



职业教育机械工程类“十一五”规划教材

机械基础

宋爱民 袁书霞 主编



职业教育机械工程类“十一五”规划教材

机 械 基 础

主 编 宋爱民 袁书霞
副主编 万春芬 杨胜先 李 娟
参 编 朱冬伟 郑志英 袁幼梅
主 审 葛玫瑰
审 稿 李新生 陈景春 刘甫勇



机 械 工 业 出 版 社

本书以全新的编写模式将传统的机械类四门主干课程精简后整合成一本书。内容包括：工程力学基础、机械工程材料基础、公差配合与测量技术基础、机械传动与机械零件等模块。各单元有“学习目标”、“单元小结”、“复习思考题”，各模块有“检测题”及“实验与实训”。

本书适合各类中职(中专、技校、职高等)学校的机械工程类、机电类专业使用，还可供开设本课程的非机械类专业选用，也可供机械工程爱好者自学。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/宋爱民,袁书霞主编. —北京:机械工业出版社, 2008.8

职业教育机械工程类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-24296-3

I. 机… II. ①宋…②袁… III. 机械学—专业学校—教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 092697 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:宋学敏 曹新宇 责任编辑:刘远星

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:陈沛 责任印制:李妍

北京蓝海印刷有限公司印刷

2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.75 印张·347 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-24296-3

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379865

封面防伪标均为盗版

前言

本书是依照教育部、劳动部颁发的《机械基础教学大纲》，并结合中级工职业技能鉴定培训要求编写的。

“机械基础”是职业教育机械类专业的一门重要的专业基础课，也是工科非机械类专业的一门综合性实用技术课程。通过本课程的学习既要达到各类中职教育人才培养目标及规格，又要兼顾职业资格证书的培训考核需要，以“学生好学，教师好教”为最佳效果。

本书在编写过程中以“够用、实用”、“精炼、易学”为指导思想，体现以下特色：

1. 各篇自成体系，形成模块式结构。按照“以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为教学重点”的原则，精选教学内容。适当增加对科技新成果的介绍。在教学中可按模块顺序讲授，也可多模块并行讲授，内容上可适当调整，以适应不同类型学校和专业方向的需要。

2. 以职业教育岗位能力为主线，为学好专业课(机械类专业)打好基础。建议学完“机械制图”后，第二学期(高中一年制班第一学期)学习本课程。机电一体化专业讲授全部内容，机械类各专业开有“理论力学”和“材料力学”课的，可不讲“工程力学”模块。其他非机械类专业可选学部分或全部内容，以满足我国日益增长的机械制造业人才需求。

3. 注重理论和实践相结合。每个单元后面附有单元小结和复习思考题，各模块后有检测题、实验与实训，便于学生复习自学和教师检验教学效果，同时可加强对学生实践能力的培养和工程素质的教育。考虑“液压与气动”课程多数学校已单独开设或已容入“设备控制技术”课程中，为避免重复，去掉了该模块。

4. 本书为加快国家技能型紧缺人才的培养，结合中职学生的基础情况，大幅度削减篇幅，不盲目追求知识的系统性。将传统的机械类四门主干课程的内容整合成一本书，力争做到学时少、内容精、重视应用，尽量避免出现深奥的原理分析及复杂的公式推导。比较适合中职类“2+1”模式、技工学校中级班“1.5+0.5”模式和“高中一年制中专班”的教学需要。

5. 各模块学时分配见下表：

模 块	教 学 内 容	理 论	实验与实训	合 计
模块 1	工程力学基础	12	2	14
模块 2	机械工程材料基础	14	4	18
模块 3	公差配合与测量技术基础	16	2	18
模块 4	机械传动与机械零件	22	4	26
机动	参观机械厂、总复习			4
合计		64	12	80

本书由宋爱民、袁书霞主编。编写大纲由宋爱民执笔并对全书进行了统稿。参加编写的人员还有万春芬、杨胜先、李娟、朱冬伟、郑志英、袁幼梅等。本书由南京交通高级技师学院高级讲师葛玫瑰担任主审。参加审稿的还有李新生、陈景春、刘甫勇等。

本书借鉴了参考文献中各位老师的宝贵经验,得到了机械工业出版社中职教育分社的领导和编辑们的大力支持和指导,在此一并表示衷心感谢!由于初次采用模块式编写,疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者和同仁批评指正,以便下次修订。

编 者

目 录

前言

模块 1 工程力学基础	1
单元 1 静力学基础	1
课题 1 力的概述	1
课题 2 构件的受力分析及 受力图	4
课题 3 力矩与力偶	5
课题 4 平面力系问题	7
课题 5 摩擦	11
单元小结	12
复习思考题	13
单元 2 材料力学基础	16
课题 1 构件的变形	16
课题 2 构件的内力	19
课题 3 应力与强度计算	24
单元小结	34
复习思考题	36
模块 1 检测题	39
模块 1 实验与实训 金属材料的 拉伸实验	43
模块 2 机械工程材料基础	45
单元 3 金属材料与热处理基础	45
课题 1 金属材料的力学性能	45
课题 2 金属学简介	49
课题 3 铁碳合金与钢的热处理	55
单元小结	65
复习思考题	65
单元 4 常用金属材料与 非金属材料	67
课题 1 常用金属材料	67

课题 2 工程塑料及其他 非金属材料	89
单元小结	95
复习思考题	95
模块 2 检测题	96
模块 2 实验与实训 1 硬度、 冲击实验	98
模块 2 实验与实训 2 热处理实验	103
模块 3 公差配合与测量 技术基础	106
单元 5 公差与配合	106
课题 1 光滑圆柱的极限与配合	106
课题 2 形状和位置公差	114
课题 3 表面粗糙度	122
单元小结	125
复习思考题	125
单元 6 量具和量仪	127
课题 1 测量技术基础	127
课题 2 游标卡尺与千分尺	130
课题 3 百分表	137
课题 4 光滑极限量规	141
课题 5 量块与塞尺	145
课题 6 角度量具	149
课题 7 水平仪	152
单元小结	153
复习思考题	153
模块 3 检测题	155
模块 3 实验与实训 游标卡尺及 千分尺的正确使用	157
模块 4 机械传动与机械零件	159

单元 7 常用机构	159	运动特点	187
课题 1 平面连杆机构	159	课题 3 普通 V 带的标准及	
课题 2 凸轮机构	162	传动设计	188
课题 3 间歇运动机构	164	课题 4 链传动	193
单元小结	166	单元小结	195
复习思考题	167	复习思考题	196
单元 8 齿轮传动	168	单元 11 联接零部件	197
课题 1 齿轮传动概述	168	课题 1 键联接	197
课题 2 渐开线的形成原理和		课题 2 螺纹联接	199
基本性质	169	课题 3 联轴器与离合器	205
课题 3 渐开线齿轮的基本		课题 4 制动器	209
参数和几何尺寸	171	单元小结	211
课题 4 渐开线齿轮的啮合传动	173	复习思考题	211
课题 5 蜗杆传动的类型及特点	174	单元 12 支承零部件	212
单元小结	176	课题 1 轴的结构与材料	212
复习思考题	176	课题 2 滑动轴承	214
单元 9 轮系与减速器	178	课题 3 滚动轴承	217
课题 1 轮系与轮系的传动比	178	单元小结	222
课题 2 减速器简介	180	复习思考题	222
单元小结	183	模块 4 实验与实训 1 机构运动	
复习思考题	184	简图的测绘	223
单元 10 带传动与链传动	185	模块 4 实验与实训 2 减速器的	
课题 1 带传动的组成与分类	185	拆装实习	226
课题 2 带传动的受力与		参考文献	230

模块 1 工程力学基础

单元 1 静力学基础

学习目标:

1. 了解力、刚体的概念,熟悉力的基本性质。
2. 掌握各种约束反力的表示方法。能根据问题的具体条件和要求,选取合适的研究对象,画出正确的受力图。
3. 掌握力对点之矩、力偶矩的计算。
4. 熟练运用力系的平衡条件,求解一般物体及简单物体系的平衡问题。

静力学是工程力学的基础部分,它是研究作用于物体上的力系的平衡条件,并应用这些平衡条件解决工程实际问题。静力分析在工程中应用很广,例如桥式起重机,由桥架、吊钩、钢丝绳等机件组成,为保证吊车的正常工作,设计时必须先分析各构件受到的力,并根据平衡条件算出这些力的大小,然后才进一步考虑选取材料,并设计构件的尺寸。

课题 1 力的概述

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中观察和分析而建立起来的。例如用手推车,小车由静止开始运动;锻锤落下击压工件,工件产生变形等,都是力作用的结果。这说明,力是物体间相互的机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生变化或使物体发生变形,前者称为力的外效应,后者称为力的内效应。静力学研究的是力的外效应,而材料力学将研究力的内效应。

一、力的三要素

力对物体的作用效应,决定于以下三个要素:力的大小、方向和作用点。这三个要素中任何一个改变时,力的作用效应也随之改变。

力是一个有大小和方向的矢量,可以用一具有方向的线段表示,如图 1-1 所示。线段的起点或终点表示力的作用点,箭头的指向表示力的方向,线段的长度(按一定比例尺)表示力的大小,通过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。书中用黑体字母表示矢量(如 $\boldsymbol{F}$),白体字母表示力的大小(如 F)。

力的国际制单位(SI)是牛顿(N)或千牛顿(kN)。力的工程制单位是千克力(kgf)或吨力(tf)。两者换算关系为

$$1\text{ kgf} = 9.807\text{ N} \approx 10\text{ N}$$

二、刚体的概念

任何物体在力的作用下都会产生不同程度的变形,不过工程实际中物体的变形都很微小,在许多情形下可以忽略不计,而是把物体看成不变形的刚体。刚体是指在力的作用下形状和大小都保持不变的物体。但当物体的变形成为研究问题的主要因素时,就不能再把物体看成刚体,而要看成变形体。

三、力的基本性质

1. 二力平衡条件

作用于刚体上的两个力大小相等,方向相反,并作用于同一直线上。如图 1-2 所示,当 $F_1 = -F_2$ (F_1 与 F_2 方向相反)时,则刚体平衡。只在两个力作用下处于平衡的构件,称二力构件(二力杆),且两个力必沿作用点的连线。

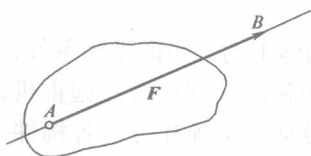


图 1-1 力的表示方法

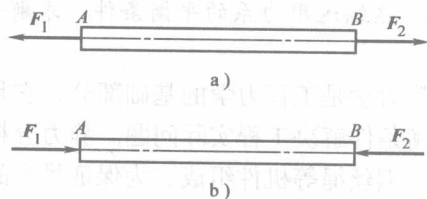


图 1-2 二力平衡实例

2. 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点,合力的大小和方向用以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示。如图 1-3a 所示, F_1 和 F_2 两力的合力 F_R , 可以用矢量式表示为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

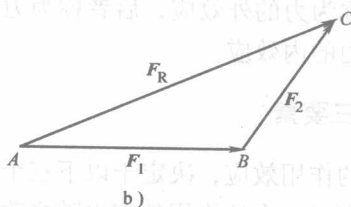
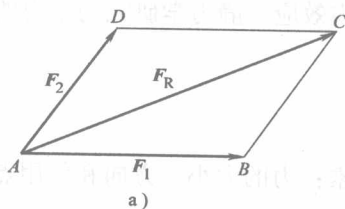


图 1-3 力的平行四边形

实际求合力 F_R 时,可利用平行四边形对边平行且相等的性质,作出对角线一侧的一个三角形即可(图 1-3b),这种求合力的方法称为力的三角形法则。但要注意,力三角形只表明力的大小和方向,不表示力的作用点或作用线。

3. 作用与反作用定律

两物体间相互作用的力,总是大小相等,方向相反,沿同一直线,分别作用在相互作用的两个物体上。如图 1-4 所示的钢丝绳下吊有一重物,钢丝绳向上拉重物的力 F_T 与重物拉钢丝绳的力 F'_T 互为作用力与反作用力,但不属于二力平衡。重力 G 与拉力 F_T 同时作用在重物上,使重物保持静止,属于二力平衡,而非作用力与反作用力。作用与反作用定律与二力平衡公理有本质区别。

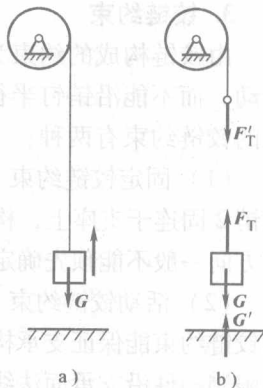


图 1-4 作用力与反作用力

4. 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任何一个力系上,加上或减去任一平衡力系,并不能改变原力系对刚体的作用效应。此公理可用来简化已知力系。

5. 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上任一点而不改变运动对刚体的作用效应。如图 1-5 所示,在 A 点推车与在 B 点拉车,效果是一样的。此原理不适于变形体。

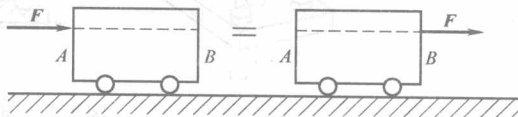


图 1-5 力的可传性实例

四、约束与约束反力

一个物体的运动受到周围物体的限制时,这些周围物体称为约束。如图 1-4 中,钢丝绳就是重物的约束。约束限制了物体

的运动,所以约束必然对物体有力的作用,这种力称为约束反力,简称反力,属于被动力。使物体运动或有运动趋势的力称为主动力。图 1-4 中钢丝绳对重物的拉力 F_T 为约束反力(被动力),重力 G 为主动力。主动力是给定的,约束反力是未知的,主动力与约束反力组成平衡力系,可以利用平衡条件求出。

工程中约束的种类很多,常见约束有以下几种:

1. 柔体约束

由绳索、链条、传动带等形成的约束称柔体约束,如图 1-4 所示。柔性物体只能限制物体沿它的中心线离开的运动,而不能限制其他方向的运动。柔性体的约束反力方向沿着柔性体而背离物体,作用点为柔性体与物体的接触点。

2. 光滑面约束

两个互相接触的物体,如果接触面上摩擦力很小,可以忽略不计,这样的接触面认为是光滑面。光滑面限制物体沿支承面法线指向支承面方向的运动,但不限制沿支承面切线方向的运动,所以光滑面约束反力的方向沿接触面在接触点的公法线并指向物体。如图 1-6 所示,分别表示了地面对车轮的约束(图 1-6a)和啮合齿轮的齿面约束(图 1-6b)。

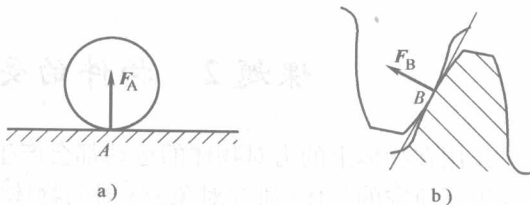


图 1-6 光滑面约束

3. 铰链约束

由铰链构成的约束为铰链约束。铰链由圆柱销和带孔构件组成, 构件只能绕销钉轴线转动, 而不能沿销钉半径方向移动。如门窗的合叶, 曲柄、连杆与活塞联接等。工程上常见的铰链约束有两种:

(1) 固定铰链约束 如图 1-7a 所示, 圆柱销联接的两构件中, 有一个固定支座 3、圆柱销 2 固连于支座上, 构件 1 绕圆柱销中心旋转。固定铰链的约束反力 F_R 通过铰链中心, 但方向一般不能预先确定, 通常用通过铰链中心的两个互相垂直的分力 F_{Rx} 、 F_{Ry} 表示。

(2) 活动铰链约束 构件的铰链支座用几个辊轴支承在光滑平面上构成(图 1-8a)。活动铰链约束能保证支承构件在温度变化和载荷作用下较自由地沿纵向移动或绕支座转动。支座限制构件沿支承面法线方向的上下移动, 而不限制构件沿支承面的运动或绕销钉的转动。因此, 活动铰链支座的约束反力通过销钉中心, 垂直于支承面, 指向如图 1-8b 所示。

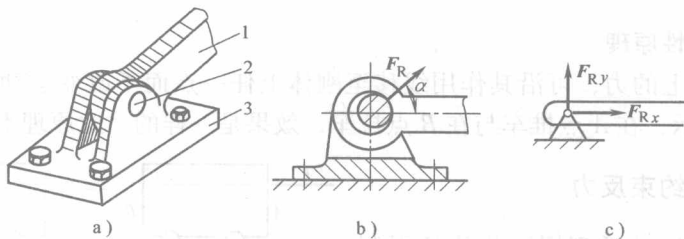


图 1-7 固定铰链约束

4. 固定端约束

如图 1-9a 所示, 物体插入墙内, 其移动或转动完全受限制, 这种约束称为固定端约束。在载荷 F_P 作用下, 这种约束必产生一个方向未定的约束反力 F_A 和约束反力偶 M_A , F_A 可用它的水平分力 F_{Ax} 和垂直分力 F_{Ay} 来代替(图 1-9b)。 M_A 、 F_{Ax} 、 F_{Ay} 的大小和方向可通过平面任意力系的平衡方程来确定。

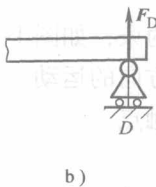
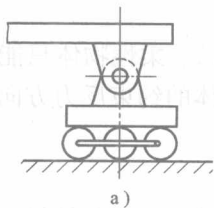


图 1-8 活动铰链约束

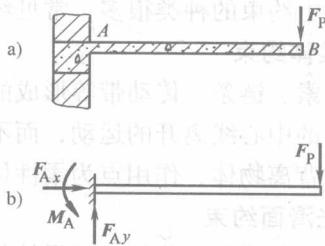


图 1-9 固定端约束

课题2 构件的受力分析及受力图

作用在物体上的力对物体的运动都会产生一定影响, 为了清楚表示物体的受力情况, 需要把所研究的物体(研究对象)从周围物体的约束中分离出来, 单独画出它的简图, 并在上面画出所受的全部主动力和约束反力, 这样得到的图形称为受力图。

画受力图时必须先明确研究对象,并将研究对象从周围物体的约束中分离出来,分析研究对象受到的主动力和约束反力,再画出研究对象简图以及它所受的一切主动力和约束反力。研究对象对周围物体的作用力不需画出。画受力图是解平衡问题的第一步,不能有任何错误,否则会使后面的分析计算得到错误的结果。

例 1-1 匀质球重 G , 用绳系住, 靠于光滑斜面, 如图 1-10a 所示。试画出球的受力图。

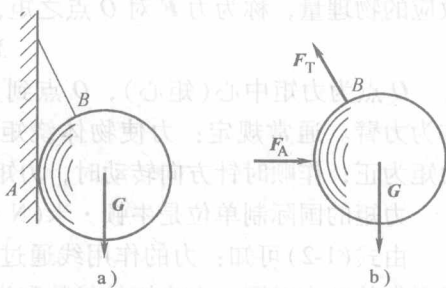


图 1-10 球的受力图

解: 取球为研究对象。作用于球上的力有: 球重 G (作用于球心, 铅垂向下), 绳的拉力 F_T (作用于 B 点, 沿绳离开球), 斜面约束反力 F_A (作用于接触点 A , 垂直于斜面并指向球)。根据分析, 画出球的受力图如图 1-10b 所示。

例 1-2 曲柄冲压机如图 1-11a 所示。设大带轮重力为 P , 其他构件的重力略去不计, 冲头 C 受工件阻力 F_Q 。试画出大带轮 A 、连杆 BC 和冲头 C 的受力图。

解: 1) 取 BC 为研究对象。连杆自重不计, 则 BC 为二力杆件。力 F_B 、 F_C 分别作用于 B 、 C 两点, 且沿这两点的连线。 BC 的受力图如图 1-11b 所示。

2) 取大带轮为研究对象。重力 P 作用于轮心并铅垂向下, 传动带的约束反力 F_1 、 F_2 分别沿传动带背离带轮, B 点有连杆对带轮的作用力 F'_B , 轴承 A 的约束反力通过中心, 由于方向不能确定, 用两个互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示。大带轮受力图如图 1-11d 所示。

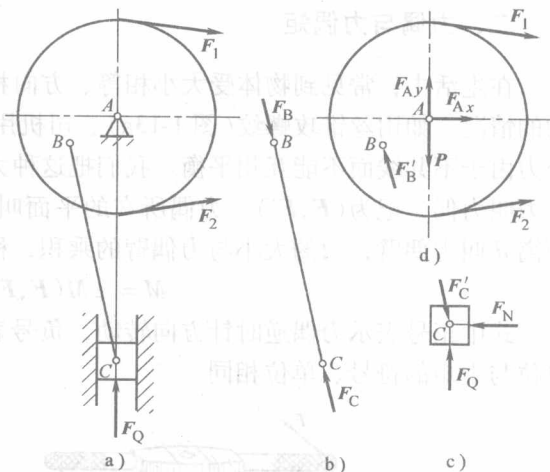


图 1-11 大带轮、连杆、冲头受力图

3) 取冲头 C 为研究对象。作用于冲头 C 上的力有工件对它的阻力 F_Q , 连杆对冲头的作用力 F'_C , 滑道对冲头的约束反力 F_N (垂直于滑道, 方向向左)。冲头受力图如图 1-11c 所示。

课题3 力矩与力偶

一、力对点之矩

力对物体的作用, 能使物体的移动或转动发生变化。例如用扳手拧紧螺母时 (图 1-12), 力 F 作用于扳手的一端, 其拧紧程度不仅与力 F 的大小有关, 而且与 O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 有关。因此, 在力学上以乘积 $F \cdot d$ 作为度量力 F 使物体绕 O 点转动

效应的物理量,称为力 F 对 O 点之矩,简称力矩,用符号 $M_O(F)$ 表示。即

$$M_O(F) = \pm Fd \quad (1-2)$$

O 点为力矩中心(矩心), O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂。通常规定:力使物体绕矩心作逆时针方向转动时,力矩为正;作顺时针方向转动时,力矩为负。

力矩的国际制单位是牛顿·米($\text{N} \cdot \text{m}$)。

由式(1-2)可知:力的作用线通过矩心时,力矩等于零;互成平衡的二力对同一点之矩的代数和为零。

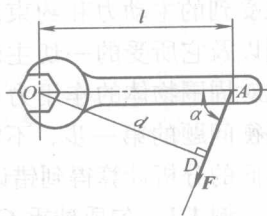


图 1-12 力矩实例

例 1-3 图 1-12 中扳手所受的力 $F = 200\text{kN}$, $l = 40\text{cm}$, $\alpha = 60^\circ$ 。试求力 F 对 O 点之矩。

解: 根据式(1-2)可得

$$M_O(F) = -Fd = -Fl\sin\alpha = -200 \times 0.4 \times \sin 60^\circ \text{kN} \cdot \text{m} = -69.2 \text{kN} \cdot \text{m}$$

二、力偶与力偶矩

在生活中,常见到物体受大小相等、方向相反、作用线互相平行的两力作用使物体转动的情况。如用丝锥攻螺纹(图 1-13a)、司机用双手转动转向盘(图 1-13b)等,这样的两个力由于不共线而不能互相平衡。我们把这种大小相等、方向相反、作用线互相平行的两个力叫力偶,记为 (F, F') 。力偶所在的平面叫做力偶的作用面,两力作用线之间的垂直距离 d 叫力偶臂,力的大小与力偶臂的乘积,称为力偶矩,以 $M(F, F')$ 或 M 表示。即

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

式中正号表示力偶逆时针方向转动,负号表示力偶顺时针方向转动。力偶矩的符号、单位与力矩的符号、单位相同。

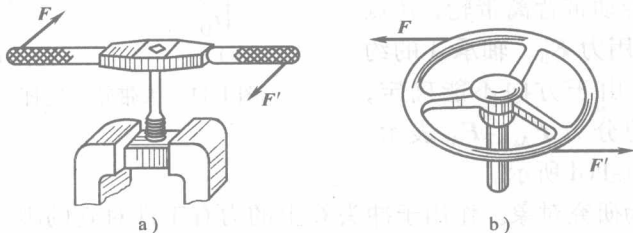


图 1-13 力偶实例

由于力偶中的两个力大小相等,方向相反,作用线平行,因此,这两个力在坐标上的投影之和等于零,即力偶无合力。力偶不会使物体移动,而只能使物体转动。

综上所述,力偶对物体的转动效应,取决于以下三个要素:①力偶矩的大小;②力偶的转向;③力偶的作用平面。

三、平面力偶系的合成与平衡

作用在物体同一平面内的许多力偶,称为平面力偶系。平面力偶系的合力偶矩 M 等于各力偶矩的代数和(证明略),记作 $\sum M_i$ 。

平面力偶系平衡的必要与充分条件是：力偶系中各力偶矩的代数和等于零，即

$$M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = \sum M_i = 0 \quad (1-4)$$

例 1-4 用多轴钻床在工件上同时钻三个孔(图 1-14)。现估计每个孔的切削力偶矩分别为 $M_1 = M_2 = 15 \text{ N} \cdot \text{m}$, $M_3 = 17 \text{ N} \cdot \text{m}$, 求工件受到的合力偶矩。如果工件在 A、B 两处用螺柱固定, A、B 之间的距离 $l = 0.2 \text{ m}$, 试求两个螺柱受到的水平力。

解: 1) 求三个切削力偶矩的合力偶矩

$$M = \sum M_i = -M_1 - M_2 - M_3 = (-15 - 15 - 17) \text{ N} \cdot \text{m} = -47 \text{ N} \cdot \text{m}$$

负号表示合力偶为顺时针方向。

2) 求两螺柱受到的水平力。取工件为研究对象, 工件受三个主切削力偶和两螺柱的水平反力作用而平衡, 力偶只能与力偶平衡, 所以两水平反力 F_A 和 F_B 组成一力偶, 方向假设如图 1-14 所示, 则 $F_A = F_B$ 。由式(1-4)得

$$\sum M_i = F_A l - M_1 - M_2 - M_3 = 0$$

$$\text{所以 } F_A = F_B = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{l} = \frac{47}{0.2} \text{ N} = 235 \text{ N}$$

F_A 、 F_B 为正值, 所以假设方向正确。

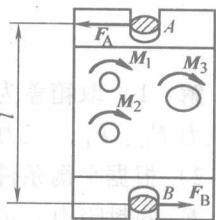


图 1-14 在工件上钻孔

课题4 平面力系问题

力系是指作用在物体上的一群力。如果力系中各力的作用线在同一平面内, 则此力系称为平面力系。按照力系中各力的作用线是否相交, 力系分为汇交力系、任意力系和平行力系三类。

一、平面汇交力系

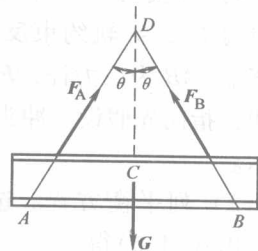
作用在物体上的各力的作用线都在同一平面内, 且汇交于一点的力系, 称为平面汇交力系。工程中经常遇到平面汇交力系问题。例如吊车吊重为 G 的钢梁时(图 1-15), 钢梁受 F_A 、 F_B 和 G 三个力的作用, 三个力在同一平面内, 且交于 D 点, 形成平面汇交力系。

求解平面汇交力系问题, 常用两种方法: 几何法和解析法。

1. 几何法

用几何法合成平面汇交力系时, 可利用力的三角形法则把各力的矢量首尾相连, 画出力的多边形, 封闭边即为合力。如果力多边形自行封闭, 则合力等于零, 此力系平衡。所以, 平面汇交力系平衡的条件是: 该力系的力多边形自行封闭。

在得到平面汇交力系的封闭力多边形后, 用尺和量角器在图上量得所要求的未知量。也可以根据图形的几何关系, 用三角形公式计算出所要求的未知量, 这种解题方法称为几何法。



例 1-5 如图 1-16a 所示, 起重机吊起一减速器箱盖, 箱

图 1-15 平面汇交力系实例

盖重 $G=200\text{N}$ ，已知钢绳与铅垂线的夹角 $\alpha=60^\circ$ ， $\beta=30^\circ$ ，求钢绳 AB 和 AC 的拉力。

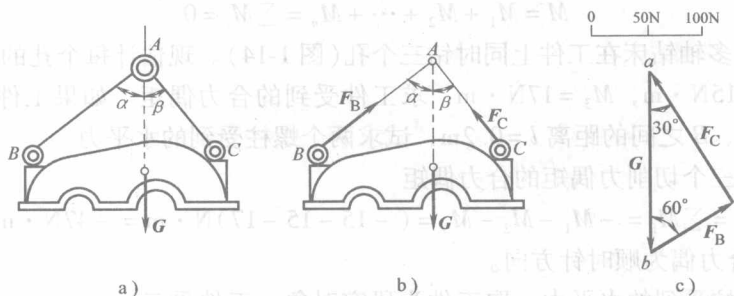


图 1-16 AB 、 AC 拉力分析

解：1) 取箱盖为研究对象，作受力图(图 1-16b)。作用于箱盖上的力有重力 G ，钢绳拉力 F_B 、 F_C ，三力汇交于铁环圆心 A 点，构成平面汇交力系。

2) 根据平衡条件，此三力合成后，构成一封闭力三角形。选适当比例尺作出力 G 、 F_B 、 F_C 的封闭力三角形，如图 1-16c 所示，按比例尺可量出

$$F_B = bc = 100\text{N} \quad F_C = ca = 173\text{N}$$

2. 解析法

解析法就是利用力在坐标轴上的投影为基础进行计算。

平面汇交力系平衡的必要与充分条件是：力系的合力 F 为零。即

$$F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} = 0 \quad (1-5)$$

同时

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

即平面汇交力系平衡的解析条件是：各力在 x 轴和 y 轴上投影的代数和分别等于零。式(1-6)称为平面汇交力系平衡方程。利用这两个平衡方程，可以求解两个未知量。

例 1-6 曲柄冲压机如图 1-17a 所示，冲压工件时冲头 B 受到工件的阻力 $F_Q=30\text{kN}$ ，试求当 $\alpha=12^\circ$ 时连杆 AB 所受的力及导轨的约束反力。

解：1) 根据题意，取冲头 B 为研究对象。

2) 画受力图。冲头 B 上受到的力有：工件阻力 F_Q ，导轨约束反力 F_N ，连杆给冲头的力 F_{AB} 。 AB 为二力杆， F_{AB} 的方向必沿杆 AB 的轴线，指向先假设。冲头 B 的受力图如图 1-17b 所示。

3) 列平衡方程。选坐标轴如图 1-17b 所示，由式(1-6)得

$$\sum F_x = 0, \quad F_N - F_{AB} \sin \alpha = 0 \quad (1-7)$$

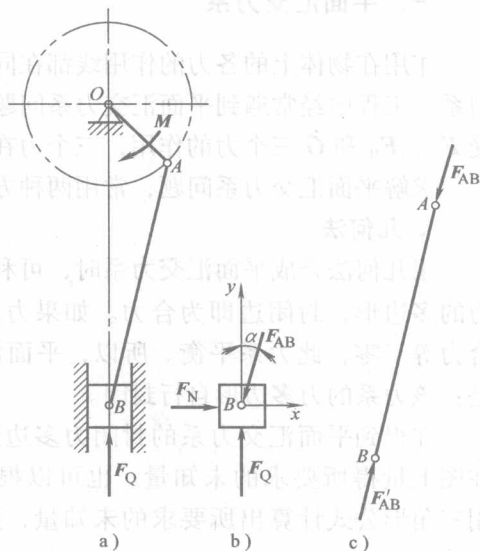


图 1-17 曲柄冲压机

$$\sum F_y = 0, F_Q - F_{AB} \cos \alpha = 0 \quad (1-8)$$

由式(1-8)得

$$F_{AB} = \frac{F_Q}{\cos \alpha} = \frac{30}{\cos 12^\circ} \text{kN} = \frac{30}{0.978} \text{kN} = 30.7 \text{kN}$$

将 F_{AB} 值代入式(1-7)得 $F_N = F_{AB} \sin \alpha = 30.7 \times \sin 12^\circ \text{kN} = 30.7 \times 0.208 \text{kN} = 6.38 \text{kN}$

F_{AB} 为正值, 表明假设方向与实际指向相同。 F'_{AB} 与 F_{AB} 等值反向, 即连杆受压力(图 1-17c)。

二、平面任意力系

作用在物体上各力的作用线分布在同一平面内, 不汇交于同一点, 也不互相平行, 这样的力系称为平面任意力系。平面任意力系是工程上常见的力系, 很多实际问题都可以简化为平面任意力系来处理。例如图 1-18a 所示起重装置的横梁 AB , 考虑横梁自重时, 它所受的力构成一个平面任意力系(图 1-18b)。另外, 当物体所承受的载荷和支承都具有同一个对称面时, 则作用在物体上的力系可以简化为在对称面内的平面力系。如图 1-19 所示的高炉上料车, 其所受重力 G 、拉力 F_S 及前后轮的约束反力 F_A 、 F_B , 可以向其对称面简化成平面任意力系。

在平面任意力系中, 如果要使物体在力系中保持平衡状态, 则要求物体在各力作用下不能发生转动, 也不能发生移动。所以, 平面任意力系平衡的条件是: 力系中所有力在两个任选坐标轴 x 、 y 上投影的代数和分别等于零, 并且各力对于平面内任意一点之矩的代数和也等于零。即

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum M_o(F) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

式(1-9)称为平面任意力系平衡方程, 是平衡方程的基本形式。在应用平衡方程解平衡问题时, 为使计算简化, 通常将矩心选在两个未知力的交点上, 坐标轴尽可能选取得与该力系中多数未知力的作用线平行或垂直。

例 1-7 如前述高炉上料小车(图 1-19)。小车沿着与水平面成 $\alpha = 60^\circ$ 的倾斜轨道匀速

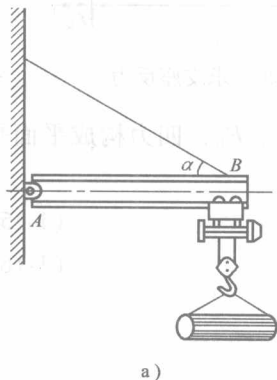


图 1-18 起重装置

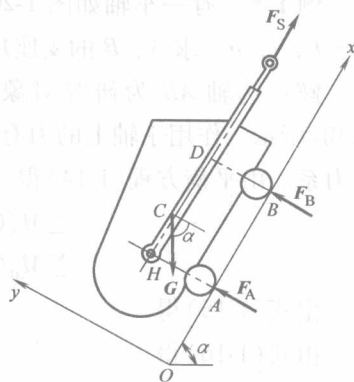


图 1-19 高炉上料小车

上升, 已知小车和炉料共重 $G = 325\text{kN}$, 重心在 C 点, $AB = 240\text{cm}$, $HC = 80\text{cm}$, $AH = 130\text{cm}$, 不计车轮与轨道间的摩擦。试求钢绳拉力 F_S 和轨道对车轮的约束反力 F_A 、 F_B 。

解: 选上料小车为研究对象, 画出小车受力图。作用于车上的力有重力 G 、钢绳拉力 S 、约束反力 F_A 、 F_B 。 F_S 的方向沿着钢绳, F_A 、 F_B 垂直于斜面。

选坐标轴如图 1-19 所示, 列平衡方程

$$\sum F_x = 0, F_S - G \sin \alpha = 0 \quad (1-10)$$

$$\sum F_y = 0, F_A + F_B - G \cos \alpha = 0 \quad (1-11)$$

$$\sum M_H(F) = 0, AB \cdot F_B - HC \cdot G \cos \alpha = 0 \quad (1-12)$$

G 对 H 点之矩, 可将 G 分解成两个分力, 然后计算分力对 H 点之矩的代数和。

由式(1-10)得 $F_S = G \sin \alpha = 325 \times 0.866\text{kN} \approx 282\text{kN}$

由式(1-12)得 $F_B = \frac{HC}{AB} \cdot G \cos \alpha = \frac{80}{240} \times 325 \times 0.5\text{kN} = 54.2\text{kN}$

将 F_B 值代入式(1-11)得 $F_A = G \cos \alpha - F_B = (325 \times 0.5 - 54.2)\text{kN} = 108.3\text{kN}$

三、平面平行力系

平面平行力系是指同一平面内各力的作用线互相平行的力系。如桥式起重机、桥梁等结构上受到的力系, 可以简化为平面平行力系。平面平行力系是平面任意力系的特殊情况, 它的平衡方程可由平面任意力系平衡方程导出。如选坐标轴 x 与各力垂直, 则各力在 x 轴的投影为零, 即 $\sum F_x = 0$ (若取 y 轴与各力垂直, 则 $\sum F_y = 0$)。于是平面平行力系的独立平衡方程为

$$\left. \begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ \sum M_O(F) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

平面平行力系平衡方程也可用二矩式表示, 即

$$\left. \begin{aligned} \sum M_A(F) &= 0 \\ \sum M_B(F) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

其中两矩心的连线不能与各力的作用线平行。

例 1-8 有一车轴如图 1-20a 所示。已知 $F_1 = F_2 = F$, l , a , 求 A 、 B 的支座反力。

解: 选轴 AB 为研究对象, 画受力图, 如图

1-20b 所示。作用于轴上的力有: 两端载荷 F_1 、 F_2 , 支座反力 F_A 、 F_B , 四力构成平面平行力系。由平衡方程(1-14)得

$$\sum M_A(F) = 0, F_1 a + F_B l - F_2 (l + a) = 0 \quad (1-15)$$

$$\sum M_B(F) = 0, F_1 (l + a) - F_A l - F_2 a = 0 \quad (1-16)$$

由式(1-15)得

$$F_B = F$$

由式(1-16)得

$$F_A = F$$

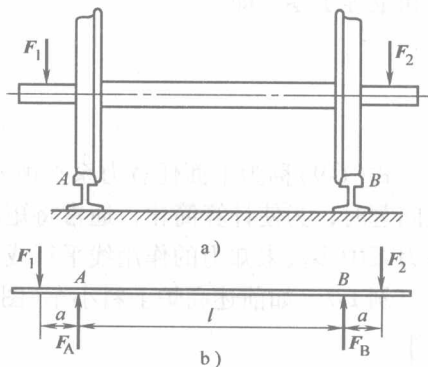


图 1-20 求支座反力