

同
济
大
学
工
程
力
学
系
列
教
材

建筑力学

同济大学
航空航天与力学学院

同济大学出版社

同济大学工程力学系列教材

建筑力学

同济大学航空航天与力学学院

同济大学出版社

内 容 提 要

本书是同济大学“十五”规划教材。全书共分十八章,内容包括静力学基础,静定结构的内力和位移计算,构件的强度、刚度、稳定性,超静定结构的内力和位移计算等。各章后均有思考题和习题,并附有参考答案。

本书可作为高等工科院校的建筑、城规、园林、室内装潢、建筑管理、暖通、建筑材料和环保等专业及高等技术学院、函授、夜大等土建类专业的教材,也可作为有关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/同济大学航空航天与力学学院。

—上海:同济大学出版社,2005.9

ISBN 7-5608-2964-3

I. 建… II. 同… III. ① 建筑力学—高等学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 054826 号

同济大学工程力学系列教材

建筑力学

同济大学航空航天与力学学院

责任编辑 解明芳 责任校对 杨江淮 封面设计 潘向秦

出 版
发 行

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销

全国各地新华书店

印 刷

同济大学印刷厂印刷

开 本

787mm×960mm 1/16

印 张

27.75

字 数

555 000

印 数

1—5 200

版 次

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

书 号

ISBN 7-5608-2964-3/TU·614

定 价

36.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

同济大学原《建筑力学》教材经十几年在同济大学的建筑学、城市规划、建筑管理和房地产等专业的教学实践,其部分内容现已陈旧,且知识面窄,滞后学科建设的发展。这次新编教材是根据教学改革及培养跨世纪人才的需要,对原有内容作了较大幅度的更新和调整,吸收了新的力学研究成果,对某些问题的讨论加强了定性分析,对一些不足及错讹之处作了修正,并对定位不够准确的地方重新进行了诠释,力求使课程体系和内容均能满足上述专业对力学知识的需要,较好地解决上述各专业在力学课程教学中存在的问题,使新教材能更好地适应当前教学改革与实践的需要。

本书是结合同济大学建筑、城规、园林、室内装潢和建筑管理等有关专业多年来教学改革的实践编写而成的,它将理论力学中的静力学、材料力学中的主干内容和结构力学的基本部分融会贯通和推陈出新,并在加强工程观念培养、强化力学建模和工程应用能力训练等方面进行了积极的探索。本书与建筑结构教学相配合,在使用过程中不断地调整完善,形成了建筑力学专业和力学专业的系列教材之一。本书也可作为高等工科院校土建类的暖通、建筑材料、环保等专业及高等技术学院、函授、夜大等土建类有关专业的力学教材。

本书第一、五、六、七、八、九、十、十一、十二章及附录由虞爱民编写;第二、三、四章由王斌耀编写;第十三、十四、十五、十六、十七、十八章由卢国强编写。全书由虞爱民负责统稿。

承蒙陈心爽教授、张相庭教授仔细地审阅了全书,他们提出了许多宝贵的意见,编者在此谨致衷心的感谢。

本书是同济大学“十五”规划教材,得到了同济大学教材、学术著作基金委员会的资助,特此致谢。

限于编者水平,书中如有疏漏、欠妥之处,恳请广大教师和读者批评指正。

编 者

2004年10月30日同济园

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 结构与构件	(1)
第二节 刚体、变形固体及其基本假设	(2)
第三节 杆件变形的基本形式	(3)
第四节 建筑力学的任务和内容	(4)
第五节 载荷的分类	(4)
第六节 结构计算简图	(5)
第二章 刚体静力学的基本概念与基本力系的简化	(7)
第一节 概述	(7)
第二节 静力学的公理及推论	(8)
第三节 力的投影	(10)
第四节 力矩	(12)
第五节 基本力系的简化	(16)
第六节 平行分布力(载荷)	(22)
第三章 空间任意力系的简化与物体的受力分析	(38)
第一节 空间任意力系的简化	(38)
第二节 约束与约束力	(41)
第三节 物体系统的受力分析	(47)
第四章 力系的平衡、静定与超静定的概念	(52)
第一节 平衡方程的解析形式	(52)
第二节 物体系统的平衡问题	(63)
第五章 轴向拉伸与压缩	(76)
第一节 轴向拉伸与压缩的概念与实例	(76)
第二节 内力、截面法、轴力及轴力图	(76)
第三节 应力、拉(压)杆内的应力	(79)
第四节 拉(压)杆的变形与胡克定律	(83)
第五节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	(88)
第六节 材料拉压性能的进一步研究	(91)
第七节 安全因数、许用应力与强度条件	(93)
第八节 应力集中的概念	(98)

第六章 连接件的工程实用计算	(105)
第一节 概述.....	(105)
第二节 剪切和挤压的实用计算.....	(106)
第七章 扭转	(115)
第一节 引言.....	(115)
第二节 扭力矩计算、扭矩与扭矩图.....	(116)
第三节 薄壁圆筒的扭转.....	(118)
第四节 圆轴扭转时的应力与强度条件.....	(121)
第五节 圆轴扭转时的变形与刚度条件.....	(126)
第六节 矩形截面杆的扭转.....	(129)
第八章 弯曲应力	(134)
第一节 概述.....	(134)
第二节 剪力、弯矩与剪力图、弯矩图.....	(135)
第三节 按叠加原理作弯矩图.....	(147)
第四节 梁横截面上的正应力及其强度条件.....	(149)
第五节 梁横截面上的切应力及其强度条件.....	(156)
第六节 梁的合理截面与变截面梁.....	(162)
第七节 弯曲中心的问题.....	(163)
第九章 梁弯曲时的位移	(178)
第一节 梁的位移——挠度与转角.....	(178)
第二节 梁的挠曲线近似微分方程及其积分.....	(179)
第三节 用叠加法求梁的位移.....	(185)
第四节 梁的刚度条件与合理刚度设计.....	(187)
第十章 应力状态与强度理论	(196)
第一节 应力状态的概念.....	(196)
第二节 二向应力状态分析.....	(197)
第三节 三向应力状态.....	(203)
第四节 强度理论及其相当应力.....	(206)
第十一章 杆件在组合变形下的强度计算	(217)
第一节 概述.....	(217)
第二节 斜弯曲.....	(218)
第三节 拉(压)弯组合与截面核心.....	(222)
第四节 扭转与弯曲组合.....	(228)
第十二章 压杆稳定	(237)
第一节 压杆稳定性的概念.....	(237)
第二节 细长压杆的临界力.....	(238)

第三节	压杆的临界应力	·····	(241)
第四节	压杆的稳定计算	·····	(246)
第十三章	平面体系的几何组成分析	·····	(257)
第一节	几何组成分析的目的	·····	(257)
第二节	平面体系的计算自由度	·····	(257)
第三节	组成几何不变体系的简单规则	·····	(260)
第四节	瞬变体系	·····	(261)
第五节	几何组成分析示例	·····	(262)
第六节	静定结构和超静定结构	·····	(264)
第十四章	静定结构的内力计算	·····	(267)
第一节	多跨静定梁	·····	(267)
第二节	静定平面刚架	·····	(269)
第三节	静定平面桁架的内力	·····	(276)
第四节	静定拱	·····	(282)
第五节	组合结构的内力	·····	(290)
第六节	静定结构的基本特性	·····	(292)
第十五章	静定结构的位移计算	·····	(298)
第一节	结构位移计算的目的	·····	(298)
第二节	刚体的可能位移原理	·····	(299)
第三节	静定结构由于支座移动所引起的位移计算	·····	(300)
第四节	变形体的虚功原理	·····	(304)
第五节	静定结构在载荷作用下引起的位移计算	·····	(305)
第六节	用图乘法计算梁及刚架的位移	·····	(308)
第七节	静定结构温度变化时的位移计算	·····	(313)
第八节	线弹性体系的互等定理	·····	(316)
第十六章	力法	·····	(323)
第一节	超静定结构的概述	·····	(323)
第二节	力法的基本原理	·····	(324)
第三节	力法的基本结构和超静定次数	·····	(326)
第四节	力法的典型方程	·····	(328)
第五节	对称性的利用	·····	(332)
第六节	力法计算其他类型的超静定结构	·····	(336)
第七节	超静定结构在温度变化和支座移动作用下的计算	·····	(344)
第八节	超静定结构在载荷作用下的位移计算	·····	(348)
第九节	超静定结构最后内力图的校核	·····	(350)
第十节	超静定结构的特性	·····	(351)

第十七章 位移法与力矩分配法	(357)
第一节 位移法的基本思路.....	(357)
第二节 等截面单跨超静定梁的形常数和载常数.....	(360)
第三节 位移法的基本未知量和基本结构.....	(363)
第四节 位移法的典型方程和算例.....	(364)
第五节 等截面直杆的转角位移方程和示例.....	(368)
第六节 力矩分配法.....	(372)
第七节 对称性的利用.....	(380)
第十八章 影响线及其应用	(387)
第一节 影响线的概念.....	(387)
第二节 用静力法作简支梁的内力影响线.....	(388)
第三节 影响线的应用.....	(391)
第四节 最不利荷载位置.....	(394)
第五节 简支梁的绝对最大弯矩.....	(398)
第六节 简支梁的内力包络图.....	(401)
附录 A 截面图形的几何性质	(405)
第一节 静矩和形心.....	(405)
第二节 惯性矩和惯性积.....	(407)
第三节 惯性矩和惯性积的平行移轴公式.....	(410)
第四节 惯性矩和惯性积的转轴公式.....	(412)
附录 B 简单荷载作用下梁的挠度和转角	(418)
附录 C 型钢规格表	(422)

第一章 绪 论

第一节 结构与构件

工程结构是工程中各种结构的统称,包括机械结构、土木结构、航空航天结构和化工结构等。在土木工程中,承受和传递载荷并起骨架作用的部分称为结构。图 1-1 所示为一个单层厂房结构的内部透视图。结构受载荷(如风力、屋顶积雪重力、吊车的作用力和厂房各部分的自重等)作用时,其几何形状和尺寸均会发生一定程度的改变,称为变形。

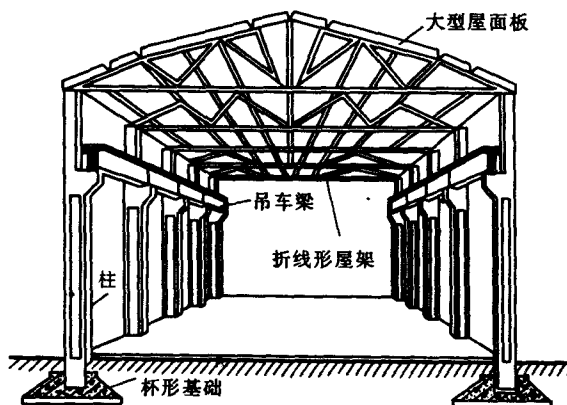


图 1-1

结构的组成部分统称为构件。图 1-1 中的基础、柱、吊车梁、屋面板以及组成屋架的诸杆件等均为构件。

按照几何特征,结构可分为杆系结构、薄壁结构和实体结构。

(1) 杆系结构 由细长杆件所组成的系统。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的宽度和高度。

(2) 薄壁结构 由薄板或薄壳等组成的结构。薄板、薄壳的几何特征是其厚度远远小于其他两个方向的尺寸。

(3) 实体结构 它是三个方向的尺寸大约为同量级的结构。

建筑力学的研究对象,主要是杆件和杆系结构。

第二节 刚体、变形固体及其基本假设

结构和构件统称为物体。建筑力学对所研究的物体采用了两种力学模型:刚体和变形固体。所谓刚体指的是在外力作用下形状和大小均不发生改变的固体,显然这是一种理想化的模型,其特点是其内部任意两点之间的距离始终保持不变。实际上,任何物体在力的作用下都会发生或多或少的变形,但在一些力学问题中,当物体变形与所研究的问题无关,或对所研究问题影响甚微时,可以忽略,将其视为刚体,而使所研究的问题得到简化。

如果在所研究的问题中,物体的变形成为主要因素时,就不再把物体看成是刚体,而视为变形固体。

变形固体的变形分为两类,一类为外力解除后可消失的变形,称为弹性变形。另一类为外力解除后不能消失的变形,称为塑性变形或残余变形。只产生弹性变形的固体称为弹性体。

实际的变形固体的结构和性态都比较复杂,但本书所涉及的研究内容仅仅限于宏观性态。因此,为简化研究过程,得到便于工程应用的结果,一般需对变形固体作出下列假设:

1. 连续性假设 假设在构件所占有的空间内毫无空隙地充满了物质,即认为材料是密实的。这样构件内的一些力学量(如各点的位移)可用坐标的连续函数表示,并可采用无限小的数学分析方法。

2. 均匀性假设 材料在外力作用下所表现的力学性能,称为材料的力学性质。该假设即认为材料的力学性质与其在构件中的位置无关。按此假设,从构件内部任何部位所切取的微小单元体(简称为微体)都具有与构件完全相同的性能。同样,通过试样所测得的材料性质,也可用于构件内的任何部位。

3. 各向同性假设 假设材料沿任何方向的力学性质完全相同,这类材料称为各向同性材料。当然,也有一些材料,它们的力学性质具有明显的方向性,例如,木材由增强纤维(碳纤维、玻璃纤维等)与基体材料(环氧树脂、陶瓷等)制成的复合材料,则属于各向异性材料。

按照连续、均匀、各向同性假设而理想化的一般变形固体称为理想变形固体。采用这个模型不但使理论分析计算得到简化,且所得结果的精度能满足工程的要求。

一般工程结构中,当外力不超过某一限度时,构件属于弹性体,且工作时所产生的弹性变形与构件尺寸相比是非常微小的,这类变形称为小变形。除非有特别说明,本书的研究内容限于小变形和弹性体的范围。

第三节 杆件变形的基本形式

所谓杆件,是指长度远大于横向尺寸的构件。杆件各横截面形心的连线称为轴线。轴线为直线的杆件称为直杆(图 1-2(a));轴线为折线或曲线的杆件分别称为折杆或曲杆,如图 1-2(b),(c)所示。如果杆件横截面的形状和尺寸沿杆的轴线保持不变,称为等截面杆(图 1-2),否则称为变截面杆(图 1-3)。

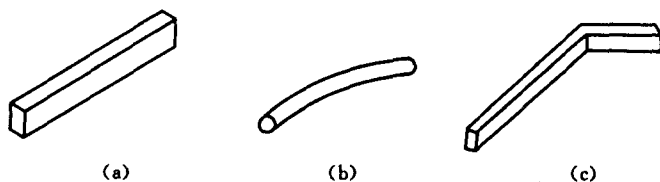


图 1-2



图 1-3

作用在杆上的外力是多种多样的,因此,杆的变形也是各不相同的。经分析,这些变形是四种基本变形形式之一,或其中某几种的组合。基本变形有以下四种:

1. 轴向拉伸与压缩 直杆受到与轴线重合的外力作用时,杆件的变形主要表现为轴线方向的伸长或缩短。这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩(图 1-4(a),(b))。

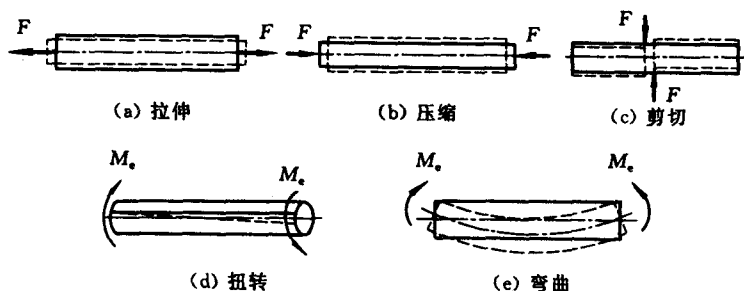


图 1-4

2. 剪切 一对相距很近、等值反向的平行力沿横向(垂直于杆轴)作用于杆件时,杆件的变形主要表现为两力间的截面沿力作用方向发生错动。这种变形形式称为剪切(图 1-4(c))。

3. 扭转 直杆在垂直于轴线的平面内,受到大小相等、方向相反的力偶作用时,各横截面将发生相对转动。这种变形形式称为扭转(图 1-4(d))。

4. 弯曲 直杆受到垂直于轴线的外力或在包含轴线的平面内的力偶作用时,杆件的轴线将由直线变成曲线。这种变形形式称为弯曲(图 1-4(e))。

构件在载荷作用下的变形,大多为上述几种基本变形的组合,纯属一种基本变形形式的构件较为少见。但若以某一种基本变形形式为主,其他属于次要变形的,则可按该基本变形形式计算。否则,则属于组合变形问题。本书先讨论杆件的四种基本变形问题,然后讨论组合变形问题。

第四节 建筑力学的任务和内容

建筑力学的任务是研究结构的几何组成规则,以及在载荷或其他因素(支座移动、温度变化)作用下建筑结构和构件的强度、刚度和稳定性问题。其目的是保证结构按设计的要求正常工作,并充分发挥材料的性能,使设计的结构既安全可靠又经济合理。

结构是由构件所组成,起着承受和传递载荷、支撑建筑物的作用。这就要求构件必须按一定的规律来组成结构,以确保在载荷作用下结构的几何形状不发生改变。

在常规工程设计中,结构必须满足强度、刚度和稳定性的要求。

所谓强度,是指构件抵抗破坏的能力。满足强度要求就是要求组成结构的各构件在正常工作条件下不致发生破坏。

所谓刚度,是指构件抵抗变形的能力。满足刚度要求就是要求结构或构件在正常工作条件下所发生的变形不超过允许的范围。

所谓稳定性,是指构件在载荷作用下保持其平衡形式不发生突然改变的能力。例如,受压杆件在外界扰动下,其原有的直线平衡形式不能突然改变为弯曲的平衡形式,否则,压杆将丧失承载能力,甚至导致结构物的坍塌。

主要内容:

(1) 研究物体平衡的一般规律,包括物体受力的分析方法、力系的简化和物体在力系作用下的平衡规律。

(2) 研究杆件在载荷作用下的强度、刚度和稳定性问题。

(3) 研究结构的组成规律和合理形式;结构的强度、刚度和结构的计算原理及计算方法。

第五节 载荷的分类

载荷是作用在结构上的主动力,在工程实际中,结构和构件所受的载荷有多种多样,为了便于分析和计算,可以从不同的角度将载荷进行分类。

恒载与活载——载荷按其作用在结构上的时间久暂,可分为恒载与活载。恒载是长期作用在结构上的不变载荷,如结构的自重、土压力等。活载是暂时作用于结构上的可变载荷,如车辆载荷、吊车载荷、风载荷、雪载荷及人群载荷等。

静载荷与动载荷——载荷按其作用在结构上的性质分为静载荷和动载荷。静载荷是指逐渐增加的,不致使结构产生显著的冲击或振动,因而可略去惯性力影响的载荷。当它增至最后确定的数值后,其大小、作用位置及方向不再随时间而变化。例如,将机器缓慢地放置在基础上,机器对基础的作用力便是静载荷。动载荷是一种突然施加的,或者随时间迅速变化的载荷,它将使结构受到显著的冲击和振动,产生不容忽视的加速度。例如,地震力、打桩机产生的冲击载荷等。

表面力与体积力——载荷按其作用在结构上的方式又可分为表面力与体积力。表面力是作用于构件表面的力,例如,水池内水对四壁的压力。体积力是连续分布于物体内部各点的力,如物体的重力。

如果载荷作用的范围与物体的尺寸相比十分微小,这时可认为载荷集中作用于一点,并称为集中力。

应该指出,结构除了承受载荷外,还可能受到其他外在因素的作用,如温度改变、支座移动和制造误差等。

第六节 结构计算简图

一个实际的结构,无论是本身的构造,还是构件与构件的连接方式以及载荷的作用与传递方式等都是很复杂的。进行力学分析计算时,必须将实际结构或构件抽象,简化为既能反映实际受力和变形状态,又便于计算并使计算结果具有足够精确度的图形。这种代替实际结构的简化图形称为该结构的计算简图。

对实际结构或构件的抽象、简化,主要包括对其几何形状、载荷、支座以及对构件与构件之间连接方式的简化。

在杆系结构的计算简图中,杆件本身均用其轴线来表示。杆件间相连接处称为结点。结构的结点通常可简化为铰结点和刚结点。铰结点的基本特点是它所连接各杆件都可以绕结点作自由转动。刚结点的特点是它所连接各杆不能绕结点自由转动,即在结点处各杆端之间的夹角始终保持不变。

怎样才能恰当地选取实际结构的计算简图,是结构设计中比较复杂的问题,也需要有较多的实际经验,并善于判断主次因素。对一些新型结构,往往还要通过反复试验和实践才能获得比较合理的计算简图。不过,对于常规的结构形式,则可利用前人已积累的经验,直接采用其常用的计算简图。

思考题

1-1 何谓强度? 何谓刚度? 何谓稳定性?

1-2 建筑力学的研究对象是什么？对它们作了哪些假设和哪些研究范围的规定？

1-3 杆件变形的的基本形式有哪几种？它们的外力特征和变形特征各是什么？

1-4 在静力学中，将研究的对象看作是刚体；而在材料力学和结构力学中，又将研究的对象看作是变形固体，是何原因？

第二章 刚体静力学的基本概念与基本力系的简化

第一节 概 述

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。

这里的所谓力系,是指作用在物体上的一群力;所谓平衡,是指运动的一种特殊状态,即物体相对地球保持静止或作匀速直线运动。

而作用于物体上的力系,只要满足一定的条件,即可使物体保持平衡,这种条件称为力系的平衡条件;满足平衡条件的力系称为平衡力系。

要研究物体在一群力的作用下处于平衡,首先要将这群力对物体的作用效果明显地表示出来,这个工作就是力系的简化。因此,静力学就要研究以下两个问题:

(1) 力系的等效替换和简化,就是将作用在物体上较复杂的力系,用一个最为简单的、与其作用效果相同的力系来替代。这种替代上去的简单力系称为原力系的等效力系。

(2) 力系的平衡条件及其应用,就是得到力系作用下满足平衡的一定条件(平衡方程),并应用于工程实际上。

为了研究静力学,必须建立力的概念和矢量表示的方法。

1. 力的概念

人类对力的认识最初应来自于劳动中所使用的体力,并在长期的生产实践中,逐步加深认识,后被牛顿归纳为严格的定义:力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态或物体的尺寸和形状发生改变。

在建筑力学中,我们不去研究产生力的物理本质,而只研究力对物体的作用效果,即所谓力的效应。力有使物体的运动状态发生改变的效应(称为外效应),也有使物体发生变形的效应(称为内效应)。

力对物体的作用效应,完全取决于力的三个要素。力的三个要素是:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。三者中任何一个要素发生改变,力的作用效应也随之而变。力是具有大小和方向的量,因此,力是矢量。

2. 力的矢量表示方法

力是矢量,用带箭头的直线段来表示(图 2-1),线段的长度表示力的大小,箭头表示力的方向,线段的始点或终点表示力的作用点,线段所在的直线称为力的作用线。力用记号 F 表示。

力的单位,在国际单位制中,一般用牛[顿](N)、千牛[顿](kN)表示。

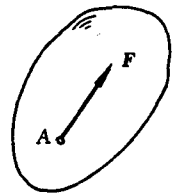


图 2-1 力的表示

当然,还可以将其他矢量(如力矩矢量、力偶矩矢量等)仿照力矢量那样来表示。

第二节 静力学的公理及推论

静力学的理论,源于静力学的基本定律。所谓基本定律,也可称为公理,是人们在长期的生活、生产实践中总结出来的,也是大家一致公认并被实践证明的事实。

本节不仅介绍静力学的公理,且在公理的基础上,作出推论,得到一些定理。

一、力系的简化规律

1. 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系中,增加或减少若干个平衡力系,则不会改变原力系对刚体的作用。这就是加减平衡力系公理。

由于平衡力系作用在刚体上,不会改变刚体的原有运动状态,所以在刚体上加上或减去任意个平衡力系,则仍等价于原力系对物体的作用效应。

应用加减平衡力系的原理,可推出力的移动规律之一^①——力的可传性原理:作用在刚体上的力可沿其作用线移动,而不改变该力对物体的效应。

证明 在刚体的点 A 作用一力 F (图 2-2(a)),如在此力 F 作用线上的任一点 B (图 2-2(b)),沿 AB 线加上一对平衡力 F' 和 F'' ,若有 $F=F'=F''$ 或 $F=F'=-F''$,此时可将 F 和 F'' 作为一个平衡力系减去,结果就剩下作用在点 B 上的一个力 F' 与原力系等效(图 2-2(c))。

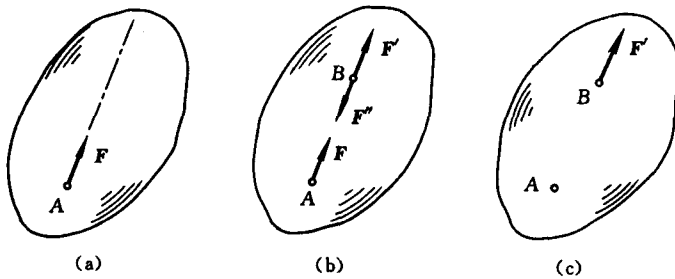


图 2-2 力的可传性

因此,可以看作将力 F 沿其作用线从点 A 移至点 B ,这就是力的可传性原理。

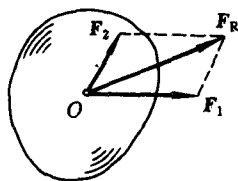
由此可见,力沿其作用线在刚体上任意移动,而不改变其对刚体的作用效应,故作用在刚体上的力是滑动矢量。

据此,就刚体而言,力的三要素即大小、方向、作用线。

2. 力的平行四边形公理

^① 力的移动规律之二,见第 21 页。

作用在物体同一点上的两个力 F_1 和 F_2 ，其合力 F_R 的大小和方向，是由该两个力的有向线段为邻边所组成的平行四边形的对角线来确定，且具有相同的作用点(图 2-3)。并可表示为



$$F_R = F_1 + F_2$$

图 2-3 同点两力的合成

对合力 F_R 而言， F_1 和 F_2 被称为分力，则合力 F_R 为分力 F_1 和 F_2 的矢量和。

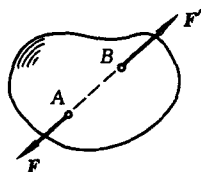
利用此法则，在一定的条件下，也可将一合力分解为两个分力。

二、力系的平衡规律

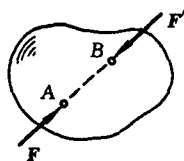
1. 二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力形成平衡，则这两个力必定大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。可表示为

$$F = -F'$$



(a) 表示刚体受到两个拉力



(b) 表示刚体受到两个压力

图 2-4 二力平衡

2. 三力平衡定理

作用于刚体上的同一平面且不平行的三个力，若平衡，则三力必交于一点(图 2-5)。这就是三力平衡汇交定理。由此可知，刚体在三力作用下平衡，如已知两个力的方位，利用这个定理，就可以推断出共面的第三个力的方位。

证明 设在刚体共面的 A, B, C 三个点上，分别作用力 F_1, F_2, F_3 而平衡，先利用力的可传性原理，将其中任两个力(若选 F_1 和 F_2)沿其作用线移至点 O ，再利用平行四边形法则，将 F_1 和 F_2 合成为一个力，即 $F_R = F_1 + F_2$ ，至此，问题就等效地转换成刚体在 F_R 与 F_3 作用下的平衡；依照二力平衡公理，得 F_R 与 F_3 共线，也就是 F_3 也必定通过另两个力的交点 O (图 2-5(a))。

汇交于一点的共面三个力，若用几何法表示，则在一力的尾端，连接另一个力，这三个力围成闭合的力三角形(图 2-5(b))。显示了合力为零，即平衡。

三、力的传递规律

作用力与反作用力公理