

内 容 提 要

本教材是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议的建议,按照120学时的教学要求编写的。本教材主要适用于地质、采矿、冶金、热加工、材料等专业;作适当增删后,也可适用于100~130学时的有关专业。本教材除作为高等学校的试用教材外,也可供有关工程技术人员参考。

本教材分上、中、下三册出版。上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学。

参加本教材编写的有:北京钢铁学院纪炳炎(上册第一、二、三、四章),屈革(上册第五、六章,中册第二、三章),马安禧(中册第一、四、五、六章);东北工学院于绶章(中册第七、八、九章),周康年(中册第十章),刘思汉(下册第一、二、五、六、七、九章),殷汝珍(下册第三、四、八、十章);由刘思汉(上、下册)、马安禧(中册)主编。

高等学校试用教材

工 程 力 学

上 册

静 力 学

北京钢铁学院、东北工学院编

*

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新华书店北京发行所发行

潜江县印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 5.75 字数 138,000

1979年7月第1版 1979年8月第1次印刷

印数 00,001—33,000

书号 15012·0111 定价 0.49 元

目 录

序	1
静力学引言	1
第一章 静力学的基本概念 受力图	3
§ 1-1 力的概念	3
§ 1-2 刚体的概念	4
§ 1-3 静力学公理	5
§ 1-4 约束与约束反力	10
§ 1-5 物体的受力分析 受力图	16
小结	20
思考题	21
习题	23
第二章 平面汇交力系	28
§ 2-1 工程中的平面汇交力系问题	28
§ 2-2 平面汇交力系合成的几何法	29
§ 2-3 平面汇交力系平衡的几何条件	30
§ 2-4 三力平衡汇交定理	33
§ 2-5 平面汇交力系合成的解析法	34
§ 2-6 平面汇交力系平衡方程及其应用	38
小结	43
思考题	44
习题	45
第三章 力矩 平面力偶系	51
§ 3-1 力对点之矩	51
§ 3-2 力偶与力偶矩	53
§ 3-3 力偶的等效	55
§ 3-4 平面力偶系的合成与平衡	57
小结	60

思考题	61
习题	62
第四章 平面一般力系	65
§ 4-1 工程中的平面一般力系问题	65
§ 4-2 力线平移定理	66
§ 4-3 平面一般力系向一点简化 主向量与主矩	68
§ 4-4 简化结果的分析 合力矩定理	70
§ 4-5 平面一般力系的平衡条件与平衡方程	72
§ 4-6 平面平行力系的平衡方程	77
§ 4-7 静定与静不定问题	82
§ 4-8 物体系的平衡	82
*§ 4-9 桁架	89
小结	93
思考题	94
习题	96
第五章 摩擦	113
§ 5-1 工程中的摩擦问题	113
§ 5-2 滑动摩擦	114
§ 5-3 考虑摩擦时的平衡问题举例	116
§ 5-4 摩擦角与自锁现象	120
*§ 5-5 滚动摩擦的概念	126
小结	129
思考题	130
习题	131
第六章 空间力系 重心	137
§ 6-1 工程中的空间力系问题	137
§ 6-2 力在空间坐标轴上的投影	138
§ 6-3 力对轴之矩	139
§ 6-4 空间力系的平衡方程	143
*§ 6-5 重心的概念	151
*§ 6-6 重心坐标公式	152
*§ 6-7 物体重心的求法	155
小结	160

思考题	164
习题	164
习题答案	170
第二章 平面汇交力系	170
第三章 力矩 平面力偶系	171
第四章 平面一般力系	171
第五章 摩擦	174
第六章 空间力系 重心	175

静力学引言

物体在空间的位置随时间的改变，称为机械运动。这是人们在日常生活和生产实践中最常见到的一种运动形式。静力学是研究物体机械运动的特殊情况——物体的平衡问题的科学。所谓物体的平衡，是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。但是，在宇宙中没有绝对的平衡，“一切平衡都只是相对的和暂时的”。

若物体处于平衡状态，那么作用于物体上的一群力(称为力系)必须满足一定的条件，这些条件称为力系的平衡条件。平衡时的力系称为平衡力系。研究物体的平衡问题，实际上就是研究作用于物体上的力系的平衡条件，并应用这些条件解决工程实际问题。

在研究物体的平衡条件或计算工程实际问题时，须将一些比较复杂的力系进行简化。也就是说，将一个复杂的力系简化为一个简单的力系，使其作用效应相同。这种简化力系的方法称为力系的简化。另一方面，力系简化的结果也是建立平衡条件的依据。因此，在静力学中研究下面两个基本问题：

- (1) 力系的简化；
- (2) 物体在力系作用下的平衡条件。

静力学是工程力学的基础部分，在工程技术中有着广泛的应用。例如桥式吊车(图 0-1)，它是由桥架、吊钩和钢丝绳等构件所组成。为了保证吊车能正常的工作，设计时首先必须分析各构件所受的力，并根据平衡条件算出这些力的大小，然后才能进一步考虑选择什么样的材料，并设计构件的尺寸。

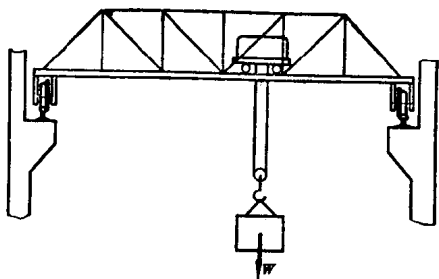


图 0-1

力在物体平衡时所表现出来的基本性质，也同样表现于物体作一般运动的情形中。在静力学里关于力的合成、分解与力系简化的研究结果，可以直接应用于动力学。以后还将看到，动力学问题还可以化为具有静力学问题的形式来解。

由此可见，静力学是研究材料力学和动力学的基础，在工程中具有重要的实用意义。

第一章 静力学的基本概念 受力图

本章将介绍静力学中的一些基本概念和几个公理，这些概念和公理是静力学的基础。最后，介绍物体的受力和受力图。

§1-1 力的概念

力的概念是人们在生活和生产实践中，通过长期的观察和分析而形成起来的。例如：抬物体的时候，物体压在肩上，由于肌肉紧张而感受到力的作用；用手推小车，小车就由静止开始运动；受地球引力作用自高空落下的物体，速度越来越大；挑担时扁担发生弯曲；落锤锻压工件时，工件就产生变形，等等。人们就是从这样大量的实践中，从感性到理性，逐步地建立起力的概念。所以，力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化，或者使物体发生变形。

因此，力不能脱离物体而存在。力虽然看不见，但它的作用效应完全可以直接观察，或用仪器测量出来。实际上，人们也正是从力的作用效应来认识力本身的。正如恩格斯所深刻指出的：“力以它的表现来量度”。

力使物体的运动状态发生变化的效应，叫做力的外效应。而力使物体发生变形的效应，则叫做力的内效应。静力学只研究力的外效应，而材料力学将研究力的内效应。

由经验可知，力对于物体的作用效应，决定于力的大小、方向和作用点，通常称为力的三要素。当这三个要素中任何一个改变时，力的作用效应也就不同。

力是一个既有大小又有方向的量，因此，力是向量（或称矢）

量)。在力学中,向量可用一具有方向的线段来表示,如图 1-1 所示。用线段的起点或终点表示力的作用点;用线段的方位和箭头指向表示力的方向;用线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小。通过力的作用点沿力的方向的直线,称为力的作用线。本书中,力的向量用粗体字母例如 \mathbf{F} 表示,而力的大小则用普通字母 F 表示。

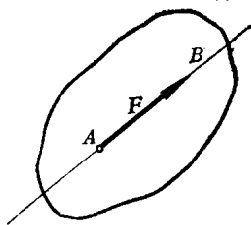


图 1-1

力的国际制单位(SI)是牛顿,或千牛顿,其代号为牛(N),或千牛(kN)。力的工程制单位是公斤力或吨力,其代号为(kgf)或(tf)。两者的换算关系是

$$1 \text{ 公斤力(kgf)} = 9.8 \text{ 牛顿(N)}$$

§ 1-2 刚体的概念

任何物体在力的作用下,或多或少总要产生变形。而工程实际中构件的变形,通常都是非常微小,在许多情形下,可以忽略不计。例如图 1-2 所示的桥式起重机,工作时由于起重物体与它自

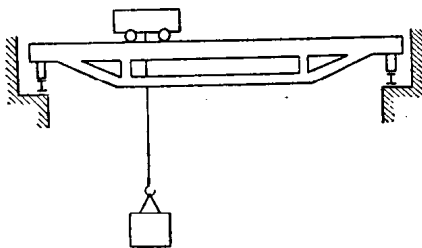


图 1-2

身的重量,使桥架产生微小的变形,大约在它长度的五分之一以内。这个微小的变形对于应用平衡条件求支座反力,几乎毫无影响。因此,就可把起重机桥架看成是不变形的刚体。

刚体是指在任何情况下都不发生变形的物体。显然,这是一

个抽象化的模型，实际上并不存在这样的物体。这种抽象化的方法，在研究问题时是非常必要的。因为只有忽略一些次要的、非本质的因素，才能充分揭露事物的本质。

将物体抽象为刚体是有条件的，这与所研究问题的性质有关。如果在所研究的问题中，物体的变形成为主要因素时，就不能再把物体看成是刚体，而要成为变形体。

在静力学中，所研究的物体只限于刚体。因此，静力学又称刚体静力学。以后将会看到，当研究一切变形体的平衡问题时，都是以刚体静力学的理论为基础的，不过再加上某些补充条件而已。

§ 1-3 静力学公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中总结概括出来的。这些公理简单而明显，也无需证明而为大家所公认。它们是静力学的基础。

公理一 二力平衡公理 作用于刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是：这两力大小相等，指向相反，并作用于同一直线上（图 1-3）。

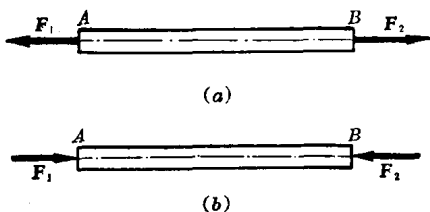


图 1-3

这个公理揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时，所必须满足的条件。对刚体来说，这个条件是必要与充分的；但是，对于变形体，这个条件是不充分的。例如图 1-4 所示，软绳受两个等值反向的拉力可以平衡，当受两个等值反向的压力时，就不能平

衡了。

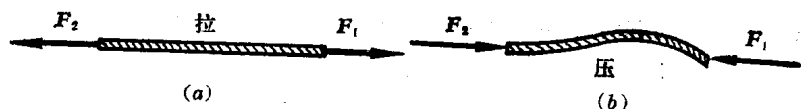


图 1-4

只在两个力作用下处于平衡的构件，称为二力构件(或二力杆)。这种情形在工程实际中经常遇到。二力构件所受力的特点是，两个力必沿作用点的连线。例如，矿井巷道支护的三铰拱(图 1-5)，其中 BC 杆当不计自重时，就可以看成是二力构件。

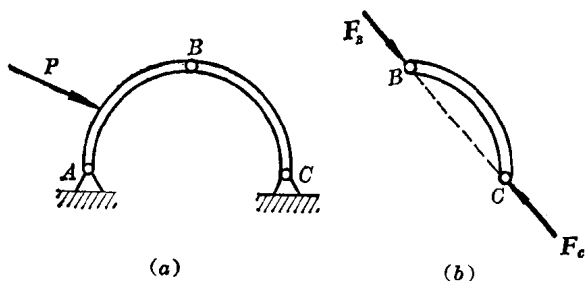


图 1-5

公理二 加减平衡力系公理 在作用于刚体上的任何一个力系上，加上或除去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

这是显而易见的，因为平衡力系对于刚体的平衡或运动状态没有影响。这个公理常被用来简化某一已知力系。

推论 力的可传性原理 作用于刚体上的力，可以沿其作用线移至刚体上任意一点，而不改变它对刚体的作用效应。

这个原理也是我们所熟知的。例如，人们在车后 A 点推车，与在车前 B 点拉车，效果是一样的(图 1-6)。当然这个原理也可从公理二来推证，此处就不论述了。

由此可知，作用于刚体上的力的三要素，是力的大小、方向和

作用线。

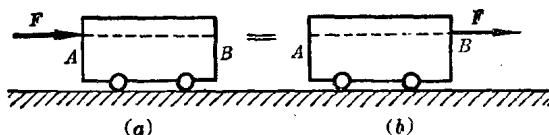


图 1-6

应该注意，力的可传性原理只适用于刚体，而不适用于变形体。例如图 1-7a 所示的变形杆 AB，受到等值共线反向的拉力作用，杆被拉长。如果把这两个力沿作用线分别移到杆的另一端，如图 1-7b 所示，此时杆就被压短。

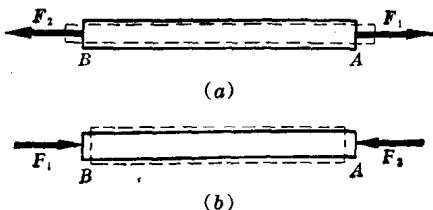


图 1-7

公理三 力的平行四边形法则 作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向是以这两个力为边所作的平行四边形的对角线来表示（图 1-8）。

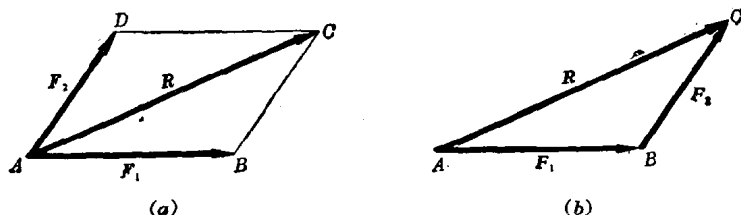


图 1-8

这种合成力的方法，称为向量加法，合力称为这两力的向量和（或几何和）。可用公式表示为

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

应该指出,式(1-1)是向量等式,它与代数等式 $R = F_1 + F_2$ 的意义完全不同,不能混淆。

为了方便,在用向量加法求合力时,往往不必画出整个的平行四边形,如图 1-8b 所示,可从 A 点作一个与力 F_1 大小相等、方向相同的向量 \overline{AB} , 过 B 点作一个与力 F_2 大小相等、方向相同的向量 \overline{BC} 。则 \overline{AC} 即表示力 F_1 、 F_2 的合力 R 。这种求合力的方法,称为力三角形法则。但应注意,力三角形只表明力的大小和方向,它不表示力的作用点或作用线。应用力三角形法则求解力的大小和方向时,可应用数学中的三角公式。

例 1-1 在安装皮带时,需有一定的预紧力,这样轴上将受到压力。设皮带的预紧力为 S_1 和 S_2 , $S_1 = S_2 = S_0$, 包角为 α , 求皮带作用在轴 O 上的压力等于多少?

解: 将皮带的预紧力沿它们的作用线移到 A 点(图 1-9), 以这两个力为边作平行四边形, 它的对角线即表示两个预紧力的合力 Q 。它的大小为

$$Q = 2S_0 \sin \frac{\alpha}{2}$$

也就是皮带作用在轴 O 上的压力。三角皮带的预紧力 S_0 , 一般可按皮带轮的大小和型号在设计手册中查出。

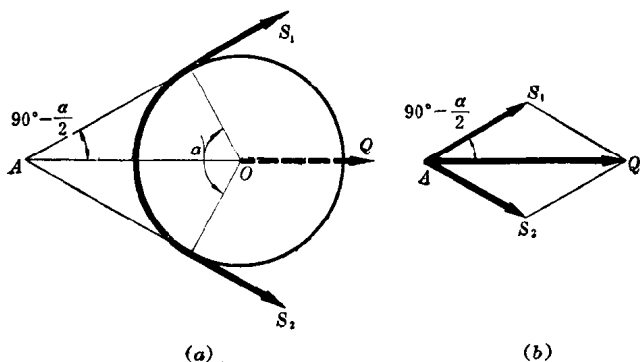


图 1-9

平行四边形法则既是力的合成的法则,也是力的分解的法则。例如沿斜面上滑的物体(图 1-10), 有时就把重力 P 分解为两个分力, 一个是与斜面平

行的分力 F , 这个力使物体沿斜面下滑; 另一个是与斜面垂直的分力 N , 这个力使物体下滑时紧贴斜面。这两个分力的大小分别为:

$$F = P \sin \alpha, \quad N = P \cos \alpha$$

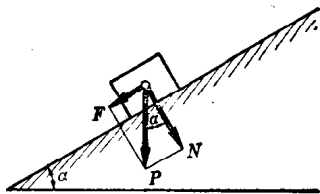


图 1-10

公理四 作用与反作用定律 两物体间相互作用的力, 总是大小相等、方向相反、沿同一直线, 分别作用在相互作用的两个物体上。

这个定律概括了自然界中物体间相互的作用力的关系, 表明一切力总是成对地出现的。有作用力就必有反作用力。它们彼此互为依存条件, 是对立统一的两个方面, “失去一方, 它方就不存在”。

必须强调指出; 虽然作用力与反作用力大小相等、方向相反, 但分别作用在两个不同的物体上。因此, 决不可认为这两个力互成平衡。这与公理一有本质的区别, 不能混同。

下面举一个实例来分析。

一重物用钢丝绳吊在天车上, 如图1-11a所示。 P 为重物所受的重力, S 为钢丝绳给重物的拉力。由于这两个力都作用在重物上, 而使重物保持静止, 所以它们不是作用力与反作用力的关系, 而是二力平衡。

至于拉力 S 和重力 P 的反作用力在哪里? 则首先要弄清哪个是“受力物体”, 那个是“施力物体”。也就是要分清“谁对谁的作

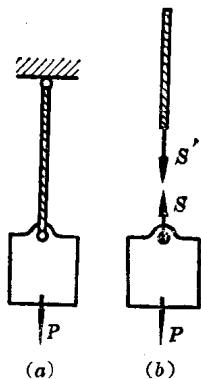


图 1-11

用”。由于向上的拉力 S 是钢丝绳拉重物的力，所以力 S 的反作用力应为重物拉钢丝绳的力，此力即图中 1-11b 中作用在钢丝绳上的力 S' ，它的大小与力 S 的大小相等 ($S' = S$)，方向朝下。 P 是地球吸引重物的力，所以力 P 的反作用力应是重物吸引地球的力 P' ，此力作用在地球上，它的大小与力 P 的大小相等 ($P' = P$)，方向朝上(图上未画出)。

§ 1-4 约束与约束反力

能在空间作任意运动的物体称为**自由体**。例如飞行的飞机、炮弹和火箭等。当物体受到了其他物体的限制，因而不能沿某些方向运动时，这种物体称为**非自由体**。例如悬挂着的灯就是非自由体(图 1-12)。在力的作用下，灯可以向上或向前、后、左、右运动，但是它不能向下运动。又如沿钢轨行驶的机车，也是非自由体。它可以沿钢轨运动，而不能沿着机车轮子与钢轨接触点的公法线而趋向钢轨运动。

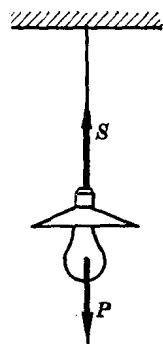


图 1-12

由周围物体构成的阻碍非自由体运动的限制条件，称为该非自由体的**约束**。例如，在图 1-12 中，绳子就是灯的约束。钢轨就是机车的约束。既然约束能限制物体的运动，也就能改变物体的运动状态，因此，约束对物体的作用力称为**约束反力**，常简称为**反力**。例如，图 1-12 中的力 S ，就是绳子对灯的约束反力。

能使物体运动或有运动趋势的力，称为**主动力**(或**载荷**)。图 1-12 中重力 P 就是灯所受的主动力。

在一般情况下，约束反力是由主动力的作用所引起的，所以约束反力也称“**被动力**”，它随主动力的改变而改变。

在静力学中，主动力往往是给定的，而约束反力是未知的。因

此,对约束反力的分析,就成为受力分析的重点。

因为约束反力是限制物体运动的,所以它的作用点应在约束与被约束物体相互接触之处,它的方向应与约束所能限制的运动方向相反。这是我们确定约束反力方向的准则。至于约束反力的大小,将由平衡条件求出。

工程中约束的种类很多,对于一些常见的约束,按其所具有的特性,约束可以归纳成下列几种基本类型:

(1) 柔性体约束 属于这类约束的有绳索、链条和皮带等。绳索如图 1-13 所示,只能限制物体沿着它的中心线离开的运动,而不能限制其他方向的运动。因此,绳索的约束反力方向应沿着它的中心线,而背离物体。

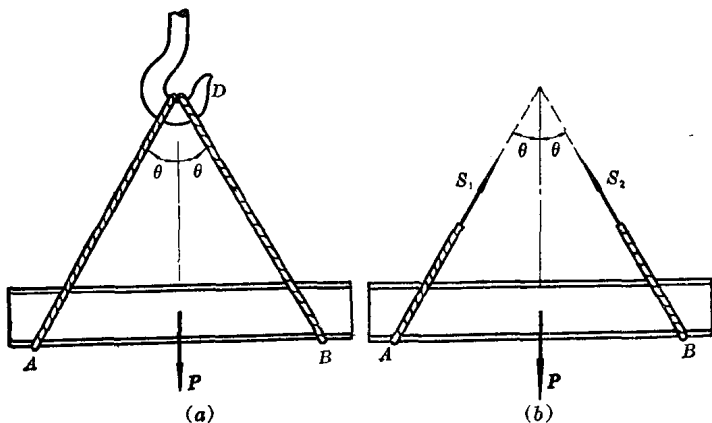


图 1-13

(2) 光滑面约束 当两物体接触面上的摩擦力与其他作用力相比很小时,摩擦力成了次要因素,可以忽略不计,这样的接触面就认为是光滑的。此时,不论接触面是平面或曲面,都不能限制物体沿接触面切线方向运动,而只能限制物体沿接触面

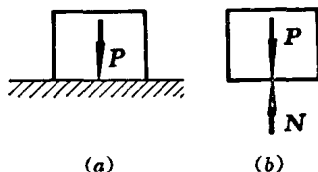


图 1-14

的公法线指向约束物体方向的运动。因此，光滑面约束反力的方向，应沿接触面在接触点处的公法线且指向物体，如图 1-14 所示。这种约束反力也称法向反力。

光滑面约束在工程上是常见的，如啮合齿轮的齿面约束(图 1-15)，钢轨对于车轮的约束(图 1-16)，凸轮曲面对顶杆的约束(图 1-17)等。

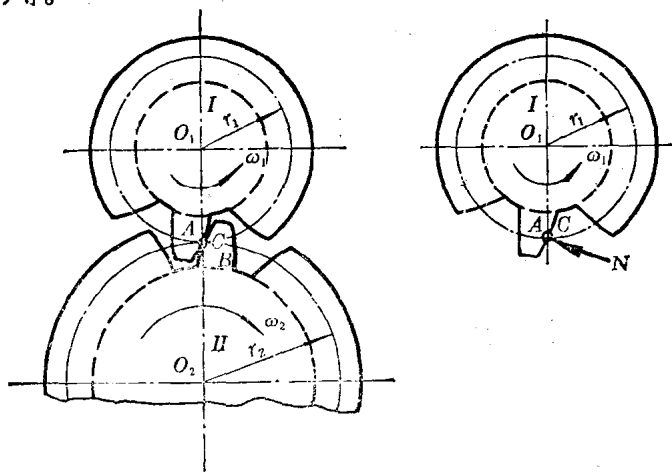


图 1-15

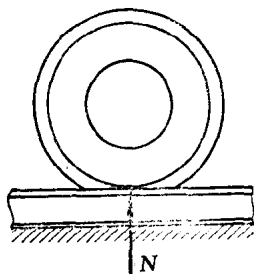


图 1-16

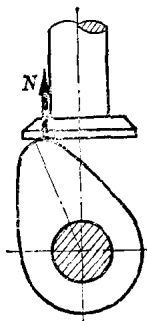


图 1-17

(3) 固定铰链约束 铰链是工程上常见的一种约束。它的构造是将构件和固定支座在连接处钻上圆孔，再用圆柱形销子(又叫

销钉)串连起来,使构件只能绕销钉的轴线转动。这种约束称为固定铰链约束,或称固定铰支座,如图 1-18 a 所示。设接触面的摩擦可略去不计,则销钉与构件圆孔间的接触是两个光滑圆柱面的接触(图 1-18b)。按照光滑面约束反力的性质,可知销钉给构件的约束反力 R 应沿圆柱面在接触点 K 的公法线,并通过铰链中心 O ,如图 1-18 c 所示。但因接触点 K 的位置往往不能预先确定,所以约束反力 R 的方向也就不能预先确定。因此,通常用通过铰链中心的两个互相垂直的分力 X 和 Y 来表示,如图 1-18 d 所示。而图 1-18 e 是常用的固定铰支座的简化表示法。

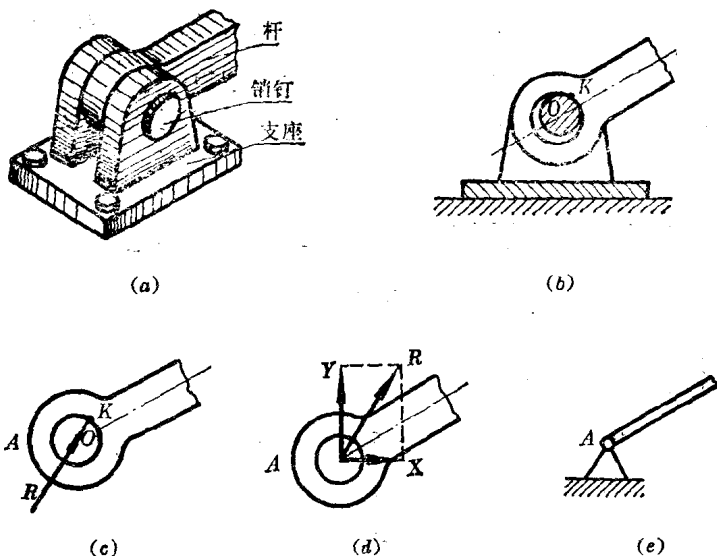


图 1-18

如果两个构件用圆柱形光滑销钉连接,则称中间铰,如图 1-19a、b 所示。中间铰的销钉对构件的约束,与固定铰支座的销钉对构件的约束相同,其约束反力通常也表示为两个互相垂直的分力,如图 1-19 c 所示。