

高等院校土木工程类非结构专业教材

JIANZHULIXUE

建筑力学

杜贵成 编著

中国建材工业出版社

高等院校土木工程类非结构专业教材

建筑力学

杜贵成 编著

60.

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学/杜贵成编著. —北京: 中国建材工业出版社,
2007.8

ISBN 978-7-80227-201-9

I 建… II 杜… III 建筑力学 IV TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 056650 号

内 容 简 介

本教材在编写时试图按静力学的基本知识、建筑结构基本知识、平面体系的几何组成分析、静定结构内力计算、静定结构的影响线及其应用、弹性变形体的基本知识、结构构件的强度与刚度问题、静定结构位移计算、压杆稳定问题和超静定结构问题的顺序,把理论力学、材料力学和结构力学三大力学知识有机贯通,汇成一体,构成建筑力学新体系。因此,本教材具有既考虑建筑设计思路,又兼顾静定结构与超静定结构计算的特点。

本书可作为大专院校工程管理、城市规划、交通工程、建筑学等非结构专业学习建筑力学的教材,也可供高职高专院校与成人高校师生及有关工程技术人员参考。

建筑力学

杜贵成 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 23.25

字 数: 576 千字

版 次: 2007 年 8 月第 1 版

印 次: 2007 年 8 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-201-9

定 价: 35.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话: (010)88386906

前 言

建筑力学是工程管理、城市规划、交通工程、建筑学等非结构专业的重要技术基础课,近年来,随着教育的不断深入,课程内容、体系、学时等各种因素都在不断变化。根据教学的需要,本书旨在体现力学理论与建筑结构设计的特点,从力学理论的系统性与连贯性出发,一改以往建筑力学只把理论力学、材料力学、结构力学按土木工程专业学习力学的惯例简单组合在一起的编写习惯,结合建筑结构设计的特点由浅入深地介绍力学原理在建筑设计中的应用,同时也考虑到学员在学习建筑力学时保持力学思想应用于建筑设计中的连贯性与递进性,从而达到学员系统理解与掌握建筑力学的基本原理的目的,为后续课程的学习打下良好的力学基础。

本书编写的具体特点如下:

一、本书编写从知识体系上分为四个部分

第一部分:力学的基本概念与基本原理的介绍

第二部分:建筑结构的基本知识介绍

第三部分:利用力学原理解决静定的建筑结构设计问题

第四部分:利用力学原理解决比较复杂的建筑结构设计问题

二、本书编写从结构体系上分为两大主线

第一部分:刚体的受力特征与分析

第二部分:变形体的受力特征与分析

本书具体编写是按静力学的基本知识、建筑结构基本知识、平面体系的几何组成分析、静定结构内力计算、静定结构的影响线及其应用、弹性变形体的基本知识、结构构件的强度与刚度问题、静定结构位移计算、压杆稳定问题和超静定结构问题的顺序,把理论力学、材料力学和结构力学三大力学知识有机贯通,汇成一体,另成建筑力学新体系。因此,本教材具有既考虑建筑设计思路,又兼顾静定结构与超静定结构计算的特点。

本书可作为大专院校工程管理、城市规划、交通工程、建筑学等非结构专业学习建筑力学的教材,也可供高职高专院校与成人高校师生及有关工程技术人员参考。

感谢上官子昌副院长和李守巨教授在本书编写过程中给予的大力支持。

由于本人水平有限,书中有不足、错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007年7月

目 录

第一章 静力学基本知识	1
第一节 静力学的基本概念	1
一、刚体的概念	1
二、力的概念	1
三、力矩与力偶的概念	2
四、平面力系	4
五、合力与平衡状态	4
第二节 静力学公理与定理	4
一、静力学公理	4
二、合力矩定理	7
三、平面力偶等效定理	7
四、力的平移定理	7
第三节 力的合成与分解	8
一、几何法	8
二、解析法	10
第四节 平面力系的合成	11
一、平面汇交力系的合成	11
二、平面力偶系的合成	13
三、平面平行力系的合成	14
四、平面任意力系的合成	14
第五节 平面力系的平衡	16
一、平面任意力系的平衡	16
二、平面汇交力系的平衡	18
三、平面平行力系的平衡	19
四、平面力偶系的平衡	19
第六节 空间力系	20
一、力的分解与合成	20
二、力矩与力偶矩矢	21
三、空间力系的平衡	24
思考题	26
习题	27

第三章 建筑结构的基本知识	31
第一节 建筑与结构	31
一、建筑的三要素与三重性	31
二、建筑与结构的协调	32
三、建筑力学研究的对象和任务	34
第二节 结构上的作用	34
一、直接作用	35
二、间接作用	37
三、作用的方式	37
四、作用的性质	39
五、作用的取值	40
第三节 约束及约束反力	40
一、活动铰支座——滚轴支座	41
二、固定铰支座	41
三、固定支座	42
四、定向支座	42
第四节 结构计算简图	42
一、杆件及杆与杆之间的连接构造的简化	43
二、支座的简化	44
三、荷载的简化	44
第五节 建筑结构的分类	45
一、梁	47
二、刚架	47
三、拱	47
四、桁架	47
五、组合结构	48
思考题	48
习题	48
第四章 平面体系的几何组成分析	50
第一节 概述	50
第二节 平面体系自由度的计算	51
一、自由度	51
二、约束	51
三、平面体系的计算自由度数	52
第三节 结构几何组成规则	54
一、一点与一刚片连接规则	54
二、两刚片连接规则	54

三、三刚片规则	55
四、瞬变体系	55
第四节 结构几何组成分析示例	56
第五节 静定结构与超静定结构	59
思考题	59
习题	59
第四章 静定结构内力计算	62
第一节 概述	62
第二节 静定结构的受力分析	62
一、静定结构的支座反力计算	62
二、结构构件的内力及其求法	65
三、内力图	68
四、荷载与内力之间的关系	70
五、静定结构的内力计算	73
第三节 静定梁的内力计算	74
一、单跨梁的内力计算	74
二、多跨静定梁的内力计算	81
三、梁的合理设计	83
第四节 静定平面刚架的内力计算	84
一、概述	84
二、刚架的特点和分类	85
三、静定平面刚架的内力计算	86
第五节 平面桁架的内力计算	93
一、概述	93
二、静定桁架的内力计算	95
三、几种主要梁式桁架受力性能的比较	103
第六节 三铰拱的内力计算	104
一、拱式结构的特征	104
二、三铰拱的内力计算	105
三、合理拱轴的概念	109
四、三铰拱的性能	110
第七节 静定平面组合结构的内力计算	110
第八节 静定结构的基本特性	112
思考题	114
习题	115
第五章 静定结构的影响线及其应用	120
第一节 影响线的概念	120

第二节 静力法作影响线	121
一、静力法绘制影响线的基本步骤	121
二、静力法绘制简支梁的影响线	121
三、静力法绘制伸臂梁的影响线	123
四、静力法绘制在间接荷载作用下简支梁的影响线	124
五、静力法绘制桁架的影响线	125
六、静力法绘制三铰拱的影响线	127
第三节 机动法作影响线	130
一、机动法绘制影响线的基本步骤	130
二、机动法作影响线的具体做法	130
第四节 影响线的应用	132
一、利用影响线求结构的反力与内力	132
二、利用影响线判定最不利荷载位置	134
三、简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	139
思考题	143
习题	143
第六章 弹性变形体的基本知识	147
第一节 弹性变形体的概念及基本假设	147
一、弹性变形体的概念	147
二、弹性变形体的基本假设	147
第二节 杆件变形的基本形式	148
一、轴向拉伸或轴向压缩	148
二、剪切	148
三、扭转	148
四、弯曲	148
第三节 正应力与剪应力的概念	149
第四节 正应变与剪应变的概念	150
第五节 胡克定律与泊松比	151
一、胡克定律	151
二、泊松比	152
三、广义胡克定律	152
第六节 材料拉伸与压缩时的力学性质	154
一、材料拉伸试验	154
二、材料压缩试验	157
第七节 失效、许用应力	158
一、失效	158
二、许用应力	158
第八节 二向应力状态下的强度条件——强度理论	159

二、最大拉应力理论——第一强度理论	159
二、最大拉应变理论——第二强度理论	159
三、最大剪应力理论——第三强度理论	160
四、畸变能理论——第四强度理论	161
思考题	162
第七章 结构构件的强度与刚度问题	163
第一节 拉(压)杆的强度计算	163
一、拉(压)杆的应力计算	163
二、拉(压)杆的变形计算	165
三、拉(压)杆的强度计算	167
四、应力集中概念	168
五、应变能的概念	169
六、拉(压)杆连接部分的强度计算	170
第二节 扭转	173
一、外力偶矩与内力扭矩	173
二、剪应力互等定律	175
三、等直圆杆扭转时的应力与变形	177
四、矩形截面等直杆在自由扭转时的应力与变形	179
五、圆轴扭转的强度与刚度计算	181
第三节 弯曲	183
一、弯曲正应力	183
二、弯曲剪应力	187
三、平面应力状态应力分析	188
四、梁的强度与刚度计算	194
第四节 弯曲中心的概念	204
第五节 杆件在组合变形下的强度计算	206
一、斜弯曲	206
二、拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	210
三、偏心压缩杆件的强度计算、截面核心	212
思考题	216
习题	217
第八章 静定结构位移计算	221
第一节 概述	221
一、结构的位移	221
二、计算结构位移的目的	222
三、计算位移的有关假定	222
第二节 变形体的虚功原理	222

一、功、实功与虚功的概念	222
二、刚体的虚功原理	224
三、变形体虚功原理	225
第三节、结构位移计算的一般公式	227
第四节、静定结构在荷载作用下的位移计算	230
第五节 图乘法	235
第六节 静定结构在非荷载作用下的位移计算	240
一、静定结构温度变化时的位移计算	241
二、静定结构在支座移动时的位移计算	243
三、制造误差引起的位移计算公式	244
第七节 弹性结构的互等定理	244
一、功的互等定理	244
二、位移互等定理	246
三、反力互等定理	247
四、反力与位移互等定理	247
思考题	248
习题	249
第九章 压杆稳定问题	253
第一节 概述	253
一、工程中的稳定问题	253
二、压杆的稳定平衡与不稳定平衡	254
第二节 压杆稳定的临界荷载	254
一、细长中心压杆的临界荷载计算公式	254
二、不同杆端约束下的细长压杆的临界荷载计算公式	256
第三节 压杆的临界应力与临界应力总图	258
一、压杆的临界应力与柔度	258
二、欧拉公式的适用范围与大柔度杆	258
三、经验公式与中、小柔度杆	259
四、临界应力总图	260
第四节 稳定条件与合理设计	260
一、稳定条件	260
二、压杆的合理设计	261
思考题	262
习题	262
第十章 超静定结构计算	265
第一节 超静定结构概述	265
一、超静定结构的概念	265

二、超静定结构的类型	266
第二节 力法	267
一、力法的基本概念	267
二、力法的典型方程	274
三、力法计算举例	276
四、超静定结构位移计算及最后弯矩图校核	295
第三节 位移法	298
一、位移法的基本概念	298
二、位移法的基本原理及典型方程	298
三、位移法计算举例	308
四、对称性利用	312
第四节 力矩分配法	313
一、力矩分配法的基本概念	313
二、力矩分配法计算连续梁和无结点线位移刚架	319
三、无剪力分配法	323
四、联合应用举例	327
思考题	329
习题	331
 I 平面图形的几何性质	335
第一节 静矩与形心	335
第二节 惯性矩、惯性积和惯性半径	336
一、惯性矩	336
二、惯性积	339
三、惯性半径	339
第三节 平行轴定理	340
第四节 转轴公式、主惯性轴和主惯性矩	341
一、转轴公式	341
二、主惯性轴、主惯性矩	342
三、主惯性矩公式	342
习题	343
 II	346
第一节 热轧等边角钢	346
第二节 热轧不等边角钢	349
第三节 热轧普通工字钢	352
第四节 热轧普通槽钢	353
部分习题答案	355
参考文献	360

第一章 静力学基本知识

第一节 静力学的基本概念

一、刚体的概念

刚体是在任何情况下大小和形状都不变的物体。显然,这是一个理想化的概念,实际上并不存在这样的物体。

在研究物体的力学平衡问题时,物体会发生微小的变形,但其微小变形不起主要作用,可以忽略不计,此时把物体视为刚体,不会影响研究问题的结果,同时可使问题的研究大为简化。因此,在研究问题时,刚体的概念是非常必要的。

例如图 1-1 所示的桥梁,由于车辆与桥梁自身的重量,使桥梁产生微小的变形,其变形一般不会超出桥梁长度的 $1/500$ 。这样如此微小的变形对于应用平衡条件求桥梁的支座反力及内力,几乎毫无影响。因此,就可以把桥梁看成为不变形的刚体。

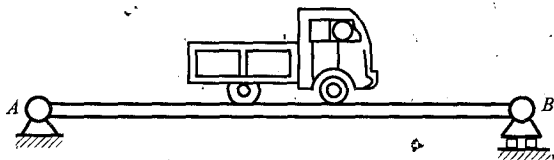


图 1-1

将物体视为刚体是有条件的,这主要与研究问题的性质有关。如果所研究的问题是作用在物体上的力的简化与平衡问题,就可以把物体视为刚体。如果对构件进行强度、刚度和稳定性等力学方面的研究,就要把研究的物体看作变形体。关于变形体的性质及其应用将于第六章及之后章节详细介绍。

二、力的概念

(一) 力的概念

力是物体之间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态发生改变(包括变形)。因此,力不能离开物体而存在,它们总是成对出现的。

物体在力的作用下,产生如下的效应:

一是使物体的运动状态发生变化(物体发生移动或转动)——外效应;

二是使物体发生变形——内效应。

当研究第一种效应时,考虑作用物体上的力之简化与平衡问题,将假想的物体视为刚体。

(二) 力的性质

力对物体的作用效应取决于力的三个要素。力的三要素是:大小、方向和作用点。

力是矢量,可用一有向线段来表示,如图 1-2 所示。这矢量的长度 AB (按一定的比例尺) 表示力的大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的始端(点 A)或末端(点 B)表示力的作用点;矢量 $\overrightarrow{AB}$ 所沿着的直线(图 1-2 的虚线)表示力的作用线。

在国际单位制(SI)中,以牛顿(N)或千牛顿(kN)作为力的计算单位。

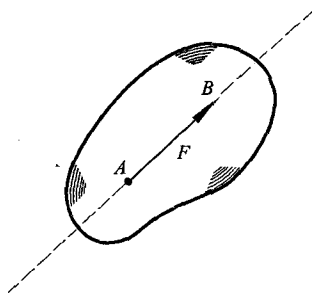


图 1-2

三、力矩与力偶的概念

(一) 力矩

力使物体移动的效应取决于它的大小与方向,而力使物体转动的效应则取决于力矩。生活中,广泛使用的杠杆、铡刀、剪刀、扳手等省力工具(或机械),它们的工作原理中都包含着非常生动的力矩概念。

以扳手扳动螺母为例,作用于扳手一端的力 F_1 使扳手同螺母绕点 O (亦即绕点 O 垂直于图面的轴) 转动,如图 1-3(a) 所示。当要拧紧螺母时,手上用的力 F_1 越大,螺母拧得越紧。有时为了省力,采取加长扳手,使手上的用力点离绕点 O 远一点,如图 1-3(b) 所示。这样,拧紧螺母的力 F_2 就会比原来的力 F_1 小一些。由此可知,力 F 使物体绕 O 点转动的效应,不仅与力 F 的大小有关,而且还与力的作用线到 O 点的垂直距离 h 有关。因此, F 与 h 乘积 (Fh) 就是力的转动效应的度量,力 F 对矩心 O 之矩,称为力矩。力矩使物体绕矩心产生的转动方向用力矩的正负值表示,当力矩使物体产生逆时针方向转动时,力矩取为正值,反之取为负值。如图 1-3 所示的 F_1, F_2, F_3 各力对矩心 O 的矩应取正值。

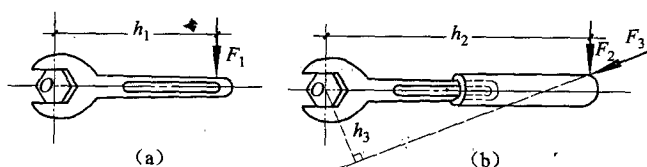


图 1-3

力 F 对于矩心 O 的矩以记号 $M_o(F)$ 表示,于是,计算公式为

$$M_o(F) = \pm Fh \quad (1-1)$$

力矩的单位常用 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$ 。

当力矩用矢量表示,如图 1-4(a) 所示,设平面上作用一力 F ,在同平面内任取一点 O ,点 O 称为矩心,从点 O 沿力 F 作用面的法线 On 作一矢量来表示[图 1-4(b)],矢量的模表示力矩的大小。矢量的指向按右手螺旋法则确定,即四指表示力矩转向[图 1-4(b)虚线],拇指表示力矩矢量的指向。由此可知,力对垂直于力作用平面的某一轴的转动效应,力对轴之矩,如图 1-4(c) 所示,力 F 对其作用平面的垂直轴 (On) 之矩可以表示为

$$M_n(F) = Fh \quad (1-2)$$

式中 h ——力 F 距力的作用平面与垂直轴 (On) 交点 O 的距离。

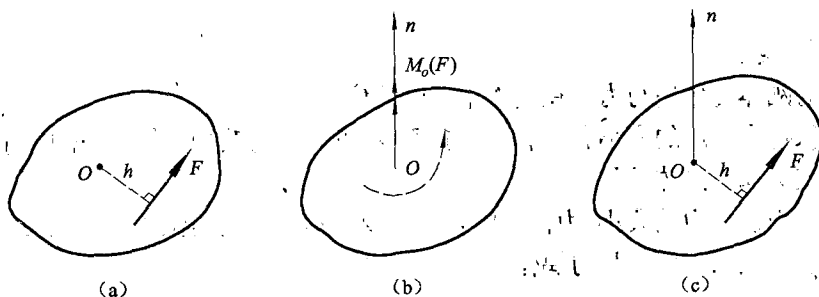


图 1-4

(二)力偶

1. 力偶的概念

作用在同一物体上的两个大小相等、方向相反,且不共线的平行力,称为力偶,以符号(F, F')表示,如图 1-5 所示。力偶的两力之间的垂直距离 h 称为力偶臂;力偶所在的平面称为力偶的作用面。力偶对物体的作用效果是使物体产生单纯的转动。力偶中的两个力在任何坐标轴上投影之和等于零。

在生活和生产实践中,常常会遇到利用力偶作用进行工作的情况。例如,钳工用丝锥攻丝,汽车司机用双手转动方向盘(图 1-6)等。

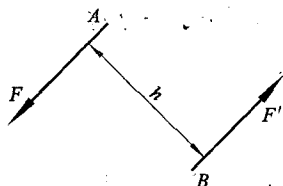


图 1-5

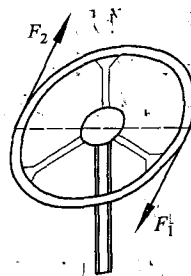


图 1-6

为了衡量力偶对物体产生的转动效应,用力偶矩 M 来度量,力偶矩是力偶的一个力(F)与力偶臂 h 的乘积,它的计算公式为

$$M = Fh \quad (1-3)$$

常用图 1-7 所示的符号表示力偶, M 为力偶的矩。

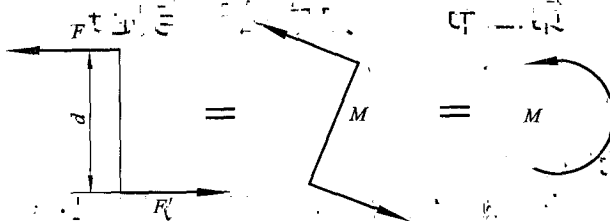


图 1-7

2. 力偶的性质

力偶的性质:只要保持力偶矩的大小、转向不变,力偶在其平面内的位置可以任意旋转或

平移。

由此可得推论：

(1) 力偶对刚体的作用与力偶在其作用面内的位置无关。

(2) 只要保持力偶矩的大小和力偶的转向不变，可以同时改变力偶中力的大小和力偶臂的长短，而不改变力偶对刚体的作用。

由此可见，力偶中力的大小、力偶臂的长短以及在作用面内的位置都不是决定力偶对刚体作用的独立因素，只有力偶矩是力偶作用的唯一量度。

四、平面力系

一组力同时作用在一个物体上，这一组力就称为力系。力系是指力与物体作用与力在其作用平面内分布的方式。

如果有二力系可以代替另一力系作用在物体上而产生同样的机械运动效果，则两力系互相等效，可称为等效力系。

在工程实践中，经常会遇到所有的外力都作用在一个平面内的情况，这样的力系称为平面力系。

平面力系可按力系中的各力的相互关系分为平面汇交力系、平面平行力系和平面任意（一般）力系。

当平面力系中各力的作用线都汇交于一点时，称为平面汇交力系。

当平面力系中各力的作用线都互相平行时，称为平面平行力系。

当平面力系中各力的作用线既不全部平行，又不全部汇交于一点时，称为平面任意（一般）力系。

五、合力与平衡状态

如果某力与一力系等效，则此力为该力系的合力。也就是说：如果用一个力来代替一力系作用在物体上而产生同样的机械运动效果，则这个力即为该力系的合力。

当物体只受有合力作用时，物体一定是沿着合力的指向作机械运动。如果作用在物体上的合力不等于零，那么，物体就一定是运动的；如果合力等于零，那么，物体一定是处于平衡状态（物体保持静止或作匀速直线运动）。换言之，要使物体处于平衡状态，则作用在物体上的力系应是一组平衡力系。

第二节 静力学公理与定理

一、静力学公理

（一）公理一 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力，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，作用在同一个刚体，且在同一直线上。这就是二力平衡条件。如图 1-8 所示，即

$$F_1 = -F_2 \quad (1-4)$$

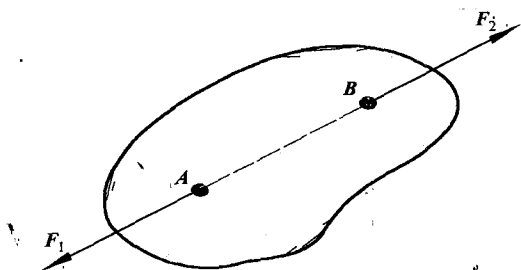


图 1-8

这个公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。值得注意的是,公理一只适用于刚体,对于变形体只是必要条件而不是充分条件。例如绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下可以处于平衡状态;若绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下则不能平衡。

由此可见,对于变形体的平衡来说,除了满足刚体静力学的平衡条件外,还应满足与变形体的物理性质有关的相关条件。

工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件或杆件,通常称之为二力构件或二力杆。

(二)公理二 加减平衡力系原理

加减平衡力系原理:在作用于刚体的任意已知力系中,加上或减去任意的平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效果。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效果是相同的,因此这两个力系可以等效替换。

根据上述公理可以导出下列推论:

推论一 力的可传性原理

力的可传性原理:作用于刚体上的力在刚体内沿着它的作用线移到任意一点,并不改变该力对刚体的作用。

证明:设有力 F 作用在刚体上的 A 点,如图 1-9(a)所示。根据加减平衡力系原理,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 $F_2 = -F_1 = F$,如图 1-9(b)所示。由于力 F 和 F_1 也是一个平衡力系,故可去掉;这样只剩下一个力 F_2 ,如图 1-9(c)所示。力 F_2 与力 F 的大小、方向、作用线都相同,只是作用点从 A 点移动到 B 点,因此,作用效果不变。

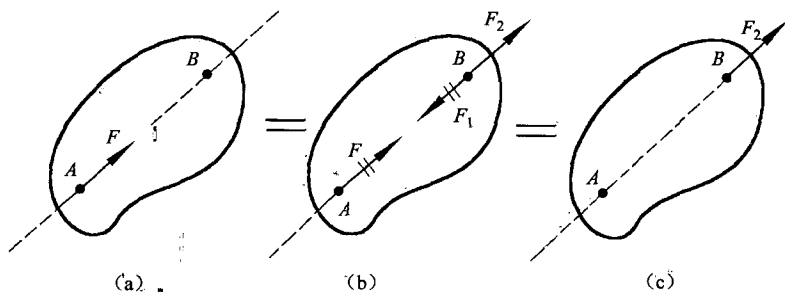


图 1-9

由此可见,对于刚体来说,力的作用点已不是决定力的作用效果的要素,它已为作用线所代替。因此,作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线。

应当指出:力的可传性只适用于刚体,不适用于变形体。

(三)公理三 力的平行四边形法则

力的平行四边形法则:作用于刚体上一点的两个力的合力也作用于同一点,且合力的大小可用这两个力为边的平行四边形的对角线来表示。

如图 1-10 所示,有两个力(F_1, F_2)作用在物体上同一点 A ,利用几何法将其合成合力 F_R 。具体做法是:用这两个力(F_1, F_2)为边构成平行四边形 $ABCD$,则合力 F_R 的大小和方向可由构成的平行四边形的对角线确定。合力的作用点在两已知力的汇交点 A 处。上述就是根据力的平行四边形法则求得的合力 F_R 。

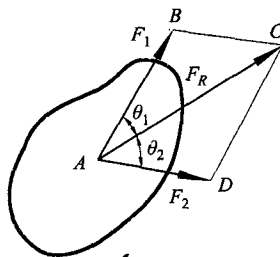


图 1-10

推论二 三力平衡汇交定理

三力平衡汇交定理:如果作用于刚体上的三个力是相互平衡的力,那么其中任意两个力的合力一定与第三个力满足二力平衡条件,同时此三力必在同一平面内,且三个力的作用线一定汇交于一点。

证明:如图 1-11 所示,在刚体的 A, B, C 三点上,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_{12} 。由二力平衡条件,则力 F_3 应与 F_{12} 平衡,且两个力一定共线。所以,力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面,且通过力 F_1 和 F_2 的交点 O 。

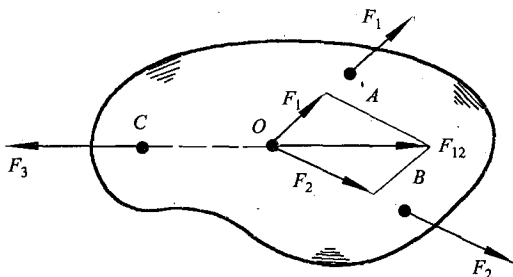


图 1-11

(四)公理四 作用和反作用定律

作用和反作用定律:作用力和反作用力总是同时存在的,且大小相等、方向相反,沿着同一直线作用,但分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理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。下面举一个实例来说明。

如图 1-12(a)所示,用绳索悬吊一重物于固定装置 AB 上,重物受到重力 F 和绳索拉力 F_T 的作用[图 1-12(b)]。重力 F 和绳索拉力 F_T 属于二力平衡。绳索拉力 F_T 是固定装置 AB 对重物的拉力,作用在重物上;同时,重物对固定装置 AB 也有一个拉力 F'_T 作用在固定装置 AB 上[图 1-12(b)],两者等值、反向共线, $F_T = -F'_T$,这两个力就是作用力和反作用力。

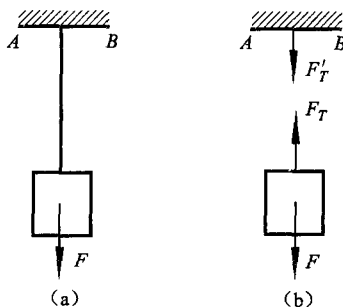


图 1-12

必须指出,不能把作用力与反作用力定律和二力平衡公理相混淆,作用力与反作用力是作用在两个物体上,所以它们不能互相平衡。所谓平衡是指同一物体上所受力的平衡。