教育部高职高专规划教材

建 筑 力 学

(少学时)

刘寿梅 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是教育部高职高专规划教材，依据教育部《高职高专教育近土建类专业力学课程教学基本要求》编写而成。全书针对高职高专培养应用性人才的特点，精选静力学、材料力学、结构力学的有关内容，使之融合贯通，自成体系。全书包括绪论，静力学基本概念，平面力系，静定结构的内力分析，杆件的应力与强度计算，结构的位移计算和刚度校核，超静定结构的内力分析，压杆稳定共8章。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校近土建类和土建类专业少学时力学课程的教材，也可供相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/刘寿梅主编.—北京：高等教育出版社，2002.7

高职高专教材

ISBN 7-04-010778-3

Ⅰ.建… Ⅱ.刘… Ⅲ.建筑力学-高等学校：技术学校-教材 Ⅳ.TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第018489号

建筑力学(少学时)

刘寿梅 主编

出版发行	高等教育出版社	**购书热线**	010-64054588
社　　址	北京市东城区沙滩后街55号	**免费咨询**	800-810-0598
邮政编码	100009	**网　　址**	http://www.hep.edu.cn
传　　真	010-64014048		http://www.hep.com.cn
经　　销	新华书店北京发行所		
排　　版	高等教育出版社照排中心		
印　　刷	河北新华印刷一厂		
开　　本	787×1092　1/16	**版　　次**	2002年7月第1版
印　　张	13.5	**印　　次**	2002年7月第1次印刷
字　　数	320 000	**定　　价**	16.00元

前　言

本书是教育部高职高专规划教材，依据教育部《高职高专教育近土建类专业力学课程教学基本要求》编写而成，适合作为高职高专近土建类专业80学时左右的建筑力学课程的教学用书。各校也可以根据专业的特点进行内容上的取舍，打*号的内容可灵活掌握。

本书力求体现高职高专培养应用性人才的特点，结合近土建类专业人才培养方案的要求，精选静力学、材料力学和结构力学的有关内容，使之融合贯通，自成体系。在理论阐述上着重讲清基本的力学概念，简化理论推导，强化应用，加强与工程实际的联系，既简练了内容，又保证了新体系的科学性和系统性。

参加本书编写的有：湖南城建高等专科学校刘寿梅（第1,6,8章），连云港化工高等专科学校季润东（第2,3章），山东农业大学水利学院戴景军（第4章），中州大学汪菁（第5章，附录A），河南城建高等专科学校张本占（第7章）。全书由刘寿梅任主编。

长春工程学院左战军教授审阅了原稿，并提出了不少建设性意见和具体的修改建议。湖南城建高等专科学校王清和副教授在本书的编写过程中，提出了许多宝贵的意见。特向他们表示衷心的感谢。

限于编者水平，且编写时间仓促，书中缺点和错误难免，恳请读者指正。

编　者

2001年12月

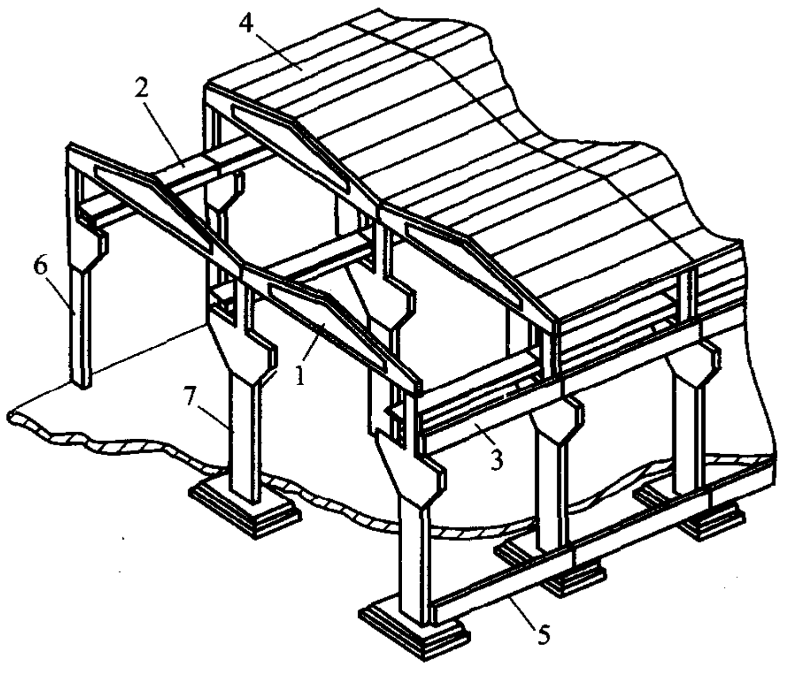
目　录

第1章 绪 论

§1-1 建筑力学的任务

1-1-1 结构及其分类

建筑物中承受荷载而起骨架作用的部分称为结构，组成结构的每一个部分称为构件。结构承受的荷载有自重、风载、人群荷载、屋面积雪重量、吊车压力等，同时结构还要承受其他因素的影响，如温度变化、支座沉降、地震作用等。图1-1为单层厂房结构，其屋面梁、吊车梁、柱、基础等都是构件。



1—屋面大梁，2—吊车梁，3—连系梁，4—屋面板，5—基础梁，
6—边列柱，7—中列柱

图1-1

结构的类型很多，按组成结构构件的形状和几何尺寸可将结构分为杆件结构、薄壁结构和实体结构三类。

长度远大于截面尺寸的构件称为杆件，如梁、柱等，全部构件由杆件组成的结构称为杆件结构，如图1-1所示厂房结构为杆件结构。长度和宽度远大于厚度的构件称为薄壁。平面板状的薄壁结构称为薄板，由若干块薄板可组成薄壁结构(图1-2)；具有曲面外形的薄壁结构，称为薄

壳结构(图 1－3)。长宽高接近的结构称为实体结构,例如挡土墙(图 1－4)、堤坝、块式基础等。

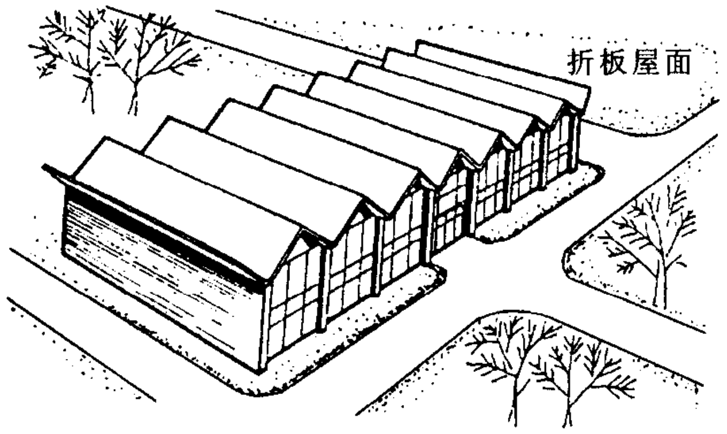


图 1－2

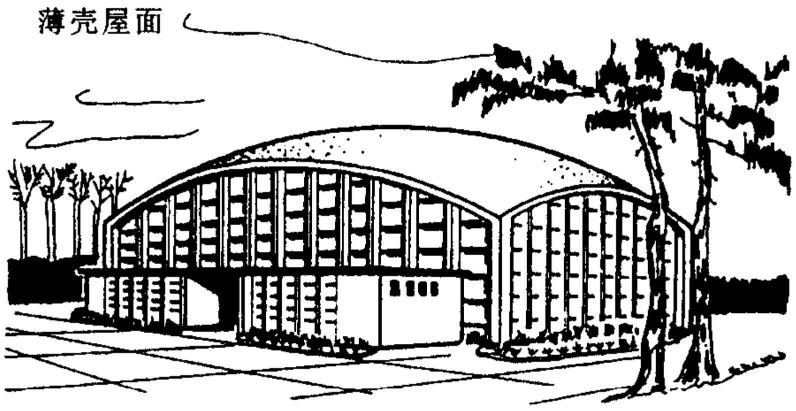
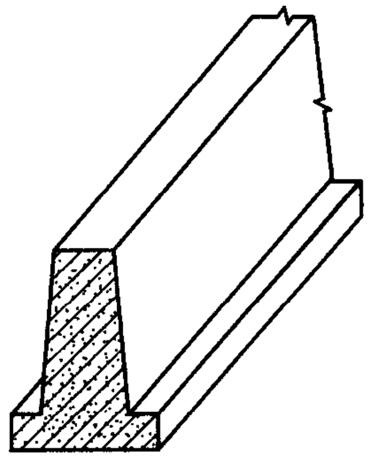


图 1－3

依照空间特征区分,杆件结构可分为平面杆件结构和空间杆件结构两类。凡组成结构的所有杆件的轴线都位于某一平面内,并且荷载也作用于该平面内的结构,称为平面杆件结构。否则,便是空间结构。严格说来,实际的结构都是空间结构,不过在进行计算时,常可根据其实际受力情况的特点,将它分解为若干平面结构来分析,以使计算简化。但需注意,并非所有情况都能这样处理,有些是必须作为空间结构来研究的。本书的研究对象只限于平面杆件结构。



挡土墙

图 1－4

1－1－2　建筑力学研究的内容

结构的主要作用是承受荷载和传递荷载。要使建筑物按预期功能正常工作,要求结构和构件必须满足以下力学方面的要求:

1. 构件必须按一定的几何规律组成结构,以确保荷载作用下其空间几何形状不发生变化。

2. 结构和构件必须具有一定的承载能力,即要求具备一定的强度。如果强度不足,构件在荷载或其他因素作用下就会发生破坏。

3. 结构和构件必须具有一定的抵抗变形的能力,即要求具备一定的刚度。如果变形过大,会影响结构的正常使用。如吊车梁变形过大,会影响吊车的正常行驶。

4. 构件承受压力作用时,必须保持原有形状的平衡,即要求具备一定的稳定性。受压力作用的构件突然偏离原有平衡状态而破坏的现象称为失稳,构件失稳将导致结构物的破坏。

综上所述,建筑力学研究的是结构的几何组成规律,结构和构件的强度、刚度、稳定性的计算原理和计算方法,使结构满足安全性、适用性和经济性等方面的要求。本书着重讨论构件的强度与刚度问题,并用较大的篇幅讨论结构的内力计算。这一方面是为构件的强度计算提供内力条件。另一方面是为学习内力计算方法、特别是超静定结构的计算方法;同时通过内力计算,了解结构的整体受力性能,为工程中结构的选用提供理论依据。

建筑力学是直接为建筑设计与施工服务的,因此它的计算工作量往往也是比较大的,读者务必认真掌握科学的学习方法,养成良好的学习习惯。

§1－2　变形固体的基本假设

在外力的作用下形状和大小不发生变化的物体称为刚体。实际物体受力作用后都会或大或小地发生变形，有一类结构在温度变化等一些非外力因素作用下，结构中各部分之间也会产生相互作用力，同时还产生变形。在研究某些力学问题时，构件的变形对结果的影响很小，可以忽略不计。这时，可将构件视为刚体，从而使问题得到简化。如利用静力平衡条件计算结构的约束反力时，就是把结构及构件看作刚体的。

在外力作用下形状发生改变的物体称为变形固体。在一些力学问题的研究中，必须考虑变形因素的影响，如讨论结构的强度问题时，就必须考虑构件的变形。这时，将构件视为变形固体，并认为变形固体满足以下基本假设。

1－2－1　完全弹性假设

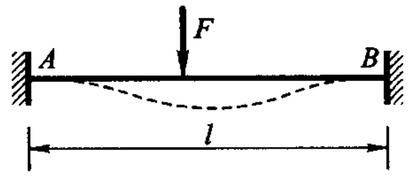


图 1－5

变形固体在外力作用下发生变形的大小与外力成正比，当外力撤除后，构件的变形会完全消失。如图 1－5 所示直杆，在外力 $\boldsymbol{F}$ 作用下会产生变形，如图中虚线所示。当外力 $\boldsymbol{F}$ 不大时，这种变形在外力 $\boldsymbol{F}$ 撤除后便完全消失。实验表明，这种变形的大小与外力成正比。当外力增大时，这种变形将随之增大，当外力增大到一定值后，所引起的变形便不能完全消失。本书将只讲述前一种情形。

1－2－2　连续均匀假设

变形固体内部是密实的，无空隙的，各部分都有相同的物理性质。密实的假设是说固体的整个体积毫无空隙地充满了物质。实际的固体由很多微粒或晶体组成，微粒或晶体间存在间隙；各微粒与晶体的性质不完全相同。微粒或晶体的大小与构件的尺寸相比极其微小，微粒或晶体的数量极大，排列又极不规则，固体的整体性能反映的微粒或晶体的统计平均性质。应该说明，这里所谓微粒或晶体，它们仍然包含了极大数目的分子或原子，微粒或晶体的物理性质仍然是极大数目分子或原子的统计平均性质。这里所述物理性质，是指固体的导热性质、热膨胀系数、弹性模量等。

1－2－3　各向同性假设

变形固体沿不同的方位有完全相同的物理性质。如前述，组成固体的微粒或晶体沿不同的方向具有不同的性质。但一般固体的尺寸远大于微粒或晶体的尺寸，且这些微粒与晶体在固体内杂乱无章的排列，因而固体的性质反映的是大量微粒或晶体的统计平均性质，即它们表现出来的整体性质是各向同性。常见的混凝土和金属材料如钢材，可以认为是各向同性材料。但钢丝、各种轧制的钢、纤维整齐的木材、胶合板、复合材料等不具有各向同性的物理性质。

1－2－4　小变形假设

构件的变形与本身的几何尺寸相比很微小，在研究某些问题时可以略去不计或作近似处理。

工程实际中，在大多数情况下构件产生的变形以及由变形累加而形成的位移，比起构件本身的尺寸而言是微小的。后面将看到，这种微小的变形再加上必要的物理条件，可以使静力计算得到简化，例如线性叠加原理(参见第 4 章)可应用于引起的误差在工程允许的范围内的工程问题。比如在计算悬臂梁的固端弯矩时，可以采用构件的原跨度，力的作用点可以采用原始的位置。有关变形微小的数量概念，将在有关的章节论及。

除了以上的假设外，本书还会有关于变形与内力的假设，请读者注意。

§1－3 杆件变形的基本形式

杆件在外力作用下的变形形式与杆件的几何性质及荷载大小、作用方式有关，但最基本的形式为以下四种。实际的变形或为其中之一，或为几种基本形式的组合。

1－3－1 轴向拉伸与压缩

在一对方向相反，作用线与轴线重合的外力作用下，杆件发生沿轴线方向的伸长或缩短，这种变形形式称为轴向拉伸或压缩，如图 1－6a,b 所示。

1－3－2 剪切

在一对相距很近，方向相反，作用线与轴线垂直的外力作用下，杆件的横截面沿外力作用方向发生错动，这种变形形式称剪切，如图 1－6c 所示。

1－3－3 扭转

在一对方向相反，位于垂直于杆轴线的两平面内的两个力偶作用下，杆件的任意两横截面之间发生相对转动，这种变形形式称为扭转，如图 1－6d 所示。

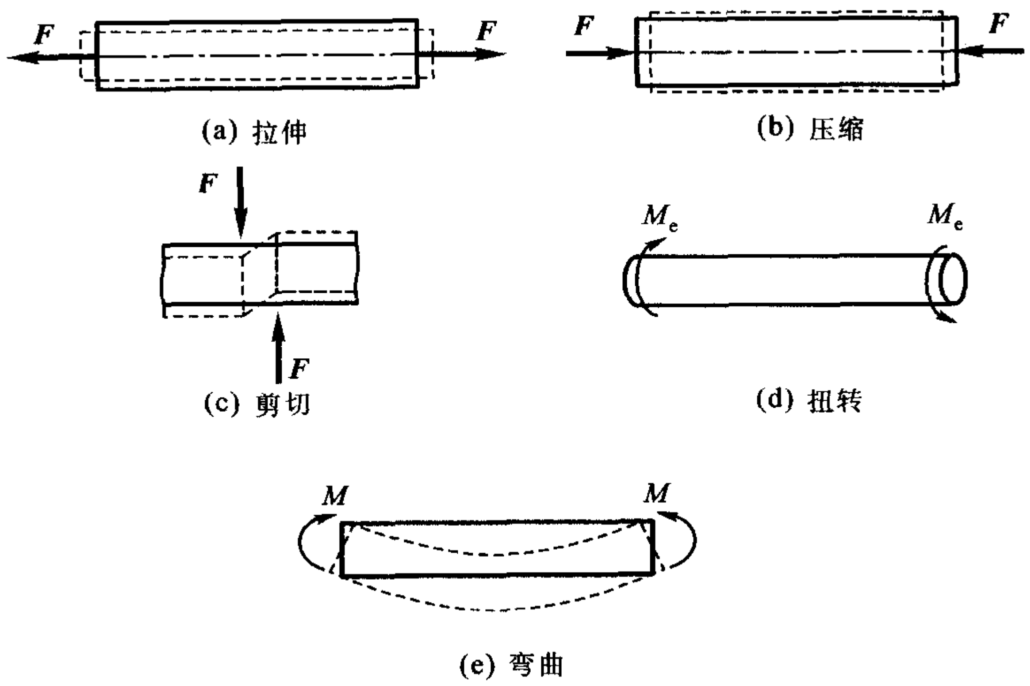


图 1－6

1-3-4 弯曲

在一对方向相反,位于杆的纵向对称平面内的力偶作用下,杆件的轴线变为曲线,这种变形形式称为弯曲,如图 1-6e 所示。

第2章 静力学基本概念

内容与重点

本章介绍平衡、刚体和力的概念及静力学公理，介绍力的投影、合力投影定理和力矩、力偶的概念及其性质。在这一章里将详细地阐述工程中常见的约束及其约束反力，以及物体的受力分析与受力图。最后介绍结构计算简图。

这一章的重点是：物体的约束反力及物体的受力分析，力在坐标轴上的投影，力对点之矩与力偶矩的计算，合力投影定理，力偶的性质。

§2-1 力的概念

2-1-1 力的三要素

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中从感性认识到理性认识逐步形成的。力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化。

力对物体产生的效应一般可分为两个方面：一个是力使物体运动状态的改变，另一个是力使物体形状的改变。通常将前者称为力的外效应或运动效应，后者称为力的内效应或变形效应。

实际物体在力的作用下，都会产生程度不同的变形。但在工程结构中的微小变形，对研究物体（结构）的平衡问题不起主要作用，可以略去不计，这样可使问题的研究大为简化。因此，在研究平衡问题时将受力物体视为不变形的刚体，即在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变。这是一个被抽象出的理想化的力学模型。

实践表明，力对物体的作用效应决定于力的大小、方向和作用点，通常称为力的三要素。当这三个要素中的任何一个改变时，力的效应也将发生变化。

力的三要素表明力是矢量，且为定位矢量。在力学中，力矢量可用一具有方向的线段来表示，如图2-1所示。用线段的长度按一定的比例表示力的大小，用线段的方位和箭头的指向表示力的方向，用线段的起点（A点）或终点（B点）表示力的作用点。通常用粗体字母表示力的矢量，如$\boldsymbol{F}$等。

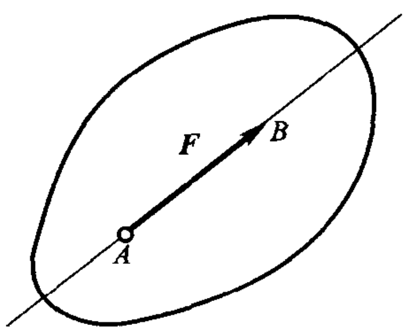


图2-1

力的大小是指物体间相互作用的强弱，可用测力器测定。力的国际制单位是N，或kN。

力的作用点是力的作用区域的抽象。实际上物体间相互作用的

区域不是一个点，而是具有一定面积或体积的区域，当作用面积或体积很小时可抽象化为点，称为力的作用点。作用于这个点上的力称为集中力，如力的作用区域不能抽象化为点时则为分布力。

2-1-2 二力平衡公理

公理是人们在长期的生活和生产实践中经验的总结，又经实践反复检验，被确认是符合实际、客观存在的普遍规律。静力学公理是静力学的基础。二力平衡公理为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、作用于同一直线上，如图 2-2 所示。

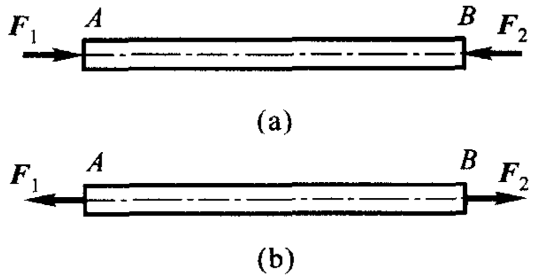


图 2-2

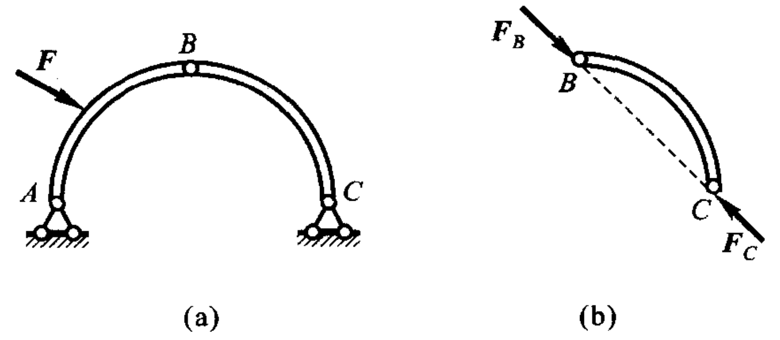


图 2-3

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。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。由公理可知，该两力必沿作用点的连线。如图 2-3 所示三铰拱，当其中的 BC 杆不计自重时，就是二力构件。

2-1-3 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系中，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

推论：力的可传性原理。作用于刚体上的力，可沿其作用线（经过力作用点且与力矢量重合的直线）移至刚体内的任一点，而不改变它对刚体的作用效应。

设力 $\boldsymbol{F}$ 作用于刚体上的 A 点（图 2-4），在其作用线上任取一点 B，并在 B 点添加一对平衡力 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$。取 $\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{F}$，由加减平衡力系公理可知，此时力对刚体的作用效应不变。根据二力平衡公理，$\boldsymbol{F}$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 相互平衡，减去这一对平衡力，于是只剩下作用于 B 点的力 $\boldsymbol{F}_1$，显然它与原来作用于 A 点的力 $\boldsymbol{F}$ 等效。可见，力对刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关，力可沿其作用线在刚体内任意移动而不改变其对刚体的作用效应。因此，对刚体而言，力是滑动矢量。

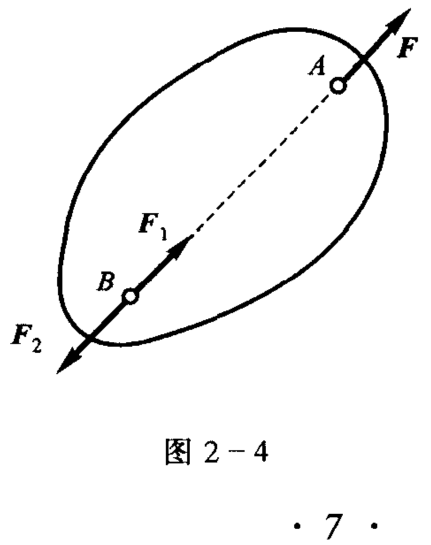


图 2-4

2-1-4 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边构成的平行四边形

的对角线来表示，如图 2－5a 所示。

该公理表明，力可按平行四边形法则进行合成或分解，合力 $\boldsymbol{F}_R$ 与分力 $\boldsymbol{F}_1$，$\boldsymbol{F}_2$ 间的关系符合矢量运算法则：

$$\boldsymbol{F}_R=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2 \tag{2-1}$$

即合力等于这两个分力的矢量和(或几何和)。

用矢量加法求合力时，不必作出整个平行四边形，可由简便方法求之。由任一点 O 起，另作一力三角形，如图 2－5b，c 所示。力三角形的两个边分别为力矢量 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$，第三边 $\boldsymbol{F}_R$ 即代表合力矢量，而合力的作用点仍在汇交点 A。这种求合力的方法，称为力三角形法则。

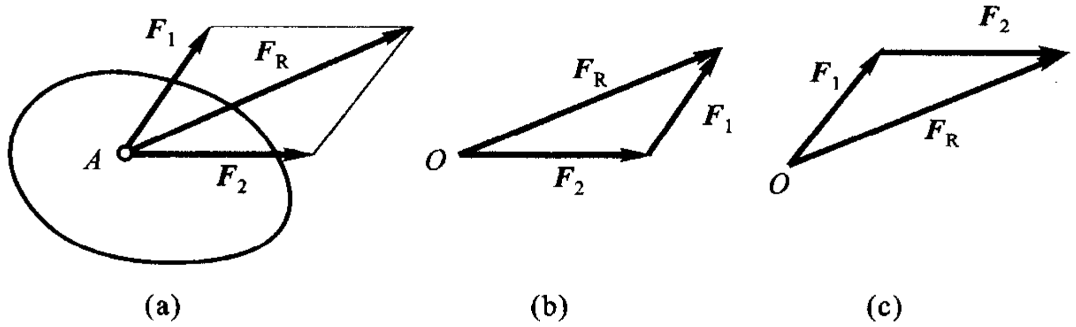


图 2－5

2－1－5 作用力与反作用力

两物体间相互作用的力，总是大小相等、方向相反、沿同一直线分别作用在相互作用的两个物体上。

这个定律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的，已知作用力便可得知反作用力。它是分析物体受力时必须遵循的原则，也为研究由一个物体过渡到多个物体组成的物体系统问题提供了基础。

必须强调指出，由于作用力与反作用力分别作用在两个物体上，因此，决不可认为作用力和反作用力相互平衡。例如，静置于水平地板上的物块(图 2－6a)，受重力 $\boldsymbol{W}$ 和地板的反力 $\boldsymbol{F}_N$ 作用(图 2－6b)，它们都作用在物块上，使物块保持静止，所以 $\boldsymbol{W}$ 和 $\boldsymbol{F}_N$ 不是作用力和反作用的关系，而是一对平衡力。重力 $\boldsymbol{W}$ 是地球对物块的吸引力，作用在物块上，与此同时，物块对地球也有一个吸引力 $\boldsymbol{W}'$，作用在地球上(图 2－6c)。虽然 $\boldsymbol{W}$ 与 $\boldsymbol{W}'$ 的大小相等，方向相反，沿同一直线，但不作用在同一物体上，因此这两个力互相不能平衡，而是作用力和反作用力关系。同样，物块与地板间的相互作用力 $\boldsymbol{F}_N$ 和 $\boldsymbol{F}'_N$ 也是作用力与反作用力的关系。

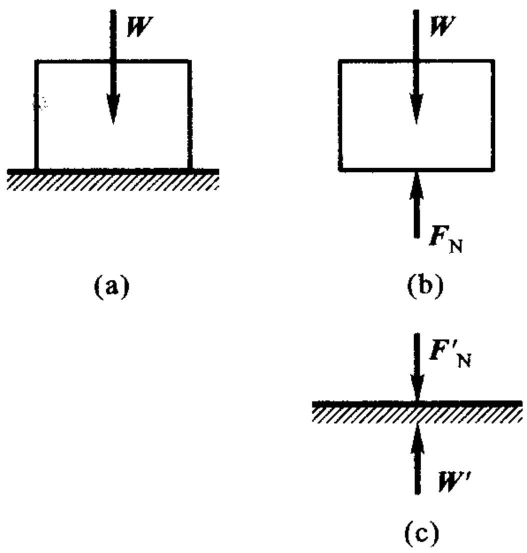


图 2－6

2－1－6 力的投影

1．力在坐标轴上的投影

设力 $\boldsymbol{F}$ 作用于 A 点(图 2-7),在直角坐标系 Oxy 平面内,从力矢量 $\boldsymbol{F}$ 的两端点 A 和 B 分别向 x 轴作垂线 Aa 和 Bb,将线段 ab 冠以相应的正负号,称为力 $\boldsymbol{F}$ 在 x 轴上的投影,以 F_x 表示。同理,自 A,B 两点分别作 y 轴的垂线 Aa' 和 Bb',将线段 $a'b'$ 冠以相应的正负号,称为力 $\boldsymbol{F}$ 在 y 轴上的投影,以 F_y 表示。

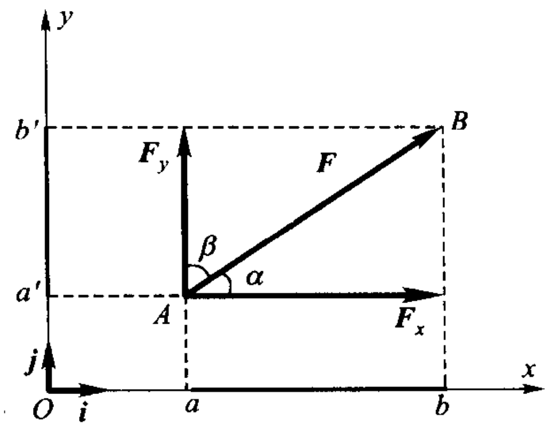


图 2-7

投影与力的大小和方向有关。设力 $\boldsymbol{F}$ 与坐标轴正向间的夹角分别为 α 和 β,则由图 2-7 可知

$$\left.\begin{aligned}F_x &= F\cos\alpha\\ F_y &= F\cos\beta\end{aligned}\right\}\qquad(2-2)$$

力在坐标轴上的投影是代数量,其正负号由 α,β 确定。F_x 和 F_y 正负号的简易判别法是:如力的投影从始端 a(或 a')到末端 b(或 b')的指向与坐标轴 x(或 y)的正向相同,则投影 F_x(或 F_y)为正,反之为负。

若已知力 $\boldsymbol{F}$ 在两坐标轴上的投影 F_x 和 F_y,则力的大小和方向余弦为

$$\left.\begin{aligned}F &= \sqrt{F_x^2+F_y^2}\\ \cos\alpha &= \frac{F_x}{F},\cos\beta=\frac{F_y}{F}\end{aligned}\right\}\qquad(2-3)$$

由图 2-7 可知,力 $\boldsymbol{F}$ 沿直角坐标轴 Ox 和 Oy 可分解为两个分力 $\boldsymbol{F}_x$ 和 $\boldsymbol{F}_y$,分力与投影之间有下列关系:

$$\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_x+\boldsymbol{F}_y=F_x\boldsymbol{i}+F_y\boldsymbol{j}\qquad(2-4)$$

其中 $\boldsymbol{i}$,$\boldsymbol{j}$ 分别为 x,y 轴的单位矢量。

2. 合力投影定理

(1) 用几何法求合力

设力 $\boldsymbol{F}_1$,$\boldsymbol{F}_2$,$\boldsymbol{F}_3$ 为作用于刚体同一点 A 的平面力系(图 2-8a),可通过几何作图求出该力系的合力。于汇交点 A 作力矢量 $\boldsymbol{F}_1$(图 2-8b),再在 $\boldsymbol{F}_1$ 的末端点 B 作力矢量 $\boldsymbol{F}_2$,构成开口的力三角形 ABC,由力三角形法则可知,其封闭边 AC 就是力 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 的合力 $\boldsymbol{F}_{R1}$,即 $\boldsymbol{F}_{R1}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$。这时刚体上的力 $\boldsymbol{F}_{R1}$ 和 $\boldsymbol{F}_3$ 与原力系等效。然后,在力矢量 $\boldsymbol{F}_{R1}$ 的末端点 C 作力矢量 $\boldsymbol{F}_3$,构成开口的力三角形 ACD,其封闭边 AD 为力矢量 $\boldsymbol{F}_R$,即

$$\boldsymbol{F}_R=\boldsymbol{F}_{R1}+\boldsymbol{F}_3=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\boldsymbol{F}_3$$

力 $\boldsymbol{F}_R$ 与原力系等效,故 $\boldsymbol{F}_R$ 为原力系的合力,其作用线仍通过原汇交点 A。实际上,作图时,力矢量 $\boldsymbol{F}_{R1}$ 可不必画出,只要将各力首尾相接,再由第一个力 $\boldsymbol{F}_1$ 的起点 A 向最末一个力 $\boldsymbol{F}_3$ 的末端点 D 作出合力 $\boldsymbol{F}_R$ 即可。

力系中的各力矢量与合力矢量构成的多边形 $ABCD$ 称为力多边形,表示合力矢量的边 AD 称为力多边形的封闭边,用力多边形求合力 $\boldsymbol{F}_R$ 的几何作图规则称为力多边形法则,这种方法称为几何法。

根据矢量相加的交换律,任意变换分力矢量的作图次序,可得形状不同的力多边形,但其合力矢量仍然不变,如图 2-8b 中的虚线所示。

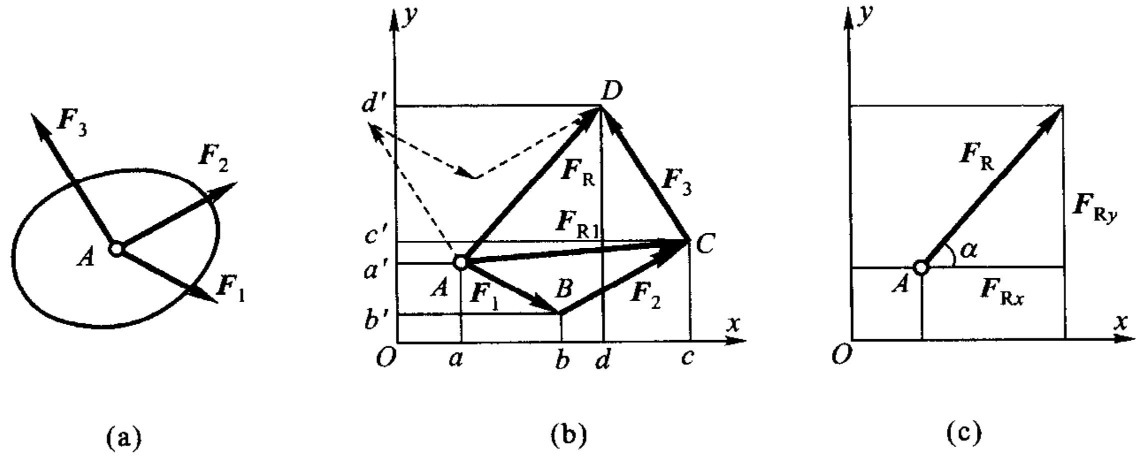


图 2－8

(2) 合力投影定理

任取直角坐标系 Oxy(图 2－8b),设合力 $\boldsymbol{F}_R$ 和各分力 $\boldsymbol{F}_1$,$\boldsymbol{F}_2$,$\boldsymbol{F}_3$ 在 x 轴上的投影分别为 F_{Rx},F_{1x},F_{2x}和 F_{3x},则有

$$F_{Rx} = ad$$

$$F_{1x} = ab, F_{2x} = bc, F_{3x} = -cd$$

由图 2－8b 可知:

$$ad = ab + bc - cd$$

因此有

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}$$

同理,可得合力 $\boldsymbol{F}_R$ 在 y 轴上的投影为

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}$$

将上述几何法求合力,以及合力投影与各分力投影间的关系,推广到 n 个力组成的平面汇交力系,则得到该力系的合力矢量为

$$\boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \cdots + \boldsymbol{F}_n = \sum \boldsymbol{F}$$

投影关系为

$$\left.\begin{aligned} F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \sum F_x \\ F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \sum F_y \end{aligned}\right\} \qquad (2-5)$$

即合力在任一轴上的投影,等于力系的各个分力在同一轴上投影的代数和,称为合力投影定理。

(3) 用解析法求合力

如图 2－8c 所示,合力矢量 $\boldsymbol{F}_R$ 在 x 和 y 轴上的投影分别为 F_{Rx}和 F_{Ry},则根据式(2－5)可求得合力矢量的大小及其与 x 轴正向间的夹角 α 为

$$\left.\begin{aligned} F_R &= \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \alpha &= \arctan\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \arctan\frac{\sum F_y}{\sum F_x} \end{aligned}\right\} \qquad (2-6)$$

这种用代数法求合力的方法称为解析法。

§2-2　力矩与力偶

2-2-1　力对点之矩

实践表明，当用扳手转动螺母时（图 2-9a），作用于扳手一端 A 点的力 $\boldsymbol{F}$ 使扳手绕 O 点转动的效应，不仅与力 $\boldsymbol{F}$ 的大小有关，而且与 O 点到力 $\boldsymbol{F}$ 作用线的距离 d 有关。因此，作用于物体上的力 $\boldsymbol{F}$，使物体绕其上任一确定点 O 的转动效应（图 2-9b），以乘积 Fd 度量，这个量称为力 $\boldsymbol{F}$ 对 O 点之矩，简称力矩，以符号 $M_O(\boldsymbol{F})$ 表示，即

$$M_O(\boldsymbol{F}) = \pm Fd \tag{2-7}$$

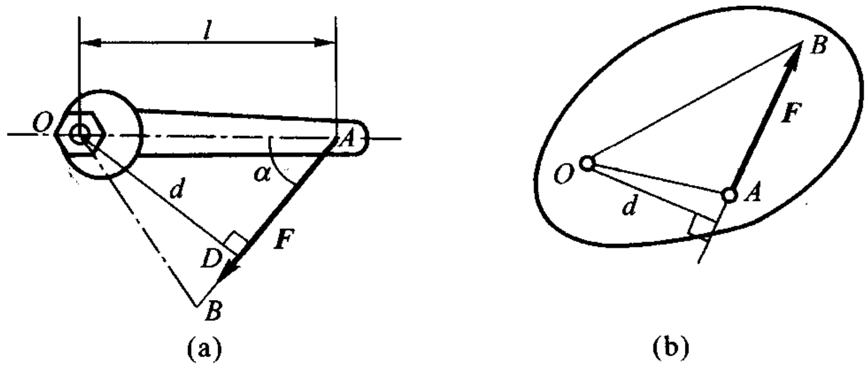


图 2-9

点 O 称为力矩中心，简称矩心，d 称为力臂，乘积 Fd 称为力矩的大小，而正负号表示力矩的转向。通常规定：力使物体绕矩心作逆时针方向转动时，力矩取正号，反之取负号。平面内力对点之矩只取决于力矩的大小和转向，因此在平面问题中，力矩是代数量。

由图 2-9b 可知，力矩的大小还可用力 $\boldsymbol{F}$ 为底边，矩心为顶点所构成的三角形面积的两倍来表示，即

$$M_O(\boldsymbol{F}) = \pm 2A_{\triangle OAB} \tag{2-8}$$

力矩的单位是 N·m 或 kN·m。

2-2-2　力偶

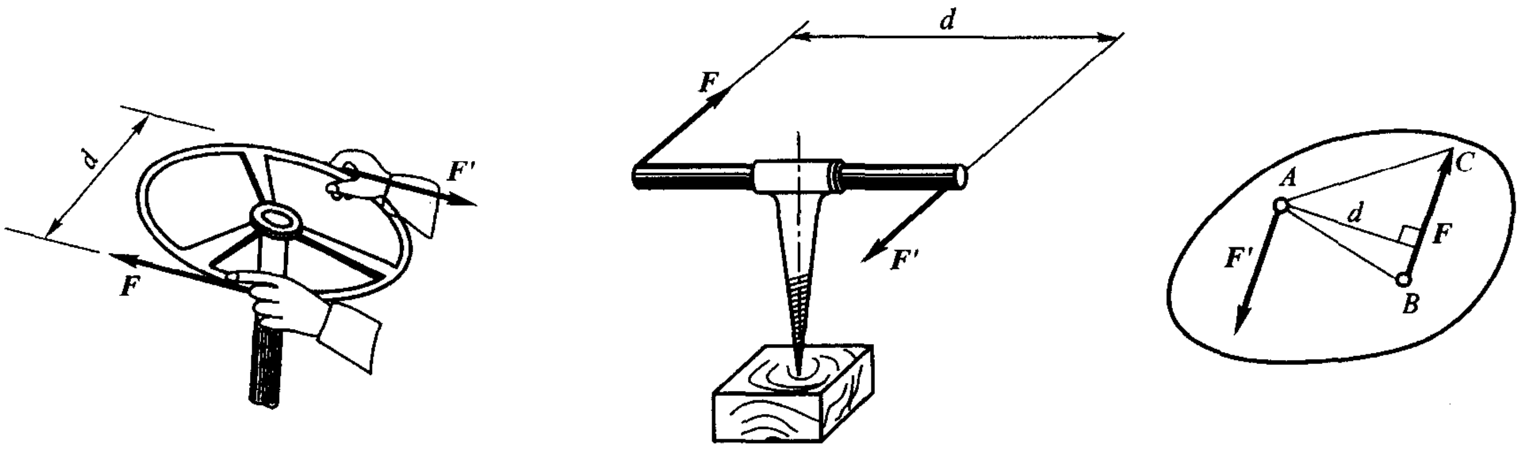
1. 力偶和力偶矩

大小相等、方向相反、作用线不重合的两个平行力所组成的力系称为力偶，以 M 表示。例如司机双手操纵方向盘，木工用丁字头螺丝钻孔等（图 2-10a，b），它们上面都作用有一对彼此等值、反向、平行且不共线的力，即组成力偶。力偶对物体仅产生转动效应。

力偶的两个力的作用线所确定的平面称为力偶的作用面，两个力作用线之间的距离称为力偶臂（图 2-10c），把力偶中任何一力的大小 F 与力偶臂 d 的乘积 Fd，冠以适当的正负号，作为力偶使物体转动效应的度量，称为力偶矩，即

$$M = \pm Fd \tag{2-9}$$

一般规定，逆时针方向转动的力偶矩为正，反之为负。平面力偶的力偶矩是代数量，其单位与力



(a)　　(b)　　(c)

图 2－10

矩的单位相同。

由图 2－10c 可知，力偶矩的大小还可用一个力 $\boldsymbol{F}$ 为底边，另一个力 $\boldsymbol{F}'$ 的作用线上任一点 A 为顶点所构成的三角形面积的两倍来表示，即

$$M = \pm 2A_{\triangle ABC} \tag{2-10}$$

2. 力偶的性质

根据二力平衡公理可知，力偶不是平衡力系，它是一种特殊力系，与力一样，力偶也是力学中的一个基本量。力偶具有如下的性质：

(1) 力偶不能与单个力等效或平衡

可以证明，力偶中的两个力没有合力，因此力偶就不可能与一个力等效，从而也不能与一个力平衡。

(2) 力偶对其作用面内任一点的矩，恒等于力偶矩

设力偶由 $\boldsymbol{F}, \boldsymbol{F}'$ 组成(图 2－11)，力偶臂为 d，矩心 O 是力偶作用面内的任意一点，O 点到两力的距离分别为 b 和 $b+d$。则力偶矩 $M = Fd$，力偶对 O 点的矩为两力 $\boldsymbol{F}, \boldsymbol{F}'$ 对 O 点之矩的代数和，即

$$M_O = F(b+d) - F'b = F(b+d) - Fb = Fd \tag{2-11}$$

故

$$M = M_O$$

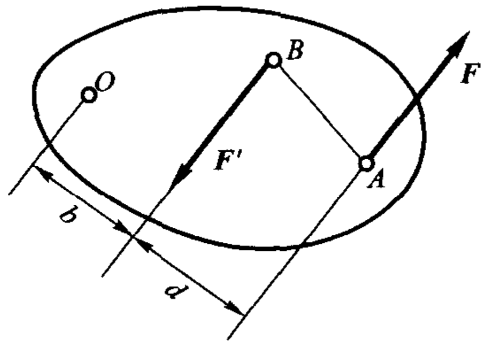


图 2－11

(3) 作用在同一平面内的两个力偶等效的必要和充分条件是力偶矩相等

由于力偶的转动效应只能由力偶矩来度量，当两个力偶共面时，这两个力偶的作用效应是相同的。

因此可推知，任一力偶在其作用面内任意移转，不改变它对物体的作用效应；在力偶矩不变的条件下，同时改变力偶中两力的大小和力偶臂的长短，不改变力偶对物体的作用效应。

由此可见，力偶的力偶臂和力的大小都不是力偶的特征量，只有力偶矩是力偶作用效应的唯一度量。因此，力偶除了用力和力偶臂表示外，也可直接用力偶矩表示，即用带箭头的弧线表示