

静力学与材料力学

(教参)

静力学和材料力学

1955 年 10 月 1 日 出版

大连工学院、大连第二机床厂职工大学合编



机械工业出版社

序

为了适应我国教育形势的发展，在一机部有关部门的大力支持下，结合我们十年来职工教育的教学实践，编写了这本机械类职工大学的《静力学和材料力学》教学参考书。在编写过程中，我们力求运用辩证唯物主义认识论，尽力联系机械工程实际，并努力作到通俗易懂、便于自学和有助于培养分析与解决问题的能力。

本书主要由大连工学院王宝成同志执笔，大连工学院郭会聪、大连第二机床厂金代满和王岩俊同志参加了部分编写工作。

本书初稿经大连工学院工程力学系副系主任顾朴副教授以及刘铁牛、王达智、高光学等同志审阅，并提出许多宝贵意见。在编写过程中，还得到了不少其它工厂与学校的帮助，在此一并表示感谢！

本书由大连第二机床厂曲月明、王桂馨、张汝庆、王增新、栾春延和杨志诸同志担任绘图工作。

由于我们经验不足、水平所限，书中难免存在缺点与错误，望读者批评指正。

编 者

目 录

序

第一篇 静 力 学

第一章 构件的受力分析	1
§ 1-1 力的性质	1
§ 1-2 构件的受力分析	8
小结	16
习题	16
第二章 平面汇交力系	20
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法及平衡 的几何条件	20
§ 2-2 平面汇交力系合成的解析法及平衡 的解析条件	29
小结	36
习题	36
第三章 平面任意力系	42
§ 3-1 力矩	42
§ 3-2 力偶	49
§ 3-3 平面任意力系	59
小结	75
习题	77
第四章 空间力系	91
§ 4-1 力在空间直角座标轴上的投影	91
§ 4-2 座标平面投影法解空间力系的平衡问题	95
§ 4-3 空间力系平衡问题的一般解法	105
§ 4-4 重心	113
小结	122

习题	123
第五章 摩擦与效率	133
§ 5-1 滑动摩擦	133
§ 5-2 摩擦角和自锁	143
§ 5-3 滚动摩擦概念	152
§ 5-4 机械效率	156
小结	171
习题	172

第二篇 材料力学

第六章 轴向拉伸和压缩	183
§ 6-1 直杆轴向拉伸或压缩时的强度计算	183
§ 6-2 拉杆(或压杆)的变形 线应变	196
§ 6-3 材料的力学性质	197
§ 6-4 安全系数和许用应力	206
§ 6-5 应力集中概念	209
小结	211
习题	213
第七章 剪切和挤压	220
§ 7-1 剪切和挤压的实例	220
§ 7-2 剪切和挤压的实用计算	221
§ 7-3 最大剪切力计算	225
小结	228
习题	229
第八章 扭转	232
§ 8-1 圆轴扭转时横截面的内力	233
§ 8-2 圆轴扭转时的应力和变形	236
§ 8-3 圆轴扭转时的强度和刚度计算	242
§ 8-4 圆轴扭转计算的简化公式	249

IV

§ 8-5 密圈螺旋弹簧	252
小结	258
习题	260
第九章 弯曲强度分析	265
§ 9-1 弯曲的实例和概念	265
✕ ✕ ✕ § 9-2 梁的横截面上的内力——剪力和弯矩	269
✕ ✕ ✕ § 9-3 弯矩图	274
§ 9-4 梁横截面上的正应力	284
§ 9-5 截面惯性矩的计算	291
§ 9-6 梁的弯曲强度计算	299
§ 9-7 提高梁弯曲强度的措施	307
小结	313
习题	314
第十章 弯曲刚度分析	322
§ 10-1 生产实践中的弯曲变形问题	322
§ 10-2 梁的挠度、转角和挠曲线微分方程	324
§ 10-3 积分法求梁的变形	327
§ 10-4 叠加法求梁的变形	332
§ 10-5 梁的刚度校核	340
§ 10-6 阶梯轴的刚度分析简介	351
§ 10-7 超静定梁的解法	354
§ 10-8 提高弯曲刚度的一些措施	358
小结	363
习题	364
第十一章 构件在组合变形时的强度计算	372
§ 11-1 组合变形实例	372
§ 11-2 拉伸（或压缩）与弯曲组合变形时的强度 计算	373
§ 11-3 弯扭组合变形时的强度计算	379

§ 11-4 一点的应力状态分析	390
§ 11-5 强度理论简介与弯扭组合变形时的强度条件	409
§ 11-6 交变应力与疲劳破坏	414
§ 11-7 弯扭组合交变应力作用下轴的疲劳强度的初步校核	422
§ 11-8 疲劳强度的精确校核	425
小结	439
习题	448
第十二章 压杆稳定	457
§ 12-1 稳定的概念	457
§ 12-2 各种压杆的临界力与临界应力	459
§ 12-3 压杆的稳定计算	466
§ 12-4 提高压杆稳定性的措施	476
小结	479
习题	481
附录	485
1 机床夹具的静力分析	485
2 车床主传动系统的静力分析举例	503
3 机床传动系统中轴的弯曲变形计算图表法	510
4 单键和花键轴的截面几何性质	538
5 型钢规格表	542

第一篇 静 力 学

第一章 构件的受力分析

§ 1-1 力 的 性 质

一 力的概念

人类从开始进行生产劳动时起，就通过推、拉、提、掷等肌肉紧张的感觉建立起“力”的初步观念。

随着生产的发展，在实践中人们对力的认识又有所前进，从人的肌肉力扩大到一个物体对另一个物体的作用力。例如地球对物体的吸引力、锻锤对锻件的打击力、刀具对工件的切削力等。力普遍存在于机械运动的各种场合中，它是通过物体之间的相互接触或吸引等作用而产生的。通过不断的经验积累和分析，我们知道，力可以改变物体的运动状态。原来静止的物体，由于有力作用，就由静止而开始运动，如机床的启动、汽车的开动等。原来运动的物体，由于有力作用，速度就会改变。如机床、汽车在刹车后，速度很快减小，最后静止下来。另外，力对物体的作用还可以改变物体的形状，例如在力的作用下轴会产生弯曲、扭转等。所谓力就是物体之间的一种相互作用，这种作用所产生的效果是使这些物体的运动状态发生改变和形状发生改变（即变形）。

工程上，一般构件的变形很小，因此，在第一篇中研究构件的平衡规律时，可以把变形作为次要因素略去，认为在

力的作用下，物体的大小、形状仍保持不变。这种受力作用后不变形的物体称为刚体。以后在第一篇中，我们所说的物体通常是指刚体。至于力的变形效果将在第二篇中研究。

二 力的三要素

实践证明，力对物体的作用效果是由力的大小、方向和作用点这三个要素决定的。其中任何一个要素改变了，力的作用效果就随之改变。

以用扳手拧螺母为例（图 1-1）。当力作用在A点并如图示方向时，力愈大，螺母拧的愈紧；若作用在A点的力

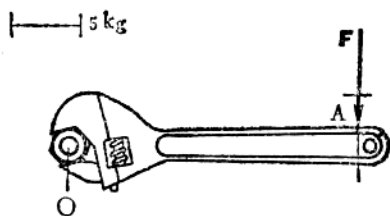


图 1-1

反向时，则螺母松开；若力作用在O点，则扳手不能转动。

通常在一种称为示力图的图上，用带箭头的线段表示力。线段的长度表示力的大小（可选用力量的比例尺 μ ， μ 的单位是 $\frac{[\text{力的单位}]}{[\text{长度单位}]}$ ，如 $\mu = 5\text{kg/cm}$ ），线段的方位就是力的作用线的方位，箭头指向表示力沿作用线作用的方向，线段的起点或箭头的顶点表示力的作用点。图 1-1 中表示扳手上A点作用了7.5公斤力。

力具有大小和方向表明力是矢量。在书写中我们用粗体

字母(如 F 、 R)或在表示力的字母顶上加一箭头(如 $\vec{F}$ 、 $\vec{R}$)表示力矢量,而用普通字母(如 F 、 R)表示力的大小。

力的工程单位是公斤(kg)和吨(t),国际制单位是牛顿(N)。

实践证明,如果所研究的物体可看作刚体,则力可沿其作用线任意移动,而不改变力对物体作用的运动学效果。此即力的可移性。

三 力的基本性质

1. 作用与反作用定律 举重时,双手给重物以向上的作用力,使重物被举起;同时双手有受压的感觉,说明重物对手有一个反作用力。同样地,在切削加工时车刀与工件之间,机械传动中齿轮与齿轮之间、轴与轴承之间都存在着作用力和反作用力。实践证明:当甲物体对乙物体有作用力时,乙物体对甲物体必同时有一反作用力。二者大小相等,方向相反,作用线在同一条直线上。这就是作用和反作用定律。

应该注意,作用力和反作用力是分别作用在两个物体上的。

例如,车刀在工件上切削时(图1-2),在车刀给工件一切削力 P 的同时,工件必给车刀一反作用力 P' (所谓打

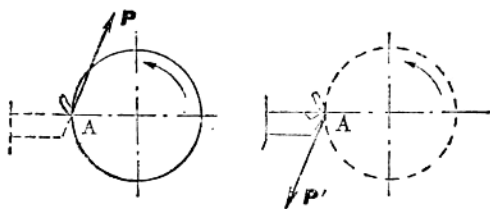


图 1-2

刀,就是这一反作用力作用的结果), $\mathbf{P}$ 与 $\mathbf{P}'$ 总是大小相等,方向相反,作用线在同一条直线上,可用矢量式来表示:

$$\mathbf{P} = -\mathbf{P}' \quad (1-1)$$

2. 力的合成与分解作用于物体上的一组力(称为力系),如果可以用一个适当的力来代替它而不改变对物体的作用效果(叫等效),那么这个力称为力系的合力。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力的过程,叫做力的分解。

实践证明:作用在同一点上的两个力可以合成为一个力,这个力还作用在该点上,且等于这两个力的几何和,即合力可由以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示。这就是求合力的平行四边形法则。

具体作法如下:设在某一物体上的A点作用着 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 两力,夹角为 α ,过A点按比例画出 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$,以 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 为边作

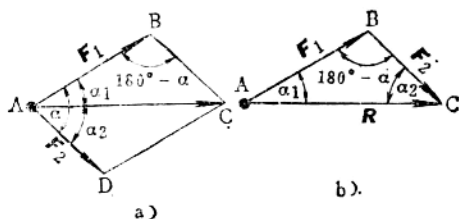


图 1-3

出平行四边形A B C D (图1-3a)。则对角线 AC 就表示这两个力的合力 $\mathbf{R}$ 。

因为平行四边形对边相等,在找合力时,也可不画平行四边形,只要画一个三角形就可以了。即先画AB等于 $\mathbf{F}_1$,再从B点接下去画BC等于 $\mathbf{F}_2$,连接AC,就得到合力 $\mathbf{R}$,如

图 1-3b 所示。三角形 ABC，称为力三角形；而上述作图的法则，称为力三角形法则。

在力三角形中只表示出各力的大小和方向，并不表示出各力的作用线的位置，因此力三角形只是一种矢量运算方法。

必须注意力三角形的矢序规则：分力矢 F_1 的终端与分力矢 F_2 的始端相接，合力 R 则以 F_1 的起点指向 F_2 的末端。

按比例尺作图，画出力的三角形后，合力的大小和方位就可以直接从图上量出。这种求力的方法称图解法。

合力的大小和方位也可利用几何关系算出：

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

$$\frac{R}{\sin\alpha} = \frac{F_1}{\sin\alpha_2} = \frac{F_2}{\sin\alpha_1} \quad (1-3)$$

这叫做几何法或解析法。

在实践中经常遇到的是两分力互相垂直的情形。以这两分力为邻边作成的平行四边形成为矩形 ABCD (图 1-4)，利用勾股弦定理得合力大小

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

合力 R 与分力 F_1 之间的夹角

$$\alpha_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{F_2}{F_1} \quad (1-5)$$

平行四边形法也称矢量加法。分力 F_1 、 F_2 合成为合力 R 可以用下列矢量等式来表示：

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-6)$$

在工程实践中，往往需要把一个力分解为两个分力，特

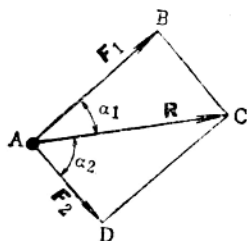


图 1-4

别是分解成一对互相垂直的分力。力的分解是力的合成的逆过程，也是按平行四边形法则进行的。

图1-5所示为磨床的倾斜式工作台。其特点是头、尾架在工作台上的定位稳定，刚性好。因为头、尾架重力 W 可以分解为一对互相垂直的分力 T 与 Q ，而分力 T 使头架紧靠工作台上的定位基面。

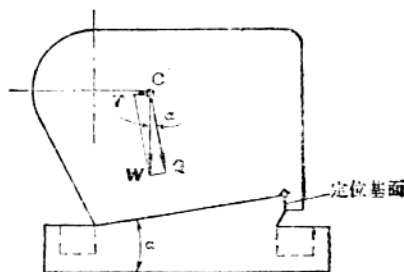


图 1-5

根据平行四边形法则，以 W 为对角线作矩形，并使矩形的一个边平行于工作台斜面，则此矩形的两个邻边就为 W 的二垂直分力。于是

$$T = W \sin \alpha \quad Q = W \cos \alpha$$

例1-1 镗刀杆重 $Q=11\text{kg}$ ，径向切削力 $P=5.5\text{kg}$ （图1-6），试求合力 R

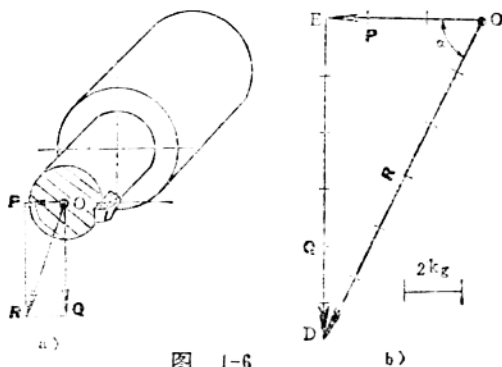


图 1-6

解

由式 (1-4) 和 (1-5) 得

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{5.5^2 + 11^2} = 12.3 \text{ kg}$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{Q}{P} = \text{tg}^{-1} \frac{11}{5.5} = 63^\circ 24'$$

亦可用图解法求解。若取力的比例尺 $\mu = 2 \text{ kg/cm}$ ，作力三角形 DOE，其中

$$OE = \frac{P}{\mu} = \frac{5.5}{2} = 2.75 \text{ cm}$$

$$ED = \frac{Q}{\mu} = \frac{11}{2} = 5.5 \text{ cm}$$

$\angle DEO$ 为直角

则 OD 代表合力 R ，量得 $OD = 6 \text{ cm}$ ，用力的比例尺换算后得 $R = OD \cdot \mu = 6 \times 2 = 12 \text{ kg}$ 。用量角器量得 $\alpha = 64^\circ$ ，它表示了 R 的方位，其指向如图所示。

例 1-2 图 1-7 为一对互相啮合的齿轮。 P_n 为齿轮 I 给齿轮 II 的作用力，作用点在 A，它与 A 点运动方向的夹角为 α 。试将其分解为互相垂直的两个分力——径向力 P_r 和周向力 P_t 。

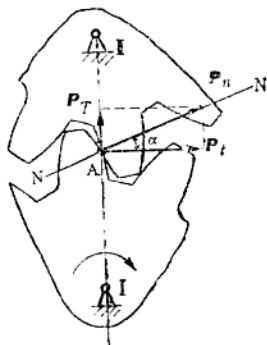


图 1-7

解 以 P_n 为对角线作平行四边形，并使其中的两个边分别沿径向和圆周方向。由于 P_r 垂直于 P_t ，故可得一矩形。由图可见：

$$P_r = P \sin \alpha$$

$$P_t = P \cos \alpha$$

方向如图所示。

3. 二力平衡条件 若一刚体只受有两个力的作用，则此刚体处于平衡状态的条件是：二力大小相等，方向相反，作用线重合。

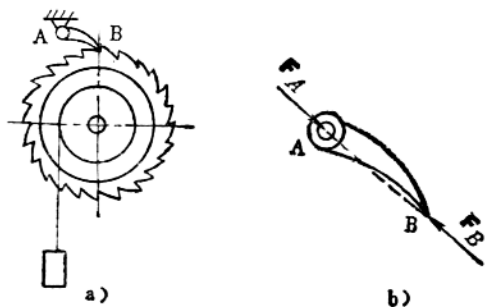


图 1-8

仅在两个力作用下并处于平衡状态的物体称为二力体。如果物体是杆件，也称二力杆。图1-8b所画的棘爪处于平衡状态。它在A处受到圆柱形销钉所给的力 F_A ，在B点受到棘轮给它的力 F_B ，棘爪自重略去不计，则棘爪是二力体。根据二力平衡条件可以断定：

- (1) F_A 和 F_B 的大小相等，方向相反；
- (2) F_A 和 F_B 的作用线重合作作用线，即A、B两点的连线。

因此，利用两力平衡条件，可以立即确定二力体所受两个力的作用线。

§ 1-2 构件的受力分析

一 约束与约束反力

机器中的各零、部件总是以各种形式同周围的零件相联接，并相互制约，相互作用。例如，龙门刨床工作台与导轨

之间是平面接触，工作台受导轨的限制，只能沿导轨纵向移动；转轴与轴承之间是圆面接触，转轴受轴承的限制只能转动。

运动物体受到限制，使其某些方向的运动不能实现。一般把加在运动物体上的限制称为约束，约束对被约束物体的作用力称为约束反力。例如，导轨称为工作台的约束，轴承称为转轴的约束；导轨给工作台的作用力，轴承给转轴的作用力就称为约束反力。约束反力以外的力，诸如重力、油压力、切削力、电磁力等称为主动力。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其方向，则必须根据约束的性质进行分析，其大小由平衡条件决定。下面就工程中几种常见的约束形式，进行约束反力方向的分析：

1. 柔索约束 绳索、皮带、链条等统称为柔索。柔索本身只能承受拉力，所以它给物体的约束反力也只可能是拉力，即约束反力方向沿绳索而离开物体（图1-9）。对于皮

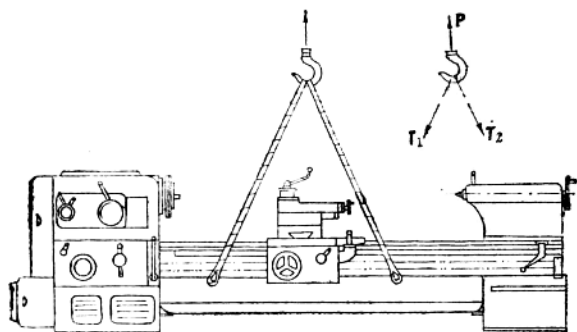


图 1-9

带、链条，约束反力是沿皮带、链条方向，如图1-10所示。

2. 光滑接触面约束 如果两物体之间是面接触，且两

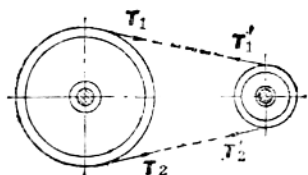


图 1-10

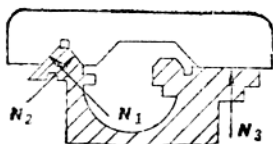


图 1-11

接触面之间的摩擦力与物体所受其它力相比很小，可以略去不计，就可以认为是光滑接触面约束。这时约束不能限制物体沿接触表面在接触点公切线方向的位移，而只能阻碍物体沿接触表面在接触点的公法线方向上的位移，因此，光滑接触面约束对于被约束物体的约束反力沿接触面在接触点的公法线，并指向被约束的物体。图1-11所示的机床大拖板台面与床身平导轨和三角导轨之间的联接，是属于光滑接触面联接。导轨对于大拖板的约束反力是沿接触表面的公法线，并指向被约束的物体——大拖板，如图中 N_1 、 N_2 、 N_3 所示。又如图1-7所示的啮合齿轮，其接触表面是渐开线曲面。齿轮Ⅰ对齿轮Ⅱ的约束反力方向是沿接触表面在接触点A的公法线NN，而指向Ⅱ齿轮。

3. 光滑铰链约束 两个构件用销钉连接，且销钉与销孔两圆柱面是光滑的，就叫铰链约束。例如曲柄连

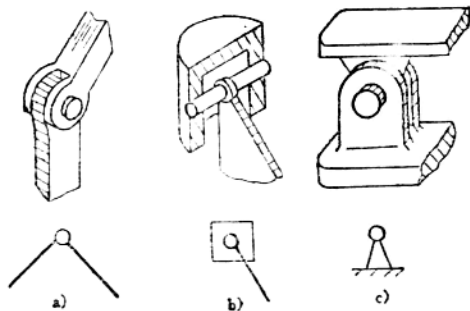


图 1-12