

新世纪高职高专教改项目成果教材

机械基础

钟建宁 朱鹏超 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内 容 提 要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材之一,是面向 21 世纪教材。本书根据《高职高专机械基础课程教学大纲》编写而成,全书共分十章。主要内容包括工程力学、金属材料、极限与配合、机械零件、机构组合与创新、液压与气动等内容。

本书是高等职业学校机电类或近机类专业的通用教材,还可作为职业学校(含中职、职高、成人职业教育)非机类或近机类专业教材或岗位培训教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础 /钟建宁主编. —北京: 高等教育出版社,
2003.7
ISBN 7-04-012030-5

I.机... II.钟... III.机械学-高等学校: 技术
学校-教材 IV.TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 047638 号

责任编辑 李新宇 封面设计 吴 昊 责任印制 潘文瑞

书 名 机械基础
主 编 钟建宁 朱鹏超

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-82028899	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	021-56965341		http://www.hep.com.cn
			http://www.hepsh.com

排 版 南京理工排版校对公司
印 刷 上海新华印刷有限公司

开 本	787×1092 1/16	版 次	2003 年 7 月第 1 版
印 张	19	印 次	2003 年 7 月第 1 次
字 数	459 000	定 价	25.90 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000]3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000]2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一些较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2003 年 5 月

前 言

随着科学技术的迅猛发展,知识量迅速增加,知识更新的速度不断加快。为了适应教学的需要,满足各种机电类和近机类专业对机械知识的需求,我们编写了该教材。

本教材包含了机械基础知识方面的主要内容,有工程力学、常用工程材料、极限与配合、联接、机械传动、机械零件、标准件、机构组合与创新、液压与气压传动等,共分为十章。编写中力求体现以下特点:

1. 着重对非机类专业所需机械工程基础知识的介绍,内容全面,综合性强,满足了非机类专业对机械知识的需求。
2. 本着“适度、够用”的原则,对各部分内容进行了适当筛选,对理论性较深的推导过程予以省略,尽可能适应实用的需要。
3. 采用简明易懂的插图,如立体图、结构简图等,以便于学生对教材内容的理解。
4. 注重各部分知识的联系,前后内容互相呼应,保证了知识的连续性、系统性。
5. 书中物理量单位及图形符号均采用最新国家标准。

本教材的第一、二、八章由湖南铁道职业技术学院易春阳编写,第三章由湖南铁道职业技术学院贾崇田编写,第四、五、七章由湖南铁道职业技术学院钟建宁编写,第六章由河北理工学院张广文编写,第九、十章由湖南铁道职业技术学院朱鹏超编写。本教材由钟建宁、朱鹏超统稿。

郑州铁路职业技术学院赵祥副教授担任本书主审,为该教材的编写提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本教材的编写得到了编者所在院校领导的高度重视和大力支持,也得到了院校工厂领导和工程技术人员的帮助,在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,加之编者水平所限,教材中难免有不足之处,衷心欢迎广大读者为本教材提出宝贵意见,以便不断改进。

编 者

2003 年 5 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)82028899 转 6897 (010)82086060

传 真：(010)82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮 编：100011

购书请拨打读者服务部电话：(010)64054588

目 录

第一章 力的平衡规律.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 约束与约束反力.....	3
第三节 受力分析及受力图.....	6
第四节 力矩和力偶.....	8
第五节 平面力系	12
习 题	21
第二章 构件的基本变形及强度计算	25
第一节 概述	25
第二节 轴向拉伸与压缩	27
第三节 剪切与挤压	35
第四节 扭转	39
第五节 弯曲	45
习 题	55
第三章 常用工程材料	58
第一节 概述	58
第二节 钢铁材料	62
第三节 常用钢的热处理	73
第四节 有色金属	83
第五节 非金属材料	85
习 题	88
第四章 极限与配合	90
第一节 概述	90
第二节 极限与配合标准制	92
第三节 形状和位置公差.....	102
第四节 表面粗糙度.....	108
习 题.....	112
第五章 联接.....	115
第一节 螺纹联接.....	115
第二节 键联接和销联接.....	122

第三节 铆接、焊接、胶接和过盈联接.....	129
习 题.....	132
第六章 机械传动.....	134
第一节 带传动.....	134
第二节 链传动.....	141
第三节 齿轮传动.....	146
第四节 蜗杆传动.....	166
第五节 齿轮系.....	171
习 题.....	175
第七章 常用机构.....	178
第一节 平面连杆机构.....	178
第二节 凸轮机构.....	185
第三节 间歇运动机构.....	189
第四节 螺旋机构.....	192
习 题.....	194
第八章 标准件.....	196
第一节 轴.....	196
第二节 轴承.....	201
第三节 弹簧.....	210
第四节 联轴器、离合器、制动器.....	213
第五节 减速器.....	220
习 题.....	222
第九章 机构组合与创新.....	223
第一节 概述.....	223
第二节 机构的组合方式.....	224
第三节 机械创新的方法.....	230
习 题.....	231
第十章 液压与气动.....	232
第一节 液压与气动的基本知识.....	232
第二节 液压与气压元件.....	237
第三节 液压与气压基本回路.....	264
第四节 液压与气压系统的应用举例.....	273
习 题.....	277

附 录..... 279

附录 A 常用单位换算表 279

附录 B 液压气动图形符号(摘自 GB/T 786.1—93) 280

附录 C 孔和轴的基本偏差表 286

参考文献..... 290

第一章 力的平衡规律

第一节 概 述

一、静力学的基本概念

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律。力系是指作用在物体上的一组力。平衡状态是物体相对地球处于静止或作匀速直线运动。物体处于平衡状态时,作用于该物体上的力系称为平衡力系。

静力学所研究的主要内容之一是建立力系的平衡条件,并借此对物体进行受力分析。静力学建立力系平衡条件的主要方法是力系的简化。所谓力系的简化,就是用简单力系代替复杂力系。当然,这种代替必须在两力系对物体作用效果完全相同的条件下进行。对于同一物体,作用效果相同的两力系彼此称为等效力系。若一个力与一个力系等效,则此力称为该力系的合力。综上所述,静力学研究的主要问题是:

- (1) 力系的简化。
- (2) 建立力系的平衡条件。

静力学研究的对象为刚体。所谓刚体,就是在任何外力作用下,其形状和大小始终保持不变的物体。

二、静力学公理

1. 公理一(两力平衡公理)

作用在同一刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的必要与充分条件是:此两力必须等值、反向、共线。

两力平衡公理是刚体受最简单的力系作用时的平衡条件。如一物体仅受两个力作用而

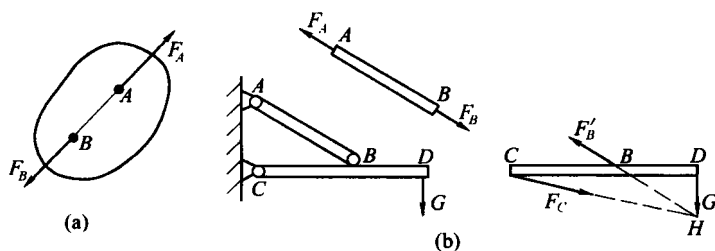


图 1-1 二力件与三力件

平衡,则两个力的作用线必定沿着此两力作用点的连线,如图 1-1a 所示,这类构件常被称为两力构件(二力件)。

2. 公理二(加减平衡力系公理)

在已知力系上加上或减去任意平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效应。

推论 1(力的可传性原理)

作用在刚体某一点的力可沿其作用线移到刚体上任一点,而不会改变原力系对刚体的作用效应。

此原理证明如下:

(1) 设力 F 作用于刚体上 A 点(图 1-2a)。

(2) 在力 F 的作用线上任选一点 B ,并在点 B 加一组沿 AB 线的平衡力 F_1 和 F_2 ,且使 $F_2 = -F_1 = F$ (图 1-2b)。

(3) 除去 F 与 F_1 所组成的一对平衡力,刚体上只剩下 F_2 ,且 $F_2 = F$ (图 1-2c)。

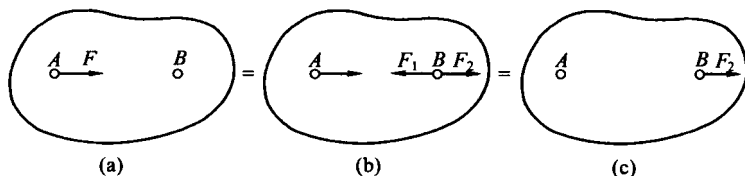


图 1-2 力的可传性原理

3. 公理三(力的平行四边形公理)

作用在物体某一点上的两个力的合力也作用于该点,其大小和方向由此两力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定(图 1-3)。其矢量^①合成为

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

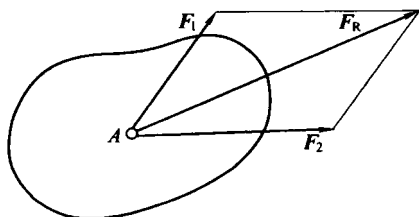


图 1-3 力的平行四边形公理

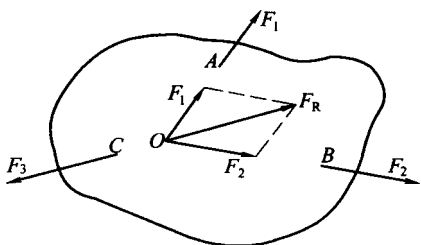


图 1-4 三力平衡汇交定理

推论 2(三力平衡汇交定理)

如刚体受同一平面内互不平行的三力作用而处于平衡状态,则此三力必汇交于一点。

^① 为体现职业教育特色,便于教学,本书中力、力矩等物理量,除特别指出是矢量时用黑体字母表示外,其余皆用白体字母表示。

证明

(1) 设刚体在 A 、 B 、 C 三点分别受共面力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用(图 1-4)。根据推论 1, 将 F_1 、 F_2 沿作用线移至交点 O , 并根据公理三将 F_1 与 F_2 合成为合力 F_R 。

(2) 现刚体上只作用有 F_3 与 F_R , 根据公理一, F_3 与 F_R 必在同一直线上, 所以 F_3 必通过 O 点, 于是 F_1 、 F_2 、 F_3 均通过 O 点。

刚体只受同平面三力作用而处于平衡状态, 称为三力构件。若三个力中已知两个力的交点及第三个力的作用点, 即可判断出第三个力的作用线的方位(图 1-1b)。

4. 公理四(作用与反作用公理)

两个物体间的作用力与反作用力, 总是大小相等、方向相反, 沿同一直线分别作用在这两个物体上。

公理四说明, 物体间的作用力总是同时存在, 同时消失。这里应该注意公理一与公理四之间的区别, 前者叙述了作用在同一刚体上的两个力的平衡条件, 后者却是描述了两个物体之间相互作用的关系。

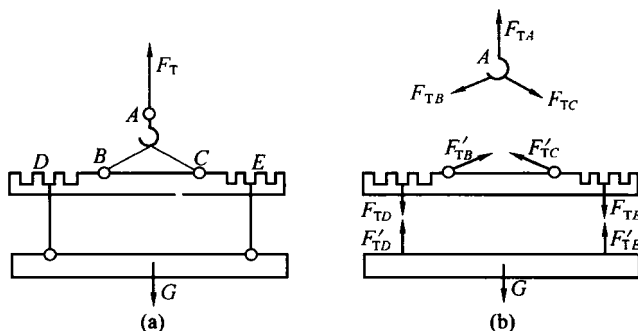
第二节 约束与约束反力

一个物体的运动受到周围物体限制时, 这种限制物体运动的周围物体, 称为该物体的约束。约束限制了物体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(简称约束力)。

约束反力总是作用在被约束物体与约束物体的接触处, 其方向也总是与该约束所能限制的运动或运动趋势的方向相反。据此可确定约束反力的位置及方向。

一、柔性约束

由柔索、链条和胶带形成的约束称为柔性约束。柔性约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动, 因此它对物体的约束反力沿柔索的中心线背离被约束物体, 即使物体受拉力, 常用符号 F_T (或 T) 表示, 如图 1-5 所示。



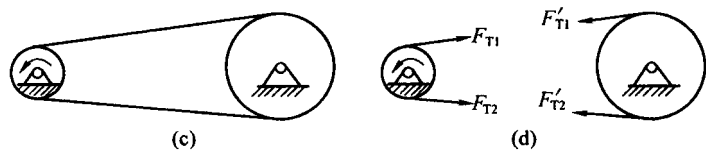


图 1-5 柔性约束

二、光滑面约束

当两物体直接接触并可忽略接触处的摩擦时,约束只能限制物体沿接触面的公法线指向约束物体的运动,故约束反力必通过接触点沿接触面的公法线并指向被约束物体,即使物体受压力,通常用符号 F_N (或 N) 表示,如图 1-6 所示。

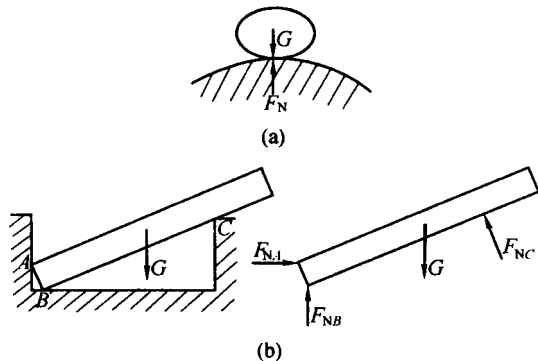


图 1-6 光滑面约束

三、铰链约束

两构件采用圆柱销形成的联接为铰链联接。其接触处不计摩擦且只限制两构件相对移动。

1. 圆柱形铰链约束

圆柱形铰链是由一圆柱销钉将两个或更多的构件联接在一起所形成的联接,如图 1-7a 所示(也称中间铰链约束)。

这类约束的本质即为光滑面约束,因接触点位置未定,故只能确定铰链的约束反力为一通过圆销中心的大小、方向均未定的力,通常此力用两个大小未知的正交分力 F_x 、 F_y (或 F'_x 、 F'_y) 表示,如图 1-7c、d 所示。

2. 固定铰链支座

在工程实际中,常将支座用螺栓与基础或机架固定,再将构件用销钉与支座联接构成固

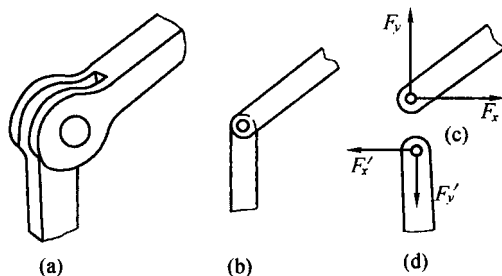


图 1-7 圆柱形(中间)铰链约束

定铰链支座,图 1-8a 所示。

约束反力的表示方法与中间铰链相同,如图 1-8e 所示。

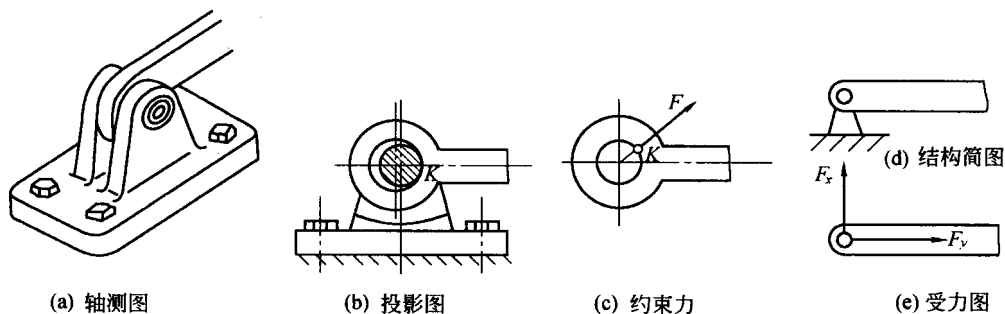


图 1-8 固定铰链支座

3. 活动铰链支座

在大型桥梁、屋架等结构中,常常使用一种放置在一个或几个辊子上的铰链支座,这种支座只允许构件沿支承面作微小的移动,而不允许在其垂直方向有运动,称为活动铰链支座,如图 1-9a 所示。

活动铰链支座的约束反力 F 的方向必垂直于支承面,且通过铰链中心。如图 1-9c 所示。

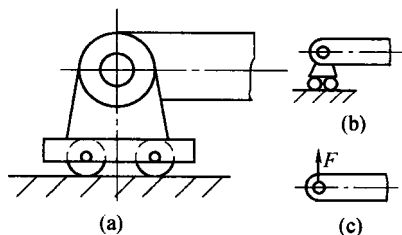


图 1-9 活动铰链支座

四、固定端约束

工程中还有一种常见的基本约束,如图 1-10 所示。

建筑物上的阳台、跳水的跳台、壁扇座、埋入地下的电线杆等,都是一端固定不动的。这些对物体的一端固定不动的约束,称固定端约束。

约束反力一般用两正交分力 F_x 、 F_y 限制物体的移动,用约束反力偶 M 限制物体的转动。

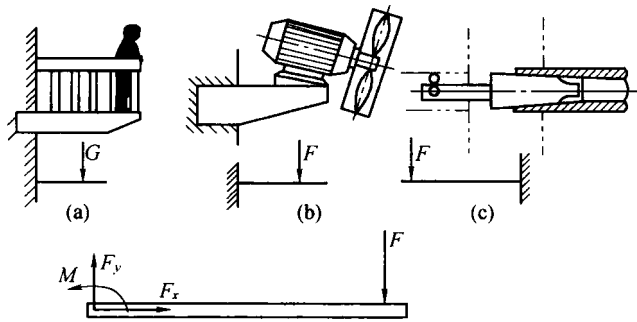


图 1-10 固定端约束

第三节 受力分析及受力图

工程中,构件总是承受着各种载荷的作用,并以一定的形式与周围其他构件相互联接。因此,在进行工程设计计算时,必须对构件的受力状态进行分析,以作为设计的依据。

研究物体(或物系)的平衡时,若物体(或物系)和周围物体的约束联系在一起,则约束反力将无法显现,因此必须将约束解除,用约束反力代替原有约束对物体(或物系)的作用。解除约束后的物体(或物系),称为分离体(或研究对象)。

研究对象所受的力可分为外力和内力。研究对象以外的物体作用在研究对象上的力,称为外力;研究对象内部各个物体之间或各个部分之间相互作用的力,称为内力。将研究对象所受的全部外力画在研究对象上,所得到的图形称为受力图。

画受力图的步骤是:

- (1) 确定研究对象(即取分离体);
- (2) 画出研究对象所受的全部主动力(载荷及物体自重等);
- (3) 画出研究对象所受的全部约束反力;
- (4) 校核。

例 1-1 圆球 O 重 G ,用绳索 BC 系住,放在与水平面成 $\alpha=30^\circ$ 角的光滑斜面上,如图 1-11a 所示,画出球 O 的受力图。

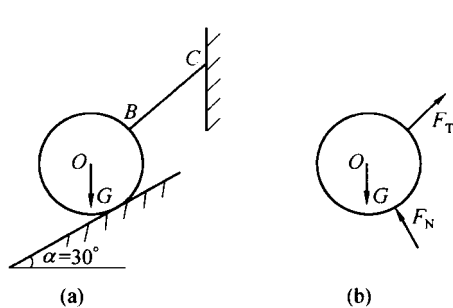


图 1-11 例 1-1 图

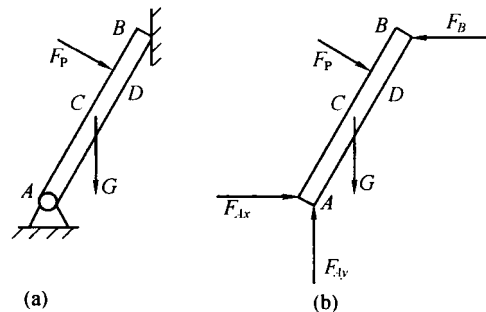


图 1-12 例 1-2 图

解:

(1) 取研究对象 将研究对象圆球 O 从系统中分离出来,单独画出它的简图。

(2) 画主动力 研究对象圆球 O 受到的主动力为重力 G ,作用在球心上,方向垂直向下。

(3) 画约束反力 绳索 BC 的约束反力 F_T ,沿着绳索 BC 的中心线,背离球体;光滑斜面的约束反力 F_N ,沿着接触面的法线方向指向球表面。

(4) 校核 圆球 O 的受力图如图 1-11b 所示,分离体上所画的力正确、齐全。

例 1-2 匀质杆 AB 重 G , A 端为固定铰链支座, B 端在光滑的垂直墙面上,在 D 处受有与杆垂直的 F_P 力作用,如图 1-12a 所示,画 AB 杆的受力图。

解:

(1) 取研究对象 将研究对象杆 AB 从系统中分离出来,单独画出杆 AB 的简图。

(2) 画主动力 杆 AB 所受的主动力有 G 与 F_P 。

(3) 画约束反力 B 点为光滑接触面,约束反力 F_B 垂直墙面,作用在 B 点,指向物体; A 点为光滑固定铰链支座,约束反力方向不定,用 F_{Ax} 、 F_{Ay} 两个分力代替。

AB 杆的受力图如图 1-12b 所示。

例 1-3 均质水平梁 AB 重 G_1 ,用斜杆 CD 支撑, A 、 C 、 D 三处为光滑固定铰链联接,其上放置一重 G_2 的电动机,如图 1-13a 所示。不计杆 CD 的自重,试分别画出杆 CD 和梁 AB 的受力图。

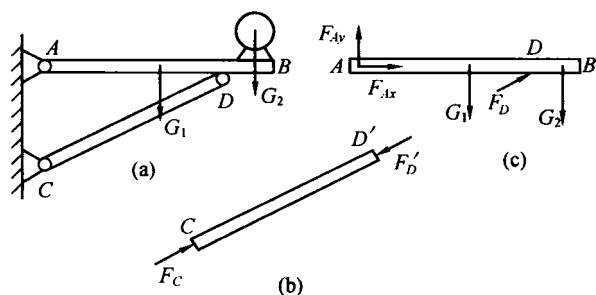


图 1-13 例 1-3 图

解:

(1) CD 杆的受力图 取 CD 杆为研究对象,单独画出 CD 杆的分离体图。由于 CD 杆的自重不计,因此只在杆的两端分别受到铰链的约束反力 F_C 和 $F_{D'}$ 的作用。 CD 杆的受力图如图 1-13c 所示。

(2) 梁 AB 的受力图 取梁 AB 为分离体,梁上受有 G_1 、 G_2 两个主动力作用,梁在铰链 D 处受到二力杆 CD 给它的约束反力 F_D 。梁在 A 处为固定铰链支座,该处的约束反力可画为 F_{Ax} 和 F_{Ay} 两个互相垂直的力。梁 AB 的受力图如图 1-13b 所示。

例 1-4 图 1-14a 所示的三铰拱,由左、右两个半拱铰接而成。若拱重不计,在 AC 半拱上作用有载荷 F ,试分别画出 AC 和 CB 半拱的受力图。

解:

(1) 先画 CB 半拱的受力图 取 CB 半拱为分离体,由于 CB 自重不计,且只在 C 、 B 两

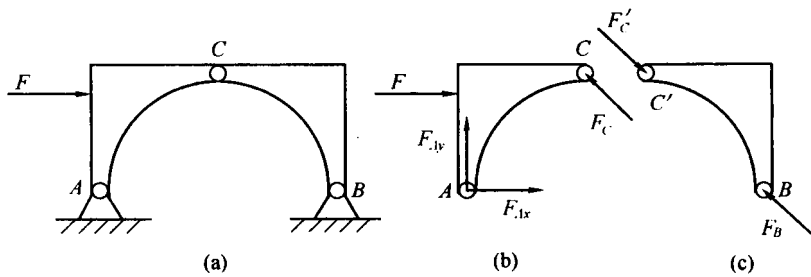


图 1-14 题 1-4 图

点受到铰链的约束反力 F'_C 和 F_B 的作用。因此 CB 为二力构件,所以 $F'_C = F_B$,此二力的方向如图 1-14c 所示。

(2) 画 AC 半拱的受力图 取 AC 半拱为分离体。由于自重不计,因此主动力只有 F 。半拱在铰链 C 受有 CB 半拱给它的约束反力 F_C 作用,根据作用与反作用公理 $F_C = -F'_C$ 。铰链 A 处的约束反力可画为 F_{Ax} 和 F_{Ay} 两个互相垂直的力。铰链 A 处的约束反力也可通过三力平衡汇交定理确定。 AC 半拱的受力图如图 1-14b 所示。

第四节 力矩和力偶

一、力对点之矩

1. 力矩的概念

当我们用扳手拧紧螺母时(图 1-15),若作用力为 F ,转动中心 O (称为距心)到力作用线的垂直距离为 d (称为力臂),由经验可知,扳动螺母的转动效应不仅与力 F 的大小有关,且与力臂 d 的大小有关,故力 F 对物体的转动效应可用两者的乘积 Fd 来度量,力 F 对物体的转动方向不同,其效果也不相同。

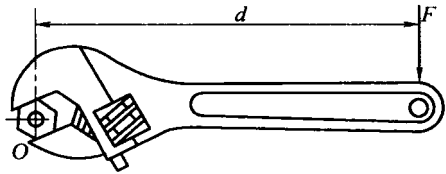


图 1-15 力矩的概念

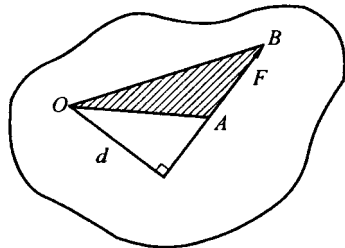


图 1-16 力矩的计算

表示力使物体绕某点转动的量称为力对点之矩,简称为力矩,由上可归纳出力矩的定义为:力对点之矩为一代数量,它的大小为力 F 的大小与力臂 d 的乘积,它的正负符号表示力

矩在平面上的转动方向。一般规定,力使物体绕矩心逆时针旋转时为正,顺时针旋转时为负,如图 1-15 所示,并计作:

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

F 对点 O 之力矩值,也可用三角形 OAB 面积的两倍表示,如图 1-16 所示,即:

$$m_O(F) = Fd = 2S_{\triangle OAB} \quad (1-2)$$

力矩的单位决定于力和力臂的单位,在国际单位制中常用单位 $\text{N} \cdot \text{m}$ (牛·米)。

力矩在下列两种情况下等于零:(1) F 等于零;(2)力的作用线通过矩心,即力臂等于零。

例 1-5 图 1-17 所示的杆 AB , 长度为 L , 自重不计, A 端为固定铰链支座, 在杆的中点 C 悬挂一重 G 的物体, B 端靠于光滑的垂直墙面上, 其约束反力为 F_N , 杆与铅直墙面的夹角为 α 。试分别求 G 和 F_N 对铰链中心 A 点的力矩。

解:

根据力矩定义, 可得:

$$m_A(F_N) = F_N d_{F_N} = F_N L \cos \alpha$$

$$m_A(G) = -G d_G = -\frac{GL \sin \alpha}{2}$$

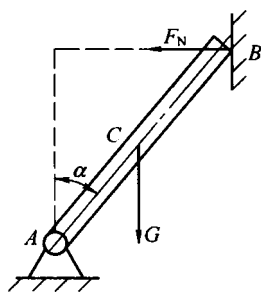


图 1-17 例 1-5 图

2. 合力矩定理

在计算力矩时,力臂一般可以通过几何关系确定。但有时由于几何关系比较复杂,直接计算力臂比较困难,这时将力作适当的分解,用合力矩定理计算力对点之矩比较方便。对于平面汇交力系,合力矩定理可叙述如下:

平面汇交力系的合力对平面内任意点之矩,等于力系中各分力对同一点之矩的代数和,即:

$$m_O(F_R) = m_O(F_1) + m_O(F_2) + \cdots + m_O(F_n) = \sum m_O(F) \quad (1-3)$$

式中: F_R 为平面汇交力系 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 的合力。

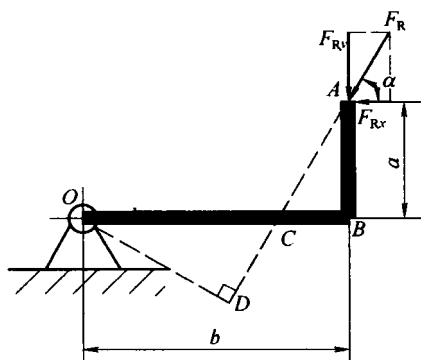


图 1-18 例 1-6 图

例 1-6 图 1-18 所示弯杆 ABO , 在其上的 A 点作用有力 F_R 。已知 $a = 180 \text{ mm}$, $b = 400 \text{ mm}$, $\alpha = 60^\circ$, $F_R = 100 \text{ N}$, 求力 F_R 对 O 点之矩。

解:

因为合力 F_R 对 O 点的力臂不易计算出来, 故将 F_R 沿水平和铅垂方向分解为两分力 F_{Rx} 和 F_{Ry} 。

(1) 求分力 F_{Rx} 、 F_{Ry} 对 O 点之矩

$$m_O(F_{Rx}) = F_{Rx} \cdot a = F_R \cos \alpha \cdot a = 9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$m_O(F_{Ry}) = -F_{Ry} \cdot b = -F_R \sin \alpha \cdot b = -34.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$