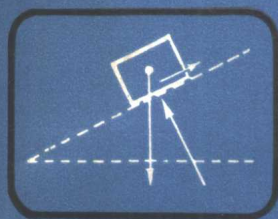


527131

332
23071

71

中学物理教学参考丛书



力的平衡



上海教育出版社

332 527131
23071

2 3071

中学物理教学参考丛书

力的平衡

上海市闸北区教师进修学院编

上海教育出版社

宿)

封面设计 周养安



中学物理教学参考丛书

中学物理教学参考丛书

力的平衡

上海市闸北区教师进修学院编

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

新华书店上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5.25 字数 116,000

1978 年 11 月第 1 版 1978 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—120,000 本

统一书号: 7150·1932 定价: 0.40 元

编 者 的 话

本书是中学物理教学参考丛书之一，主要供中学物理教师参考。全套丛书共有二十本左右，将陆续出版。

《力的平衡》的主要内容是论述有关力的基础知识和物体的平衡条件，考虑到教学中的实际需要，本书把物体的受力情况分析 and 有关解题问题独立成章。全书共分五章：第一章阐述力的基本概念，第二章介绍力学中常见的三种力，第三章讨论物体受力分析的问题，第四章分析受力物体的平衡条件，第五章综述教学中常见的几种解题方法。

参加本书编写的有于彝陵、许德明、林在珩、沈菁华、汪宗锐、丁定一老同志。

目 录

第一章 力	1
一、力的概念	1
二、力的合成和分解	6
(一)平面共点力系的合成和分解	6
(二)平面平行力系的合成和分解	15
三、力矩和力偶	21
第二章 力学中最常见的几种力	26
一、重力	26
二、弹力	32
三、摩擦力	38
(一)静摩擦	38
(二)动摩擦	42
第三章 物体受力情况的分析	45
一、物体的受力图	45
二、分析物体受力情况的一般规律	51
三、作用力和反作用力	55
四、摩擦力的方向	58
五、三角形桁架受力情况的分析	59
六、物体对支承物的作用力	63
七、支承力的方向和作用点	69
八、组合体受力情况的分析	73
第四章 物体的平衡	79

一、共点力的平衡·····	79
二、刚体的平衡·····	84
三、力矩原理·····	93
四、重心和稳度·····	98
(一)重心·····	98
(二)稳度·····	102
第五章 解题分析 ·····	105
一、共点力的合成和分解·····	105
二、受共点力作用的物体的平衡·····	111
三、有固定转动轴的物体的平衡·····	121
四、同向平行力的合成和物体的重心·····	124
五、受非共点力作用的物体的平衡·····	131
习题 ·····	143
习题答案 ·····	161

第一章 力

物体受到力的作用,它的形状或运动状态就会发生变化,人们就是通过力的作用效果来认识力的。应用力学的基本规律去解决实际问题,必须善于分析物体的受力情况。力的概念的建立还有助于对机械运动作定量的分析和研究。

一、力的概念

任何知识的来源,在于人体感官对客观外界的感觉。人们对力的认识最初是从劳动中获得的,推或拉物体都要用力,用力时就会感觉到肌肉紧张,这样就把力和肌肉紧张的感觉联系在一起。随着劳动工具与机器的发展,人类在生产斗争过程中逐步建立并完善了力的概念,不断地加深了对力的认识。

人们在长期生产实践中,认识到自然界中的物体并不是各自孤立的,而是相互联系、相互影响的。从大量物体相互作用的规律中,认识到力的物质性和力的作用的相互性。只要有力的作用发生,就一定有相互作用的物体存在,只有物体才能给予其他物体以力的作用,而且也只有物体才能承受力的作用,力不能脱离物体而单独存在。所以,通常我们把力定义为“力是物体与物体间的相互作用”。

由于物体间相互作用的不同,力可以分为:万有引力、弹力、摩擦力、电磁力、核力等。在力学中,经常遇到的是重力、

弹力和摩擦力。

力是物体间的相互作用,我们可以通过下面例子来说明。甲、乙两人分别站在两辆小车上,甲和乙各握着一根绳子的两端。当甲、乙两人同时用力收缩绳子时,可以看到两人同时运动,相互靠近。如果两人中只有一人收缩绳子,另一人握住绳子不放,两人仍旧同时运动,相互靠近。这说明,当甲用力拉乙,使乙运动时,乙也拉甲,使甲运动。可见,甲对乙有力的作用时,乙对甲也有力的作用,甲和乙同时都受到了力,这一对力叫做作用力和反作用力。对于甲、乙两个人来说,他们都是施力者,又都是受力者。

我们把物体间的相互作用,一个称为作用,另一个称为反作用;两个物体上分别受到的力,一个称为作用力,另一个称为反作用力。两个物体间的作用力和反作用力总是大小相等,方向相反,作用在同一条直线上。这个规律叫做作用力和反作用力定律,也叫做牛顿第三运动定律,是力学中基本定律之一。

作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上,它们总是成对地同时出现,同时消失。作用力与反作用力必定是相同性质的力,作用力是万有引力,反作用力也是万有引力;作用力是摩擦力,反作用力也是摩擦力。

力既然是物体与物体间的相互作用,相互作用的效果总是会在物体上以一定的形式表现出来。力作用在物体上有两种效果:力能使物体发生形变,叫做力的静力效应;力能使物体产生运动状态的变化,叫做力的动力效应。

物体运动状态的改变有三种情况:物体运动速度的大小发生变化,如由快变慢、由慢变快、由静止变运动、由运动变静止;速度的方向发生变化,如物体作匀速圆周运动时,速度的

方向不断地在变化;速度的大小和方向同时发生变化,如单摆运动。

形变就是指物体形状的变化。物体受到力的作用,物体各部分之间相对位置发生变动,物体形状就发生了变化。如果物体的形变极为微小,在一般性讨论中就可以忽略这些形变,把物体看成是刚体。刚体就是在任何力的作用下,完全不发生形变的理想物体。其实任何物体即使受到极为微小的力的作用,都要发生形变,不发生形变的物体是不存在的。

力的两种效应往往同时反映出来,不能认为一个力只能产生一种效应。也不要错误地认为一部分力使物体形变,而另一部分力产生加速度。物体受力后的效应的大小取决于产生效应的力的大小,因此,完全可以从力对物体作用效应的大小来量度力的大小。

力能使物体产生加速度。我们可以把力作用于一个事先取定的标准物体上,然后由它所产生的加速度的大小来确定力的大小。1牛顿的力能使质量为1千克的物体产生1米/秒²的加速度,1达因的力能使质量为1克的物体产生1厘米/秒²的加速度。

力还能使物体发生形变。我们可选取一个标准物体,以这个标准物体所产生的形变大小来量度力的大小。如弹簧秤就是用弹簧的伸长来量度力的大小的装置。这里必须指出,由形变定出的力的大小和由力与加速度成正比定出的力的大小,只有在满足下列两个条件的情况下才能取得一致:一是在惯性系统中,二是在胡克定律适用的范围内。

在物理学中,如长度、面积、体积、时间、质量、温度、电量、功、能等等,只有大小,没有方向的物理量,我们称它为无向量或标量。另一种,如速度、加速度、电场强度、磁场强度等,既

有大小,又有方向的物理量,我们称它为向量或矢量。力不仅有大小,而且还有方向,因此力是矢量,也称力矢。力矢的表示方法,是在力的符号上面加上“ $\rightarrow$ ”即 $\vec{F}$, 或用黑体 $\boldsymbol{F}$ 。

物体上承受力的作用的部位,称为力的作用点。通过力的作用点,并沿着力的方向画出的直线称为力的作用线。力的作用效果除了与力的大小、方向有关外,还与力的作用点有关。例如,用同样大小的两个力沿同一方向拉两个相同的圆盘。一个力作用在 A 点,如图 1-1 (甲)所示,这个力的作用线通过圆盘重心,它只能使圆盘沿力的方向移动。另一个力作用在圆盘边缘上的 B 点,如图 1-1 (乙)所示,那就会使圆盘同时移动和转动。可见大小和方向都相同的力,作用在相同的物体上,由于作用点位置的不同,产生的效果也不一样。

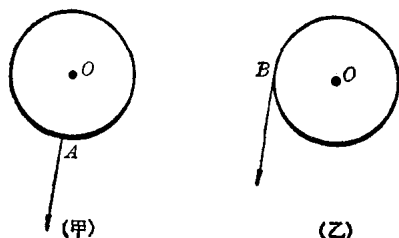


图 1-1

通常我们把力的大小、方向、作用点称为力的三要素。力的作用效果是由它的大小、方向和作用点三个因素共同确定的。力的大小、方向、作用点这三个因素中有一个改变了,力的作用效果一般就随之发生改变。但在有些情况下,力的大小和方向都不变,只是沿着力的作用线改变作用点的位置,力的作用效果仍保持不变。

作用在刚体上的力可以沿着力的作用线把作用点移到任

何位置,而不改变力对物体的作用效果,这个原理称为力的可传性原理。如图 1-2(甲)所示,力 F 作用在刚体的 A 点上,在力 F 的作用线上任取一点 B ,在 B 点仍沿着作用线加上大小相等、方向相反的两个力 F_1 与 F_2 ,使 $F_1 = F_2 = F$,如图 1-2(乙)所示。

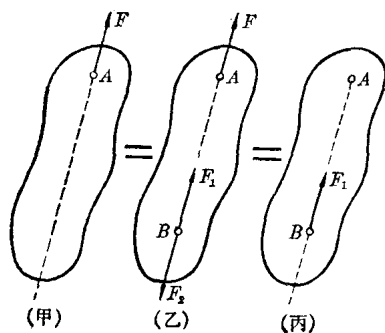


图 1-2

F_1 和 F_2 相互平衡,从实践可知 F 和 F_2 也相互平衡,三个力 F_1 、 F_2 和 F ,跟力 F 等效,也和力 F_1 等效。由此可知,力 F 可以在刚体上从 A 点移到力的作用线上的任意一点 B ,而不改变其作用效果。

在分析力学问题时,为了直观地说明力的作用,我们可以用一条按一定比例画出的带有箭头的线段来表示力,它的长短表示力的大小;箭头的指向表示力的方向;箭头或箭尾表示力的作用点。这种表示力的方法叫做力的图示法。图 1-3 表示铡刀柄上某点受到 50 牛顿的作用力,力的方向垂直于铡刀柄。

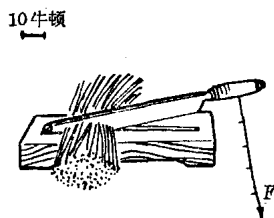


图 1-3

二、力的合成和分解

在实际问题中,作用在物体上的力往往不是单个力,而是一组力,我们把同时作用在物体上的一组力叫做力系。作用在物体上的力系,如果力的作用线相交于一点,这种力系称为共点力系或汇交力系。如果力系中力的作用线都互相平行,这种力系称为平行力系。如果力系中力的作用线既不汇交于一点,又不全部互相平行,这种力系称为一般力系。上述力系中的力处于同一平面的称为平面力系,不处于同一平面的称为空间力系。平面共点力系是各种力系中最简单的一种力系。

如果几个力(力系)的作用效果可以用一个力来替代,这个力就称为是那几个力(力系)的合力。如果一个力的作用效果可用几个力来替代,那么这几个力就称为是那个力的分力。求合力的方法叫做力的合成。求分力的方法叫做力的分解。力的合成和分解是处理实际问题时常用的基本方法。下面讨论平面共点力系和平面平行力系的合成与分解问题。

(一) 平面共点力系的合成和分解

1. 平行四边形法则

由于力是矢量,力的合成必须应用矢量合成的方法,即平行四边形法则。实验证明,作用在物体上互成角度的两个共点力,它们的合力的大小和方向,可以用表示这两个力的有向线段作邻边所画出的平行四边形的对角线来表示,对角线的长度表示合力的大小,对角线的方向就是合力的方向。这个结论,叫做力的平行四边形法则。

(1) 作图法

[例] 某人民公社用船运送化肥, 在渡河中船受到 4.00×10^3 牛顿的牵引力, 同时又受到跟牵引力方向垂直的水冲击力 2.00×10^3 牛顿, 求船所受的合力。

【解】 设单位长度代表 1.00×10^3 牛顿的力, 质点 O 代表船, 从两个力的共同作用点 O 引出两根长度分别为 4 个单位长度和 2 个单位长度的有向线段 $\overline{OA}$ 和 $\overline{OB}$, 分别表示两个力的大小和方向, 夹角为 90.0° 。用这两个线段为邻边作平行四边形 $OACB$, 画出对角线 $\overline{OC}$, 用尺量出对角线 $\overline{OC}$ 的长度为 4.50 单位长度, 按照原定比例可知, 合力 R 的大小是 4.50×10^3 牛顿。用量角器量得对角线 $\overline{OC}$ 和 $\overline{OA}$ 线段间的夹角 α 为 26.5° , 就确定了合力 R 的方向。

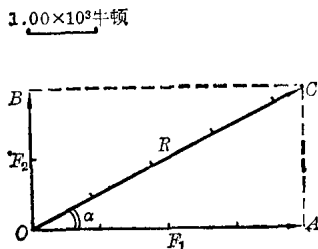


图 1-4

用作图法求合力的方法比较简单, 但答案是量出来的, 所以不可避免会有一定的误差。

(2) 计算法

在图 1-5 中, 力 F_1 和 F_2 分别用有向线段 $\overline{OA}$ 和 $\overline{OB}$ 表示, F_1 与 F_2 之间的夹角等于 θ , 平行四边形 $OACB$ 的对角线 $\overline{OC}$ 的长度表示合力 R 的大小。过 C 点作 OA 延长线的垂线, 交于 D 点。由直角三角形 ODC 得到

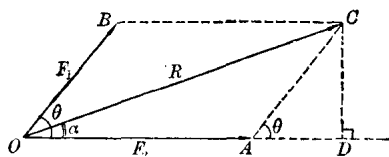


图 1-5

$$\overline{OC}^2 = \overline{OD}^2 + \overline{CD}^2 = (\overline{OA} + \overline{AD})^2 + \overline{CD}^2。$$

以 $\overline{OC} = R$, $\overline{OA} = F_2$, $\overline{AD} = F_1 \cos \theta$, $\overline{CD} = F_1 \sin \theta$ 代入上式:

$$\begin{aligned} R^2 &= (F_2 + F_1 \cos \theta)^2 + (F_1 \sin \theta)^2 \\ &= F_2^2 + 2F_2F_1 \cos \theta + F_1^2 \cos^2 \theta + F_1^2 \sin^2 \theta \\ &= F_2^2 + 2F_2F_1 \cos \theta + F_1^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta)。 \end{aligned}$$

$$\because \sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1,$$

$$\therefore R^2 = F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta + F_1^2,$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}。$$

设合力 R 与 F_2 之间的夹角为 α ,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{CD}}{\overline{OD}} = \frac{\overline{CD}}{\overline{OA} + \overline{AD}} = \frac{F_1 \sin \theta}{F_2 + F_1 \cos \theta},$$

由此就可以确定合力 R 的方向。

当 $\theta = 0^\circ$ 时, 作用在物体上的两个力 F_1 和 F_2 方向相同, 并且在同一条直线上。合力 R 的大小, 等于两力之和, 方向和 F_1 、 F_2 的方向相同。

当 $\theta = 180^\circ$ 时, 作用在物体上的两个力 F_1 和 F_2 方向相反, 并且在同一条直线上, 合力 R 的大小等于两力之差, 方向与较大的力的方向相同。当两力之间的夹角 θ 从 0° 逐渐增大到 180° 时, $\cos \theta$ 的值从 1 逐渐减小到 -1 , 合力 R 的数值就从两力之和逐渐减小到两力之差。

【例】如图 1-6 (甲) 所示的八字扒杆是一种简易的起重机械, 它用两根钢丝绳 OA 、 OB 来稳定。若 OA 、 OB 与地面的夹角都是 45.0° , 两绳都以 5.00×10^3 牛顿的力拉紧扒杆。求这两根钢丝绳对扒杆 O 点的作用力。

【解】如图 1-6 (乙) 所示, F_1 、 F_2 分别表示钢丝绳 OA 、 OB 对八字扒杆的拉力, 则 F_1 与 F_2 的合力 R 就是钢丝绳施于扒杆 O 点的作用力。

$$\because \angle BAO = \angle ABO = 45.0^\circ,$$

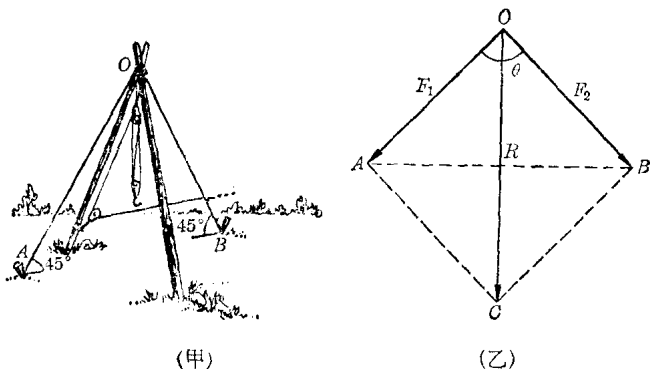


图 1-6

$$\therefore OA=OB, \quad \theta=90.0^\circ,$$

$$R=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\theta}=\sqrt{(5.00\times 10^8)^2+(5.00\times 10^8)^2+0}$$

$$\approx 7.07\times 10^8(\text{牛顿}).$$

2. 三角形法则

两个以上的力作用于物体上同一点，我们可以用力的平行四边形法则先求出其中任意两个力的合力，再求出这个合力和另一个力的合力，这样继续下去，最后可以求得作用在物体上所有的力的合力。图 1-7 表示四个力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 同时作用于 O 点。先用平行四边形法则求 F_1 和 F_2 的合力 R_1 ；再求出 R_1 和 F_3 的合力 R_2 ；最后求得 R_2 和 F_4 的合力 R_3 。 R_3 就是作用于物体上 O 点的 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 四个力的合力。

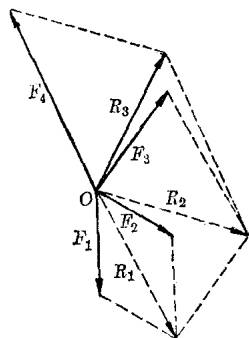


图 1-7

两个共点力的合成，实际上无需作出整个平行四边形，只要作出其中一个三角形就可以了。 F_1 、 F_2 和合力 R 的矢量关

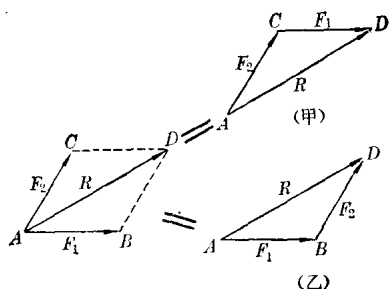


图 1-8

系如图 1-8 所示。

三角形的两条边分别表示 F_1 和 F_2 ，则第三边就表示合力 R ，这种合成方法称为三角形法则。应用三角形法则求合力，比平行四边形法则简便，作三角形时，先画好两个作用力中任意一个力，再以这个力的末端，作为第二个力的始端，画第二个力，最后连接第一个力的始端和第二个力的末端的线段就是它们的合力。合力矢的指向是从第一个力矢的始端指向第二个力矢的末端。

〔例〕 O 点受四个力的作用，如图 1-9 所示，用三角形法则求它们的合力。

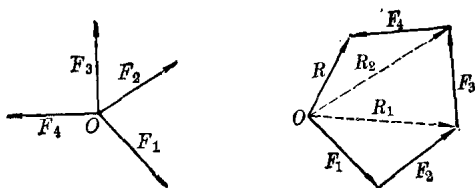


图 1-9

【解】 按三角形法则，先作出 F_1 和 F_2 的合力 R_1 。再作出 R_1 和 F_3 的合力 R_2 ，最后作出 R_2 和 F_4 的合力 R 。 R 就是 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4

四个力的合力。

3. 多边形法则

在图 1-9 中可以看出 R_1 和 R_2 也可以不必画出, 只要将各力矢首尾相连接, 最后连接第一个矢量的始端和最后一个矢量的末端的线段就是合力矢。这种求合力的方法叫做力的多边形法则。

〔例〕 用多边形法则求图 1-10 (甲) 所示的四个力的合力。

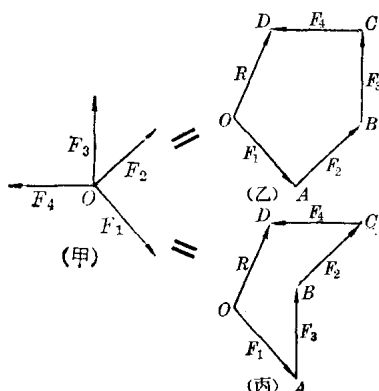


图 1-10

【解】 作 OA 平行且等于 F_1 , 从 A 点作 AB 平行且等于 F_2 , 如图 1-10 (乙) 所示, 从 B 点作 BC 平行且等于 F_3 , 再从 C 点作 CD 平行且等于 F_4 , 连接 OD , OD 即合力 R 。在作力多边形时, 各力矢作图的次序不同, 得到的力多边形的形状也不同, 但最后求得的合力的大小和方向应该是相同的, 这说明各力矢相加的次序对合力矢的大小和方向没有影响。我们也可从图 1-10 (乙) 和图 1-10 (丙) 中看出, 作多边形时, 力矢必须首尾相连, 各力矢对力多边形有相同的转向, 而合力矢的转向与力矢的转向相反。

4. 解析法

共点力系求合力的方法除了用上述各种方法外, 还可以