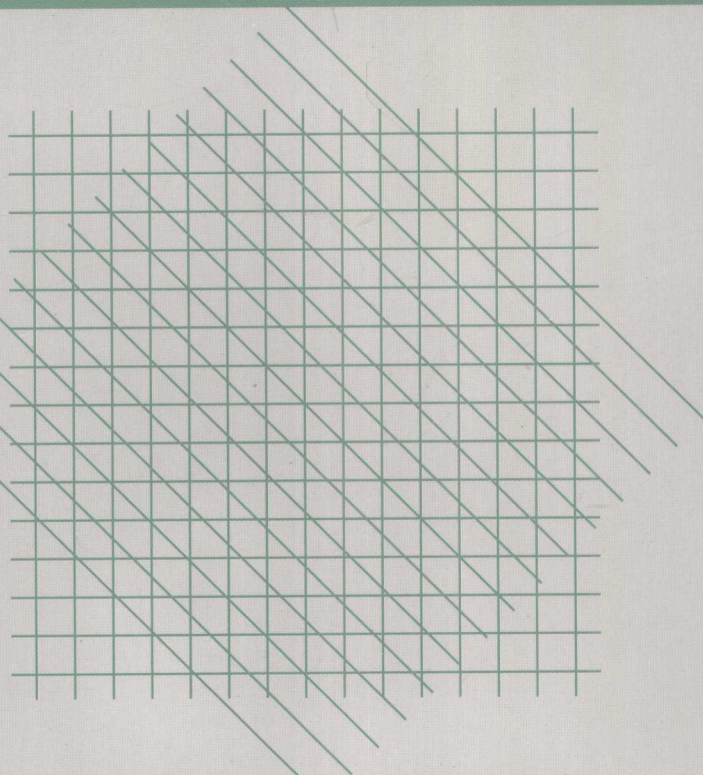


Engineering Mechanics

工程力学

金 蓉 主编
姜 峰 主审



大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

工 程 力 学

金 蓉 主编
姜 峰 主审

大连海事大学出版社

© 金 蓉 2004

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 金 蓉主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2004.3
ISBN 7-5632-1752-5

I. 工… II. 金… III. 工程力学—高等学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 017784 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌水桥 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连理工印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2004 年 3 月第 1 版 2005 年 8 月第 2 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 13.5

字数: 337 千字 印数: 2501 ~ 4500 册

责任编辑: 陈景杰 封面设计: 张 娴

封面设计: 王 艳

定价: 20.00 元

前 言

本书针对当今教学改革的方向并结合轮机工程专业的特点,根据国家教委高等工业学校理论力学、材料力学课程基本要求编写的。可作为轮机工程专业及其相关专业本科、专科学生工程力学课的教材。

本书分理论力学和材料力学两部分。理论力学包括静力学、运动学、动力学三部分。静力学按从特殊到一般的原则,先从汇交力系、力偶系,再到一般力系,平面力系与空间力系结合在一起,避免重复。运动学将点的合成运动与刚体的平面运动整合为一章——运动的合成与分解。动力学是以动力学普遍定律为主要内容。材料力学包括基本变形的强度与刚度问题、压杆稳定、强度理论和组合变形的强度问题。

本教材的特点是叙述简明,起点高,重点突出,理论及方法阐释深刻;加强了知识的横向联系,同时考虑到读者的需要,结合工程实际和专业特点,选用例题和习题;注意指导学生解题思路和方法,锻炼学生理论联系实际的能力。

本书是在大连海事大学多年应用的理论力学、材料力学讲义基础上,作者在总结自己的教学体会、借鉴前辈教师的教学经验基础上编写的。第一章到第七章由金蓉编写,第八章到第十二章由孔庆安、陶沙、金蓉编写,由金蓉统稿并主编。大连理工大学姜峰教授主审。在本书的编写过程中大连海事大学李治彬教授、丁兆鸿副教授对部分章节提出了修改意见、袁儒堂教授对本书进行了审阅,同时还受到大连海事大学教务处、轮机工程学院及工程力学教研室同志的帮助,大连海事大学出版社对本书的出版给予大力协助。在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者
2004 年元月

目 录

第一篇 理论力学

绪言	(1)
第一章 静力学基本概念和物体的受力分析	(2)
§ 1-1 静力学的基本概念	(2)
§ 1-2 静力学公理	(3)
§ 1-3 约束与约束反力	(5)
§ 1-4 物体的受力分析和受力图	(8)
第二章 汇交力系与力偶系	(11)
§ 2-1 汇交力系合成与平衡的几何法	(11)
§ 2-2 汇交力系合成与平衡的解析法	(12)
§ 2-3 力偶与力偶的性质	(16)
§ 2-4 力偶系的合成与平衡	(18)
第三章 一般力系	(24)
§ 3-1 力对点之矩和力对轴之矩	(24)
§ 3-2 空间一般力系的简化	(27)
§ 3-3 平面一般力系的平衡	(32)
§ 3-4 空间一般力系的平衡	(37)
§ 3-5 考虑摩擦时的平衡问题	(39)
§ 3-6 重心	(44)
第四章 点的运动和刚体的基本运动	(57)
§ 4-1 描述点的运动的矢量法、直角坐标法和弧坐标法	(57)
§ 4-2 刚体的平动	(63)
§ 4-3 刚体的定轴转动	(63)
第五章 运动的合成与分解	(69)
§ 5-1 点的合成运动的基本概念	(69)
§ 5-2 点的速度合成定理	(70)
§ 5-3 点的加速度合成定理	(72)
§ 5-4 刚体平面运动的基本概念	(76)
§ 5-5 平面图形上各点的速度	(78)
第六章 动力学基本方程	(89)
§ 6-1 动力学基本定律	(89)
§ 6-2 质点运动微分方程	(90)

第七章 动力学普遍定理	(94)
§ 7-1 动量定理和质心运动定理	(94)
§ 7-2 动量矩定理和刚体定轴转动微分方程	(101)
§ 7-3 动能定理	(110)

第二篇 材料力学

绪言	(127)
第八章 杆件的轴向拉伸与压缩	(129)
§ 8-1 轴向拉伸与压缩时杆的内力与应力	(129)
§ 8-2 材料在拉伸与压缩时的力学性质	(133)
§ 8-3 轴向拉压杆的强度计算	(137)
§ 8-4 轴向拉压杆的变形	(139)
§ 8-5 连接件的强度计算	(142)
§ 8-6 应力集中的概念	(144)
第九章 圆轴扭转	(149)
§ 9-1 外力偶矩和扭矩	(149)
§ 9-2 剪应力互等定理和剪切虎克定律	(150)
§ 9-3 圆轴扭转的应力与强度条件	(152)
§ 9-4 圆轴扭转的变形与刚度条件	(154)
§ 9-5 圆轴扭转时的破坏分析	(156)
第十章 梁的弯曲	(159)
§ 10-1 梁的内力	(159)
§ 10-2 梁的正应力	(164)
§ 10-3 梁的剪应力简介	(168)
§ 10-4 梁的强度条件	(170)
§ 10-5 梁的变形	(174)
第十一章 强度理论和组合变形	(183)
§ 11-1 应力状态简介	(183)
§ 11-2 平面应力状态分析与空间应力状态简介	(184)
§ 11-3 广义虎克定律	(188)
§ 11-4 强度理论	(189)
§ 11-5 组合变形时的强度计算	(191)
第十二章 压杆的稳定	(200)
§ 12-1 压杆稳定的基本概念	(200)
§ 12-2 细长压杆临界载荷的欧拉公式	(200)
§ 12-3 临界应力、临界应力总图	(202)
§ 12-4 压杆的稳定性校核	(204)
附表	(208)
参考文献	(210)

第一篇 理论力学

绪 言

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门学科。

所谓机械运动就是通常意义下物体的运动,是指物体的空间位置随时间的变化。例如,车辆的行驶、轮船和飞机的航行、机器的运转、水的流动、人造卫星和宇宙飞船的运行、建筑物的振动等都是机械运动。平衡(例如相对于地球处于静止的状态)是机械运动的特殊情况。机械运动是一种最简单、最普遍和最基本的运动形态。

理论力学研究速度远小于光速的宏观物体的机械运动,它以牛顿定律为基础,属于古典力学的范畴。在工程技术中考察的物体一般是宏观物体,且其运动速度远小于光速,所以有关的力学问题需用古典力学来解决。至于速度接近光速的物体和微观粒子的运动,则必须用相对论和量子力学来研究。

理论力学的内容分为静力学、运动学及动力学三部分:

静力学——研究力的性质、力系的简化及平衡规律。

运动学——从几何方面研究物体的机械运动,而不涉及物体运动的原因。

动力学——研究物体机械运动的变化与所受的力之间的关系。

理论力学研究物体机械运动的一般规律,掌握这些规律,能使我们理解发生在周围的机械运动现象,而且在工程实际中存在着大量的力学问题,例如各种结构物的设计、施工,各种机械设备的制造、运转及维护,航海、航天技术等,在解决这些问题时,理论力学的知识是必不可少的。理论力学还是许多学科(如材料力学、结构力学、流体力学、振动理论、机械原理等)的基础。

理论力学是一门重要的技术基础课,通过本课程的学习,掌握物体机械运动的基本规律,为解决工程实际问题提供基础,为学习后继课程准备必要的力学知识。

理论力学是理论性很强的学科,通过本课程的学习,培养逻辑思维能力(包括推理、分析、判断等能力);同时它又是实践性很强的学科,在学习过程中,要逐步培养把实际问题抽象为力学模型并运用数学工具求解的能力,要注重把所学的理论应用于实践。在学习,要通过做题掌握理论力学的基本理论、研究方法及实际应用能力。

第一章 静力学基本概念和物体的受力分析

§ 1-1 静力学的基本概念

一、力的概念

1. 力

力是物体之间的相互机械作用。

2. 力的三要素

力对物体的作用效应取决于力的大小、方向、作用点三个要素。

力的三要素及力的合成满足平行四边形法则表明:力是矢量。工程上用黑斜体英文字母 F 来标记矢量,手写用 $\vec{F}$ 来表示,矢量的大小用 F 来表示。力矢量可用有向线段来表示,线段的始端(或终端)表示力的作用点,其方向表示力的方向,其长度按一定的比例尺表示力的大小。

在国际单位制(SI)中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN), $1\text{ kN} = 10^3\text{ N}$ 。在工程单位制中,力的单位是公斤力(kgf)或吨力(tf), $1\text{ tf} = 10^3\text{ kgf}$, $1\text{ kgf} = 9.8\text{ N}$ 。本书采用国际单位制。

3. 力的效应

1)力的变形效应:力使物体的形状发生改变的效应称为力的变形效应或内效应。

2)力的运动效应:力使物体的运动状态发生改变的效应称为力的运动效应或外效应。

4. 力的分类

1)按力的作用方式可分为:

(1)接触力——物体间直接接触引起的相互作用力。

(2)场力——物体间不直接接触,而是通过超距离作用引起的相互作用力,称为场力,如重力与磁力。

2)按力的作用位置可分为:

(1)集中力:当力作用的面积很小时,可近似地看成集中于一点,称为集中力。

(2)分布力:

①线分布力——如电线的横向尺寸远小于纵向尺寸,其自重可看成分布在一条线上,称为线分布力,其强度单位为 N/m 。

②面积分布力——接触力作用在一有限面积上。如水对堤坝的侧压力为面分布力,其强度单位为 N/m^2 。

③体积分布力——力作用在一有限体积上。如重力或磁力分布在整个体积内,其强度单位为 N/m^3 。

3)按力与时间的关系可分为:

(1)常力——力的大小与方向不随时间变化,称为常力,或称为静载荷。

(2)变力——力的大小与方向随时间变化,称为变力,或称为动载荷。

力的分类方法还有很多,读者在以后的学习中会遇到。

二、刚体的概念

刚体是指在力的作用下不变形(大小和形状都不改变)的物体。它是实际物体的理想化模型。实际上任何物体受力都要产生或大或小的变形,但许多物体(例如工程结构的构件与机械零件等)受力后,变形较小,对静力学所研究的问题来说,略去变形不会对研究结果有显著影响,同时大大地减少了问题的复杂程度,这时可把物体看成刚体。一个物体是否可以简化为刚体,不仅取决于变形的大小,而且与问题本身的要求有关。例如一杆件受力作用而平衡,在理论力学中研究其约束反力时被看成刚体,而在材料力学中研究其强度及刚度问题时,需考虑力与变形的关系,该杆件则被看成变形体。

三、力系、等效力系的概念

(1)力系是指作用在物体上的一群力。

(2)等效力系是指若两个力系对同一刚体的作用效果相同,则互称为等效力系。

四、力系简化与平衡的概念

(1)力系的简化是指把复杂力系用与之等效的简单力系替换,称为力系的简化。如果一个力与一个力系等效,则称这个力为该力系的合力,该力系中的各力称为合力的分力。

(2)平衡——若物体相对于惯性坐标系^{*}处于静止或匀速直线运动状态,则称该物体处于平衡。一般的工程问题通常把固结于地球的坐标系作为惯性坐标系。

五、静力学的任务

静力学是研究物体在力系作用下处于平衡的规律。静力学的任务是:

- (1)物体的受力分析;
- (2)力系的简化;
- (3)研究力系的平衡条件。

§ 1-2 静力学公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结,经过实践检验被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

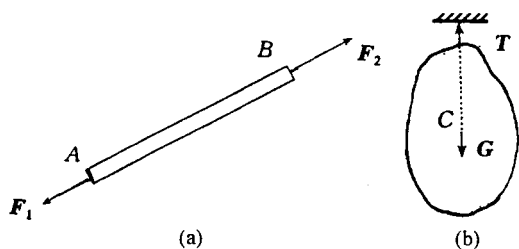


图 1-1

公理 1(二力平衡公理) 作用在刚体上的两个力使刚体处于平衡的充要条件是:这两个力大小相等、方向相反,并作用在同一直线上(简称此两力等值、反向、共线)。

二力平衡是最简单的平衡力系。如图 1-1(a)所示,不计重量的拉杆 AB,若 F_1 、 F_2 沿 AB 线作用,且 $F_1 = -F_2$ 时,拉杆平衡。再如图 1-1(b)所示,钢丝绳匀速提升重物 C 时,绳

^{*} 惯性坐标系是指牛顿定律成立的坐标系。通常将坐标原点放在太阳系的质量中心,三个坐标轴分别指向恒星的坐标系作为惯性坐标系,在这个坐标系中进行力学实验与牛顿定律密切配合。

的拉力 T 与物体的重力 G 沿同一铅垂线,且 $T = -G$ 。这一公理只适用于刚体。工程实际中,只在两点各受一个力作用而平衡的构件称为二力构件,这两个力必满足二力平衡条件。

公理 2(加减平衡力系原理) 在作用于刚体的任一力系中,加上或减去一个平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效果。

推论(力的可传性原理) 作用在刚体上的力,可沿其作用线在刚体内任意移动,不改变其对刚体的作用效果。

因此,对刚体而言,力是滑移矢量。如图 1-2,在 A 点用力 F 推车与在其作用线上 B 点用力 F 拉车,效果一样。对变形体,力是定位矢量。公理 2 及推论只适用于刚体,它们对力系简化很有用。

公理 3(力的平行四边形法则) 作用在物体上同一点的两个力可合成为一合力,合力也作用于该点,合力的大小和方向由以这两个力矢量为邻边构成的平行四边形的对角线矢量来确定。这称为力的平行四边形法则。如图 1-3(a)所示,即合力等于两分力的矢量和。用矢量式表示为:

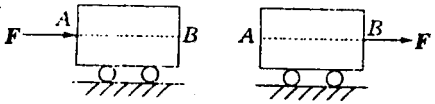


图 1-2

$$R = F_1 + F_2$$

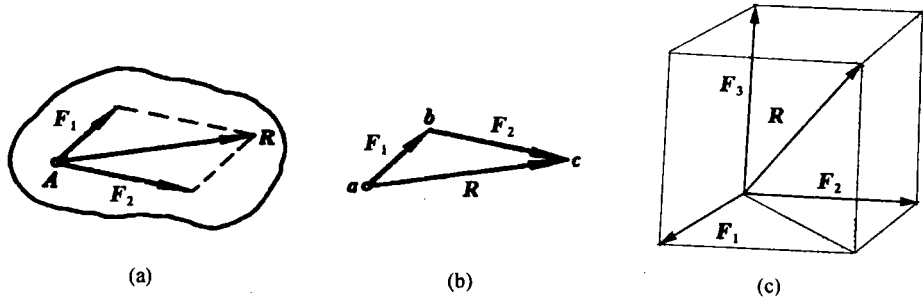


图 1-3

利用这一公理求合力时,通常只需画出平行四边形的一半,即三角形就够了,如图 1-3(b)所示,这种求合力的方法称为力的三角形法。对不共面的三个共点力,其合力可用以三个分力为邻边构成的平行六面体对角线矢量表示, $R = F_1 + F_2 + F_3$,如图 1-3(c)所示,这种求合力的方法称为力的平行六面体法。

公理 4(作用与反作用定律) 两物体间相互作用的力(称为作用力与反作用力)总是大小相等、方向相反,作用在同一直线上,分别作用在这两个相互作用的物体上。

该定律表明作用力与反作用力总是成对出现的,它是分析物体间相互作用力的重要规则。

公理 5(刚化原理) 当变形体在已知力系作用下处于平衡时,如把变形后的变形体换成刚体(“刚化”)其平衡状态不变。

如图 1-4(a)所示绳子在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,由刚化原理,若将绳看成刚杆,其平衡状态保持不变,但绳子受压则不能平衡。但刚体受拉受压都会平衡,如图 1-4(b)所示。所以,刚体平衡的必要和充分条件,对于变形体的平衡来说,仅是必要条件而不是充分条件。

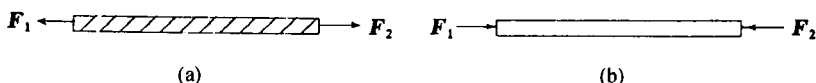


图 1-4

在静力学中将遇到绳索、皮带、链条等柔性体的平衡,可应用刚化原理来研究其平衡问题。刚化原理对研究变形体的静力问题有重要意义,在材料力学、流体力学中都有应用。

§ 1-3 约束与约束反力

一、约束与约束反力

在力学中通常把物体分为两类:一类称为自由体,它们是在空间可以自由行动而获得任意位移的物体,例如在空中飞行的飞机;另一类称为非自由体,它们是位移受到一定限制的物体,例如用地脚螺钉固定在地面上的机器、用钢索悬挂的重物、受到轴承支承的转轴等是非自由体。那些对物体运动的限制条件称为约束。约束是以相互接触的方式构成的,所以在工程上常把对物体运动起限制作用的周围物体称为约束。例如上面所说的地面及地脚螺钉是机器的约束,钢索是重物的约束,轴承是转轴的约束。

约束加给被约束物体的力称为约束反力,简称反力。约束反力的方向与限制物体位移的方向相反。约束反力以外的其他力称为主动力,如物体的重力、人推车时人手对车的推力、机车的牵引力、气体的压力、电磁力等等,工程上常称主动力为荷载(或载荷)。主动力通常是给定或可测定的。约束反力是由主动力引起的,是一种被动力,通常是未知的。实际的工程问题常需根据已知的主动力求未知的约束反力,以作为工程设计、校核的依据。因此研究约束及约束反力的特征对于解决力学问题具有十分重要的意义。下面介绍工程中几种常见的约束类型,并对其约束反力进行分析。

二、几种常见的约束类型

1. 柔索约束

绳索、胶带、链条等只能承受拉力的柔性物体称为柔索。柔索只能限制物体上与柔索连接的一点沿柔索方向离开柔索的运动。因此,柔索对物体的约束反力作用在接触点上,方向必沿柔索(或沿其切线)背离所系物体(拉力)。

如图 1-5(a),绳子对重物的约束反力为拉力 T_1 和 T_2 。如图 1-5(b),在皮带传动中,以皮带轮和绕在其上的皮带为研究对象,皮带的拉力为 S_1 、 S_2 和 S'_1 、 S'_2 ,其中 S_1 与 S'_1 等值、反向、共线, S_2 与 S'_2 也是等值、反向、共线的。如图 1-5(c),锚链对船的拉力 T 沿锚链的切线方向。

2. 光滑面约束

若物体与支承面间的摩擦力很小,可以略去不计,则认为支承面是光滑的,这样的支承面约束称为光滑面约束。光滑支承面只能限制物体在接触点沿着过该点的公法线趋向接触面的位移,而不能限制其他方向的运动。因此,光滑面对物体的约束反力,作用于接触点,并沿着接触面沿该点的公法线指向物体(压力)。

如图 1-6(a),光滑面对圆球的约束反力 N 总是沿接触点公法线即指向球心。图 1-6(b)中的 N 表示直齿齿面的相互作用力。图 1-6(c)的约束反力分布于整个接触面,这里用集中力

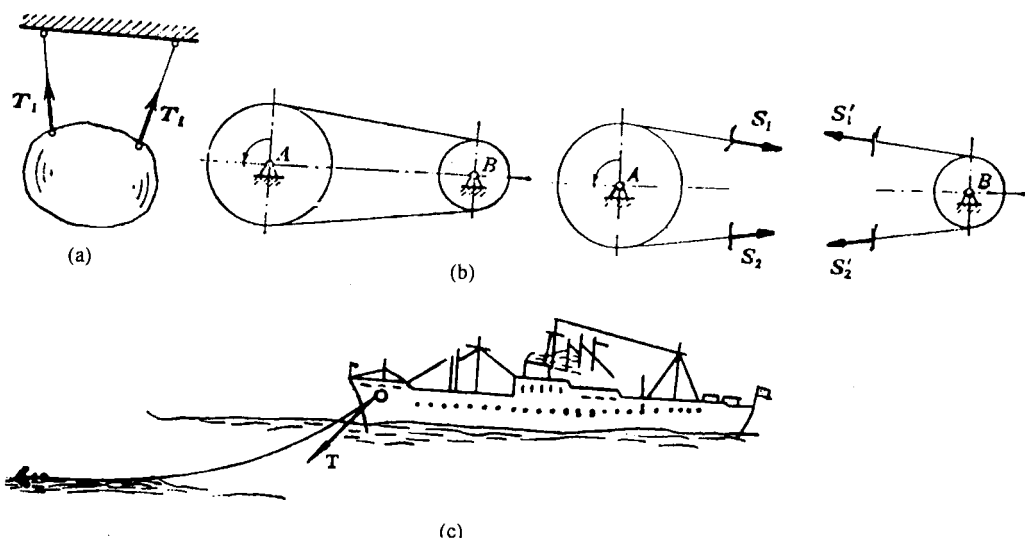


图 1-5

N 来代替,它垂直于接触面。图 1-6(d)中的直杆放置在凹槽中, A 、 B 、 C 三处受到约束,约束反力 N_A 、 N_B 、 N_C 分别垂直于相应的接触面。

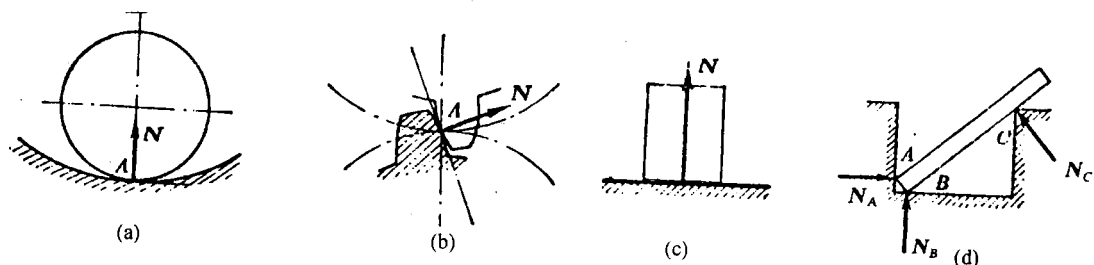


图 1-6

3. 活动铰链支座

将构件用圆柱销钉与支座连接,而支座用几个轴辊支承在光滑面上并沿支承面运动,就构成活动铰链支座,也称轴辊支座或滚动支座。图 1-7(a)是活动铰链支座的示意图,图 1-7(b)、(c)是它的简化表示法。其约束性质与光滑面相似,它不能限制构件沿支承面的运动,以便由于温度变化或其他原因而引起构件伸长或缩短时,允许两支座之间距离有微小的变化,而只能阻止构件与支座接触处趋向支承面的运动。活动铰链支座由铰销传给上面的物体的约束反力只能垂直于支承面并必通过铰销中心,指向不定(可能是压力或拉力)。在实际中,一般将活动铰链支座做成双面约束。活动铰链支座约束反力计算简图如图 1-7(d)、(e)所示。

4. 固定铰链支座

将构件用圆柱销钉与支座连接,而支座固定于支承面上,这种约束称为固定铰链支座,如图 1-8(a),构件与销钉间摩擦不计,销钉不能阻止构件转动,而只能阻止构件在垂直于销钉轴线的平面内的移动。销钉和构件是两光滑圆柱相接触,故知固定铰链支座约束反力必作用于接触点并通过销钉中心指向构件,但因接触点不能预先确定,所以约束反力 R 的方向是未知的,如图 1-8(b)所示。因此在受力分析中,通常将固定铰链支座约束反力用两个正交分力 X 、 Y 来表示。图 1-8(c)、(d)分别为固定铰链支座简图及其约束反力计算简图。

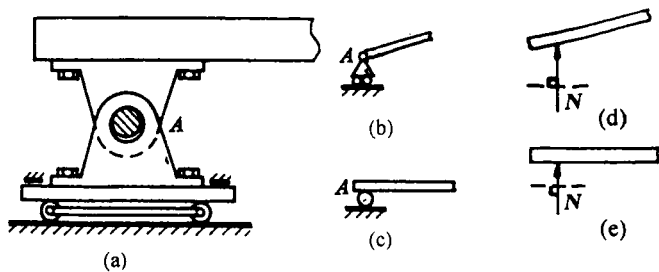


图 1-7

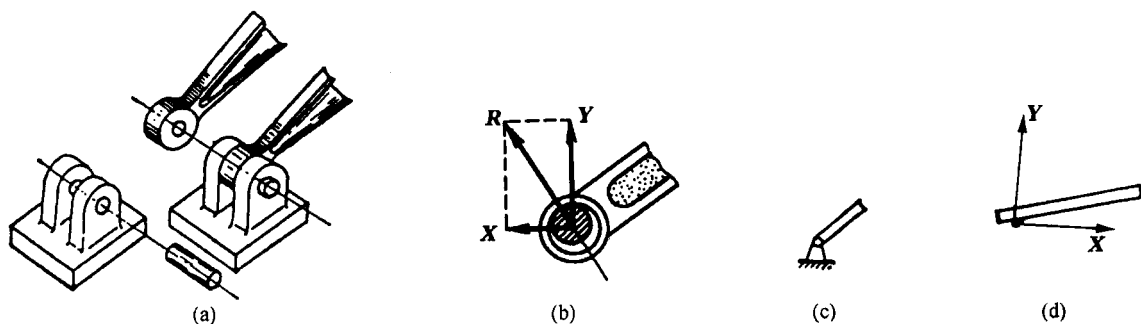


图 1-8

5. 光滑圆柱铰链约束

如结构中的两构件用圆柱形销钉连接如图 1-9(a)、(b)所示,这种连接方式称为铰链连接,简称铰接,若销钉孔与销钉相互接触表面很光滑,就称为光滑圆柱铰链连接。连接件本身称为铰或中间铰,图 1-9(c)是铰的简化表示法。中间铰的销钉对构件的约束作用与固定铰支座的销钉对构件的约束作用相同,其约束反力通常用两相互正交的分力 X 、 Y 来表示,图 1-9(d)、(e)分别表示两构件间相互作用力。

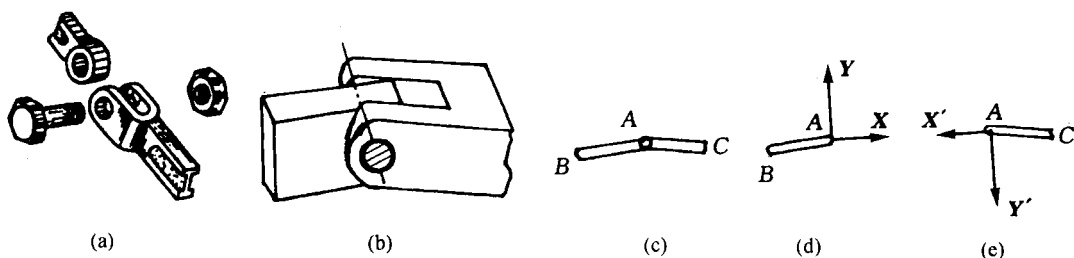


图 1-9

6. 连杆(二力杆)约束

连杆是指两端用光滑圆柱铰链与其他物体相连,杆的自重不计,且其中间也不受任何载荷作用的杆件。如图 1-10(a)、(c)所示的 CD 杆是第 1-2 节所讲的二力构件(又称二力杆),即杆件在两个力作用下而平衡,连杆约束反力必沿着两端铰链的连线,其指向如果不能确定可以任意假设。如图 1-10(b)、(d),假设连杆 CD 受压力,连杆 CD 对杆 AB 的约束反力为 S 。

连杆(二力杆)约束是一种复合约束,画受力图时要注意判别。

以上介绍了几种平面约束类型,除此以外其他类型的约束及空间约束类型,将在以后章节中介绍。工程界非常重视约束的简化,对于实际工程问题,约束往往比理想情况复杂得多,需应用理论知识与工程实践经验结合起来加以解决。分清主次、科学地简化约束,对解决工程实

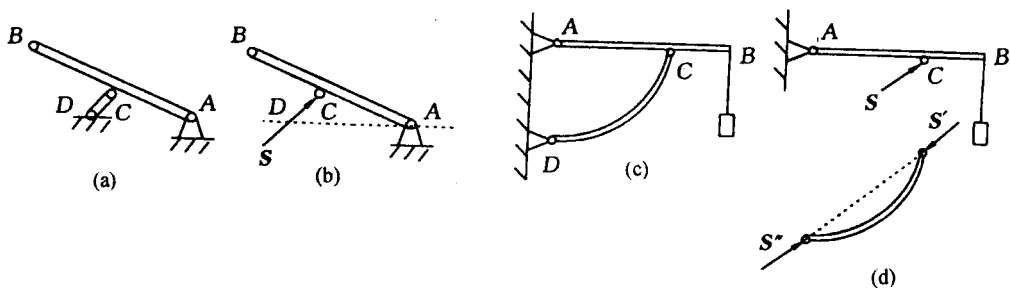


图 1-10

际问题非常有效。

§ 1-4 物体的受力分析和受力图

在求解力学问题时,往往先要弄清两个问题:(1)哪个物体是研究的对象,即确定研究对象;(2)研究对象受哪些力的作用,各力的作用位置及方向如何,即对研究对象进行受力分析。由于研究对象往往是非自由体,所以设想先把研究对象从周围的联系中分离出来(即解除约束)而成为自由体,并单独画出其简图。这个步骤叫做取分离体(或隔离体)。然后用约束反力代替约束对分离体的作用,并画出其所受的全部外力,这种包括分离体所受全部外力(包括主动力和约束反力)的图称为受力图。

受力图直观地表示受力分析的结果。恰当地选择研究对象并正确地画出受力图,是解决力学问题的前提和关键,需熟练掌握。下面举例说明如何画物体的受力图。

例 1-1 水平梁 AB, A 端为固定铰链支座, B 端为支承面与水平线成 30° 夹角的轴辊支座,梁上放一电机,如图 1-11(a)。设梁重为 W ,电机重为 G 。试画出梁的受力图。

解:取包括电机在内的梁为研究对象,并将其单独画出。作用于梁上的主动力有:

梁的重力 W ,电机的重力 G ;梁所受的约束反力有:固定铰链支座 A 对梁的约束反力为 X_A 、 Y_A ,指向是假设的;活动铰链支座 B 对梁的约束反力 N_B ,它与支承面垂直。将上述各力全部画在梁上就得梁的受力图,如图 1-11(b)。

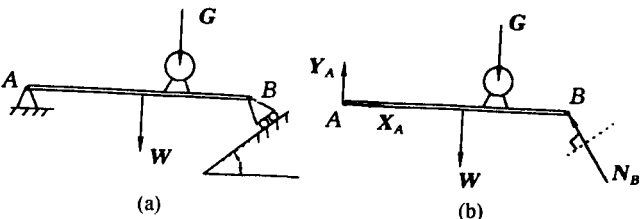


图 1-11

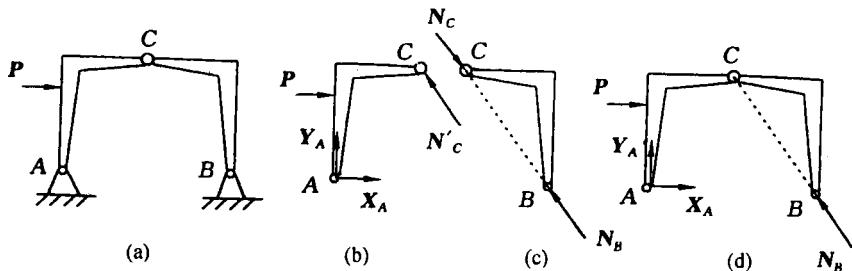


图 1-12

例 1-2 图 1-12 所示为三铰拱结构简图。A、B 为固定铰支座, C 为连接左、右半拱的中间铰链。设左

半拱受到水平推力 P 的作用,如拱重不计。试分别作左、右半拱的受力图。

解:(1)先取右半拱为研究对象,并画出其分离体图。因其本身重量不计,它只在 B 、 C 两铰链处各受一个力作用而平衡,所以它是二力杆。因此可以确定约束反力 N_B 、 N_C 的方向必沿连线 BC ,它们方向相反, N_B 、 N_C 的方向是假设的。右半拱的受力图如图 1-12(c)所示。

(2)再取左半拱为研究对象,并画出其分离体图。作用于其上的主动力有水平推力 P ;此外,右半拱通过铰链 C 对左半拱所作用的力是 N'_C ,力 N'_C 是 N_C 反作用力,因此 N'_C 与 N_C 等值、反向、共线;固定铰链支座 A 的约束反力用两个正交力 X_A 、 Y_A 来表示,指向可以任意假设。左半拱的受力图如图 1-12(b)所示。

在研究平衡问题时,有时需要对由几个物体组成的系统进行受力分析。我们把系统内部各物体间相互作用的力称为内力,系统外部物体对系统的作用力称为外力。内力与外力的区分,只有对于某一确定的研究对象才有意义。如例 1-2 中,若分别以左、右半拱为研究对象,则力 N'_C 与 N_C 分别是这两部分的外力。如取整个三铰拱为研究对象,则铰 C 处的约束反力 N_C 与 N'_C 是系统的内力,它们总是成对出现,彼此等值、反向、共线,所以相互抵消。因此在画整个三铰拱受力图时只需画出系统所受的全部外力:主动力 P , A 处的约束反力 X_A 、 Y_A , B 处的约束反力 N_B ,其受力图如图 1-12(d)所示。

例 1-3 起重机如图 1-13

(a)所示,已知货重 P ,平衡重 G ,撑杆 AB 自重 Q_1 ,转动台重 Q_2 ,支架重 Q_3 ,它们分别作用在各部分的重心上。不计摩擦及钢丝绳重。试画出起重机整体、重物、滑轮及撑杆 AB 的受力图。

解:(1)取起重机整体为研究对象。起重机受各部分重力 P 、 G 、 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ,以及地面对轮子的约束反力 N_1 、 N_2 的作用,其方向均垂直于地面,如图 1-13(a)所示。

(2)取重物为研究对象。重物受到重力 P 及钢丝绳的拉力 T_1 的作用,如图 1-13(c)所示。

(3)取滑轮及绕在其上的绳子为研究对象。滑轮受到钢丝绳的拉力 T'_1 、 T_2 的作用,其中 T'_1 为 T_1 的反作用力,还受到铰链 B 的约束反力 X_B 、 Y_B 的作用,如图 1-13(b)所示。

(4)取撑杆 AB 为研究对象。撑杆 AB 受本身自重 Q_1 的作用,在 A 处受固定铰链 A 的约束反力 X_A 、 Y_A 的作用;在 B 处受铰链 B 的约束反力 X'_B 、 Y'_B 的作用,它们分别为 X_B 、 Y_B 的反作用力,在 D 处受钢丝绳的拉力 T_3 的作用,其受力如图 1-13(d)所示。

正确地画出受力图是分析解决力学问题的基础。受力分析与画受力图的步骤及所要注意的事项如下:

1. 选取研究对象,并单独画出其简图(即画分离体图)。

2. 在分离体简图上画出它所受的全部外力,包括全部的主动力和约束反力。哪里解除了约束就在哪里画约束反力,不能漏画,也不能多画。约束反力要根据约束性质画,约束反力指

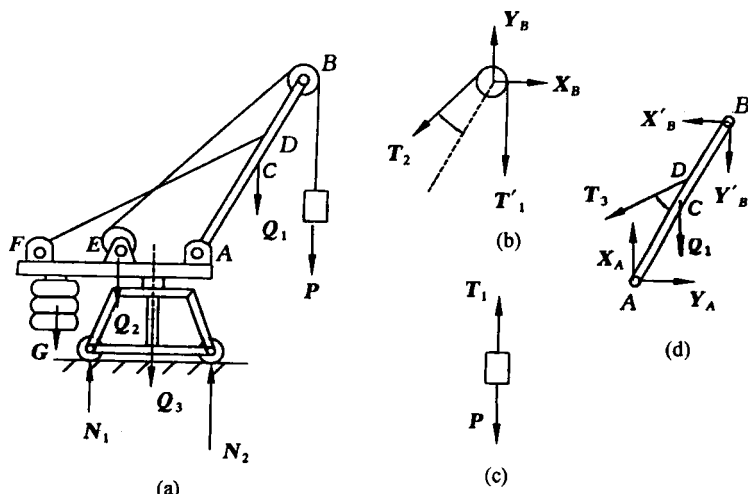
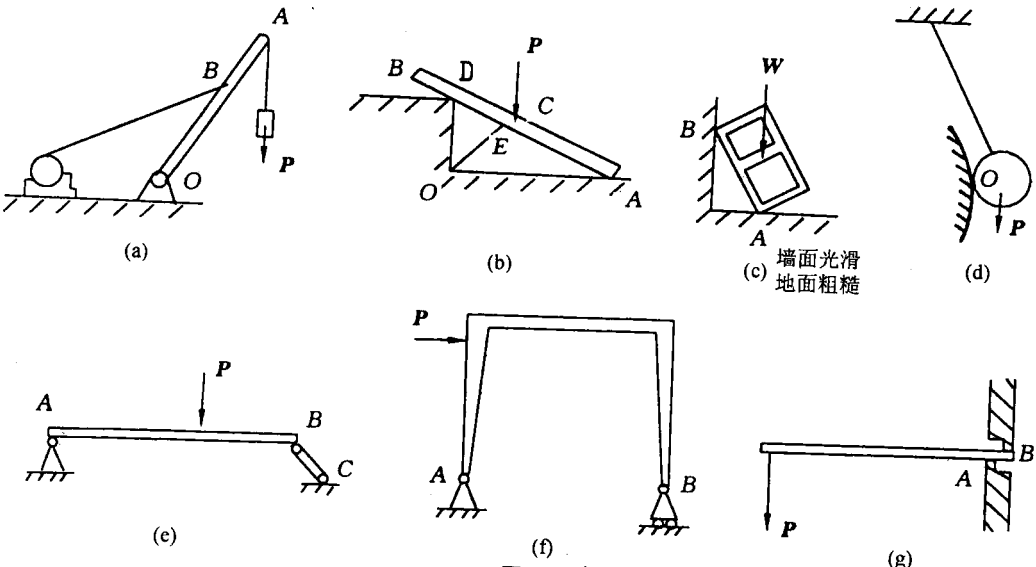


图 1-13

向一定的(如绳子的拉力、光滑面的压力等)则要正确画出,其余指向不能确定的可以假设。特别要注意判别二力杆,根据二力平衡条件,画出约束反力的方向。两物体间相互作用力,要根据作用与反作用定律,作用力与反作用力同时出现,等值、反向、共线,作用力的方向在图中一经确定,则其反作用力的方向就应与之相反。

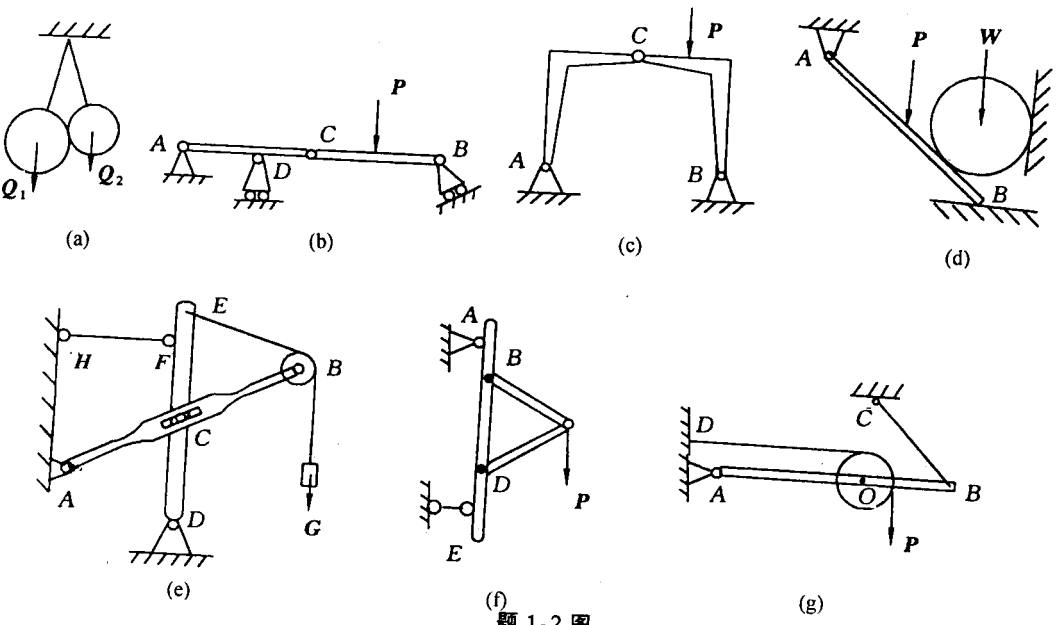
习 题

1-1 画出下列物体的受力图。除特别说明外,物体的重量及摩擦略去不计。



题 1-1 图

1-2 分别画出下列各图中每个物体及整体的受力图,假设接触处均为光滑面,主动力如图所示。



题 1-2 图

第二章 汇交力系与力偶系

汇交力系与力偶系是两种最简单力系,本章将研究汇交力系的合成与平衡问题以及力偶的性质和力偶系的合成与平衡问题。

§ 2-1 汇交力系合成与平衡的几何法

一、汇交力系合成的几何法

汇交力系是指各力的作用线相交于一点的力系,它可合成为合力。

设刚体上受到汇交力系 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 的作用,据力的可传性,将各力沿其作用线移到各力作用线的汇交点 O 上,变成一各点力系,如图 2-1(b)。为求该力系的合力,从 O 点出发连续应用力的三角形法则,将各力依次合成。矢量 Oe 为它们的合力 R ,如图 2-1(d)。

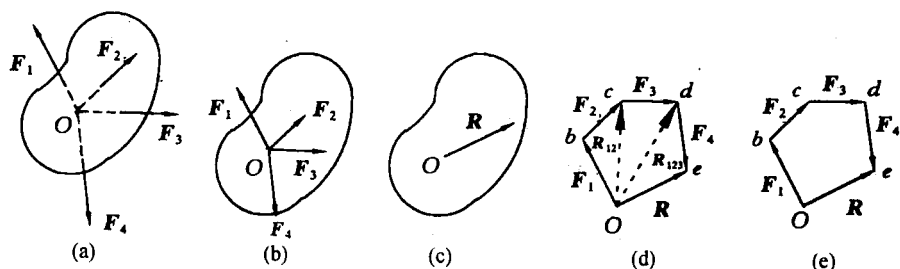


图 2-1

所以,以汇交力系 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 中各力首尾相接构成的折线称为力链,从力链的起点指向终点的矢量 Oe 为它们的合力 R 。力链加封闭边构成力多边形。这种求合力的方法称为力多边形法或几何法。改变各力顺序,力多边形形状改变,但合力不变。

因此可得如下结论:汇交力系一般合成为一合力,合力作用线通过力系的汇交点,合力的大小和方向由力多边形封闭边确定,等于力系中各力的矢量和,即:

$$R = F_1 + F_2 + \cdots + F_n$$

或简写为:

$$R = \sum_{i=1}^n F_i = \Sigma F \quad (2-1)$$

二、汇交力系平衡的几何法

汇交力系平衡的充分与必要条件是力系的合力为零。用矢量式表示为:

$$R = \Sigma F = 0 \quad (2-2)$$

则得汇交力系平衡的必要与充分的几何条件是力多边形自行封闭。最后一个力矢的终点恰好与第一个力矢起点重合。

三、三力平衡汇交定理

如图 2-2,设刚体在三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用下平衡,且 F_1 、 F_2 两力的作用线相交于 O 点,