

整体法在牛顿运动定律中的应用例析

■ 苏春泉

摘要:整体法是高中物理最常用的基本方法之一,是解决多物体力与运动问题不可或缺的工具之一,但同学们在应用整体法时经常局限于相对静止的物体或同方向运动的连结体,本文将从整体法的适用范围以及通过对于整体法与隔离法的解法的繁简程度来例析整体法在牛顿运动定律的妙用。

关键词:牛顿运动定律;整体法;例析

整体法是高中物理最常用的基本方法之一,是解决多物体力与运动问题不可或缺的工具之一,但同学们在应用整体法时经常局限于相对静止的物体或同方向运动的连结体,其根本原因是对于整体法的理解不够深入、透彻,整体法在相对运动的物体以及不同方向运动的连结体中不适用。

牛顿定律在教中的 $F=ma$, 对于多物体的, 应 $F=m_1a_1+m_2a_2+m_3a_3+\dots+m_na_n$ 。相对静止的物体常用的 $F=m_1+m_2$ 是定律中 $a_1=a_2$ 的一例。

及物体的多情况对整体法在牛顿运动定律中的应用进行阐述分析。

一、 $a_1=a_2=0$

由牛顿定律可得 $F=m_1a_1+m_2a_2=0$ 。

例1. 粗糙的水平杆OA与

光滑的竖直杆OB固定 支架AOB,OA及OB分别套上质量均 m 的环P、Q,P、Q用不可伸长的细相连,在如图所示位置处于平衡状态,求杆对环P的支持力。

1.采用隔离法,对环P分析,受力如右图所示,令 $\angle OPQ=\theta$,

在竖直方向上:

$$T\sin\theta+G=N$$

再对环Q分析,受力如右图所示,

在竖直方向上: $T\sin\theta=G$

联立解得: $N=2G$

2.采用整体法,对PQ整体受力分析如图,

在竖直方向上: $N=2G$

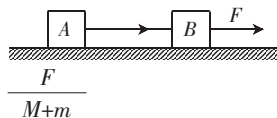
可以看出,题采用整体法不管是在受力分析上,还是列方程上抑或者是解方程上都比较简便。

二、 $a_1=a_2\neq 0$

由牛顿定律可得 $F_{\text{合}}=m_1a_1+m_2a_2=m_1+m_2$ a , 这类型常见题型,同学们对类题型也较熟悉,应用起来也较得心应手。

例2.如图所示,质量分别 m 和 M 的物体A、B用不可伸长的轻相连,置于光滑水平地,现在物

体B上施加水平恒力,



A.物体B的加速度

$$\frac{F}{M+m}$$

B.经过时间 t , 物体A的速度

$$\frac{F}{M+m}t$$

C. 开始运动时恒力增 2 倍, 经过相同时间后速度 $1.5v$

D. 开始运动时恒力增 2 倍, 经过相同时间后速度 $2v$

对A、B选项,采用隔离法, 还应对物体A、B分别进行受力分析,列出以 方程联立才能求解得出。

$$\begin{cases} \text{A物块: } T=ma \\ \text{B物块: } F-T=M a \end{cases}$$

应用整体法,得 $F=(M+m)a$, 即可求解出正确答案。

同理,对于C、D选项采用整体法与隔离法在繁简程度上也有相当大的差别,以D选项 例作如分析。

1.采用隔离法,对B: $F-T=Mv$

对A: $T\cdot t=mv$

$$\text{联立以上 可得 } v=\frac{F}{M+m}t \propto F$$

$$2.\text{采用整体法, } Ft=(M+m)v \Rightarrow v=\frac{F}{M+m}t \propto F, \text{ 可得}$$

D选项正确。

另外,还存在一 a_1 与 a_2 大小相等、方向不同但均沿着 子方向的情况,亦可采用整体法求解。

例33.粗糙水平桌

上有物体B通过不计摩擦的定滑轮与物体A相连, 物体质量均 1 kg , B与水平桌 的动摩擦因数 0.3 。当A静止释放后, 落过程中B的加速度 多大?

1.采用隔离法:

对B受力分析,得 $T-\mu m_B g=m_B a$

对A受力分析,得 $m_A g-T=m_A a$

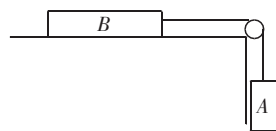
联立以上 解得 $a=3.5\text{ m/s}^2$

2.采用整体法:

$$m_A g-\mu m_B g=(m_A+m_B) a \text{ 解得: } a=3.5\text{ m/s}^2$$

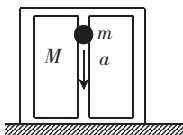
三、 $a_1=0, a_2\neq 0$

由牛顿定律可得 $F=m_1a_1+m_2a_2=m_2a_2$, 同学们平时较少练习这类型的题目,甚至相当一部分同学对本类题型根本不知道可以采用整体法,本类题型应用整体法相对来说难度也较大,除了应用整



体法外,往往还要考虑牛顿定律中的矢量性,但此类题型用整体法比用隔离法不管从列式还是计算量都具有相当大的优势。

例4. 质量为 M 的支架置于水平面上,一个质量为 m 的小球套在支架的竖直杆上,小球由静止释放,沿杆下滑的加速度为 a ,求小球在下滑过程中支架对地面的压力。



1. 采用隔离法, 对 m : $mg - f = ma$

对 M : $N = Mg + f$

联立求解得: $N = Mg + mg - ma$

2. 采用整体法, 有: $(M+m)g - N = ma$ 得 $N = Mg + mg - ma$

例5. 质量为 M 的三放在水平地面上, 一个质量为 m 的小滑沿斜面加速度 a 加速下滑, 三静止, 求地面对三的支力。

1. 采用隔离法

对小滑力

沿斜面上 $mg \sin \alpha - f = ma$

直斜面上 $N = mg \cos \alpha$

$f = \mu N$

对三力

在水平上 $N_{\text{地}} = Mg + f \sin \alpha + N' \cos \alpha$

在竖直上 $f_{\text{地}} + f' \cos \alpha = N \sin \alpha$

$f = f'$, $N = N'$

联立上式得 $N_{\text{地}} = (M+m)g - masin \alpha$

2. 采用整体法

对整体力

在竖直上 $(M+m)g - N_{\text{地}} = masin \alpha$

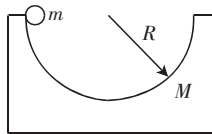
得 $N_{\text{地}} = (M+m)g - masin \alpha$

采用整体法达到事半功倍的效果, 应让学生明确并不是只有两体加速度相等的连接体才使用整体法, 这个题目问地面对三的摩擦力, 用整体法则直接, 而用隔离法则仍然要列多个程求解才得到

四、 $a_1 = 0, a_2 \neq 0$ (且 a_2 为向心加速度)

由牛顿第二定律得 $F_{\text{合}} = m_1 a_1 + m_2 a_2 = m_2 a_2$, 此类题型与第三类有点相似, 只是这里的 a_2 是圆周运动的向心加速度

例6. 上面为半径为 R 的光滑槽的木 M 放在水平地面上, 质量为 m 的小球从与圆心等高处无初速下滑, 木静止状态, 当小球落到圆心正下时, 求地面对木的支力大小



对 m 从与圆心等高处到圆心正下, 由动能定理

$$mgR = \frac{1}{2}mv^2 \text{ 得 } v = \sqrt{2gR}$$

1. 采用隔离法

在圆心正下 有 $N - mg = m \frac{v^2}{R}$ 得 $N = 3mg$

对 M $N_{\text{地}} = N + Mg = 3mg + Mg$

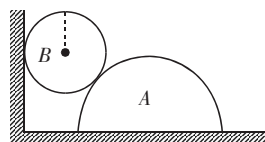
2. 采用整体法

$N_{\text{地}} - (M+m)g = m \frac{v^2}{R}$ 得 $N_{\text{地}} = 3mg + Mg$

五、 $a_1 \neq 0, a_2 \neq 0$

由牛顿第二定律得 $F_{\text{合}} = m_1 a_1 + m_2 a_2$, 此类型较为少见, 果用隔离法, 力个数太多, 解的力也较多, 要求有较扎实的数学基础才有准确推演答案, 但果用整体法, 则仍然较轻松地进行推导。

例7. 一个截面为半圆的圆柱体 A , 质量为 1 kg , 与地面的动摩擦因数为 $\mu = 0.5$, A 与竖直墙之间放一光滑圆球 B , 质量为 2 kg , 现从位置静止释放 B , 在 B 下运动的某个时刻, A 的加速度为 4 m/s^2 , B 的加速度为 8 m/s^2 , 求此时墙对 B 与地面对 A 的弹力大小别为多少?



1. 采用隔离法, 对 B 球力

令 N 与水平的夹角为 θ ,

在水平上

$N_B = N \cos \theta$

在竖直上 $m_B g - N \sin \theta = m_B a_B$

对 A 球力

在水平上

$N \cos \theta - f = m_A a_A$

在竖直上

$m_A g + N \sin \theta = N_A$

$f = \mu N_A$

联立上五式解得 $N_A = 12 \text{ N}$, $N_B = 10 \text{ N}$

2. 采用整体法, 对整体力

在水平上

$N_B - f = m_A a_A$

在竖直上 $(m_A + m_B)g - N_A = m_B a_B$

$f = \mu N_A$

解得 $N_A = 12 \text{ N}$, $N_B = 10 \text{ N}$

结束语: 牛顿定律是解决力与运动的主要定律, 在高中理的地位较高, 而整体法更是高中理不可或缺的法, 熟练掌握并灵活运用整体法较快、较准确地解决多体的问题, 用本文的观点让学生理解何正确地使用整体法及整体法应用的范围, 对学生理解掌握高中理知识有较大帮助。

(作者单位: 福建省南安南星中学)