

由 2017 高考江苏卷两道“三圆” 试题谈力学问题的处理思路

王仁泉

(江苏省南通市天星湖中学高中部 江苏 南通 226010)

(收稿日期:2017-06-13)

在 2017 年高考江苏物理卷中,出现了两道“三圆”试题,猛一看好像考点重复,细推敲,才发现命题教师构思巧妙,这两道题一分一触,一动一静,组合起来尽最大可能考查了学生对高中物理力学的重点、难点以及典型解题思想方法的掌握程度,不得不说是两道精品好题。

本文通过对两道高考试题的分析,阐述笔者在处理力学问题时的基本思路,与大家共筑。

【例 1】(2017 年高考江苏卷第 9 题)如图 1 所示,3 个小球 A、B、C 的质量均为 m ,A 与 B、C 间通过铰链用轻杆连接,杆长为 L 。B、C 置于水平地面上,用一轻质弹簧连接,弹簧处于原长。现 A 由静止释放下降到最低点,两轻杆间夹角 α 由 60° 变为 120° 。A、B、C 在同一竖直平面内运动,弹簧在弹性限度内,忽略一切摩擦,重力加速度为 g 。则此下降过程中

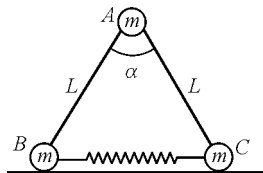


图 1 例 1 题图

A. A 的动能达到最大前,B 受到地面的支持力

小于 $\frac{3}{2}mg$

B. A 的动能最大时,B 受到地面的支持力等于

$\frac{3}{2}mg$

C. 弹簧的弹性势能最大时,A 的加速度方向竖

直向下

D. 弹簧的弹性势能最大值为 $\frac{\sqrt{3}}{2}mgL$

分析:容易知道,A 由静止释放后,A 做的是上下的往返运动,B、C 做的是左右的往返运动。

首先,由对称性可知:B、C 所受地面的支持力相等,单个小球所受支持力为整体对地面压力的一半。

本题的选项 A、B 涉及到研究对象的选择问题。由于我们只能分析研究对象所受的外力,从而处理问题时所求力必须是外力才能被求出。笔者在教学过程中就引导学生,一般情况下先将力所在的位置做标记,如图 2(a) 所示,再以所求力所在界面以外的全部如图 2(b) 作为研究对象来解决相关问题。这样的引导非常有必要,否则学生会将所求力要么与所选研究对象不搭界,要么成为了研究对象的内力,无论哪一种情况都是不能求出所求力。

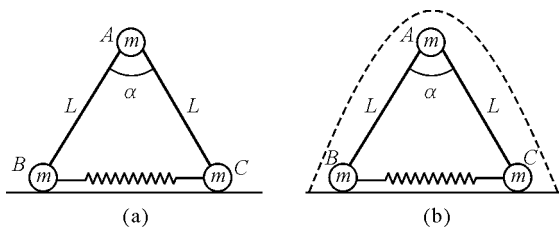


图 2 选取研究对象

选好了研究对象,再来分析运动状态。选项 A 中,分析的是 A 的动能达到最大前,说明此过程 A 一直向下加速,即 A 的加速度向下,A 处于失重状态;B、C 没有竖直方向上的加速度,既不超重,也不失重。显然整体处于失重状态,从而整体对地面的压力

小于整体的重力. 选项 A 正确.

A 在竖直方向上做的是变加速直线运动, 由运动规律可知, 当 A 的动能最大时, 其加速度为零, 从而整体在竖直方向上没有加速度, 整体对地面的压力等于整体的重力. 选项 B 正确.

在弹性限度内, 弹簧的弹性势能由弹簧的形变量决定, 当弹簧的弹性势能最大时, 意味着 B, C 间的距离最大, 也就是 A 运动到最低点的瞬间. 由于 A 做的是上下往返运动, 显然接下来 A 将向上加速, 即 A 此时具有的加速度竖直向上. 选项 C 错误.

本题中弹簧与 B, C 相连, B, C 又通过轻杆与 A 连接, 故应对系统利用功能关系来求解. 始、末两个状态, A, B, C 的速度都为零, 从而对从释放 A 到 A 运动到最低点的过程, 有球 A 减少的重力势能全部转化为弹簧的弹性势能. 由图 2(a) 和图 3 可知, 球 A 始末位置距地面的高度分别为 $\frac{\sqrt{3}}{2}L$, $\frac{1}{2}L$, 从而重力势能的减小量为 $\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}\right)mgL$, 即最大弹性势能为 $\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}\right)mgL$, 选项 D 错误.

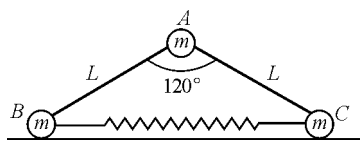


图 3 A 减少的重力势能全部转化为弹簧的弹性势能

【例 2】(2017 年高考江苏卷第 14 题) 如图 4 所示,

两个半圆柱 A, B 紧靠着静置于水平地面上, 其上有一光滑圆柱 C, 三者半径均为 R. C 的质量为 m, A, B 的质量都为 $\frac{m}{2}$, 与地面间的动摩擦因数均为 μ . 现用水平向右的力拉 A, 使 A 缓慢移动, 直至 C 恰好降到地面. 整个过程中 B 保持静止. 设最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 重力加速度为 g. 求:

- (1) 未拉 A 时, C 受到 B 作用力的大小 F;
- (2) 动摩擦因数的最小值 μ_{\min} ;
- (3) A 移动的整个过程中, 拉力做的功 W.

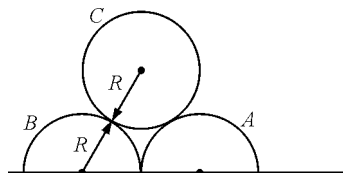
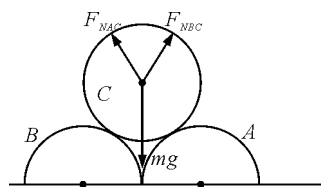


图 4 例 2 题图

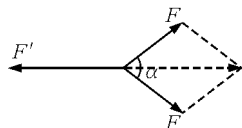
分析: 未拉 A 时, 所求“C 受到 B 作用力”的界面为 B, C 接触面, 故选择 C 为研究对象. 对 C 受力分析, 如图 5(a) 所示, 由对称性可知, F_{NAC} 与 F_{NBC} 大小相等. 事实上, 类似这种 3 力平衡, 明确有两个力相等的模型, 在高中物理习题中非常普遍, 必须重点掌握.

如图 5(b) 所示, 两个等大力合成或物体在 3 个力(其中两个力等大)作用下处于平衡状态, 有

- (1) 两个等大力的合力一定在其角平分线上;
- (2) F 与 F' 的关系为: $F' = 2F \cos \frac{\alpha}{2}$;
- (3) 几个常见特殊夹角对应的 F' (表 1).



(a) 选 C 为研究对象



(b) 受力平衡

图 5

表 1 几个常见特殊夹角对应的 F'

$\alpha / (^{\circ})$	60	90	120
F'	$\sqrt{3}F$	$\sqrt{2}F$	F

对应本题, 由 3 个圆心构成等边三角形知, F_{NAC} 与 F_{NBC} 夹角为 60° , 从而有 $2F \cos 30^{\circ} = mg$

解得: $F = \frac{\sqrt{3}}{3}mg$.

第(2)问: 由图 6(a) 可以看出, 在 A 缓慢右移过程中, F_{NAC} 与 F_{NBC} 的夹角不断增大, 由于这两个力的合力要与重力平衡, 且合力不变. 由 $F' = 2F \cos \frac{\alpha}{2}$

可知, F' 一定条件下, α 越大, $\cos \frac{\alpha}{2}$ 越小, 对应的 F 就越大. 不仅 F_{NCB} 在增大, 由图 6(a) 还可以知道, 在 C 下降的过程中, F_{NBC} 的反作用力 F_{NCB} 与水平方向的夹角在减小, 从而 F_{NCB} 在水平方向上的分力在增大, 当 C 恰好降到地面时, 由图 6(b) 可知, F_{NAC} 与 F_{NBC} 夹角为 120° , 由表 1 中关系可知

$$F_{NAC} = F_{NBC} = mg$$

此时 F_{NCB} 与水平方向的夹角为 30° , 从而 F_{NCB} 在水平方向上的分力达最大, 为

$$F_{NBC} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} mg$$

对应的静摩擦力 F_f 达最大, 如果此时的静摩擦力为最大静摩擦力即滑动摩擦力, 对应的 μ 就是动摩擦因数的最小值.

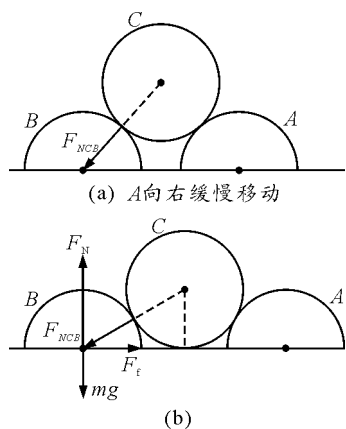


图 6 C 恰好降到地面

有了滑动摩擦力 F_f , 要求动摩擦因数 μ , 必须知道此时的弹力 F_N , 根据研究对象的选择方法, 可以如图 7 所示选择整体为研究对象. 题目中强调了作用过程“缓慢”, 需要注意的是, 物理上的所谓“缓慢”, 就是指尽管物体在运动, 但是运动得极其慢, 以至于在某一相对较短时间内看不出位置的变化, 认为其处于静止状态, 进而即使物体运动轨迹是曲线, 仍认为处于平衡状态.

由“缓慢”可知, 系统始终处于平衡状态, 容易得出 B 与地面间的弹力为系统总重力的一半, 即 $F_N = mg$, 且整个过程中 F_N 为恒定值.

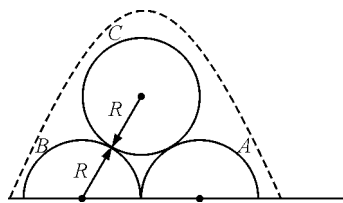


图 7 选择整体为研究对象

解得

$$\mu_{\min} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

第(3)问: 整个过程, B 始终静止不动, C 下降, 重力做功, A 与地面间存在滑动摩擦力, 对移动的 A 做负功, 另外还有拉力做功. 从而可以对 A, C 系统运用功能关系解答. 整个过程所研究的系统动能始终为零, 故 C 重力与拉力做的总功全部用来克服滑动摩擦力对 A 做的功.

从而有以下结果:

C 下降的高度

$$h = (\sqrt{3} - 1)R$$

A 的位移

$$x = 2(\sqrt{3} - 1)R$$

摩擦力做功的大小

$$W_{F_f} = F_f \cdot x = 2(\sqrt{3} - 1)\mu mgR$$

对 A 和 C , 根据功能关系, 有

$$W + mgh = W_{F_f}$$

解得

$$W = (2\mu - 1)(\sqrt{3} - 1)mgR$$

不管高考物理题怎么创新, 再难的综合题, 也都必须是通过教材上最基本的性质、实验现象、物理公式来解答的. 涉及到力, 快速确定研究对象、准确进行受力分析; 涉及到加速度(含向心加速度), 马上写出牛顿第二定律表达式; 涉及到过程问题, 首先考虑动能定理(或功能关系)解答等等都是我们解答问题的最基本的思路. 总之, 遇到问题多画图, 多写相关表达式, 熟练掌握最基本的规律、方法是取得高分的基础.