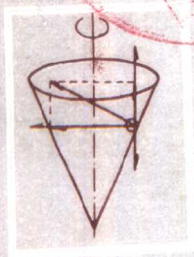
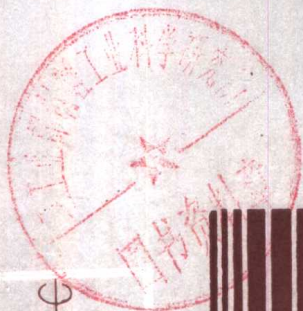


# 物体受力分析

高中物理丛书



天津科学技术出版社

高中物理丛书

# 物体受力分析

袁克群

天津科学技术出版社

高中物理丛书  
**物体受力分析**  
章克群

\*

天津科学技术出版社出版  
天津市赤峰道124号

天津新华印刷二厂印刷  
天津市新华书店发行

\*

开本 787×1092毫米 1/32 印张 6 3/8 字数 155,000

一九八三年三月第一版  
一九八三年三月第一次印刷  
印数：1—13,800

统一书号：13212·51 定价：0.55元

## 前 言

《高中物理丛书》是为自学青年和高中学生编写的一套辅导读物。丛书各册既具有统一的编写思想，又各自按专题独立成册。丛书包括《物体受力分析》、《质点运动规律》、《动力学定律和定理》、《直流电路规律》、《静电场分析》、《磁场及电磁感应》等共12册。

这套丛书，着重揭示了高中物理基础知识间纵、横向关系，对物理知识进行了系统的综合、归纳；在此基础上，对学习中常出现的错误和容易混淆的问题进行了详尽的剖析，并通过典型实例进行较深入的讲解。因此，本丛书可帮助读者准确理解所学知识，扩大知识视野，培养思维能力，提高智力水平，掌握解题思路和技巧。

本丛书可供读者平时学习使用，也可作单元总结、阶段复习和系统复习时使用。

限于我们的水平，书中定有错误和不当之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

一九八二年九月

1-AT-8/82

# 目 录

一、正确认识力	1
(一) 场力	1
(二) 接触力	7
二、物体受力分析的基本方法	26
(一) 隔离法	26
(二) 怎样分析力	32
(三) 物体受力分析图示——力图	34
三、平衡态物体受力分析	47
(一) 平衡态物体受力特征	47
(二) 平衡态物体受力分析方法	48
四、变速直线运动物体受力分析	70
(一) 变速直线运动物体受力特征	70
(二) 变速直线运动物体受力分析方法	71
五、圆周运动物体受力分析	92
(一) 圆周运动物体受力特征	92
(二) 怎样认识向心力	93
(三) 怎样找向心力	94
六、简谐振动物体受力分析	114
(一) 简谐振动物体受力特征	114
(二) 怎样寻找回复力	117
七、运动状态变化的中间过程受力分析	130

[附]

练习题.....152

答案和解.....169

## 一、正确认识力

力是物体间的相互作用。物体运动状态发生变化，或者物体发生形变，无一不是力作用所致。所以，要研究物体处于各种不同运动状态或发生形变的原因，就要进行物体受力分析。正确地进行物体受力分析，是研究力学问题的基础。

正确地认识力，掌握每一种力的特征和产生条件，是正确进行受力分析的关键。

物理学中所遇到的各种力，按其性质可分为两类，即场力和接触力。前者为主动动力，后者为被动力。下面将集中讨论各种力的特征和产生条件，并对认识上容易产生错误的一些问题加以分析，以帮助读者加深对力的概念的认识。

### (一) 场 力

物体间通过场实现的相互作用就是场力。地球引力场中物体所受的重力，静电场中点电荷所受的电场力(库仑力)，运动电荷在磁场中所受的洛仑兹力都是场力。这些力的施力物体和受力物体之间可不直接接触，其相互作用是通过场这种特殊物质实现的。

#### 1. 场力是主动动力

处于地球引力场中的物体，不管它处于什么样的运动状态，它总要受到地球的引力作用；置于静电场中的点电荷，总要受到场源电荷的库仑力作用；带电粒子在磁场中以某一

速度沿不平行于磁感应强度的方向运动时，总要受到洛仑兹力的作用。这就是所谓场力的主动性。

弄不清场力的主动性，往往会造成错误的分析。例如：人造地球卫星按圆轨道绕地球运行时，处于失重状态，卫星内部的物体对支持物失去了压力，对悬绳失去了拉力。初学者常常认为这时物体就不再受引力作用了。这种认识就是对场力是主动力这一点认识不清造成的。

卫星绕地球运行时，仍处于地球的引力场中，所以，它仍受地球的引力作用。只是这时卫星所受的地球引力，完全用来充当它作匀速圆周运动所需要的向心力，从而处于完全失重状态。因此，其内物体也就失去对支持物的作用。

特别应该指出，场力的作用也是相互的，它们之间由于相互作用而出现的作用力和反作用力，同样遵循牛顿第三定律。

## 2. 常见的场力

(1) 万有引力 著名英国科学家牛顿(1642—1727)在开普勒(1571—1630)总结的行星运动规律的基础上，又把地球表面上的动力学关系应用于天体，同时推广了引力规律，在1687年正式发表了万有引力定律。

任何两个物体都相互吸引，引力的大小跟两个物体质量的乘积成正比，跟它们距离的平方成反比。

用 $M_1$ 和 $M_2$ 表示两物体的质量，用 $r$ 表示它们的距离，那么万有引力定律可以用下式表示：

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

公式中 $G$ 为万有引力恒量。由于物体间的万有引力非常



小，从而造成测量上的困难，所以，在牛顿发表万有引力定律100多年以后，才由著名的英国科学家卡文迪许（1731—1810）于1798年用“扭秤实验”精确地测定了G的数值。

$$G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ dyn} \cdot \text{cm}^2/\text{g}^2$$

或 
$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$$

这个量这样小，致使距离很小的两个很大的物体间的相互吸引力也十分小，如两个各为1吨的球，当它们相距1米时，彼此之间的吸引力才只有 $6.67 \times 10^{-6} \text{ N}$ 。因此，一般觉察不到周围物体间的吸引力。

万有引力是有心力（辏力），力的方向沿两个质点间的连线。

①重力和重力随纬度和高度的变化 地球对它周围的所有物体都存在着引力作用，这就是地球表面物体都受重力作用的原因。重力作用空间叫重力场；地球表面可以近似认为是一个均匀重力场，强度为 $g$ 。用 $M$ 表示地球质量，用 $R$ 表示地球的半径，用 $m$ 表示某个物体的质量，根据万有引力定律，地球作用在地球表面附近的物体上的引力为：

$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

此式所决定的引力的大小，可以近似地认为是该物体重力的大小。

物体在重力的作用下，作自由落体运动。自由落体的加速度为：

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{Mm}{R^2m} = G \frac{M}{R^2}$$

显然， $G \frac{M}{R^2}$  为一恒量。据此，重力的表达式可写为：

$$F = mg$$

按规定重力用  $G$  表示，所以上式可写为：

$$G = mg$$

但要注意，此式中的  $G$  不是万有引力公式中的万有引力恒量。

上式表明，作用在物体上的重力，等于物体的质量和自由落体加速度的乘积。

下面分析一下重力随高度变化的情况。

设物体位于地球表面上方高  $h$  处，那么，

$$F = G \frac{mM}{(R+h)^2} = \frac{GmM}{R^2} \cdot \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

又因为  $mg = \frac{GmM}{R^2}$

$$\therefore F = mg \left( \frac{R}{R+h} \right)^2$$

由上式可知，物体所受重力随距地球表面高度的增加而减小。

重力是由于物体受地球的吸引而产生的，但重力并不等于地球对物体的引力，置于地球表面某处的物体所受的引力  $F$ ，可以分解为两个分力，即  $F_{\text{向}}$  和  $G$ 。

如图1-1所示。

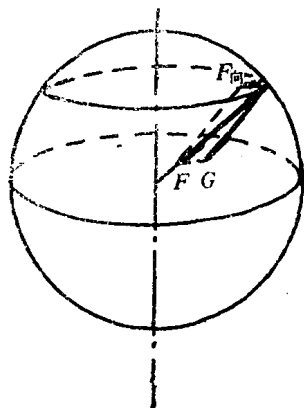


图 1-1

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{向}} + \vec{G}$$

$$\therefore \vec{G} = \vec{F} - \vec{F}_{\text{向}}$$

式中 $\vec{F}_{\text{向}}$ 是物体随地球自转(绕地轴做匀速圆周运动)所需向心力; $\vec{G}$ 是物体所受的重力。

由于 $F_{\text{向}}$ 的量值很小,所以,对地球表面上的物体,可近似认为 $G = F$

也即 
$$mg = G \frac{mM}{R^2}$$

所以,在地球表面附近,我们可以近似地把物体所受引力称为重力。但在距地表较远的地方就不能再把物体所受引力称为重力了。相应地也就不能把引力场称为重力场了。

②重力和重量 首先应注意重力和重量不是一回事。物体由于受地球的吸引力,而产生的对它的支承物和悬挂物的作用力,叫做物体的重量。物体的重量不是作用在物体上、而是作用在支承物或悬挂物上的力。所以,重力和重量是两回事。但当支承物或悬挂物相对于地球静止或处于匀速直线运动状态时,重力的大小等于重量的大小。

处于重力场中同一纬度的物体,如所处高度不变,则其所受重力为一恒量,它的大小与物体所处的状态无关。但是它的重量却与所处运动状态有关。物体在相对地球作加速运动时,可能处于超重或失重的状态。

(2) 电场力 相对于观察者静止的电荷所产生的电场叫做静电场。置于静电场中的点电荷所受的力叫做电场力(库仑力)。两个点电荷间的相互作用,就是通过“场”实现的。

法国物理学家库仑(1736—1806)用实验方法研究了静止

点电荷间的相互作用力，于1785年发表了库仑定律。

库仑力和万有引力遵循相同的规律——反平方定律。

$$F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

式中 $Q_1$ 和 $Q_2$ 表示两个点电荷的电量， $r$ 表示它们之间的距离， $F_e$ 表示它们之间的静电力， $k$ 为静电力恒量。

应该注意，两个点电荷间的库仑力作用也是相互的，并且遵循牛顿第三定律，大小相等，方向相反，分别作用在两个点电荷上。这同两个点电荷的电性和电量无关。

我们也可以用电场强度 $E$ 来描述电场力 $F_e$ ，把点电荷置于电场强度为 $E$ 的电场中，那么这个点电荷所受的电场力 $F_e$ 可表示为：

$$F_e = Eq$$

(3) 洛伦兹力 实验表明，如果点电荷 $q$ 在磁场中沿不平行磁场的方向运动，就会受到垂直于速度方向的力的作用，这就是洛伦兹力。它是一种磁场力。

用 $B$ 表示运动电荷 $q$ 所在区域磁场的磁感应强度，用 $v$ 表示电荷在垂直于磁场的方向上的运动速度，那么，洛伦兹力的大小可以由下述公式求出，

$$f = qvB$$

洛伦兹力的方向可以由左手定则求出如图 1-2 所示。这里，并拢的四指代表正电荷的运动方向。如果研究对象为运动的负电荷，那么在用左手定则判断它所受的洛伦兹力以前，应先将它的

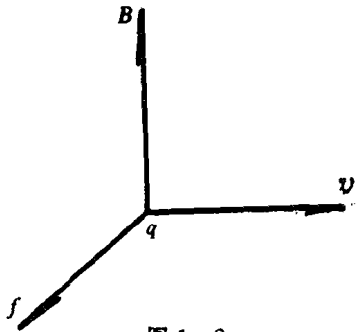


图 1-2

运动方向变为等效的正电荷运动的方向。

磁场对电流的作用力——磁场力，是磁场作用在导线中定向运动的电荷所受洛仑兹力的宏观表现。

总之，重力、电场力和磁场力作为场力，它们都是通过“场”实现相互作用，都是主动力，但它们仍各有各的特征，现用下面表格加以总结。

名称	万有引力	电场力	洛仑兹力
大小	$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$	$F_c = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$	$f = qvB$
方向	沿两质点的连线，为引力	沿两个点电荷的连线，为斥力或引力	垂直于 $\vec{B}$ 和 $\vec{v}$ 所在的平面
性质	存在于一切物体之间，是保守力。与速度无关	静止电荷间的相互作用力。与速度无关，为保守力	磁场对运动电荷的作用力。 $(B \nparallel v$ 时 $f = 0)$ 与速度成比例。非保守力。对运动电荷不做功

## (二) 接触力

一个物体与另一个物体直接接触，在接触面上由于相互作用而产生的力叫接触力。弹力和摩擦力都是接触力。

### 1. 接触力的产生条件

接触力是被动力，它的产生是有条件的，不能认为只要两个物体直接接触，接触面上就一定有接触力。下面我们讨论弹力和摩擦力的产生条件。

(1) 弹力的产生条件 物体发生弹性形变时，对使它发生形变的物体产生力的作用，这个力叫弹力。

很明显，在两个物体的接触处能产生弹力条件，是接触处两个物体均发生弹性形变；如两个物体直接接触，但无弹性形变发生，就不会产生弹力的相互作用。

弹力可以表现为张力，也可以表现为物体间的压力。

当我们分析一个物体是否受弹力作用时，首先要分析是否具有产生弹力的条件，这样才能防止受力分析上的错判。

【例1】 分析一个放在光滑水平面和斜面之间的静止小球的受力情况。如图1-3所示。

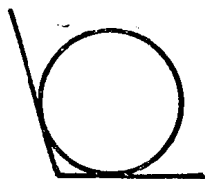


图1-3

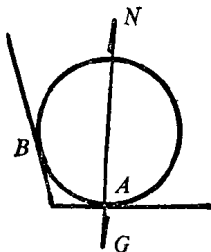


图1-4

分析 小球所受的重力只对水平面产生压力作用，因此只能在小球和水平面的接触点 $A$ 产生压缩形变，而产生弹力，小球所受弹力为 $N$ 。小球虽和斜面在 $B$ 处相接触，但在这个地方没有形变产生，所以小球和斜面间不产生弹力的相互作用。小球的受力情况如图1-4所示。

也有人把小球的受力情况分析为如图1-5所示的那样，显然是错误的。

产生这种错误的原因，通常是没有弄清弹力的产生条件。相互接触，只是具有了产生弹力的可能性；至于是否产生弹力，还要看在接触处是否有弹性形变产生，有弹性形变产生，才能产生弹力。有的人虽然记清楚了弹力产生的条件，但在做具体分析

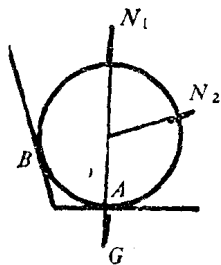


图1-5

时，对接触处是否存在形变判断不清。这个问题的关键在于未弄清力的作用效果。此题中因小球放在光滑水平面上，其所受重力的作用效果只有一个，那就是压水平面。但如果对重力的作用效果分析不清，而错认为它还可以有挤压斜面的效果，就会造成如图1-5所示的错误。另外，这样的错误也是容易发现的，小球的受力情况如果是图1-5所示的那样，那么，其所受力的合力不为零，这与小球所处的静止平衡状态相矛盾。

请读者从受力分析的角度出发，试区分图1-6中所给出的不同情况。

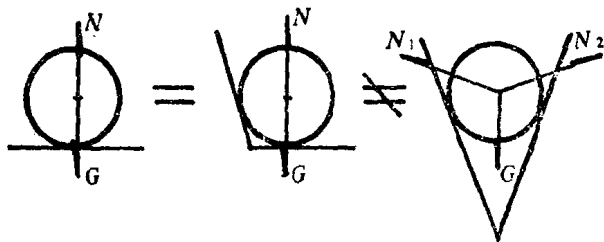


图1-6

【例2】 质量为 $m$ 的小球，放在一大筒内，筒质量为 $M$ ，分析筒从倾角为 $\theta$ 的斜面上无摩擦地滑下时，小球的受力情况。如图1-7所示。

分析 当圆筒沿斜面无摩擦地滑下时，筒和球的加速度分别由筒和球所受的重力的下滑分力产生，都为 $g\sin\theta$ ，所以，筒和球的接触点 $A$ 处不会产生形变，因而没有弹力相互作用。

重力垂直于斜面的分力使球和筒在接触点 $B$ 发生弹性形变，这就产生了作用在球上的弹力 $N$ ，所以，球只受两个力即 $N$ 和 $G$ 的作用，如图1-7所示。

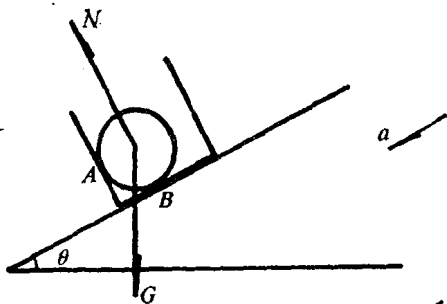


图1-7

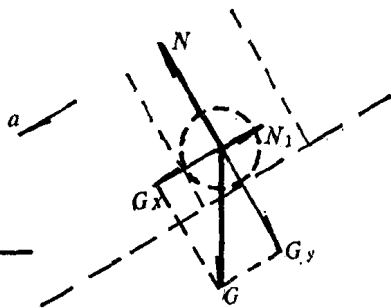


图1-8

在一些较为复杂的问题中，往往需要通过计算才能判断是否存在弹力。

上例中的球和筒壁之间是否存在相互作用力如果分析起来比较困难，就可采用计算方法。

先假定存在相互作用力为 $N_1$ ，如图1-8所示。

取筒和小球整体为隔离体，由牛顿第二定律可得



$$a = \frac{\Sigma F}{m + M}$$

而  $\Sigma F = (m + M)g \sin \theta$

$$\therefore a = g \sin \theta$$

再取球为隔离体，根据小球的受力情况，可写出方程：

$$G_x - N_1 = m_1 a$$

$$m g \sin \theta - N_1 = m g \sin \theta$$

$$N_1 = 0$$

计算结果表明：小球和筒之间不存在相互作用力。

(2) 摩擦力的产生条件 当两个相互接触的物体间，存在相对运动或具有相对运动趋势时，在接触面处产生的阻碍物体做相对运动的力叫摩擦力。

中学阶段学习的摩擦力包括滑动摩擦力和静摩擦力。

摩擦力的产生条件归纳起来可以总结为以下四点：

- ①两物体互相接触；
- ②接触面粗糙；
- ③接触面间存在压力相互作用；
- ④两物体间存在相对滑动或相对滑动的趋势。

同时具备以上四点，在两个物体的接触面上才会出现摩擦力作用。

**【例 3】** 在图1-9所示的装置中，所有的接触面均为粗糙面，物体B悬绳竖直向下。试分析图中各个物体是否受摩擦力的作用，并指出是哪一种摩擦。

分析 图1-9中A、B两物体虽然都和桌面接触，接触面同样都是粗糙的，但是从摩擦力产生的条件分析，还是不同