

工程力学



山东人民出版社

工 程 力 学

山东工学院力学教研室编

*

山东人民出版社出版

山东新华印刷厂印刷

山东省新华书店发行

*

1977年2月第1版 1977年2月第1次印刷

统一书号：7099·22 定价：2.60元

毛主席语录

我们的教育方针,应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展,成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

大学还是要办的,我这里主要说的是理工科大学还要办,但学制要缩短,教育要革命,要无产阶级政治挂帅,走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路。要从有实践经验的工人农民中间选拔学生,到学校学几年以后,又回到生产实践中去。

前 言

本书原系浙江大学、合肥工业大学、镇江农机学院、福州大学、山东工学院五校共同编写。曾于一九七四年印作教材试用，以后又经浙江大学、郑州工学院及山东工学院修改，再次付印。

为了适应我省七·二一工人大学蓬勃发展的需要，在有关部门的领导下，我们和七·二一大学师生，本着毛主席关于“**教材要彻底改革，有的首先删繁就简**”的指示精神，对原教材进行了讨论、修改。书中主要讲述了工程力学的基本内容、方法和实际应用问题。在编写中力求理论和实践相结合，培养学员分析和解决实际问题的能力。本书在各篇末均附有习题。由于七·二一工人大学专业不同，使用时可按具体情况，作适当取舍或补充，有“*”号的章节，可按实际需要选用。

由于我们的水平所限，修改时间又较紧迫，书中可能存在一些问题，欢迎广大读者批评指正。

山东工学院力学教研室

1977年1月

目 录

第一篇 静力学	3
第一章 力的基本性质和物体的受力分析	4
§1—1 力的概念	4
§1—2 力的几种基本性质	5
§1—3 物体的受力分析	8
第二章 平面汇交力系	15
§2—1 平面汇交力系合成的图解法	15
§2—2 平面汇交力系合成的解析法	17
§2—3 平面汇交力系平衡的几何条件	19
§2—4 平面汇交力系平衡的解析条件	22
第三章 平面一般力系	29
§3—1 力 矩	30
§3—2 平面一般力系的平衡条件	32
§3—3 物体系统的平衡和超静定的概念	38
§3—4 力偶和力偶矩	41
§3—5 力向一点的平行移动	44
§3—6 平面一般力系向一点的简化	45
第四章 摩 擦	53
§4—1 滑动摩擦的基本规律	53
§4—2 考虑摩擦时物体的平衡问题	55
§4—3 滚动摩擦的概念	61
第五章 空间一般力系	68
§5—1 力对轴的矩	68
§5—2 空间力系的平衡条件	70
§5—3 重 心	74
第二篇 材料力学	85
第一章 引 言	85
§1—1 材料力学的任务 强度、刚度和稳定性	85
§1—2 杆件的基本变形形式	86
第二章 拉伸与压缩	88
§2—1 拉伸(压缩)的概念和实例	88
§2—2 轴向拉伸(压缩)时横截面上的内力和应力	88
§2—3 拉伸(压缩)时的变形	90

§ 2—4	材料在拉伸(压缩)时的机械性质	93
§ 2—5	拉伸与压缩的强度计算	97
§ 2—6	应力集中的概念	100
§ 2—7	轴向拉伸(压缩)时斜截面上的应力	101
§ 2—8	冲击韧性	103
第三章	剪 切	108
§ 3—1	剪切的概念与实例	108
§ 3—2	剪切和挤压的实用计算	109
§ 3—3	剪应力互等定理和剪切虎克定律	112
第四章	扭 转	115
§ 4—1	扭转的概念与实例	115
§ 4—2	圆轴扭转时的应力和变形	117
§ 4—3	圆轴扭转时的强度条件和刚度条件	121
§ 4—4	密圈螺旋弹簧的计算	125
§ 4—5	非圆截面杆件扭转简介	128
第五章	弯曲强度	132
§ 5—1	平面弯曲概述	132
§ 5—2	剪力和弯矩	133
§ 5—3	弯矩方程与弯矩图	136
§ 5—4	弯曲正应力	140
§ 5—5	截面惯性矩和抗弯截面模量	143
§ 5—6	弯曲剪应力计算公式简介	147
§ 5—7	梁的合理截面与等强度梁的概念	148
第六章	弯曲变形	154
§ 6—1	生产实践中的弯曲变形问题	154
§ 6—2	挠曲线的近似微分方程及其积分	156
§ 6—3	用迭加法求梁的变形	162
§ 6—4	提高弯曲刚度的几种途径	164
§ 6—5	超静定问题	165
第七章	组合变形与应力状态分析	172
§ 7—1	组合变形概述	172
§ 7—2	拉伸(压缩)和弯曲的组合	173
§ 7—3	弯曲与扭转的组合	174
§ 7—4	应力状态分析	178
§ 7—5	复杂应力状态下的强度条件和强度理论简介	182
* § 7—6	用应力圆分析二向应力状态	191
第八章	交变应力下构件的强度计算	196
§ 8—1	交变应力概述	196

§ 8—2	交变应力实例与循环特性	198
§ 8—3	材料的持久极限及其测定	200
§ 8—4	影响持久极限的因素和对称循环时零件的疲劳强度校核	202
* § 8—5	材料的持久极限曲线及其简化曲线	208
* § 8—6	零件在非对称循环时的疲劳强度校核	210
§ 8—7	提高持久极限的措施	216
第九章	压杆稳定	223
§ 9—1	压杆稳定的概念	223
§ 9—2	确定临界载荷的欧拉公式	224
§ 9—3	欧拉公式的适用范围和临界应力的经验公式	228
§ 9—4	压杆的稳定计算	230
§ 9—5	提高压杆抵抗失稳能力的措施	233
第十章	断裂力学简介	236
§ 10—1	引 言	236
§ 10—2	线弹性断裂力学的基本概念	237
§ 10—3	平面应变断裂韧性 K_{Ic} 的测试方法简介	241
§ 10—4	断裂韧性的应用举例	244
第三篇	运动学与动力学	247
第一章	点的运动	250
§ 1—1	点的直线运动	250
§ 1—2	点的匀变速直线运动	254
§ 1—3	点的曲线运动	256
第二章	刚体的基本运动	264
§ 2—1	刚体的平动	264
§ 2—2	刚体的定轴转动	265
§ 2—3	转动刚体上任意一点的速度和加速度	267
§ 2—4	简单轮系传动比的计算	270
第三章	点的运动的分解与合成	274
§ 3—1	基本概念	274
§ 3—2	点的速度合成定理	276
第四章	刚体的平面运动	285
§ 4—1	平面运动分解为平动与转动	285
§ 4—2	平面图形上各点的速度分析(一)——基点法	287
§ 4—3	平面图形上各点的速度分析(二)——瞬心法	291
第五章	动力学基本定律和刚体定轴转动微分方程	301
§ 5—1	动力学基本定律	301
§ 5—2	质点运动的微分方程	302
§ 5—3	刚体定轴转动的微分方程	305

§5—4	转动惯量	307
§5—5	刚体定轴转动微分方程应用举例	313
第六章	动静法	319
§6—1	惯性力的概念	319
§6—2	质点的动静法	320
§6—3	质点系的动静法	322
§6—4	构件作加速运动或匀速转动时的应力计算	327
§6—5	刚体作定轴转动时轴承的动反力静平衡和动平衡的概念	330
第七章	动能定理	336
§7—1	力的功	336
§7—2	质点的动能定理	339
§7—3	质点系的动能定理	343
§7—4	杆件受冲击时的应力和变形	348
§7—5	功率	350
* 第八章	质点的振动	355
§8—1	振动现象	355
§8—2	质点的自由振动	355
§8—3	质点的受迫振动	363
§8—4	杆件受迫振动时的应力	369
§8—5	消振和隔振的概念	371
附录一	截面的静矩与惯性矩	374
附录二	常用标准试样	379
附录三	型钢表	382

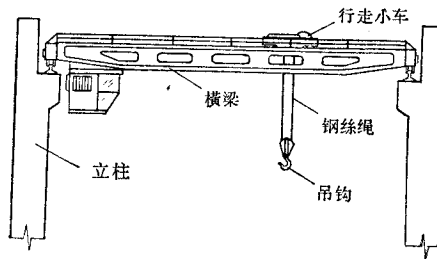
在毛主席的无产阶级革命路线指引下，在英明领袖华主席为首的党中央领导下，我国的社会主义革命和社会主义建设正在出现一个新高潮。机械工业和其他战线一样，正在蓬勃地向前发展，呈现一派欣欣向荣的景象。

毛主席教导我们：“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。”设计制造一部机器或工程结构最基本的要求就是既能安全正常地工作，又能节省材料和工时，符合多快好省的精神。因此，就需要了解机械运动规律，分析其受力情况，判明其坚固程度以及工作能力等。工程力学就是为解决这些问题提供必要的理论基础、计算和实验方法。

机器和工程结构是由许多零件或构件组成的。要满足工作中既安全又经济的要求，完成合理的设计，必须进行很多工作。首先是要分析外力的作用，这种作用包括“外部的”和“内部的”效应。“外部的”效应是指物体在哪些外力作用下处于怎样的运动状态，为此要对物体进行受力分析、运动分析和动力分析。“内部的”效应是指物体在这些外力的作用下，内部将产生怎样的抗力及变形，为此对物体要进行强度分析、刚度分析和稳定分析。“对于某一现象的领域所特有的某一种矛盾的研究，就构成某一门科学的对象。”工程力学的任务正是结合工程实际来分析外力对物体的作用，奠定工程设计的力学基础。

现以工厂里常用的桥式起重机（行车）为例，说明工程力学的基本内容。

桥式起重机可以抽象简化成如图的结构。它包括：立柱、横梁、钢丝绳、行走小车、吊钩等构件及零件。



1. 受力分析：要了解各主要构件、零件受到哪些外力的作用，这些力之间存在怎样的相互制约的关系。

2. 运动分析：要了解行车各件的运动状态，分析它们的位移、速度、加速度的变化。

3. 动力分析：要了解行车在工作状态中例如：小车在横梁上行走、吊钩对小车上下运动等，各件受力的变化情况。

4. 强度分析：在了解物体受力情况的基础上，应判明物体在外载荷作用下会不会导致破坏，例如，钢丝绳会不会拉断，就要看它内部的抗力是否足以抵抗外力。为了保证物体有足够的强度，我们就要研究物体受到破坏和它反破坏的矛盾及其转化。

5. 刚度分析：物体受力后不仅会产生抗力而且会使物体产生变形，例如行车吊重后横梁会变弯、钢丝绳会拉长。过大的变形会使行车不能正常工作，因此要保证物体有足够的刚度。

6. 稳定分析：物体还有一个保持原有平衡形式的问题。例如支持横梁的立柱，当轴

向载荷超过某一个临界值时，会产生偏离原有直线平衡位置而使结构溃折，这叫做失稳。因此，对于一些特定的物体，如细长压杆，就要分析怎样才能保证其平衡稳定性。

以上分析的一些内容，尚不是桥式起重机设计的全部，只是通过这个具体工程结构，来了解工程力学所要研究的一些问题。

根据以上这些问题，本书内容分作下面三大部分进行讲述：

一、静力学部分：研究物体机械运动的特殊情况——物体处于平衡状态时，各力之间的关系。

二、材料力学部分：研究物体在力的作用下强度、刚度、稳定问题。

三、运动学及动力学部分：研究物体机械运动的几何性质以及物体运动与受力情况之间的关系。

第一篇 静 力 学

在自然界中，我们可以看到许许多多关于物体位置发生变化的现象。例如，星球的运行，龙门刨床工作台的往复移动，汽车的行驶。这种物体在空间的位置随着时间的变化而发生变化，称为机械运动。毛主席指出：“自然界存在着许多的运动形式，机械运动、发声、发光、发热、电流、化分、化合等等都是。”机械运动是最简单的一种运动形式。

物体的机械运动有一种特殊形式——平衡。在工程上，物体相对于地球保持静止或作等速直线运动，称为平衡。必须注意，平衡是相对的、暂时的、有条件的。固定于基础上的机床床身，只是相对于地球处于静止状态，实际上床身随着地球在宇宙空间运行着。如果作用于物体的许多力（称为力系）满足一定条件（称为平衡条件），物体可以暂时地处于平衡状态。但当物体所受的力发生变化，平衡条件被破坏，物体就由平衡状态转化为机械运动的一般形式——不平衡状态。

在静力学中，主要研究物体受力分析的基本方法和在力作用下物体的平衡条件。

为了合理地设计机器零件和结构构件的形状尺寸，选择恰当的材料，需要对它们进行强度和刚度的分析计算。作为第一步，往往需要运用静力学知识，对零件、构件进行受力分析，并根据平衡条件求出零件、构件所受的力。在探求零件、构件在受力情况下的强度、刚度规律时，也需要静力学知识。从这个意义上讲，静力学是强度分析、刚度分析的基础。学习静力学，也为学习动力学，对机器进行动力分析准备了条件。此外，静力学在工程技术中经常得到应用。例如，正确地分析轴上零件（如斜齿轮）的受力情况，才能合理地布置轴承；通过平衡条件求出轴承反力，是选用轴承的一个依据；对考虑摩擦力的平衡问题进行分析，得出某些零件的自锁条件，以便正确地设计这些零件。

第一章 力的基本性质和物体的受力分析

§ 1—1 力的概念

我们伟大的领袖和导师毛主席指出：“社会实践的继续，使人们在实践中引起感觉和印象的东西反复了多次，于是在人们的脑子里生起了一个认识过程中的突变（即飞跃），产生了概念。”对力的概念的认识，人们也是在长期的生产活动和日常生活中逐步建立起来的。力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变（包括变形）。例如人推车，使车子改变它的运动状态（如由静转入动、由慢转快、转弯等）；地球对人造卫星的引力，使卫星不断改变运动方向而绕着地球运转；锻锤对锻件的冲击力，使锻件改变形状等。

力对物体作用的效果决定于：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。我们把力的大小、方向和作用点，称为力的三要素。在工程上，力的大小的常用单位是公斤(kg)和吨(T)。

在力学中要区别两种量：标量和矢量。如果在确定某种量时，只要考虑它的大小就够了，这种量称为标量。例如体积、时间就是标量。如果在确定某种量时，不但要考虑它的大小，还要考虑它的方向，这种量称为矢量（或向量）。力对物体的作用不仅决定于力的大小，而且还决定于力的方向，因此力是矢量。以后，我们用黑体字母（如 F 、 P 、 G ）或在字母上加箭头（如 $\vec{F}$ 、 $\vec{P}$ 、 $\vec{G}$ ）表示力的矢量，而用普通体字母（如 F 、 P 、 G ）表示力的大小。

在力学中用一条带箭头的线段（矢）把力的三要素表示出来。矢的起点表示力的作用点，沿着力矢顺着箭头的方向表示力的方向，矢的长度按比例代表力的大小。图1—1中表示了工人（未画出）推小车的力 $\vec{F}$ 。 A 点表示力的作用点，箭头表示力的方向。如果推力的大小为 $10kg$ ，用 $4mm$ 长的线段代表 $1kg$ 力，那么 $10kg$ 的力就用 $40mm$ 长的线段 AB 表示。

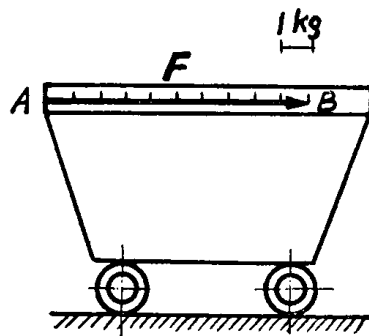


图 1—1

力对物体的作用，除了对整个物体的运动（包括平衡）发生影响外，还会使物体产生变形。在正常情况下，工程上的机器零件和结构构件在力作用下产生的变形是很微小的（例如，一般机器中的轴的允许最大挠度在轴承间距的万分之五以下）。这种微小的变形对于整个物体的运动（包括平衡）影响极小。因此，在静力学中研究物体的平衡问题时，变形是次要因素可以略去。也就是说，把物体看作是在受力情况下保持形状和大小不变的物体，称为刚体。同理，在运动学和动力学中，也把物体看作是刚体。因此，刚体是力学中对物体进行简化后得到的理想模型。

这种简化是必要的，也是为实际所许可的。

“然而在另一种情形之下，则矛盾的地位起了变化。”在材料力学中要研究物体在受力情况下所产生的变形，变形这一因素跃居主要地位，这时就决不能再把物体看作是刚体了。

§ 1—2 力的几种基本性质

通过长期实践，已经概括出力的各种基本性质。力是矢量就是力的一种最基本的性质。下面再介绍力的三种基本性质。

一、二力平衡条件

最简单的平衡力系是由两个力组成的。例如，两人各拉木棍的一头，只有当两个拉力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 大小相等、方向相反、沿同一直线作用时，木棍才能平衡(图1—2a)。又如，钢绳提升重物(图1—2b)。通过实验知道，重物加速上升时，重物所受的钢绳拉力 T 大于重力 G ，重物加速下降时 T 小于 G ，只当重物等速上升(下降)或静止，即处于平衡状态时， T 才等于 G 。

二力平衡条件是：二力大小相等，方向相反，并沿同一作用线（简称等值、反向、共线）。

在两个力作用下并处于平衡的物体称为二力体，如果物体是杆件，也称二力杆件。图1—3(b)所画的棘爪在A处受到圆柱形销钉所给的力 $\vec{F}_A$ ，在B点受到棘轮给它的力 $\vec{F}_B$ ，棘爪自重很轻可略去不计，因此棘爪是二力体。根据二力平衡条件，可以断定：

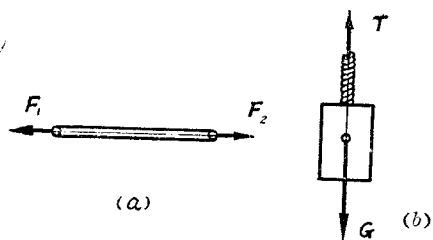


图 1—2

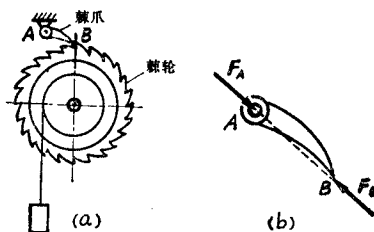


图 1—3

(1) $\vec{F}_A$ 和 $\vec{F}_B$ 的大小相等，即 $F_A = F_B$ ；(2) $\vec{F}_A$ 、 $\vec{F}_B$ 必定共线、反向，因此 $\vec{F}_A$ 、 $\vec{F}_B$ 的作用线一定沿 A、B 两点的连线， $\vec{F}_A$ 、 $\vec{F}_B$ 指向相反。可见，利用二力平衡条件，可以确定二力体所受两个力的作用线。

二、作用和反作用定律

力是物体之间的相互机械作用。甲物体给乙物体一个力时，乙物体必给甲物体一个反作用力。

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，并沿同一作用线。

例如，车刀在工件上切槽时(图1—4)，车刀作用于工件的切削力为 $\vec{P}$ ，同时工件必有反作用力 $\vec{P}$ ，作用于车刀。 $\vec{P}$ 和 $\vec{P}$ 总是等值、反向、共线，可用矢量等式来表示：

$$\vec{P} = -\vec{P}'$$

作用和反作用是力学中普遍存在的一对矛盾。“原来矛盾着的各方面，不能孤立地存在。假如没有和它作对的矛盾的一方，它自己这一方就失去了存在的条件。”作用力和反作用力相互依存，同时出现，同时消失。这是矛盾同一性的体现。

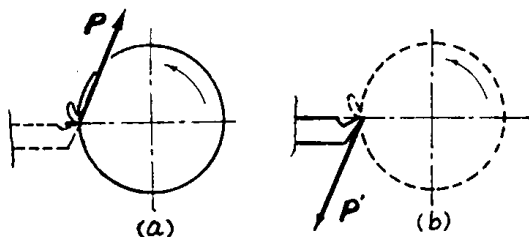


图 1—4

必须注意，作用力和反作用力不是作用在同一物体上，而是分别作用在互相作用的两个物体上。因此，对每一物体来说，不能把作用力和反作用力说成是一对平衡力。在作图时，也应力求明确，而不混乱。例如车刀作用于工件的切削力 $\vec{P}$ 应该画在工件图上（图 1—4a），而车刀（图中用虚线表示）不必画出；工件作用于车刀的反作用力 $\vec{P}'$ 应该画在车刀图上（图 1—4b），并且一定要与 $\vec{P}$ 的方向相反。

三、力的平行四边形法则

作用于物体上的力系，如果可以用一个适当的力来代替而效应相同（叫做等效），那么这个力称为力系的合力，而力系的那些力称为分力。求合力的过程叫做力的合成。反过来，将一个力等效地分为几个分力的过程，叫做力的分解。

力的平行四边形法则，作用于物体上同一点的两个力可以合成为合力，合力的大小和方向用两分力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

例如，两人分别用力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 拉压路滚子（图 1—5）。在图上画出 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 。以力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 为邻边作一平行四边形，它的对角线 AD 就代表 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 的合力 $\vec{R}$ 。合力 $\vec{R}$ 对滚子的效应，与分力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 对滚子的联合效应相同。

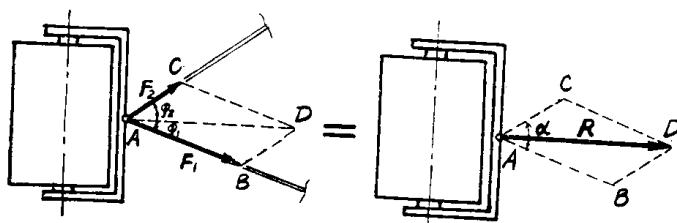


图 1—5

力的平行四边形法则告诉我们，两个力相加（合成）不能简单地用算术相加，而要用平行四边形法则相加。不但是力，其它矢量（如速度、加速度）也是用平行四边形法则相加的。因此，平行四边形加法也称矢量加法。分力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 合成为合力 $\vec{R}$ 可以用下列矢量等式来表示：

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (1-1)$$

注意：上式是矢量相加式，与算术相加式 $R = F_1 + F_2$ 意义不同，不能混淆。

求合力 $\vec{R}$ 的大小和方向，有两个方法：

(1) 图解法 选取恰当比例作成平行四边形后,直接从图上量得对角线的长度,它按比例代表合力 $\vec{R}$ 的大小。对角线与分力的夹角表示合力的方向,可用量角器量出。

(2) 计算法 在图 1-5 上,对于 $\triangle ABD$ 应用余弦定理:

$$(\overline{AD})^2 = (\overline{AB})^2 + (\overline{BD})^2 - 2(\overline{AB})(\overline{BD})\cos\angle ABD$$

$$\begin{aligned} \text{即 } R^2 &= F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos(180^\circ - \alpha) \\ &= F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha \end{aligned}$$

$$\text{所以 } R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \quad (1-2)$$

式中: R —合力的大小;

F_1 、 F_2 —两分力的大小;

α —分力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 之间的夹角。

为了求合力 $\vec{R}$ 与分力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 之间的夹角 φ_1 、 φ_2 ,对于 $\triangle ABD$ 应用正弦定理:

$$\frac{AB}{\sin\varphi_2} = \frac{AD}{\sin(180^\circ - \alpha)}, \quad \frac{BD}{\sin\varphi_1} = \frac{AD}{\sin(180^\circ - \alpha)}$$

$$\text{即 } \frac{F_1}{\sin\varphi_2} = \frac{R}{\sin\alpha}, \quad \frac{F_2}{\sin\varphi_1} = \frac{R}{\sin\alpha}$$

$$\left. \begin{aligned} \sin\varphi_1 &= \frac{F_2\sin\alpha}{R} \\ \sin\varphi_2 &= \frac{F_1\sin\alpha}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

由此得

在实用上经常遇到的是两分力互相垂直的情形。设分力 $\vec{F}_1$ 垂直于分力 $\vec{F}_2$ (图 1-6)。以这两分力为邻边作成的平行四边形成为矩形 $ABDC$ 。在直角 $\triangle ABD$ 中,利用勾股弦定理得合力大小

$$R = AD = \sqrt{(\overline{AB})^2 + (\overline{BD})^2}$$

$$\text{即 } R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \quad (1-4)$$

合力 $\vec{R}$ 与分力 $\vec{F}_1$ 之间夹角 φ_1 的正切

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{F_2}{F_1} \quad (1-5)$$

【例 1-1】轴承 A 受到轴颈给它的水平力 $\vec{F}_1$ 和铅垂力 $\vec{F}_2$ 。 $F_1 = 200 \text{ kg}$, $F_2 = 500 \text{ kg}$ (图 1-7a)。求轴承受到的合力 $\vec{R}$ 。

解: (1) 图解法

按 1 cm 长代表 100 kg 的比例来画力。以矢量 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 为邻边作出一平行四边形 $ABDC$ (图 1-7b), 那么对角线 AD 就是合力 $\vec{R}$ 。 $ABDC$ 是一矩形。用尺和

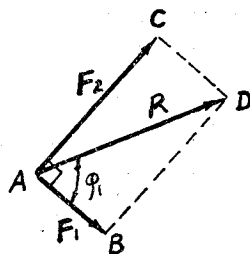


图 1-6

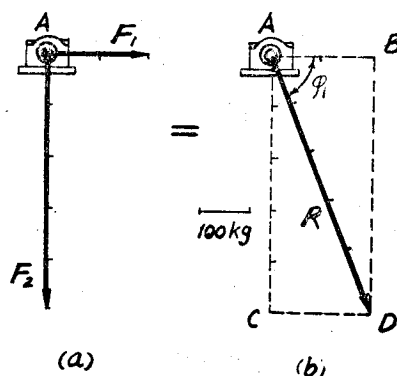


图 1-7

量角器量得

$$R = AD = 530 \text{ kg}, \varphi_1 = 70^\circ$$

(2) 计算法

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{200^2 + 500^2} = 539 \text{ kg}$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{F_2}{F_1} = \frac{500}{200} = 2.5, \quad \therefore \varphi_1 = 68^\circ 12'$$

§ 1—3 物体的受力分析

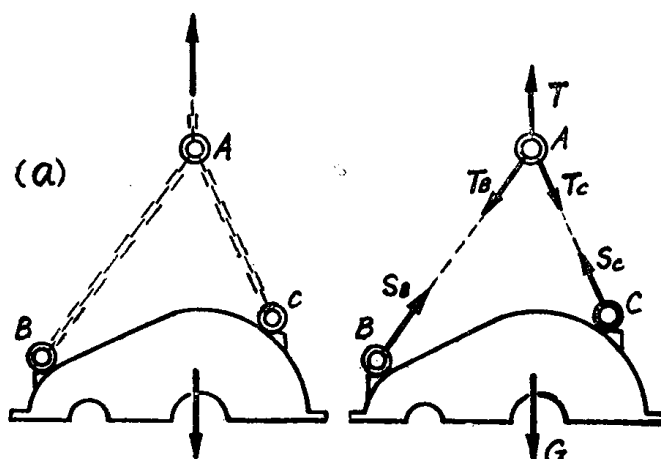
机器、工程结构中的每一零件、构件，总是与其它零件、构件相接触的。在相接触的零件、构件之间，相互作用着力。为了合理地设计零件、构件，需要分析零件、构件的受力情况，即进行受力分析。

在工程力学中所研究的物体，它们的运动大都受到某些限制。例如，龙门刨床工作台受导轨的限制，只能沿导轨纵向移动；转轴受轴承的限制，只能转动。那些使物体的某些运动不能实现的限制条件称为约束。这些限制条件总是由被约束物体周围的其它物体构成的。在上面的例子中，导轨构成了对龙门刨工作台运动的约束，轴承构成了对转轴运动的约束。为了方便起见，今后不再区分约束与构成约束的物体这两个概念，而统称为约束。

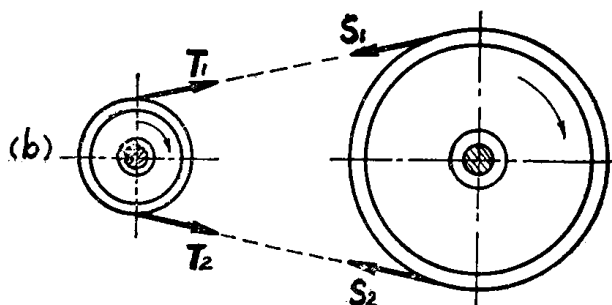
显然，当物体受到约束时，物体与约束之间相互作用着力。约束给物体的力就限制了物体的某些运动。约束给被约束物体的力称为约束反力。例如，导轨给龙门刨工作台的力、轴承给转轴的力都是约束反力。约束反力以外的力（例如重力、油压力、切削力、电磁力）称为主动力。

物体所受的主动力往往是给定的或可测定的。而物体所受的约束反力，则必须根据约束的性质进行分析。下面对约束的几种典型情况进行约束反力的分析。

一、“柔软”的绳带（如皮带、链条、钢丝绳）



T, T_B, T_C —— 链条给铁环的拉力
 S_B, S_C —— 链条给箱盖的拉力
 G —— 重力



T_1, T_2 —— 皮带给小皮带轮的力
 S_1, S_2 —— 皮带给大皮带轮的力

图 1—8

皮带、链条、钢丝绳只能承受拉力，而不能抵抗压力和弯曲。所谓“柔软”，就是指这种性质。根据“柔软”这一特性可以确定，“柔软”的绳带给被约束物体的力，其作用线一定沿着绳带，并且只能是拉力（图1—8）。

二、“光滑”的接触面

如果在所研究的问题中，物体接触面之间的摩擦力与物体所受其它力相比为很小，可以略去不计时，就可以认为接触面是“光滑”的。如果两物体间的接触面是光滑的，这时物体可以自由地沿接触面滑动或沿接触面公法线方向脱离接触，但不能沿公法线方向压入接触面。因此，“光滑”接触面给被约束物体的力，应通过接触点，并沿接触面的公法线方向而指向被约束物体，所以只能是推力（图1—9）。

三、圆柱形铰链（销钉）

在机器中常常用圆柱形销钉将两个或更多的零件联接在一起。例如，发动机的活塞和连杆小头上都有圆柱

形的孔，圆柱形的活塞销穿过这个孔，就把活塞和连杆联接在一起（图1—10a）。如果相接触的两圆柱面是光滑的，那么销钉只限制零件的上下、左右移动，而不限制零件绕销钉的转动。具有这种特点的约束在力学上称为铰链。图1—10(b)是1—10(a)的简化图。圆柱形铰链用符号 $\odot$ 或简单地用 $\bigcirc$ 来表示。

从图1—11可见，如果摩擦小得可以略去时，就可以把零件与销钉看成是两个光滑圆柱面的接触。按照光滑接触面反力的特点，销钉给零件的反力 $\vec{N}$ 应沿圆柱面在接触点 K 的公法线，即圆柱横截面内通过 K 点的半径方向。但因接触点 K 往往不能预先确定，因此反力 $\vec{N}$ 的方向也不能预先确定。在受力分析时，可以将圆柱形铰链的反力分解为两个互相垂直的分力 $\vec{N}_x$ 、 $\vec{N}_y$ 来表示。

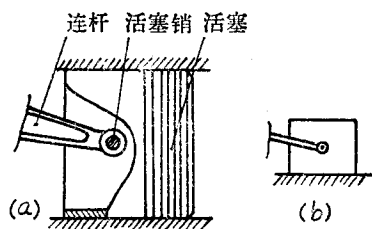


图 1—10

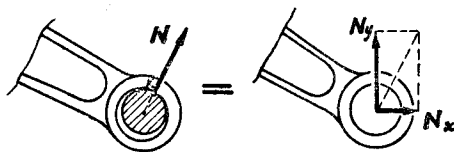


图 1—11

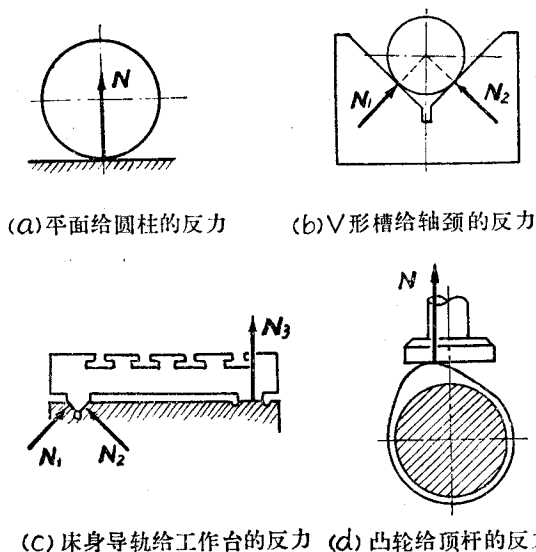


图 1—9