

ENGINEERING MECHANICS

工程力学

西安工业学院 西安理工大学 西安电子科技大学 合编

顾致平 王双青 主编

陕西科学技术出版社

高等学校教材

工程力学

顾致平* 王双青* (*主编)
黄一红 刘协会 李农胜
朱西平 师俊平

陕西科学技术出版社

(陕)新登字第 002 号

内 容 简 介

本书是根据国家教委 1995 年 10 月颁发的高等学校工科工程力学课程教学大纲,并参照少学时理论力学、材料力学教学大纲编写的。可作为一般高等工科院校工程力学课程及少学时理论力学、材料力学课程的教材,也可作为一般高等工科院校普通和成人专科工程力学、理论力学、材料力学课程的教材,还可供有关工程技术人员参考。

本书将原属理论力学和材料力学两门课程的内容有机融为一体,分成四个板块,即静力分析、运动与动力分析、静应力和静变形分析、动应力分析,形成完整且层次清晰的体系。全书共二十章,外加两个附录,其中附录 I 介绍计算机在工程力学中的应用,带“*”号部分为选修内容。

高等学校教材

工程力学

顾致平 王双青 主编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

西安地质学院印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 27.25 印张 65 万字

1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—3000

ISBN7—5369—2543—3/O·74

定 价:22.80 元

序 言

工程力学是高等工科院校开设的一门技术基础课程。本书是根据国家教委 1995 年 10 月颁发的高等学校工科“工程力学教学大纲”，参照少学时“理论力学教学大纲”和少学时“材料力学教学大纲”，并在调研有关高等工科院校的教学经验和总结编者多年来在工程力学、理论力学、材料力学课程教学实践中的经验与体会的基础上编写而成的。可作为一般高等工科院校工程力学课程及少学时理论力学、材料力学课程的教材，也可作为一般高等工科院校普通和成人专科工程力学、理论力学、材料力学课程的教材。

本书将原来分属于理论力学和材料力学两门课程的教学内容有机融合在一起，分成四个板块，即静力分析、运动与动力分析、静应力和静变形分析、动应力分析，形成了一个比较完整、协调且层次清晰的体系。全书共二十章，外加两个附录，它包括了全日制本科少学时理论力学和材料力学的全部内容，其中带有“*”的部分为选修内容。即使是基本内容，也不一定要全部讲授，各院校各专业可根据教学需要选择不同的板块或对有关章节作适当选取和调整，从而适用于不同的教学对象和不同的教学时数。

根据工程力学学科近年的发展状况，本书采用并拓展了一些新颖的基本概念和内容。另外，考虑到当今工程技术中复杂力学问题的解决已离不开电子计算机，故在本书附录 I 中增加了“计算机在工程力学中的应用”的内容，专门介绍计算机分析工程力学问题的方法，其目的是使学生在三年或四年的学习中，对计算机知识的学习和应用不断线，并初步具有利用计算机解决工程实际问题的能力，从而使学生兼备专业基础和计算机知识。

参加本书编写的有：李农胜（第一、二、三章）、师俊平（第四、五章）、王双青（第六、七、八章）、朱西平（第九、十章）、黄一红（第十一、十九、二十章、附录 II）、顾致平（第十二、十四、十五、十八章、附录 I）、刘协会（第十三、十六、十七章）。全书由顾致平和王双青统稿。

在本书编写过程中，参考了国内外已经公开出版的许多书籍、资料，并从其中直接引用了部分习题、例题及插图；得到了西安电子科技大学、西安理工大学和西安工业学院有关领导同志的关怀和帮助；李建勋教授和杨曼宏副教授审阅了全书，提出了许多宝贵的修改意见，在此一并致以深切的谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在一些疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

一九九六年二月

目 录

第一篇 静力分析

引 言	1
第一章 静力分析基础	2
§ 1-1 静力分析的基本概念	2
§ 1-2 静力分析公理	2
§ 1-3 约束与约束反力	4
§ 1-4 受力分析与受力图	7
思考题	9
习 题	9
第二章 汇交力系	12
§ 2-1 汇交力系合成的几何法	12
§ 2-2 汇交力系合成的解析法	13
§ 2-3 汇交力系的平衡条件	15
思考题	21
习 题	21
第三章 力偶理论	25
§ 3-1 力对点之矩 汇交力系的合力矩定理	25
§ 3-2 力偶及其性质	27
§ 3-3 力偶系的合成与平衡	29
思考题	32
习 题	33
第四章 平面一般力系	35
§ 4-1 力的平移定理	35
§ 4-2 平面一般力系向已知点的简化	36
§ 4-3 简化结果的分析	38
§ 4-4 平面一般力系的平衡条件及平衡方程	41
§ 4-5 物体系统的平衡	45
§ 4-6 考虑摩擦时的平衡问题	50
思考题	58
习 题	60

第五章 空间一般力系和重心	68
§ 5-1 力对轴之矩	68
§ 5-2 力对轴之矩与力对点之矩的关系	69
§ 5-3 空间力系向任意点的简化及其结果的讨论	70
§ 5-4 空间一般力系的平衡条件及其应用	73
§ 5-5 平行力系的中心和重心	77
思考题	81
习 题	82

第二篇 运动与动力分析

引 言	86
第六章 运动分析基础	86
§ 6-1 运动分析的基本概念	86
§ 6-2 点的运动方程 速度和加速度的矢量表示	87
§ 6-3 点的速度和加速度的直角坐标表示法	88
§ 6-4 点的速度和加速度的自然坐标表示法	89
§ 6-5 刚体的基本运动	95
思考题	99
习 题	100
第七章 点的合成运动	105
§ 7-1 点的合成运动的概念	105
§ 7-2 点的速度合成定理	107
§ 7-3 点的加速度合成定理	109
思考题	114
习 题	115
第八章 刚体的平面运动	120
§ 8-1 刚体平面运动的概念	120
§ 8-2 平面运动分解为平动和转动	121
§ 8-3 平面图形内各点的速度	122
§ 8-4 平面图形内各点的加速度	126
思考题	128
习 题	130
第九章 动力分析基本定理	135
§ 9-1 动量定理	135
§ 9-2 动量矩定理	143
§ 9-3 动能定理	158
§ 9-4 动力分析基本定理的综合应用	171

思考题.....	174
习 题.....	176
第十章 动静法	186
§ 10-1 惯性力的概念.....	186
§ 10-2 动静法.....	187
§ 10-3 刚体惯性力系的简化.....	188
§ 10-4 定轴转动刚体的动反力.....	193
思考题.....	194
习 题.....	195

第三篇 静应力与静变形分析

引 言	198
第十一章 轴向拉伸与压缩	201
§ 11-1 轴向拉伸与压缩的概念.....	201
§ 11-2 轴向拉伸与压缩时的内力.....	202
§ 11-3 轴向拉伸与压缩时的应力.....	204
§ 11-4 材料在拉伸与压缩时的力学性能.....	206
§ 11-5 轴向拉伸与压缩时的强度计算.....	210
§ 11-6 轴向拉伸与压缩时的变形.....	213
§ 11-7 拉压静不定问题.....	216
§ 11-8 应力集中的概念.....	219
思考题.....	220
习 题.....	222
第十二章 剪 切	228
§ 12-1 剪切的概念.....	228
§ 12-2 剪切和挤压的实用计算.....	229
§ 12-3 计算实例.....	230
思考题.....	233
习 题.....	233
第十三章 扭 转	236
§ 13-1 扭转的概念.....	236
§ 13-2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图.....	237
§ 13-3 薄壁圆筒的扭转 剪应力互等定理 剪切虎克定律.....	238
§ 13-4 圆轴扭转时的应力和变形.....	241
§ 13-5 圆轴扭转时的强度和刚度计算.....	245
§ 13-6 非圆截面杆扭转简介.....	247
思考题.....	248

习 题	249
第十四章 弯曲应力分析与强度计算	252
§ 14-1 弯曲的概念	252
§ 14-2 弯曲时的内力——剪力和弯矩	253
§ 14-3 弯曲时的正应力	260
§ 14-4 弯曲正应力强度条件	268
§ 14-5 弯曲剪应力简介	271
§ 14-6 提高梁弯曲强度的主要措施	274
思考题	277
习 题	278
第十五章 弯曲位移分析与刚度计算	289
§ 15-1 引 言	289
§ 15-2 挠曲线近似微分方程及其积分	292
§ 15-3 计算弯曲位移的叠加法	296
§ 15-4 梁的刚度计算 提高梁刚度的主要措施	301
§ 15-5 弯曲静不定问题	304
思考题	307
习 题	309
第十六章 应力状态和强度理论	314
§ 16-1 应力状态的概念	314
§ 16-2 平面应力状态的应力分析 主应力概念	315
§ 16-3 三向应力状态的最大应力	320
§ 16-4 广义虎克定律	321
§ 16-5 强度理论的概念	323
§ 16-6 常用的四个强度理论	323
思考题	329
习 题	329
第十七章 组合变形时杆件的强度计算	333
§ 17-1 组合变形概述	333
§ 17-2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形时杆件的强度计算	334
§ 17-3 弯曲与扭转组合变形时杆件的强度计算	339
思考题	342
习 题	342
第十八章 压杆的稳定性问题	346
§ 18-1 压杆稳定性的概念	346
§ 18-2 细长压杆的临界力	348
§ 18-3 欧拉公式的应用范围 中长杆和粗短杆的临界应力	352
§ 18-4 压杆的稳定性计算	355

§ 18-5 提高压杆稳定性的一些措施	358
思考题	359
习 题	360

第四篇 动应力分析

引 言	364
第十九章 动荷应力	364
§ 19-1 引 言	364
§ 19-2 考虑惯性力时构件的应力计算	364
§ 19-3 冲击应力计算	366
§ 19-4 提高构件承受冲击能力的措施	369
思考题	370
习 题	370
第二十章 交变应力	372
§ 20-1 交变应力的概念	372
§ 20-2 交变应力的循环特征	373
§ 20-3 对称循环交变应力下材料的持久极限	374
§ 20-4 影响构件持久极限的主要因素	375
思考题	380
习 题	381
附录 I 计算机在工程力学中的应用	382
§ I-1 程序一 平面一般力系约束反力的计算	382
§ I-2 程序二 刚体平面运动分析	385
§ I-3 程序三 简支梁弯矩的计算	388
§ I-4 程序四 平面应力分析	393
附录 II 型钢表	396
习题答案	409

第一篇 静力分析

引 言

静力分析研究物体在力系作用下的平衡问题。

本篇主要研究以下三个问题：

1. **物体的受力分析** 研究一物体与周围其他物体之间的关系,并将其从周围物体中分离出来,分析其所受的力。这些力包括主动力(例如重力)和约束反力。约束反力取决于周围物体限制的性质,受力分析的关键在于约束反力的分析。

2. **力系的简化** 力系指作用在物体上的一群力。如果作用在物体上的力系可用另一力系代替,而不改变原来力系对物体的效应,称为力系的等效替换。用简单的力系等效替换一个复杂的力系,称为力系的简化。

3. **力系的平衡条件及其应用** 物体处于平衡状态时,作用于其上的力系所必须满足的条件,称为力系的平衡条件。应用这些平衡条件,即可解决工程实际中的静力平衡问题。

第一章 静力分析基础

§ 1-1 静力分析的基本概念

1. 平衡的概念 平衡是物体机械运动的特殊形式,是指物体相对地球处于静止或作匀速直线运动的状态。一般工程技术问题,是取固结于地球的坐标系作为参考系来进行研究,实践证明,所得到的结果具有足够的精确度。

2. 刚体的概念 任何物体受力总要产生一些变形。但是,工程实际中的机械零件和结构件在正常情况下的变形,一般是很微小的。微小的变形对物体的机械运动影响极小,可以略去不计,即把物体看作是不变形的,从而使问题的研究得以简化。这种在受力情况下保持形状和大小不变的物体通常称为刚体。刚体是依据所研究问题的性质抽象出来的理想化的力学模型。当变形这一因素在所研究的问题中不可缺少时,就必须采用变形体作为力学模型。

3. 力的概念 人们在长期的生活和生产实践中,逐步形成了力的概念。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,并使物体产生变形。力使物体运动状态发生改变的效应,称为力的外效应。力使物体变形的效应,称为力的内效应。在第一、二篇中仅研究力的外效应。

力对物体的作用效应取决于三个要素,即力的大小、力的方向和力的作用点。因此,力是矢量,且是定位矢量,可用有向线段表示,如图 1-1 所示。通过力的作用点,沿力的方向引直线,该直线表示力在空间的方位,称为力的作用线。在作用线上截取有向线段 AB ,线段的长度按一定比例表示力的大小;线段的起点 A (或终点 B)表示力的作用点。在本书中黑体字表示矢量,如 \mathbf{F} ;矢量的大小(模)则用同形的普通字母表示,如 F 。本书采用国际单位制。在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

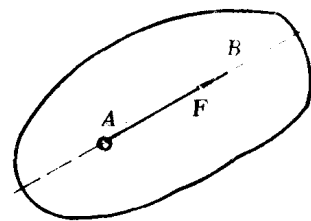


图 1-1

通常,作用在物体上的力不止一个,而是许多个,我们称作用在物体上的一群力为力系。若一力系作用于刚体并使其相对于地球处于静止或匀速直线运动状态,则认为刚体处于平衡状态,且该力系是平衡力系。如果作用在刚体上的一力系用另一力系来替换,并不改变刚体原来的运动状态,那么,此二力系是等效力系。当一力与一力系等效时,称此力为该力系的合力。

§ 1-2 静力分析公理

静力分析公理是人们在长期的实践活动和实验观察中总结出来的最基本的力学规律。它

无须证明而为人们所公认。力系简化和力系的平衡是以公理为基础的。

公理一(二力平衡公理) 作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要与充分条件是:两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。

二力平衡公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所应满足的条件。它是推导线系平衡条件的基础。

工程中常有一些只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件。根据公理一,该两力的方位,必定沿两力作用点的连线(图 1-2)。

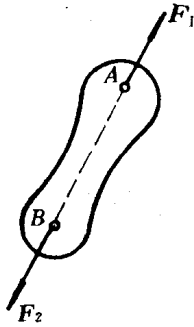


图 1-2

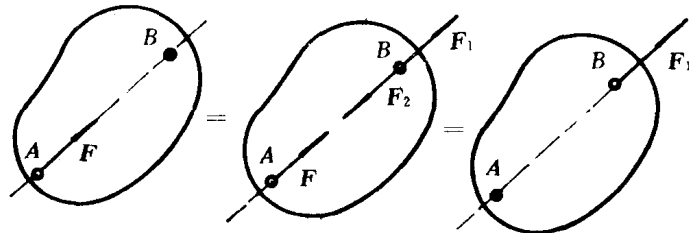


图 1-3

公理二(加减平衡力系公理) 在作用于刚体的力系上,加上或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。

加减平衡力系公理是力系简化的重要依据。

推论 1(力的可传性原理) 作用于刚体的力可沿其作用线移至刚体内任一点,而不改变该力对于刚体的效应。

证明:参看图 1-3。设力 F 作用于刚体上 A 点。在刚体内力 F 作用线上任选一点 B , 在 B 点加一对平衡力 F_1 和 F_2 , 并使 $F_1 = -F_2 = F$ 。因为 (F_1, F_2) 是平衡力系, 由公理二, 力系 (F, F_1, F_2) 与力 F 等效。 F 与 F_2 二力等值、反向、共线, 构成一平衡力系; 减去该平衡力系, 由公理二知, 力 F_1 与力系 (F, F_1, F_2) 等效。从而有力 F 与力 F_1 等效。因为力 F_1 的大小、方向均与力 F 相同, 且此二力等效, 这相当于将力 F 沿其作用线从 A 点移至 B 点, 而不改变原力对刚体的效应。

力的可传性原理指出, 作用于刚体的力矢可沿其作用线任意滑动, 因而对于刚体而言, 力是滑动矢量。力的三要素成为力的大小、方向、作用线。

公理三(力的平行四边形公理) 作用在物体上同一点的两个力可以合成为一个合力, 合力也作用于该点, 其大小和方向可由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的共点对角线确定。

在图 1-4a 中, 设力 F_1 和 F_2 作用于物体的 A 点, 以 R 表示其合力, 则有

$$R = F_1 + F_2$$

即合力矢 R 等于两个分力矢 F_1 和 F_2 的矢量和。

为求合力的大小和方向, 在图 1-4b 中, 作矢量 \vec{ab} 表示力矢 F_1 , 再从力矢 F_1 的终点 b 作矢

量 \vec{bc} 表示力矢 F_2 , 则矢量 \vec{ac} 即表示合力 R 的大小和方向。此种求合力矢的方法称为力三角形法则。

力的平行四边形公理是力系简化的重要依据。

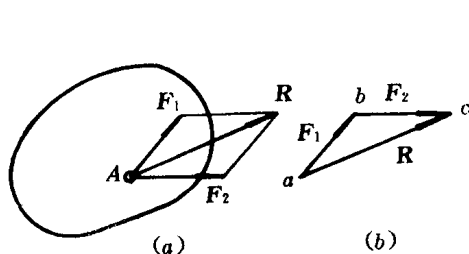


图 1-4

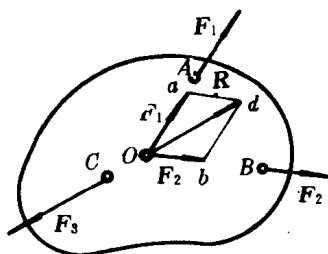


图 1-5

推论 2(三力平衡汇交原理) 当刚体受三力作用而平衡时,若其中任何两力的作用线相交于一点,则此三力必然共面,且第三个力的作用线通过汇交点。

证明:见图 1-5。设刚体的 A, B, C 三点分别作用互不平行的力 F_1, F_2, F_3 , 力 F_1, F_2 的作用线相交于 O 点;刚体在此三力作用下处于平衡状态。将力 F_1, F_2 移至 O 点,并合成为一力 R 。于是力系 (F_1, F_2, F_3) 与力系 (R, F_3) 等效。因为力系 (F_1, F_2, F_3) 是平衡力系,故力系 (R, F_3) 必为平衡力系。根据公理一, R 与 F_3 在同一直线上,即力 F_3 的作用线也通过汇交点 O ;由力的平行四边形公理,可知力 F_3 与力 F_1, F_2 共面。

公理四(作用与反作用定律) 两个物体间的相互作用力,总是大小相等,作用线相同,指向相反,且分别作用在这两个物体上。

在分析多个物体组成的物体系统的受力时,这个公理是从一物体受力过渡到另一物体受力的依据。

公理五(刚化公理) 如果变形体在某力系作用下平衡,若将此物体刚化为刚体,其平衡不受影响。

工程实际中的物体是变形体,变形体能否使用刚体的平衡条件? 刚化原理回答了这个问题。只要变形体受力后处于平衡,作用于其上的力系一定满足刚体的平衡条件。需要注意的是,对于变形体而言,刚体的平衡条件只是必要的,而不是充分的。例如,一段绳子在两端受到等值、反向、共线两拉力而不是两压力的作用时才会处于平衡。

§ 1-3 约束和约束反力

不受任何限制,可以自由运动的物体称为自由体,例如在空中飞行的飞机。在某些方向的运动受到限制的物体称为非自由体。在轨道上行驶的火车是非自由体,因为它受轨道的限制,只能沿轨道运行。阻碍物体运动的限制条件称为约束。约束总是由被约束物体周围与之相连接或相接触的其他物体构成的,因而往往又把与被约束物体相连接或相接触的周围的物体称为约束。约束对被约束物体的作用力,称为约束反力,或称为约束力。约束反力作用在被约束物体与约束的接触处,其方向总是与约束所能限制的被约束物体的运动方向相反。

下面介绍几类常见的约束及其约束反力的特点。

1. 柔性约束 工程实际中的柔软缆绳、皮带、钢丝绳、链条等类物体统称为柔索。由它们构成的约束称为柔性约束。柔索只能承受拉力,因而只能阻止物体沿柔索伸长方向的运动;于是,柔性约束的约束反力作用于连接点,其方向沿着柔索而背离物体(图 1-6)。

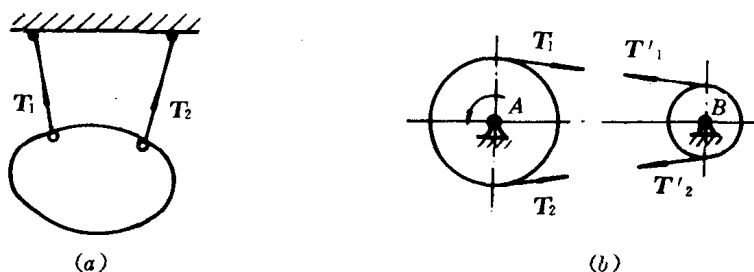


图 1-6

2. 理想光滑接触构成的约束 当两物体接触面之间的摩擦力小到可以忽略不计时,就把接触面(线)看做理想光滑的。光滑接触约束只能阻止物体沿接触处公法线指向约束的运动。于是,光滑接触的约束反力通过接触点,沿着接触点处的公法线,指向被约束的物体,如图 1-7。

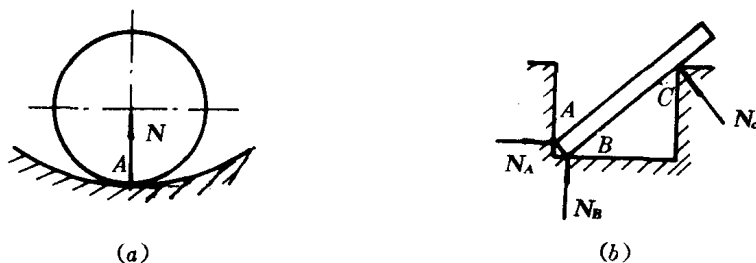


图 1-7

3. 光滑圆柱铰链约束 两个构件在连接处的相同圆孔中,插入圆柱形销钉连接起来,所形成的结构称为圆柱形铰链结构。在图 1-8a 中,曲柄 OA 和连杆 AB 的连接,连杆 AB 和滑块 B 的连接,都是圆柱形铰链连接。图 1-8b 说明了 A 处圆柱形铰链的构造。在铰链连接中,圆柱形销钉限制了构件的运动;如果忽略摩擦,销钉和圆孔成为光滑接触,于是,构成了光滑圆柱铰链约束。按照光滑接触约束的特点,销钉作用于构件的约束反力通过两者的接触点,沿接触处公法线,指向构件。显然,约束反力在垂直于构件销孔轴线的横截面内,且通过销孔中心。图 1-8c 中, R 表示销钉作用于构件的约束反力, A 为孔心, K 为构件与销钉的接触点。一般而言,由于接触点的位置无法预先确定,所以,铰链约束反力的方向不能预先确定。在受力分析中,将铰链约束反力用通过构件销孔中心的两个大小未知的正交分力来表示,如图 1-8d 中所示的 X_A 、 Y_A 。

使用光滑圆柱销钉将构件或结构与固定支座连接,则该支座就称为固定铰支座,如图 1-9a 所示。图 1-9b、c 是固定铰支座的两种简化表示。固定铰支座约束的性质,与铰链连接中的铰链约束一样。通常将圆柱销钉的约束反力表示为相互正交的两个分力,如图 1-9d 所示。

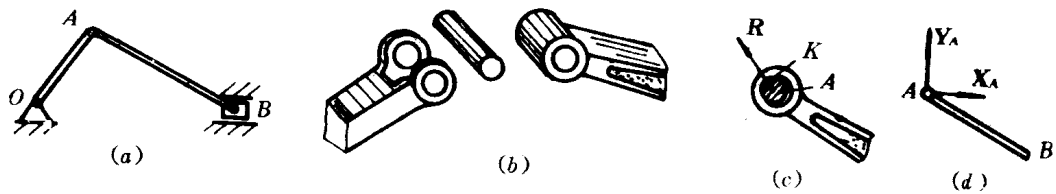


图 1-8

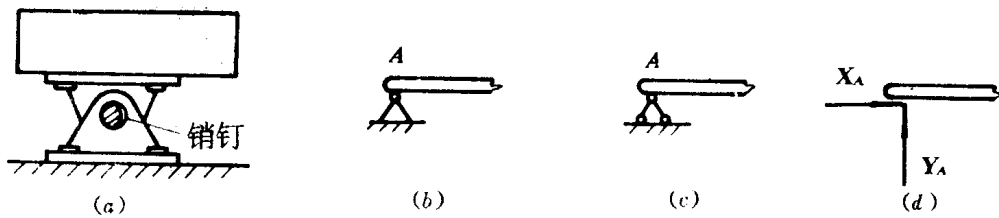


图 1-9

如果铰链支座底部和支承面之间安装一排圆滚,就构成辊轴支座,也称为活动铰支座,如图 1-10a 所示。辊轴支座的几种简化表示分别示于图 1-10b、c、d。如果接触面是光滑的,辊轴支座不限制物体沿支承面的运动,只限制物体垂直于支承面方向的运动。因此,辊轴支座的反力通过销孔中心,且垂直于支承面,如图 1-10e 所示。

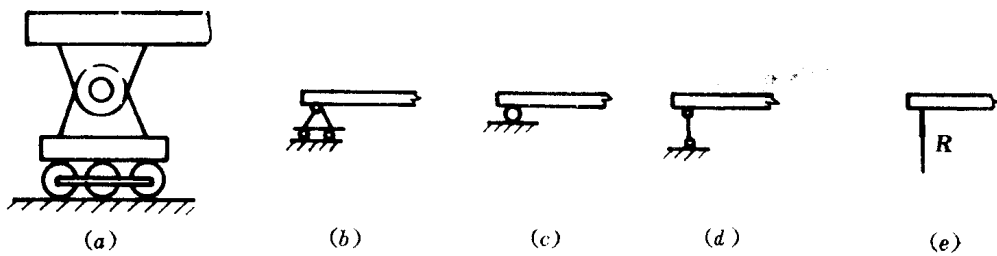


图 1-10

两端用光滑铰链与其它物体相连,并且中间不受任何外力作用的刚杆称为链杆。它常被用来作为撑杆或拉杆而形成链杆约束,如图 1-11a 中的 BC 撑杆。显然,链杆是二力杆;所以,链杆约束的约束反力沿着两端铰链中心的连线,是拉力或者是压力,例如图 1-11b 中的 BC 杆的受力。在图 1-11c 中,链杆 BC 对所连接物 AB 的约束反力,也必定沿连线 BC 。

4. 光滑球形铰链约束 光滑球形铰链约束是一种空间类型的约束,其结构简图及简化表示分别见图 1-12a、b。一个物体的球形窝内放入另一物体的球形部分,球窝和球的直径相差甚小,忽略摩擦,就构成了光滑球形铰链约束。根据光滑接触约束反力的特点,球窝作用于球的约束反力通过球心。由于球与球窝的接触点未定,约束反力的空间方位不定,因而,通常用通过球心的三个正交分力来表示,如图 1-12c 所示。

在上述几类约束之外,还有其他类型的约束,例如固定端约束等,这将在适当的章节予以

介绍。

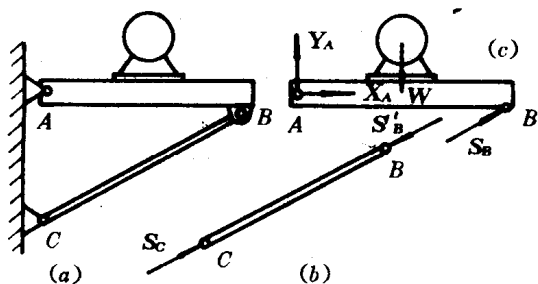


图 1-11

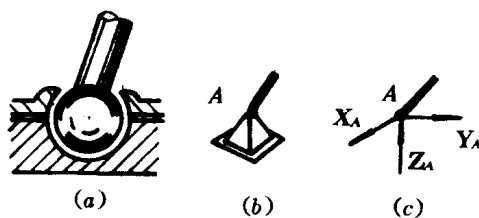


图 1-12

§ 1-4 受力分析与受力图

在受力分析时,需将受约束的物体(研究对象)从它周围的物体中分离出来,称为解除约束。在解除约束的同时,代之以相应的约束反力。约束反力是未知的。研究对象上除作用有约束反力外,通常还承受某些种类的载荷,例如承受重力、油压力、风力等。这些载荷使物体产生运动或使物体产生运动趋势,称其为主动动力。主动力一般是已知的。所谓受力分析就是分析被研究物体上所受的全部主动力和约束反力,并把分析结果用受力图清晰地表示出来。根据问题的已知条件和要求的内容,恰当地选择一个物体或几个物体组成的系统作为研究对象,并将研究对象从周围物体中分离出来,画出其外形简图,这个过程称为取研究对象或取分离体。研究对象与周围物体的连接关系确定了约束类型,也就确定了约束反力的特征。画有研究对象及其所受的全部力(包括主动力和约束反力)的简图,称为受力图。

静力平衡问题中,将依据受力图和平衡条件,利用作用于研究对象上的主动力,确定作用于其上的未知约束反力的大小和指向。

例 1-1 重 G 的挂梯上端 A 铰接在楼板上,下端 B 可由 BC 绳吊起,梯子重心在在 D 点,如图 1-13a 所示。当绳子的拉力为 T 时, B 点尚未脱离地面,略去摩擦,画出该状态下梯子的受

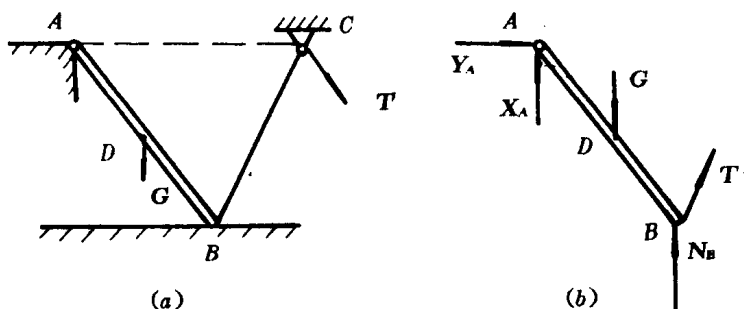


图 1-13

力图。

解 解除挂梯的约束,画分离体图。作用在挂梯上的主动力有重力 G ,铅直向下,作用于 D 点。挂梯在 A 、 B 两处被解除约束,应代以相应的约束反力。在 A 处,固定铰链支座约束反力方位不能预先确定,用两个正交分力 X_A 、 Y_A 表示,其指向可任意假设。在 B 处作用有两种类型约束的反力。一种是地面作用于挂梯的反力 N_B ,此力垂直于地面,指向上。另一种是绳子作用于挂梯的反力 T' , T' 是沿 BC 方向的拉力, $T'=T$ 。挂梯的受力示于图 1-13b。

例 1-2 在图 1-14a 所示的结构中,直杆 AB 和直角弯杆 CD 在 C 点铰接, A 处和 D 处均为固定铰链支座。 AB 杆在 B 点受力 F 作用,两杆自重不计。试画出 AB 杆、 CD 杆及整个系统的受力图。

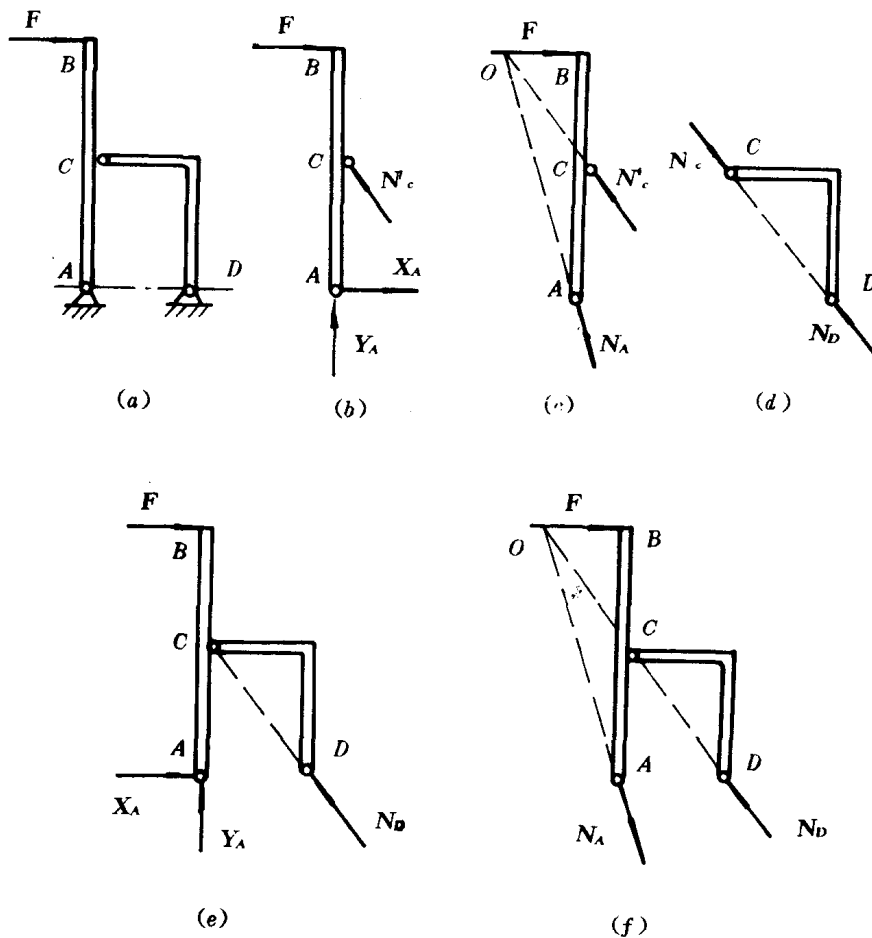


图 1-14

解 CD 杆仅在 C 、 D 两点受力且平衡,所以它是二力构件。 CD 杆的受力如图 1-14d。 N_C 和 N_D 的指向可任意假设,但必须反向。

AB 杆的受力见图 1-14b。 AB 杆的 B 点受到主动力 F 的作用。在解除约束的 A 、 C 两处,应代以相应的约束反力。 A 处固定铰链支座的约束反力用正交的两个分力 X_A 、 Y_A 表示。直角弯杆 CD 通过铰链 C 作用于 AB 杆的反力 N_C' 与 N_C 等值、反向、共线。

如果应用三力平衡汇交原理分析 AB 杆的受力,其受力如图 1-14c 所示。