

中等专业学校教学参考书

理论力学

上海机器制造学校主编

人民教育出版社

中等专业学校教学参考书

理 论 力 学

上海机器制造学校主编

人 民 教 育 出 版 社

理 论 力 学

上海机器制造学校主编

人民教育出版社 (北京沙滩后街)

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印装

统一书号 15012·046 开本 787×1092 1/32 印张 5 4/16

字数 157,248 印数 150,001—480,000 定价 0.45

1966年6月第1版 1978年6月上海第2次印刷

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静力学

第一章 静力学基本概念·受力图	3
-----------------------	---

§ 1-1. 力及其基本规律	3
----------------------	---

§ 1-2. 受力图	7
------------------	---

习题	14
----------	----

第二章 平面汇交力系	19
------------------	----

§ 2-1. 平面汇交力系合成的几何法	19
---------------------------	----

§ 2-2. 平面汇交力系平衡的几何条件	22
----------------------------	----

§ 2-3. 力的分解	26
-------------------	----

§ 2-4. 平面汇交力系合成的解析法	27
---------------------------	----

§ 2-5. 平面汇交力系的平衡方程	31
--------------------------	----

习题	33
----------	----

第三章 力矩·力偶	38
-----------------	----

§ 3-1. 力矩·杠杆及轮轴转动的平衡条件	38
------------------------------	----

§ 3-2. 力偶和力偶矩	42
---------------------	----

§ 3-3. 平面力偶系的合成和平衡条件	45
----------------------------	----

§ 3-4. 力的平移定理	47
---------------------	----

习题	49
----------	----

第四章 平面任意力系	55
------------------	----

§ 4-1. 平面任意力系的平衡条件	56
--------------------------	----

§ 4-2. 平面力系平衡问题的解法	58
--------------------------	----

习题	64
----------	----

第五章 空间力系·重心	68
-------------------	----

§ 5-1. 力沿空间直角坐标轴的分解	68
---------------------------	----

§ 5-2. 轴的受力计算	70
---------------------	----

§ 5-3. 重心	75
-----------------	----

习题	82
----------	----

第六章 摩擦	85
§ 6-1. 平面摩擦	85
§ 6-2. 槽面摩擦	89
§ 6-3. 自锁	92
习题	94

第二篇 运动学

第七章 点的运动	99
§ 7-1. 点的运动规律	99
§ 7-2. 点的速度	101
§ 7-3. 点的加速度	103
习题	108
第八章 刚体的简单运动	110
§ 8-1. 刚体的平动	110
§ 8-2. 刚体绕定轴的转动 · 角速度 · 角加速度	111
§ 8-3. 匀速、匀变速转动	113
§ 8-4. 定轴转动刚体内点的速度和加速度	115
§ 8-5. 速度的合成和分解	119
习题	122

第三篇 动力学

第九章 质点动力学基础	126
§ 9-1. 动力学基本定律	127
§ 9-2. 质点动力学基本方程	129
§ 9-3. 惯性力	132
§ 9-4. 动静法	134
§ 9-5. 转动零件惯性力的平衡	136
习题	139
第十章 刚体动力学基础	143
§ 10-1. 刚体转动动力学基本方程	143
§ 10-2. 转动惯量	145
§ 10-3. 刚体转动动力学基本方程的应用	148
习题	151
第十一章 功率与机械效率	153
11-1. 功率	153
11-2. 机械效率	158
习题	161

緒 論

理论力学是一门研究物体机械运动普遍规律的学科。机械运动是指物体在空间的位置随时间的改变，是自然界和工程实际中最普遍、最常见的一种物质运动形式。但是，机械运动只是物质运动的最简单、最初级的一种形式。除机械运动外，物质还有表现为发热、发光、发生电磁现象、化学过程以至于更高级的人们头脑的思维活动等各种不同的运动形式。在物质运动的所有这些形式之间有着相互的联系，而且在一定条件下，一种形式可以转化为另一种形式。物质运动的各种形式都有其本身的特殊规律，其间存在着巨大的本质差别。但是，任何其他较高级较复杂的物质运动，通常总是伴有位置的变动，亦即与机械运动有一定的联系，因此理论力学的规律及其研究方法也在一定程度上渗透到其他自然科学的领域中。但是，理论力学远不能包罗或代替其他学科。

在工程实际中，常会遇到需要了解机器的运动规律，分析机器的受力情况等问题。如图 0-1 所示的起重绞车，为了确定合适的传动系统和合理地选择电动机，就必须根据工作的要求对起重绞车进行运动和功率的计算；为了合理地确定轴、齿轮等零件的尺寸，就必须分析它们在工作时的受力情况。又如图 0-2 所示的钻模夹具，为了使斜楔始终夹紧而不松脱，就必须分析斜楔的受力情况，从而找出其倾角 α 所应满足的条件。学习理论力学就为解决

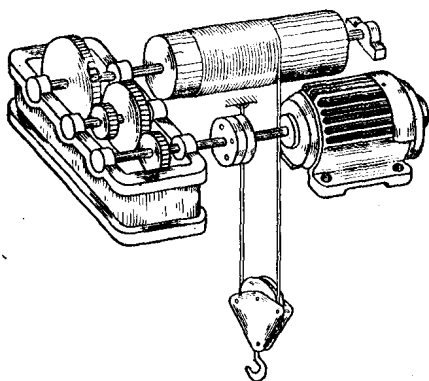


图 0-1

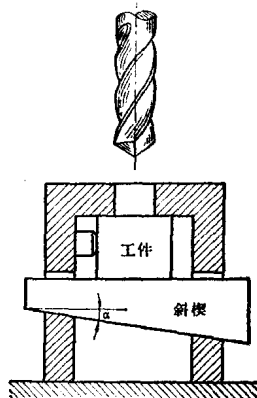


图 0-2

这些问题提供必要的基础知识。

此外,通过理论力学的学习,还有助于培养我们的辩证唯物主义的观点,提高我们分析问题的能力,并为学习其他课程和进一步提高准备条件。

本书理论力学部分的内容分为静力学、运动学和动力学三篇。各篇的研究对象和任务将在下面分别说明。

第一篇 静力学

第一章 静力学基本概念·受力图

静力学研究物体机械运动的特殊情况,即物体的平衡问题。所谓物体的平衡,是指物体相对于周围物体保持静止或作匀速直线运动的状态。但是必须指出,运动是物质的固有属性,是物质存在的形式。因而所谓物体的平衡是相对的、暂时的。至于静止,一般的是指物体相对于地球的静止。

在本课程的静力学中,所研究的物体只限于刚体。所谓刚体就是不变形的物体,或者更确切地说,刚体是这样的物体,在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变。显然,宇宙中并无刚体存在,因为事实上,任何物体在力的作用下都将发生不同程度的变形。但是实践证明,工程中构件的变形,通常都极为微小,在许多情况下,这些微小的变形,对平衡问题的研究不起主要作用,可以忽略不计,从而能使研究的问题大为简化。

在静力学中主要研究物体受力分析的方法和刚体在外力作用下处于平衡的条件及其应用。

为了进一步简化,有时还须把物体当作质点来处理。所谓质点,应理解为沿任何方向的尺寸都极为微小以致可以忽略、但具有一定质量的物体。物体虽具有一定的大小,有时其大小对所研究的问题无关或不起显著作用,对这样的物体也可视为质点。

§ 1-1. 力及其基本规律

1. 力的概念

力的概念,是人类在长期的生活和生产实践中,通过反复的观

察、实验和分析,逐步建立起来的。人们在劳动中,由于筋肉紧张收缩的感觉,逐渐产生了对力的感性认识。随着生产的发展,人们的认识逐步加深。关于力的最初的感性知识,通过普遍化的过程,概括建立了力的科学概念: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。

力是一物体对另一物体的机械作用,所以力不能脱离实际物体而存在。在研究物体受力时,必需分清哪个是受力物体,哪个是施力物体。至于力的作用方式,可以是物体间的直接作用,如起重时,钢索对重物的拉力;也可以是“场”与物体的作用,如地球对物体的引力。

由经验知道,力对物体的作用完全决定于它的三个要素,即:1) 力的大小[工程上常用的单位是公斤(kg)或吨(t)]; 2) 力的方向; 3) 力的作用点。这三个要素中,任何一个改变时,力对物体的作用效果也随之改变。

力是具有大小和方向的量,所以是矢量。力的图示可用一有向线段表示(图 1-1),线段的长度(按一定的比例)表示力的大小,线段末端的箭头表示力的指向,线段的始端或末端表示力的作用点,线段所在的直线称为力的作用线。本书在以后各章中,每个矢量都用一个黑体字母表示,并以同一字母的白体代表这个矢量的模(大小)。例如设用 $\mathbf{P}$

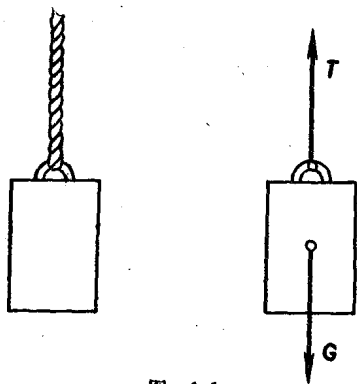


图 1-1

代表某个力,则这个力的大小等于 P 。

2. 力的基本规律

在生活和生产中,经过长期的经验积累和实践的验证,人们认

识了关于力所遵循的许多规律, 其中最基本的规律可归结为以下四条:

(1) **二力平衡条件** 要使作用在一个刚体上的两个力平衡, 其必要和充分条件是: 这两个力的大小相等, 方向相反, 且作用在同一直线上(图 1-2), 即

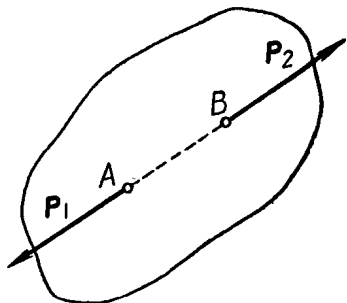


图 1-2

$$P_1 = -P_2.$$

这个条件对刚体来说, 是既必要又充分的, 但是对非刚体来说, 这个条件是不充分的。例如, 软绳受两个等值反向的拉力作用时可以平衡, 而受两个等值反向的压力作用时就不能平衡。

(2) **可以等效替换的力系** 可以在作用于刚体上的任何一个力系上, 加上或减去任意的平衡力系, 而并不改变原力系对刚体的作用效果。也就是说, 相差任意平衡力系的两个力系, 作用效果相同, 可以相互替换。

由上述的两条力的基本规律, 可以得到下面的一个重要推论: 作用在刚体上的力, 其作用点可沿着它的作用线任意移动, 而不改变力对刚体的作用。这个性质称为力的可传性。如图 1-3 所示, 作用在物体 A 点的力 P , 将它的作用点移到其作用线上的任一点 B, 而力对物体的作用效果不变。但是, 当必须考虑物体的变形时, 这个性质不再适用。

(3) **力的平行四边形法则** 作用在物体上同一点的两个力, 可以合成为一个力, 其作用线也通过该点, 其大小和方向由以这两个已知力为边所构成的平行四边形的对角线表示, 这称为力的平行四边形法则。如图 1-4 所示, 作用在物体上 O 点的两个已知力

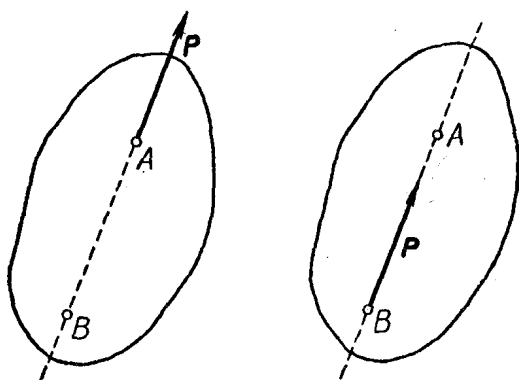


图 1-3

P_1 和 P_2 的合力为 R 。力的这种合成法则,可写成

$$R = P_1 + P_2.$$

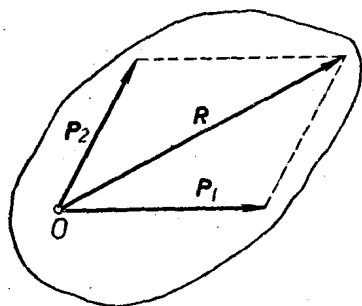


图 1-4

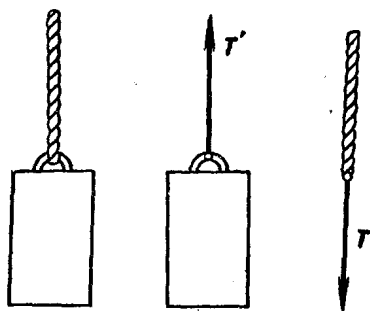


图 1-5

(4) **作用与反作用定律** 物体间的作用是相互的,如图 1-5 所示,当起重时,重物对绳子的作用力 T 与绳子对重物的反作用力 T' 是同时产生的,并且大小相等,方向相反。所以,作用力与反作用力总是同时存在,并且大小相等,方向相反,沿同一直线。但是,必须注意,作用力与反作用力是分别作用在两个物体上的。

§ 1-2. 受力图

研究物体的平衡或运动问题时，首先必须分析物体受到哪些力的作用。为了清楚地表示物体的受力情况，就有必要把所研究的物体从周围的物体中分离出来，即单独画出所研究的物体的简单轮廓图形，并表示出它所受到的全部的力，这种图形，称为受力图。如图 1-6 *a* 所示的起重机横梁 *AB*，它受到载荷 *P* 的作用。横梁 *AB* 的受力图如图 1-6 *b* 所示。横梁除受到载荷 *P* 的作用外，还受到钢索 *BC* 和铰链 *A* 给它的力 *T* 和 R_{Ax} 、 R_{Ay} 的作用。

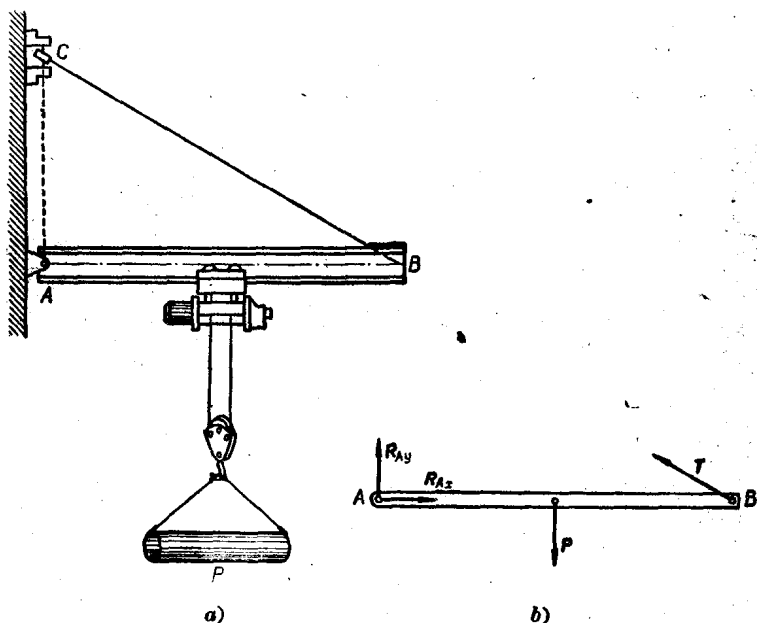


图 1-6

显然，由于横梁 *AB* 与周围的物体钢索 *BC* 和铰链 *A* 联系着，所以在载荷 *P* 的作用下才能保持静止。也就是钢索和铰链起了阻碍横梁运动的作用。因此，要画出横梁的受力图，就必须掌握如何

分析钢索和铰链作用在横梁上的力的方法。

凡对物体的运动起阻碍作用的周围物体称为约束，约束作用在物体上的力称为约束反作用力（简称约束反力或反力）。于是物体受到的力一般可分为两类：一类是使物体产生运动的力，称为主动力，如物体受到的重力，加在物体上的载荷，等等；另一类是阻碍物体运动的反力。主动力的大小和方向在问题中通常都是已知的，而反力的大小和方向则是未知的，也往往是我们所要求的。在一般情况下，物体受到的反力的方向可根据物体的约束的类型来决定，至于反力的大小则需要应用平衡条件来计算。

现在来讨论工程上常见的几种约束类型及其反力方向的确定方法，并举例说明物体的受力图的画法。

1. 柔性约束 由柔软的绳索等构成的约束，称为柔性约束。绳索等柔性物体，在不计其自重的情况下，当它系住物体而被拉紧时，两端受到拉力，根据二力平衡条件可知，两端的拉力沿着绳索。如图 1-6a 所示吊钢管的钢索，其受力情况如图 1-7 所示。由作用与反作用定律可知，绳索对物体的反力也为拉力，且也沿着绳索。因此，柔性约束的反力的方向沿着绳索而背离物体。

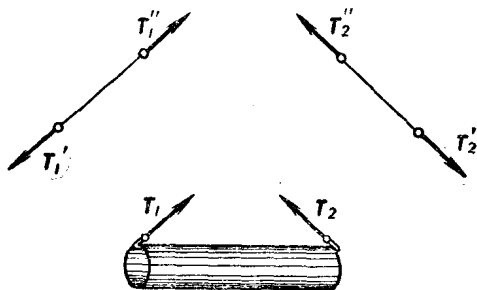


图 1-7

2. 刚性光滑接触表面约束 由完全光滑的接触表面所构成的约束，称为刚性光滑接触表面约束。物体放在光滑的平面上(图

1-8), 在不计摩擦的情况下, 可以认为支承面不能限制物体沿其切线方向滑动, 而仅能阻止物体沿支承面法线向下运动。因此刚性光滑接触表面约束的反力的方向沿着接触面的法线而指向物体。

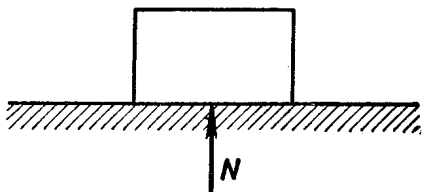


图 1-8

如齿轮间传递的作用力(图 1-9), V 形铁对工件的反力(图 1-10), 当不计摩擦时, 都沿着接触面的法线方向。

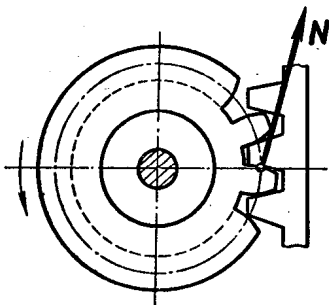


图 1-9

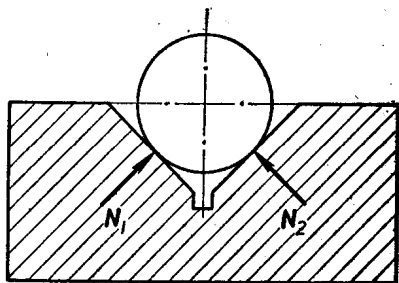


图 1-10

例 1-1 一钢索滑轮组(图 1-11a), 其工作原理如图 1-11b 所示。滑轮组悬挂重 G 的物体。试画出物体 A 和动滑轮 B 的受力图。

解 它们的受力如图 1-11c 所示。

1) 物体 A 受两个力作用: 本身的重力 G (主动力), 铅直向下作用在物体的重心; 绳子给它的拉力 T (反力), 作用在联接点。根据二力平衡条件, G 与 T 的大小是相等的(图 1-11c)。

2) 动滑轮 B 受到的力有: 与 T 等值反向的作用力 T' , 以及上面各段钢索的拉力 T_1 、 T_2 和 T_3 。滑轮组是用一根钢索绕成的, 不计摩擦时, 各段钢索的张紧程度相等, 所以 $T_1 = T_2 = T_3$ 。

例 1-2 一铣床夹具(图 1-12a), 当拧紧螺母时, V 形压板便压紧工件。试画出螺钉、V 形压板和工件 1 的受力图。

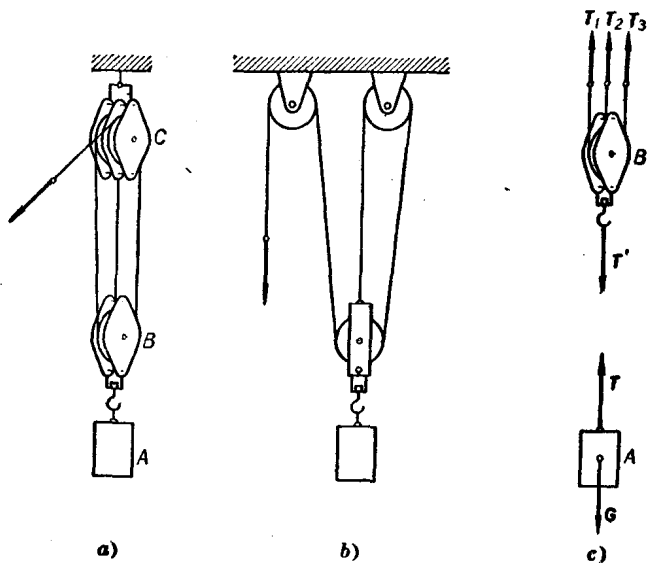


图 1-11

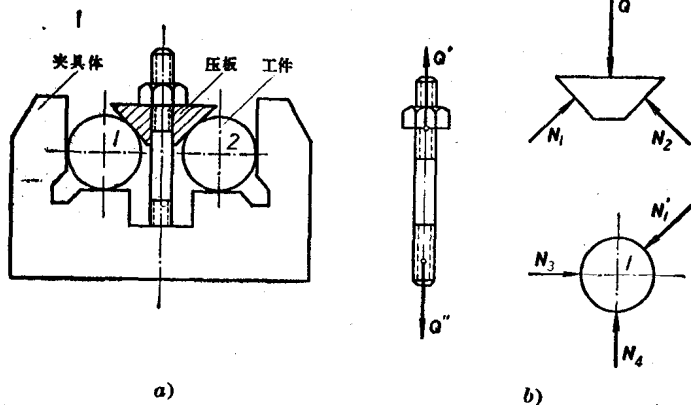


图 1-12

解 它们的受力图如图 1-12b 所示。

1) 螺钉两端受到拉力 Q' 和 Q'' 的作用, 其中 Q' 为主动力, Q'' 为反力。

2) V形压板受到螺母的压力 Q (主动力) 以及工件的反力 N_1 和 N_2 的

作用, 它们都垂直于V形压板的各个表面。

3) 工件1受到V形压板的法向压力 N'_1 以及夹具体的反力 N_3 和 N_4 的作用。

其中 $Q=Q'=Q''$, $N_1=N'_1$ 。

3. 圆柱形铰链约束 由圆柱形铰链所构成的约束, 称为圆柱形铰链约束。圆柱形铰链是由两个端部带有圆孔的杆件, 用一销钉联接而成的, 如图 1-13 所示。

下面介绍几种常见的圆柱形铰链支座约束:

(1) 固定铰链支座约束 如图 1-14a 所示, 是一种常用的圆柱形铰链联接, 它由

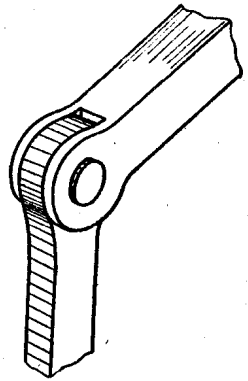


图 1-13

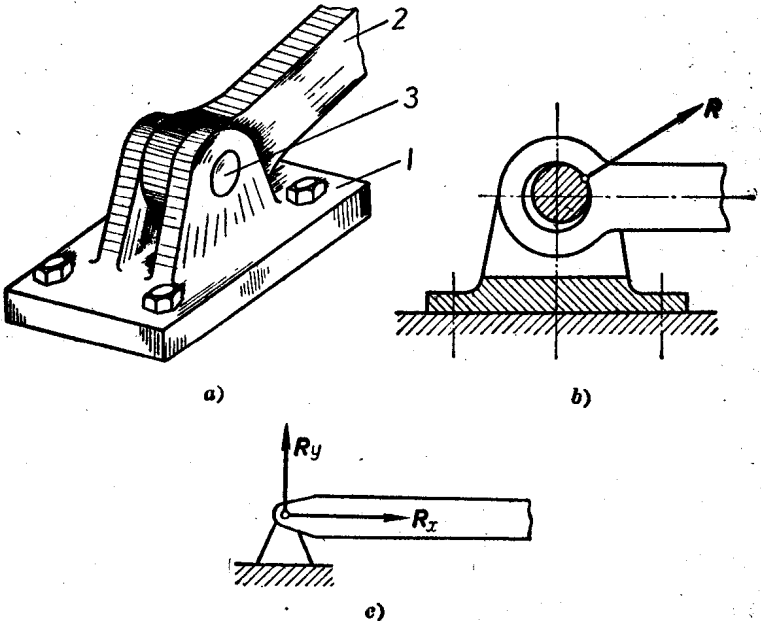


图 1-14

固定底座 1 和杆 2 并用一销钉 3 联接而成。这种支座的简图如图 1-14c 所示。

当杆 2 受载荷作用时, 销钉孔壁便紧压到销钉上的某处 (图 1-14b), 这样销钉将通过接触点给杆以一个反力 R , 这个反力的作用线必定通过销钉的中心。随着杆所受的主动力不同, 杆与销钉接触点的位置也随之不同。所以, 固定铰链支座的反力作用线必定通过销钉中心, 但方向需要根据物体的受力情况来确定。这样, 在画支座反力时, 通常用两个方向相互垂直的分力 R_x 与 R_y 来代替 (图 1-14c)。

(2) 活动铰链支座约束 在桥梁、屋架及其他结构上经常采用活动铰链支座。图 1-15a 所示为桥梁上用的活动铰链支座, 这种支座的下面有几个圆柱形滚子, 支座可沿支承面滚动, 以便当温度变化引起桥梁伸长或缩短时, 允许支座的间距有稍许的变化。这种支座的简图如图 1-15b 所示。显然, 在不计摩擦的情况下, 活动铰链支座反力的作用线必定通过铰链中心, 方向垂直于支承面。

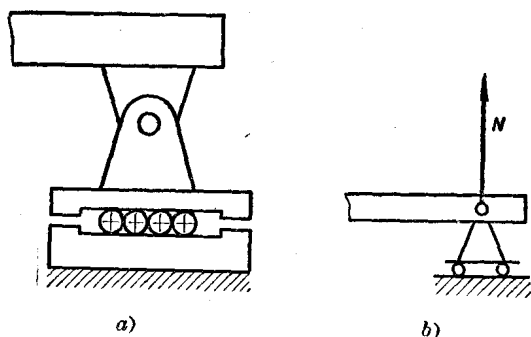


图 1-15

在实际工程中, 经常还会遇到一种不计自重的双端铰链联接的刚杆。如图 1-16a 所示三角架中的杆 BC , 当不计自重时, 它是只受两个力作用的平衡物体。由二力平衡条件可知, 杆 BC 所受的