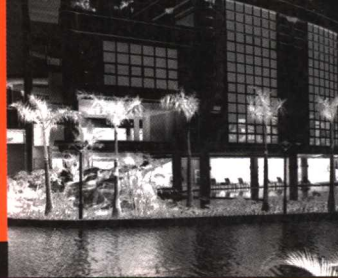




世纪高等学校土木工程类系列教材



工程力学

■ 韩立朝 彭 华 编著

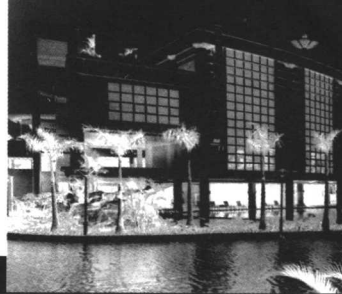


WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

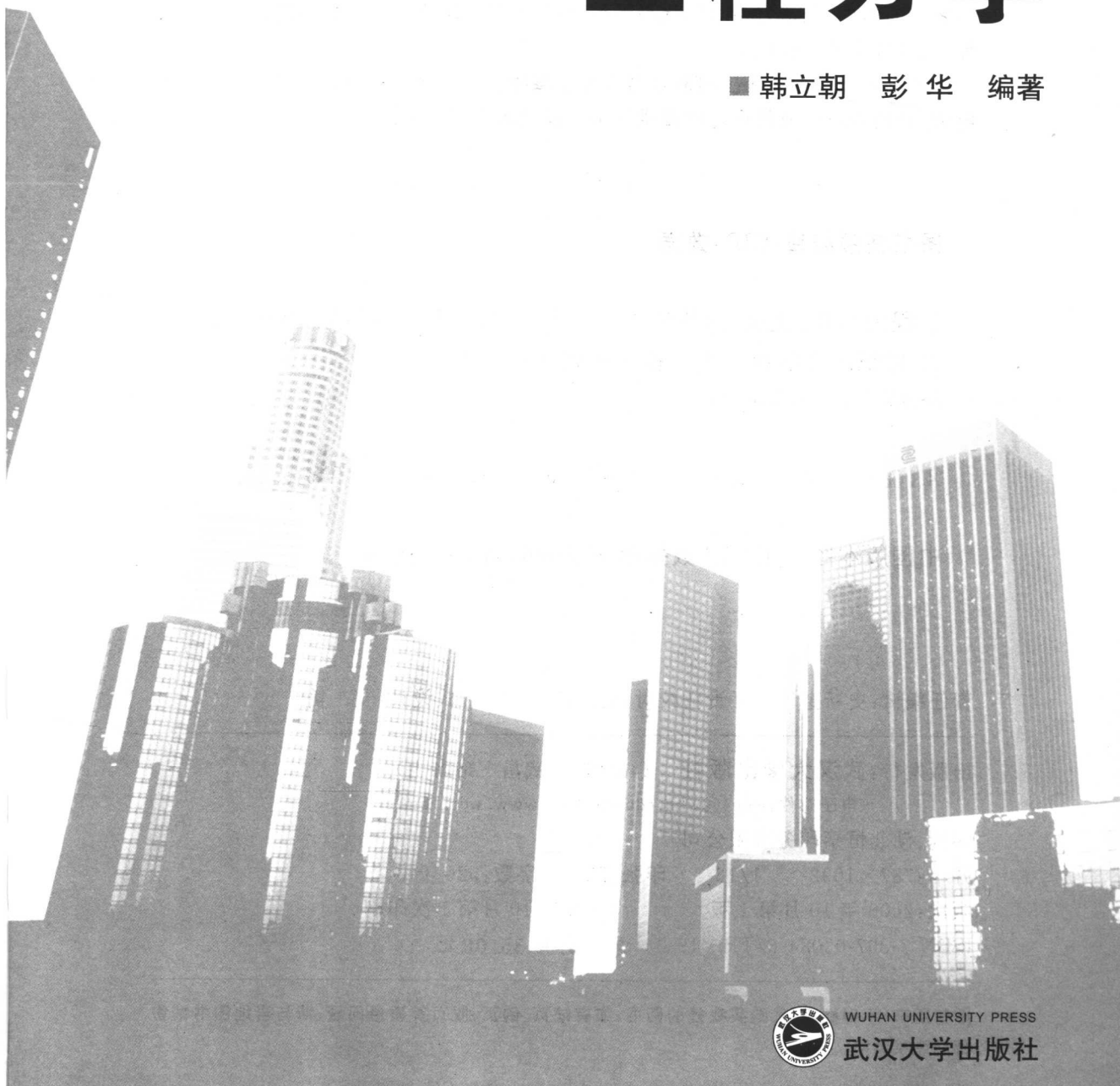


世纪高等学校土木工程类系列教材



工程力学

■ 韩立朝 彭 华 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括原国家教委颁布的高等工科院校理论力学静力学及材料力学基本要求的内容,包括力系的简化与平衡,轴向拉压,剪切,扭转,梁的内力、应力、变形,强度理论及压杆稳定。

本书可以作为高等工科院校各类专业基础力学课程的教材,也可以作为夜大、电大、函授相应专业的教材以及供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/韩立朝,彭华编著. —武汉:武汉大学出版社,2006.10
21世纪高等学校土木工程类系列教材
ISBN 7-307-05084-6

I. 工… II. ①韩… ②彭… III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 052156 号

责任编辑:史新奎 责任校对:王 建 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:22 字数:526 千字

版次:2006年10月第1版 2006年10月第1次印刷

ISBN 7-307-05084-6/TB·19 定价:35.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



世纪高等学校土木工程类系列教材

已出书目

- | | |
|---------------|-----------------|
| 工程振动 | 欧珠光 编著 |
| 水利水电工程建设监理概论 | 主编 周宜红 |
| 结构力学(双语教材) | 袁文阳 周剑波 编 |
| 工程项目管理 | 胡志根 黄建平 主编 |
| 土力学 | 侍 倩 主编 |
| 土木工程施工 | 主 编 杨和礼 副主编 何亚伯 |
| 钢筋混凝土结构分析程序设计 | 侯建国 主编 |
| 土木工程概论 | 主 编 徐礼华 副主编 沈建武 |
| 土建力学基础 | 王玉龙 编 |
| 工程力学 | 韩立朝 彭 华 编著 |

前 言

工程力学是工科类专业一门重要的技术基础课,本书涵盖了原国家教委颁布的高等工科院校理论力学静力学及材料力学基本要求的内容。

工程力学与实际工程密切相关。通过工程力学课程的学习,不仅可以使学生学到工程力学的知识,加强学生的工程概念,而且可以培养学生分析问题和解决问题的能力。

随着教学改革的不断深入,各种课程的教学时数都不同程度地受到压缩,工程力学课程也不例外。怎样在有限的教学时数内,使学生既能掌握工程力学的基本知识,又能培养和提高学生学习力学的能力?本书在注重加强素质教育、培养学生的创新能力的前提下,从体系到内容都做了必要的调整,将教材内容优化组合,克服了重复、脱节的内容,适当提高了起点,因而较大的压缩了篇幅。本书注重基本概念,注重理论联系实际,注重培养学生的科学思维方法,尽量避免冗长的理论推导与繁琐的数学运算。做到在满足学生对工程力学知识的要求的同时,切实保证工程力学课程的教学质量。

本书力求做到重点突出,条理清晰,结构紧凑,叙述严谨。在概念、原理上尽可能做到详尽,同时通过较多的例题分析,帮助学生加深对基本内容的了解和掌握。此外,本书每章后有一定数量的习题并附有习题答案。我们力图在编写的工程力学教材中,做到用有限的学时使学生既掌握工程力学的内容,又能了解工程力学的工程应用。

全书共13章:第一篇为静力学,共3章,分别为静力学的基本概念和受力分析,平面一般力系,空间一般力系;第二篇为材料力学,共10章,分别为轴向拉伸和压缩时杆件的应力和变形计算,材料在拉伸和压缩时的力学性质,轴向拉伸(压缩)时的强度计算,剪切和挤压的实用计算,平面图形的几何性质,扭转,直梁弯曲时的内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态理论与强度理论及压杆稳定。

本书静力学部分由韩立朝编写,材料力学部分由彭华编写。材料力学部分由高小翠、邬月琴校核,全书由韩立朝统稿。

感谢武汉大学教务部及武汉大学出版社对本书出版的支持,对责任编辑任翔、史新奎、张敏的辛勤劳动深表谢意。

由于作者水平有限,书中缺点和错误之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

作 者
2006年6月

目 录

第 1 篇 工程静力学

第 1 章 静力学的基本概念和物体的受力分析	3
§ 1-1 静力学的基本概念	3
§ 1-2 静力学公理	5
§ 1-3 力的投影	8
§ 1-4 力矩和力偶	11
§ 1-5 约束和约束反力	14
§ 1-6 物体的受力分析和受力图	18
第 2 章 平面一般力系	26
§ 2-1 平面一般力系的简化	27
§ 2-2 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	32
§ 2-3 物体系统的平衡	37
§ 2-4 考虑摩擦时的平衡问题	40
§ 2-5 平面静定桁架的内力计算	49
第 3 章 空间一般力系	61
§ 3-1 力对轴的矩,力对点的矩与力对轴的矩的关系	61
§ 3-2 空间一般力系的简化与平衡	64
§ 3-3 重心和形心	73

第 2 篇 工程材料力学

引 言	87
第 4 章 轴向拉伸和压缩时杆件的应力和变形计算	93
§ 4-1 工程实际中的轴向受拉杆和轴向受压杆	93
§ 4-2 轴向受拉杆和受压杆的内力——轴力,轴力图	94
§ 4-3 轴向受拉杆和受压杆的横截面上的应力	98
§ 4-4 轴向受拉杆和受压杆的斜截面上的应力	102
§ 4-5 轴向拉伸和压缩时的变形,胡克定律	105

第 5 章 材料在拉伸和压缩时的力学性质	112
§ 5-1 研究材料的力学性质的意义及方法	112
§ 5-2 钢材的拉伸试验 应力应变曲线及其特性点	112
§ 5-3 钢材的冷作硬化和时效	117
§ 5-4 其他塑性材料在拉伸时的力学性质	118
§ 5-5 材料在压缩时的力学性质	119
§ 5-6 容许应力和安全系数的确定	122
第 6 章 轴向拉伸(压缩)时杆的强度计算	126
§ 6-1 轴向拉伸(压缩)杆的强度条件	126
§ 6-2 考虑自重时轴向拉(压)杆的强度计算	129
§ 6-3 考虑自重时受拉(压)杆的变形计算	131
§ 6-4 简单拉伸和压缩超静定问题的解法	132
§ 6-5 装配应力和变温应力	135
第 7 章 剪切和挤压的实用计算	144
§ 7-1 工程实际中的剪切变形与剪切破坏	144
§ 7-2 剪切的实用计算及强度条件	145
§ 7-3 挤压的实用计算及强度条件	147
§ 7-4 剪切和挤压的实用计算举例	148
第 8 章 平面图形的几何性质	154
§ 8-1 研究平面图形几何性质的意义	154
§ 8-2 面积矩	155
§ 8-3 惯性矩、惯性积和极惯性矩	159
§ 8-4 平行移轴公式	164
§ 8-5 形心主轴和形心主惯性矩	168
§ 8-6 转轴公式	169
第 9 章 扭转	180
§ 9-1 工程实际中的受扭杆	180
§ 9-2 扭转时的内力——扭矩 扭矩图	181
§ 9-3 薄壁圆筒的扭转	184
§ 9-4 圆轴扭转时的应力和变形	186
§ 9-5 受扭圆杆的强度计算和刚度计算	190
第 10 章 直梁弯曲时的内力	197
§ 10-1 工程实际中的受弯构件	197

§ 10-2	梁的内力——剪力和弯矩	201
§ 10-3	剪力图和弯矩图	207
§ 10-4	荷载集度、剪力和弯矩之间的关系	214
第 11 章	弯曲应力	224
§ 11-1	弯曲正应力	224
§ 11-2	梁按正应力的强度计算	231
§ 11-3	弯曲剪应力	235
§ 11-4	梁的剪应力强度校核	240
§ 11-5	梁的合理截面	243
第 12 章	弯曲变形	250
§ 12-1	梁的挠度和截面转角	250
§ 12-2	梁挠曲轴线的近似微分方程	251
§ 12-3	用积分法求梁截面的挠度和转角	253
§ 12-4	用叠加法求梁的挠度和转角	261
§ 12-5	梁的刚度校核	263
§ 12-6	简单超静定梁的解法	264
第 13 章	应力状态理论与强度理论	273
§ 13-1	应力状态的概念	273
§ 13-2	二向应力状态的应力分析	276
§ 13-3	二向应力状态的应力圆	280
§ 13-4	主应力	283
§ 13-5	广义胡克定律	287
§ 13-6	强度理论的概念	288
§ 13-7	四种主要的强度理论	290
§ 13-8	对强度理论问题的分析	292
第 14 章	压杆的稳定	301
§ 14-1	压杆稳定的概念	301
§ 14-2	细长压杆的临界力	303
§ 14-3	压杆的临界应力	310
§ 14-4	压杆稳定的实用计算	312
§ 14-5	提高压杆稳定性的措施	318
附录 A	型钢规则表	325

第 1 篇 工程静力学

第1章 静力学的基本概念和物体的受力分析

§ 1-1 静力学的基本概念

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡规律及力系的简化。

所谓力系,是指作用在物体上的一群力。

所谓平衡,是指物体相对惯性参考系保持静止或做匀速直线运动。

所谓惯性参考系,是指适用于牛顿定理的参考系。在一般工程问题中,通常把与地球固结的参考系作为惯性参考系,这样,若物体相对于地球保持静止或做匀速直线运动,就称该物体处于平衡状态,如静止的房屋、教室里的桌椅、沿直线匀速行驶的汽车等,都是处于平衡状态。平衡是机械运动的一种特殊形式。

静力学主要研究的两个问题:

1. 力系的简化(或等效替换)

将作用在物体上的一个力系用另一个力系代替,而不改变原力系对物体的作用效果,则称该两力系等效或互为等效力系。用一个简单力系等效地替换一个复杂力系对物体的作用,称为力系的简化。

2. 力系的平衡条件及其应用

物体平衡时作用于其上的力系应满足的条件称为力系的平衡条件。平衡条件是结构和机构设计中静力计算的基础。

一、刚体

所谓刚体,就是在力的作用下大小和形状都保持不变的物体。刚体是实际物体被抽象为理想化了的力学模型。实际物体在力的作用下,都会产生不同程度的变形,如果变形在所研究的问题中只是次要因素,就可略去不计,而将物体看做为刚体。静力学研究的物体是刚体,故又称刚体静力学。

二、变形固体

在第2篇中,我们将研究物体的强度、刚度和稳定性,此时,物体的变形在所研究的问题中就成为重要因素,不能再把物体抽象为刚体,而必须将其视为变形固体。

三、力的概念

力是物体间相互的机械作用。这种作用使物体运动状态发生变化或使物体产生变形。前者称为力的运动效应或外效应,后者称为力的变形效应或内效应。力的运动效应又可分

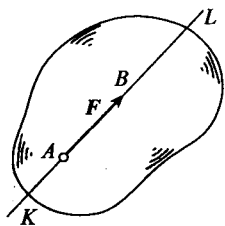


图 1-1

为移动效应和转动效应。一般情况下,一个力对物体的效应既有移动效应又有转动效应。

力对物体的效应决定于力的大小、方向和作用点。这三者称为力的三要素。力的三要素表明,力是一个具有固定作用点的定位矢量。可用一带箭头的直线段将力的三要素表示出来,如图 1-1 所示:线段的长度按比例表示力的大小;线段的方位及箭头的指向表示力的方向;线段的起点或终点表示力的作用点;通过力的作用点并沿着力的方位的直线称为力的作用线。本书中,矢量

均用黑体字表示,如图 1-1 中,用 $\mathbf{F}$ 表示力矢量。

力的单位为 N(牛)或 kN(千牛), $1\text{kN} = 10^3\text{N}$ 。

四、荷载分类

物体所受的力可分为两大类,即外力和内力。外力是指物体受其他物体作用的力,内力是指物体内部各部分之间的相互作用力。

外力包括主动力和约束反力。主动力又称为荷载,它是能引起物体运动或有运动趋势的力;约束反力属于被动力,它是阻止物体运动的力,在本章后面将作详细介绍。

工程实际中,构件受到的荷载是多种多样的。为便于分析,可分类如下:

1. 根据作用在构件上的范围,可分为集中荷载与分布荷载

集中荷载又称集中力。若荷载作用在构件上的面积远小于构件的表面积,可把荷载看做是集中地作用在一“点”上,这种荷载称为集中荷载。例如火车车轮作用在钢轨上的压力,面积较小的柱体传递到面积较大的基础上的压力等,都可看做是集中荷载。

分布荷载又称分布力。若荷载连续作用于整个物体的体积上,则称为体荷载。例如物体的重力。若荷载连续作用在物体表面的较大面积上,则称为面荷载。例如屋面上的积雪、桥面上的人群,都可看做是均匀分布荷载;而水坝迎水面、水池池壁所受的水压力和挡土墙背面所受的土压力,都可看做是非均匀分布荷载(如图 1-2 所示)。若荷载分布于长条形状的体积或面积上,则可简化为沿其长度方向中心线分布的线荷载。例如可将等截面梁的自重简化为沿梁长均匀分布的线荷载,如图 1-3 所示。

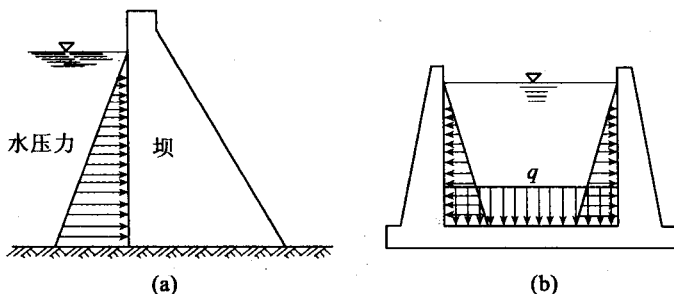


图 1-2

物体上每单位体积、单位面积和单位长度上所承受的荷载分别称为体荷载集度、面荷载

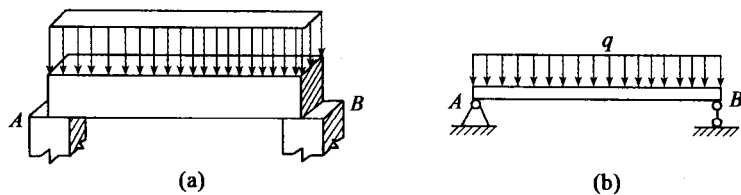


图 1-3

集度和线荷载集度(用 q 表示),它们分别表示对应的分布荷载密集的程度。荷载集度乘以相应的体积、面积和长度后才是荷载。如果荷载集度处处相同($q = \text{常量}$),则该分布力称为匀布荷载;否则,称为非匀布荷载。体荷载集度的单位是 N/m^3 (牛/米³),面荷载集度的单位是 N/m^2 (牛/米²),线荷载集度的单位是 N/m (牛/米)等。

表示荷载集度分布的图形称为荷载图。可以证明:同向线分布力的合力的大小等于荷载图的面积,方向与分布力的方向相同,作用线通过荷载图的形心。由此结论可知,图 1-4 (a)所示的非匀布荷载的合力的大小 $F_q = \frac{1}{2}ql$,图 1-4 (b)所示的匀布荷载的合力的大小 $F_q = ql$,合力作用位置如图 1-4 所示。

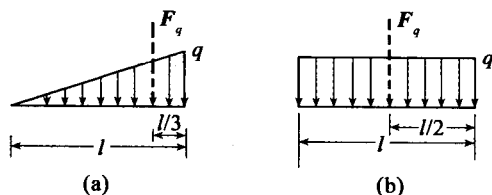


图 1-4

2. 根据作用时间的久暂可分为恒荷载和活荷载

恒荷载是长期作用在结构上的不变荷载,如构件的自重。**活荷载**是作用在结构上的可变荷载,所谓“可变”是指这种荷载有时存在,有时不存在,其作用位置或范围可能是固定的(如风荷载、雪荷载),也可能是变动的(如吊车梁上的吊车荷载、桥梁或路面上的汽车荷载、楼面上的人群荷载等)。

3. 根据作用的性质可分为静荷载与动荷载

静荷载是缓慢地加到结构上的荷载,其大小、位置和方向不随时间而变化或变化极为缓慢。在此荷载作用下,构件和零件不会产生显著的加速度。例如结构的自重、土压力和水压力都属于这一类。**动荷载**是指构件在运动时产生动力效应所引起的荷载,其大小、位置和方向随时间而迅速变化。在这种荷载作用下,结构会产生显著的加速度。例如火车车轮对桥梁的冲击力、锻造气锤对工件的撞击力、地震或其他因素引起的冲击波等都是动荷载。

§ 1-2 静力学公理

所谓公理,是人们在生活和生产活动中长期积累的经验总结,又经过实践的反复检验,

证明是符合客观实际的普遍规律。公理本身正确性是被公认的,不需要再用数学或其他方法证明。整个静力学的理论,都是建立在下面的几个公理之上的。

公理 1 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力使刚体平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,作用在同一直线上(简称等值、反向、共线)。即

$$F_1 = -F_2$$

这个公理只适用于刚体,对于变形体来讲只是必要条件而非充分条件。例如,在一不计重量的刚杆两端作用一对等值、反向、共线的拉力或压力,刚杆均能保持平衡,如图 1-5 所示。如果将图中的刚杆换成绳索,则在拉力作用下可以平衡,在压力作用下就不能平衡。

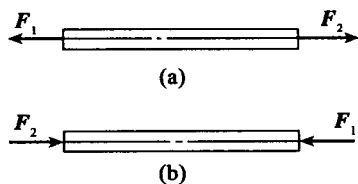


图 1-5

公理 2 加减平衡力系公理

在任一力系中加上或减去任意一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。

这个公理的正确性是显而易见的,因为一个平衡力系不会改变刚体的运动状态。

必须注意,加减平衡力系公理只适用于刚体。这个公理是研究力系简化的重要依据。

由该公理可导出如下推理:

推理 1 力的可传性 作用在刚体上某点的力,可沿其作用线移动,而不改变它对刚体的运动效应。

该原理的正确性不难证明。如图 1-6 所示,用力推小车与用同样大小的力拉小车,对小车的运动效应是相同的。由此可知,就力对刚体的运动效应而言,力对刚体的作用决定于:力的大小、方向和作用线。因此,力是有固定作用线的滑动矢量。

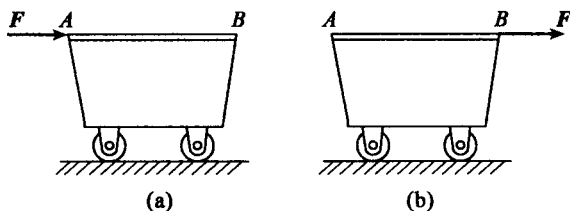


图 1-6

公理 3 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可合成为一个合力,合力的作用点仍在该点,合力的大小和方向由以原来的两力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定,如图 1-7(a)所示:

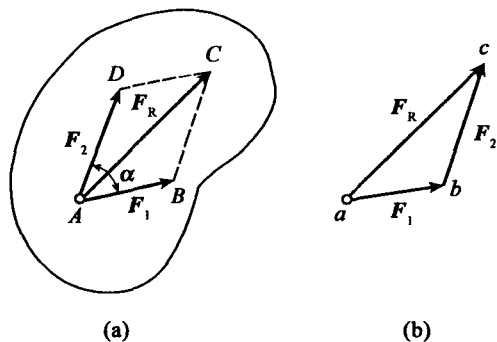


图 1-7

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

即合力等于这两个力的矢量和。合力 $\mathbf{F}_R$ 的大小和方向也可通过图 1-7(b) 所示的力三角形得到。即自任一点 a 开始先画矢量 $\vec{ab} = \mathbf{F}_1$, 再从 b 点画 $\vec{bc} = \mathbf{F}_2$, 连接起点 a 和终点 c 得矢量 $\vec{ac}$, $\vec{ac}$ 即合力 $\mathbf{F}_R$ 的大小和方向。此三角形称为力三角形, 这一求合力的方法称为力三角形法则。如果改变分力相加的先后次序作三角形, 并不改变合力的大小和方向。注意: 合力仍然作用于原两力的汇交点。

应该指出, 该法则是所有矢量相加的普遍法则。力的平行四边形法则对刚体和变形体都适用, 它也是研究力系简化的基本方法。

力的平行四边形法则是力的合成法则, 也是力的分解法则。例如在图 1-8 中, 拉力 F 作用在螺钉 A 上, 与水平方向的夹角为 α , 按此法则可将其沿水平及铅垂方向分解为两个分力 F_1 和 F_2 。

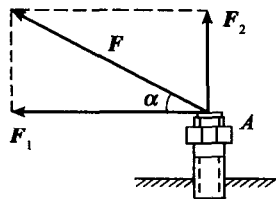


图 1-8

推理 2 三力平衡汇交定理

当刚体受到三个力作用而平衡时, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则此三力作用线必在同一平面内且汇交于一点。

证明: 如图 1-9 所示, 在刚体的 A 、 B 、 C 三点上, 分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据力的可传性, 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_R 。则力 F_3 与 F_R 平衡。根据公理 1, F_3 与 F_R 必共线。所以力 F_3 必与 F_1 和 F_2 共面且通过交点 O 。

公理 4 作用与反作用定律

两物体间的相互作用力 (即作用力与反作用力) 总是大小相等, 方向相反, 作用线重合, 并分别作用在这两个物体上。

这一定律概括了任何物体间相互作用的关系, 不论物体是处于平衡状态还是处于运动状态, 也不论物体是刚体还是变形体, 定律都普遍适用。必须指出, 力总是成对出现的, 有作用力必有反作用力, 这是分析物体之间相互作用力的一条重要规律。

由于作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上, 这两个力并不能构成平衡力系,

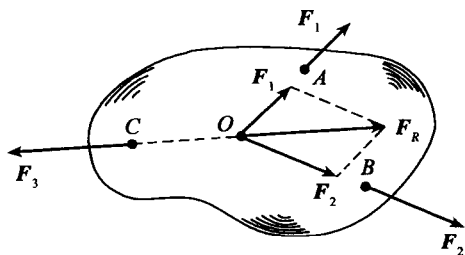


图 1-9

所以必须把作用与反作用定律和二力平衡公理严格区别开来。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡时,如将其刚化为刚体,则平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体抽象成刚体模型的条件。如图 1-10 所示,绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化成刚体,则平衡状态保持不变。

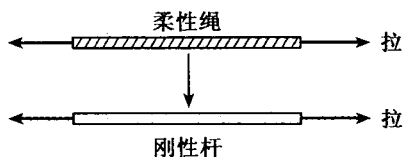


图 1-10

但是绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下则不能平衡,这时绳索就不能刚化为刚体。由此可见,刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。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 力的投影

一、力在任一轴上的投影

1. 力 F 与轴共面

从力的起点和终点向轴作垂线,两垂足之间的线段加上适当的正负号就称为力在轴上的投影,如图 1-11 所示。以 F_x 表示力 F 在 x 轴上的投影,则 $F_x = \pm ab$ 。

2. 力 F 与轴不共面

过力的起点和终点分别作平面 I、II 垂直于 x 轴,得交点 a 、 b ,如图 1-12 所示,则 $F_x = \pm ab$ 。

正负号规定:从力的起点的投影 a 到力的终点的投影 b 与投影轴 x 的正向一致者为正,反之为负。

由图 1-11、图 1-12 知投影的计算方法为:

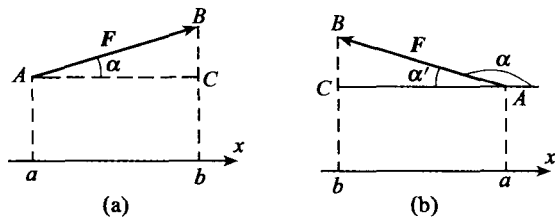


图 1-11

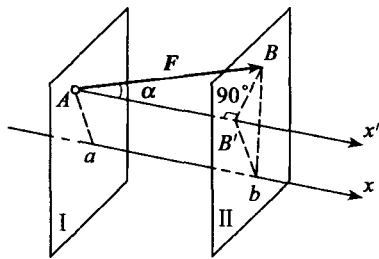


图 1-12

$$F_x = F \cos \alpha$$

其正负号由 $\cos \alpha$ 的符号决定。实际计算时,通常采用力 F 与投影轴所夹锐角计算,其正负号根据投影的规定直观判断。

二、力在平面上的投影

如图 1-13 所示,力 F 在平面上的投影为 F' ,其模为:

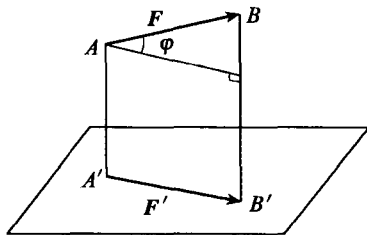


图 1-13

$$F' = F \cos \varphi$$

注意:力在轴上的投影是代数量,而力在平面上的投影是矢量。

三、力在空间直角坐标轴上的投影

1. 直接投影法

已知力 F ,取空间直角坐标系 $Oxyz$,力 F 与各轴正向的夹角分别为 α, β, γ ,如图 1-14 所