

成人高等学校适用教材

机械基础

关孝达 主编

机械工业出版社

内 容 简 介

本书是根据1983年11月审订的职工高等工业专科学校《机械基础》教学大纲编写的,全书共分三篇计二十四章,包括静力学,材料力学、机构与机械零件以及液压传动的一些基本内容及其应用,全部内容总授课时间为90~100学时(不包括实验)。

本书可供职工高等工业专科学校工业企业管理、食品工程、电力和自动化等工科非机械类各专业的教材,也可作为有关工程技术人员和业余自学者学习参考书。

成人高等学校适用教材

机 械 基 础

主 编 关孝达

责任编辑 蔡耀辉

◆

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版营业许可证出字第117号)

河北省保定六中印刷厂印刷

燕赵文化书社发行

◆

开本787×1092 1/16·印张 25·字数 600千字

1987年6月北京第一版·1987年6月保定第一次印刷

印数 0001—3000·定价 5.4元

统一书号: 15033·6725H

前 言

本书是根据1983年11月审订通过的经原教育部批准的职工高等工业专科学校《机械基础》教学大纲编写的。在编写过程中,注意到工科非机械类各专业面广和成人职工学习的特点;力求使本书富有通用性,在内容取舍、例题和习题的选择上尽量照顾各专业的要求;在选材上力求繁简适度、简明易懂,着重讲解清楚基本概念和强调必要的计算方法以及图表的使用等方法,避免过多的理论分析和公式推导;每章后附有一定数量的思考题与习题,供教学使用。在使用本教材时,可根据专业要求和学时数进行调整、取舍;必要时也可在教学过程中作一些补充;带*号的内容可供自学或选择讲授。

本书由关孝达主编,李清源、王德厚、孟景涛为副主编。

参加本书的编写单位有:保定职工大学、唐山大学、上海市杨浦区业余大学、开滦职工大学、华北石油职工大学、张家口市职工大学、及河北农业大学。

参加编写的人员有:安俊杰(第一章、二章),董芬(第三章、四章),孟景涛(第五章、六章),王德厚(第七章、八章、九章、十章),陈绍淇(第十一、十二章、十三章、十四章),孙志信(第十五章、十六章),关孝达、周纪龙(第十八章、二十章),许百勋(第十七章、十九章、二十一章),李清源(第二十二章、二十三章、二十四章)。

全部编写工作是在保定职工大学孙国祉具体组织下进行的,不仅为编写工作提出了基本原则和要求,指导制订了编写大纲,而且在编写过程中提出许多具体意见,并审阅了部分初稿。

本书承华北电力学院梁立德副教授主审,开滦职工大学张文丽为本书描绘了部分插图,特此表示致谢。

由于我们的水平所限,加之时间仓促,错误和疏漏之处在所难免,希望使用本书的师生及读者批评指正。

编 者

1987年4月

目 录

第一篇 工程力学部分

第一章 静力学基本概念和物体受力

分析..... 1

§ 1-1 力的概念..... 1

§ 1-2 静力学公理..... 2

§ 1-3 约束与约束反力..... 6

§ 1-4 物体的受力分析和受力图..... 8

思考题与习题..... 11

第二章 平面汇交力系..... 14

§ 2-1 平面汇交力系合成与平衡的几何法..... 14

§ 2-2 平面汇交力系合成与平衡的解析法..... 19

思考题与习题..... 23

第三章 力矩 平面力偶系..... 26

§ 3-1 力对点之矩..... 26

§ 3-2 力偶 平面力偶的等效性..... 28

§ 3-3 平面力偶系的合成与平衡..... 30

思考题与习题..... 32

第四章 平面一般力系..... 35

§ 4-1 工程中平面一般力系实例..... 35

§ 4-2 力的平移定理..... 36

§ 4-3 平面一般力系的简化..... 37

§ 4-4 平面一般力系的平衡方程..... 41

§ 4-5 物体系的平衡..... 47

• § 4-6 空间力系简介..... 52

思考题与习题..... 59

第五章 轴向拉伸与压缩..... 64

§ 5-1 概述..... 64

§ 5-2 轴向拉伸和压缩时的内力..... 67

§ 5-3 轴向拉(压)时横截面上的应力..... 69

§ 5-4 轴向拉、压时斜截面上的应力..... 72

§ 5-5 轴向拉压变形 虎克定律..... 73

§ 5-6 材料的拉压机械性质..... 75

§ 5-7 硬度..... 80

§ 5-8 冲击韧度..... 81

§ 5-9 轴向拉、压时的强度条件..... 82

§ 5-10 应力集中的概念..... 87

思考题与习题..... 88

第六章 剪切与挤压..... 90

§ 6-1 剪切..... 90

§ 6-2 挤压..... 92

§ 6-3 剪切、挤压强度条件..... 93

思考题与习题..... 97

第七章 圆轴扭转..... 99

§ 7-1 扭转的概念和实例..... 99

§ 7-2 圆轴扭转时的内力..... 100

§ 7-3 薄壁圆筒的扭转..... 105

§ 7-4 圆轴扭转时的应力和变形计算..... 107

§ 7-5 圆轴扭转的强度条件和刚度条件..... 112

思考题与习题..... 116

第八章 弯曲..... 118

§ 8-1 平面弯曲的概念和实例..... 118

§ 8-2 梁横截面上的内力..... 119

§ 8-3 弯矩方程 弯矩图..... 121

§ 8-4 纯弯曲时梁横截面上的正应力..... 126

§ 8-5 梁的弯曲强度条件..... 132

§ 8-6 梁的弯曲变形..... 134

§ 8-7 用叠加法求梁的变形..... 143

思考题与习题..... 147

第九章 圆轴弯、扭组合变形..... 152

§ 9-1 弯曲、扭转组合变形的概念和实例..... 152

§ 9-2 圆轴弯、扭组合变形的强度计

算.....	153
思考题与习题	157
第十章 动载强度概念	159
§ 10-1 动载强度的概念.....	159
§ 10-2 动应力的计算.....	159
§ 10-3 交变应力.....	162
思考题与习题	167
第二篇 机构及机械零件部分	
第十一章 平面机构的运动简图	168
§ 11-1 什么是机构.....	168
§ 11-2 平面机构运动简图.....	171
§ 11-3 平面机构运动确定性的概念.....	172
思考题与习题	175
第十二章 平面连杆机构	177
§ 12-1 平面连杆机构的应用.....	177
§ 12-2 铰链四杆机构的基本型式及其 特性.....	177
§ 12-3 铰链四杆机构演化的型式.....	182
思考题与习题	186
第十三章 凸轮机构和间歇运动机构	187
§ 13-1 凸轮机构的应用和分类.....	187
§ 13-2 从动件的常用运动规律.....	188
§ 13-3 用作图法绘制平面凸轮的轮廓 曲线.....	191
§ 13-4 压力角、基圆半径对凸轮机构 的影响.....	193
§ 13-5 间歇运动机构.....	195
思考题与习题	197
第十四章 机器速度波动的调节和回 转件的平衡	198
§ 14-1 机器速度波动的调节.....	198
§ 14-2 回转件的平衡.....	201
思考题与习题	203
第十五章 机械零件设计概论	204
§ 15-1 机械零件设计的内容和方法.....	204
§ 15-2 机械制造中的常用材料和选用 原则.....	206

§ 15-3 提高金属材料性能的主要方法	210
§ 15-4 机械零件的结构工艺性.....	211
§ 15-5 机械零件的标准化及其意义.....	212
思考题与习题	212
第十六章 螺纹联接和螺旋传动	214
§ 16-1 螺纹的主要参数和分类.....	214
§ 16-2 螺旋副的受力分析、自锁和效 率.....	217
§ 16-3 螺纹联接的基本型式和防松措 施.....	220
§ 16-4 螺栓联接的强度计算.....	224
§ 16-5 螺旋传动.....	229
思考题与习题	232
第十七章 带传动和链传动	233
§ 17-1 带传动.....	233
§ 17-2 链传动.....	248
思考题与习题	256
第十八章 齿轮传动和蜗杆传动	257
§ 18-1 齿轮传动的特点和分类.....	257
§ 18-2 齿廓啮合的基本定律.....	258
§ 18-3 渐开线及其性质.....	259
§ 18-4 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部 分名称及基本尺寸.....	261
§ 18-5 一对渐开线齿轮的啮合.....	263
§ 18-6 渐开线齿轮的范成切齿原理和 根切现象.....	265
§ 18-7 轮齿的失效形式.....	268
§ 18-8 齿轮的材料和热处理.....	270
§ 18-9 直齿圆柱齿轮传动的受力分析 和轮齿强度计算.....	270
§ 18-10 斜齿圆柱齿轮传动的特点、参 数和尺寸计算.....	278
§ 18-11 直齿圆锥齿轮传动的特点、参 数和尺寸计算.....	281
§ 18-12 齿轮的结构设计.....	284
§ 18-13 蜗杆传动.....	287
§ 18-14 轮系及其传动比计算.....	292
思考题与习题	297
第十九章 轴和轴毂联接	299
§ 19-1 轴的分类和轴的材料.....	299

§ 19-2 轴的结构设计.....	300	§ 22-2 液体的压力和流量.....	339
§ 19-3 轴的强度计算.....	304	§ 22-3 液压油的选择.....	342
§ 19-4 键联接.....	309	思考题与习题	342
思考题与习题	313	第二十三章 液压元件	343
第二十章 轴承	314	§ 23-1 齿轮油泵和齿轮油马达.....	343
§ 20-1 滑动轴承.....	314	§ 23-2 其他型式的油泵和油马达.....	348
§ 20-2 滚动轴承.....	320	§ 23-3 液压油缸的类型和特点.....	353
§ 20-3 滑动轴承和滚动轴承的比较.....	330	§ 23-4 液压控制阀的分类和作用.....	357
思考题与习题	331	思考题与习题	371
第二十一章 联轴器和离合器	332	第二十四章 液压基本回路和液压传	动系统
§ 21-1 联轴器.....	332	§ 24-1 速度控制回路.....	372
§ 21-2 离合器.....	334	§ 24-2 压力控制回路.....	376
• § 21-3 制动器.....	335	§ 24-3 液压传动系统举例.....	379
思考题与习题	336	思考题与习题	385
第三篇 液压传动部分			
第二十二章 液压传动的基础知识 ...	337		
§ 22-1 液压传动的一般知识.....	337		

第一篇 工程力学部分

第一章 静力学基本概念和物体受力分析

静力学是研究物体在力系作用下平衡条件的科学。平衡是物体机械运动的一种特殊形式；静力学的平衡是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。例如桥梁、房屋、机床的床身相对于地球静止，是处于平衡状态；匀速直线运动的飞机也是处于平衡状态。

所谓力系，是指同时作用于一个物体的若干力。如果这些力的作用效果，使物体处于平衡状态，则该力系称为平衡力系。平衡力系所需要的条件称为力系的平衡条件。

由实践知道，物体在力的作用下总是产生不同程度的变形，但在很多实际工程中，物体的微小变形对物体的平衡问题影响甚微，可忽略不计，为使问题简化，则认为物体是不变形的。因此，把在力的作用下保持形状和大小不变的物体称为刚体。实际上绝对不变形的物体是没有的，所以刚体是一种理想化的力学模型，是一个抽象的概念。在静力学中所研究的物体仅限于刚体，故称为刚体静力学。

静力学的任务主要研究以下三个问题

1. 物体的受力分析；
2. 力系的简化；
3. 力系的平衡。

本章主要介绍静力学的基本概念、静力学公理及物体的受力分析。

§ 1-1 力的概念

一、力的定义

力的概念是人类在长期的生产实践和日常生活中建立起来的，对力的认识有一个由感性认识到理性认识的过程。起初，人们在推、拉、提、扛等动作中，由于肌肉紧张感受到力的作用。例如，用手推车，提重物、拉弹簧等，我们就说，手对车、重物和弹簧作用了力，从而使小车、重物改变了运动状态，使弹簧产生了变形。随着科学和生产的发展，通过进一步实践认识到，力的作用不仅存在于人和物体之间，而且物体和物体之间也产生力的作用。例如，物体能够自由下落是物体受到地球引力，锻锤能锻压工件是因为锻锤给工件压力。综上所述，力的定义为：力是物体间的相互机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生变化或使物体产生变形。力不能脱离物体而存在。使物体机械运动状态发生变化的效应称为力的外效应，力使物体发生变形的效应称为力的内效应。因为理论力学研究的是刚体，所以只研究力的外效应（力的内效应在材料力学中研究）。因

此, 仅在理论力学范畴内力的定义为: 力是物体间相互机械作用, 这种作用使物体的机械运动状态发生变化。

二、力的三要素

实践证明, 力对物体的作用效果决定于三个要素: (1) 力的大小, (2) 力的方向, (3) 力的作用点。很明显, 改变其中任一个因素, 力对物体作用效果就随之变化。如图 1-1-1 所示, 用杠杆 1 撬重物 2, 作用在杠杆上的力 P 其大小、方向或作用点的位置改变 (如改为虚线所示) 产生的效果就不同。

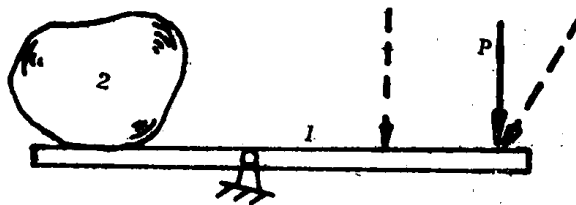


图 1-1-1

力是有大小和方向的量, 因此, 力是矢量。力可以用一个有方向的直线段表示。如图 1-1-2 所示, 矢量 $\overline{AB}$ 表示作用在物体上的力 F , $\overline{AB}$ 的长度表示 F 力的大小, 矢量的始点 A (或终点 B) 表示力的作用点, 矢量箭头指向表示 F 力的方向, 通过矢量 $\overline{AB}$ 的直线 (图 1-1-2 中虚线 ab ,) 表示力的作用线。力矢量通常用黑体字母 F 、 P 等表示, 力的大小用普通字母 F 、 P 表示。

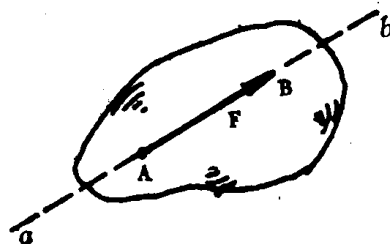


图 1-1-2

为测定或计算力的大小, 则需要规定力的单位, 在国际单位制 (SI) 中, 以 “牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)” 为单位; 在工程单位制中, 以 “公斤力 (kgf) 或千公斤力即吨力 (tf)” 为单位, 牛顿和公斤力的换算关系是:

$$1 \text{ kgf} \approx 9.8 \text{ N}$$

§ 1-2 静力学公理

静力学公理, 是人类在长期生产和生活实践中将所积累的经验加以归纳总结而建立起来的, 又经过实践的反复检验, 证明符合客观规律, 被人们所公认。它概括了力的基本性质, 是建立静力学的理论基础。

〔公理一〕 二力平衡公理

最简单的平衡力系, 由两个力组成, 如图 1-2-1 a 所示杆 AB , 在其两端 A 、 B 点分别受作用力 F_A 和 F_B , 实践证明, 要使杆平衡, 这两个力必须大小相等、方向相反, 而且作用在同一直线上。再如图 1-2-1 b 所示, 用钢丝绳匀速提升重物, 重物所受的重力 G 与钢丝绳对重物的拉力 T , 也必须大小相等、方向相反, 作用在同一条直线上。大量实践得出了一个结论: 受两个力作用的刚体处于平衡状态其充分和必要的条件是, 这两个力的大小相等、方向相反, 且作用在同一直线上 (简称等值、反向, 共线)。

必须指出, 对于非刚体而言, 二力平衡条件只是必要条件, 不是充分条件。例如,

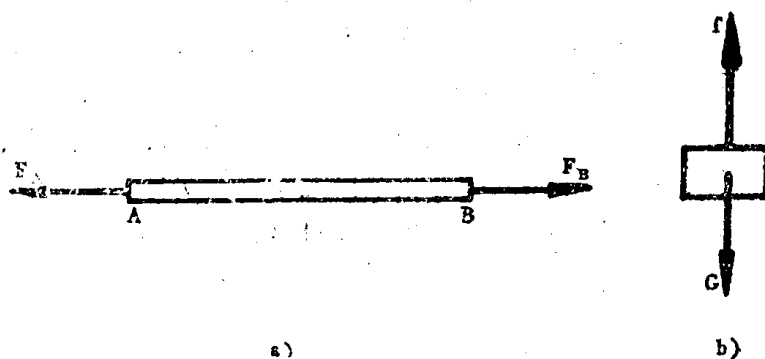


图 1-2-1

一条软绳两端受到等值、反向、共线的两个拉力则绳处于平衡，但若受到等值、反向、共线的两个压力则不能平衡。

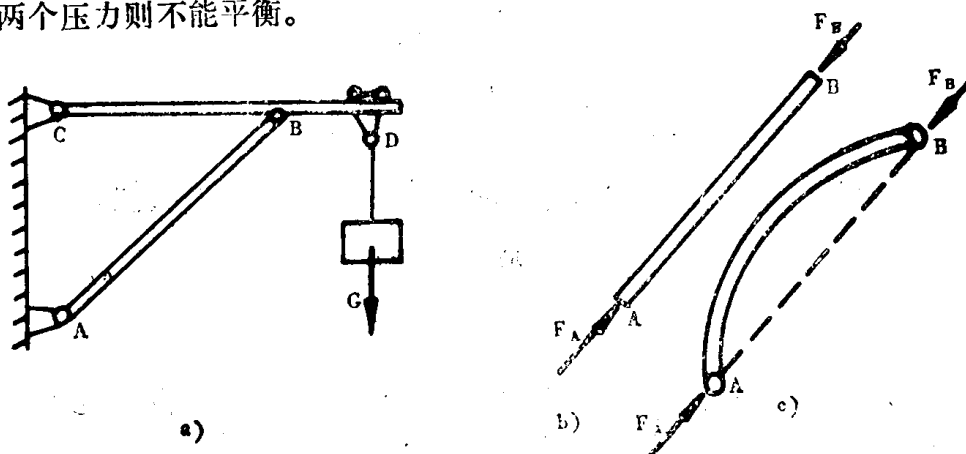


图 1-2-2

受两个力作用而处于平衡的物体，称为二力体（若物体是杆状称为二力杆）。两力的作用线必沿二力作用点的连线。应用二力杆的概念，能够很容易判定某些杆件的受力方向。如图 1-2-2 a 中起重机架，当不计 AB 杆重量时，AB 杆就是二力杆，二力作用在 A、B 两点，二力作用线沿 A、B 点的连线，如图 1-2-2 b 所示，若 AB 杆为曲杆（如图 1-2-2 c 所示），其二力作用线仍沿 A、B 两点连成的直线，而不能沿曲杆 AB 的轴线方向。

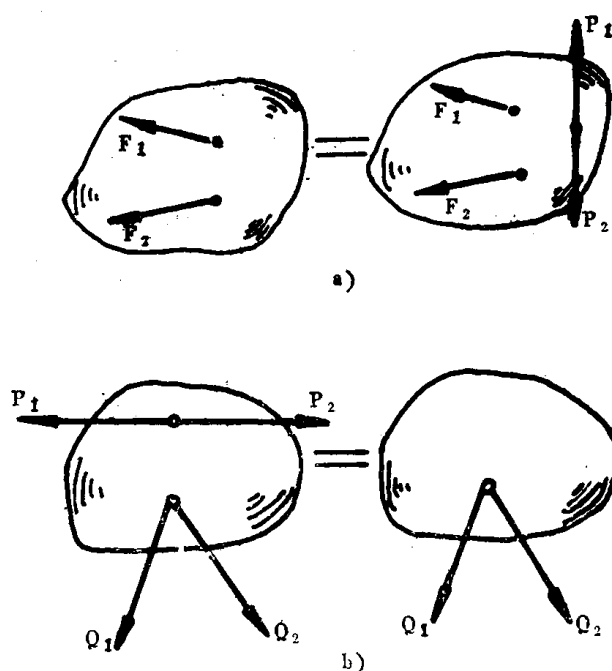


图 1-2-3

〔公理二〕 加减平衡力系公理

在已知力系中加上或减去任意

一个平衡力系并不会改变原力系对刚体的作用效果。如图 1-2-3 a 所示, 在力系 F_1 、 F_2 作用的刚体上加上平衡力系 P_1 、 P_2 以后, 力系 F_1 、 F_2 、 P_1 、 P_2 对刚体的作用与原力系 F_1 、 F_2 的作用等效。同样, 如图 1-2-3 b 所示, 在力系 Q_1 、 Q_2 、 P_1 、 P_2 作用的刚体上减去平衡力系 P_1 、 P_2 后, 力系 Q_1 、 Q_2 仍与原力系 Q_1 、 Q_2 、 P_1 、 P_2 作用等效。换句话说, 若两个不同力系比较, 只相差一个或几个平衡力系时, 那么这两个力系对刚体的作用是相同的, 它们可以等效替换。此公理对研究力系的简化问题很重要。

根据以上公理可有以下推论:

〔推论一〕 力的可移性原理

作用于刚体上的力可沿其作用线移到刚体的任何位置, 而不改变此力对刚体的作用效果。力的这种性质称为力的可移性原理。

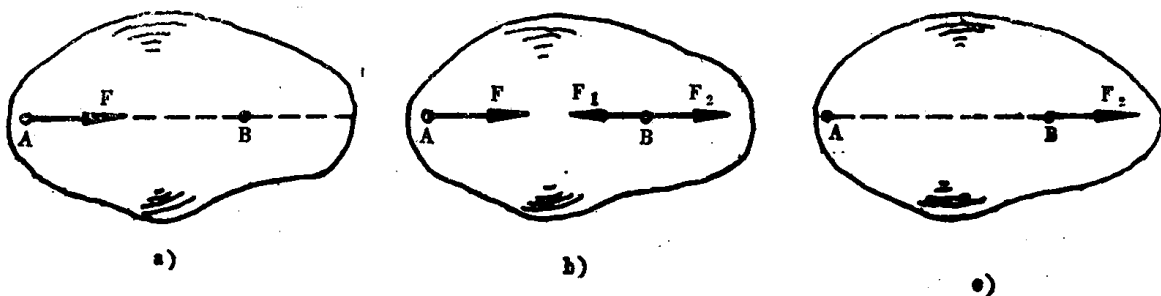


图 1-2-4

证明: (1) 设力 F 作用在刚体上 A 点, B 为力作用线上任一点。如图 1-2-4 a 所示。(2) 根据加减平衡力系公理在 B 点加一个平衡力系 F_1 、 F_2 , 且使 $F_2 = -F_1 = F$ 如图 1-2-4 b 所示。(3) 由于 F_1 与 F 等值、反向、共线即组成平衡力系, 根据加减平衡力系公理, 可将 F_1 、 F 去掉, 于是只剩作用在 B 点的 F_2 了, 且 F_2 与 F 等值、同向、共线, 如图 1-2-4 c 所示, 这就相当于力 F 由 A 点移到 B 点了。

必须指出: 力的可移性原理只适用于刚体, 不适用变形体, 而且力只在该刚体内沿其作用线移动, 不能移到另一刚体上去。

〔公理三〕 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力, 其合力也作用于该点, 合力的大小和方向由此两力

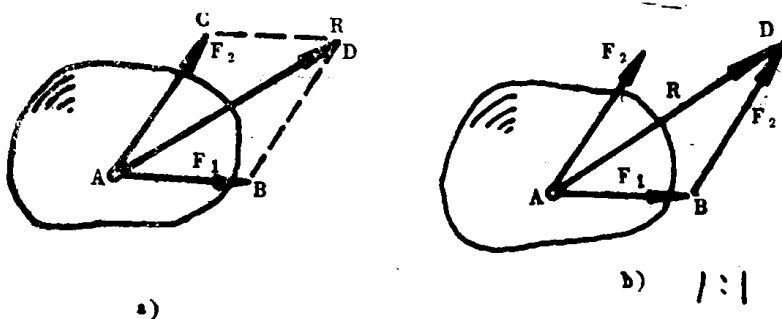


图 1-2-5

为邻边所作的平行四边形的对角线表示。如图 1-2-5a 所示,作用在刚体上 A 点的两个力 F_1 和 F_2 以矢量 $\overrightarrow{AB}$ 和 $\overrightarrow{AC}$ 表示,则以平行四边形 $ABDC$ 的对角线表示的矢量 $\overrightarrow{AD}$,即表示 F_1 与 F_2 的合力 R 。求合力也可用力三角形法则,如图 1-2-5b 所示,由代表 F_1 矢量 $\overrightarrow{AB}$ 的末端 B 作矢量 $\overrightarrow{BD}$,其方向和大小与力 F_2 相同。则三角形另一边 $\overrightarrow{AD}$ 矢量就是 F_1 和 F_2 的合力 R 。

实际上用力平行四边形法则和力三角形法则求合力都是矢量加法,力 F_1 和 F_2 的合力为 R ,以矢量式表示:即 $F_1 + F_2 = R$

如图 1-2-6 所示,利用平行四边形法则,可将一个已知合力分解为作用在同一点上的两个分力。但由于代表合力的一条平行四边形对角线可作出无数多个平行四边形,如 $ABDC$, $AB'DC'$... 等。因此,若无附加条件,一个力分解为两个分力不是唯一解。在工程中常把一个力沿两个给定方向分解;若分力方向未知时,通常将力沿两个相互垂直的方向分解,称为正交分解,如图 1-2-6 所示将合力 R 分解为 F_1 、 F_2 两个分力。

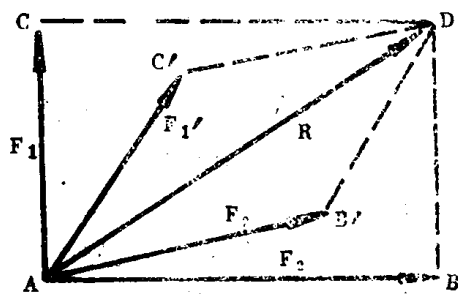


图 1-2-5

〔推论二〕 三力平衡汇交定理

刚体受共面而不平行的三力作用而平衡时,则三力的作用线必汇交于一点。

证明: 如图 1-2-7 所示,刚体上有共面平衡力系 F_1 、 F_2 、 F_3 ,分别作用在 A、B、C 三点,由力的可移性原理,将 F_1 、 F_2 移到二力作用线的交点 O。再根据公理三把 F_1 、 F_2 合成为力 R ,则刚体在力 F_3 和 R 作用下平衡。根据二力平衡公理,力 F_3 和 R 必等值、反向、共线,因此力 F_3 必通过 O 点。受三力作用而平衡的刚体,当已知其中两个力的方向及第三力的作用点时,用三力平衡汇交定理可确定第三力作用线方向。

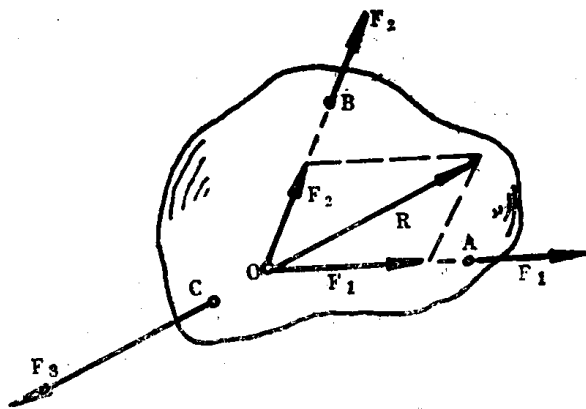


图 1-2-7

〔公理四〕 作用与反作用公理

两物体相互作用时,作用力和反作用力总是同时存在,且等值、反向、共线,分别作用于两个相互作用的物体上。

该公理说明了力总是成对出现。有甲对乙的作用力,必有乙对甲的反作用力。但必须注意,作用力和反作用力绝不是一对平衡

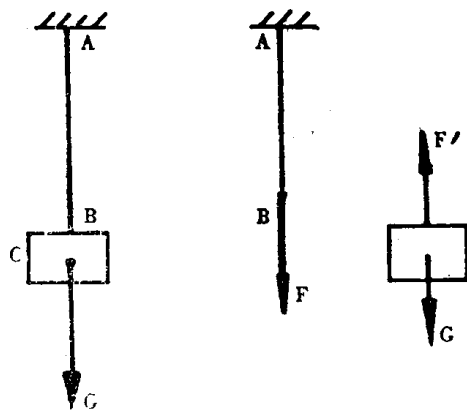


图 1-2-8

力。如图 1-2-8 所示，绳 AB 吊起重物 C，重物对绳 AB 产生向下的拉力 F ，而绳对重物产生向上的拉力 F' ，且 F 与 F' 等值、反向、共线，但分别作用在绳和重物上，是一对作用力和反作用力。对重物来说，它受绳向上拉力 F' 和向下的重力 G 的作用而平衡，故 F' 和 G 是等值、反向、共线的一个平衡力系。

总之，公理一是说明作用在同一个物体上两个力的平衡条件，而公理四则描述两物体间相互作用力的关系。

§ 1-3 约束与约束反力

在空间不受限制而自由运动的物体称为自由体；如飘动在空中的气球就是自由体。通常，物体总以各种形式与其他物体互相联系，互相制约，而不能自由运动，这种运动受限制的物体称为非自由体。例如：机械中轴受轴承的限制，它只能旋转；刨床的滑枕受床身限制，只能沿导轨移动；吊灯不能下落，是因受到吊链的限制。对物体运动起限制作用的周围物体称为约束。轴承是轴的约束、床身是滑枕的约束、吊链是吊灯的约束。

使物体产生运动（或运动趋势）的力称为主动力。限制物体运动的力叫做约束反力。约束反力方向总是与约束所限制的物体运动方向相反，据此可以确定约束反力的作用线位置和指向。如图 1-3-1 所示，吊灯受的重力 G 是主动力，它使灯有向下运动的趋势。而吊链是灯的约束，灯受吊链的拉力 T 则是约束反力，其方向与灯向下运动的方向相反。

下面介绍实际工程中几种基本约束类型和约束反力的确定方法：

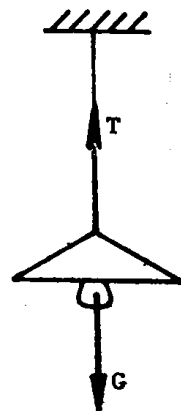


图 1-3-1

一、光滑接触面约束

当两物体相接触的面很光滑，摩擦力可忽略不计时，这类约束不限制物体沿接触面公切线方向运动，只限制物体沿接触面公法线方向的运动，故光滑面的约束反力是过接触点沿接触面的公法线而指向受力物体如图 1-3-2 所示。

二、柔性约束

由柔性的绳索、胶皮带和链等柔性体形成的约束叫柔性约束。由于柔性体只能承受拉力，所以其约束反力作用在接触点，其方向沿柔性体中心线背离受约束物体。如图 1-3-3 a 所示， T_1 、 T_2 即绳 AB 和 CD 对重物的约束反力；图 1-3-3 b 中 T_1 、 T_2 和 T_1' 、 T_2' 即为皮带给皮带轮的约束反力。

三、圆柱铰链约束

凡是两物体（构件）以圆柱形铰销连接在一起构成的约束称为圆柱铰链约束。如图 1-3-4 a 所示。这种约束限制两构件在垂直销子轴线方向的运动，不限制构件绕销子轴线的转动。若被连接的两构件都是运动的则称为中间铰链如图 1-3-4 b 所示，若两构件之一是固定的则称为固定铰链支座，如图 1-3-4 c 所示。以上两种铰链由于圆

柱销与孔之间是光滑接触面，故其约束反力 N 的作用线应沿接触面法线，但因接触点随时而变化，所以其约束反力方向也随之而变，只是其作用线一定通过铰链中心而作用线位置不能确定，如图 1-3-4 d 所示，所以在受力分析中，常将约束反力 N 分解为两个相互垂直的分力 N_x 和 N_y ，如图 1-3-4 e、f 所示，实际中的滑动轴承和滚动轴承都可看做圆柱形铰链。

如果固定铰链支座和支承面之间装上辊轴（或滚轮）则称为活动铰链约束，如图 1-3-4 g 所示，因为这种约束允许构件沿支承面移动，只限制构件沿垂直支承面方向移动。所以其约束反力 N 通过铰链中心并与支承面垂直。

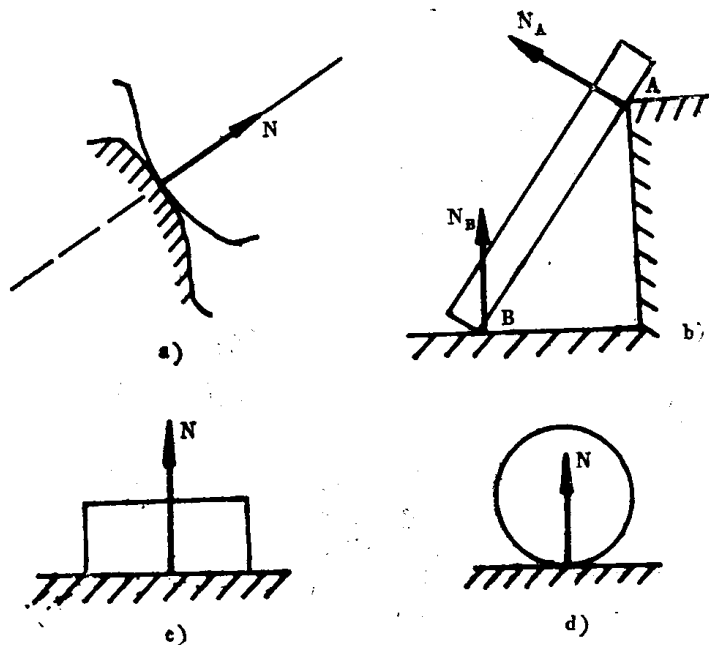


图 1-3-2

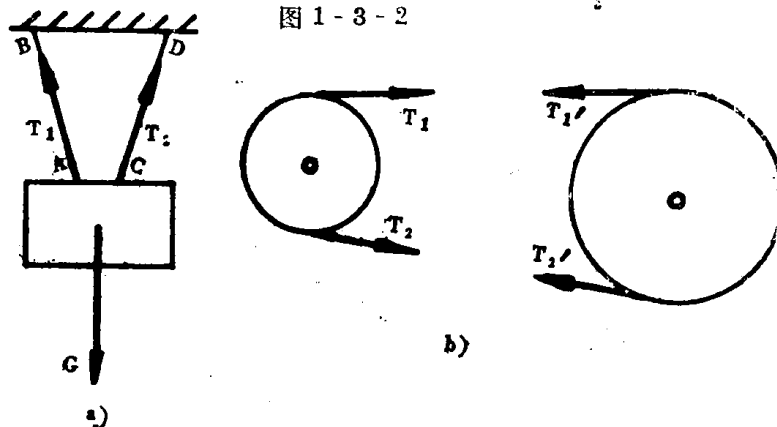


图 1-3-3

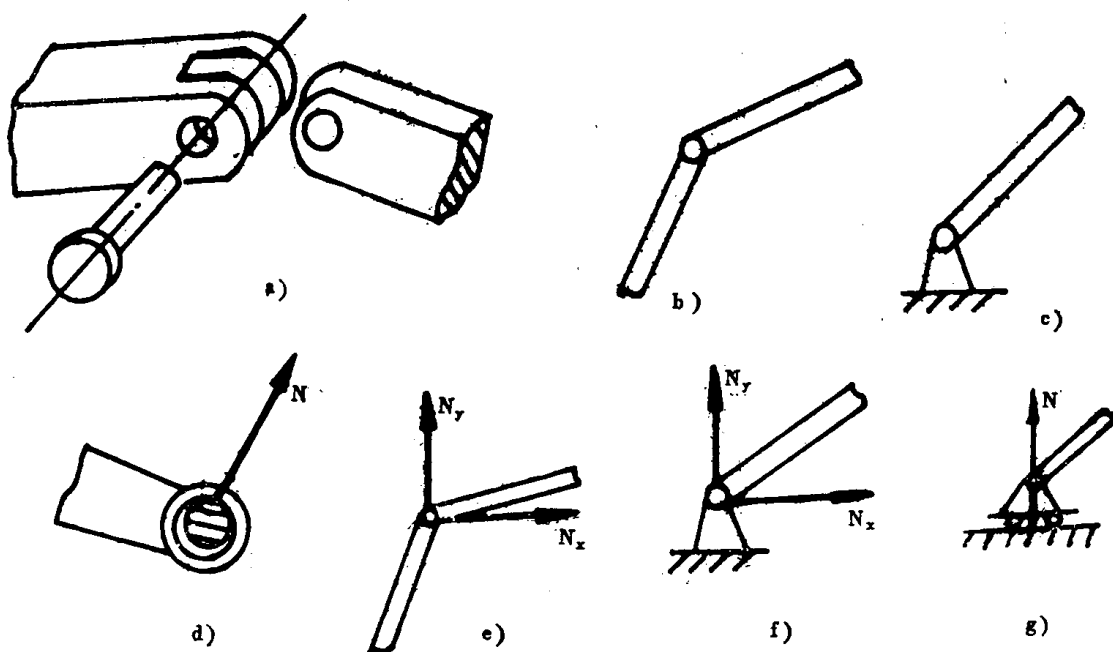


图 1-3-4

四、固定端约束

在实际工程中,还有一种约束称为固定端约束,例如夹在刀架上的车刀,车床尾架上的顶针,插入楼墙内的阳台等,这些实例可简化为一物体插入另一物体中(图1-3-5a),插入端则称为固定端。固定端约束使被约束物体既不能移动也不能转动,其约束反力比较复杂(图1-3-5b),但均可简化为水平约束反力 N_x 、垂直约束反力 N_y 以及一个约束反力偶 m_A (图1-3-5c)。

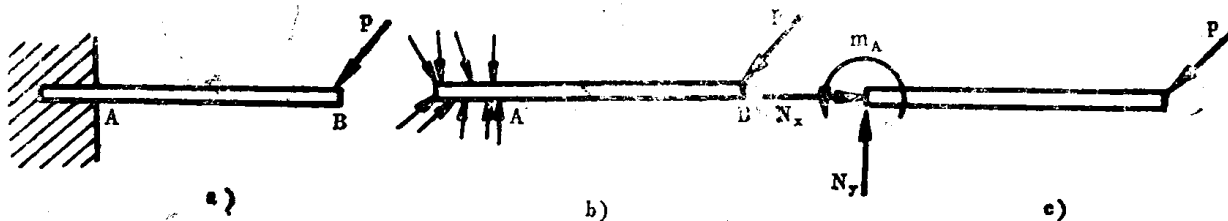


图 1-3-5

§ 1-4 物体的受力和受力图

在工程结构和机械中,为了根据已知力求出未知力,首先要搞清楚物体受哪些力、每个力的大小、方向和作用位置。分析物体的受力过程称为物体的受力分析。为研究某物体的受力情况,必须把被研究的那个物体从周围物体的联系中分离出来单独画出,即解除周围物体对它的约束,这个被分离出来的物体称为分离体或研究对象;然后画出分离体上所受的全部主动力和约束反力,这个表示物体受力的简明图形称为受力图。画受力图是解决力学问题的重要步骤,举例如下:

例 1-4-1 用绳 AB 和 CB 将灯吊在空中,如图 1-4-1a 所示,试画出灯的受力图。

解 以灯为分离体并画出其简图。在分离体上画出主动力即灯重 G 。绳 AB 和 BC 是柔性约束,所以其约束反力 T_A 和 T_C 作用在 B 点沿绳背离分离体,灯的受力图如图 1-4-1b 所示。

例 1-4-2 在图 1-4-2a 所示的颞式碎石机中,石块重量为 G ,设石块与两颞板间为光滑接触面,试画出石块的受力图。

解 以石块为分离体,画出主动力即石块重量 G ,A、B 点受光滑接触面约束,其约束反力 N_A 、 N_B 应过接触点沿光滑接触面的公法线指向分离体,其受力图如图 1-4-2b 所示。

例 1-4-3 如图 1-4-3a 所示是由杆 AD、CD 和重为 G 的球组成的系统。试画出下列分离体的受力图:(1) 杆 AD、CD 和重球系统 (2) 杆 AD、CD 系统。(3) 杆 CD, (4) 杆 AD, (5) 重球

解 (1) AD、CD 和重球系统:A、C 为圆柱铰链约束,其约束反力 N_A 和 N_C 应通过铰链中心,但方向未定,可分解为 N_{Ax} 、 N_{Ay} 和 N_{Cx} 、 N_{Cy} ;B 点为光滑接触面约束,约束反力 N_B 过 B 点沿接触面公法线指向重球,Q、P、G 为主动力(图 1-4-3b)。

(2) CD 和 AD 杆系统:F 点为光滑接触面约束,约束反力 N_F 过 F 点沿接触面公法线指向

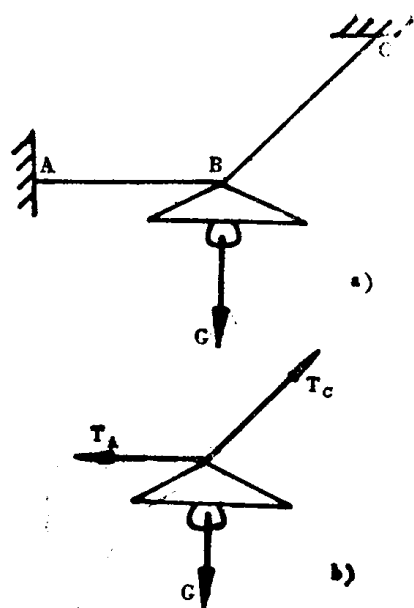


图 1-4-1

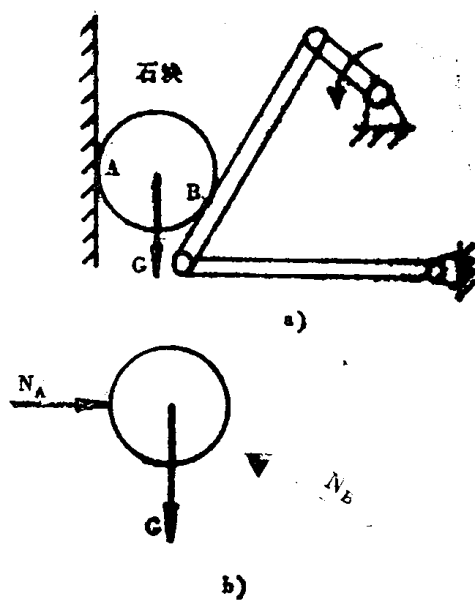


图 1-4-2

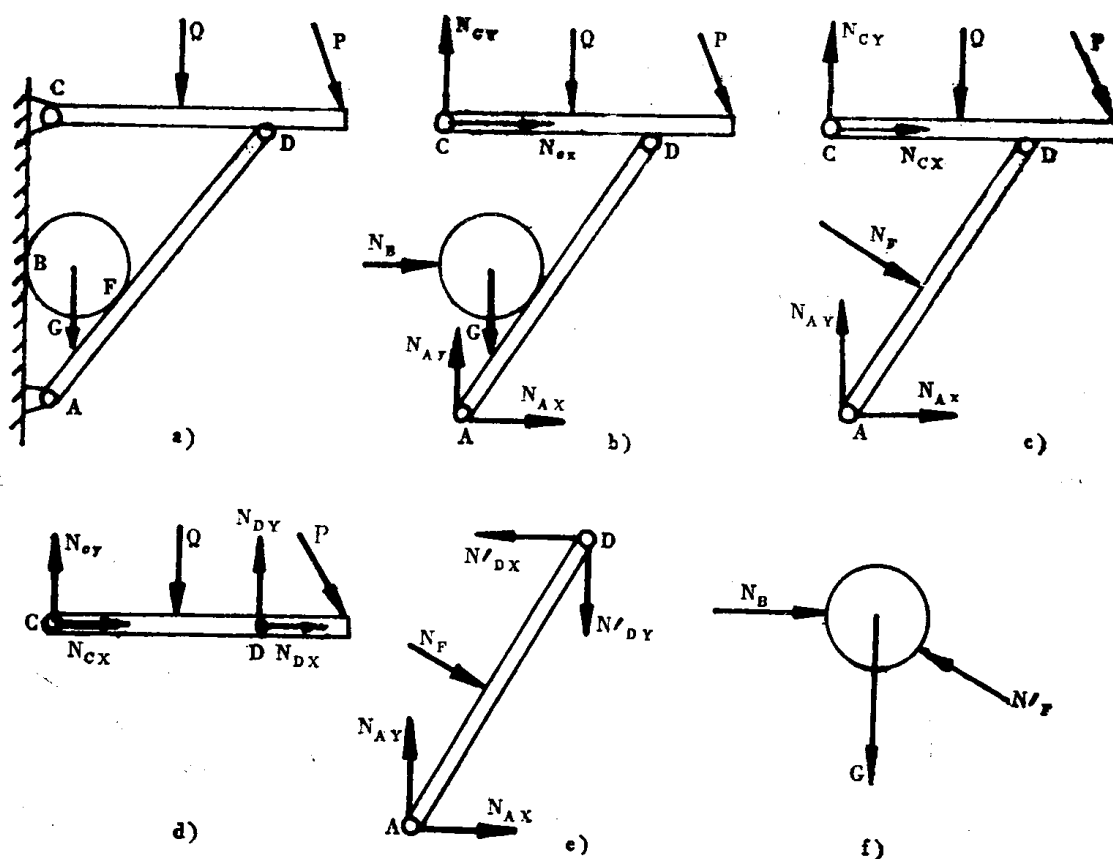


图 1-4-3

AD 杆，其余作用力同 (1)。如图 1-4-3 c 所示。

(3) CD 杆：主动力为 Q 和 P ，C 和 D 是铰链约束，其约束反力分解为 N_{Cx} 、 N_{Cy} 和 N_{Dx} 、 N_{Dy} 。

(4) 杆 AD：A 和 F 处的约束反力同 (2)，D 铰链的约束反力 N_D 分解为 N'_{Dx} 和 N'_{Dy} (N'_{Dx} 和 N'_{Dy} 与 N_{Dx} 和 N_{Dy} 分别为作用力和反作用力的关系)。

(5) 重球: 主动力为球的重量 G , B 处约束反力为 N_B , F 处的约束反力为 N'_F (N'_F 与 N_F 是作用力与反作用力关系)。

杆 CD 、杆 AD 和重球其受力图分别如图 1-4-3 d、e、f 所示。

例 1-4-4 如图 1-4-4a 所示三铰拱桥, A 、 B 、 C 处均为铰链连接, 拱的自重不计, 在 BC 拱上作用外力 P 。试分别画出 AC 拱和 BC 拱的受力图。

解: (1) 取 AC 拱为分离体, 因为 AC 拱是二力体, 而且该拱受的是压力而不是拉力, 所以在 C 铰链和 A 铰链所受的约束反力 N_C 和 N_A 通过各自的铰链中心, 且 N_C 与 N_A 等值、反向、共线, 如图 1-4-4b 所示。

(2) 取拱 BC 为分离体, 画出主动力 P , C 处约束反力 N'_C 通过铰链中心, 且与 N_C 等值、反向、共线是一对作用力和反作用力。 B 处为固定铰链约束, 其约束反力可分解为 N_{BX} 、 N_{BY} , 故其受力图如图 1-4-4c 所示。但考虑到 BC 拱上作用力为主动力 P 和约束反力 N'_C 、 N_B 三个力而平衡, 故可用三力平衡汇交定理确定约束反力 N_B 。力 P 和约束反力 N'_C 相交于 M 点, 则约束反力 N_B 的作用线必通过 M 点, 其指向由平衡条件确定(见以后章节), 所以 BC 拱的受力图可如图 1-4-4d 所示。

例 1-4-5 图 1-4-5a 所示梯子, 由 AB 和 BC 两部分用铰链 B 连接而成, 梯子在 A 、 C 处与光滑地面接触, 在 D 、 E 两点用绳将两部分连接起来, 人站在梯子上重量为 G 。试分别画出整个系统、梯子 AB 部分、 BC 部分和绳子 ED 的受力图。

解: (1) 整个梯子系统: 主动力为人体重量

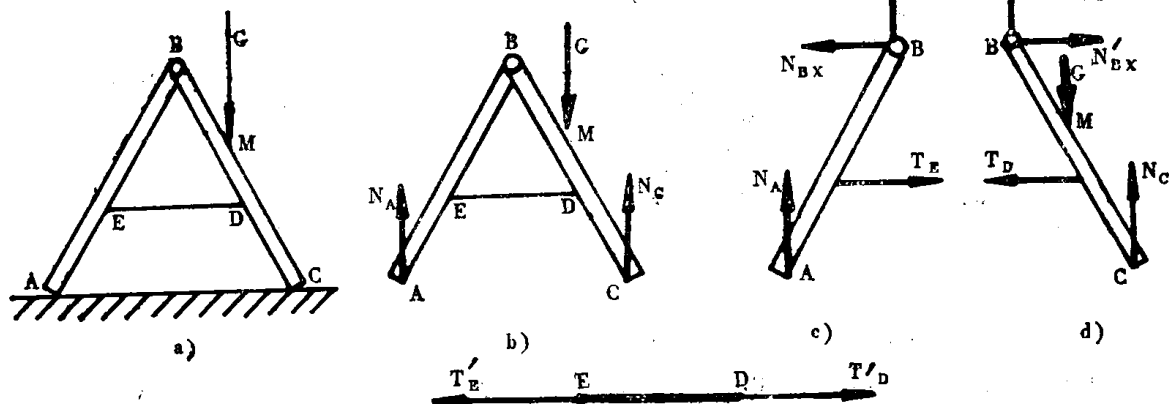


图 1-4-5

G, A、C 处约束反力 N_A 、 N_C 应垂直接触面向上 (图 1-4-5 b)。(2) 梯子 AB 部分: B 为圆柱形铰链, 其约束反力 N_B 应分解为 N_{BX} 、 N_{BY} , E 处为绳子的柔性约束, 其约束反力 T_E 作用在 E 点沿绳而背离梯子 AB, A 处约束反力为 N_A (图 1-4-5 c)。(3) 梯子 CB 部分: B 处铰链的约束反力可分解为 $N_{B'X}$ 、 $N_{B'Y}$, 它们分别与 N_{BX} 、 N_{BY} 互为作用力和反作用力。D 点为柔性约束反力 T_D , 它和 T_E 等值、反向、共线。C 点为光滑接触面, 约束反力为 N_C , M 点有主动力 G (图 1-4-5 d)。

(4) 绳 DE: 绳子在 E、D 两点的约束反力, 即梯子对绳的拉力 T_D' 、 T_E' , 因绳子为二力体, 且只能受拉力, 故 T_D' 与 T_E' 为等值、反向、共线的一对平衡力, 而且 T_D' 、 T_E' 又分别与 T_D 和 T_E 互为作用力和反作用力。(图 1-4-5 e)

通过以上典型例题分析, 画受力图应注意以下几点:

1. 画受力图时必须明确研究对象, 解除周围的约束, 取出分离体画出简图, 分离体可以是一个物体, 也可能是几个物体的组合系统, 这要根据受力分析的需要而定。

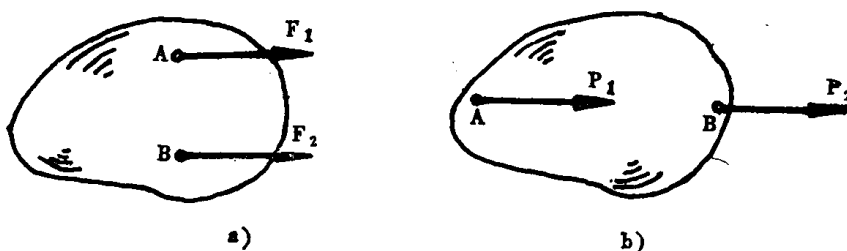
2. 在分离体上画出所有的主动力和约束反力, 各约束反力的作用线位置和方向要根据约束的类型确定, 绝不能主观推测。

3. 若分离体为二力体, 应按二力平衡条件并考虑该物体受拉还是受压来确定二力的方向 (如图 1-4-4 b); 若分离体是三力构件, 可借助三力平衡汇交定理确定力的方向 (如图 1-4-4 d)。

4. 画分离体受力图时, 相互接触的各物体间的相互作用力, 按作用和反作用公理处理, 如图 1-4-4 (b) (c), 当 N_C 确定后可根据 N_C' 与 N_C 互为作用力和反作用力的关系来确定约束反力 N_C' 。

思考题与习题

1-1 两个力相等的条件是什么? 在图示 a 和 b 中, 力 F_1 和力 F_2 大小相等, 力 P_1 和力 P_2 大小



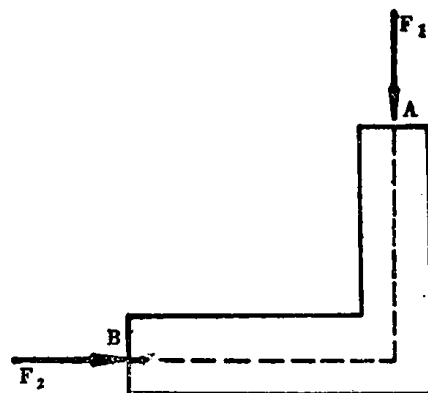
题 1-1 图

相等, 试分别回答 F_1 、 F_2 及 P_1 、 P_2 对刚体的作用效果是否相同?

1-2 如图所示, 在直角形构件上作用力 F_1 和 F_2 大小相等, 能否使构件平衡? 为什么?

1-3 在图示支架中, 能否将作用在 B 点的 F_1 力沿其作用线移到 C 点? 又能否将作用在 M 点的 F_2 力沿作用线移到 M' 点? 为什么?

1-4 能否说分力一定比合力小? 举例说明。如图所示杆 AB 和 CB 相同且对称, 试问当铅垂外力 G 和杆长度不变时, α 角变小后, AB 和 BC 杆的受力有什么变化?



题 1-2 图

1-5 如图所示, 三个球各重为 G, 试画出 A、B、C、D、E、F 各接触点两物体间各对作用力