

高职高专教材（机械类）

FOUNDATION OF MECHANICAL DESIGN

主 编 栾兴和 周延昌 刘 波

机械设计 基础



东北林业大学出版社

高职高专教材（机械类）

机械设计基础

主编 栾兴和 周延昌 刘 波

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/栾兴和, 周延昌, 刘波主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社,
2007.6

ISBN 978-7-81131-028-3

I. 机… II. ①栾… ②周… ③刘… III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 096242 号

责任编辑: 杨秋华

封面设计: 彭 宇



NEFUP

机械设计基础

Jixie Sheji Jichu

主编 栾兴和 周延昌 刘 波

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东北林业大学印刷厂印装

开本 787 × 1092 1/16 印张 15.25 字数 350 千字

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—1 200 册

ISBN 978-7-81131-028-3

TH·41 定价: 36.00 元

前 言

高等职业教育的培养目标是生产、经营、服务、管理第一线技术技能型的高素质专门人才。为了进一步提高高等职业教育的质量,必须改革原有的课程体系,形成新的课程体系,顺应学科系统化和整体化改革的趋势。基于高等职业教育的教学内容、教学体系改革探索的基础,遵循教材是教学内容、教学思维方式及教学改革方案载体的思想,我们编写了这部教材。

本教材综合了“理论力学”、“材料力学”、“机械原理”和“机械设计”等课程,使教材内容充分体现综合性和应用性,并打破了原有的分段式体系,以综合性和模块化组织教学,形成了新的教学体系。考虑到在实际工作中,高职学生大多在一线工作,需要提高动手能力,本教材对许多相关知识进行了高度的概括和整理,以备选用。高职教学主要是以实践为主,所以本教材删除了许多公式理论的推导,直接切题,从实际出发,提高学生的学习兴趣,有助于教师教学和学生对学习知识的深化理解。

参加本书编写的有黑龙江工商职业技术学院栾兴和(第一、二、三章),黑龙江工商职业技术学院周延昌(第五、六、九、十一章),黑龙江工商职业技术学院刘波(第四、七、八、十章)。

本教材可作为高等职业技术学校工科类专业的教学教材,也可供成人高校、民办学校相关专业及有关工程技术人员参考。

由于编者的水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者
2007.6.10

目 录

第一章 力学基本概念.....	(1)
第一节 基本概念.....	(1)
第二节 力矩与力偶.....	(4)
第三节 约束与约束反力.....	(7)
第四节 物体的受力图.....	(10)
习题.....	(12)
第二章 力系平衡计算.....	(15)
第一节 平面力系基本定理.....	(15)
第二节 平面力系平衡计算.....	(17)
第三节 空间力系简介.....	(27)
第四节 空间力系平衡计算.....	(30)
习题.....	(35)
第三章 基本变形计算.....	(37)
第一节 概 述.....	(37)
第二节 拉伸与压缩.....	(39)
第三节 剪切与挤压.....	(50)
第四节 扭 转.....	(54)
第五节 弯 曲.....	(65)
第六节 组合变形.....	(78)
习题.....	(81)
第四章 机械及机械零件设计基础知识.....	(84)
第一节 摩擦、磨损与润滑.....	(84)
第二节 机械常用材料及制造工艺性.....	(88)
习题.....	(93)
第五章 机械传动基础知识.....	(94)
第一节 机械传动系统图和机构运动简图.....	(94)
第二节 平面自由度.....	(101)
习题.....	(106)
第六章 平面连杆机构.....	(108)
第一节 常用四杆机构的主要类型.....	(108)
第二节 四杆机构的基本特性.....	(113)
习题.....	(117)
第七章 齿轮传动.....	(118)
第一节 概 述.....	(118)

第二节	渐开线与渐开线齿廓·····	(123)
第三节	渐开线齿轮各部分的名称及尺寸·····	(126)
第四节	渐开线标准齿轮的啮合运动·····	(133)
第五节	渐开线齿轮的根切现象及变位齿轮·····	(137)
第六节	斜齿圆柱齿轮传动·····	(143)
第七节	直齿圆锥齿轮传动·····	(150)
第八节	蜗杆传动·····	(154)
习题	·····	(159)
第八章	其他传动·····	(161)
第一节	机械传动概述·····	(161)
第二节	带传动·····	(162)
第三节	链传动·····	(179)
第四节	凸轮机构·····	(182)
习题	·····	(185)
第九章	轴系零件·····	(186)
第一节	轴·····	(186)
第二节	轴 承·····	(194)
习题	·····	(213)
第十章	连 接·····	(214)
第一节	螺纹连接·····	(214)
第二节	螺旋运动·····	(219)
第三节	键、花键、销连接·····	(223)
习题	·····	(227)
第十一章	联轴器与离合器·····	(228)
第一节	联轴器·····	(228)
第二节	离合器·····	(233)
习题	·····	(235)
参考文献	·····	(236)

第一章 力学基本概念

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的一门科学。力系是指作用在一个物体上的一组力，物体处于平衡状态时，作用在物体上的力系称为平衡力系。

静力学研究的主要问题是力系的简化和建立各种力系作用下的平衡条件，并借此对物体进行受力分析。学会受力分析是本章的重点之一。

第一节 基本概念

一、力的概念

力的概念产生于人类从事的生产劳动中。当人们用手提、握、拉物体时，由于肌肉的紧张而感到了力的作用。这种作用广泛地存在于人与物及物与物之间。如用绳索悬挂吊灯等。

物体受力后使物体的运动状态或形状尺寸发生改变。物体运动状态的改变称为力的外效应或运动效应，物体形状尺寸的改变称为力的内效应或变形效应。静力学主要研究的是力的外效应。实际物体在外力的作用下均产生变形，为了研究的方便，引入了刚体的概念。刚体是指在外力的作用下，大小和形状不发生改变的物体。

在静力学的范畴内，力的定义是：力是物体间相互的机械作用，这种作用将引起物体机械运动状态的变化。它是一个矢量，不能脱离物体而存在。

实践证明，力对物体的效应取决于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。在国际单位制中，力的单位为 N 或 kN， $1\text{kN} = 10^3\text{N}$ 。

力是一个既有大小又有方向的矢量。可用带有箭头的有向线段和字母表示，其中线段的长度可按比例来画， μ_F 为 N/mm 或 kN/mm，代表力的大小，其方位和箭头代表力的方向，而有向线段的末端或始端均可代表力的作用点。如图 1-1 所示，线段 AB 的起点（或终点）表示力的作用点，线段 AB 的方位和箭头指向表示力的方向，沿力的方向画出的直线，称为力的作用线，而线段 AB 长度则按一定的比例表示力的大小，该力的大小为 600 N。

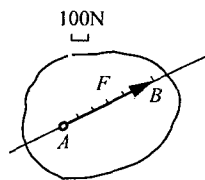


图 1-1 力的作用点

工程中的平衡是指物体相对于地面处于静止或匀速直线运动的状态。许多机械零件和构件在工作时往往处于平衡状态。

工程力学的研究对象往往比较复杂，在对其进行力学分析时，首先必须根据研究问题的性质，抓住其主要矛盾，忽略其次要因素，对其进行合理的简化，科学地抽象出力学模型。

在分析物体的运动规律时，如果物体的形状和大小与运动无关或对运动的影响很小，则可把物体抽象为质点。质点是指具有质量而形状、大小可忽略不计的力学模型。在研究

物体的平衡问题时,若物体的微小变形对平衡问题影响很小,则可把物体当作刚体。

作用于一个物体上的若干个力称为力系。若两个力系对物体的作用效应完全相同,则这两个力系称为等效力系。如一个力与一个力系等效,则此力称为该力系的合力,而该力系中的各力称为合力的分力。把各分力等效代换成合力的过程称为力系的合成,把合力等效代换成各分力的过程称为力的分解。

如果物体在一个力系作用下处于平衡状态,则该力系称为平衡力系。

二、静力学公理

公理是在实践过程中得到的正确结论。人们在长期的生活和生产活动中,经过实践—认识—再实践—再认识的过程,总结出了许多力的公理,其中最基本的性质有以下几条。

性质一 二力平衡公理

刚体仅受两个力而处于平衡状态的充要条件是:这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一条直线上。

二力平衡公理是刚体受最简单的力系作用时的平衡条件。如果一个物体仅受两个力作用而平衡,那么这两个力的作用线必定是沿两力作用点的连线,这类构件常被称为二力构件,如图 1-2 所示。

图 1-3 表示的是一悬臂起重机。若此时起重机处于平衡状态,拉杆 BC 自重不计,则拉杆 BC 只在 B 点和 C 点受力, BC 杆只受两个力而处于平衡状态,称为二力杆。

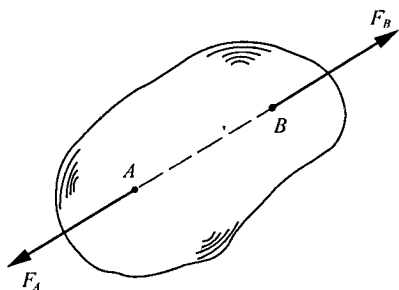


图 1-2 二力构件

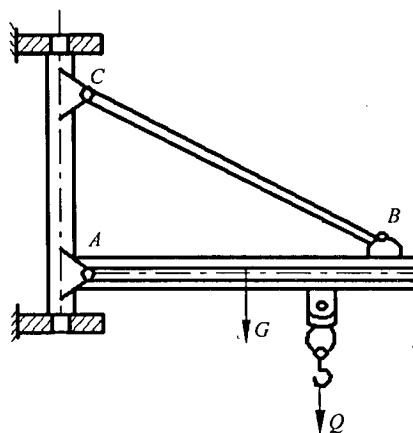


图 1-3 悬臂起重机

性质二 加减平衡力系公理

在刚体的原力系中,加上或者减去任何平衡力系,都不会改变原力系对刚体的作用效果。由此可得如下推论。

推论 力的可传性

作用在刚体上的力可沿其作用线滑移到该刚体上的任意位置,并不改变该力对刚体的作用效应。

如图 1-4 所示,作用在小车 A 点的推力 F 沿其作用线移到 B 点,得到拉力 F' ,虽然推力变为拉力,但对小车的作用效应是相同的。由此可见,力的作用点对刚体来说已不是

决定力作用效应的要素。因此，实际上作用于刚体上的力的三要素应该是力的大小、方向和作用线。

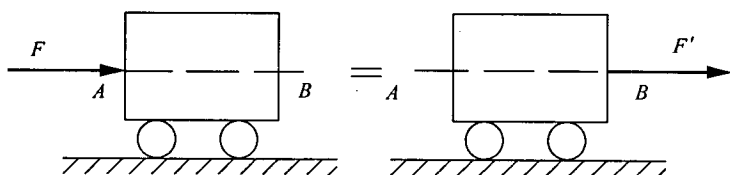


图 1-4 作用在刚体上的力

性质三 力的平行四边形法则

作用于刚体上同一点的两个力可以合成为一个合力，其合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定，如图 1-5 (a) 所示。

为方便起见，在利用矢量加法求合力时，可不必画出整个平行四边形，而是从 A 点作矢量 F_1 ，再由 F_1 的末端 B 作矢量 F_2 ，则矢量 AC 即为合力 F_R 。这种求合力的方法称为力的三角形法则，如图 1-5 (b) 所示。显然，若改变 F_1 ， F_2 的顺序，其结果不变，如图 1-5 (c) 所示。

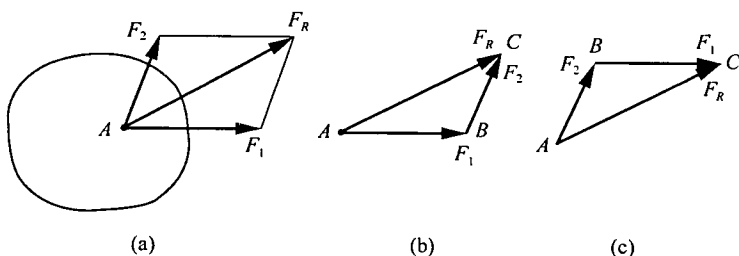


图 1-5 力的平行四边形原则

力的平行四边形法则既是力系合成的法则，也是力系分解的法则。显然由已知力为对角线可以作无数个平行四边形，故此要附加一定的条件才能得到确切的结果。附加的条件是：规定两力的大小；规定两力的方向；规定其中一个力的大小和方向；规定一个力的大小和另一个力的方向。

性质四 三力平衡汇交定理

若刚体在三个共面而又互不平行的力作用下而处于平衡状态，则此三力必汇交于一点。

如图 1-6 所示。刚体上 A ， B ， C 三点，分别受力 F_1 ， F_2 ， F_3 作用而平衡，它们的作用线都在一个平面内但不平行， F_1 ， F_2 的作用线交于 O 点。根据力的可传性原理，将此两个力分别移至 O 点，则此两个力的合力 F_R 必定在此平面内且通过 O 点。由二力平衡的条件可知， F_3 与 F_R 必共线，所以 F_3

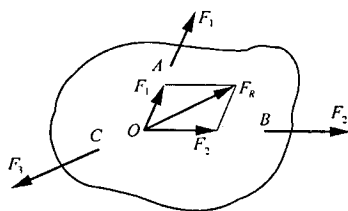


图 1-6 三力平衡汇交定理

的作用线亦必过 F_1 , F_2 的交点 O , 即三个力的作用线汇交于一点。

刚体只受同一平面内三个力作用而平衡, 则称为三力构件。若三个力中已知两个力的交点和第三个力的作用点, 则可判断出第三个力作用线的方位。

性质五 作用与反作用公理

若将两物体间相互作用之一称为作用力, 则另一个就称为反作用力。两物体间的作用力与反作用力必定是等值、反向、共线, 分别同时作用在这两个相互作用的物体上。

这个公理阐述了力是物体间的相互作用, 表明一切力总是成对出现的, 其中作用力与反作用力的称呼是相对的, 并且作用力与反作用相互依存。力总是以作用力和反作用力的形式存在, 且以作用力和反作用力的方式传递。

特别要注意的是, 必须把作用与反作用公理、二力平衡公理严格地区分开来。作用与反作用定律是表明两个物体间相互作用的关系, 而二力平衡公理则说明同一物体上两个力的平衡条件。

有时我们研究的对象是物系, 物系以外的物体和物系间的作用力称为外力, 而物系内部物体间的相互作用力称为内力。内力总是成对出现且呈等值、反向、共线的特点, 所以就物系而言, 内力的合力总是为零。因此内力不会改变物系的运动状态。但内力与外力的划分又与所取物系的范围有关, 随着所取对象范围的不同, 内力和外力是可以相互转化的。

第二节 力矩与力偶

一、力 矩

人们在生产实践活动中发现, 力不仅能够使物体沿某方向移动, 还能够使物体绕某点转动。如图 1-7 用扳手拧紧螺母时, 施于扳手的力 F 使扳手与螺母一起绕转动中心 O (称为矩心) 转动。由经验可知, 扳动螺母的转动效应不仅与 F 的大小和方向有关, 而且与转动中心点 O 到 F 作用线的垂直距离有关, 转动中心到力的作用线的垂直距离称为力臂, 用 d 表示。因此力 F 对物体转动效应可用两者的乘积 Fd 度量。显然力对物体的转动方向不同, 其效果也不同。

力使物体绕某点转动效应的量称为力对点之矩, 简称力矩。力矩为代数量, 它的大小为力 F 的大小与力臂 d 的乘积, 它的正负号表示力矩在平面上的转向。一般规定, 力使物体绕矩心逆时针方向转动时, 则力矩为正; 反之, 力矩为负。力矩的常用单位为 $\text{N}\cdot\text{m}$ 或 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。记作 $M_O(F)$, 即

$$M_O(F) = \pm Fd \quad (1-1)$$

由力矩的定义可知, 力矩有以下性质:

- (1) 力的大小为零或力的作用线通过矩心时, 力矩为零。
- (2) 力对任意点之矩的大小, 不因该力的作用点沿其作用线移动而改变。

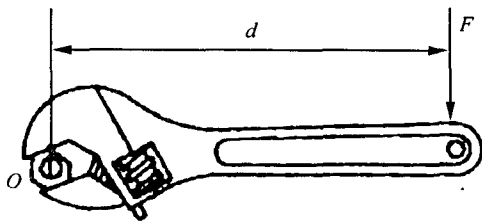


图 1-7 力矩

合力矩定理 平面汇交力系的合力对平面上任一点之矩，等于所有各分力对同一点力矩的代数和。

设物体上作用有一个平面汇交力系 $F_1, F_2, \dots, F_n$ ，其合力为 F_R 。由于合力与力系等效，因此合力对平面内任意点之矩等于力系中所有分力对同一点之矩的代数和，即

$$M_O(F_R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \dots + M_O(F_n) = \sum M_O(F_i) \quad (1-2)$$

合力矩定理不仅适用于平面汇交力系，对于其他力系，如平面任意力系、空间力系等，同样成立。

在计算力矩时，有时力臂值不易求出，常将力正交分解为两个容易确定力臂的分力，然后应用合力矩定理计算力矩。

例 1.1 如图 1-8 所示，力 $F = 150 \text{ N}$ ，作用在锤柄上，柄长 $l = 320 \text{ mm}$ 。求 (a)，(b) 两种情况下力 F 对支点 O 的力矩。

解：在 (a) 种情况下，支点 O 到力 F 作用线的垂直距离 $h = l$ ，力 F 使锤柄绕 O 点逆时针转动，则力 F 对 O 点的力矩为 $M_O(F) = Fh = 150 \times 320 = 48\,000 \text{ (N} \cdot \text{mm)} = 48 \text{ (N} \cdot \text{m)}$ 。

在 (b) 种情况下，支点 O 到力 F 作用线的垂直距离 $h = l \cos 30^\circ$ ，力 F 使锤柄绕 O 点顺时针转动，则力 F 对 O 点的力矩为

$$M_O(F) = -Fh = -150 \times 320 \times \cos 30^\circ = -41.568 \text{ (N} \cdot \text{mm)} = -41.568 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

例 1.2 一齿轮受到与它相啮合的另一齿轮的法向压力 $F_n = 1\,400 \text{ N}$ 的作用，如图 1-9 所示，已知压力角（作用在啮合点的力与啮合点的绝对速度之间所夹的锐角） $\alpha = 20^\circ$ ，节圆直径 $D = 0.12 \text{ m}$ ，求法向压力 F_n 对齿轮轴心 O 之矩。

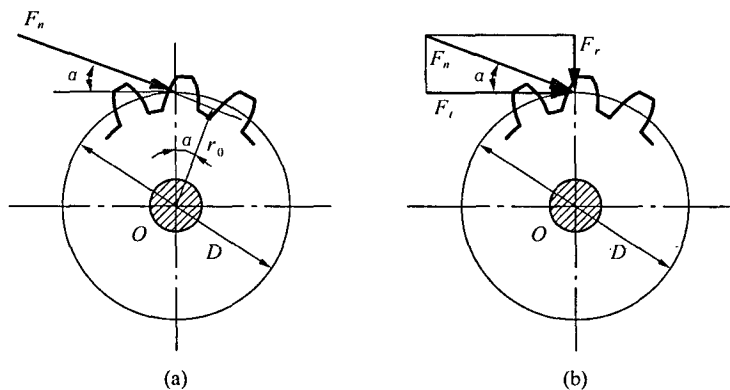


图 1-9 法向压力对齿轮轴心 O 的力矩

解：用两种方法计算。

(1) 用力矩定义求解，如图 1-9 (a) 所示；

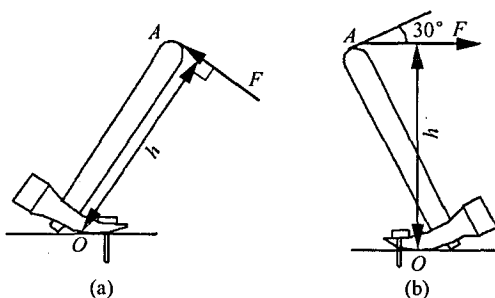


图 1-8 (a)、(b) 两种情况下力 F 对支点 O 的力矩
(a) 力垂直于锤柄；(b) 水平力

$$M_O(F_n) = -F_n r_0 = -F_n \frac{D}{2} \cos \alpha = -1400 \times \frac{0.12}{2} \cos 20^\circ = -78.93 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

(2) 用合力矩定理求解, 如图 1-9 (b) 所示。

将力 F_n 在啮合点处分解为圆周力 $F_t = F_n \cos \alpha$ 和径向力 $F_r = F_n \sin \alpha$, 由合力矩定理, 得

$$M_O(F_n) = M_O(F_t) + M_O(F_r) = F_t \times \frac{D}{2} + 0 = -1400 \cos 20^\circ \times \frac{0.12}{2} = -78.93 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

二、力 偶

在日常生活及生产实际中, 常见到物体受一对大小相等、方向相反但不在同一作用线上的平行力作用, 如图 1-10 所示的拧水龙头、转动方向盘、转动方向盘等实例。

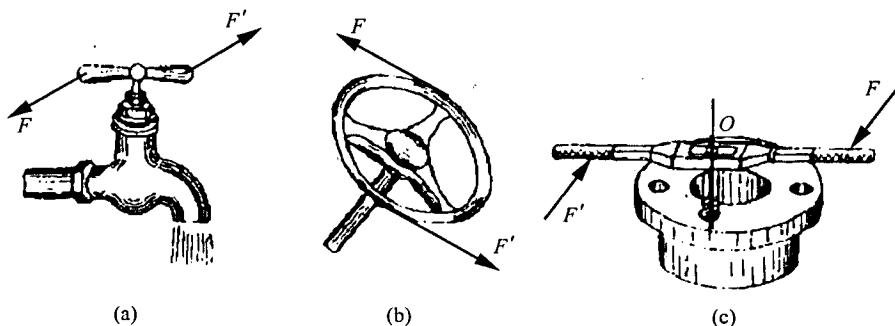


图 1-10 力偶

(a) 拧水龙头; (b) 转动方向盘; (c) 攻螺纹

一对等值、反向、不共线的平行力组成的力系称为力偶, 用符号 (F, F') 表示。力偶两力作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂, 力偶的两力作用线所决定的作用面称为力偶作用面, 力偶使物体转动的方向称为力偶的转向。力偶对物体的转动效应, 可用力偶中的力与力偶臂的乘积再冠以适当的正负号来确定, 称为力偶矩, 记作 $M(F, F')$ 或简写为 M , 即

$$M(F, F') = M = \pm Fd \quad (1-3)$$

一般规定, 逆时针转动的力偶取正值, 顺时针转动的力偶取负值。

力偶矩的单位是 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。力偶矩的大小、力偶转向和力偶作用面并称为力偶的三要素。凡三要素相同的力偶彼此等效。

根据力偶的定义, 力偶具有以下一些性质。

性质一 力偶对其作用面内任意点之矩恒等于此力偶的力偶矩, 而与矩心的位置无关。

如图 1-11 所示, 已知力偶 (F, F') 的力偶矩为 $M(F, F') = Fd$, 在力偶作用平面内任取一点 O 为矩心, 设 O 点到力 F 的垂直距离为 x , 则 (F, F') 对 O 之矩的代数和

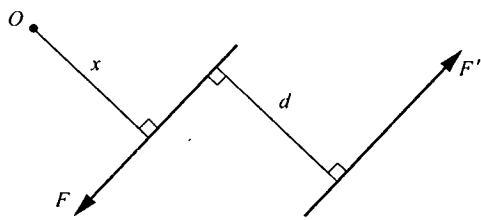


图 1-11 力偶的力偶矩

为

$$M_o(F) + M_o(F') = -Fx + F'(x + d) = Fd = M(F, F')$$

显然, 力偶矩 $M(F, F')$ 与 x 无关, 即与矩心无关。

性质二 力偶在任意坐标轴上的投影代数和为零, 故力偶无合力。一个力偶不能与一个力等效, 也不能用一个力来衡量。

力偶没有合力, 故力偶对物体的平移运动不会产生任何影响, 力与力偶相互不能代替, 不能构成平衡, 力偶只能与力偶相互平衡。因此可以将力与力偶同时看作构成力系的两种基本要素。

性质三 只要保持力偶的转向和力偶矩的大小不变, 力偶可以在其作用面内可任意转移位置, 而不改变它对刚体的作用效应。

这一性质说明力偶对物体的作用与力偶在作用面内的位置无关。

性质四 只要保持力偶矩的大小和转向不变, 可以同时改变力偶中力的大小和力偶臂的长短, 而不会改变力偶对刚体的作用效应。

这一性质说明了力偶中的力或力偶臂都不是力偶的特征量, 只有力偶矩才是力偶作用的度量参数。因此, 力偶常用一带箭头的折线或弧线来表示, 其中折线或弧线所在的平面代表力偶的作用面, 箭头的指向表示力偶的转向, 再标注力偶矩的大小, 如图 1-12 所示。

当物体在某平面内作用有两个或两个以上的力偶时即组成平面力偶系。从上面的力偶性质可知, 力偶对刚体只产生转动效应, 且转动效应的大小完全取决于力偶矩的大小和转向, 而与矩心无关。那么可将各力偶平移至一点, 力偶系可以简化为一个力偶。力偶系简化所得的结果称为力偶系的合力偶。可以证明, 合力偶矩的大小等于各个分力偶矩的代数和, 即

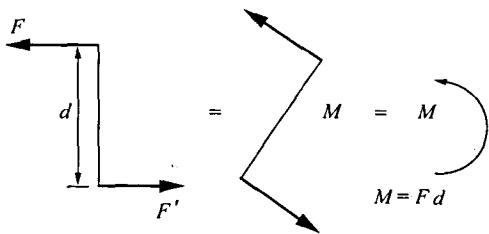


图 1-12 力偶的转向和力偶矩的大小

$$M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = \sum M_i \quad (1-4)$$

平面力偶系可合成为一合力偶, 合力偶矩为各分力偶矩的代数和。

力的平移定理: 作用在刚体上的力, 均可平移到同一刚体内任一点, 但同时附加一个力偶, 其力偶矩等于原力对该点之矩。

第三节 约束与约束反力

在各类工程中, 构件总是以一定的形式与周围其他构件相互连接的。例如房屋受立柱的限制, 使其在空间得到较为稳定的平衡; 汽车受地面的限制, 使其只能在地面上运动。

物体的运动受到周围物体的限制时, 这种限制称为约束。约束限制了物体本来可能产生的某种运动, 因此约束有力作用于物体, 这种力称为约束反力。约束反力总是作用在被约束物体与约束物体的接触处, 其方向也总是与约束所能限制的运动或运动趋势的方向相反。

一、柔性约束

由柔索、链条、胶带等柔性物体所构成的约束称为柔性约束。这类约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动，而不能限制其他方向的运动，因此它对物体只有沿绳索方向的拉力，所以柔性约束反力的方向总是沿柔索中心线且背离被约束物体，即为拉力，通常用符号 F_T 表示，如图 1-13 (a)，(b) 所示。

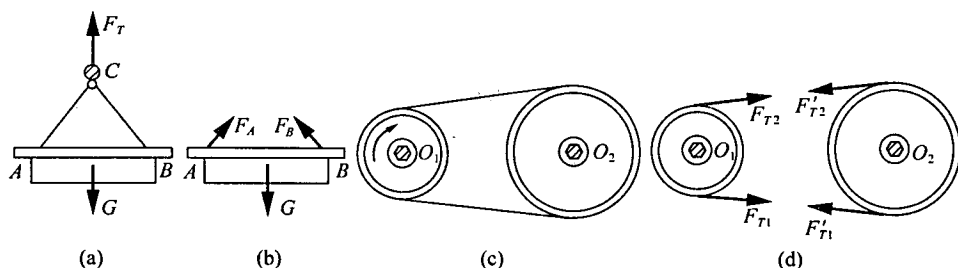


图 1-13 柔性约束

当柔索绕过轮子时，常假设在柔索的直线部分处截断柔索，将与轮接触的柔索一起作为研究对象。这样处理时就可以不用考虑柔索与轮之间的内力，此时作用于轮子的柔索拉力沿着轮缘的切线方向，如图 1-13 (c)，(d) 所示。

二、光滑面约束

当两物体直接接触且接触面之间的摩擦很小可以忽略不计时，则构成光滑面约束。该约束只能限制物体在接触点沿接触面的公法线方向进入约束体内部的运动，不限制被约束体在接触点处的公切面内任意方向的运动，同时也不限制沿接触面处的公法线脱离接触面运动，因此，光滑面约束的约束反力必过接触点并沿接触面处的公法线指向被约束物体，简称法向反力，用符号 F_N 表示，如图 1-14 所示。

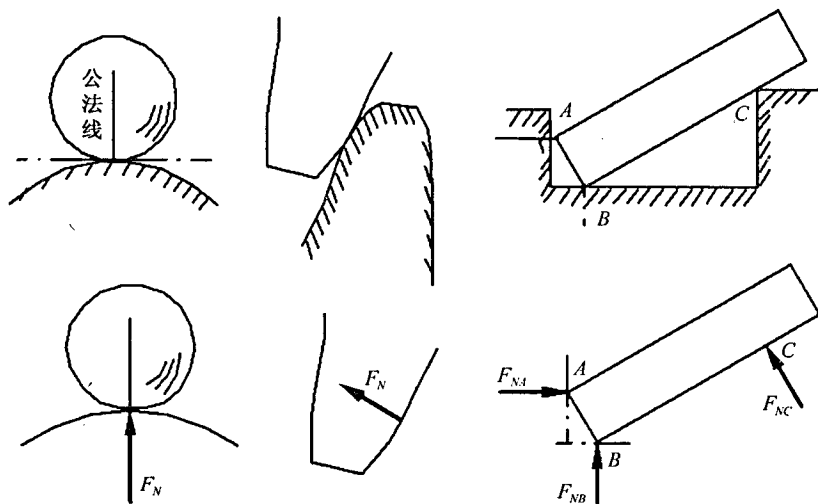


图 1-14 光滑面约束

三、铰链约束

两构件采用圆柱销所形成的连接称为铰链连接。圆柱销只限制两构件的相对运动，而不限制两构件的相对转动。若相连的构件有一个固定则称为固定铰链；若均不固定，则称为中间铰链。铰链又简称为铰。

这类约束的本质是光滑面约束，因其接触点的位置不确定，所以只能确定铰链的约束反力通过铰链中心，但力的大小和方向都不能确定。因此这力就用两个大小未知的正交分力来表示。如图 1-15 所示。

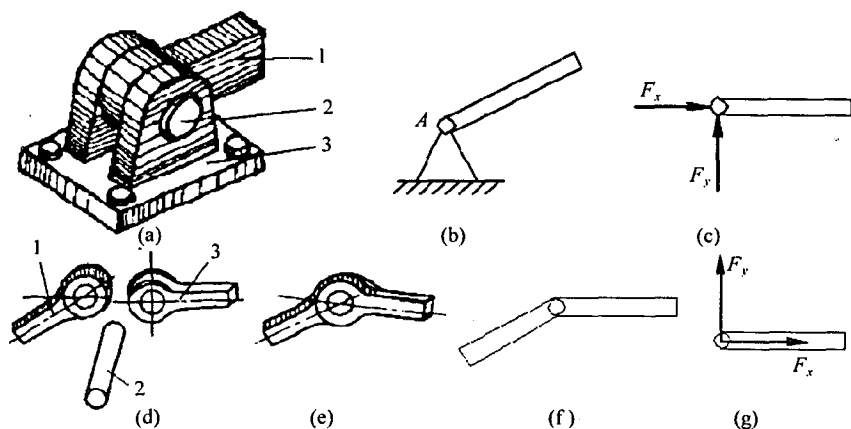


图 1-15 铰链约束

1. 杆；2. 销钉；3. 支座

在两种情况下，固定铰链和中间铰链的约束反力方向可确定。

(1) 铰链连接的构件中，有一个是二力构件。如图 1-16 所示的 F_A ，它必与杆 AB 共线。

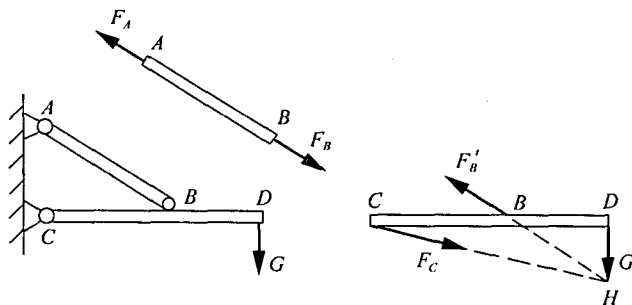


图 1-16 两力杆

(2) 活动铰链支座约束。铰链支座常用于桥梁、屋架等结构中，支座在滚子上可任意左右移动的铰链支座，称为活动铰链支座。活动铰链支座只能限制构件沿支承面垂直方向的运动，故活动铰链支座的约束反力必定通过铰链中心，并垂直于支承面。如图 1-17 所示。

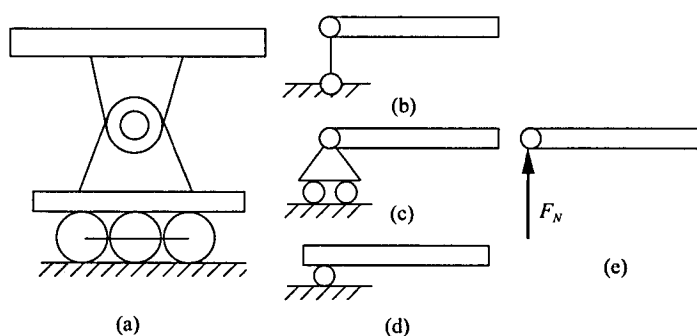


图 1-17 活动铰链支座约束

四、固定端约束

固定端约束又称为插入端约束，是工程实际中常见的一种约束类型，如插入墙体的外伸凉台、固定在车床刀架上的车刀等，如图 1-18 (a)，(b) 所示。对固定端，也可按约束作用画其约束反力。固定端既限制了被约束构件的垂直和水平移动，又限制了被约束物体的转动。通常用图 1-18 (c)，(d) 表示，其约束反力可简化为两个正交约束分力 F_x ， F_y 和一个约束反力偶矩 M 来表示，如图 1-18 (e) 所示。

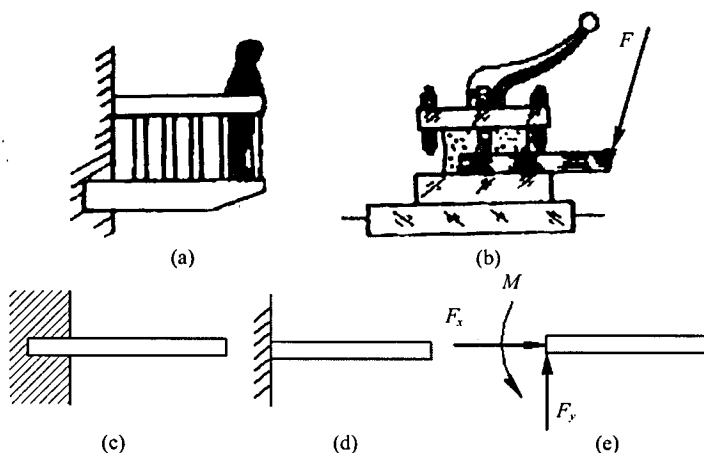


图 1-18 固定端约束

第四节 物体的受力图

在静力学中，画研究对象时，只需表示出力的作用位置与约束类型，构件可用简单线条组成的简图来表示。

在简图上除去约束，使对象成为自由体，添上代表约束作用的约束反力，称为解除约束原理。解除约束后的自由物体称为分离体，在分离体上画上它所受的全部主动力和约束反力，就称为该物体的受力图。

画受力图的步骤一般为：

- (1) 画出研究对象轮廓的分离体。
- (2) 在分离体的作用点上标出全部主动力。
- (3) 在分离体的被约束处标出相应的约束反力。

在画约束反力时, 应特别注意以下几点:

(1) 确定分离体时, 可以取一个零件 (构件)、几个零件 (机构) 的组合或整个机构 (物体系统) 的瞬间位置等。

(2) 在标记力时, 在同一机构内的不同分离体上必须做到同一个力的方向和字母的标记相同。在画相邻两物体间作用力与反作用力的方向时, 若其中一个力的方向已经明确或假定, 则另一个力的方向应随之而定。

(3) 标记各个约束反力, 对作用力和反作用力一般用相同的字母, 反作用力加一个上标 “'”, 如 F_{AB} 与 F'_{AB} 互为作用力与反作用力。

(4) 在确定和分析机构的受力状况时, 一般先分析二力构件。

(5) 对三力构件若已知其中两力作用线的交点, 第三个力为未知的约束反力, 则此约束反力的作用线必通过此交点。

(6) 当所取分离体是由某几个物体组成的物体系统, 在画物体系统的受力图时, 约定只画外力不画内力。

例 1.3 如图 1-19 (a) 所示, 一球 C 用绳 AB 挂靠在光滑的铅垂墙上, 试画出球 C 的受力图。

解: (1) 选取球 C 为研究对象, 画出其分离体图。

(2) 标出全部主动力: 在球心点 C 处画上重力 G 。

(3) 在被约束处标出约束反力: 球在 B 点受到柔性约束, 在 D 点受到光滑面约束。在解除约束的 B 点画上沿绳索中心线背离球的拉力 F_{TB} , 在 D 点画上沿接触面公法线并指向球的压力 F_{ND} 。

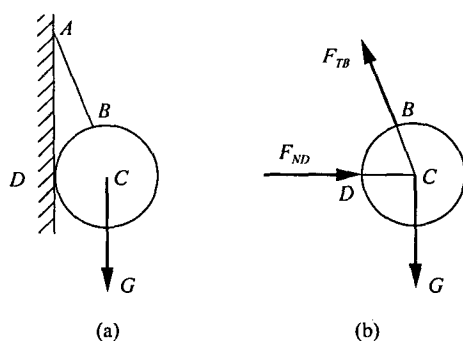


图 1-19 绳悬挂小球

球 C 受到同平面的三个不平行动力的作用而平衡, 这三个力的作用线必交汇于一点, 即 C 点。如图 1-19 (b) 所示。

例 1.4 梁 AB 的 A 端为固定端, B 端为活动铰链支座, 梁上 C 、 D 处分别受到力 F 与力偶 M 的作用, 如图 1-20 (a) 所示, 梁的自重不计, 试画出梁 AB 的受力图。

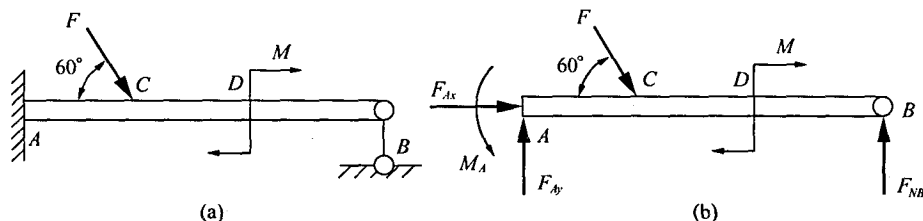


图 1-20 AB 的受力