



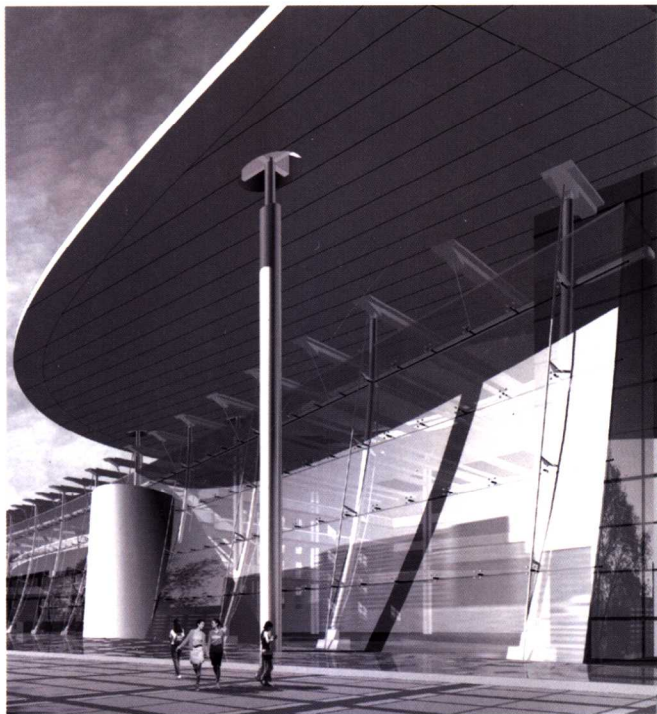
新世纪高职高专土建类系列教材

理论力学

L I L U N L I X U E

沈养中 李永年 主 编

韩文仲 李维安 副主编



科学出版社

新世纪高职高专土建类系列教材

理 论 力 学

沈养中 李永年 主 编
韩文仲 李维安 副主编

科 学 出 版 社

2001

内 容 简 介

本书是《新世纪高职高专土建类系列教材》之一,是依据教育部制定的高职高专土建类专业力学课程教学基本要求编写的。本书着力体现当前高职高专教学改革的特点,突出针对性、适用性和实用性。编写时注意精选内容,简化公式推导,理论联系实际,注重工程应用;注意文字简洁,叙述深入浅出,通俗易懂,图文配合紧密。全书共分十二章,内容包括:绪论、静力学基本概念、物体的受力分析与受力图、平面力系、空间力系、点的运动、刚体的基本运动、刚体的平面运动、质点及刚体的运动微分方程、动能定理、达朗伯原理、虚位移原理。主要章后有思考题、习题,并附习题答案。

本书可供高等学校、高等专科学校、成人高校及本科院校所属的二级职业技术学院和民办高校的土建类专业力学课程作为教材,也可作为多学时近土类专业的力学教材和有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/沈养中,李永年主编. -北京:科学出版社,2001
(新世纪高职高专土建类系列教材)
ISBN 7-03-009493-X

I. 理… II. ①沈… ②李… III. 理论力学-高等学校:技术学校-教材
IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 067581 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 11 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2001 年 11 月第一次印刷 印张:12 $\frac{3}{4}$

印数:1—5 000 字数:242 000

定价:17.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

《新世纪高职高专土建类系列教材》

编 委 会

主任委员 沈养中

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

王志军 邓庆阳 司马玉洲 李继业

李维安 董 平 童安齐

委 员 (以姓氏笔画为序)

王长永 王振武 石 静 史书阁

付玉辉 田云阁 刘正保 刘念华

李洪岐 李树枫 肖 翥 陈守兰

张力庭 张丽华 张献奇 孟胜国

郝延锦 郭玉起 袁雪峰

出版说明

当前,高职高专教育中土建类及其相关专业已成为各高职高专学校的主要专业之一,专业人数不断扩大,教学要求越来越高,以往出版的教材已难以满足教学需要。为了促进高职高专教学改革,加强高职高专教材建设,我们组织了《新世纪高职高专土建类系列教材》。与同类教材相比,本套教材有以下几个显著特点:

1. 针对性强,适合高职高专的培养目标;
2. 吸收了我国近10年来教学改革的阶段性成果,并以我国现行建筑行业的最新政策、法规为依据;
3. 内容更新,重点突出,注意整体的逻辑性、连贯性,具有适用性、实用性。

参加本套教材编写的主要单位有:邢台职业技术学院、河北工程技术高等专科学校、山东农业大学土木工程学院、华北矿业高等专科学校、华北航天工业学院、山西阳泉煤炭专科学校、南阳理工学院。

由于时间仓促,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

《新世纪高职高专土建类
系列教材》编委会
2001年8月

前 言

本书是《新世纪高职高专土建类系列教材》之一,依据教育部制定的高职高专土建类专业力学课程教学基本要求而编写。

本书为建筑力学之一,它与材料力学(建筑力学之二)、结构力学(建筑力学之三)、工程结构有限元计算(建筑力学之四)在内容上融合贯通,有机地连成一体,构成高职高专土建类专业配套的力学课程教材。本教材着力体现当前高职高专教学改革的特点,突出针对性、适用性和实用性。编写时注意精选内容,简化公式推导,理论联系实际,注重工程应用,以及文字简洁、深入浅出、通俗易懂,图文配合紧密。

参加本书编写工作的有河北工程技术高等专科学校沈养中(第十一章)、张翠英(第十二章),华北航天工业学院李永年(第六、七、八章)、韩文仲(第一、二、三章)、刘卫、徐景满(第四章)、胡志勇(第五章),华北矿业高等专科学校李维安(第九、十章)。全书由沈养中、李永年统稿。全书由青岛化工学院张文教授主审。

在本书的编写过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

目 录

出版说明

前言

第一章 绪论	1
1.1 理论力学的研究对象	1
1.2 理论力学的研究内容	1
1.3 理论力学的研究方法	2
1.4 学习理论力学的目的	3

第一篇 静力学

第二章 静力学的基本概念	4
2.1 刚体和力的概念	4
2.2 静力学公理	6
2.3 平面内力对点之矩	8
2.4 力偶的概念及性质	10
思考题	11
习题	12
第三章 物体的受力分析与受力图	13
3.1 物体的约束及约束反力	13
3.2 物体的受力分析与受力图	16
思考题	19
习题	20
第四章 平面力系	23
4.1 平面汇交力系的合成与平衡	23
4.2 平面力偶系的合成与平衡	31
4.3 力的平移定理	33
4.4 平面一般力系向一点简化	34
4.5 平面一般力系的平衡方程及其应用	37
4.6 物体系统的平衡问题	43
4.7 考虑摩擦时的平衡问题	46
思考题	52
习题	53

第五章 空间力系	60
5.1 力在空间直角坐标轴上的投影及其计算	60
5.2 力对轴之矩及其计算	61
5.3 空间力系的平衡条件及其应用	64
5.4 重心	68
思考题	76
习题	76

第二篇 运动学

第六章 点的运动	80
6.1 描述点运动的矢径法	80
6.2 描述点运动的直角坐标法	82
6.3 描述点运动的自然法	85
思考题	89
习题	89
第七章 刚体的基本运动	91
7.1 刚体的平行移动	91
7.2 刚体的定轴转动	93
7.3 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	95
7.4 点的合成运动	98
思考题	100
习题	101
第八章 刚体的平面运动	104
8.1 刚体平面运动的概念及简化	104
8.2 刚体平面运动的运动方程及平面运动分解为平动和转动	105
8.3 平面图形上各点的速度	106
思考题	113
习题	114

第三篇 动力学

第九章 质点及刚体的运动微分方程	117
9.1 质点运动微分方程	117
9.2 刚体定轴转动微分方程	124
9.3 转动惯量及其计算	127
9.4 刚体平面运动微分方程	131
思考题	132

习题.....	133
第十章 动能定理	137
10.1 功的概念及计算.....	137
10.2 动能的概念及计算.....	143
10.3 动能定理.....	145
10.4 机械能守恒定律.....	150
思考题.....	154
习题.....	154
第十一章 达朗伯原理	158
11.1 惯性力的概念.....	158
11.2 达朗伯原理及动静法.....	159
11.3 刚体惯性力系的简化.....	161
思考题.....	167
习题.....	168
第十二章 虚位移原理	171
12.1 虚位移及虚功的概念.....	171
12.2 虚位移原理及其简单应用.....	176
思考题.....	182
习题.....	182
部分习题答案	186
参考文献	192

第一章 绪 论

本章介绍理论力学的研究对象、研究内容和研究方法,并指出土木工程专业学生学习理论力学的目的及其重要性。

1.1 理论力学的研究对象

运动是物质存在的形式,是物质的固有属性。自然界任何物质都以不同的形式不停地运动,从物体位置的变化到物质形态的改变,以至人类的思维活动都是运动的表现形式。物体在空间的位置随时间的改变,称为机械运动,它是人们日常生活和工程实际中最常见的运动,例如,汽车的行驶、机器的运转、水和空气的流动、建筑物的震动、宇宙飞船以至日月星球的运动都是机械运动,其他任何复杂的运动都与机械运动有着密切的联系。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。它研究的内容属于经典力学的范畴。经典力学是伽利略和牛顿在总结人类大量实践经验的基础上,经理论研究逐渐发展和完善,以牛顿三个基本定律为基础建立起来的。

近代科学技术的发展逐渐发现经典力学存在的局限性:它的理论适用于速度远小于光速的宏观物体的机械运动。速度接近光速的物体的运动和微观粒子的运动要分别用近代发展起来的相对论力学和量子力学研究。所谓经典力学就是相对于相对论力学和量子力学而言的。既然理论力学属于经典力学的范畴,它也就只研究日常生活和工程实际中所遇到的宏观物体的常速运动。

由于工程技术所研究的对象一般都是宏观物体,且其速度都远小于光速,所以,以经典力学为依据解决其有关的力学问题是足够精确的。因此,经典力学今天仍有很大的实用意义,并且在不断地发展。

任何运动都是相对的,理论力学所研究的物体机械运动,无特殊说明时一般都是相对地球而言的。物体的平衡是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态,它是机械运动的特殊情况,因而,也是理论力学研究的一部分内容,尤其对于土建、水利等专业还是很重要的内容。

1.2 理论力学的研究内容

理论力学的研究内容一般包括以下三个部分:

第一部分:静力学——研究受力物体的平衡规律,具体研究物体受力的分析方法,力系如何简化和受力物体平衡应满足的条件等。

第二部分:运动学——研究物体运动的时空特征,即只从几何的角度来研究如何描述和分析物体运动的特征与规律,而不涉及引起物体运动变化的原因。

第三部分:动力学——研究物体的运动与其所受作用力之间的关系。

1.3 理论力学的研究方法

理论力学与其他任何一门科学一样,它的研究方法也是遵循认识过程的客观规律的。概括地说,理论力学的研究方法是从观察、实践和科学实验出发,经过分析、综合和归纳总结出力学的最基本的概念和规律;在此基础上经过抽象建立力学模型,并从基本规律出发,用数学演绎和逻辑推理的方法,得出正确的具有物理意义和使用价值的定理和结论,这样就将从实践中得来的大量感性认识上升为理性认识,形成理论;然后再回到实践中去验证理论的正确性,并在更高的水平上指导实践,同时在实践中进一步补充、完善、发展理论。如此循环往复,不断向前发展。理论力学的这种研究方法从其理论体系的形成和发展过程可清晰地看出。

远在古代,人们就通过劳动所积累的经验开始创造一些简单的工具和机械,如滑轮、斜面、杠杆、水车等。在我国古代伟大学者墨翟(约公元前468~382年)所著的《墨经》中就有关于杠杆平衡原理的论述和力的概念的说明。古希腊自然科学家阿基米德(公元前287~212年)在他的著作《论比重》中建立了液体中浮体平衡等理论。这些都是从实践中总结出来的最基本的力学规律。

17世纪伽利略和牛顿在总结前人实践经验的基础上,又做了大量的实验和研究,从而建立了以牛顿三定律为代表的理论力学的理论基础。

18世纪和19世纪数学有了很大的发展,它为力学理论的逐渐完善提供了必要的条件。人们从基本力学规律出发,结合生产实践提出的问题,用数学演绎和逻辑推理的方法推进了力学向深度和广度的发展,例如,瑞士数学家伯努利(1667~1748年)提出了虚位移原理,法国科学家达朗伯(1717~1785年)提出了非自由质点动力学的普遍解法,即所谓的达朗伯原理。随后,法国数学力学家拉格朗日(1736~1813年)把虚位移原理与达朗伯原理结合起来,导出非自由质点系的运动微分方程,即著名的第二拉格朗日方程等,逐渐形成了理论严谨、体系完整的理论力学学科。

在此过程中,经过抽象化得出许多力学模型,例如在研究物体机械运动时忽略物体受力要变形的性质,得出刚体的模型;忽略摩擦对物体运动的影响,得出理想约束的模型;忽略物体的几何尺寸,得出质点的模型等。这些一方面简化了所研究的问题,另一方面也更深刻地反映了事物的本质。这种抽象化方法的运用在理论力学的研究中是十分普遍的,应用理论力学解决实际问题也离不开这种方法。

1.4 学习理论力学的目的

进入 20 世纪以来,随着科学技术和生产建设的发展,由于科学实验和工程实际的需要,力学模型越来越复杂,力学领域不断扩大,与其他学科交叉形成了许多力学的分支。尽管它们都有各自的理论体系,用于解决不同类型的问题,但理论力学的理论和方法仍是解决现代工程技术领域大量力学问题的基础,即使在一些尖端科学技术中仍然应用着其基本原理。对于与力学关系十分密切的土木工程专业,理论力学无疑是一门重要的技术基础课。它的特点是理论性较强,实用性也较强。学习理论力学的具体目的可概括如下:

1)为学习土木、建筑工程有关专业的一系列后续课程,如材料力学、结构力学、钢筋混凝土结构、土力学与地基基础等,提供必要的理论基础。

2)使学生掌握分析、处理工程实际问题的基本方法,培养学生分析解决实际问题的能力。因为有些工程问题,例如各种建筑结构的受力分析,可以直接应用理论力学的基本理论和方法去解决,有些比较复杂的问题的解决,往往也离不开理论力学的基本原理,所以学习理论力学能为将来解决工程实际问题打下坚实的基础。此外,学习理论力学必须完成一定数量的习题,这也是对学生解决实际问题能力的一种很好的训练。

3)学习理论力学还有助于培养学生科学的思维方法。在学习中充分理解理论力学从实践出发,经科学抽象、综合、归纳,建立力学模型,并经数学演绎、逻辑推理而得出结论,再通过实践来验证的研究方法,逐渐养成实事求是、科学严谨的工作态度,为将来从事科学技术工作打下良好的思想基础。

第一篇 静力学

静力学研究物体机械运动的特殊情况,即物体的平衡问题。所谓物体的平衡是指物体相对地球保持静止或匀速直线运动状态。

研究物体的平衡就是要研究物体在外力作用下平衡应满足的条件,以及如何应用这些条件解决工程实际问题。为此往往需要将作用于物体上较复杂的力系简化。所以,静力学主要是解决如下两个基本问题:1)力系的简化;2)力系的平衡条件及其应用。

静力学的理论和方法,特别是对物体进行受力分析和画受力图的方法是学习理论力学及后续许多课程的基础,在工程技术中也有广泛的应用。

第二章 静力学的基本概念

本章介绍刚体、力、平面内力对点之矩、力偶、力系等基本概念及静力学公理,为学习静力学打下必要的基础。

2.1 刚体和力的概念

2.1.1 刚体的概念

所谓刚体是指在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型。实际物体受力时,其内部各点间的相对距离都要发生改变,这种改变称为位移;各点位移累加的结果便导致物体的形状和尺寸的改变,这种改变称为变形。当物体的变形很小时,变形对物体的运动和平衡的影响甚微,因此,在研究物体的运动和平衡时,这种微小变形可以忽略不计,而将物体抽象为刚体。但当研究的问题与物体的变形密切相关时,即使是极其微小的变形也必须加以考虑,这时就必须将物体抽象为变形体这一力学模型。例如,在研究飞机的平衡问题或飞行规律时,我们可以把飞机视为刚体;但在研究机翼的振颤问题时,尽管机翼的变形非常小,都必须把它看作可以变形的物体。又如,建筑工地上常见的塔式吊车[图 2.1(a)],为使其具有足够的承载能力,对零部件及整体进行结构设计以确定其几何形状和尺寸时,就必须考虑其变形,不能把它们看作刚体。但是,为确保塔式吊车在各种工作状态下都不发生倾覆,计算所需的配重时,整个塔式吊车又可以视为刚体[图 2.1(b)]。

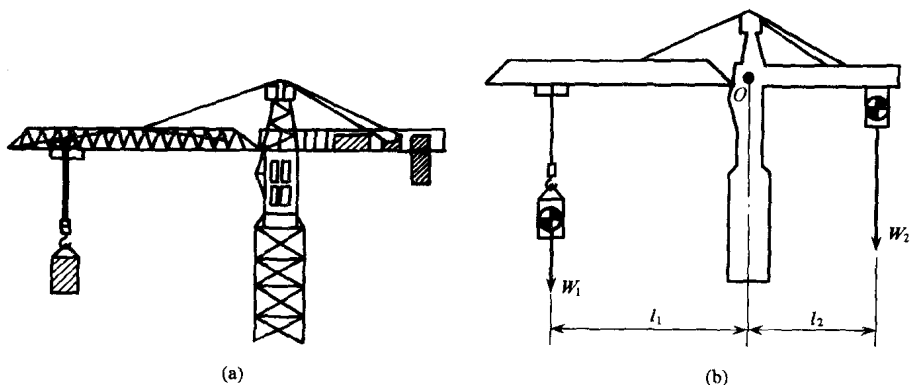


图 2.1

另外,当对某些工程结构进行设计计算时,若将其抽象为刚体,则问题可能无法解决,此时也必须考虑其变形,补充必要的条件,才能使问题得以解决。

理论力学中,静力学研究的物体只限于刚体,故又称为刚体静力学,它是研究变形体力学的基础。

2.1.2 力的概念

1. 力的概念

力的概念是从劳动中产生的。人们在生活和劳动中,由对肌肉紧张收缩的感觉,逐渐产生了对力的感性认识。随着生产的发展,又逐渐认识到:物体运动状态的改变和物体的变形,都是由于其他物体对该物体施加力的结果。这样,由感性到理性逐步建立了力的概念。

力是物体间的相互机械作用。这种作用,一般有两种情况。一种是通过物体间的直接接触产生的,例如机车牵引车厢的拉力、物体之间的压力、摩擦力和粘结力等就是这样。另一种是通过“场”,如地球引力场对物体产生的重力,电场对电荷产生的引力或斥力等对物体的作用。

2. 力的效应

力对物体的作用效果称为力的效应。力的效应可分为两类:一类是使物体运动状态发生变化,称为力的运动效应或外效应;另一类是使物体形状发生变化,称为力的变形效应或内效应。理论力学中把物体都视为刚体,因而只研究力的运动效应。

3. 力的三要素

大量实践证明,力对物体的效应取决于三个要素,即力的大小、力的方向、力的作用点,称之为力的三要素。

4. 集中力和分布力

作用于物体上某一点处的力称为集中力。对于集中力,我们可以用一个矢量来

表示(图 2.2)。该矢量的长度 AB 按一定比例尺绘出表示力的大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的始端(点 A)或终端(点 B)表示力的作用点;矢量 AB 所沿的直线(图 2.2 上的虚线)表示力的作用线。规定用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力的矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。在国际单位制(SI)中,力的单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)。

物体之间相互接触时,其接触处多数情况下并不是一个点,而是一个面。因此,无论是施力物体还是受力物体,其接触处所受的力都是作用在接触面上的,这种分布在一定面积上的力称为分布力。分布力的大小用力的集度表示,例如,水对容器壁的压力是作用在一定面积上的分布力,其大小用面积集度表示,单位为 N/m^2 或 kN/m^2 。分布在狭长面积或体积上的力可看作线分布力,其集度单位为 N/m 或 kN/m 。

图 2.3 表示在梁 AB 上沿长度方向作用着向下的均匀分布力,其集度 $q = 2\text{kN}/\text{m}$ 。

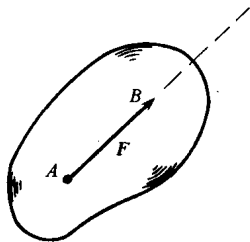


图 2.2

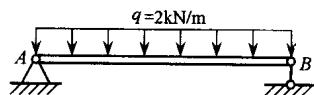


图 2.3

2.1.3 力系、平衡力系、等效力系、合力的概念

作用于一个物体上的若干个力称为力系。如果作用于物体上的力系使物体处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。如果作用于物体上的力系可以用另一个力系代替,而不改变原力系对物体所产生的效应,则称两个力系互为等效力系。如果一个力与一个力系等效,则称这个力为该力系的合力,而该力系中的每一个力称为合力的分力。

2.2 静力学公理

2.2.1 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的大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。例如,图 2.4 所示物体平衡的充要条件为

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2 \quad (2.1)$$

受两个力作用处于平衡的构件称为二力构件。

2.2.2 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系中,增加或减少任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。

根据上述公理可以导出如下结论:作用于刚体上的力可以沿其作用线移动到任意位置,而不改变力对刚体的效应。这一推论称为力的可传性原理。

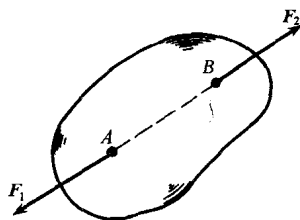


图 2.4

证明:设有力 F 作用于刚体上的 A 点[图 2.5(a)]。根据加减平衡力系公理,可在力的作用线上任取一点 B ,并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ,使 $F_2 = -F_1 = F$ [图 2.5(b)]。由于力 F 和 F_1 又组成一个平衡力系,故可以除去,这样只剩下了一个力 F_2 [图 2.5(c)]。这样就把原来作用于 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点,而且没有改变对刚体的效应。

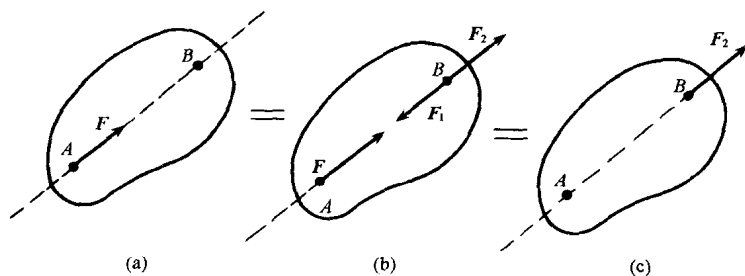


图 2.5

由上可知,对于刚体来说,力的作用点可以用力的作用线所代替。因此,作用于刚体上的力的三要素就成为力的大小、方向和作用线。这样,作用于刚体上的力不再是定位矢量,而是滑移矢量。

2.2.3 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,合力的大小和方向由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定(图 2.6)。其矢量表达式为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (2.2)$$

依据以上法则,可以推导出三力平衡汇交定理,即:如果刚体在三个力作用下处于平衡状态,若其中两个力的作用线汇交于一点,则第三个力的作用线也通过该汇交点,且此三力的作用线在同一平面内。

证明:设刚体在作用于 A 、 B 、 C 三点的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用下处于平衡状态(图 2.7)。设力 F_1 、 F_2 汇交,根据力的可传性原理,可将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O ,然后根据力的平行四边形法则,得合力 F_{12} 。则力 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于两个力平

衡必须共线,所以力 F_3 必通过力 F_1 与 F_2 的交点 O ,且与 F_1 和 F_2 共面。

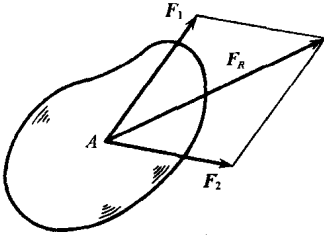


图 2.6

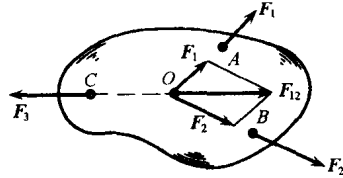


图 2.7

必须指出,三力平衡汇交定理给出的是不平行的三个力平衡的必要条件,而不是充分条件,即该定理的逆定理不一定成立。

2.2.4 作用和反作用定律

两物体之间的作用力和反作用力总是同时存在,而且两力的大小相等、方向相反、沿着同一直线,分别作用在两个物体上。

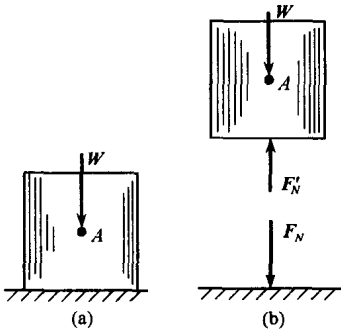


图 2.8

这个定律概括了物体间相互作用的关系,表明作用力和反作用力总是成对出现的。例如,物体 A 置于台面上[图 2.8(a)], A 对台面施加一个向下的作用力 F_N ,台面同时也对 A 施加一个反向作用力 F'_N , F'_N 与 F_N 大小相等、方向相反,是一对作用力和反作用力[图 2.8(b)]。应该注意,作用力与反作用力分别作用在两个物体上,它们不构成平衡力系。

2.3 平面内力对点之矩

力的运动效应分为移动效应和转动效应两种。经验告诉我们,力使刚体绕某轴转动的效应,不仅与力的大小及方向有关,而且与轴心到该力的作用线的距离有关。例如用扳手拧紧螺母时,扳手绕螺母中心 O 转动(图 2.9),如果手握扳手柄端,并沿垂直于手柄的方向施力,则较省劲;如果手离螺母中心较近,或者所施的力不垂直于手柄,则较费劲。拧松螺母时,则反向施力,扳手也反向转动。由此,我们引入平面内力对点之矩的概念,用以度量力使物体绕一点转动的效应。

平面内(图 2.10)力 F 对 O 点之矩是一个代数量,它的绝对值等于力的大小 F 与 O 点到力作用线的垂直距离 d 的乘积。 O 点称为矩心,矩心到力作用线的垂直距离 d 称为力臂。力矩的正负号表示转向,通常规定当力使物体绕矩心逆时针方向转动时为正,反之为负。力 F 对 O 点之矩用符号 $M_O(F)$ 表示(或简记为 M_O),即