

Gongchenglixue

工程力学

杨宏才 张宏伟 主编



陕西师范大学出版总社

工程力学

杨宏才 张宏伟 主编

陕西师范大学出版总社

图书代号 JC15N0203

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 杨宏才, 张宏伟主编. —西安: 陕西师范大学
出版总社有限公司, 2015. 3

ISBN 978-7-5613-8079-6

I. ①工… II. ①杨… ②张… III. ①工程力学—教育
IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 032127 号

工程力学

杨宏才 张宏伟 主编

责任编辑 / 于盼盼 张莹

责任校对 / 曾佳佳

封面设计 / 安梁

出版发行 / 陕西师范大学出版总社
(西安市长安南路 199 号 邮编 710062)

网 址 / <http://www.snupg.com>

经 销 / 新华书店

印 刷 / 北京京华虎彩印刷有限公司

开 本 / 787mm × 1092mm 1/16

印 张 / 11

字 数 / 300 千

版 次 / 2015 年 3 月第 1 版

印 次 / 2015 年 3 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978-7-5613-8079-6

定 价 / 22.00 元

读者购书、书店添货如发现印刷装订问题,请与本社高教出版社联系调换。
电话:(029)85308633(传真) 85307864

前 言

工程力学是一门研究物体机械运动和构件承载能力的科学。所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化,而构件承载能力则指机械零件和结构部件在工作时安全可靠地承担外载荷的能力。

例如,工程中常见的起重机,设计时,要对各构件在静力平衡状态下进行受力分析,确定构件的受力情况,研究作用力必须满足的条件。当起重机工作时,各构件处于运动状态,对构件进行运动和动力分析,这些问题均属于研究物体机械运动所涉及的内容。为保证起重机安全正常工作,要求各构件不发生断裂或产生过大变形,则必须根据构件的受力情况,为构件选择适当的材料、设计合理的截面形状和尺寸,这些问题则是属于研究构件承载能力方面的内容。工程力学有其自身的科学系统,本课程包括静力学、材料力学和运动力学三部分。静力学主要研究力系的简化及物体在力系作用下的平衡规律;材料力学主要研究构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性等基本理论和计算方法;运动力学是从几何角度来研究物体运动的规律,以及物体的运动与其所受力之间的关系。

工程力学是工科类专业中一门必不可少的技术基础课,在基础课和专业课中起着承前启后的作用,是基础科学与工程技术的综合。掌握工程力学知识,不仅可以为学习后继课程,培养设计或验算构件承载能力的初步能力,而且还有助于从事设备安装、运行和检修等方面的实际工作。因此,工程力学在专业技术教育中占有极其重要的地位。

力学理论的建立来源于实践,它以对自然现象的观察和生产实践经验为主要依据,揭示了唯物辩证法的基本规律。因此,工程力学对于今后研究问题、分析问题、解决问题有很大帮助,促进我们学会用辩证的观点考察问题,用唯物主义的认识观去理解世界。

工程力学来源于实践又服务于实践。在研究工程力学时,现场观察和实验是认识力学规律的重要实践环节。在学习本课程时,观察实际生活中的力学现象,学会用力学的基本知识去解释这些现象;通过实验验证理论的正确性,并提供测试数据资料作为理论分析、简化计算的依据。

工程实际问题往往比较复杂,为了使研究的问题简单化,通常抓住问题的本质,忽略次要因素,将所研究的对象抽象化为力学模型。如研究物体平衡时,用抽象化的刚体这一理想模型取代实际物体;研究物体的受力与变形规律时,用变形固体模型取代实际物体;对构件进行计算时,将实际问题抽象化为计算简图等。所以,根据不同的研究目的,将实际物体抽象化为不同的力学模型是工程力学研究中的一种重要方法。

工程力学有较强的系统性,各部分内容之间联系较紧密,在学习上要循序渐进,认真理解基本概念、基本理论和基本方法。注意所学概念的来源、含义、力学意义及其应用;注意有关公式的根据、适用条件;注意分析问题的思路,解决问题的方法。在学习过程中,一定要认真研究,独立完成一定数量的思考题和习题,以巩固和加深对所学概念、理论、公式的理解、记忆和应用。

编者

2015年2月

目 录

第1章 静力学基础	(1)
1.1 静力学基本概念	(1)
1.2 静力学公理	(3)
1.3 力对点之矩、力偶、力的平移定理	(5)
1.4 约束和约束反力的概念及类型	(9)
1.5 物体受力分析	(13)
习题1	(17)
第2章 平面力系	(20)
2.1 平面力系的概念	(20)
2.2 平面任意力系的简化	(21)
2.3 平面任意力系平衡方程的应用	(23)
2.4 平面特殊力系的平衡方程	(26)
2.5 静定与超静定问题,物系的平衡	(29)
2.6 考虑摩擦时的平衡问题	(31)
习题2	(34)
第3章 空间力系(选修部分)	(38)
3.1 力对点之矩与力对轴之矩的关系	(38)
3.2 空间力系的平衡方程及应用	(40)
习题3	(42)
第4章 材料力学基本概念	(44)
4.1 材料力学的任务	(44)
4.2 材料力学的基本假设	(45)
4.3 杆件变形的基本形式	(45)
第5章 轴向拉伸、压缩与剪切	(48)
5.1 轴向拉伸和压缩的概念	(48)
5.2 内力、截面法、轴力及轴力图	(48)
5.3 轴向拉(压)杆的应力计算	(51)
5.4 拉(压)杆的变形,胡克定律	(55)
5.5 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(57)

5.6 强度条件、安全系数、许用应力	(63)
5.7 应力集中的概念	(66)
5.8 剪切与挤压的实用计算	(67)
习题 5	(69)
第 6 章 扭转	(75)
6.1 扭转内力	(75)
6.2 圆轴扭转时的应力和强度条件	(79)
6.3 圆轴扭转时的变形和刚度条件	(85)
习题 6	(88)
第 7 章 平面弯曲	(90)
7.1 杆件弯曲时的内力	(90)
7.2 剪力图和弯矩图	(92)
7.3 载荷、剪力与弯矩间的关系	(95)
7.4 弯曲正应力及其强度条件	(99)
7.5 弯曲切应力及其强度条件	(105)
7.6 平面弯曲梁的变形及刚度计算	(108)
习题 7	(115)
第 8 章 应力状态分析与强度理论(选修部分)	(120)
8.1 应力状态的概念	(120)
8.2 二向应力状态下的应力分析	(125)
8.3 莫尔圆(应力圆)的其他用途	(132)
8.4 三向应力状态简介	(134)
8.5 强度理论与应用	(135)
习题 8	(138)
第 9 章 组合变形	(141)
9.1 概念	(141)
9.2 拉伸(压缩)与弯曲	(143)
9.3 扭转与弯曲	(147)
习题 9	(150)
第 10 章 压杆稳定	(152)
10.1 压杆稳定性的概念	(152)
10.2 细长杆临界力	(154)
10.3 临界应力与临界应力总图	(158)
10.4 压杆的稳定计算及合理设计	(161)
习题 10	(163)
参考文献	(167)

第1章 静力学基础

目的要求:掌握静力学公理及物体受力分析。

教学重点:熟悉各种常见约束的性质,掌握物体受力分析方法,能熟练画出工程结构的受力图。

教学难点:三力汇交定理及正确画出物体的受力图。

教学内容:

静力学是研究物体受力及平衡的一般规律的科学。

静力学理论是从生产实践中总结出来的,是对工程结构构件进行受力分析和计算的基础,在工程技术中有着广泛的应用。静力学主要研究以下三个问题:

- (1) 物体的受力分析;
- (2) 力系的等效替换与简化;
- (3) 力系的平衡条件及其应用。

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力与力系的概念

力是物体之间相互的机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生变化或使物体的形状发生改变,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。在静力学中只研究力的外效应。

实践表明,力对物体的作用效果取决于力的三个要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。力是矢量,在图示力时,常用一带箭头的线段来表示力(图1-1),在书写力时,力矢量用加黑的字母表示,如 $\boldsymbol{F}$ 、 $\boldsymbol{P}$ 、 $\boldsymbol{G}$ 、 $\boldsymbol{F}_1$ 等。力还有另一种表达方式:力矢量表达式。

力在坐标轴上的投影如图1-2所示。

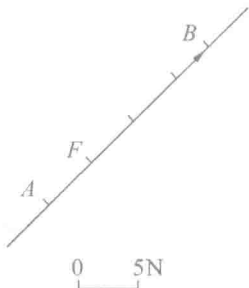


图 1-1

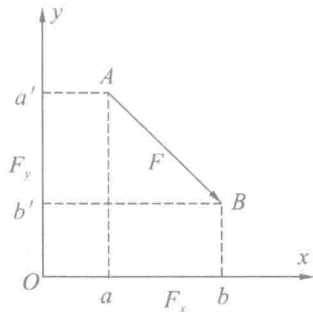


图 1-2

力的投影有正负,力的箭头指向与坐标的正向一致则为正;反之为负。若力与正向夹角为 α ,则

$$\begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha & F_y &= -F \cos \alpha \\ F &= F_x * i + F_y * j = F \cos \alpha * i - F \cos \alpha * j \end{aligned}$$

在静力学中,用黑斜体大写字母 F 表示力矢量,用白斜体大写字母 F 表示力的大小。在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛(kN)。

力的作用点是物体相互作用位置的抽象化。实际上,两个物体接触处总占有一定的面积,力总是分布地作用在一定的面积上,如果这个面积很小,则可将其抽象为一个点,即为力的作用点,这时的作用力称为集中力;反之,若两物体接触面积比较大,力分布地作用在接触面上,这时的作用力称为分布力。除面分布力外,还有作用在物体整体或某一长度上的体分布力或线分布力,分布力的大小用符号 q 表示, q 表示分布力作用的强度,称为荷载集度。如果力的分布是均匀的,称为均匀分布力,简称均布力。下面介绍力系的概念。

力系是指作用在物体上的一群力。

等效力系是指若对于同一物体,有两组不同力系对该物体的作用效果完全相同,则这两组力系称为等效力系。

力系的等效替换是指一个力系用其等效力系来代替。

用一个最简单的力系等效替换一个复杂力系,称为力系的简化。若某力系与一个力等效,则此力称为该力系的合力,而该力系的各力称为此力的分力。

平衡力系是指若力系作用在物体上,物体仍保持平衡状态。

汇交力系是指若力系中各力的作用线都交于一点。

平行力系是指若力系中各力的作用线都相互平行。

平面力系是指若力系中各力的作用线都在一个平面内,否则称为空间力系。

1.1.2 刚体的概念

所谓刚体,是指在力的作用下不变形的物体,即在力的作用下其内部任意两点的距离永远保持不变的物体。这是一种理想化的力学模型,事实上,在受力状态下不变形的物体是不存在的,不过,当物体的变形很小,在所研究的问题中把它忽略不计,并不会对问题的性质带来本质的影响时,该物体就可近似看作刚体。刚体是在一定条件下研究物体受力和运动规律时的科学抽象,这种抽象不仅使问题大大简化,也能得出足够精确的结果,因此,静力学又称为刚体静力学。

1.1.3 平衡的概念

平衡是指物体相对于惯性参考系处于静止或做匀速直线运动的状态。惯性参考系是指保持静止或匀速直线运动状态的参考系。平衡是运动的特殊情形。

1.2 静力学公理

为了讨论物体的受力分析,研究力系的简化和平衡条件,必须先掌握一些最基本的力学规律。这些规律是人们在生活和生产活动中长期积累的经验总结,又经过实践反复检验,被认为是符合客观实际的最普遍、最一般的规律,称为静力学公理。静力学公理概括了力的基本性质,是建立静力学理论的基础。

公理1 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向,由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定,如图1-3(a)所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的几何和,即

$$\boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$$

亦可另作一力三角形来求两汇交力合力矢的大小和方向,即依次将 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 首尾相接画出,最后由第一个力的起点至第二个力的终点形成三角形的封闭边,即为此二力的合力矢 $\boldsymbol{F}_R$,如图1-3(b)、图1-3(c)所示,称为力的三角形法则。

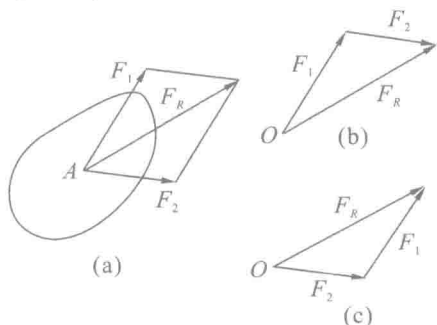


图1-3 三角形法则

公理2 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的充要条件是:这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上,如图1-4所示。该两力的关系可用如下矢量式表示:

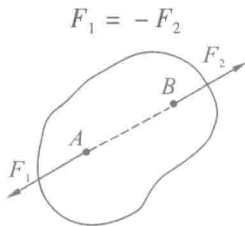


图1-4 二力平衡条件

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,满足上述条件的两个力称为一对平衡力。需要说明的是,对于刚体,这个条件既必要又充分,但对于变形体,这个条件是不充分的。

工程上,将两个力作用下而平衡的刚体称为二力构件或二力杆,根据二力平衡条件,二力杆两端所受两个力大小相等、方向相反,作用线沿两个力的作用点的连线。如图 1-5 所示。

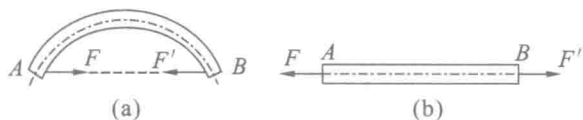


图 1-5 二力杆

公理 3 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

这一公理是研究力系等效替换与简化的重要依据。

根据上述公理可以导出如下两个重要推论:

推论 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线滑移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用效果。

证明:设在刚体上点 A 作用有力 F ,如图 1-6(a) 所示。根据加减平衡力系公理,在该力的作用线上的任意点 B 加上平衡力 F_1 与 F_2 ,且使 $F_2 = -F_1 = F$,如图 1-6(b) 所示,由于 F 与 F_1 组成平衡力,可去除,故只剩下力 F_2 ,如图 1-6(c) 所示,即将原来的力 F 沿其作用线移到了点 B 。

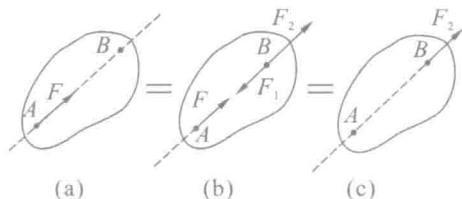


图 1-6 力的可传性

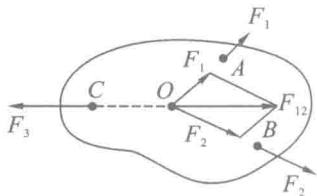
由此可见,对刚体而言,力的作用点不是决定力的作用效应的要素,它已为作用线所代替。因此作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力可以沿着其作用线滑移,这种矢量称为滑移矢量。

推论 2 三力平衡汇交定理

若刚体受三个力作用而平衡,且其中两个力的作用线相交于一点,则此三个力必共面且汇交于同一点。

证明:刚体受三力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用而平衡,如图 1-7 所示。根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O ,并合成为力 F_{12} ,则 F_{12} 应与 F_3 平衡。根据二力平衡条件, F_{12} 与 F_3 必等值、反向、共线,所以 F_3 必通过 O 点,且与 F_1 、 F_2 共面,定理得证。



公理 4 作用与反作用定律

两个物体间的作用力与反作用力总是同时存在,且大小相等、方向相反,沿着同一条直线,分别作用在两个物体上。若用 F 表示作用力, F' 表示反作用力,则

$$F = -F'$$

该公理表明,作用力与反作用力总是成对出现,但它们分别作用在两个物体上,因此不能视作平衡力。

公理5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡,如果将此变形体刚化为刚体,其平衡状态保持不变。

这一公理提供了把变形体抽象为刚体模型的条件。如柔性绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,可将绳索刚化为刚体,其平衡状态不会改变。而绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下则不能平衡,这时,绳索不能刚化为刚体。但刚体在上述两种力系的作用下都是平衡的。

由此可见,刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。刚化原理建立了刚体与变形体平衡条件的联系,提供了用刚体模型来研究变形体平衡的依据。在刚体静力学的基础上考虑变形体的特性,可进一步研究变形体的平衡问题。这一公理也是研究物体力系平衡问题的基础,刚化原理在力学研究中具有非常重要的地位。

静力学的全部理论都是建立在上述五个公理基础之上的。

1.3 力对点之矩、力偶、力的平移定理

1.3.1 力对点之矩

1. 力矩的概念

1) 力矩的定义

力矩是力对物体绕某一点转动其转动效果大小的度量。它等于力的大小乘以力到该点的距离。并规定,力使物体绕该点顺转为负,逆转为正。

2) 力矩的计算公式

$$M_O(F) = \pm F \times d$$

式中, $M_O(F)$ 表示力 F 对力矩中心 O 点的力矩(图1-8); F 表示力的大小; d 表示力臂,即为力矩中心到力的作用线之间的垂直距离。

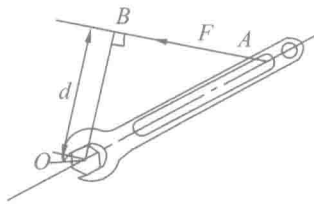


图 1-8

3) 力矩的正负号规则

在平面问题中,规定逆时针转向的力矩取正号(+),顺时针转向的力矩取负号(-)。

4) 力矩的单位

力矩的单位为牛顿·米($\text{N} \cdot \text{m}$)或者千牛·米($\text{kN} \cdot \text{m}$)。

$$1 \text{ kN} \cdot \text{m} = 1000 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2. 力矩的性质

- (1) 力 F 对 O 点之矩不仅取决于力 F 的大小,同时还与矩心的位置即力臂 d 有关。
- (2) 力 F 对于任意一点之矩,不会因该力的作用点沿其作用线移动而改变。
- (3) 力 F 的大小等于零或者力的作用线通过矩心时,力矩等于零。

3. 合力矩定理

合力对某一点之矩等于各分力对同一点之矩的代数和。

$$M_O(F_R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \cdots + M_O(F_n) = \sum M_O(F)$$

4. 力矩的计算举例

【例 1-1】 如图 1-9 所示,数值相同的三个力按照不同的方式施加在同一扳手的 A 端。若 $F=200\text{N}$,试求图示三种情况下力 F 对 O 点的力矩。

解:图示三种情况下,虽然力的大小、作用点和矩心均相同,但是力的作用线各异,致使力臂均不相同,因而在三种情况下,力对 O 点之矩不同。直接根据力矩的公式可求出力对点 O 之矩分别为

在图(a)中 $M_O(F) = -F \times d = -200\text{N} \times 0.2\text{m} \times \cos 30^\circ = 34.64 \text{ N} \cdot \text{m}$

在图(b)中 $M_O(F) = F \times d = 200\text{N} \times 0.2\text{m} \times \sin 30^\circ = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$

在图(c)中 $M_O(F) = -F \times d = -200\text{N} \times 0.2\text{m} = 40 \text{ N} \cdot \text{m}$

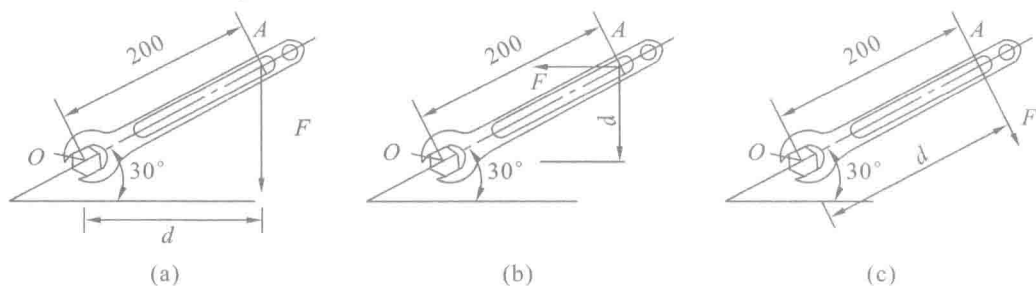


图 1-9

1.3.2 力偶

1. 力偶的概念

1) 力偶的实际例子

如图 1-10 所示,司机用双手转动方向盘的作用力 F 和 F' 。

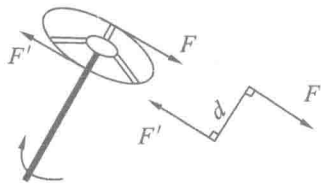


图 1-10

2) 力偶的定义

力偶是等值、反向、相互平行的一对特殊的力。力偶对物体只起转动效果。

3) 力偶的表示方法

图示方法: 见图(1-13)。

4) 力偶对刚体转动效应的度量——力偶矩 $M(F, F')$

用力偶中的任意力的大小 F 与力偶中两力作用线之间的垂直距离 d (称为力偶臂) 的乘积再冠以相应的正负号, 作为力偶在其作用面内使物体产生转动效应的度量, 称为力偶矩, 记作 $M(F, F')$ 或 M , 即

$$M(F, F') = M = \pm F' \times d = \pm F \times d$$

5) 力偶矩的正负号规则

在平面问题中, 规定逆时针转向的力偶其力偶矩取正号(+), 顺时针转向的力偶其力偶矩取负号(-)。



6) 力偶矩的单位

力偶矩的单位同力矩的单位相同, 用牛顿·米($\text{N} \cdot \text{m}$)或者千牛·米($\text{kN} \cdot \text{m}$)。

7) 力偶的三要素

力偶矩的大小、力偶的转向、力偶的作用面。

2. 力偶的基本性质

(1) 力偶无合力, 力偶在任一坐标轴上的投影等于零(图1-11)。

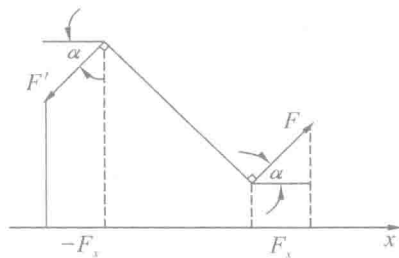


图 1-11

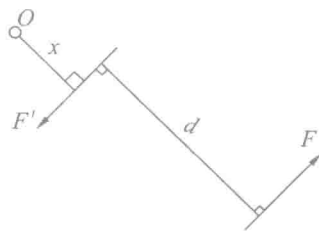


图 1-12

(2) 力偶对其作用面内任一点之矩等于力偶矩, 与矩心位置无关(图1-12)。

$$M_O(F) + M_O(F') = F(x + d) - F'x = Fd = M$$

(3) 力偶的等效性: 只要保证力偶的三要素相同, 两力偶的作用效果相同(图 1-13)。

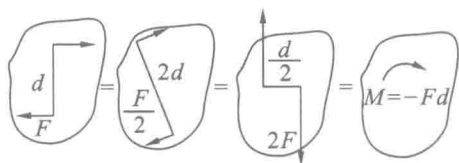


图 1-13

3. 平面力偶系的合成

平面力偶系合成的结果为一合力偶, 合力偶的力偶矩等于各分力偶矩的代数和(图 1-14)。

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + \cdots + M_n = \sum M$$

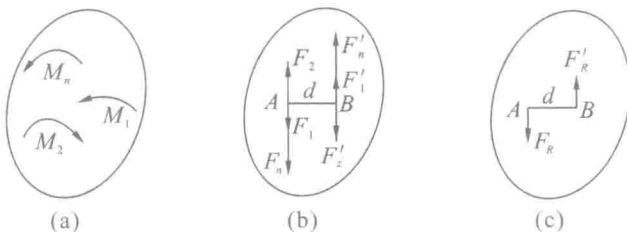


图 1-14

1.3.3 力的平移定理

1. 力的平移定理

力可以等效地平移到刚体上的任一点, 但必须附加一个力偶, 其力偶矩的大小等于原力对该点之矩(图 1-15)。

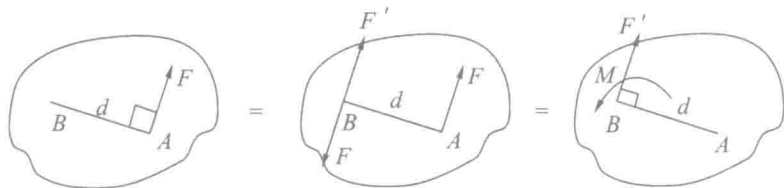


图 1-15

(1) 球拍击球, 参看图 1-16。

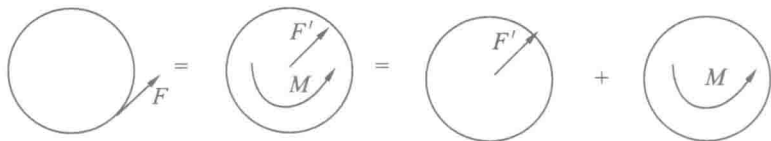


图 1-16

(2) 转轴的齿轮上作用圆周力 F , 如图 1-17 所示。

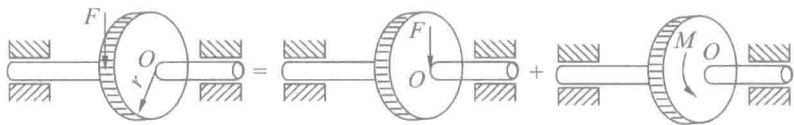


图 1-17

2. 力的平移定理的逆定理

刚体的某平面上作用的一力 F 和一力偶 M 可以进一步合成得到一个合力, 如图 1-18 所示。

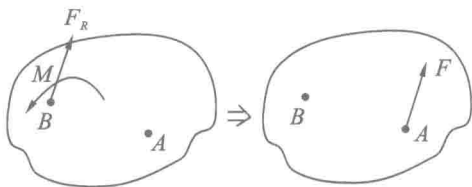


图 1-18

1.4 约束和约束反力的概念及类型

1.4.1 约束与约束反力

物体按照运动所受限制条件的不同可以分为两类: 自由体与非自由体。自由体是指物体在空间可以有任意方向的位移, 即运动不受任何限制。如断线的风筝、空中飞行的炮弹、飞机、人造卫星等。非自由体是指在某些方向的位移受到一定限制而不能随意运动的物体, 如在轴承内转动的转轴、汽缸中运动的活塞、铁轨上滚动的车轮等。对非自由体的位移起限制作用的周围物体称为约束, 例如, 铁轨对于机车, 轴承对于电机转轴, 吊车钢索对于重物等, 都是约束。

约束限制着非自由体的运动, 与非自由体接触相互产生了作用力, 约束作用于非自由体上的力称为约束反力。约束反力作用于接触点, 其方向总是与该约束所能限制的运动方向相反, 据此, 可以确定约束反力的方向或作用线的位置。至于约束反力的大小却是未知的, 在以后根据平衡方程求出。

1.4.2 常见约束类型及其约束反力

1. 柔索约束

由绳索、链条、皮带等所构成的约束统称为柔索约束, 这种约束的特点是柔软易变形, 它给物体的约束反力只能是拉力。因此, 柔索对物体的约束反力作用在接触点, 方向沿柔索且

背离物体。如图 1-19、图 1-20 所示。

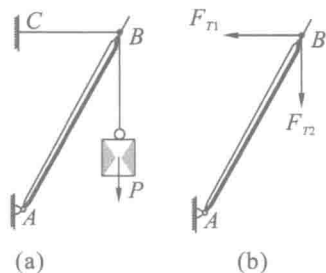


图 1-19 绳索约束

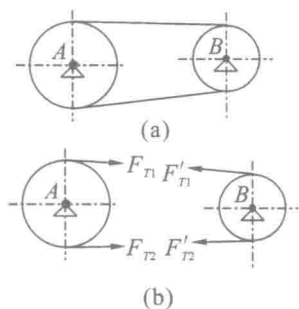


图 1-20 皮带约束

2. 光滑接触面约束

物体受到光滑平面或曲面的约束称作光滑面约束。这类约束不能限制物体沿约束表面切线的位移,只能限制物体沿接触表面法线并指向约束的位移。因此约束反力作用在接触点,方向沿接触表面的公法线,并指向被约束物体。如图 1-21、图 1-22 所示。

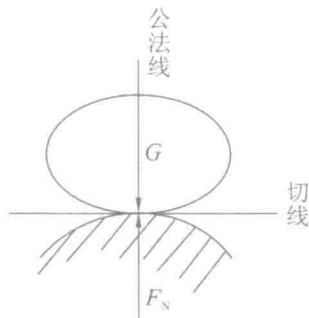


图 1-21 固定接触表面约束

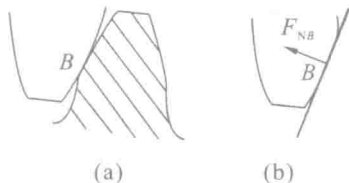


图 1-22 齿轮接触表面约束

3. 光滑圆柱铰链约束

如图 1-23(a)、(b)所示,在两个构件 A、B 上分别有直径相同的圆孔,再将一直径略小于孔径的圆柱体销钉 C 插入该两构件的圆孔中,将两构件连接在一起,这种连接称为铰链连接,两个构件受到的约束称为光滑圆柱铰链约束。受这种约束的物体,只可绕销钉的中心轴线转动,而不能相对销钉沿任意径向方向运动。这种约束实质是两个光滑圆柱面的接触,如图 1-23(c)所示,其约束反力作用线必然通过销钉中心并垂直圆孔在 D 点的切线,约束反力的指向和大小与作用在物体上的其他力有关,所以光滑圆柱铰链的约束反力的大小和方向都是未知的,通常用大小未知的两个垂直分力表示,如图 1-23(d)所示。光滑圆柱铰链的简图,如图 1-23(e)所示。

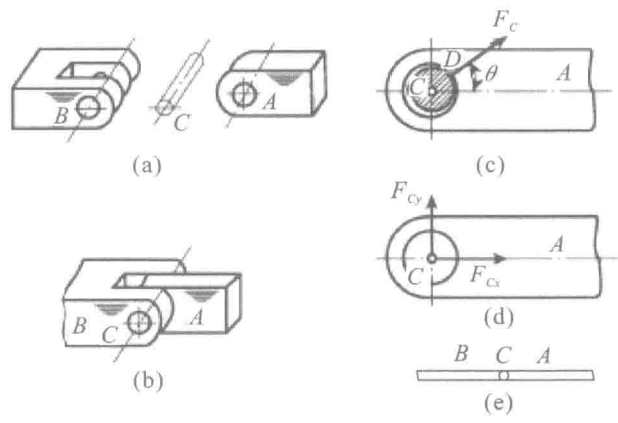


图 1-23 光滑圆柱铰链约束

4. 固定铰支座

固定铰支座约束,如图 1-24(a) 所示,这类约束可认为是光滑圆柱铰链约束的演变形式,两个构件中有一个固定在地面或机架上,其结构简图如图 1-24(b) 所示。这种约束的约束反力的作用线也不能预先确定,可以用大小未知的两个垂直分力表示,如图 1-24 (c) 所示。

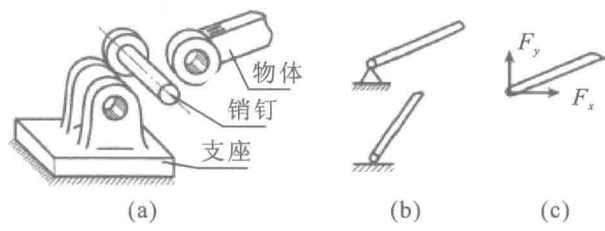


图 1-24 固定铰支座约束

5. 滚动铰支座

在桥梁、屋架等工程结构中经常采用这种约束,如图 1-25(a) 所示为桥梁采用的滚动铰支座,这种支座可以沿固定面滚动,常用于支承较长的梁,它允许梁的支承端沿支承面移动。因此这种约束的特点与光滑接触面约束相同,约束反力垂直于支承面指向被约束物体,如图 1-25(c) 所示。

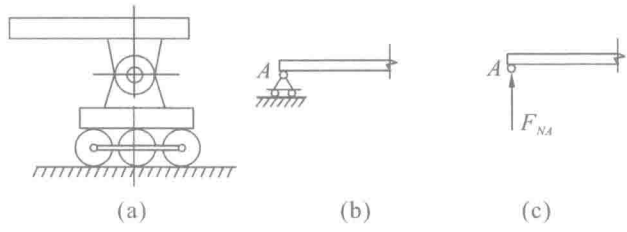


图 1-25 滚动铰支座约束