

机械基础

阎守礼 主编 王桂珍 副主编



北京理工大学出版社

TH 11

Y10

386228

机 械 基 础

阎守礼 主 编

王桂珍 副主编

TH11

Y10

北京理工大学出版社

(京) 新登字 149 号

内 容 简 介

本书是根据企业管理、化工工程、电子工程、工业设计等非机械类专业本科生的教学需要而编写的。

全书共分两篇二十六章。第一篇十二章为工程力学部分，主要内容为：力的基本概念、杆件受力分析、杆件在外载荷作用下的强度、刚度计算等。第二篇共十四章，主要内容为：常见机构及常用零部件的工作原理、结构特点、运用及选用条件、设计方法与步骤等。

本书可供高等院校非机械类专业本科生，电大、夜大、职大学生及有关工程技术人员学习、参考。

D253/15

机械工业出版社

王桂珍 主编

王桂珍 副主编

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

蓝地公司激光照排

北京地质印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 23.25 印张 563 千字

1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月第一次印刷

ISBN 7-81045-017-4/TH·5

印数：1—5000 册 定价 19.00 元

前言

本书根据企业管理、化工工程、电子工程、工业设计等非机械类专业本科生的教学需要,教学时数在100~120范围而编写的,与北京理工大学出版社发行的《画法几何及工程制图》(非机械类)配套使用,也可独立使用。本书可作为高等院校非机械类专业学生的教学参考书,亦可作为电大、夜大、职工大学及有关技术人员的参考书。

本书共分两篇二十六章,第一篇十二章,为工程力学部分。主要内容为:结合工程实际介绍力的基本概念、杆件受力分析、杆件在外载荷作用下强度、刚度的基本知识及基本计算等。第二篇共十四章,主要内容为:常见机构及常用零部件的工作(运动)原理、结构特点、运用及选用条件、设计方法与步骤等。本课程使学生(特别是对仅有一次系统学习机械工程基本知识的学生)对机械工程的基本知识、基本计算、基本设计方法等有比较系统的、全面的了解、培养学生分析解决常见机械工程问题的基本能力,提高学生走向社会的适应性。

本书在总结我校多年教学经验基础上,并注意吸取兄弟院校的经验,编写时注意到以下几个特点:

1. 本书在编写时注意到知识的连续性及前后科技知识的有机结合。如第一篇的工程力学注重于打好基础。第二篇则突出了运用提高,如力的基本分析及基本计算在齿轮、轴的设计计算中的应用等。前后结合,相辅相成。所学知识逐步深入,更加扎实。

2. 本书在编写中,注意到非机械类专业的特点,突出了基本知识与设计计算相结合、结构设计与图示表达相结合。书中增加了一定数量的结构图、零件工作图、绘图步骤及标注等,如齿轮、轴、焊接图等,以满足非机械类专业的要求。

本教材的内容体现了以“基本知识为基础、结构设计为重点、图示表达为主线”的教学特点。编写内容重点突出。

3. 基于非机械类专业的特点,本书在编写中注意减少篇幅,力求贯彻“少而精”的原则。

4. 本书注重基本知识的实际应用及各种物理参数的意义,对部分内容及公式推导作了适当的简化或省略。

每章均附有必要的例题及习题,以利于巩固提高所学知识。

5. 本书力求采用最新国家标准及国家通用符号,便于使用查阅。

非机械类专业涉及面广,不同专业对工程技术知识的深度、广度要求不尽相同,在教学的安排上,可根据不同专业的特点,对教材的内容、章节的次序作适当的增删和调整。

参加本书编写的有阎守礼(第一、二、三、四、五、六、七、八、九章及附录)、蒋知民(第十、十一、十二、十三、十四、十五章)、王桂珍(第十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二章)、齐春萍(第二十三、二十四、二十五、二十六章)。阎守礼任主编,王桂珍任副主编。

本书由北京邮电学院王雲汀副教授审阅,提出了许多宝贵意见。编者表示诚挚的感谢。

由于编者能力、水平所限,本书存在缺点或错误在所难免,恳请批评指正。

编者 1993.6.

主要符号表

A——面积	M——力矩、弯矩、力偶矩
a——长度	M_T ——扭矩、转矩
b——长度	N——力、轴力
c——长度	n——转速
C——系数、常数	P——力、功率
D、d——直径	p——压强
E——弹性模量	Q——力、剪力
F——力	R——力、半径
f——摩擦系数	r——半径
G——重量、剪切弹性模量	S——位移、安全系数
i——数目、传动比	t——时间
H、h——高度	V——速度
I——轴惯性矩	W——功
I_p ——极惯性矩	W_z ——抗弯截面系数 (模量)
J——转动惯量	W_p ——抗扭截面系数 (模量)
K——系数	σ ——正应力
k——系数、刚度	σ_b ——强度极限
L——长度	σ_e ——比例极限
l——长度	σ_s ——屈服极限
x——坐标	σ_p ——挤压应力
X——力的投影	σ_H ——接触应力
y——坐标挠度	σ_a ——应力幅
Y——力的投影	σ_m ——平均应力
Z——坐标	τ ——剪应力
α ——角度	ϕ ——角度
β ——角度	ψ ——截面收缩率、系数
γ ——角度	ω ——角速度
δ ——厚度、间隙	μ ——泊松比
ϵ ——线应变	ρ ——摩擦角、曲率半径
η ——效率	θ ——角度

常用物理量的单位名称及符号

量的名称	单位名称	单位符号	单位类别
长度	米	<i>m</i>	基本单位
质量	千克 (公斤)	<i>kg</i>	
时间	秒	<i>s</i>	
平面角	弧度	<i>rad</i>	辅助单位
力、重力	牛 (顿)	<i>N</i>	导出单位
压力、压强、应力	帕 [斯卡]	<i>Pa</i>	导出单位
力矩	牛 [顿] 米	<i>N · m</i>	
角速度	弧度每秒	<i>rad/s</i>	组合单位

力、应力单位换算

$$1Pa = 1N/m^2$$

$$1MPa = 1N/mm^2 = 10^6 N/m^2 = 10^6 Pa$$

$$1GPa = 10^9 Pa = 10^3 MPa$$

$$1kgf = 9.80665N$$

$$1tf = 1000kgf$$

$$1kg/mm^2 = 100kgf/cm^2 = 9.8N/mm^2 = 9.8MPa$$

目 录

第一篇 工程力学

第一章 基本概念 受力分析	1
§ 1-1 力的基本性质	1
§ 1-2 约束和约束反力	3
§ 1-3 受力分析和受力图	5
习 题	8
第二章 平面汇交力系	10
§ 2-1 平面汇交力系的合成——几何法	10
§ 2-2 平面汇交力系的合成——解析法	11
习 题	16
第三章 力矩和平面力偶系	18
§ 3-1 力矩	18
§ 3-2 平面力偶系	20
习 题	24
第四章 平面一般力系	26
§ 4-1 平面一般力系的简化	26
§ 4-2 平面一般力系的平衡方程	29
§ 4-3 平面平行力系的平衡方程	31
习 题	34
第五章 空间力系	36
§ 5-1 力在空间坐标轴上的投影	36
§ 5-2 力对轴的矩	39
§ 5-3 空间力系的平衡方程	41
习 题	49
第六章 摩擦 功	51
§ 6-1 滑动摩擦	51
§ 6-2 功 功率 效率	55
§ 6-3 电动机的选择	57
§ 6-4 滚动摩擦的概念	58
习 题	59
第七章 拉伸 压缩	61
§ 7-1 拉伸、压缩的内力和应力	61
§ 7-2 材料的机械性能	64
§ 7-3 拉伸、压缩强度计算	68
§ 7-4 关于应力集中	72
§ 7-5 受压杆的稳定	72
§ 7-6 薄壁圆筒的设计	75

习 题	78
第八章 剪 切	81
§ 8-1 剪切概念	81
§ 8-2 剪应力	82
§ 8-3 挤压强度	83
习 题	84
第九章 扭 转	87
§ 9-1 外力偶矩、扭矩及扭矩图	87
§ 9-2 扭转应力和强度条件	89
§ 9-3 扭转变形和刚度条件	92
习 题	94
第十章 弯 曲	96
§ 10-1 弯矩和弯矩图	97
§ 10-2 正应力和强度计算	100
§ 10-3 梁的弯曲变形和刚度条件	105
习 题	108
第十一章 组合变形 交变应力	110
§ 11-1 拉伸(压缩)和弯曲的组合	110
§ 11-2 弯曲和扭转的组合	113
§ 11-3 强度理论简介	115
§ 11-4 交变应力与疲劳破坏	116
习 题	119
第十二章 物体的重心、质心、形心	121
§ 12-1 物体的重心	121
§ 12-2 物体的质心	122
§ 12-3 物体的形心	122
§ 12-4 确定物体重心的方法	123
习 题	128

第二篇 机构学和机械零件

第十三章 概 论	129
§ 13-1 机械 机器 机构	129
§ 13-2 构件 零件	129
§ 13-3 机械设计概述	130
§ 13-4 机械中常用的材料	132
习 题	133
第十四章 平面机构的运动简图	134
§ 14-1 运动副及其分类	134
§ 14-2 机构运动简图	135
§ 14-3 平面机构的自由度	137
习 题	138
第十五章 平面连杆机构	139
§ 15-1 四杆机构的基本型式及特性	139

§ 15-2 铰链四杆机构中存在曲柄的条件	143
§ 15-3 平面四杆机构的其它型式	145
§ 15-4 铰链四杆机构的设计	148
习 题	150
第十六章 凸轮机构	152
§ 16-1 凸轮机构的应用和分类	152
§ 16-2 从动件常用的运动规律	154
§ 16-3 凸轮轮廓曲线的确定	155
§ 16-4 凸轮设计中的几个问题	158
习 题	159
第十七章 间歇运动机构	160
§ 17-1 棘轮机构	160
§ 17-2 槽轮机构	163
习 题	166
第十八章 螺纹及螺旋传动	167
§ 18-1 螺纹的形成及主要参数	167
§ 18-2 螺纹联接类型	169
§ 18-3 螺旋副的受力、效率、自锁及防松	171
§ 18-4 螺纹联接的设计计算	174
§ 18-5 螺旋传动	184
习 题	188
第十九章 铆钉联接 焊联接	190
§ 19-1 铆钉联接	190
§ 19-2 焊联接	193
习 题	202
第二十章 带传动和链传动	203
§ 20-1 带传动的结构及特点	203
§ 20-2 带传动的分析	204
§ 20-3 三角带传动的设计	206
§ 20-4 链传动	215
习 题	216
第二十一章 齿轮传动	217
§ 21-1 齿轮传动的特点及分类	217
§ 21-2 齿轮各部分名称和渐开线标准齿轮的基本尺寸	218
§ 21-3 齿廓啮合的基本定律	221
§ 21-4 渐开线和渐开线齿廓的啮合性质	222
§ 21-5 渐开线齿轮啮合过程	224
§ 21-6 轮齿切削加工的方法原理	225
§ 21-7 齿轮的材料	227
§ 21-8 圆柱齿轮的强度计算	229
§ 21-9 斜齿圆柱齿轮传动	239
§ 21-10 圆柱齿轮的结构	244
§ 21-11 直齿锥齿轮传动	248

§ 21-12 齿轮精度	253
习 题	259
第二十二章 蜗杆传动	261
§ 22-1 蜗杆传动的特点和类型	261
§ 22-2 蜗杆传动的主要参数、几何尺寸及结构	262
§ 22-3 蜗杆传动的受力分析、强度计算	267
§ 22-4 蜗杆传动的效率、润滑和散热	270
习 题	272
第二十三章 轮 系	274
§ 23-1 轮系的类型及作用	274
§ 23-2 定轴轮系	274
§ 23-3 周转轮系	276
§ 23-4 混合轮系	278
§ 23-5 减速器	279
习 题	283
第二十四章 轴及其联接	284
§ 24-1 轴	284
§ 24-2 轴的结构设计	286
§ 24-3 轴的强度计算	289
§ 24-4 键	293
§ 24-5 销	295
§ 24-6 联轴器和离合器	297
习 题	303
第二十五章 轴承	305
§ 25-1 滑动轴承的结构和材料	305
§ 25-2 非液体摩擦滑动轴承的计算	310
§ 25-3 滑动轴承的润滑	311
§ 25-4 滚动轴承	312
§ 25-5 滚动轴承的计算	316
§ 25-6 滚动轴承的组合设计	319
习 题	320
第二十六章 弹 簧	322
§ 26-1 弹簧的功用与类型	322
§ 26-2 圆柱形螺旋弹簧的结构参数和尺寸	323
§ 26-3 弹簧的材料和制造方法	325
§ 26-4 弹簧的应力、变形和特性线	326
习 题	328
附 录	329
一、国际制单位与换算 (摘录)	329
二、材料的摩擦系数	330
三、几何机械传动比较	330
四、形位公差的代号及其标注法	331
五、螺纹 (梯形螺纹及管螺纹)	336

六、常用滚动轴承的结构尺寸	339
七、油杯	346
八、联轴器	347
九、交流三相异步电动机	349
十、常用材料	351
十一、热处理名词简介	355
十二、常用润滑油、润滑脂牌号及用途	355
十三、机械零件结构设计注意事项	356
主要参考书目	358

第一篇 工程力学

第一章 基本概念 受力分析

§ 1-1 力的基本性质

一、力的概念

1. 力

力是人们生产和生活中很熟悉的概念，也是力学的基本概念。通过长期的生产实践和科学实验，人们建立了力的定义，即：力是物体间相互的机械作用，这种作用的效果是使物体的运动状态或形状发生改变。例如人推车的力使车子改变它的运动状态（如由静到动，由慢到快等）；锻锤对锻件的冲击力使锻件改变形状等。

力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应，而力使物体形状发生改变的效应称为力的内效应。

2. 力的三要素

力对物体作用的效应是由三个因素决定的，即：①力的大小；②力的方向；③力的作用点。

力的大小表示物体间机械作用的强弱，它可以通过力的运动效应或变形效应来度量。在国际单位制中，以牛顿（N）或千牛顿（kN）为力的单位。过去在工程上常以公斤力（kgf）或吨力（tf）作为力的单位。牛顿和公斤力的换算关系是：

$$1\text{kgf}=9.807\text{N}$$

力的方向表示物体间的机械作用具有方向性。

力的作用点表示力作用在物体上的部位。

力对物体的作用不仅决定于它的大小，而且决定于它的方向，所以力是矢量。在图上，可以用一带箭头的直线段将力的三要素表示出来。如图 1-1，用一定长度的线段 AB 表示力的大小；线段的箭头指向表示力的方向，线段的始端 A 或末端 B 表示力的作用点。通过力的作用点沿力的方向的直线，称为作用线，如图 1-1 中的 KL 。

3. 力系

同时作用在同一物体上的几个力或一群力称为力系。如果作用于物体上的力系可以用另一个力系来代替而效应相同，那么这两个力系互称为等效力系。

如果物体在一个力系的作用下保持平衡状态。则该力系为平衡力系。

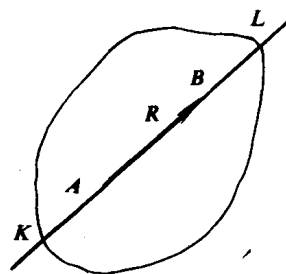


图 1-1

二、力的性质

1. 平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力,可以按平行四边形法则合成为一个合力。此合力也作用在同一点,其大小和方向由两力构成的平行四边形的对角线表示。如图 1-2 所示。 R 表示合力,则

$$R=F_1+F_2$$

用平行四边形法则也可以将一力分解为两个分力。

2. 二力平衡条件

作用于刚体上的两个力使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等。方向相反,且作用在同一直线上(简称:等值、反向、共线),如图 1-3 所示。

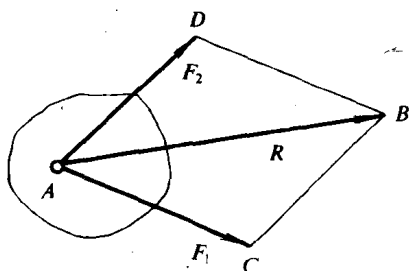


图 1-2

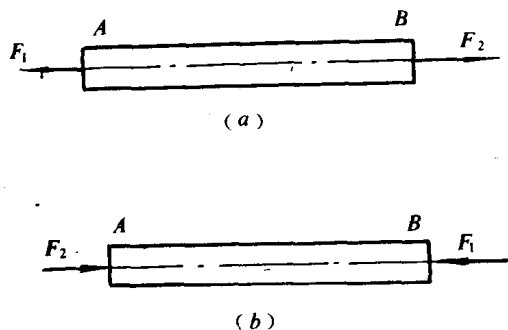


图 1-3

必须注意:二力平衡条件只适用于刚体。受二力作用处于平衡的杆件称为二力杆,如图 1-3 所示。

3. 力的可传性原理

作用在刚体上的力可以沿着它的作用线移动到刚体内的任意一点,而不改变该力对刚体的作用效应。如图 1-4 中用力 F 在 A 点推小车和用力 F_1 ($F_1=F$) 在 B 点(为力的作用线上任一点)拉小车,两者的外效应是相等的。

必须注意:运用力的可传性不改变力对物体的外效应,但要改变力对物体的内效应。例如图 1-3 (a) 中的直杆 AB 两端受到两个等值、反向、共线的拉力 F_1 、 F_2 作用而处于平衡。若将这两个力沿作用线分别移到杆的另一端,图 1-3 (b),则杆 AB 仍处于平衡。这说明力沿作用线移动并不改变力的外效应。但在

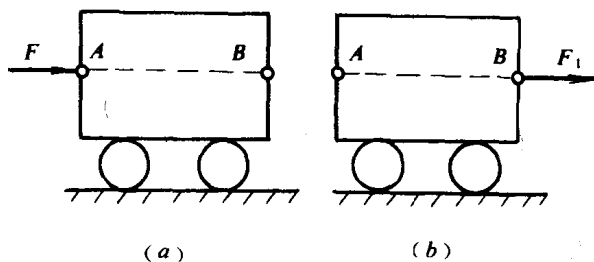


图 1-4

图 1-3 (a) 的情况下,直杆 AB 在力作用下产生拉伸变形,而在图 1-3 (b) 的情况下,直杆 AB 在力作用下产生压缩变形。可见力对直杆的内效应改变了。这就说明力的可传性只适用刚体而不适于变形体。

4. 作用和反作用定律

两个物体间的作用力和反作用力,总是大小相等、方向相反,作用线相同,分别作用在

两个物体上。

这一定律表明：力总是成对出现的，有作用力必有反作用力；同时也表明：作用力和反作用力不是作用在同一个物体上，而是分别作用在两个相互作用的不同物体上。因此，对于每一个物体来说，不能把作用力和反作用力说成是一对平衡力。例如：车刀在工件上切槽时（图 1-5），车刀作

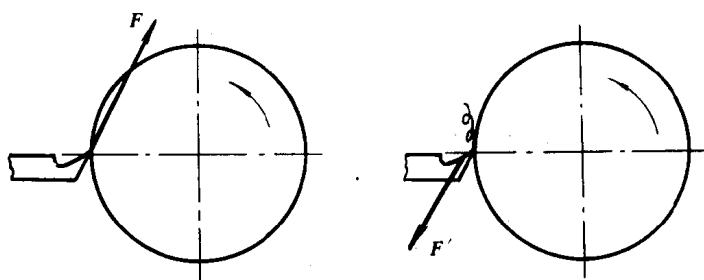


图 1-5

用于工件的切削力 F ，同时工件必有反作用力 F' 加于车刀。 F 和 F' 总是等值，反向，共线。

§ 1-2 约束和约束反力

使物体的运动状态或形状发生改变的力，一般可以分为主动力和约束反力。

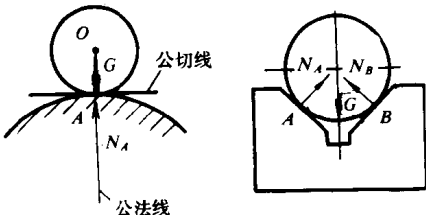
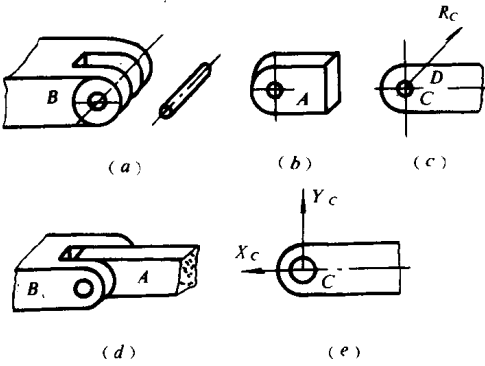
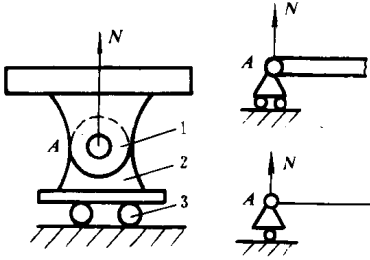
主动力（又称外载荷）：通常指能主动引起物体运动或使物体有运动的趋势的力，如重力、水压力、风压力、电磁力等等。主动力一般都是已知的。

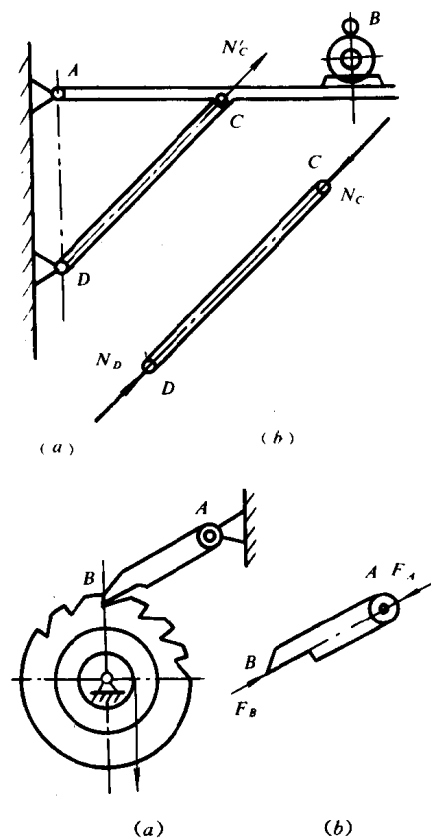
限制物体某些运动的条件称为约束。约束作用于被约束物体上的力，称为约束反力，简称反力。约束反力的方向总是与约束所能阻碍的物体的运动方向相反。约束反力的作用点就是物体上与作为约束的物体相接触的点。约束反力的大小，一般是未知的。在静力学中，约束反力与物体所受的其它已知力（主动力）组成平衡力系，可由力系的平衡条件求出。表 1-1 为几种约束及约束反力的图例。

表 1-1 常见的几种约束及约束反力方向

种 类	实 例	约束反力作用点及方向
柔索约束		作用点：通过柔索与物体的连接点 方 向：沿着柔索指向背离物体

续表

种 类	实 例	约束反力作用点及方向
光滑面约束		作用点：接触点 方 向：沿接触点处的 公法线，并指 向物体
光滑圆柱铰链约束	固定铰链支座 	作用点：圆孔中心 方 向：用 X、Y 方向两 个分力表示
可动铰链支座		作用点：通过圆心 方 向：垂直于支承面

种 类	实 例	约束反力作用点及方向
连杆约束 (二力杆)		作用点: 两端点 方 向: 沿着两端铰链 中心的连线, 指向待定

§ 1-3 受力和受力图

受力分析就是研究物体的受力情况, 包括物体所受到的主动力和约束反力的作用点和指向等。在对物体进行受力分析时, 首先选择一个研究对象, 单独画出, 这种从周围物体中单独分离出来的研究对象, 称为分离体。取出研究对象以后, 再将作用在它上面的全部力 (包括已知和未知的约束反力) 都画在图形上。这种表示研究对象 (分离体) 所受的全部力的图形, 称为受力图。

恰当的选取研究对象 (分离体), 正确地画出受力图是解决力学问题的基础。画受力图的主要步骤和注意点归纳如下:

一、步骤

1. 取研究对象

根据已知条件和题意要求确定研究对象, 将所确定的研究对象从与它相联系的周围物体中分离出来, 用最简明的轮廓将研究对象单独画出。研究对象可以是一个物体、几个物体的

组合或整个物体系统。

2. 画已知力

画出分离出来的研究对象所受的全部已知力，不能遗漏、也不能把不作用在这个研究对象上的主动力画到该研究对象上。主动力的作用线和方向不能任意改变。

3. 画约束反力

研究对象往往同时受到多个约束，必须严格地按照被去掉约束的性质，画出它们作用在研究对象上的约束反力。不能主观臆测。

二、注意事项

1. 不要漏画力

研究对象所受的全部力包括已知力、约束反力都要一个不漏的画出来。

2. 不要多画力

力是物体之间的相互机械作用，因此对于受力体所受的每一个力，都应能明确地指出，它是哪一个物体施加给哪一个物体的力。如果找不出力的施加体是哪一个物体，那么这个力就是多余的。

3. 不要画错力的方向

约束反力的指向必须严格按照约束的类型来画。主动力的方向由已知条件确定。

4. 不画物体的内力

例 1-1 冲天炉加料斗由钢丝绳牵引沿倾斜铁轨匀速提升，料斗同炉料共重 G ，重心在 C 点如图 1-6 (a)。略去料斗小轮与铁轨之间的摩擦，试画出料斗的受力图。

解 以料斗作为研究对象。把料斗从周围物体的联接中分离出来，单独画出如图 1-6 (b)。料斗所受力有：已知力为重力 G ，作用在重心 C 点；约束反力有：钢丝绳拉力 S ，根据柔索约束反力的特征。拉力 S 的方向沿着钢丝绳；钢轨的反力 N_A ， N_B ，根据光滑接触约束反力的特征， N_A ， N_B 垂直于钢轨，各力如图 1-6 (b) 所示。

例 1-2 简支梁 AB 的 A 端为固定铰链支座， B 端为可动铰链支座，并放置在斜坡角为 α 的支承面上，梁在点 C 和 D 分别受到主动力 P 和 Q 的作用，如图 1-7 (a) 所示。试画出梁的受力图。梁的自重不计。

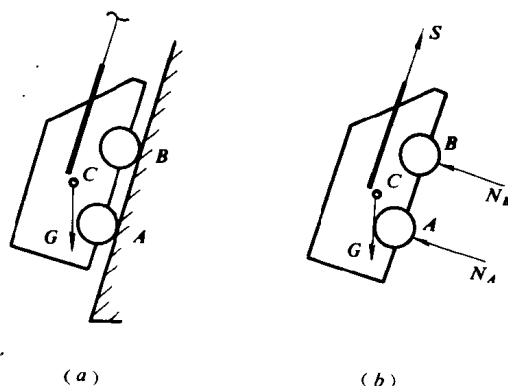


图 1-6