

21

世纪高等院校教材·化工类

化工设备机械基础

(第二版)

潘永亮 主编



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材·化工类

化工设备机械基础

(第二版)

潘永亮 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为高等工科院校化工设备机械基础课程教材。全书共三篇 19 章。第一篇工程力学基础,包括:静力学基础,平面汇交力系,平面一般力系,直杆的轴向拉伸与压缩,剪切及扭转,弯曲,复杂应力状态及强度理论;第二篇化工容器及设备,包括:化工设备常用材料,容器设计基础,外压容器设计,容器零部件,管壳式换热器,塔设备,搅拌反应器;第三篇机械传动装置,包括:带传动,齿轮传动,蜗杆传动,轮系及减速器,轴、轴承和联轴器等内容。本书重点突出,概念准确,在适应 21 世纪课程体系改革方面作出了努力,在讲述最基本、最重要的内容基础上,注重介绍现代科学技术发展的新成就,努力使教材内容与化工机械技术发展同步。论述深入浅出、简明易懂,内容循序渐进。

本书参考学时数为 90,不同专业可根据要求对内容进行取舍。

本书可供高等工科院校化学工程与工艺及相近的非机械专业学生使用,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工设备机械基础/潘永亮主编. —2 版. —北京:科学出版社,2007
21 世纪高等院校教材·化工类
ISBN 978-7-03-018108-4

I. 化… II. 潘… III. ①化工设备-高等学校-教材②化工机械-高等学校-教材 IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 118286 号

责任编辑:杨向萍 赵晓霞 刘俊来 / 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠/封面设计:耕者工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1999 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007 年 2 月第 二 版 印张:22 1/4

2007 年 2 月第九次印刷 字数:435 000

印数 17 501—21 500

定价: 33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈长虹〉)

第二版前言

本书是在面向 21 世纪教学改革的实践中产生的。几年来第一版教材在多所院校的教学实践中使用,受到使用学校师生的好评。为了适应新世纪的教学要求,根据第一版教材使用学校反馈的信息,作者对第一版教材进行了修订。本次修订在保持第一版教材基本体系的同时,对教材内容的安排做了较大幅度的调整,突出了各篇(章)内容的相对独立性和完整性,以方便教师按不同专业要求、不同学时情况选择教学内容。

本书第一篇、第二篇的第 13、14 章,第三篇的第 15~18 章由潘永亮编写,陈志、吉华编写了其中的部分小节;第二篇第 8 章、第三篇第 19 章由吉华编写;第二篇第 9、10 章由刘玉良编写;第二篇第 11、12 章由陈志编写。全书由潘永亮统稿,黄卫星教授审阅。

本书涉及的设计方法及所引用的标准,均采用最新颁布的国家或部级标准。

由于作者水平有限,书中难免存在不足,敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 11 月

第一版前言

《化工设备机械设计基础》是为化工工艺类专业及其他相近的非机械类专业编写的教材。学生通过本课程的学习,掌握必要的化工机械方面的基础知识,具备对化工机械中常用的机械传动装置和常压、低中压典型化工设备设计的初步能力。

化工设备是为化工工艺过程服务的,是完成化工生产的主要生产工具。因此,从事化工工艺过程的研究、设计和生产的工艺工程师,掌握一定的化工机械方面的基础知识,对搞好化工生产的工艺技术有极为重要的作用。

该书在编写过程中,力求重点突出、概念准确。在把最基本、最重要的内容讲清楚的同时,注意现代科学技术发展的新成就,努力使教材内容与化工机械技术发展同步。为便于教学,在论述中深入浅出、简明易懂,在内容上循序渐进,并留有一定的思考余地,藉以提高学生的求知欲望。

本书第一篇、第二篇第八、十、十二章、第三篇第十八、十九章由潘永亮编写,第二篇第十一章、第三篇第十三、十四、十五、十六、十七章由刘玉良编写,第二篇第九章由杨平编写。全书由潘永亮统编。

全书由方治华教授和黄卫星教授审阅。在编写过程中,杨平、施光明等同志对全书提出了不少宝贵意见,并对本书例题、习题及插图作了大量工作,特此一并致谢!

本书中涉及的设计方法及所引用的标准,均采用最新颁布的国家或部级标准。

由于编者水平有限,编写时间比较仓促,书中难免有些缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 工程力学基础

第 1 章 静力学基础	1
§ 1-1 静力学基本概念.....	1
§ 1-2 静力学的公理.....	2
§ 1-3 约束与约束反力.....	4
§ 1-4 受力分析和受力图.....	6
习题.....	8
第 2 章 平面汇交力系	10
§ 2-1 平面汇交力系的合成	10
§ 2-2 平面汇交力系的平衡条件	13
习题	15
第 3 章 平面一般力系	17
§ 3-1 力矩与力偶	17
§ 3-2 力的平移定理	19
§ 3-3 平面一般力系的简化	20
§ 3-4 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	22
习题	26
第 4 章 直杆的轴向拉伸与压缩	28
§ 4-1 直杆轴向拉伸及压缩的内力和应力	28
§ 4-2 直杆拉伸和压缩时的变形	33
§ 4-3 材料的机械性能	36
§ 4-4 杆件在拉伸及压缩时的强度计算	39
§ 4-5 热应力	43
习题	45
第 5 章 剪切及扭转	47
§ 5-1 剪切	47
§ 5-2 圆轴扭转时的外力和内力	51
§ 5-3 圆轴扭转时的应力	54

§ 5-4 圆轴扭转时的强度和刚度计算	56
习题	59
第 6 章 弯曲	61
§ 6-1 平面弯曲及梁的类型	61
§ 6-2 梁弯曲时的内力——剪力和弯矩	62
§ 6-3 剪力图和弯矩图	65
§ 6-4 梁横截面上的正应力	69
§ 6-5 轴惯性矩和梁的强度计算	72
§ 6-6 梁横截面的合理选择	77
§ 6-7 梁的变形	80
习题	86
第 7 章 复杂应力状态及强度理论	88
§ 7-1 应力状态概念	88
§ 7-2 复杂应力状态	90
§ 7-3 广义胡克定律	93
§ 7-4 强度理论	94
§ 7-5 杆件组合变形时的强度计算	97
习题	105

第二篇 化工容器及设备

第 8 章 化工设备常用材料	106
§ 8-1 化工设备常用金属材料的基本性能	106
§ 8-2 金属材料的腐蚀与防护	108
§ 8-3 化工设备常用材料	112
习题	117
第 9 章 容器设计基础	118
§ 9-1 概述	118
§ 9-2 内压容器设计的理论基础	120
§ 9-3 边缘应力概念	130
§ 9-4 内压容器设计	132
§ 9-5 内压封头的设计与选择	140
§ 9-6 常压容器设计	148
习题	160
第 10 章 外压容器设计	162

§ 10-1 概述	162
§ 10-2 薄壁筒体的临界压力计算公式	163
§ 10-3 外压圆筒的设计计算	165
§ 10-4 加强圈	172
§ 10-5 外压封头设计	174
习题	178
第 11 章 容器零部件	179
§ 11-1 法兰	179
§ 11-2 容器支座	183
§ 11-3 容器开孔与补强	187
习 题	195
第 12 章 管壳式换热器	197
§ 12-1 管壳式换热器的型式	197
§ 12-2 管壳式换热器的结构	199
§ 12-3 管壳式换热器强度计算	207
§ 12-4 管壳式换热器设计与型号选择	209
习 题	212
第 13 章 塔设备	213
§ 13-1 概述	213
§ 13-2 板式塔	213
§ 13-3 填料塔的结构	219
§ 13-4 塔设备的强度计算	224
习 题	234
第 14 章 搅拌反应器	236
§ 14-1 概述	236
§ 14-2 搅拌罐的设计	237
§ 14-3 搅拌器	242
§ 14-4 传动装置及搅拌轴	246
§ 14-5 搅拌反应器的轴封	249

第三篇 机械传动装置

第 15 章 带传动	254
§ 15-1 概述	254
§ 15-2 带传动的工作情况分析	257

§ 15-3	V带的计算准则及功率计算	260
§ 15-4	V带传动的设计计算	262
§ 15-5	V带轮的结构和张紧装置	266
	习题	270
第 16 章	齿轮传动	271
§ 16-1	概述	271
§ 16-2	齿廓啮合基本定律	272
§ 16-3	渐开线齿廓	273
§ 16-4	渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称和几何尺寸	275
§ 16-5	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合	277
§ 16-6	齿轮的失效形式和齿轮材料	279
§ 16-7	标准直齿圆柱齿轮的强度计算	282
§ 16-8	齿轮结构	290
	习题	293
第 17 章	蜗杆传动	295
§ 17-1	概述	295
§ 17-2	蜗杆传动的主要参数和几何计算	296
§ 17-3	蜗杆传动的受力分析、失效及材料选择	299
§ 17-4	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	301
§ 17-5	蜗杆和蜗轮的结构	302
	习题	303
第 18 章	轮系及减速器	304
§ 18-1	轮系的分类	304
§ 18-2	定轴轮系的传动比	305
§ 18-3	周转轮系的传动比	306
§ 18-4	减速器	309
	习题	312
第 19 章	轴、轴承和联轴器	314
§ 19-1	轴	314
§ 19-2	轴承	318
§ 19-3	联轴器	338
	习题	345
	参考文献	346

第一篇 工程力学基础

第 1 章 静力学基础

§ 1-1 静力学基本概念

静力学是研究物体平衡的科学。所谓平衡,是指物体相对于地球保持静止或做匀速直线运动。物体处于平衡状态时,它所受到的若干力的作用效果相互抵消,而不会引起物体运动状态的改变。

静力学研究物体平衡问题时,将物体抽象化为刚体。所谓刚体,是指在力作用下不发生变形的物体。事实上,任何物体在力作用下或多或少要产生一些变形,但是许多物体在受力后产生的变形是极微小的。略去这种微小的变形,不会对静力学所研究的问题的结果产生显著影响,同时能大大减少问题的复杂程度。

力是静力学中的一个重要的基本概念。人们经过长期的生产实践与理论概括,逐步地建立起了力的概念:力是物体间相互的机械作用,作用的结果使物体运动状态发生改变,或使物体的形状发生改变。值得注意的是,产生力的根本原因是物体间的相互机械作用,所以力不能离开物体而存在。一个物体受到了力的作用,就必然有其他物体对其施加力。

应当指出,物体受力所产生的效应有两种:物体的运动状态改变和物体的形状改变,前者称为力的外效应,后者称为力的内效应。力对物体作用产生的这两种效应是同时发生的。静力学主要研究力的外效应。

实践表明:力对物体的作用效应取决于下列三个要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。改变力的任一因素,也就改变了力对物体的作用效应。力既然是一个有大小和方向的量,因此力是矢量。它可以用带箭头的线段来表示,如图 1-1 所示。书写时用黑体字母 F 、 P 等表示。

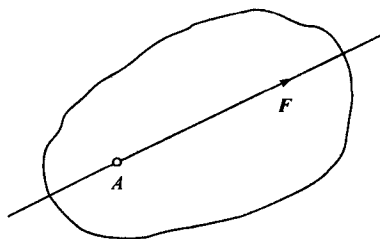


图 1-1

度量力大小的单位,在国际单位制中用牛顿(N),采用工程单位制时,用公斤力(kgf)。

如果在一个物体上作用几个力,则将这一群力称为力系。如果物体在某力系作用下处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。作用在物体上的某个力系可以用另一个力系来代替,而不改变物体的运动状态,则称这两个力系等效。若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该合力的分力。求合力的过程称为力的合成,将一个力分成几个分力的过程称为力的分解。

§ 1-2 静力学的公理

静力学的公理,是人们经过长期的观察与实验,从大量的事实中概括和总结出来的客观规律,这些公理说明了力的基本性质,是静力学的理论基础。

公理一 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是:两个力大小相等,方向相反,并且在同一条直线上,如图 1-2(a),(b)所示。

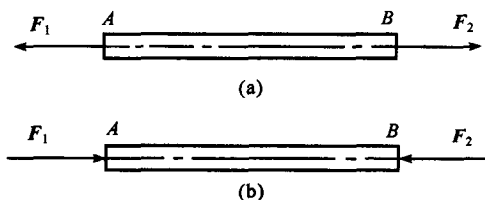


图 1-2

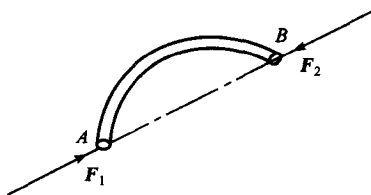


图 1-3

这个公理总结了作用于刚体上最简单力系的平衡条件。只有两个力作用下处于平衡的构件,称为二力构件或二力杆。其受力特点是两个力必定是沿作用点的连线,如图 1-3 所示。

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上,加上或者除去一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

显然,这个公理是力系简化的依据,因为平衡力系对刚体的平衡或运动状态没有影响。

推论 力的可传性原理

作用在刚体上的力,可以沿其作用线移到刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的作用效果。

证明 设力 F 作用于刚体上的 A 点,如图 1-4(a)所示。在其作用线任意一点 B ,沿 AB 线加上等值而反向的一对力 F_1 和 F_2 ,并使 $F=F_1=F_2$,由公理二知,这并不改变原来的 F 对刚体的效应,即力 F 与力系 F, F_1, F_2 等效,如图 1-4(b)所示,但 F 与 F_1 也是一对平衡力系,可以消去。最后只剩下一个作用于 B 点的力 F_2 , F_2 与 F 具有相同的作用线,并且大小和方向均相同,只是作用点不同,如图

1-4(c)所示。推论得证。

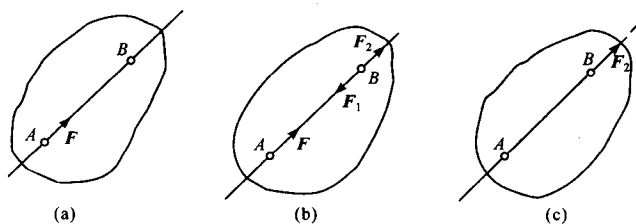


图 1-4

公理三 力的平行四边形公理

作用在刚体上同一点的两个力,可以合成为作用于该点的一个合力,它的大小和方向由这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示,如图 1-5 所示。

这个公理总结了最简单力系的简化规律。根据公理所作的平行四边形,称为力的平行四边形。如果以 R 表示两个力 F_1 和 F_2 的合力,这个定理可表示为

$$R = F_1 + F_2$$

即作用在物体上同一点的两个力的合力等于两分力的矢量和。

如果作用在物体上的两个力是共线的,按力的平行四边形公理可知:合力等于这两个力的代数和。

推论 三力平衡汇交定理

刚体在三个力作用下平衡,若其中任意两个力的作用线相交于一点,则第三个力的作用线也必然交于同一点。

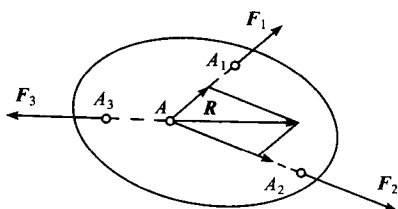


图 1-6

证明 设在刚体的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点分别作用有力 F_1 、 F_2 、 F_3 , F_1 和 F_2 的作用线交于 A 点,如图 1-6 所示。根据力的可传性原理,将 F_1 和 F_2 分别移到 A 点,然后用平行四边形公理求合力 R 。用 R 代替 F_1 和 F_2 的作用,显然刚体在 R 和 F_3 作用下平衡。按二力平衡公理, R 和 F_3 大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。由此可见, F_3 的作用线必与 R 的作用线重合,而且通过 A 点。定理得证。

公理四 作用力与反作用力公理

两个物体间的作用力与反作用力大小相等,方向相反,作用线相同,分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理表明,一切力总是成对出现的,有作用力就必有反作用力,它们总是同时产生、同时消失。

必须注意,虽然作用力与反作用力大小相等、方向相反,且在同一直线上,但决不能认为这两个力互成平衡。因为这两个力并不作用在同一物体上。这与二力平衡公理中所指的一对力是完全不同的。

§ 1-3 约束与约束反力

在力学上,按物体的运动是否受到限制,将物体分为自由体和非自由体,在空间可以自由运动而位移不受任何限制的物体,称为自由体,例如空中飞行的炮弹、飞机等。位移受到某些限制的物体为非自由体,例如电线吊着的电灯、放在桌面上的木块等。

对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束,例如吊电灯的电线、支承木块的桌面都是约束。约束作用在物体上的力称为约束反力,简称反力。

物体除受约束反力外,通常还受有重力、气体压力、机械动力等,这些力能主动改变物体的运动状态,故称为主动力。约束反力限制物体的位移,是由主动力引起的,所以称为被动力。约束反力还具有下述特征:

- (1) 约束反力的作用点在约束与被约束物体的接触点处;
- (2) 约束反力的方向与约束阻碍物体位移的方向相反。

下面讨论几种典型约束的约束反力。

一、柔性约束

由绳索、皮带、链条等柔性物体所构成的约束统称为柔性约束,这类物体的特

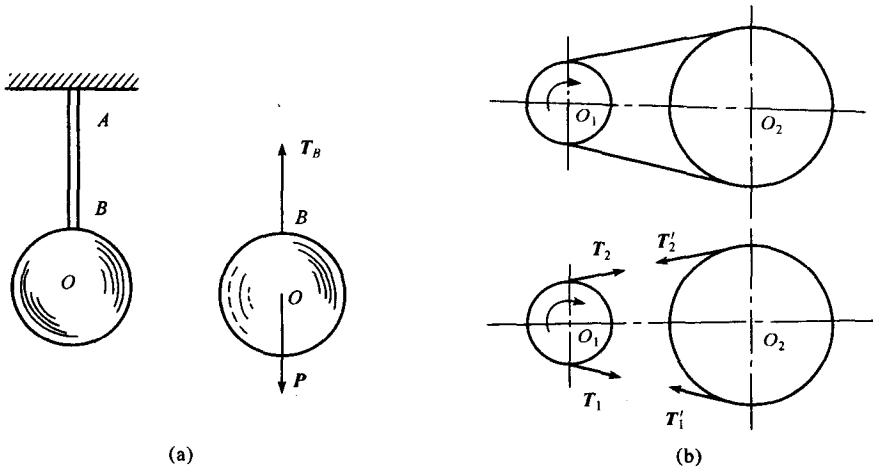


图 1-7

点是柔软易变形,不能抵抗压力,只能承受拉力。它只能限制物体沿柔性物体伸长方向的位移。约束反力的作用点在柔性物体与被约束物体的连接点上,力的作用线沿柔性物体,指向背离物体。约束反力通常用字母 T 或 S 等表示,如图 1-7(a)所示。

在带传动中,当带绕过轮时,约束反力沿轮缘的切线方向,如图 1-7(b)所示。

二、理想光滑面约束

这种约束只能限制物体沿光滑面(平面或曲面)的公法线且指向支承面的运动,不限制物体沿着光滑面或离开光滑面的运动。因此,光滑面的约束反力通过接触点,方向沿光滑面的公法线并指向被约束的物体,如图 1-8(a)~(c)所示。

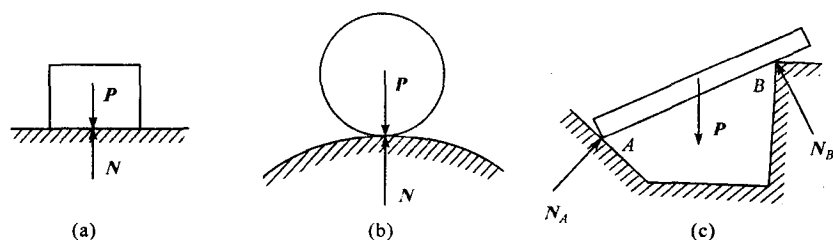


图 1-8

三、光滑圆柱铰链约束

两个物体各钻上同样大小的圆孔,并用圆柱形销钉连接起来,如图 1-9(a)所示。这种约束称为光滑圆柱铰链约束,简称铰链约束,简图如图 1-9(b)所示。铰链约束只能限制两物体的相对移动,不限制两物体绕销钉轴的转动。销钉与圆孔的接触视为两个光滑圆柱面接触。因此,约束反力的作用线沿圆柱面上接触点处的公法线方向,并且必然通过销钉的中心。随着构件的受力不同,销钉与构件圆孔的接触点位置也不同。因此约束反力的方向就不能预先确定。为了计算方便,通常用两个正交分力 X_A 和 Y_A 表示,其指向可任意假定,如图 1-9(c)所示。

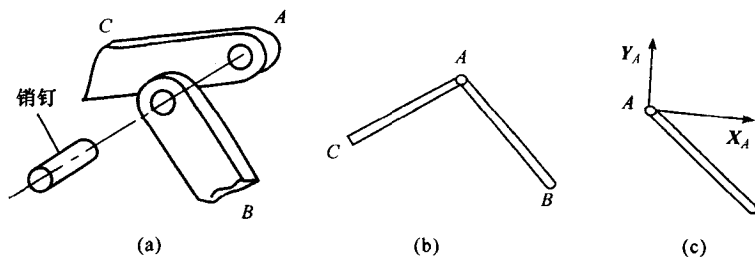


图 1-9

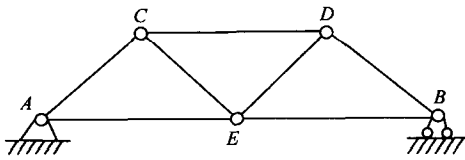


图 1-10

图 1-10 为某些屋架、桥梁架的简图。其中 C、D、E 点为铰链约束，A、B 处是框架的支座。支座的约束通常有以下两种型式。

1. 固定铰链支座约束

如果将铰链约束的两构件之一固定在基础上，这种约束叫做固定铰链支座约束，简称固定铰支，如图 1-11(a) 所示。简图和约束反力表示如图 1-11(b) 所示。

2. 可动铰链支座约束

这种约束是在铰链支座下面装上几个滚轴构成的，也称作滚轴支座约束，如图 1-12(a) 所示。这种支座不能阻碍支座沿支承面的位移，只能限制支座沿支承面的法向位移，因此，可动铰链支座的约束反力应垂直于支承面，并且通过铰链中心。简图及约束反力表示如图 1-12(b) 所示。

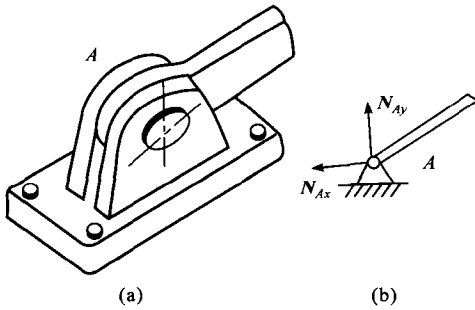


图 1-11

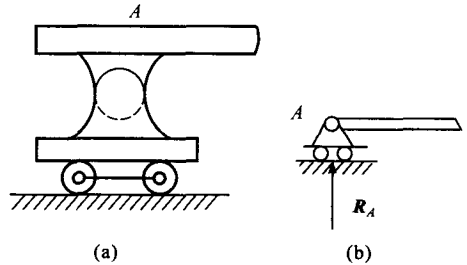


图 1-12

§ 1-4 受力和受力图

研究构件的平衡问题时，首先要明确研究对象，然后分析研究对象上受哪些力的作用，这就是通常所说的构件的受力分析。

对研究对象进行受力分析时，就要把研究对象从与它联系的周围物体中分离出来，这种解除约束的自由体称为分离体。在分离体上标出全部的力，这就是构件的受力图。绘构件的受力图按以下几个步骤进行：

- (1) 选定研究对象,将研究对象作为分离体单独画出;
- (2) 在分离体上标出主动力(一般为已知);
- (3) 将分离体原来的约束用相应的约束反力代替。

【例 1-1】 如图 1-13(a)所示吊架,悬挂一重量为 Q 的物体,试分别画出重物和 AB 杆的受力图(AB 杆自重不计)。

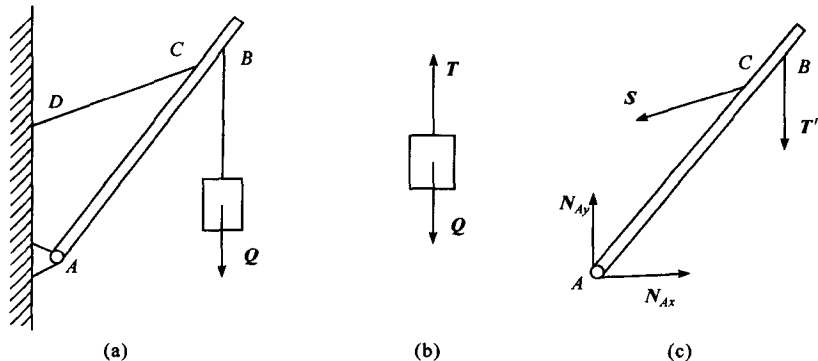


图 1-13

解 (1) 重物:作用在重物上的有主动力(重量) Q 和绳索的约束反力 T , T 沿绳索且背离物体,该物体只受两个力 Q 和 T 作用,此二力必共线,受力图如图 1-13(b)所示。

(2) AB 杆:杆的 B 、 C 点均为柔性约束,约束反力分别记作 T' 和 S ,其中 T' 与 T 互为反作用力关系。杆的 A 端为固定铰链支座,约束反力的大小和方向均未知,但可用 N_{Ax} 、 N_{Ay} 两个未知力表示,受力图如图 1-13(c)所示。

【例 1-2】 有一起重机构如图 1-14(a)所示,梁 AB 自重为 W ,拉杆 BC 自重不计,试分别画出拉杆 BC 、梁 AB 及整体的受力图。

解 (1) 拉杆 BC :该杆无主动力(自重不计)作用,两端为铰链约束,杆仅在其两端的两个约束反力作用下处于平衡,故 BC 杆为二力杆。 S_B 和 S_C 的大小相等,方向相反,作用线沿 B 、 C 点的连线,由经验判断 BC 杆受拉,受力图如图 1-14(b)所示。

(2) 梁 AB :梁上作用有主动力 G 和 W ; B 点有约束反力 S'_B ,此力与 S_B 互为作用与反作用力; A 点为固定铰链支座,约束反力的大小和方向未知,用 X_A 、 Y_A 表示,受力图如图 1-14(c)所示。

(3) 机构整体:机构上的外力有 G 、 W ; 约束反力只有 C 点的 S_C 和 A 点的 X_A

与 Y_A 。B处的 S_B 和 S'_B 是整体机构的互为作用与反作用的内力,不画出,机构整体受力图如图1-14(d)所示。

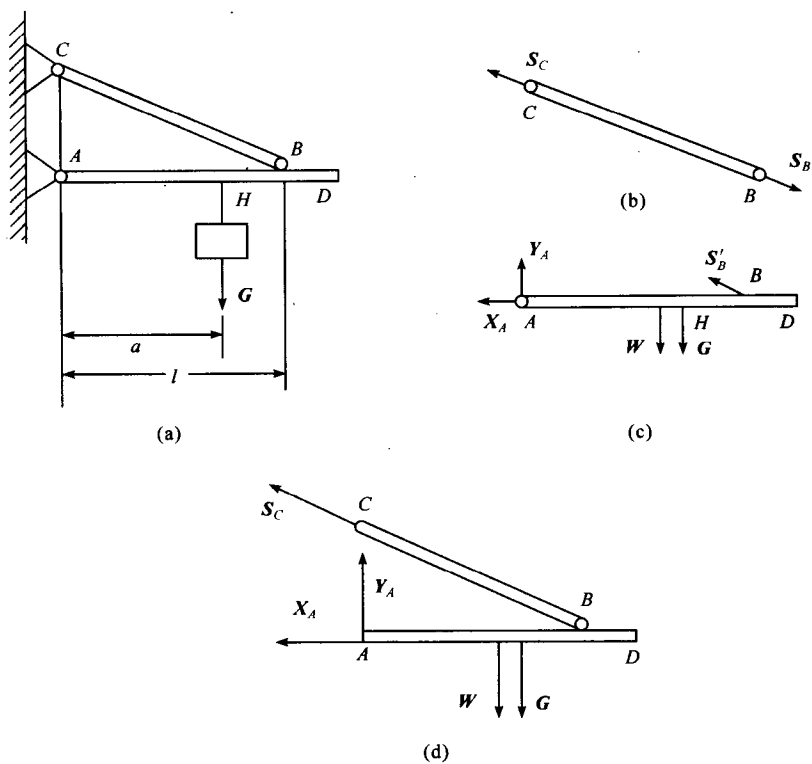


图 1-14

习 题

1-1 画出图1-15(a)~(f)所示物体的受力图。

