



交通高职高专院校统编教材

JIAOTONG GAOZHI GAOZHUAN YUANXIAO TONGBIAN JIAOCAI

机械基础 第一分册 工程力学

(汽车检测与维修、汽车运用技术、汽车运用工程专业用)

凤 勇 主 编

谭文莹 主 审



人民交通出版社

交通高职高专院校统编教材

Jixie Jichu

机械基础

第一分册 工程力学

(汽车检测与维修、汽车运用技术、汽车运用工程专业用)

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要讲述工程力学的基本内容,包括平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、摩擦、空间力系、点的运动、刚体基本运动、点的合成运动、轴向拉伸与压缩、剪切和挤压、圆轴扭转、直梁弯曲、组合变形强度计算等。

本书是高等职业院校汽车运用技术、汽车检测与维修专业的教材,也可供相关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础. 第1分册, 工程力学/凤勇主编. —北京:
人民交通出版社, 2003. 8
ISBN 7-114-04736-3

I. 机… II. 凤… III. ①机械学-高等学校: 技
术学校-教材②工程力学-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 065227 号

交通高职高专院校统编教材

机 械 基 础

第一分册 工程力学

(汽车检测与维修、汽车运用技术、汽车运用工程专业用)

凤 勇 主编

谭文莹 主审

正文设计: 姚亚妮 责任校对: 戴瑞萍 责任印制: 张 恺

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号 010 64216602)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.5 字数: 300千

2003年8月 第1版

2003年8月 第1版 第1次印刷

印数: 0001~5000册 三册定价: 70.00元

ISBN 7-114-04736-3

本书编委会

主 任：苗庆贵

副主任：张美田

委 员：(以姓氏笔画为序)

王利贤	王怡民	叶 钢	卢晓春	刘 锐
李富仓	李 军	苗庆贵	陈文华	陈瑞晶
汤定国	高进军	姜 勇	郭远辉	唐 好
张尔利	张美田	张琴友	屠卫星	谭文莹
廖 琨	颜培钦			

前 言

为了适应并推动高等职业技术教育的发展,培养 21 世纪应用型人才,落实交通部科教司《高职高专教材建设规划方案意见》(高(1999)171 号文件)精神,在交通部科教司领导下,交通高职教育工作委员会组织编写了汽车检测与维修、汽车运用技术、汽车运用工程等相关专业用高职高专统编教材。

《机械基础》这本教材是汽车检测与维修、汽车运用技术、汽车运用工程等相关专业的技术基础课教材之一。这本教材坚持了理论知识够用为度的原则,贯彻了基础为专业服务的指导思想,基本做到了理论与实践、基础与专业的紧密结合,构筑了汽车检测与维修、汽车运用技术、汽车运用工程等相关专业具有高职高专特色的第一套统编教材。

《机械基础》这套教材共分三个分册,第一分册为工程力学部分、第二分册为材料与工艺部分、第三分册为机械原理与机械零件部分。

本书是第一分册,它简明扼要地介绍了静力学、运动学和材料力学的基础知识和基本理论。本书主要内容包括三个部分;第一部分为静力学,第二部分为运动学,第三部分为材料力学。

本书由四川交通职业技术学院凤勇主编并编写绪论、第一章至第六章,四川交通职业技术学院孙莹编写第七章至第九章,四川交通职业技术学院唐德修编写第十章至第十二章,四川交通职业技术学院彭家祥编写第十三章至第十五章。

本书由浙江交通职业技术学院谭文莹主审,吉林交通职业技术学院张美田担任责任编委。

本书在编写过程中得到了吉林交通职业技术学院、浙江交通职业技术学院、福建交通职业技术学院、广东交通职业技术学院、上海交通职业技术学院、南京交通职业技术学院、云南交通职业技术学院的大力支持,在此表示感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请同行及读者批评指正。同时本书在编写过程中参考了大量的文献资料,在此向文献资料的作者致以诚挚的谢意。

交通高职教育工作委员会

2003 年 7 月

目 录

绪论	1
第一章 静力学基础	3
第一节 静力学基本概念及公理	3
第二节 约束与约束反力	5
第三节 受力分析与受力图	8
自我检测题	11
习题	13
第二章 平面汇交力系	14
第一节 平面汇交力系的简化	14
第二节 平面汇交力系的平衡条件	16
自我检测题	20
习题	21
第三章 力矩与平面力偶系	23
第一节 力矩的概念及计算	23
第二节 力偶、力偶矩	25
第三节 力的平移定理	27
自我检测题	28
习题	29
第四章 平面任意力系	30
第一节 平面任意力系的简化	30
第二节 平面任意力系的平衡方程及其应用	32
自我检测题	36
习题	37
第五章 摩擦	39
第一节 滑动摩擦力	39
第二节 滚动摩阻	42
自我检测题	44
习题	45
第六章 空间力系	46
第一节 空间力的投影及分解	46
第二节 空间汇交力系合成与平衡条件	49
第三节 常见的空间约束	50
第四节 空间轴类问题的平面解法	51
自我检测题	53

习题	53
第七章 点的运动	55
第一节 点运动分析的自然法	55
第二节 点的运动情况	58
自我检测题	60
习题	61
第八章 刚体的基本运动	63
第一节 刚体的平动	63
第二节 刚体绕定轴转动	64
第三节 定轴转动刚体上点的速度和加速度	67
自我检测题	71
习题	72
第九章 点的合成运动	74
第一节 点的合成运动的基本概念	74
第二节 绝对运动、相对运动和牵连运动	75
第三节 点的速度合成定理	76
* 第四节 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	78
自我检测题	80
习题	81
第十章 轴向拉伸与压缩	84
第一节 轴向拉(压)的概念	84
第二节 轴向拉(压)杆横截面上的内力	85
第三节 轴向拉(压)时横截面上的应力	88
第四节 拉(压)杆的强度计算	90
第五节 拉(压)杆件的变形、虎克定律	93
第六节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	96
第七节 安全系数和许用应力	102
自我检测题	104
习题	105
第十一章 剪切和挤压	109
第一节 剪切和挤压的概念	109
第二节 剪切、挤压联接件的强度计算	111
第三节 剪切虎克定律	114
自我检测题	116
习题	116
第十二章 圆轴的扭转	118
第一节 扭转的概念	118
第二节 外力偶矩、扭矩和扭矩图	119
第三节 圆轴扭转时的应力强度计算	121
第四节 圆轴扭转时的变形与刚度计算	125

自我检测题	128
习题	128
第十三章 直梁弯曲	131
第一节 平面弯曲的概念	131
第二节 梁的内力	132
第三节 梁的内力图	135
第四节 纯弯曲时梁截面上的正应力	137
第五节 截面惯性矩的计算	139
第六节 梁的正应力强度的计算	140
第七节 梁的弯曲变形和刚度计算	144
自我检测题	151
习题	153
第十四章 组合变形的强度计算	156
第一节 组合变形的概念和分析方法	156
第二节 拉(压)弯组合变形强度计算	157
第三节 圆轴弯扭组合变形强度计算	159
自我检测题	163
习题	164
第十五章 动载荷与交变应力	167
第一节 动载荷和动荷应力的概念	167
第二节 交变应力	168
自我检测题	174
习题	175
附录	176

绪 论

一、概 述

工程力学一般包括静力学、运动学、动力学和材料力学几个部分。

静力学研究物体在力作用下的平衡规律。其主要内容有静力学基础、平面汇交力系、力矩与力偶系、空间力系和摩擦。

运动学是从几何学的角度来研究物体的运动规律。其主要内容有点的运动、刚体的基本运动和点的合成运动。

动力学研究物体的运动与其所受力之间的关系。

材料力学是研究构件强度、刚度和稳定性计算的科学。

本教材主要研究轴向拉伸和压缩、剪切和挤压、扭转、弯曲四种基本变形的强度、刚度问题(图 0-1)。

强度是指构件抵抗破坏的能力。如果构件的尺寸、材料的性能与载荷不相适应,譬如传动轴的直径过小、起吊货物的绳索过细等,当传动的功率过大、起吊的货物过重时,有可能因强度不够而产生断裂,使机器无法正常工作,甚至造成事故。因而首先应解决强度问题,即如何使构件具有足够的强度,以保证构件在载荷作用下不致产生破坏。

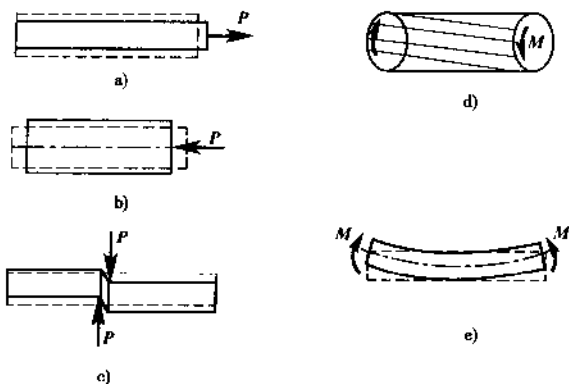


图 0-1 四种基本变形

a) 拉伸; b) 压缩; c) 剪力; d) 扭转; e) 弯曲

刚度是指构件抵抗变形的能力。某些构件如果变形过大,如车床的主轴,变形过大,将影响加工的精度和齿轮的正常啮合,

引起齿轮和轴承的不均匀磨损,如图 0-2 所示。像这类构件除强度足够外,还需解决刚度问题,即如何使构件具有足够的刚度,以保证构件在载荷作用下,其变形量不超过正常工作所允许的限度。

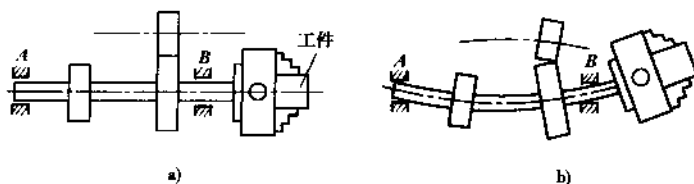


图 0-2 车床主轴刚度不够,引起变形过大而失效

二、课程的性质、任务和基本要求

1. 课程的性质

工程力学是一门应用非常广泛的技术基础课。它一方面可以直接解决工程中的受力分析、运动计算、强度计算和刚度计算问题,另一方面也为一系列后继课程如机械原理、机械设计、汽车构造等提供必备的基础知识。随着科学技术的发展,很多科学领域的研究都需要工程力学的知识,所以,工程力学是工程技术人员必备的理论基础。

2. 任务和基本要求

- 1) 会进行物体的受力分析和求解工程中的平衡为题;
- 2) 理解速度、加速度、角加速度、绝对速度、相对速度、牵连速度的概念;会求定轴转动刚体上的速度和加速度;
- 3) 了解材料的力学性能;掌握四种基本变形、应力集中和交变应力、压杆稳定的概念;会进行四种基本边线构件的强度计算。

第一章 静力学基础

主要内容

1. 力学的基本概念和公理;
2. 约束的概念、特点、约束反力、工程结构及其简化;
3. 物体的受力分析和绘制物体的受力图。

教学目标

1. 了解静力学的一些基本概念和公理;
2. 掌握约束及其基本类型的结构和简图并确定约束反力;
3. 能应用所学知识进行物体的受力分析并会绘制物体的受力图。

第一节 静力学基本概念及公理

一、刚体的概念

在外力作用下永不发生变形的物体称为刚体。实际生活中的物体都是可变形体。一般情况下,物体受力之后所产生的变形相对于物体的几何尺度而言是极微小的。在理论力学中,研究物体的整体平衡或运动情况时,物体受力产生变形的影响是可以忽略不计的,即将物体视为刚体所得的结果已具有足够的精确度。刚体是实际物体的理想模型。引进刚体概念有助于突出研究对象的主要特征,从而简化研究方法。

二、力的概念

1. 力的定义

力是物体间的相互作用,这种作用会使物体的机械运动状态发生变化,或使物体产生变形。

力作用于物体将产生两种效果:一是使物体的机械运动状态发生变化,称为力的外效应;另一是使物体产生变形,称为物体的内效应。由于静力学以刚体为研究对象,故本课程只讨论力的外效应。

2. 力的三要素

实践证明,力对物体的作用效应,由力的大小、方向和作用点的位置所决定,这三个因素称为力的三要素。例如,用扳手拧螺母时(如图 1-1),作用在扳手上的力,因大小不同,或方向不同,或作用点位置不同,产生的效果就不一样。

3. 力的单位

本书采用我国法定计量单位,力的单位用 N 或 kN。

三、平衡的概念

物体的平衡是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动状态。在静力学中,将相对于

地球作匀角速转动的情况也视为平衡状态予以研究。总之,在工程中将物体处于惯性运动的状态统称为平衡状态。

静力学是研究刚体在外力作用下的平衡问题的学科。

公理一 两力平衡公理

刚体若仅受两力作用而平衡,其必要和充分条件为:两力必等值、反向、共线。

两力平衡公理分析

如图 1-2 所示,物体受重力 G 及绳拉力 T_1 作用,在平衡时, T_1 与 G 必等值、反向、共线。绳 AB 段在 A 、 B 两点受 T_1' 与 T_2 作用而呈平衡状态,故 T_1 与 T_2' 必均沿 AB 线,且等值、反向。

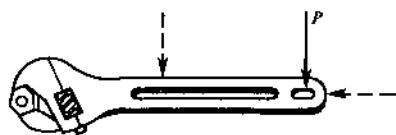


图 1-1

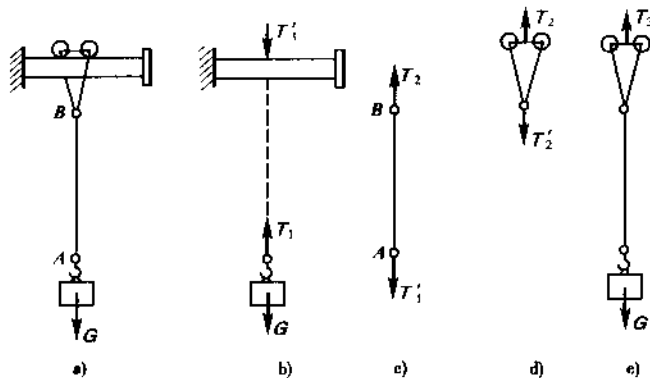


图 1-2

在机械或结构中,凡只受二力作用处于平衡状态的构件,其具有所受的二力必在两个力的作用点的连线上的特征,称为二力杆,如图 1-3a) 中的 BC 杆和图 1-3b) 中的 BC 构件。

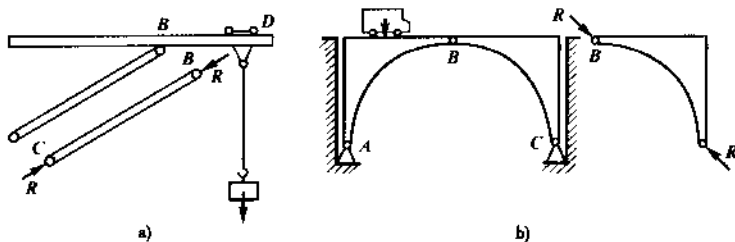


图 1-3

公理二 加减平衡力系公理

因为平衡力系不会改变物体的运动效应,即平衡力系对物体的运动效应为零,所以在原力系上加上或减去一个平衡力系,是不会改变物体的运动效果的。

本公理是力系简化的基本方法之一。

推理一(力的可传性原理) 作用在刚体上的力,可沿其作用线滑移到刚体内另外一点,不会改变此力对刚体的作用效应。

证明

(1) 设力 F 作用在刚体上 A 点,如图 1-4a) 所示。

(2) 在力的作用线上另选一点 B ,并在 B 点加一组平衡力系 F_1 和 F_2 ,且使 $F_1 = -F_2 = F$,如图 1-4b) 所示。

(3) 由于力 F_1 和 F 也是一组平衡力系, 去掉后只剩下 F_2 (图 1-4c)。

(4) 结果相当于把 F 从 A 点沿作用线移到 B 点。

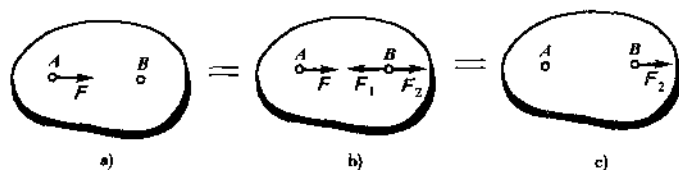


图 1-4

公理三 作用力与反作用力公理

两物体间的作用力与反作用力, 总是大小相等, 指向相反, 作用在同一直线上, 分别作用在两个物体上。这个性质指出, 力总是成对出现的, 有作用力必有一反作用力, 这是分析物体之间相互作用力的一条重要规律。

公理四 力的平行四边形公理

作用于刚体上某一点的两力, 其合力亦作用于该点, 合力的大小与方向由这两个力所构成的平行四边形的对角线来表示。

力的合成与分解

如图 1-5, 设力 F_1 、 F_2 作用在刚体上的 O 点, 以 R 表示它们的合力, 则有:

$$R = F_1 + F_2$$

反之, 一个力也可分解成两个力, 但必须附加一定的条件, 才能得到确定的结果, 如图 1-6 所示。

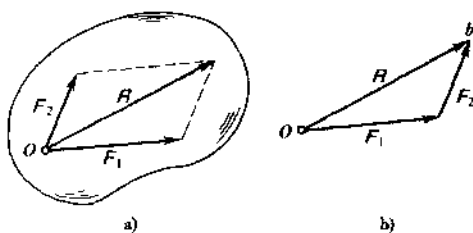


图 1-5

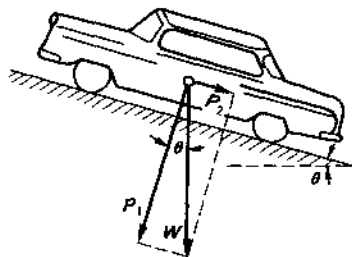


图 1-6

推理 三力平衡汇交定理

如一刚体在三个共面而又互不平行的力作用下处于平衡状态, 则此三力的作用线必汇交于一点。

读者自己可证明此定理。

第二节 约束与约束反力

一物体的空间位置受到周围物体的限制时, 这种限制就称为约束。约束阻挡了物体本来可能产生的某种运动, 从而实际上改变了物体可能的运动状态。约束限制物体运动的力称为约束反力或约束力。约束力是未知力。一般条件下根据约束的性质只能判断约束力的作用点位置或作用力方向。约束力的大小要根据作用在物体上的已知力以及物体的运动状态来确定。约束力作用在被约束物体的接触处, 其方向总是与该约束所限制的运动趋势方向相反。

工程中常见的约束有柔性约束、光滑面约束和铰链约束。

一、柔性约束

由柔绳、胶带、链条等形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,因此它对物体只有沿柔索方向的拉力,如图 1-7 所示。一般用 T 表示柔索拉力。

图 1-7 中,当柔索绕过轮子时,常假想在柔索的直线部分处截开柔索,将断开的柔索与轮子一起作为考察对象。这样处理,就可以不考虑柔索与轮子间的内力,此时作用于轮子的柔索拉力即沿轮缘的切线方向(如图 1-7c、d 所示)。

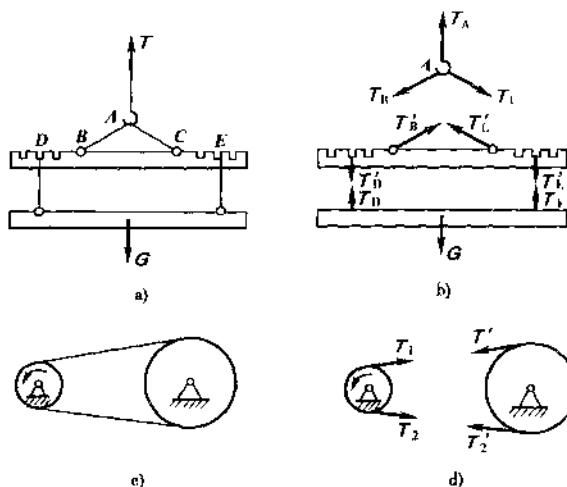


图 1-7

二、光滑面约束

当两物体直接接触,并忽略接触处的摩擦时,约束只能限制物体在接触点加接触处的公法线指向约束物体的运动,而不能限制物体沿接触处切线方向的运动,故约束力必过接触点沿接触面法向并指向被约束物体,简称法向压力,其工程示图如图 1-8 所示。一般用 N 表示此类约束力。

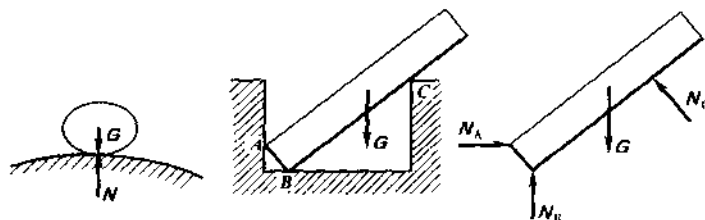


图 1-8

如图 1-9 所示,如果木板在水沟中挑起一重为 G 的球,那么可以分别用图示法表示出木板、球的受力情况。

解题步骤和方法如图 1-9 所示。

三、铰链约束

1. 铰链联接

用圆柱销钉 C 将两构件 A 、 B 连接在一起(图 1-10a),就形成了铰链联接。若相联的两构件均不固定,则称为中间铰链,常用图 1-10b)所示符号表示;若相联两构件有一个件固定(图 1-10c),则称为固定铰链,常用图 1-10d)所示符号表示。

由铰链的结构可知,这类约束的本质即为光滑约束,故其约束反力必沿圆柱面接触点的公法线方向通过圆销中心。在构件所受外力为未知的情况下,不能确定接触点的位置。因此,在

一般情况下,铰链约束的反力 N 是一个通过圆销中心的、大小与方向未知的力。为了便于计算,通常用两个大小未知的正交分力 N_x 、 N_y 表示,如图 1-10d)和图 1-11 所示。若能求出两个分力,约束反力 N 也就随之而定。

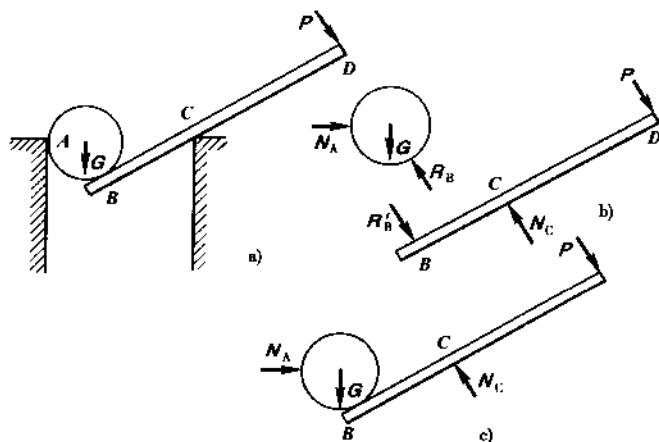


图 1-9

2. 活动铰链支座

若铰链支座不固定,而可沿其支承面上任意移动,这种结构称为活动铰链支座(图 1-12)。活动铰链支座的约束反力 N 必沿铰链中心并与支承面相垂直。

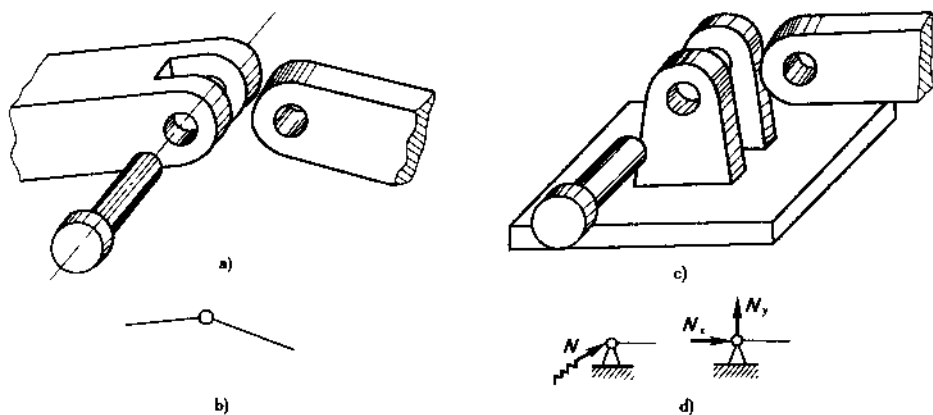


图 1-10 铰链联接

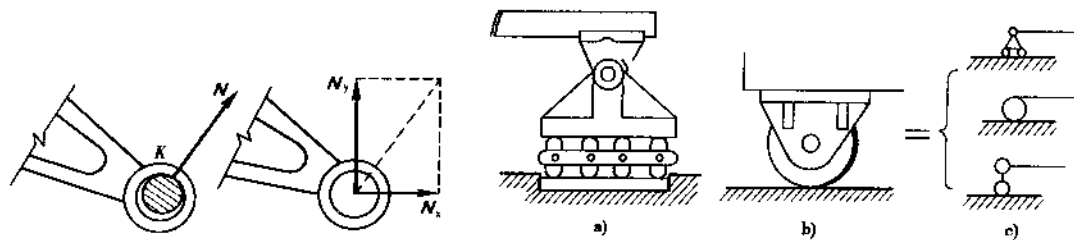


图 1-11

图 1-12 活动铰链支座

第三节 受力分析与受力图

在进行力学计算时,先要应用有关力、约束和平衡等基本概念对研究物体进行分析,建立起实际物体的抽象化受力模型,这一过程就是受力分析。受力分析方法的要点如下:

1. 取分离体

根据问题的不同要求,先要选定哪个刚体为研究对象,并将研究对象从物体系统中分离出来,而把周围物体对它的作用用相应的力来替代,这个分析过程称为取分离体。应该指出,取分离体实质上是显示物体之间相互作用力的方法,只有把力显示出来,才能应用平衡条件求解。

2. 画受力图

研究对象从物体中分离出来后,把它看作是受力体,然后分析它所受到的力。受力体所受的力,一类是主动力,主要包括重力或其他已知力;另一类是约束反力。约束反力的分析与约束的结构形式、接触面的物理性质及刚体的简单平衡条件等因素有关,一般应根据典型约束的特征来判断。由于约束反力的影响因素较多,所以,在画受力图的过程中,关键在于分析约束反力。最后把受力体所受的每一个力正确地画出来,得到分离体的受力图,简称受力图。

应该指出,受力分析是力学中一种特有的有效分析方法,它是静力学和运动力学中的重要方法。正确地进行受力分析和画出受力图是解决力学问题的前提和关键。

例 1-1 匀质球重 G , 用绳系住, 并靠在光滑的斜面上, 如图 1-13a) 所示。试画出小球的受力图。

解: (1) 取小球为研究对象。

(2) 小球受到的主动力是小球重力 G , 作用于小球的中心 O 。

(3) 小球在 A 、 B 两点与绳和斜面解除约束。 A 点约束属柔体约束, 其反力沿绳的中心线背离小球; B 点约束属光滑面约束, 其反力沿公法线即小球半径方向指向球心。小球的受力图如图 1-13b) 所示。

例 1-2 匀质杆 AB 重量为 G , 支于光滑的地面及墙角间, 并用水平绳 DE 系住, 如图 1-14a) 所示。试画杆 AB 的受力图。

解: (1) 以杆 AB 为研究对象。

(2) 杆受到的主动力即为自重 G , 作用于杆的中点 O 。

(3) 杆在 A 、 D 、 C 三点与约束存在接触。 A 点属光滑面约束, D 点属柔体约束, C 点也属光滑面约束。 A 点反力 N_A 沿公法线即垂直地面向上指向杆, D 点反力沿绳中心线离开杆, C 点反力沿公法线即垂直杆 AB 指向杆。 AB 杆受力图如图 1-14b) 所示。

例 1-3 三角架由 AB 、 BC 两杆用铰链连接而成。销 B 处悬挂重为 G 的物体, A 、 C 两处为固定铰链, 如图 1-15a) 所示, 不计杆自重, 试画出销钉 B 的受力图。

解: (1) 取销钉 B 为研究对象。

(2) 销钉 B 受到的主动力即为物体重力 G 。

(3) 销钉 B 受到杆 AB 、 BC 的铰链约束, 由于杆 AB 和 BC 都不计自重, 两杆都是中间无载

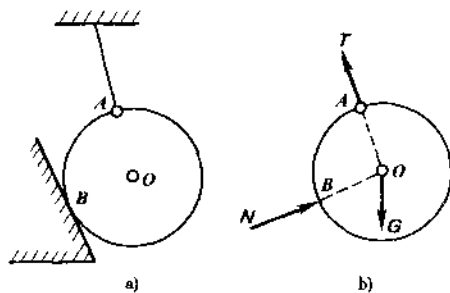


图 1-13

荷作用的二力构件。所以,暂设杆 AB 提供拉力 T_{BA} , 则 T_{BA} 沿 A 、 B 两铰链的连线方向离开 B 点; 暂设杆 BC 提供压力 T_{BC} , 则 T_{BC} 沿 B 、 C 两铰链 DE 连线方向指向 B 点。销钉的受力图如图 1-15b) 所示。

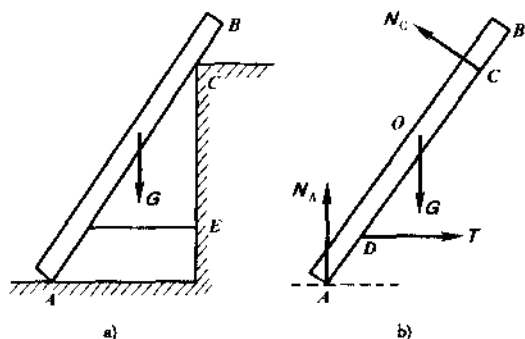


图 1-14

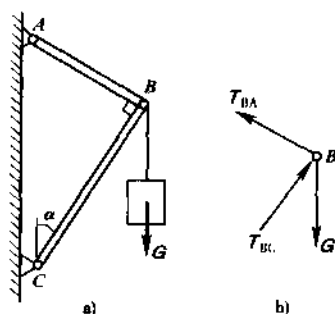


图 1-15

例 1-4 试画出图 1-16a) 曲柄活塞机构中活塞的受力图和图 1-16d) 凸轮机构中推杆的受力图, 并进行比较。

解: (1) 分别取活塞、推杆为研究对象。

(2) 活塞受到的主动力为气缸内气体的压力 P , 推杆受到的主动力为向下的压力 P 。

(3) 连杆在不计重量情况下视为二力构件, 其给予活塞的约束反力 R 沿 AC 连线方向指向 C 点。由于 P 、 R 两力的合力作用, 所以, 活塞只受到右侧滑道 D 处反力 N_D 的作用, 而左侧滑道 B 处无约束力 (图 1-16b)。

(4) 凸轮作用于推杆的反力 N 沿法线方向, 由于 P 、 N 两力的合力的作用, 推杆有倾斜的趋势, 从而导致推杆与滑道在 B 、 D 两点接触, 故有约束反力 N_B 、 N_D (图 1-16c)。

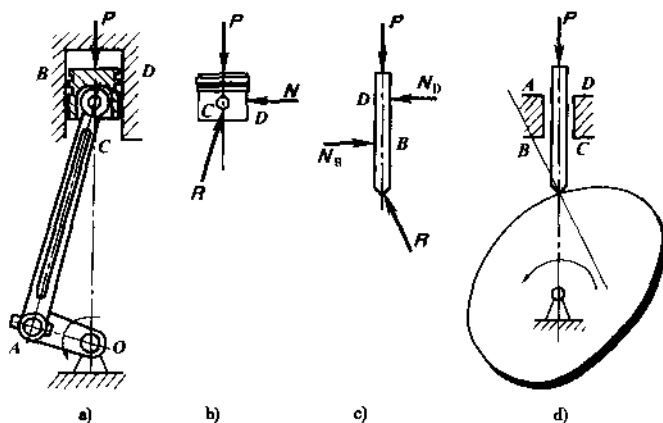


图 1-16

比较两种滑道约束的差别:

(1) 活塞受到的 P 、 R 两力的合力作用线相交于滑道内, 只产生单侧接触;

(2) 推杆受到的 P 、 N 两力的合力作用线相交于滑道外, 产生两点接触。

由上述几例分析可知, 判断约束反力应遵循以下两条原则:

(1) 约束的性质。这里是指约束的结构和物理性质 (如光滑接触面等)。通常的约束总可以归入某类典型约束, 可根据典型约束的反力特征来判断。这是分析约束反力的基本出发点。