



职业 教育 规划 教材



机械基础

江 潮 主编 李允志 主审



化学工业出版社

职业教育规划教材

机械基础

江 潮 主编

李允志 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材是根据教学改革的需要,为培养高素质的具有较强适应能力的中初级应用型专门人才而编写的。全书共分7章,主要包括静力分析,机械零部件的承载能力分析,机械零件的几何精度,常用机构,机械传动,轴系零件,机械的润滑与摩擦等内容。

本教材适用于中等职业学校机械类各专业,亦可供其他专业的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/江潮主编. —北京:化学工业出版社,
2009.5

联业教育规划教材

ISBN 978-7-122-05098-4

I. 机… II. 江… III. 机械学-职业教育-教材
IV. TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第045137号

责任编辑:高钰

文字编辑:张绪瑞

责任校对:蒋宇

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张18¼ 字数461千字 2009年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:30.00元

版权所有 违者必究

前 言

本教材是根据教学改革的需要,为培养高素质的具有较强适应能力的中初级应用型专门人才而编写的。

中等职业教育培养的人才应向提高全面素质和综合职业能力的方向发展。根据中等职业教育的生源状况和培养目标的需要,我们在教学改革和课程创新方面进行了许多探索实践,同时吸收了许多兄弟学校改革的成果和经验,组织编写了这本教材,力图使该教材具有较强的实用性。

本教材改革原有的中职教材体系,按综合课的思路,将原有机电类多门专业基础课按能力要求整合为新的教学体系。从职业教育的培养目标和教学特点出发,教材尽量注重实践能力的培养,精选教材内容,减少理论论述、计算等内容并注意与生产实际相结合,力求符合教学规律。本书全部采用最新颁布的国家标准编写。

在进行教学时,可以根据实际情况调整教材内容,建议教学学时为 160 课时。

参加本教材编写的有于忠芳(第一章),江潮(绪论、第三章),刘茂华(第五章),黄善思(第四、六、七章),王卫东(第二章),并由江潮担任主编,李允志担任主审。

由于编者水平有限,书中缺点在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 1 月

目 录

绪论	1
第一章 静力分析	2
第一节 静力分析基础	2
一、静力分析的基本概念	2
二、力的基本性质	3
三、力矩与力偶	4
四、约束与约束反力	6
五、受力图	9
第二节 平面力系的平衡方程及其应用	11
一、力在平面直角坐标轴上的投影与合力投影定理	12
二、平面一般力系的平衡方程及其应用	13
三、平面特殊力系的平衡方程及其应用	17
习题	19
第二章 机械零部件的承载能力分析	25
第一节 轴向拉伸和压缩	25
一、轴向拉伸和压缩的概念	25
二、轴向拉伸和压缩时横截面上的内力	26
三、轴向拉伸和压缩时横截面上的应力	26
四、轴向拉伸和压缩时的变形	27
五、材料拉伸和压缩时的力学性质	28
六、危险应力、许用应力和安全因数的概念	32
七、轴向拉伸和压缩时的强度条件及其应用	32
第二节 剪切和挤压	34
一、剪切和挤压变形的概念	34
二、剪切和挤压的实用强度计算	35
三、剪切时的变形	39
第三节 圆轴扭转	39
一、扭转变形的概念	39
二、圆轴扭转时横截面上的内力	40
三、圆轴扭转时横截面上的应力	41
四、圆轴扭转时的变形	43
五、圆轴扭转时的强度和刚度条件及其应用	43
第四节 直梁弯曲	45
一、梁弯曲的概念	45
二、梁弯曲时横截面上的内力	46

三、梁的弯矩图及其变化规律	48
四、纯弯曲时梁的横截面上的应力	51
五、梁的正应力强度计算	52
六、梁的变形	54
七、提高梁的抗弯能力的措施	57
习题	58
第三章 机械零件的几何精度	64
第一节 极限与配合	64
一、互换性概念	64
二、极限与配合基本术语、定义	64
三、极限与配合国家标准的构成	72
四、极限与配合的标注、识读	77
五、线性尺寸的一般公差	78
第二节 测量基础	78
一、游标卡尺	79
二、千分尺	83
三、百分表	85
四、游标万能角度尺	90
第三节 形状和位置公差	92
一、零件的几何要素	92
二、形位公差的概念和种类	93
三、形位公差各项目的意义	94
四、形位公差的标注方法	95
第四节 表面粗糙度概述	100
一、表面粗糙度的基本术语	100
二、表面粗糙度的主要评定参数	101
三、表面粗糙度代号及其注法	102
四、表面粗糙度的测量简介	103
习题	104
第四章 常用机构	106
第一节 概述	106
一、机器、机构、构件和零件	106
二、平面运动副	107
三、平面机构运动简图的识读	108
第二节 平面连杆机构	109
一、铰链四杆机构的组成	110
二、铰链四杆机构的基本类型	110
三、铰链四杆机构的基本性质	113
四、铰链四杆机构的演化	115
第三节 凸轮机构	117
一、凸轮机构概述	117

二、凸轮机构的工作原理	120
第四节 棘轮机构和槽轮机构	123
一、棘轮机构	123
二、槽轮机构	126
习题	127
第五章 机械传动	129
第一节 带传动和链传动	129
一、带传动	129
二、链传动	140
第二节 螺纹连接及螺旋传动	144
一、螺纹的形成和种类	144
二、螺纹连接及螺纹连接件	154
三、螺旋传动的应用形式	158
第三节 齿轮传动	162
一、齿轮传动的类型和应用特点	162
二、渐开线齿廓	165
三、渐开线直齿圆柱齿轮及啮合传动	168
四、其它常用齿轮及其传动	176
五、齿轮的加工方法、根切现象及最少齿数	181
六、变位齿轮简介	182
七、渐开线圆柱齿轮精度简介	184
八、齿轮轮齿的失效形式、材料选择、润滑及维护	187
第四节 蜗杆传动	192
一、蜗杆、蜗轮及传动	192
二、蜗杆传动的特点	194
三、蜗杆传动的基本参数	195
四、蜗杆传动的正确啮合条件	197
五、蜗杆传动的失效形式、材料	197
六、蜗杆传动的润滑和维护	198
第五节 轮系	198
一、轮系的应用与分类	198
二、定轴轮系	199
三、减速器简介	205
习题	209
第六章 轴系零件	212
第一节 键、销及其连接	212
一、键连接	212
二、销连接	217
第二节 轴	219
一、轴的分类和应用	219
二、轴的结构和轴上零件的固定	220

第三节 轴承	224
一、滑动轴承	224
二、滚动轴承	228
第四节 联轴器、离合器和制动器	238
一、联轴器	238
二、离合器	241
三、制动器	244
习题	245
第七章 机械的润滑与密封	247
第一节 摩擦、磨损与润滑	247
一、摩擦	247
二、磨损	247
三、润滑	248
第二节 润滑剂的类型与选用	249
一、润滑油	249
二、润滑脂	249
三、添加剂	251
第三节 常见的润滑方法、装置及选用	251
一、常见的润滑方法	251
二、常见的润滑装置	251
第四节 润滑系统及其使用维护	252
第五节 常见密封装置	253
一、静密封	253
二、动密封	254
习题	254
附录	256
附表 1 热轧等边角钢 (GB 9787—88)	256
附表 2 热轧工字钢 (GB 706—88)	260
附表 3 热轧槽钢 (GB 707—88)	262
附表 4 孔的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.4—1999)	264
附表 5 轴的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.4—1999)	272
参考文献	281

绪 论

机械工程是人类实现工业化的主导力量,在工业化进程中,创造了科学飞速进步和技术创新不断涌现的新时代。现在市场上可以看到千百万种大小机械,在一切可能的地方都由机械代替了人工劳动,它所创造的财富极大地丰富了人类的物质文明和精神文明。在全球信息化的时代,机械工程将提升到一个崭新阶段,从纳米机械直到航空航天机械,新的发明创造层出不穷,必将极大地造福于人类社会。

在我国,随着工业化水平的迅速提高,机械设备已广泛地应用于各个工业生产部门中。科学技术日新月异的发展使得机械工业在国民经济发展中占据了非常重要的位置。现代化的机械设备不仅能有效地、大幅度地提高劳动生产率,而且已经成为一个国家工业发展水平的重要标志。因此,对一个现代生产中的专业技术人员或劳动者来说,必须牢固掌握各种机械设备的构造原理和运动规律等基础知识和国家标准的有关内容。

机械基础课程是中等职业技术学校机械类专业的一门重要的专业基础课,为学习专业课程和今后在工作中合理使用、维护机械设备以及进行技术革新提供必要的基础知识。

本课程讲授的主要内容有:机械零件和机械设备的受力分析、计算,包括静力分析、机械零部件的承载能力分析等内容;互换性的基本原理和各种结合件的公差配合制度和及应用及测量的基本知识,包括极限与配合、测量基础、形状和位置公差、表面粗糙度等内容;常用机构,包括平面连杆机构、凸轮机构及其它常用机构;常用机械传动,包括带传动、螺旋传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动等内容;轴系零件,包括常用连接、轴、轴承、联轴器,离合器、制动器等内容;机械的润滑与密封,包括机械摩擦、磨损和常用润滑装置等内容。

通过本课程的学习,学生应能获得机械的基本知识、基本理论和基本技能,初步具备正确分析、使用及维护机械的能力,为学习有关专业课程以及运用和维修机械设备奠定必要的基础。

本课程是一门综合性很强的课程,包含知识面宽、内容多、实用性强。因此,在学习过程中,必须多观察、细思考、勤练习、常总结。坚持理论联系实际,尽可能借助生活中和生产过程中的实例,加深对学习内容的认识和理解。要熟悉典型结构,增强感性认识,把学习的重点放在对基本知识的认识,国家标准的使用,各种机械零件结构原理应用方面。思考明晰本课程的基本概念,注意知识间的联系,掌握基本技能,提高综合分析问题和解决问题的能力。及时总结、消化掌握课程内容,归纳学到的各种技术方法。特别应注重实践能力和创新精神的培养,全面提高综合素质和职业能力。

静力分析

所谓静力分析是指对处于静止或匀速直线运动状态的物体进行的受力和计算。本章主要介绍静力分析的基本概念和基本方法。

第一节 静力分析基础

一、静力分析的基本概念

1. 力的概念

人们在生活和生产实践中发现,当两个物体相互作用时,能够改变彼此的大小、形状或运动的状态,经过长期的观察和分析,逐步形成和建立了力的科学概念:力是物体间相互的机械作用,这种作用能够使物体的大小、形状或运动状态发生变化。物体大小、形状的变化是力对物体的内效应,物体运动状态的变化是力对物体的外效应。

力既然是物体间相互的机械作用,所以,力不能脱离周围的物体而存在,而且总是成对存在。

力对物体的效应,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。三要素中,任何一个发生变化,力对物体的作用效果就会改变。

在力学中有两种量:标量和矢量。只有大小的量称为标量,如长度、时间和质量等都是标量。既有大小又有方向的量称为矢量,如力和速度都是矢量。矢量可用一有向线段来表示。

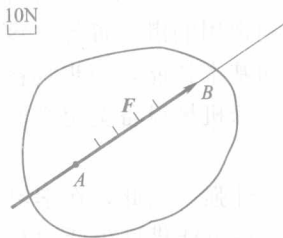


图 1-1 力矢

图 1-1 中的有向线段 AB 是一个力矢。这个矢量的长度(按一定的比例尺)表示力的大小($F=60\text{N}$);矢量的方位和箭头的指向表示力的方向;矢量的始端或末端表示力的作用点。本章中用黑体字母表示矢量,而以普通字母表示量的大小。

为了测定力的大小,必须确定力的单位。按照国际单位制的规定,力的单位用牛顿(N)或千牛顿(kN)。

同时作用于一个物体上的一组力称为一个力系。若一个力和一个力系对物体的作用效果相同(即等效),则称这个力是该力系的合力,而力系中的各个力都是其合力的分力。把力系代换成合力的过程称为力系的合成,把合力代换成分力的过程称为力的分解。

2. 平衡的概念

静力分析中的平衡,是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。

作用于物体上的力系,若使物体处于平衡状态,则称该力系为平衡力系;平衡力系必须满足的条件称为力系的平衡条件。

3. 刚体的概念

所谓刚体,是指在任何外力作用下,大小和形状始终保持不变的物体。事实上,刚体是不存在的。任何物体受力后,都会或多或少地发生变形。但在静力分析中,忽略物体的微小

变形既可以使问题的研究大为简化,又不会显著影响静力分析的结果。因此,静力分析中研究的物体均视为刚体。

二、力的基本性质

力的基本性质由许多公理、原理组成。所谓公理,就是符合客观现实的真理,是人们在长期的实践中总结出来的,它的正确性已被人们所公认。这里仅介绍在静力分析中广泛应用的几个性质。

1. 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的唯一条件是:这两个力大小相等,方向相反,作用在同一条直线上。

在两个力作用下处于平衡状态的构件,称为二力构件。二力构件上的力必须满足上述平衡条件,即等值、反向、共线。在物体的静力分析中,据此可以确定二力构件中未知力的作用线的位置。

2. 力的平行四边形公理

作用于刚体上某一点的两个力,其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所作的平行四边形的对角线确定(图 1-2)。根据这个公理作出的平行四边形,称为力的平行四边形。

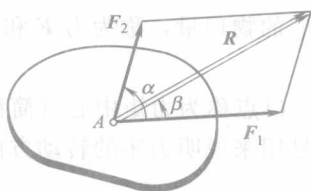


图 1-2 力的平行四边形

运用平行四边形求合力的方法,称为矢量加法,合力矢等于原来两力的矢量和,可用公式表示为

$$R = F_1 + F_2$$

3. 作用与反作用公理

两个相互作用的物体之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、沿同一直线,分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理说明力总是成对存在的,物体间的作用力与反作用力同时存在,同时消失。

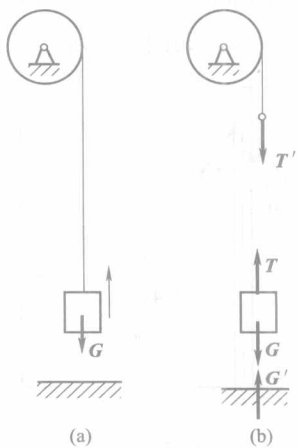


图 1-3 作用力与反作用力

必须注意,作用力与反作用力分别作用在两个物体上,而二力平衡公理中的两个力是作用在同一物体上的,不要把两个公理混为一谈。例如,图 1-3 (a) 表示一重物用绳索悬挂在鼓轮上, G 为重物所受的重力, T 为绳索对重物的拉力 [图 1-3 (b)],它们都作用在重物上,所以, G 和 T 是二力平衡而不是作用力和反作用力的关系。绳索给重物拉力 T 的同时,重物必给绳索以反作用力 T' , T 作用在重物上, T' 作用在绳索上,它们是作用与反作用力的关系。 G 是地球吸引重物的力,所以, G 的反作用力是重物吸引地球的力 G' ,该力作用于地球上,与力 G 大小相等、方向相反、沿同一直线。

4. 三力平衡原理

物体在三个互不平行的力作用下处于平衡状态时,此三力的作用线必汇交于一点。

该原理说明,物体在三个力作用下处于平衡状态时,可能有两种情形:一是三个力相互平行;二是三个力的作用线汇交于一点。需要注意的是,物体在三个力作用下处于平衡状态时,此三力的作用线不是相互平行便是汇交于一点,但三个相互平行或汇交的力不一定能够

使物体处于平衡状态。

三、力矩与力偶

1. 力对点之矩

根据力的定义知道,力能够改变物体的运动状态。而自然界中的物体有两种基本的运动形式:移动(平行移动)和转动(定轴转动)。力不仅能够改变物体的移动状态,也能够改变物体的转动状态,即力对物体既有移动效应又有转动效应。人们用力的大小来度量力对物体的移动效应,而用力对点之矩来度量力对物体的转动效应。

那么,影响力对物体转动效应的因素有哪些呢?以生活中用扳手拧紧螺母时的情形加以说明(图1-4)。由经验可知,拧紧螺母的作用效果不仅与力 F 的大小有关,而且与螺母和扳手的转动中心(O 点)到力的作用线的垂直距离 d 有关。力 F 和距离 d 越大,转动效应越强;反之,转动效应越小。因此,人们以两者的乘积 $F \cdot d$ 作为度量力使物体绕点转动的效应的物理量,称为力 F 和 O 点之矩,简称力矩,并用符号 $m_O(F)$ 表示,即

$$m_O(F) = \pm F \cdot d \quad (1-1)$$

O 点称为力矩中心(简称矩心); O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂。式中的正负号用来说明力矩的转动方向。一般规定,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。因此,力对点之矩是有正负的代数量。

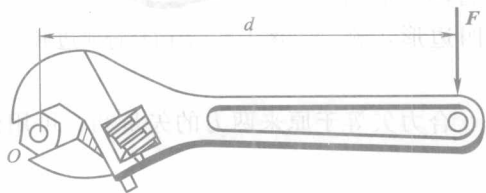


图 1-4 力矩示例

力矩的单位为牛顿·米($N \cdot m$)或千牛顿·米($kN \cdot m$)。

由力矩的定义可知,力对点之矩等于零的条件是:力等于零或力的作用线通过矩心。

2. 合力矩定理

由合力的定义可知,合力对物体的转动效应必须等于各分力对物体的转动效应之和,而力对点之矩反映了力对物体转动效应的大小。因此,平面力系的合力对任一点之矩,应等于其所有分力对同一点之矩的代数和,即

$$m_O(R) = m_O(F_1) + m_O(F_2) + \dots + m_O(F_n) = \sum m_O(F) \quad (1-2)$$

例 1-1 设电线杆上端两根钢丝绳的拉力为 $F_1 = 120N$, $F_2 = 100N$,如图1-5所示。试计算 F_1 与 F_2 对电线杆下端 O 点之矩。

解 运用力对点之矩的定义式(1-1)求力矩。从矩心 O 点向力 F_1 和 F_2 的作用线分别作垂线,得 F_1 的力臂 Oa 和 F_2 的力臂 Ob 。

$$\begin{aligned} m_O(F_1) &= F_1 \times Oa = F_1 \times OAsin30^\circ \\ &= 120 \times 8 \times 1/2 = 480(N \cdot m) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_O(F_2) &= -(F_2 \times Ob) = -(F_2 \times OAsin\theta) \\ &= -(100 \times 8 \times 3/5) = -480(N \cdot m) \end{aligned}$$

例 1-2 力 F 作用在折杆的 C 点(图1-6),若尺寸 a 、 b 及角 α 均已知,试计算力 F 对 A 点之矩。

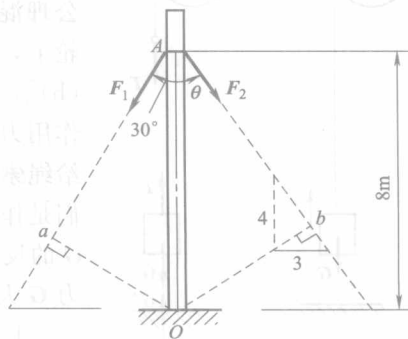


图 1-5 电线杆受力图示

解 从图1-6可以观察到,力 F 对 A 点之矩的力臂计算比较复杂。在这种情况下,一般采用合力矩定理来求力矩,即把力 F 分解为两个相互垂直的分力 F_x 、 F_y ,其大小分别为

$$F_x = F \cos \alpha, F_y = F \sin \alpha. \text{ 由合力矩定理得}$$

$$m_A(\mathbf{F}) = m_A(\mathbf{F}_x) + m_A(\mathbf{F}_y) = -F_x b + F_y a$$

$$= -Fb \cos \alpha + Fa \sin \alpha$$

3. 力偶及其性质

(1) 力偶 在日常生活和工程实际中,经常遇到物体在一对等值、反向、不共线的平行力作用下发生转动的情形。例如,司机用双手转动方向盘[图 1-7 (a)],钳工用丝锥攻螺纹[图 1-7 (b)],人们用食指和拇指拧动水龙头等,在方向盘、丝锥、水龙头等物体上都是作用有一对等值、反向、不共线的平行力。把作用在同一物体上的大小相等、方向相反、不共线的两个平行力称为力偶,用符号 $(\mathbf{F}, \mathbf{F}')$ 表示。力偶中两个平行力作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂[图 1-7 (c)]。力偶的两个平行力所在的平面称为力偶的作用面。

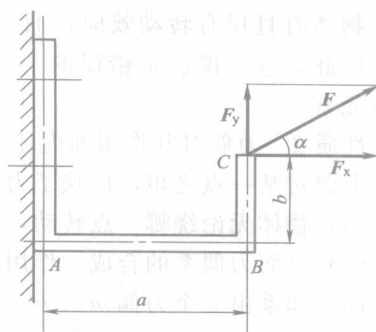


图 1-6 折杆受力图示

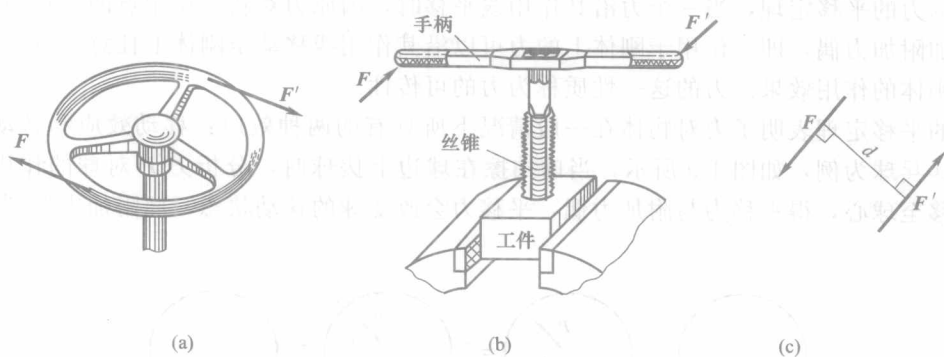


图 1-7 力偶示例

由于力偶的两个平行力等值、反向,其对物体的移动效应总是相互抵消。由实践经验可知,力偶只能使物体转动。当组成力偶的力越大,或力偶臂越大时,力偶对物体的转动效应越强;反之,转动效应就越弱。因此,用力与力偶臂的乘积来度量力偶对物体的转动效应,称为力偶矩,并以符号 m 表示。即

$$m = \pm Fd \quad (1-3)$$

式中的正负号是说明力偶转向的。一般规定:在同一平面上的力偶,使物体作逆时针方向转动时,力偶矩取正号;反之,取负号(图 1-8)。可见,平面上的力偶矩是代数量。

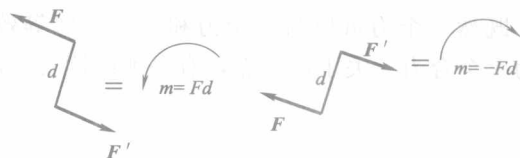


图 1-8 力偶的正负号

力偶一般用两个平行力表示,也可以用一带箭头的弧线表示,如图 1-8 所示。其中,箭头表示力偶的转向, m 表示力偶矩的大小。

力偶的单位与力矩的单位相同,常用牛顿·米 ($\text{N} \cdot \text{m}$) 或千牛顿·米 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)。

(2) 力偶的性质

性质 1 力偶无合力。

注意,力偶无合力与力偶的合力为零具有完全不同的含义。力偶无合力,说明力偶不可能与一个力等效,也不可能与一个力相互平衡,力偶只能与一个力偶等效,也只能与一个力偶相平衡;力偶的合力为零,是指力偶与一个等于零的力等效。我们知道,力

偶对物体有且仅有转动效应, 而一个等于零的力不会对物体有转动效应, 两者不可能等效。因此, 这一说法是错误的。力偶与力是两个完全不同的物理量, 是组成力系的两个基本元素。

性质 2 力偶对其作用面内任一点之矩恒等于该力偶的力偶矩。

力偶对某一点之矩, 反映了力偶对物体绕某一点转动效应的大小。性质 2 说明, 在同一平面内, 物体无论绕哪一点转动, 力偶对它的转动效应均相同。

(3) 平面力偶系的合成 作用在物体上同一平面内的一组力偶, 称为平面力偶系。若一个平面力偶系由 n 个力偶 m_1 、 m_2 、 $\dots$ 、 m_n 组成, 可以证明, 其合成的最终结果是一个合力偶, 且合力偶矩的大小等于各个力偶矩的代数和, 即

$$M = m_1 + m_2 + \dots + m_n = \sum m \quad (1-4)$$

4. 力的平移定理

力的平移定理: 作用于刚体上的力可以平行移动至刚体上任意一点, 但必须在同一平面内增加一个附加力偶, 该附加力偶矩的大小和转向与原力对新的作用点的力矩相同。

根据力的平移定理, 当一个力沿其作用线平移时, 因原力对新的作用点的力矩为零, 不需要增加附加力偶, 即: 作用于刚体上的力可以沿其作用线移动至刚体上任意一点, 不会改变力对刚体的作用效果。力的这一性质称为力的可传性。

力的平移定理表明了力对物体在一般情况下所具有的两种效应: 移动效应和转动效应。以抽打乒乓球为例, 如图 1-9 所示, 当球拍擦在球边上搓球时, 分析力 P 对球的作用效应, 将力平移至球心, 得平移力与附加力偶, 平移力会改变球的移动状态, 而附加力偶则使球产生旋转。

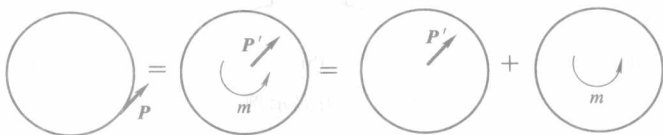


图 1-9 力的平移示例

由此可见, 力对作用线以外的转动中心有两种作用效果: 一是平移力产生的移动效应; 二是附加力偶对物体产生的转动效应。

另外, 由力的平移定理可以进一步认识到, 既然一个力可以与一个力和一个力偶等效, 那么, 反过来, 一个力和一个力偶也可以合成为一个合力。关于这一点, 有兴趣的读者可以进一步探讨。

四、约束与约束反力

在生活和工程实际中, 有些物体可以自由运动而不受其它物体的限制, 这些物体称为自由体。例如, 在空中飞行的炮弹。另一些物体的运动会受到其它物体的限制, 它们被称为非自由体。例如, 用绳索悬挂的重物、地面上的小车、由轴承支承的转轴等。限制非自由体运动的其它物体称为该物体的约束。上述的绳索、地面和轴承分别是重物、小车和转轴的约束。

根据力学的观点, 约束之所以能够限制物体的运动, 是因为它对物体一定有力的作用。把约束对被约束物体的作用力称为约束反力。既然约束总是限制物体的运动, 因此, 约束反力的方向也总是与该约束所限制的物体的运动趋势方向相反。现将工程中常见的几种约束类型分述如下。

1. 柔性约束

由绳索、胶带、链条等物体形成的柔索类约束称为柔性约束。这类约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动,即限制物体沿柔索中心线离开柔性约束。因此,其约束反力总是沿柔索中心线给物体一个拉力,如图 1-10 所示。通常用符号 T 表示柔性约束的约束反力。

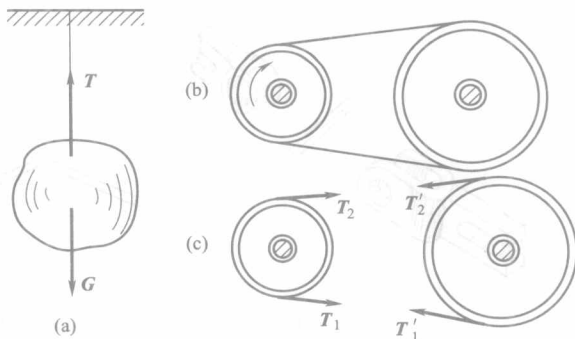


图 1-10 柔性约束

当柔索绕过轮子时,常假想在柔索的直线部分处截开柔索,将与轮子接触的部分柔索与轮子一起作为研究对象。

这样处理,就可以不考虑柔索与轮子在接触处的相互作用力,此时,作用于轮子的柔索拉力即沿轮缘的切线方向。

2. 光滑面约束

当两个刚体直接接触,且接触面之间的摩擦很小可以忽略不计时,则它们互为光滑面约束。光滑面约束只能限制物体在接触点沿接触面的公法线进入约束物体内部的运动,而不能限制物体沿接触面公切线方向的运动,故光滑面约束总是在接触面处给物体一个沿接触面公法线方向的压力(推力)。光滑面约束反力通常用符号 N 表示。

图 1-11 (a) 所示为点接触(曲面与曲面), $n-n$ 为公切线,圆球可以自由地沿公切线 $n-n$ 运动,但不能沿接触点公法线(垂直与公切线)进入约束体内,因此,曲面对圆球的约束反力应通过接触点给圆球一个压力(推力) N 。图 1-11 (b)、(c) 中的约束反力 N 均沿接触点、线的公法线方向。

根据光滑面约束的性质,图 1-12 中光滑面 A、B、C 三处的约束反力分别是图中的 N_A 、 N_B 、 N_C 。

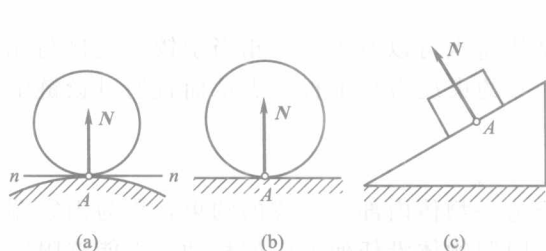


图 1-11 光滑面的约束

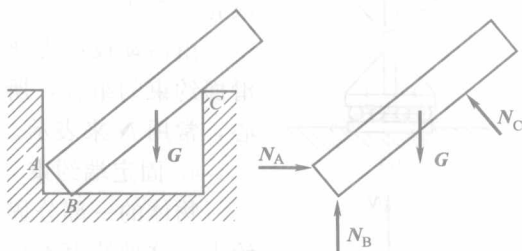


图 1-12 光滑面的约束反力

3. 铰链约束

两构件采用圆柱销所形成的连接称为铰链连接。其结构为圆柱销插入两个构件的孔内[图 1-12 (a)、(b)],此时,两个构件之间互为铰链约束。在分析两个构件的受力时,可以发现,两个构件之间由于没有直接接触,因此,不存在直接的相互作用力,它们是通过中间构件——圆柱销来传递作用力的,即两个构件的内孔分别与圆柱销的部分圆柱体表面互为光滑面约束。

在工程实际中,铰链约束有以下三种典型结构。

(1) 中间铰链——由圆柱销所连接的两个构件均不固定(图 1-13)。

(2) 固定铰链支座——两个构件之一为固定件(图 1-14)。

以上两类约束,在构件所受外力未知的情况下,由于不能确定构件内孔与圆柱销表面的

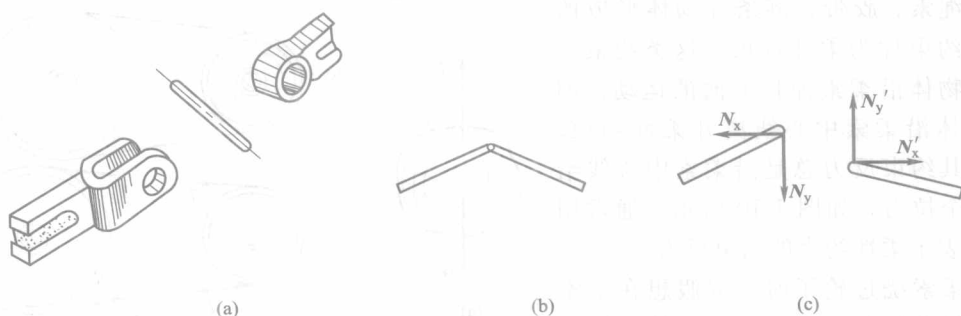


图 1-13 铰链约束

具体接触位置, 因此, 其约束反力仅能判定为一个通过圆销中心而方向不明的力。通常用两个正交分力 N_x 、 N_y 表示, 如图 1-13 (c)、图 1-14 (c)。

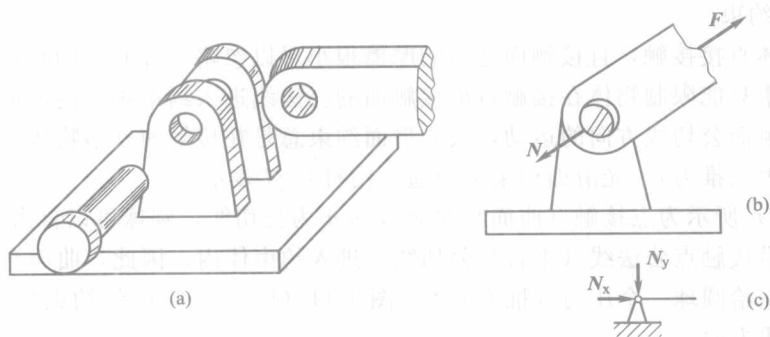


图 1-14 固定铰链约束

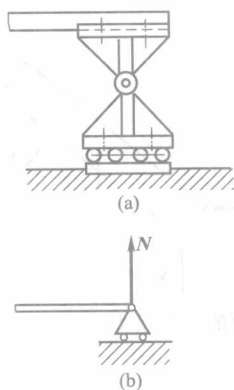


图 1-15 活动铰链约束

(3) 活动铰链支座——在固定铰链支座的座体与支承面间加装滚轮 (图 1-15)。

由活动铰链支座的结构特点可以看出, 它相当于铰链连接与光滑面约束的组合, 所以, 其约束反力必垂直于支承面且通过铰链中心, 常用 N 来表示。

4. 固定端约束

物体的一部分固嵌于另一物体内部所构成的约束, 称为固定端约束。这种约束不仅能够限制物体沿任何方向的移动, 也能够限制物体的转动。如建筑物中的阳台、钉牢于墙上的钉子、跳水比赛中的跳板等都是受固定端约束的实例。固定端约束的力学简图如图 1-16

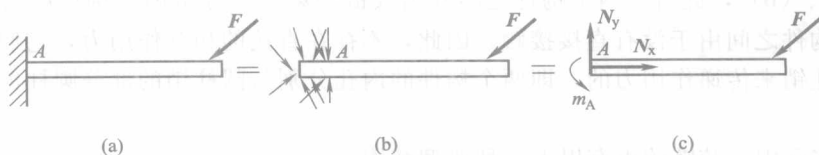


图 1-16 固定端约束

构件 AB 在力 F 作用下, 其插入部分受到墙的约束, 每一个与墙接触的点所受到的约束反力的大小和方向均不相同, 所有各点所受到的约束反力组成了一个非常复杂的力系 [图

1-16 (b)], 根据力的平移定理将各点受到的约束反力都平移至构件与墙面的交界处 A 点, 可得到一个作用点都在 A 点的力系和一个附加力偶系。再将力系中的各力运用力的平行四边形公理逐个合成, 可以得到一个合力, 而附加力偶系可以合成为一个合力偶。因此, 在一般情况下, 固定端对物体的约束反力包括一个反力和一个反力偶。由于约束反力的方向不明确, 常用一对正交分力 N_x 、 N_y 表示 [图 1-16 (c)], 约束反力偶 m 在无法确定转向时, 可以假定为逆时针或顺时针。显然, N_x 、 N_y 分别代表了约束对构件左右、上下的移动限制作用, m 表示约束对构件转动的限制作用。

五、受力图

静力分析的首要工作是弄清研究对象的受力情况。为了清晰、形象地描述研究对象的受力状况, 一般采用画受力图的方法, 其步骤如下。

① 明确研究对象, 画出其分离体简图。

分离体是指解除研究对象所受到的所有约束后, 形成的人为的自由体。分离体简图应在基本反映物体的主要形状特征和受力位置的前提下, 尽量简明。

② 在简图上标上已知力。

③ 在解除约束处画上约束反力。

例 1-3 重量为 G 的圆球, 用绳挂在光滑的铅直墙上 [图 1-17 (a)]。画出圆球的受力图。

解 ① 以球为研究对象, 解除墙和绳的约束, 画出分离体 [图 1-17 (b)]。

② 画出主动力 G 。

③ 画出全部约束反力: 绳的约束反力 T 和光滑面约束反力 N_A 。

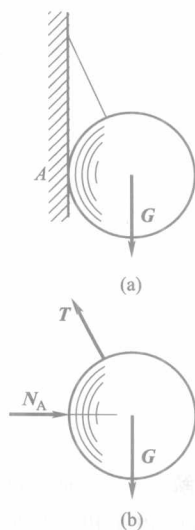


图 1-17 圆球受力图

例 1-4 梁 AB 如图 1-18 (a) 所示。 A 端为固定铰链支座, B 端为活动铰链支座, 梁中点 C 受主动力 F 作用, 梁的自重不计。试分析梁的受力情况。

解 ① 以梁 AB 为研究对象并画出分离体 [图 1-18 (b)]。

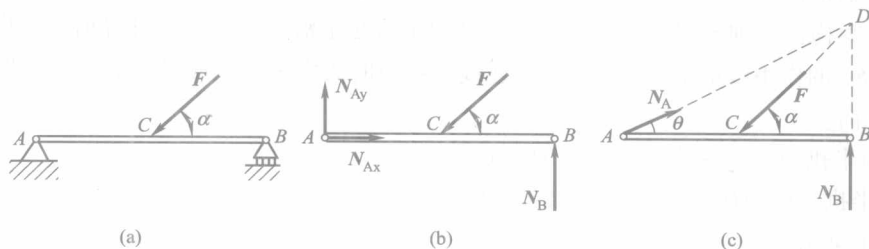


图 1-18 梁的受力图

② 画出主动力 F 。

③ 画约束反力。活动铰链支座的约束反力 N_B 铅垂向上且通过铰链中心; 固定铰链支座的约束反力方向不明, 但可用大小未知的水平分力 N_{Ax} 和铅垂分力 N_{Ay} 来表示 [图 1-18 (b)]。一般可假设 N_{Ax} 和 N_{Ay} 的方向与相应的坐标轴的正向相同。

在本例中, 固定铰链支座 A 处的约束反力的方向可以通过三力平衡汇交原理来确定。由上述分析可知, 梁 AB 是在三个互不平行的力作用下处于平衡 (静止) 状态的, 则此三力的作用线必汇交于一点。由于主动力 F 和约束反力 N_B 的方向已知, 延长 N_B 和 F 力的作用