

工程力学

■ 赵迎祥 主编

■ 鲁开讲 韩玉强 副主编



■ 西安地图出版社

重点建设课程项目

工 程 力 学

赵迎祥 主 编
鲁开讲 韩玉强 副主编

西安地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/赵迎祥编著. —西安: 西安地图出版社,
2003. 7

ISBN 7-80670-424-8

I. 工... II. 赵... III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 062313 号

工 程 力 学

赵迎祥 编著

西安地图出版社出版发行

(西安友谊东路 334 号 邮政编码 710054)

新华书店经销 陕西省岐山彩色印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 24 印张 584 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

印数 0001-1000

ISBN 7-80670-424-8/TK·1

定价: 36.00 元

内容提要

本书是根据 21 世纪人才培养目标和教育改革需要而编写的。

全书共分三篇二十一章，第一篇静力平衡分析，主要介绍了受力分析、力系简化和力系平衡。第二篇构件承载能力分析，主要介绍了杆件在外力作用下的内力、应力和变形及其强度、刚度、稳定性设计。第三篇动力运动分析，主要介绍了质点、质点系和刚体的运动规律及作用力与运动之间的关系。

本书可作为机械、土建类专业本科教学用书，可供工科院校不同专业、不同层次教学选用，也可供有关工程技术人员参考。

前 言

工程力学是一门应用极其广泛的基础学科,随着科学技术的创新和发展,它与不同学科结合又不断形成诸多力学分支学科。工程力学不仅是高等学校工科专业的一门技术基础课程,又是机械、土木工程等部分专业的主干课程。

为了适应 21 世纪教育改革的需要,着力于由传统的知识传授向思维、实践、创新能力和素质培养的转变,针对当前高校专业调整合并,课程学时大幅度减少的实际情况,调研有关高等院校教学实际,总结编者多年来的教学实践经验和体会,编写了这本《工程力学》。在本书中,力求保持本科力学基本要求的内容完整,减少了一些过多的理论推导,加强理论联系实际,使内容简明扼要并富有新意;注意避免与相关课程内容的重复,加强学科间的相互渗透,淡化学科体系,拓宽知识覆盖面,以满足培养宽口径适应性人才的需要,突出力学在工程中的应用,书中选用了许多工程应用中的实例作为本书的例题和习题,以加强读者的工程训练,培养其分析问题和解决实际问题的能力。本书内容次序采用模块式编排,三篇既相互融合渗透,又相对独立,以便不同层次、不同需要的读者取舍选用。

本书由赵迎祥担任主编,鲁开讲、韩玉强担任副主编。参加本书编写的同志有赵迎祥(第一、六、九、十、十一、十二、十七、十八、十九、二十一章、附录),鲁开讲(第二、三、四、五章),韩玉强(第十三、十四、十五、十六、二十章),周变红(第七、八章),最后由赵迎祥统一统稿和定稿。

本书编写过程中参考了国内外一些优秀教材,并从其中选用了部分例题、习题和插图;西安理工大学师俊平教授、刘协会副教授为本书的编写提出了许多宝贵意见;高秀兰、魏宗平老师为本书做了不少具体工作,在此谨一并向他们表示真挚的谢意!

由于编者水平有限,书中一定会有不少疏漏和不妥之处,恳请读者和专家不吝指教。

编者

2003 年 4 月

目 录

第一篇 静力平衡分析

第一章 静力分析基础	(2)
§ 1.1 静力分析的基本概念	(2)
§ 1.2 静力分析公理	(3)
§ 1.3 约束与约束反力	(4)
§ 1.4 受力分析与受力图	(7)
习 题	(8)
第二章 汇交力系	(11)
§ 2.1 汇交力系合成的几何法	(11)
§ 2.2 汇交力系合成的解析法	(12)
§ 2.3 汇交力系的平衡条件	(14)
习 题	(19)
第三章 力偶理论	(23)
§ 3.1 力对点之矩 合力矩定理	(23)
§ 3.2 力偶及其性质	(25)
§ 3.3 力偶系的合成与平衡	(27)
习 题	(30)
第四章 平面一般力系	(32)
§ 4.1 力的平移定理	(32)
§ 4.2 平面一般力系的简化	(33)
§ 4.3 简化结果分析	(35)
§ 4.4 平面一般力系的平衡分析	(38)
§ 4.5 物体系统的平衡分析	(41)
§ 4.6 考虑摩擦时的平衡问题	(46)
习 题	(52)
第五章 空间一般力系 重心	(59)
§ 5.1 力对轴之矩	(59)
§ 5.2 力对轴之矩与力对点之矩的关系	(60)
§ 5.3 空间力系的简化 结果讨论	(61)
§ 5.4 空间一般力系的平衡分析	(63)
§ 5.5 平行力系的中心与重心	(66)
习 题	(71)

第二篇 构件承载能力分析

第六章 轴向拉伸与压缩	(77)
§ 6.1 轴向拉伸与压缩的概念	(77)
§ 6.2 轴向拉伸与压缩杆件的内力	(77)
§ 6.3 轴向拉(压)杆件截面上的应力	(80)
§ 6.4 轴向拉(压)时的变形	(82)
§ 6.5 拉伸和压缩时材料的机械性能	(86)
§ 6.6 轴向拉伸与压缩时的强度计算	(91)
§ 6.7 拉(压)静不定问题	(96)
§ 6.8 应力集中的概念	(99)
§ 6.9 连接件的剪切与挤压实用计算	(100)
习 题	(105)
第七章 扭转	(111)
§ 7.1 扭转的概念	(111)
§ 7.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	(111)
§ 7.3 薄壁圆筒的扭转 剪切互等定理	(113)
§ 7.4 圆轴扭转时的应力与变形	(115)
§ 7.5 圆轴扭转时的强度与刚度计算	(119)
§ 7.6 非圆截面杆扭转简介	(122)
习 题	(123)
第八章 弯曲内力	(126)
§ 8.1 平面弯曲的概念 梁的计算简图	(126)
§ 8.2 梁弯曲时横截面内力计算	(127)
§ 8.3 剪力图与弯矩图	(130)
§ 8.4 弯矩、剪力与分布载荷集度之间的关系	(133)
习 题	(135)
第九章 弯曲应力	(138)
§ 9.1 梁横截面上的正应力	(138)
§ 9.2 弯曲正应力强度条件	(141)
§ 9.3 弯曲剪应力	(144)
§ 9.4 弯曲剪应力强度条件	(147)
§ 9.5 提高梁弯曲强度的措施	(149)
习 题	(151)
第十章 弯曲变形 简单静不定梁	(156)
§ 10.1 梁的变形与位移	(156)
§ 10.2 梁的挠曲线近似微分方程	(157)
§ 10.3 叠加法求梁的转角和挠度	(163)

§ 10. 4 梁的刚度计算与分析	(164)
§ 10. 5 简单静不定梁的解法	(169)
习 题	(172)
第十一章 应力状态和强度理论	(176)
§ 11. 1 应力状态的概念	(176)
§ 11. 2 平面应力状态分析 极值应力	(177)
§ 11. 3 三向应力状态的最大应力	(182)
§ 11. 4 广义胡克定律	(183)
§ 11. 5 强度理论的概念	(185)
§ 11. 6 常用的四个强度理论	(185)
习 题	(189)
第十二章 杆件组合变形时的强度计算	(192)
§ 12. 1 组合变形概述	(192)
§ 12. 2 拉(压)与弯曲组合时的强度计算	(193)
§ 12. 3 弯曲与扭转组合时的强度计算	(197)
习 题	(200)
第十三章 压杆稳定	(203)
§ 13. 1 压杆稳定性的概念	(203)
§ 13. 2 细长压杆的临界力	(203)
§ 13. 3 欧拉公式的应用范围 临界应力总图	(206)
§ 13. 4 压杆稳定性的校核	(207)
§ 13. 5 提高压杆稳定性的措施	(210)
习 题	(211)
第十四章 动载荷与交变应力	(214)
§ 14. 1 概述	(214)
§ 14. 2 惯性载荷下构件的应力计算	(214)
§ 14. 3 冲击应力计算	(216)
§ 14. 4 受交变应力作用构件的疲劳极限	(219)
习 题	(223)
第十五章 单位载荷法	(226)
§ 15. 1 引言	(226)
§ 15. 2 外力功与应变能的计算	(226)
§ 15. 3 单位载荷法	(230)
§ 15. 4 静不定问题分析	(234)
习 题	(237)

第三篇 动力运动分析

第十六章 点的运动及刚体的基本运动	(243)
-------------------------	-------

§ 16. 1	点的运动的矢量表示法	(243)
§ 16. 2	点的运动的直角坐标表示法	(244)
§ 16. 3	自然坐标法表示点的运动	(248)
§ 16. 4	刚体的平行移动	(253)
§ 16. 5	刚体绕固定轴的转动	(254)
§ 16. 6	定轴轮系的传动比	(257)
习 题		(258)
第十七章 点的合成运动		(263)
§ 17. 1	点的合成运动的基本概念	(263)
§ 17. 2	速度合成定理	(265)
§ 17. 3	牵连运动为平动时点的加速度合成	(268)
* § 17. 4	牵连运动为转动时点的加速度合成	(270)
习 题		(272)
第十八章 刚体的平面运动		(277)
§ 18. 1	刚体平面运动的基本概念	(277)
§ 18. 2	平面图形各点的速度分析	(279)
§ 18. 3	平面图形各点的加速度分析	(285)
习 题		(287)
第十九章 动力学基本定理		(292)
§ 19. 1	质点运动微分方程	(292)
§ 19. 2	动量定理	(294)
§ 19. 3	动量矩定理	(301)
§ 19. 4	动能定理	(312)
习 题		(322)
第二十章 达朗伯尔原理		(329)
§ 20. 1	达朗伯尔原理	(329)
§ 20. 2	刚体惯性力系的简化	(331)
§ 20. 3	定轴转动刚体的动反力	(335)
习 题		(336)
第二十一章 虚位移原理 动力学普遍方程		(339)
§ 21. 1	约束的分类	(339)
§ 21. 2	自由度 广义坐标	(341)
§ 21. 3	虚位移 虚功 理想约束	(342)
§ 21. 4	虚位移原理	(344)
* § 21. 5	动力学普遍方程	(349)
习 题		(351)
附录 I 平面图形的几何性质		(356)
习 题		(363)
附录 II 型钢表		(365)

第一篇 静力平衡分析

静力平衡分析是研究物体在力系作用下的平衡问题。

本篇主要研究以下三个问题：

1. 物体的受力分析 研究一物体与周围其他物体之间的关系，并将其从周围物体中分离出来，分析其上所受的力。这些力包括主动力（例如重力等）和约束反力。约束反力取决于周围物体限制的性质，受力分析的关键在于约束反力的分析。

2. 力系的简化 力系指作用在物体上的一群力。如果作用在物体上的力系可用另一力系代替，而不改变原力系对物体的作用效应，称为力系的等效替换。用简单的力系等效替换一个复杂的力系，称为力系的简化。如用一个力能等效替换一力系，则该力称为此力系的合力。

3. 力系的平衡条件及其应用 物体处于平衡状态时，作用于其上的力系所必须满足的条件，称为力系的平衡条件。应用这些平衡条件，即可解决工程实际中的静力平衡问题。

第一章 静力分析基础

本章的基本内容是平衡、刚体、变形体、力及力系的概念、刚体静力分析中的几个基本原理，约束和约束反力，以及物体的受力和画受力图。

§ 1.1 静力分析的基本概念

平衡 平衡是物体机械运动的特殊形式，是指物体相对地球处于静止或作匀速直线运动的状态。一般工程技术问题，是取固结于地球的坐标系作为参考系来进行研究，实践证明，所得到的结果具有足够的精确度。

刚体 任何物体受力总要产生一些变形。但是，工程实际中的机械零部件和结构件在正常情况下的变形，一般是很微小的。微小的变形对物体的机械运动影响极小，可以略去不计，即把物体看作是不变形的，从而使问题的研究得以简化。这种在受力情况下保持形状和大小不变的物体通常称为刚体。刚体是依据所研究问题的性质抽象出来的理想化的力学模型。当变形这一因素在所研究的问题中不可缺少时，就必须采用变形体作为力学模型。

力 人们在长期的生活和生产实践中，逐步形成了力的概念。力是物体相互间的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化，并使物体产生变形。力使物体运动状态发生改变的效应，称为力的外效应。力使物体产生变形的效应，称为力的内效应。本书第一、三篇研究力的外效应，第二篇研究力的内效应。

力对物体的作用效应取决于三个要素，即力的大小、力的方向和力的作用点。因此，力是矢量，且是定位矢量，可用有向线段表示，如图 1-1 所示。通过力的作用点，沿力的方向引直线，该直线表示力在空间的方位，称为力的作用线。在作用线上截取有向线段 AB ，线段的长度按一定比例表示力的大小；线段的起点 A （或终点 B ）表示力的作用点。在本书中黑体字母表示矢量，如 $\mathbf{F}$ ；矢量的大小（模）则用同形的普通字母表示，如 F 。本书采用国际单位制。在国际单位制中，力的单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。

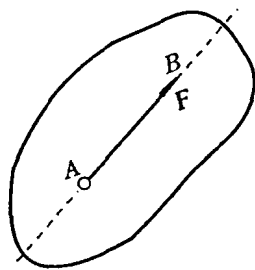


图 1-1

力系 通常，作用在物体上的力不止一个，而是许多个，我们称作用在物体上的一群力为力系。若一力系作用于刚体并使其相对于地球处于静止或匀速直线运动状态，则认为刚体处于平衡状态，且该力系是平衡力系。如果作用在刚体上的一力系用另一力系来替换，并不改变刚体原来的运动状态，那么，此二力系互为等效力系。当一力与一力系等效时，称此力为该力系的合力。

§ 1.2 静力分析公理

静力分析公理是人们从长期生产和生活实践活动中观察总结出来的最基本的力学规律。它无须证明而为人们所公认。力系简化和力系的平衡是以公理为基础的。

公理一(二力平衡公理) 作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要与充分条件是:两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。

二力平衡公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所应满足的条件。它是推导力系平衡条件的基础。

工程中常有一些只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件。根据公理一,该两力的方位,必定沿两力作用点的连线(图 1-2)。

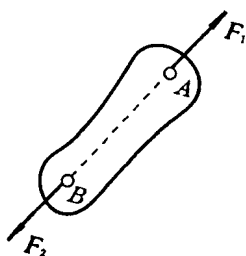


图 1-2

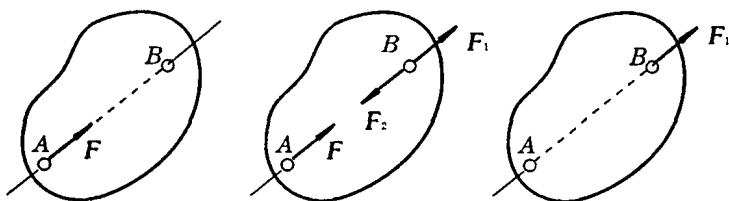


图 1-3

公理二(加减平衡力系公理) 在作用于刚体的力系上,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。

加减平衡力系公理是力系简化的重要依据。

推论 1(力的可传性原理) 作用于刚体上的力可沿其作用线移至刚体内任一点,而不改变该力对于刚体的作用效应。

证明:参见图 1-3。设力 F 作用于刚体上 A 点。在力 F 作用线上任选一点 B , 在 B 点加一对平衡力 F_1 和 F_2 , 并使 $F_1 = -F_2 = F$ 。因为 (F_1, F_2) 是平衡力系, 由公理二, 力系 (F, F_1, F_2) 与力 F 等效。而 F 与 F_2 二力等值、反向、共线, 构成一平衡力系, 减去该平衡力系, 由公理二知, 力 F_1 与力系 (F, F_1, F_2) 等效。从而有力 F 与力 F_1 等效。因为力 F_1 的大小、方向均与力 F 相同, 且此二力等效, 这相当于将力 F 沿其作用线直接从 A 点移至 B 点, 而不改变原力对刚体的作用效应。

力的可传性原理指出, 作用于刚体的力矢可沿其作用线任意滑移, 因而对于刚体而言, 力是滑移矢量。力的三要素为力的大小、方向、作用线。

公理三(力的平行四边形公理) 作用在物体上同一点的两个力可以合成为一个合力, 合力也作用于该点, 其大小和方向可由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的共点对角线所确定。

在图 1-4(a) 中, 设力 F_1 和 F_2 作用于物体的 A 点, 以 R 表示其合力, 则有

$$R = F_1 + F_2$$

即合力矢 R 等于两个分力矢 F_1 和 F_2 的矢量和。

为求合力的大小和方向,在图 1-4(b) 中,作矢量 $\vec{ab}$ 表示力矢 F_1 ,再从力矢 F_1 的终点 b 作矢量 $\vec{bc}$ 表示力矢 F_2 ,则矢量 $\vec{ac}$ 即表示合力 R 的大小和方向。此种求合力矢的方法称为力三角形法则。

力的平行四边形公理是力系简化的重要依据。

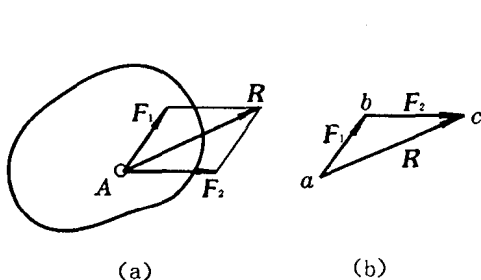


图 1-4

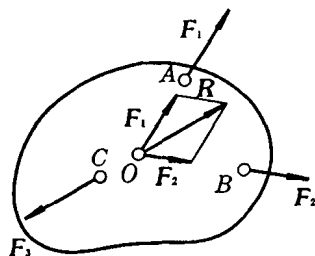


图 1-5

推论 2(三力平衡汇交原理) 当刚体受三力作用而平衡时,若其中任意两力的作用线相交于一点,则此三力必然共面,且第三个力的作用线通过该汇交点。

证明:见图 1-5。设刚体的 A 、 B 、 C 三点分别作用互不平行的力 F_1 、 F_2 、 F_3 ,力 F_1 、 F_2 的作用线相交于 O 点;刚体在此三力作用下处于平衡状态。将力 F_1 、 F_2 移至 O 点,并合成为一力 R 。于是力系 (F_1, F_2, F_3) 与力系 (R, F_3) 等效。因为力系 (F_1, F_2, F_3) 是平衡力系,故力系 (R, F_3) 必为平衡力系。根据公理一, R 与 F_3 在同一直线上,即力 F_3 的作用线也通过汇交点 O ;由力的平行四边形公理,可知力 F_3 与力 F_1 、 F_2 必共面。

公理四(作用与反作用定律) 两个物体间的相互作用力,总是大小相等,作用线相同,指向相反,且分别作用在这两个物体上。

公理四概括了任意两个物体间相互机械作用的关系。不论对刚体还是对变形体,也不论是对静止的物体还是对运动的物体,作用与反作用定律都是适用的。

公理五(刚化公理) 如果变形体在某力系作用下平衡,若将此物体刚化为刚体,其平衡不受影响。

工程实际中的物体是变形体,变形体是否能使用刚体的平衡条件?刚化公理回答了这个问题。只要变形体受力后处于平衡,作用于其上的力系一定满足刚体的平衡条件。需要注意的是,对于变形体而言,刚体的平衡条件只是必要条件,而不是充分条件。

§ 1.3 约束与约束反力

不受任何限制,可以自由运动的物体称为自由体,例如在空中飞行的飞机。在某些方向的运动受到限制的物体称为非自由体。在轨道上行驶的火车是非自由体,因为它受轨道的限制,只能沿轨道运行。阻碍物体运动的限制条件称为约束。约束总是由被约束物体周围与之相连接或相接触的其他物体构成的,因而往往又把与被约束物体相连接或相接触的周围的物体称为约束。约束对被约束物体的作用力,称为约束反力,或称为约束力。约束反力作用在被约束物体与约束的接触处,其方向总是与约束所阻碍的运动方向相反。

下面介绍几类常见的约束及其约束反力的特点。

(1) 柔性约束 工程实际中的柔软缆绳、皮带、钢丝绳、链条等类物体统称为柔索。由它们构成的约束称为柔性约束。柔索只能承受拉力,因而只能阻止物体沿柔索伸长方向的运动。于是,柔性约束的约束反力作用于连接点,其方向沿着柔索而背离物体(图 1-6)。

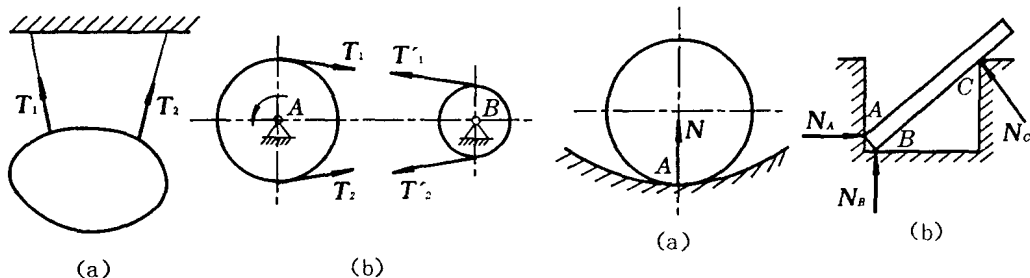


图 1-6

图 1-7

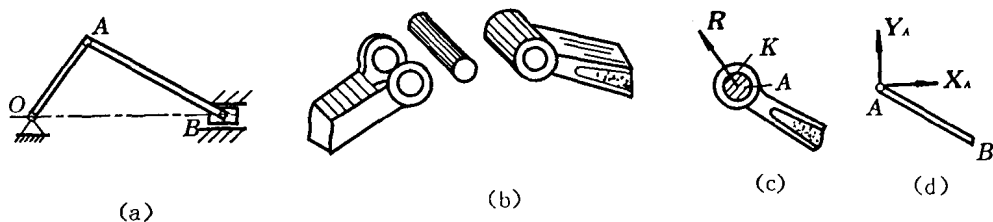


图 1-8

(2) 理想光滑面接触构成的约束 当两物体接触面之间的摩擦力小到可以忽略不计时,就把接触面(线)看做理想光滑的。光滑接触约束只能阻止物体沿接触面公法线方向的运动。于是,光滑接触的约束反力通过接触点,沿着接触点处的公法线指向被约束的物体,如图 1-7。

(3) 光滑圆柱铰链约束 两个构件在连接处的相同圆孔中,插入圆柱形销钉连接起来,所形成的结构称为圆柱形铰链结构。在图 1-8(a)中,曲柄 OA 和连杆 AB 的连接,连杆 AB 和滑块 B 的连接,都是圆柱形铰链连接。图 1-8(b)说明了 A 处圆柱形铰链的构造。在铰链连接中,圆柱形销钉限制了构件的运动;如果忽略摩擦,销钉和圆孔成为光滑接触,于是,构成了光滑圆柱铰链约束。按照光滑接触约束的特点,销钉作用于构件的约束反力通过两者的接触点,沿接触处公法线指向构件。显然,约束反力在垂直于构件销孔轴线的横截面内,且通过销孔中心。图 1-8(c)中, R 表示销钉作用于构件的约束反力, A 为孔心, K 为构件与销钉的接触点。一般而言,由于接触点的位置无法预先确定,所以铰链约束反力的方向不能预先确定。在受力分析中,将铰链约束反力用通过构件销孔中心的两个大小未知的正交分力来表示,如图 1-8(d)中所示的 X_A 、 Y_A 。

使用光滑圆柱销钉将构件或结构与固定支座连接,称该支座为固定铰支座,如图 1-9(a)所示。图 1-9(b)、(c)是固定铰支座的两种简化表示。固定铰支座约束的性质,与铰链连接中的铰链约束一样。通常将圆柱销钉的约束反力表示为相互正交的两个分力,如图 1-9(d)所示。

如果铰链支座底部和支承面之间安装一排圆滚,就构成辊轴支座,也称为活动铰支座,

如图 1-10(a) 所示。辊轴支座的几种简化表示分别示于图 1-10(b)、(c)、(d)。如果接触面是光滑的, 辊轴支座不限制物体沿支承面的运动, 只限制物体垂直于支承面方向的运动。因此, 辊轴支座的反力通过销孔中心, 且垂直于支承面, 如图 1-10(e) 所示。

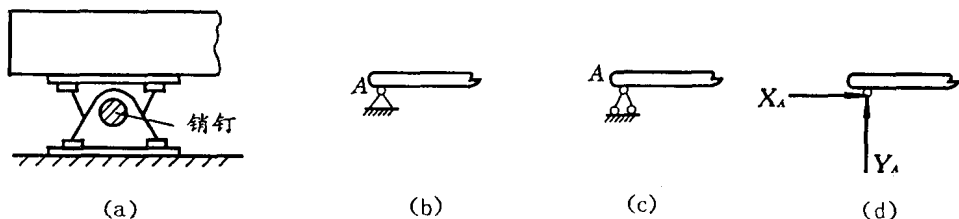


图 1-9

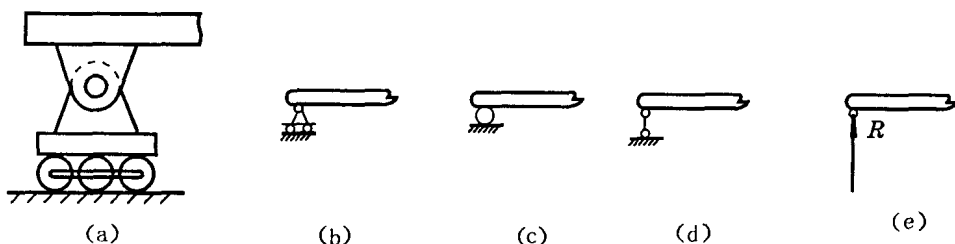


图 1-10

两端用光滑铰链与其他物体相连, 并且中间不受任何外力作用的刚杆称为链杆。它常被用来作为撑杆或拉杆而形成链杆约束, 如图 1-11(a) 中的 BC 撑杆。显然, 链杆是二力杆。所以, 链杆约束的约束反力沿着两端铰链中心的连线, 是拉力或者压力, 例如图 1-11(b) 中的 BC 杆的受力。在图 1-11(c) 中, 链杆 BC 对横梁 AB 的约束反力, 也必定沿 BC 连线。

(4) 光滑球形铰链约束 光滑球形铰链约束是一种空间类型的约束, 其结构简图及简化表示分别见图 1-12(a)、(b)。一个物体的球形窝内放入另一球形的物体, 球窝和球体的直径相差甚小, 忽略摩擦, 就构成了光滑球形铰链约束。根据光滑接触约束反力的特点, 球窝作用于球体的约束反力通过球心。由于球体与球窝的接触点未定, 约束反力的空间方位不定, 因而, 通常用通过球心的三个正交分力来表示, 如图 1-12(c) 所示。

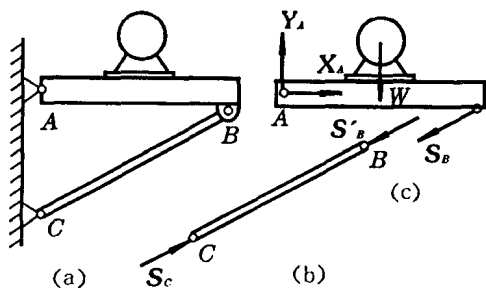


图 1-11

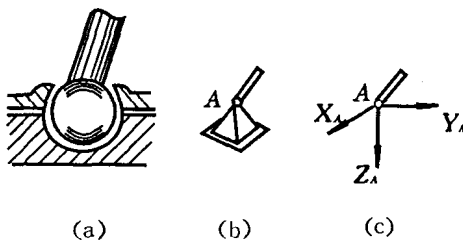


图 1-12

除上述约束外,还有其他类型的约束,如固定端约束等,这将在有关章节予以介绍。

§ 1.4 受力分析与受力图

在进行受力分析时,需将受约束的物体(研究对象)从其他周围的物体中分离出来,称为解除约束。在解除约束的同时,代之以相应的约束反力。约束反力是未知的。研究对象上除作用有约束反力外,通常还承受某些种类的载荷,例如承受重力、油压力、风力等。这些载荷使物体产生运动或使物体产生运动趋势,称为主动力。主动力一般是已知的。所谓受力分析就是分析被研究物体上所受的全部主动力和约束反力,并把分析结果用受力图清晰地表示出来。根据问题的已知条件和要求的内容,恰当地选择一个物体或几个物体组成的系统作为研究对象,并将研究对象从周围物体中分离出来,画出其外形简图,这个过程称为取研究对象或取分离体。研究对象与周围物体的连接关系确定了约束类型,也就确定了约束反力的特征。画有研究对象及其所受的全部力(包括主动力和约束反力)的简图,称为受力图。

下面举例说明进行物体受力分析的过程和方法。

例 1-1 重 G 的挂梯上端用 A 铰接在楼板上,下端 B 可由 BC 绳吊起,梯子重心在 D 点,如图 1-13(a) 所示。当绳子的拉力为 T 时, B 点尚未脱离地面,略去摩擦,画出该状态下梯子的受力图。

解 解除挂梯的约束,画分离体图。作用在挂梯上的主动力有重力 G , 铅直向下, 作用于 D 点, 解除挂梯在 A 、 B 两处的约束, 应代之以相应的约束反力。在 A 处, 固定铰链支座约束反力方位不能预先确定, 用两个正交分力 X_A 、 Y_A 表示, 其指向可任意假设。在 B 处作用

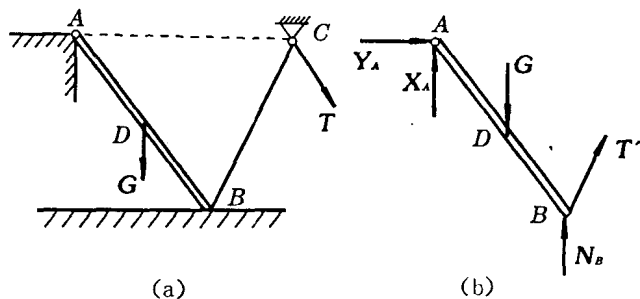


图 1-13

有两种类型约束的反力。一种是地面作用于挂梯的反力 N_B , 此力垂直于地面向上。另一种是绳子作用于挂梯的拉力 T' , 沿 BC 方向, $T' = T$ 。挂梯的受力图如图 1-13(b)。

例 1-2 在图 1-14(a) 所示的结构中, 直杆 AB 和直角弯杆 CD 在 C 点铰接, A 处和 D 处均为固定铰链支座。 AB 杆在 B 点受力 F 作用, 两杆自重不计。试画出 AB 杆、 CD 杆及整体受力图。

解 CD 杆仅在 C 、 D 两点受力且平衡, 属二力构件。 CD 杆的受力如图 1-14(d)。 N_C 和 N_D 的指向可任意假设, 但必须反向。

AB 杆的受力见图 1-14(b)。 AB 杆的 B 点受到主动力 F 的作用。在解除约束的 A 、 C 两处, 应代以相应的约束反力。 A 处固定铰链支座的约束反力用正交的两个分力 X_A 、 Y_A 表示。直角弯杆 CD 通过铰链 C 作用于 AB 杆的反力 N'_C 与 N_C 等值、反向、共线。

如果应用三力平衡汇交原理分析 AB 杆的受力, 其受力如图 1-14(c) 所示。

整个系统的受力见图 1-14(e), 图中只画出了外部物体对系统的作用力(外力)。杆 AB

与 CD 在 C 处的相互作用力(内力)成对出现,其大小相等,指向相反,作用线相同,是一对平衡力,在受力图上不必画出;也可应用三力汇交原理画整体受力图如图 1-14(f) 所示。

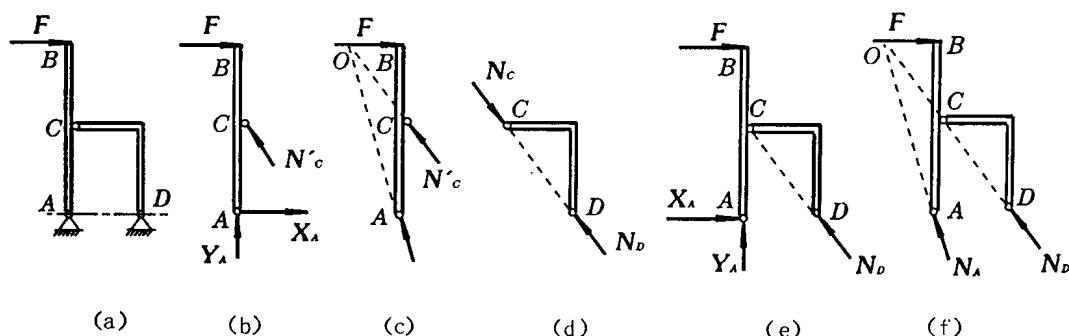


图 1-14

受力分析步骤 选择研究对象、画受力图是解决静力学问题的重要步骤。研究对象的选取要恰当,受力图必须正确无误。画受力图的步骤概括如下:

(1) 根据题意确定研究对象,并画出其简图。研究对象可以是一个物体,也可以是几个物体的组合或整个物体系统。

(2) 画出作用在研究对象上的全部主动力。

(3) 根据约束的类型及约束反力的性质,在研究对象上被解除约束处逐一画出约束反力。若研究对象是整个物体系统,或是几个物体的组合时,则不必画出内力。在涉及多个研究对象的平衡问题中,不同研究对象在连接处的相互作用力,要遵守作用与反作用定律。

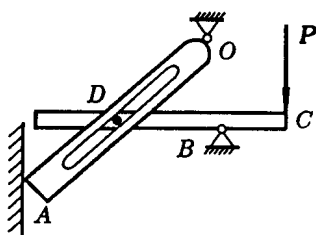
习 题

1-1 画出杆 AO 、杆 CBD 的受力图。

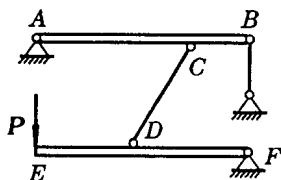
1-2 画出杆 AB 、杆 EF 、杆 CD 的受力图。

1-3 画出杆 AB 、杆 CD 的受力图。

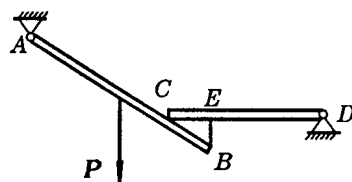
1-4 画出下列各图中指定物体的受力图。物体重力除已标出者外均略去不计。假定所有接触处都是光滑的。



题 1-1图



题 1-2图



题 1-3图