的教师联合编写。本书字数较少,内容深浅适宜,全书简明、易学;结合工程实际的应用,着重于学生的实际能力的培养,突出理论与实践相结合。

本书保留了“静力学 - 运动学 - 动力学”的理论力学教学体系,这个体系是符合学生的认识规律的;在介绍理论力学基本概念时,以矢量代数作为工具,描述简捷,易于掌握;从一般到特殊引入理论力学的基本概念、基本理论和基本方法,易于学生全面掌握;精选的例题结合实际,抓住问题的实质与特点作精练的讲述,易于读者了解问题的全貌,将理论应用到实际中;贯穿全书的思考题和习题难度适中,使学生加深对理论的理解,启迪智慧。

本书由黑龙江八一农垦大学张洪霞和黑龙江农垦农业职业技术学院张玉贤任主编,佳木斯大学陈振、魏天路和刘明亮、辽宁机电职业技术学院王艳凤、平顶山学院张耀宇任副主编。绪论及第 1、2、3 章由黑龙江八一农垦大学张洪霞编写,第 4 章由平顶山学院张耀宇编写,第 5、6、7、8 章由黑龙江农垦农业职业技术学院张玉贤编写,第 9、10 章由佳木斯大学陈振编写,第 11、12 章由佳木斯大学魏天路编写,第 13 章由佳木斯大学刘明亮编写,第 14 章由辽宁机电职业技术学院王艳凤编写,全书由张洪霞统稿。由佳木斯大学王俊发老师担任主审工作,王俊发老师对本书进行了认真审查,并提出了一些宝贵的修改意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2007 年 7 月

目 录

绪 论	1
-----	---

第 1 篇 静力学

第 1 章 静力学基础	4
1.1 静力学基本概念	4
1.2 静力学公理	5
1.3 约束和约束反力	8
1.4 物体的受力分析和受力图	12
习题	15
第 2 章 平面基本力系	17
2.1 汇交力系的合成	17
2.2 平面力对点之矩的概念及计算	19
2.3 平面力偶理论	20
习题	23
第 3 章 平面任意力系	25
3.1 平面力系向一点简化	25
3.2 力系简化的各种结果分析	27
3.3 平面任意力系的平衡条件及平衡方程	28
3.4 刚体系统的平衡、静定和静不定问题	30
3.5 摩擦	33
习题	38
第 4 章 空间力系	40
4.1 空间汇交力系	40
4.2 力矩	42
4.3 空间力系向一点的简化 主矢和主矩	45
4.4 空间任意力系的平衡条件和平衡方程	47
4.5 物体的重心	49
习题	55

第 2 篇 运动学

第 5 章 点的运动	58
5.1 矢量法	58
5.2 直角坐标法	59

理论力学

5.3 自然坐标法	61
习题	65
第6章 刚体的基本运动	67
6.1 刚体的平行移动	67
6.2 刚体的定轴转动	69
习题	72
第7章 点的合成运动	74
7.1 点的合成运动的基本概念	74
7.2 点的速度合成	75
7.3 点的加速度合成	76
习题	81
第8章 刚体的平面运动	83
8.1 刚体的平面运动及其分解与合成	83
8.2 平面图形内各点的速度	85
8.3 平面图形内各点的加速度	90
习题	92

第3篇 动力学

第9章 质点动力学基本方程	95
9.1 动力学基本定律	95
9.2 质点运动微分方程	96
9.3 质点动力学的两类基本问题	96
习题	101
第10章 动量定理	104
10.1 动量和冲量	104
10.2 动量定理	105
习题	108
第11章 动量矩定理	110
11.1 质点及质点系的动量矩	110
11.2 动量矩定理	112
11.3 刚体对轴的转动惯量	115
11.4 刚体的定轴转动微分方程	118
习题	120
第12章 动能定理	122
12.1 力的功	122
12.2 动能	125
12.3 动能定理	126
习题	128

第 13 章 达朗贝尔原理	131
13.1 惯性力及其力系的简化	131
13.2 达朗贝尔原理	133
习题	136
第 14 章 虚位移原理	138
14.1 约束 自由度 广义坐标	138
14.2 虚位移及虚位移原理	140
习题	146
参考文献	148

绪 论

1. 理论力学的内容和研究对象

自然界中所有的物质都处在不断地运动之中。物质运动的形式是多种多样的,例如,物体在空间的位移、变形、发热、电磁现象以及人类思维、生命的兴衰等现象都是物质运动的形态。运动是物质存在的形式和固有属性。在各种各样的运动形态中,机械运动是最简单、最普遍的一种。机械运动就是物体在空间的位置随时间而变化的运动形态。机器的运转、车辆的行驶、河水的流动、飞机火箭的飞行、天体的运动等都属于机械运动。在物质高级和复杂的运动形式中,通常包含或伴随着机械运动。因此,研究机械运动不仅揭示自然界各种机械运动的规律,而且还是研究物质其他运动形式的基础,这就决定了理论力学在自然科学研究中所处的重要的基础地位。理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

每一门学科的研究体系,都有它的局限性。理论力学的研究体系是以伽利略和牛顿总结的物体机械运动的基本定律为基础,在 15~17 世纪中逐步形成、完善和发展起来的,因此这门学科仅适用于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。“古典”是相对于近代出现和发展起来的相对论力学和量子力学而言的。相对论力学研究物体速度可与光速相比较的运动;量子力学研究微观粒子的运动。由于在一般工程实际中,我们碰到的绝大多数是宏观物体,其运动速度远小于光速,所以解决这类物体机械运动中的力学问题,必须采用古典力学的原理。也就是说,古典力学在现代工程技术中仍具有十分重要的价值和现实意义。

研究物体的机械运动,必然要研究机械运动的基本形式及其传递和变换的规律,从而不可避免地要研究机械运动的传递和变换中物体相互之间的作用——力,所以理论力学的研究内容与力分不开。按照对问题的理解和认识特点,理论力学的内容一般分为静力学、运动学和动力学三个部分。静力学研究力的基本性质、力系的简化方法及力系平衡的理论;运动学从几何角度研究物体机械运动的规律,不考虑引起运动的原因;动力学研究物体机械运动与作用于物体上的力之间的关系。

2. 理论力学的研究方法

理论力学的研究方法与任何一门科学的研究方法一样,都必须遵循认识过程的客观规律,符合自然辩证法的认识论。理论力学是在人类对自然的长期观察、实验以及生产活动中获得的经验与材料进行分析、综合、归纳、总结的过程中逐步形成和发展的。

观察和实验是理论力学发展的基础。理论力学的基本概念和基本定律的建立正是以对自然的直接观察和生产生活中取得的经验为出发点并系统组织实验,从观察和实验的复杂现象中,抓住主要的因素和特征,去掉次要的、局部的和偶然的因素,深入现象的本质,找到事物的内在联系,从感觉经验上升到理性认识,总结出普遍规律性的东西,并经过数学演绎和逻辑推理而形成理论。

理论力学

在具体的学习过程中,要注意以下几点。

(1)正确理解有关力学概念的来源、含义和用途及有关理论公式推导的根据和关键步骤,公式的物理意义及应用条件和范围;理论力学分析和解决问题的方法;各章节的主要内容和要点;各章节在内容和分析问题的方法上的区别和联系。

(2)理论力学基本概念的理解和理论应用能力是通过大量习题的求解逐步加深和提高的,因此,在学习中必须要做一定量的习题。

(3)温故而知新,及时复习和常做小结。

3. 学习理论力学的目的

理论力学和其他学科一样,是随着人类社会的发展和生产发展的需要逐步形成和发展起来的。工程实践是理论力学形成的基础,而力学理论与工程实践经验的结合,又使各种工程逐渐由经验发展成为与之相关的科学,并进而指导和促进工程的发展与进步。以建筑结构的学科为例来看,人类社会的发展,必然形成对建筑结构不断的、新的需求,而要满足这些需求,就必须有新的材料、新的机械设备以及能源技术作为保证,这些都与力学息息相关,因而促进了理论力学的发展和其他力学学科分支(诸如材料力学、结构力学、流体力学、连续介质力学、弹性力学、计算力学等)的形成和发展。安全可靠、经济合理、造型精美,是人们对建造工程设施的追求,无论历史上还是现代的优秀建筑结构,无一不体现着力与美的和谐与统一。其中安全性的保证,就取决于对结构正确的受力分析和计算,对材料力学性能的正确认识和使用。因此要成为一名合格的工程技术人员,在学习专业知识的过程中,必须学习力学知识,它是学习其他专业课程必须具备的基础。理论力学作为一门理论性较强的技术基础课,又是基础的基础。学习理论力学课程,主要有以下目的。

(1)日常生活和工程实际中的机械运动现象十分普遍,学习理论力学,掌握机械运动规律,对提高工程技术人员的科学素质是必不可少的。这一方面可以为解决较复杂的工程实际问题打下一定的基础;另一方面也可以直接应用理论力学的理论解决一些较简单的工程问题。

(2)作为一门理论性较强的技术基础课,在工程类专业的课程中,它是材料力学、弹性力学、结构力学、振动理论、土力学及地基基础、钢结构、建筑结构抗震等一系列课程的基础,是学好这些课程的基本保证。

(3)理论力学的研究方法与其他学科的研究方法有许多相通之处,充分理解理论力学的研究方法,不仅可以深入掌握这门学科,而且有助于后续其他学科内容的学习。同时,因为理论力学具有研究内容涉及面广,系统性和逻辑性强,既抽象又联系实际等特点,所以通过这门课的学习,对培养辩证唯物主义的世界观,培养逻辑思维能力、抽象化能力、正确分析和解决问题的能力都有十分重要的作用。

第1篇 静力学

静力学研究作用于物体力系的平衡。

力系是指作用于物体上的一组力;平衡是物体机械运动的一种特殊情况。因为物体机械运动的传递和变换是通过物体间的相互作用力来实现的,所以作为理论力学的首篇,静力学首先建立理论力学中最重要的概念——力,并研究力的性质,在此基础上进一步研究物体和物体系统平衡时作用力之间的平衡条件。

在静力学中,主要研究以下3个问题。

(1) 物体的受力分析

分析某个物体共受几个力,以及每个力的大小、方向和作用位置。

(2) 力系的等效替换或简化

将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替,这两个力系互为等效力系。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系,则称为力系的简化。

研究力系等效替换并不限于分析静力学的问题,力学中关于力的概念、有关的分析理论和分析方法,在动力学部分的研究中还将用到,所以它也是研究运动学和动力学内容的基础。同时,静力学的内容也是后续的材料力学、结构力学等课程的重要基础。

(3) 建立各种力系的平衡条件

研究物体处于平衡状态时,作用在物体上的各个力所满足的条件。

工程上常见的力系,按其作用线位置分为平面力系和空间力系;按其作用线的相互关系,分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系。不同力系的平衡条件各有其不同的特点。满足平衡条件的力系称为平衡力系。

力系的平衡条件在工程中具有十分重要的意义,是设计结构、构件和机械零件时静力计算的基础。由于建筑结构及其相关设施多数首先是作为静止物体受平衡力系作用来处理的,所以静力学在工程技术中有着广泛的应用。

第 1 章 静力学基础

1.1 静力学基本概念

在学习和工程实际中,常常要接触到一些十分重要的概念。本节首先介绍几个最常用又十分重要的静力学基本概念,包括它们的名称定义、主要特征、表达方式、计算方法、单位等。而这些概念的基本性质,将在后面的有关章节详细介绍。

1.1.1 力的概念

力是力学中一个极为重要的基本概念。它产生于生产实践,并经过人们对感性认识加以概括和改造,提高到理性认识而形成的科学概念。

力是物体间的相互机械作用,其效应是使被作用物体的运动状态发生变化,同时使物体产生变形。力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应或运动效应;力使物体产生变形的效应称为力的内效应或变形效应。因为静力学只限于研究刚体,不考虑物体的变形,所以只涉及力的外效应,力的内效应将在材料力学等学科中研究。

物体间的相互作用力,一般分为两类:一类是由于两个物体相互接触而产生的力,如拉力、压力、摩擦力等;另一类是由于物体和场之间相互作用产生的力,如重力、电场力、电磁力等。在做受力分析的时候,必须注意区分施力物体和受力物体。

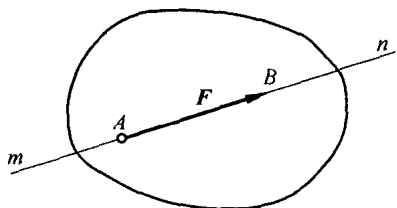


图 1.1

力对物体作用的效应取决于力的大小、方向和作用点,通常称为力的三要素。需要特别指出的是:

力的方向包括方位和指向两个要素。由于力的大小和方向具有矢量的特征,力的合成又服从矢量合成规则,所以力是一种矢量。力矢量在印刷时常用黑体字母表示,如图 1.1 所示,而力的大小则用普通字母表示。在书写中,由于写不出黑体字,常在字母的上方加一个箭头,以示该字母表示一个矢量,例如 $\vec{F}$ 。表示力矢量与仅表示力的大小是不同的,这点初学者很容易混淆,需要特别注意。

力的单位在国际单位制(SI)中是个有专门名称的导出单位,用 N(中文符号为牛,单位名称为牛顿)或 kN(中文符号为千牛,单位名称为千牛顿)表示, $1 \text{ kN} = 1\,000 \text{ N}$ 。

同时作用于物体上的若干个力称为力系。若两个力系分别作用于同一物体而效果相同,则称这两个力系为等效力系或互等力系。如果一个力与一个力系等效,则称该力为此力系的合力,而此力系中的各力称为合力的分力。求力系的合力称为力的合成;将一个力分解成两个或两个以上的分力,称为力的分解。若一个力系对物体作用后,并不改变物体原有的运动状态,则该力系称为平衡力系。平衡力系的外效应为零。

1.1.2 刚体的概念

刚体是指在力作用下不变形(即任意两点间的距离保持不变)的物体。显然,现实中并无刚体存在。这里所说的刚体,只是实际物体在一定条件下抽象的力学模型。

任何物体受力后或多或少都会发生变形。但有许多物体受力后变形十分微小,对静力学研究的问题,忽略变形不会对研究的结果产生显著的影响,却能使问题的研究大大简化。在这种情况下,把实际的物体抽象为刚体,是合理的,也是必要的。如桥梁问题,在计算承载时可视为刚体,在计算振动或温度的影响时就要视为变形体。由此可见,一个物体能否简化为刚体,应看在所研究的问题中,物体的变形(即使是很微小)是否起主要作用,而不应把刚体的概念绝对化。

理论力学中,主要研究力的外效应,此时微小变形在整体上对结果的影响可以忽略,所以将研究的物体都抽象为刚体,故又称刚体静力学,它是研究变形体力学的基础。

1.2 静力学公理

理论力学的研究方法,其特点之一就是将在观察和实验等实践过程中经反复验证的正确结果,提炼成具有普遍意义的公理。公理就是指符合客观实际,不能用更简单的原理去代替,也无需证明而为大家所公认的普遍规律。下面将要介绍的静力学公理,是人们关于力的基本性质的概括和总结,它们构成了静力学全部理论的基础,静力学的所有定理都是借助数学工具,从这些公理中推导出来的。学习时不要求去重复理解这些公理的形成过程,但是理解、掌握和熟练应用这些公理,对于学好理论力学却是十分重要的。

1. 二力平衡公理

刚体受两个力的作用而处于平衡,其充分必要条件是:此二力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。

满足此条件且作用于同一物体上的两个力,是一个最简单的平衡力系。二力平衡条件对于刚体是必要和充分条件,而对于非刚体,该条件只是平衡的必要条件而非充分条件。

工程上,常遇到只有两点受力而处于平衡的构件,称为二力构件或二力杆,如图1.2(a)、(b)中所示(不计自重)。不论构件的几何形状如何,只要符合二力平衡条件,就可按二力构件来处理。掌握了二力构件的这种受力特征,对物体进行受力分析是很有用的。

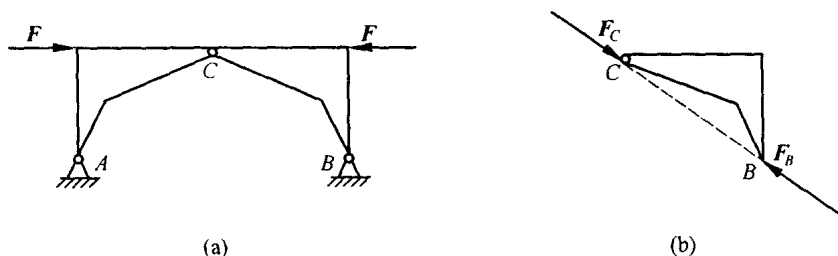


图 1.2

理论力学

2. 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,其大小和方向由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示。

平行四边形公理表述的法则,实际是一般矢量合成的法则。因为力是矢量,所以求合力也就是求力系矢量的矢量和。此公理给出了进行力系合成的理论依据,对多个力相交于一点的力系也可以用这一法则进行合成。图 1.3 所示是平行四边形公理所描述的两个共点力合成的几何关系。由图可以看出,求两个共点力的合力时,只要作出力的平行四边形的一半就可以了。具体做法如图 1.3(c) 所示:从任选 a 点画 ac 表示力矢 F_1 ,再从其末端 c 点起画 cd 表示力矢 F_2 ,则 ad 即表示合力矢 F_R 。至于先画 F_1 还是先画 F_2 ,这种作图的先后顺序不影响合成的最终结果,如图 1.3(d) 是先画 F_2 ,再画 F_1 ,所得最终合力与图 1.3(c) 所得最终合力完全相同。三角形 acd 或 abd 称为力三角形,这种求两个共点力合力的方法称为力的三角形法则。为了使图形清晰可见,分析时常把力三角形画在力所作用的物体之外。这样,按力三角形法则只是求出合力的大小和方向,其作用线实际应通过这两个力的作用点。

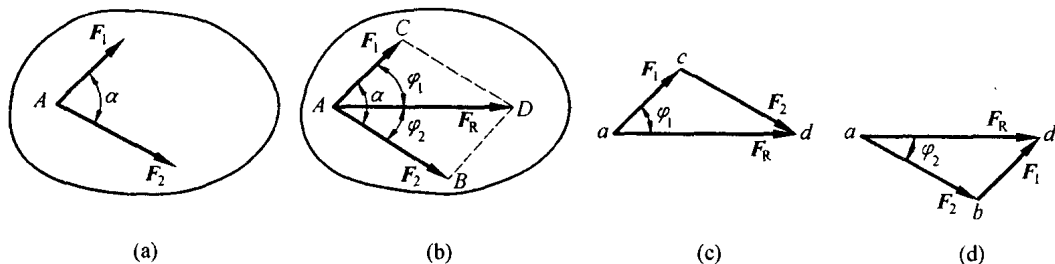


图 1.3

其数学表达式为

$$F_R = F_1 + F_2$$

要注意,这是一个矢量等式。

平行四边形公理还表明:作用于同一点上的两个力 F_1 和 F_2 对物体的作用可由其合力 F_R 等效替代。反之,根据此公理也可以将一个力分解为作用于同一点的两个分力。由于同一对角线可以画出无穷多个不同的平行四边形,所以若不附加任何条件,这种分解的结果是不定的。要使分解的力大小或方向确定,必须附加足够的条件。通常遇到的具体问题是将一个力分解为方向已知的两个分力,特别是分解为方向互相垂直的两个力,这种分解称为正交分解,所得的两分力称为正交分力。

3. 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。就是说,如果两个力系只相差一个或几个平衡力系,则它们对刚体的作用是相同的,因此可以等效替换。这个公理是研究力系等效变换的重要依据。

根据上述公理可以导出如下推理。

推理一 力的可传性

作用于刚体的二力,若矢量相等,且其作用线重合,则它们各自对刚体的单独作用效

应完全相同。

这一性质说明,作用于刚体的力,其作用点沿其作用线移动,只要不改变其大小和方向,则不会改变它对刚体的作用效应。所以这一性质称为力的可传性。

设某一刚体按图 1.4(a)、(b)、(c)3 种情况分别受力 (F_1) 、 $(F_1 \ F_2 \ F_3)$ 和 (F_3) ,且 $F_1 = F_3 = -F_2$,其中 F_1 和 F_3 即为作用线重合、矢量相等的二力。下面我们证明它们对刚体的作用必等效。

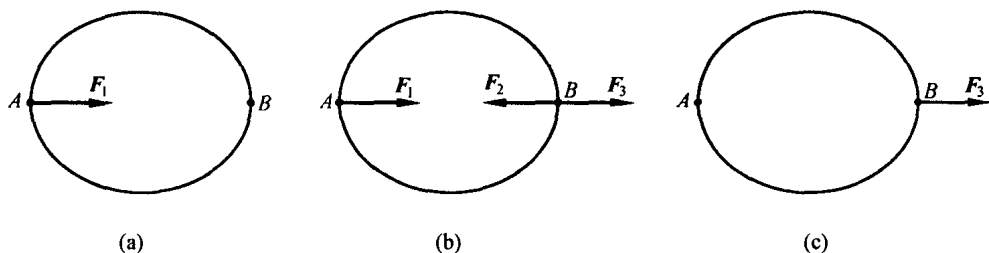


图 1.4

根据二力平衡公理,显然, $(F_2 \ F_3)$ 和 $(F_1 \ F_2)$ 均为平衡力系,故图 1.4(a)和 1.4(c)的受力可视为图 1.4(b)的受力分别减去平衡力系 $(F_2 \ F_3)$ 和 $(F_1 \ F_2)$ 的结果。根据加减平衡力系公理可知,力 F_1 和 F_3 分别与力系 $(F_1 \ F_2 \ F_3)$ 等效,所以, F_1 和 F_3 这两个矢量相等、作用线重合的力对刚体的作用完全等效。

正是力的可传性,使力的三要素中力的作用点可由力的作用线而代。

推理二 三力平衡汇交定理

作用于刚体上的三个力使刚体处于平衡时,若其中二力的作用线相交,则第三力的作用线也必交于同一点,且与此二力必共面。

证明如下:

设力系 $(F_1 \ F_2 \ F_3)$ 三力为平衡力系,且 F_1 和 F_2 的作用线相交于 O 点,如图1.5所示。根据力的平行四边形公理, F_1 和 F_2 存在一合力 F ,则 F 和 F_3 必为一平衡力系。根据二力平衡公理, F 和 F_3 必共线。又因 F 与 F_1 和 F_2 共面,且相交于点 O ,故 F_3 也与 F_1 、 F_2 共面,并交于点 O ,证明完毕。

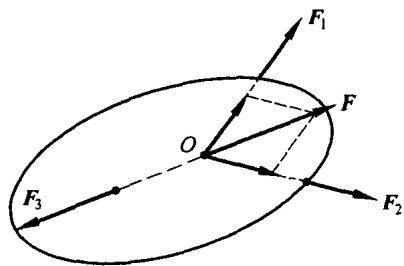


图 1.5

4. 作用和反作用公理

两物体间相互作用的力总是同时存在,大小相等,方向相反,沿同一直线,分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了自然界中物体间相互作用力的关系,表明一切力总是成对出现在两个相互作用的物体之间。根据这个公理,已知作用力则可得知反作用力。这个公理是分析物体及物体系统受力时必须遵循的原则。

必须注意,作用力与反作用力虽然等值反向共线,但却是分别作用在两个物体上的,因此不是一对平衡力,不要与公理一混淆。此公理的理解不困难,但在具体问题的分析中,要能正确判断哪两个力之间是作用力与反作用力的关系。

5. 刚化原理

已知变形体在某力系作用下处于平衡,如将此变形体刚化为刚体,其平衡状态保持不变。

将一个变形体变成大小和形状完全相同的刚体,称为这个变形体的刚化,所以上述公理称为刚化原理或硬化原理。这个公理提供了把变形体抽象为刚体模型的条件,如一根绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将此绳索刚化为刚体,则平衡状态保持不变。而绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下则不能平衡,这时绳索就不能刚化成刚体。但是刚体在上述两种力系的作用下都是平衡的,因此,刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。

刚化原理建立了刚体静力学与变形体静力学之间的关系,同时也说明了刚体平衡规律的普遍意义,在刚体静力学的基础上,考虑变形体的特性可进一步研究变形体的平衡问题。

1.3 约束和约束反力

在力学问题的研究中,求未知力是重要内容之一,而在未知力中又以求解约束反力最多。了解约束的概念,掌握各种约束反力的特点,常是对物体进行正确受力分析的关键。本节介绍约束的概念、各种常见的理想约束及其相应约束反力的特点,包括它们的作用位置、方位和指向的确定等,为进一步对物体进行受力分析和计算打下基础。

凡是可能在空间具有任意位移的物体,称为**自由体**。凡位移受到限制的物体,称为**非自由体**。在空中飞行的飞机等是自由体,着陆时沿跑道滑行的飞机则是非自由体,工程结构的构件或机械的零件都是非自由体。

非自由体之所以不可能在空间具有任意的运动,是由于它们总是以某种形式与周围其他物体相联系,使其某些位移受到周围这些物体的限制。着陆的飞机只能沿跑道滑行才能安全停下来。对飞机而言,跑道对飞机的滑行起到了限制作用;车床主轴与轴承相联系,对主轴而言,轴承限制了它的移动而只能转动。在力学中,将限制物体某些位移的其他物体称为**约束**。对飞机而言,跑道是约束;对车床主轴而言,轴承是约束。

对常见的约束,一般分为几何约束和运动约束。对于运动约束的研究及应用,将在运动学及动力学中涉及。在静力学中,仅涉及几何约束的问题。仅限制物体几何位置的约束称为**几何约束**。由上述各例可知,几何约束对物体所加的限制是通过相互接触而实现的。力是物体间相互的机械作用,当物体的某些位移(线位移或角位移)被约束阻止,则约束必承受此物体对它的作用(力或力偶)。根据作用与反作用定律,此约束必然也给予物体以反作用(反作用力或反作用力偶)。由此可见,几何约束的效果可以用力来代替,也就是说,几何约束给予被约束物体的反作用力,称为**约束反力**,简称**约反力**。停在机坪上的飞机,对飞机而言,机坪是约束,它阻止飞机向下的运动,因而,机坪给飞机的约束反力向上。一般地,约束反力的方向与该约束所能够阻碍的位移方向相反,这是确定约束反力的一般原则,而约束反力的大小则由物体的平衡方程求出。求约束反力大小的问题将在后续章节介绍。