中学生课外科技活动丛书

物理

精选专题分析与解答

聂天成　董若子　李志成　编著
张希光　审校

科学普及出版社广州分社

中学生课外科技活动丛书

物　理

——精选专题分析与解答

聂天成　董若子　李志成　编著

张希光　审校

科学普及出版社广州分社

中学生课外科技活动丛书

物　　理

——精选专题分析与解答

聂天成　董若子　李志成　编著

张希光　审校

科学普及出版社广州分社出版发行

（广州市应元路大华街兴平里3号）

广东省新华书店经销

广东韶关新华印刷厂印刷

开本：787×1092毫米　1/32　印张：10.875字数：22.5千

1989年11月第一版　1989年11月第一次印刷

印数1—10,100册

ISBN7-110-00897-5/G·229　定价3.40元

目　　录

一、物体的平衡

处理物体平衡问题的方法很多，主要是运用平衡条件和力的分解．在正确理解题意以后，应首先确定研究对象，明确平衡体．“研究对象”可以是理想化的质点，也可以是有形的物体．其次是对平衡体进行受力分析和正确画出受力图．对有形物体的受力分析要注意其作用点．然后根据平衡条件建立具体问题所满足的方程．

（一）运用平衡条件分析较复杂物体的受力情况

作用在物体上的n个力使物体平衡的条件是：其中任何$(n-1)$个力的合力必定与除此之外的另一个力大小相等方向相反．物体受三个非平行力作用时，其平衡条件是：三力作用线必相交于一点，其中任何两个力的合力与第三个力大小相等方向相反．有固定转动轴的物体的平衡条件是力矩的代数和等于零．一般物体的平衡条件是作用在物体上的合力为零，对任意一点的力矩代数和等于零．掌握这些规律，在判断或计算物体受力的大小就比较方便了．

例1 如图1-1所示，两只相同的光滑小球，叠放在内壁光滑的圆筒内，已知小球重量均为G，圆筒半径为R，小球的半径r，放在圆筒内满足$R<2r<2R$．则对于它们相互接触的四点所受压力的大小以下说法中正确的是（　　）．

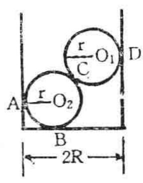

图1-1

(A) D点的弹力可以大于、小于、等于小球的重力

(B) A点的弹力大于或等于D点的弹力

(C)B点的弹力恒等于2倍小球的重力

(D)C点的弹力随小球半径不同可以大于或等于小球的重力

分析：取球O_1、O_2为受力分析的对象，分别作出它们的受力图，如图1-2所示。图中N_A、N_B、N_D为筒壁对球的弹力，N_C为两球接触处相互作用的弹力，如果把两球看成一个整体、则O_1、O_2间的弹力便成为它们的内力了。由物体平衡条件，在水平方向和竖直方向上合外力分别为零，即$\Sigma F_x=0$，$\Sigma F_y=0$，故有$N_A=N_D$，$N_B=2G$，此结果对照答案(B)、(C)，(C)是正确的，(B)是错误的。

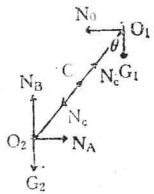

图1-2

再以球O_1为研究对象，它受到三个力作用而处于平衡。由共点力作用下物体的平衡条件得：$N_D=G_1\mathrm{tg}\theta$……①，$N_C=\dfrac{G_1}{\cos\theta}$……②，在题设条件限制下，$\theta$的取值范围是$0°<\theta<90°$，由①式知$N_D$可以大于、等于、小于球的重力，由②式知$N_C$不能等于$G_1$。故答案(A)也是正确的，而(D)则是错误的。

例2 在质量为m，半径为r的金属球上装一长为L的细杆，细杆一端用绞链与墙连接，球下面垫一木扳，木板放在光滑的水平地面上，球与板间的滑动摩擦系数为μ，如图1-3。下列正确的是(　　)。

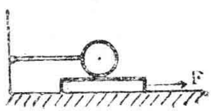

图1-3

(A)将木块匀速向右拉出时，拉力$F=\mu mg$

(B)将木块匀速向左推进时，推

力$F=\mu mg$

(C)将木块匀速向右拉出时，拉力$F<\mu mg$

(D)将木块匀速向左推进时，推力$F<\mu mg$

分析：解题时容易误认为$F=f=\mu N=\mu mg$，因而选(A)、(B)两个答案，而忽视细杆的一端用绞链与墙连接，细杆可以绕轴自由转动，木板左右移动时，木板对球的支持力$N\neq mg$。

正确的分析是，选取球与细杆为研究对象。当木板向左或向右移动时，小球都受到三个力作用。如图1-4，重力G竖直向下，木板的支持力N竖直向上，球与木板接触的摩擦力f方向是在接触处水平向左或右。小球在这三个力作用下可以绕细杆一端转动，所以本题可用有固定转动轴物体的平衡条件讨论。

解：取绞链处为转轴，当木板向右匀速拉出时，由$\Sigma M=0$，有$G(L+r)=N(L+r)+fr$

$\because f=\mu N$

$\therefore G(L+r)=N(L+r)N\mu r$

得$N=\dfrac{G}{1+\dfrac{\mu r}{L+r}}$

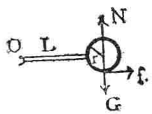

图1-4

$\because N<G$，$F=f=\mu N<\mu G$

$\therefore F<\mu mg$

即答案(C)是正确的，(A)是错误的

当木板向左匀速推进时有：

$G(L+r)+f\cdot r=N'(L+r)$

由$f=\mu N'$

解得 $N' = \dfrac{G}{1-\dfrac{\mu r}{L+r}}$　　$N' > G$

$\therefore$　$F = f = \mu N' > \mu mg$，所以答案(B)、(D)都不正确

（二）　运用平衡条件分析物体受力的变化

在研究平衡问题时，有时需要通过变化力的作用点、方向和装置结构等途径来研究某一个力的变化．对这类问题的分析和解答，若能灵活运用图形和函数关系等手段，将会提高解题效率．

1．应用平行四边形法则

例3　如图1-5，电灯悬挂于两墙之间，保持O点位置固定。然后更换绳OA，使A点向上移动．在这一过程中，绳OA拉力将(　　)。

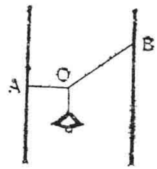

图1-5

(A)逐渐增大　(B)逐渐减小　(C)先增大后减小，(D)先减小后增大

分析：无论OA的端点A是否向上移动，悬点O都是受三个力作用处于平衡状态的，即绳OA与OB的拉力F_{OA}、F_{OB}的合力与重力G平衡，这个合力即为G．由题设O点位置不变可得力F_{OB}的方向不变，而F_{OA}的方向则随A点位置的改变而变化，当A点位置一经确定，F_{OA}的方向也随之而定．这样就可以用平行四边形法则，将F_{OB}、F_{OA}的合力进行分解．从作出的平行四边形中比较同一个边的长度的变化，即可比较出拉力F_{OA}随A点位置变化的情况．

解：如图1-6所示，过O点取单位长度表示物体受的重

力G，方向竖直向下，过O点沿G的相反方向作$-G$。当绳OA水平拉O点时，设绳OA的拉力为F_{OA_1}，用矢线OA_1表示。过$-G$的末端O'作OA_1的平行线交OB于B_1，则在平行四边形$OA_1O'B_1$中力线B_1O'等于OA_1等于F_{OA_1}，OB_1等于绳OB的拉力F_{OB_1}。当绳的端点由A点移至A'位置，且OA'垂直于OB，用同样的作图法得平行四边形$OA_2O'B_2$，力线B_2O'等于OA_2等于拉力F_{OA_2}，由力线$B_1O'>B_2O'$知$F_{OA_1}>F_{OA_2}$。当绳的端点移至A''位置时，由作出的平行四边形，可得力线B_3O'等于OA_3等于力F_{OA_3}，由力线$B_3O'>B_2O'$知$F_{A_3O}>F_{OA_2}$，由此可知当绳OA的端点由A移至A'位置的过程中，绳OA的拉力F_{OA}在逐渐减小，到达A'位置时，拉力最小。当端点由A'再逐渐上移时，拉力F_{OA}逐渐增大。因此本题应选(D)。

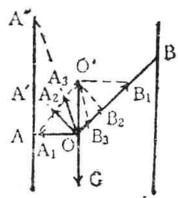

图1-6

例4 如图1-7所示，支杆BC一端用绞链固定于B，C端为一滑轮，重物上系一绳经C固定于墙上A点，若杆BC、滑轮C及绳子的质量、摩擦均不计，将绳端A点沿墙向下移，再使之平衡时，则(　　)。

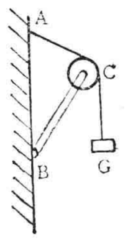

图1-7

(A)绳的拉力和BC杆受到的压力都增大

(B)绳拉力减小，BC杆受压力增大

(C)绳拉力不变，BC杆受压力增大

(D)绳拉力不变，BC杆受压力不变

分析：A点沿墙移动位置后C却处于平衡，因此作用在C点的力是三力平衡。在这三个力中已知重力G的大小和方向，绳AC段拉力的方向随A点位置变化而改变，杆BC支持力的方向因杆端为滑轮，故不能明确确定。但由于绳子在C处被分为两段，则绳AC段的拉力与CD段的拉力应都等于G，如果将杆受的压力作为重力G与拉力（绳AC段的）F_{AC}的合力，则这个合力的大小和方向就是杆受到的压力。而这个压力的等值反向力是杆对绳的支持力。因此本题求杆受的压力与绳在C处的平衡要求是一致的。

当绳的端点A处于某一位置时，绳AC的拉力方向也就确定了。已知两个分力的大小和方向，就可用平行四边形法则求出合力。当绳端点A的位置沿墙下移，两个分力的大小没有变化，而它们夹角减小，由作图比较或算式分析都可以知道它们的合力将逐渐增大。因此本题应选（C）。

例5 如图1-8所示，在倾角为α的光滑斜面上，放着质量m都相同的小球，用一块光滑的挡板P将球挡住，使球在斜面上保持静止。在如图所示的三种挡法中，挡板P对小球的弹力最小的是图____，斜面对小球的弹力最大的是图____。

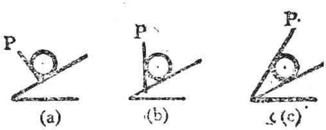

图1-8

分析：在(a)、(b)、(c)三种装置中，小球都受到三个

力的作用，即小球的重力 G、挡板的弹力 N_P 和斜面的支持力 N_C，且重力和斜面支持力的方向都不随挡板而变化，重力的方向通过球心，竖直向下，斜面支持力的方向垂直斜面向上，挡板 P 对球弹力的方向，随板与斜面的夹角 β 而变化，但它总是通过球心垂直于 P 板。三种装置中的小球都处于静止，可知作用在小球上的三个力平衡，即 N_P 与 N_C 的合力 R 与 G 等值反向。根据这一平衡条件，将 R 进行分解，从作出的三个平行四边形中比较有向线段 N_C、N_P 的长度，就可以找出需要回答的问题。

解：如图1-9(a_1)、(b_1)、(c_1)所示，取 O 点表示球心，过 O 点竖直向下画单位长度表示物力 G，再画出 R(与 G 等值反向)、垂直于斜面的有向线段 N_C，再通过 O 点分别画出垂直于挡板的三个方向有向线段 N_P。过 R 的末端分别画 N_C、N_P 的平行线，得三个力的平行四边形。其中角 α、β 如图所示。根据点到直线的距离中垂线最短，可知图 (a) 中有向线段 N_p 最短，所以(a)图挡板对球的弹力最小，由 $\gamma = 360° - \alpha - \beta$，得知 γ 随 β 的减小而增大，在 (c) 图中 γ 最大，所以图(c)中斜面对球的支持力最大。

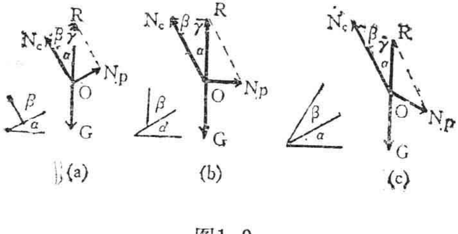

图1-9

2. 紧扣函数变量关系

例6 如图1-10所示，电线杆高为 H，电线对杆的水平

拉力为F．用一根长L的绳 系 住电线杆．问h为多高时，绳 上 拉力最小？

分析：这是一个有固定转动轴的平衡问题．绳要获得最小的拉力，则拉力力臂应有最大值．由图1-11可知，可将题目理解为L为定值，当倾角θ变化，直线L处于什么位置，顶点到它的距离最大．这样就将物体平衡问题转换成数字上的求极值问题了．

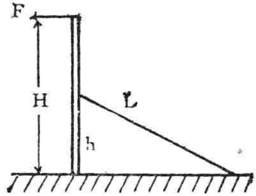

图1-10

解：在图1-11中，取O为转动轴，由$\sum M=0$，有

$$F\cdot H=T\cdot oA=T\cdot h\sin\theta$$
$$=TL\sin\theta\cdot\cos\theta$$
$$(h=L\cos\theta)$$

$$\therefore\quad T=\frac{2FH}{L\sin2\theta}$$

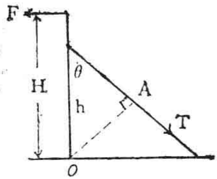

图1-11

当$\theta=45^\circ$时，力 臂 OA 有 最 大 值，为$\frac{L}{2}$，T有 最 小值，为

$T=\frac{2FH}{L}$，这时 悬 点 的 相 应 高 度 $h=L\cos\theta=L\cos45^\circ$

$=\frac{\sqrt{2}}{2}L$

例7　横梁AB的质量为m，B端用细绳拉着．横梁上挂一重物G，如图1-12所示．则绳上的拉力F与重物悬挂位置x的函数关系表示为图1-13中的（　　）．

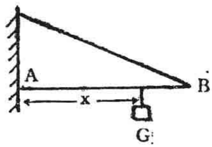

图1-12

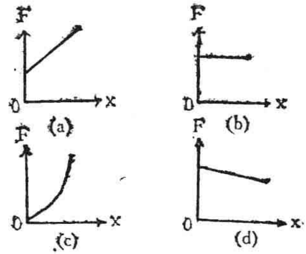

图1-13

(A)a　(B)b　(C)c　(D)d

(E)都不是

分析：应根据力矩平衡方程，确定出F与x的数量关系，以选出适合的图象。

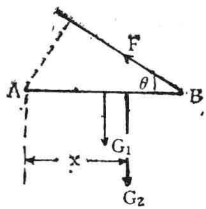

图1-14

解：如图1-14，以横杆AB为研究对象，取A点为转动轴，

则有$F \cdot \overline{AB} \cdot \sin\theta = G_1 \cdot \dfrac{\overline{AB}}{2} + G_2 \cdot x$

$$F = \frac{G_1}{2\sin\theta} + \frac{G_2}{\overline{AB} \cdot \sin\theta} x$$

式中m、G_1、G_2、$\overline{AB}$、θ为定值

令：$b = \dfrac{G_1}{2\sin\theta}$，$K = \dfrac{G_2}{AB \cdot \sin\theta}$

则$F = kx + b$

符合直线方程$y = kx + b$

∴选(A)

3. 巧用极端思维法

例8 绳AB的两端分别被固定在天花板上，开始时在绳的中点O挂一重物P，如图1-15中虚线所示，此时绳AO和BO的拉力分别为F_A和F_B。若把重物改挂在图中实线所示位置时，绳BO'的长度小于AO'的长度，这时绳$O'A$和$O'B$的拉力分别为F'_A和F'_B。则(　　)。

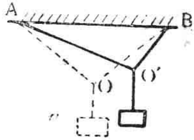

图1-15

(A) $F'_A > F_A$,　$F'_B > F_B$

(B) $F'_A < F_A$,　$F'_B < F_B$

(C) $F'_A > F_A$,　$F'_B < F_B$

(D) $F'_A < F_A$,　$F'_B > F_B$

分析：取O点为研究对象。重物移至任一个位置，O点都受到三个力作用而平衡。由图1-16的正交分解和平衡条件有：

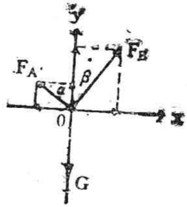

图1-16

$$F_A\cos\alpha + F_B\cos\beta = G,$$

$$F_A\sin\alpha = F_B\sin\beta$$

$$\therefore\ F_A = \frac{G\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)},\quad F_B = \frac{G\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta)}$$

当O点移至O'时，β逐渐减小，α逐渐增大，所以$F'_A < F_A$，$F'_B > F_B$，应选(D)。

本题如果用“极端思维法”进行讨论，便可很快得到这一结论。当悬点O位于绳的中点时，两段绳的拉力$F_A = F_B$。若

重物移到使OB'段竖直时，$F_A=0$，　$F_B=G$。所以悬点由O'移至O的过程中，F'_A逐渐减小，F'_B逐渐增大。同样可得选(D)的结论。

例9　如图1-17，木棒可绕O轴在竖直平面内转动，当用水平拉力F将木棒缓慢拉起的过程中，(　　)。

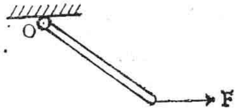

图1-17

(A)拉力F增大，对O轴力矩减小

(B)拉力F减小，对O轴力矩增大

(C)拉力F增大，对O轴力矩不变

(D)拉力F增大，对O轴力矩也增大

(E)拉力F减小，对O轴的力矩也减小

分析：当木棒竖直时，重力矩$M_G=0$，拉力F的力臂有最大值。当木棒水平时，重力矩有最大值，F的力臂等于O。当棒绕O轴缓慢旋转时，可以把木棒当作平衡状态处理拉力矩应等于重力矩，拉力矩随着重力矩的增大而增大，拉力随着拉力力臂的减小而增大。故本题正确答案为(D)。

(三)运用平衡条件处理一般物体平衡

选择合理的转轴和准确地找出顺时针、逆时针力矩，并根据力矩代数和为零即($\Sigma M=0$)求解，是解决物体平衡问题主要步骤和关键。此外，在有些物体的平衡中，可将作用在物体上的力延长交于一点，这样就可将有转轴物体平衡问题转化为共点力的平衡处理，使解题方法多样化。

例10　如图1-18(甲)所示，撑杆重量不计，一端用绞链固定。水平吊缆一端系于墙上，另一端系于撑杆的C处，且有$BC:AC=2:3$。重物G悬于B处，平衡时杆与水平方向成

α角。求杆对绞链的作用力和绳的拉力。

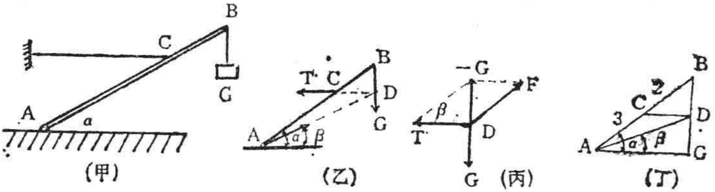

图1-18

分析：杆受力情况如图1-18(乙)所示。B点受到重物的拉力G，C点受到绳的拉力T，绞链处对杆的作用力F，这个力大小方向都不知道。这种杆受多力作用的问题，一般用正交分解和物体的平衡条件来解。本题还可应用力的汇交法把它转化为共点力平衡问题来解。T和G的作用点和方向都已经确定，D是它们作用线的交点。作用在杆上的第三个力F的作用线必通过D点，否则杆不能处于平衡〔如图(乙)所示〕。根据三力共点的平衡条件，画出力平行四边形如图丙，就可求得T与F的大小。

解：由(丁)图得：$\dfrac{\mathrm{tg}\alpha}{\mathrm{tg}\beta}=\dfrac{BG/AG}{DG/AG}=\dfrac{BG}{DG}=\dfrac{AB}{AC}=\dfrac{5}{3}$

$$\mathrm{tg}\beta=\frac{3}{5}\mathrm{tg}\alpha$$

由(丙)图得绳的拉力 $T=\dfrac{G}{\mathrm{tg}\beta}=\dfrac{5}{3}G\mathrm{ctg}\alpha$

由(丙)图得绞链对杆的作用力

$$F=\sqrt{G^2+T^2}=\sqrt{G^2+\frac{25}{9}G^2\mathrm{ctg}^2\alpha}$$

$$=G\sqrt{1+\left(\frac{5}{3}\mathrm{ctg}\alpha\right)^2}$$

由牛顿第三定律可知杆对绞链的作用力与它大小相等，方向相反。

例11 一根细而均匀的木棒AB，重量为G，B端悬挂重量为G_1的小球W(体积可以忽略)。若棒长的$1/n$浮出水面（如图1-19），试证：$G=G_1(n-1)$

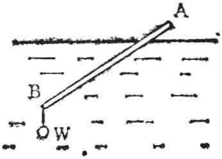

图1-19

分析：当棒的一部分露出水面时，棒受到的力为：重力G，浮力$f_{浮}$和小球W的拉力G_1。浮力的作用点在棒浸入水中部分的中点。如果浮力力矩小于重力G_1、G力矩的和，棒就要逆时针转动。所以棒保持这种平衡的条件是$f_{浮}=G_1+G$，和对于棒上的任一点浮力的力矩等于重力G_1、G的力矩的和。

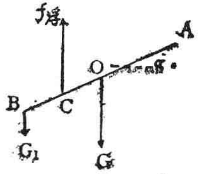

图1-20

解：棒受力如图1-20所示。设棒与水面的夹角为α。本题为可以取任意转动轴的物体平衡问题，对棒上的A、B、C、O等处，都可作为转动轴，但以选择O点计算较为方便。

当选O点为转轴时，浮力的力臂为：$\frac{1}{2}-\frac{1-\frac{1}{n}}{2}=\frac{1}{2n}$

$$\therefore\ f_{浮}\cdot\frac{1}{2n}\cos\alpha=G_1\cdot\frac{1}{2}\cos\alpha$$

$$\therefore (G_1+G)\frac{1}{2n}=G_1\frac{1}{2}.$$

得$G=G_1(n-1)$　即为所证。