

高中力学滑块模型解题技巧

李祖娟

(四川师范大学物理与电子工程学院 四川 成都 610101)

(收稿日期:2016-09-12)

摘要:滑块模型作为高中物理中的经典模型,具有一定的综合性、灵活性,是高中力学难点问题之一.笔者认为解决这类问题可从以下几点入手:观察滑块模型两物体受力特点,从系统相对静止的最大加速度入手,判断是否相对滑动;抓住两者速度相等时,往往是摩擦力突变、物体运动状态改变的临界点;逆向思维从两物体间摩擦力的几种可能性入手,分析物体相对运动情况的可能性;遇到连接体问题,多注意运用整体法.对此结合几道高考题详细说明.

关键词:滑块模型 解题技巧 力学

滑块模型是高中力学典型模型,综合性大、灵活性强,对学生动力学分析能力要求极高.面对此类问题学生往往搞不清楚两物体间的摩擦力情况与运动情况:两物体间摩擦力情况到底是静摩擦还是动摩擦,方向、大小如何,会不会突变,何时突变,怎样突变;两物体是相对静止还是相对滑动,何时相对滑动,相对滑动时谁前谁后;这些问题的困惑造成学生面对滑块模型不知如何下手分析.针对这种情况,教师可尝试引导学生从以下3个方面入手,巧妙化解此类问题的困难.

1 从系统相对静止最大加速度入手

观察两物体受力特点,从系统相对静止最大加速度入手,判断是否相对滑动.

【例1】(2014年高考江苏卷第8题)如图1所示, A 和 B 两物块的质量分别为 $2m$ 和 m , 静止叠放在水平地面上. A 和 B 间的动摩擦因数为 μ , B 与地面间的动摩擦因数为 $\frac{1}{2}\mu$. 最大静摩擦力等于滑动摩擦力,重力加速度为 g . 现对 A 施加一水平拉力 F , 则 ()

- A. 当 $F < 2\mu mg$ 时, A 和 B 都相对地面静止
- B. 当 $F = \frac{5}{2}\mu mg$ 时, A 的加速度为 $\frac{1}{3}\mu g$
- C. 当 $F > 3\mu mg$ 时, A 相对 B 滑动
- D. 无论 F 为何值, B 的加速度不会超过 $\frac{1}{2}\mu g$

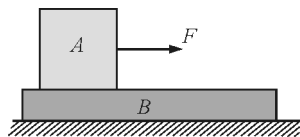


图1 例1题图

解析:

首先分析 A 与 B 物体受力特点:如图2所示,不管 A 与 B 物体之间如何运动, A 物体水平方向上受到向右力 F 和 B 对其向左的摩擦力 f'_1 , B 物体水平方向上受到 A 对其向右的摩擦力 f_1 和地面对其向左的摩擦力 f_2 ; 其中 A 物体向右运动的动力是力 F , 随着力 F 逐渐增大, A 的加速度也可以一直增加. B 物体向右运动的动力是 A 对其向右的摩擦力 f_1 , 而 f_1 最大值为 A 与 B 间最大静摩擦力, 近似为滑动摩擦力 $2\mu mg$. 因此可知 A 物体加速度可一直增加, 而 B 物体由于其动力 f_1 , 有最大值, 加速度不能跟着 A 一起一直增大.

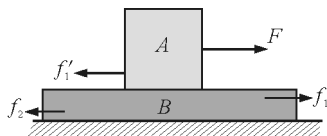


图2 例1物块受力分析

由牛顿第二定律得 $ma_{B\max} = 2\mu mg - \frac{3}{2}\mu mg$,

可知 B 物体运动的最大加速度

$$a_{B\max} = \frac{1}{2}\mu g$$

当 A 加速度大于 $\frac{1}{2}\mu g$, A 和 B 将相对滑动, 此时外力

$$F = 3ma_{\max} + \frac{3}{2}\mu mg = 3\mu mg$$

本题从被动物体加速度最大值来寻找两者相对运动的临界值, 可快速准确判断各个选项给出的加速度值时两个物体的相对运动状态, 让解题简单明了.

2 把握两物体速度相等时的特点

两物体速度相等时, 往往是摩擦力突变、运动状态改变的临界点.

【例 2】(2013 年高考全国卷第 24 题) 一长木板在水平地面上运动, 在 $t=0$ 时刻将一相对于地面静止的物块轻放到木板上, 以后木板运动的速度-时间图像如图 3 所示. 已知物块与木板的质量相等, 物块与木板间及木板与地面间均有摩擦. 物块与木板间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 且物块始终在木板上. 取重力加速度的大小 $g=10\text{ m/s}^2$, 求:

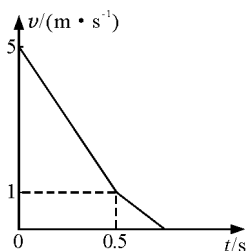


图 3 例 2 题图

- (1) 物块与木板间、木板与地面间的动摩擦因数;
- (2) 从 $t=0$ 时刻到物块与木板均停止运动时, 物块相对于木板的位移的大小.

解析: 设物体与木板、木板与地面间的动摩擦因数分别为 μ_1 和 μ_2 , 初始受力情况如图 4(a) 所示. 结合图像信息及初始条件可知, 第一个阶段木板与物体受力情况如图, 由牛顿第二定律知物体加速运动, 加速度大小 $a_{\text{物}} = \mu_1 g$; 木板减速运动, 加速度大小为

$$a_{\text{木}} = \frac{\mu_1 mg + \mu_2 2mg}{m}$$

从图 3 信息来看, 木板第一阶段减速到 1 m/s 时, 加速度出现了转折, 运动状态发生改变, 说明其受力情况出现了变化, 这个变化来源于木板与物体间摩擦力的突变, 而这个转折点就是木板与物体第一阶段速度相等时. 因为 0.5 s 时两者有共同速度 $v_{\text{共}} = 1\text{ m/s}$. 因此

$$a_{\text{木}} = \frac{5-1}{0.5}\text{ m/s}^2 = 8\text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{物}} = \frac{1}{0.5}\text{ m/s}^2 = 2\text{ m/s}^2$$

结合上述牛顿第二定律方程得

$$\mu_1 = 0.2 \quad \mu_2 = 0.3$$

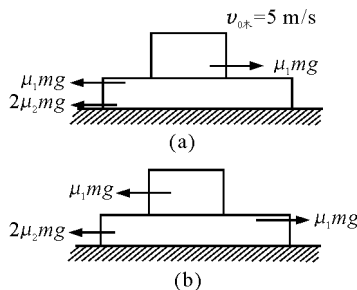


图 4

接下来, 欲解第 2 问就必须弄清楚木板与物体在共速后二者间摩擦如何突变, 运动情况怎样; 共速后两者是否会一起相对静止减速, 还是继续相对滑动的问题? 结合本文第 1 点来判断, 由于物体加速度只由木板的摩擦力提供, 其最大加速度大小为 $a_{\text{物 max}} = \mu_1 g = 2\text{ m/s}^2$, 若共速后一起相对静止匀减, 其加速度大小 $a_{\text{共}} = \mu_2 g = 3\text{ m/s}^2$, 明显物体达不到这个加速度, 因此, 0.5 s 后两者仍然相对滑动, 它们之间摩擦力仍是滑动摩擦; 由于木板加速度大小发生突变, 说明二者之间滑动摩擦力反向, 如图 4(b) 所示. 第二阶段木板与物体相对滑动, 但都做减速运动, 加速度可由牛顿第二定律求出, 因此第 2 小问迎刃而解.

若不清楚转折点速度 1 m/s 为二者共同速度及判断共速后是否相对静止(滑动)的方法, 学生很难清晰快速解出此题.

3 逆向思维连接体问题

逆向思维从两物体间摩擦力的几种可能性入手, 分析物体运动情况的可能性.

【例 3】(2014 年高考四川卷第 7 题) 如图 5 所示, 水平传送带以速度 v_1 匀速运动, 小物体 P 和 Q 由通过定滑轮且不可伸长的轻绳相连, $t=0$ 时刻 P 在传送带左端具有速度 v_2 , P 与定滑轮间的绳水平, $t=t_0$ 时刻 P 离开传送带. 不计定滑轮质量和摩擦, 绳足够长. 正确描述小物体 P 速度随时间变化的图像可能是()

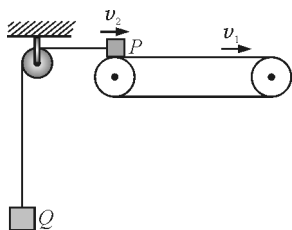


图5 例3题图

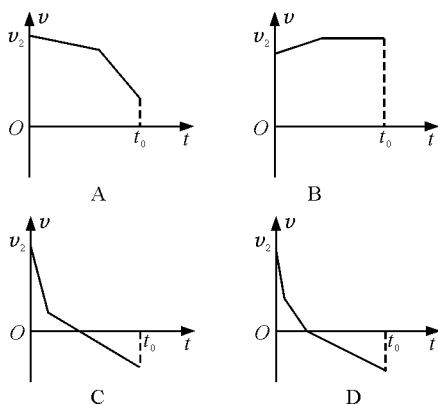


图6 例3选项

解析:本题是传送带情境下的滑块模型,又牵涉到连接体问题.单独分析滑块 P 的运动情况需要考虑 v_1 与 v_2 的大小关系、物体 P 受到传送带最大静摩擦力与绳拉力的大小问题,比较复杂.而 P 和 Q 作为连接体,加速度与速度的大小相等,可作为整体分析,进而将模型简化,不用考虑绳间拉力,因此本题可简化为以下模型如图7(a)所示.

在此模型下,要分析 P 和 Q 整体运动情况,仍需要考虑 v_1 与 v_2 的大小关系、物体 P 受到传送带最大静摩擦力与 Q 重力大小问题,进行分类讨论分析,较繁琐.我们不妨从 P 与传送带间摩擦力的几种可能性入手,分析物体运动情况的可能性. P 受到传送带间摩擦力无非有静摩擦力、动摩擦力力向右、动摩擦力向左,分别如图7(b)、(c)、(d)所示.

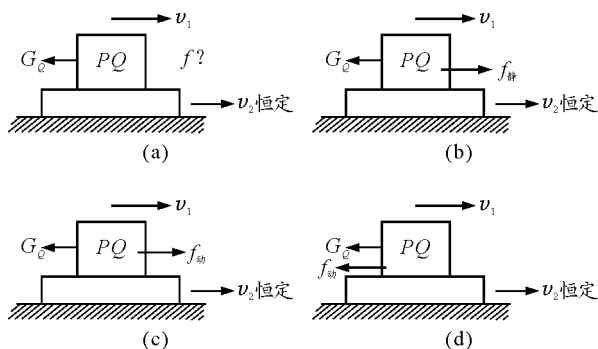


图7 例3两物体受力分析的简化模型

以向右为正方向, P 和 Q 整体加速度对应也只有3种情况:

$$\text{由图 7(b)} \quad a_b = 0$$

$$\text{由图 7(c)} \quad a_c = \frac{\mu m_P g - m_Q g}{m_P + m_Q}$$

$$\text{由图 7(d)} \quad a_d = -\frac{\mu m_P g + m_Q g}{m_P + m_Q}$$

且 $a_c < a_d$,因此排除选项D.

其中图7(b)对应情况 $v_1 = v_2$ 且 $f_{\text{静max}} > G_Q$,运动情况为匀速运动;图7(c)和图7(d)分别对应 $v_1 < v_2$, $v_1 > v_2$ 两种情况, $f_{\text{静max}}$ 与 G_Q 大小情况不定,且图7(d)所示情况一定为减速运动.有了以上的认识基础再结合第二点状态转折点出现在两者速度相等时刻,接下来依次判断A,B,C选项将非常快速!

A项显示物体有两个加速度,前一段加速度 a_1 小于后一段加速度 a_2 ,先减速到转折点,再继续以更大的加速度减速,而转折点是 P 与传送带速度相等时刻,说明初始时刻 $v_1 > v_2$,而这对于的受力情况为图7(d),加速度为 a_d ,这是3种加速度中最大的,不可能比转折后加速度更小的情况.因此A错.同理C项,物体先减速到转折点,说明初始 $v_1 > v_2$,对应图7(d),加速度为 a_d ,与传送带速度相等后继续减速对应图7(c),加速度为 a_c ,且满足 $a_c < a_d$,因此合理.此时对应 $f_{\text{静}} < G_Q$.

B项同理先加速到转折速度,再匀速,说明初始 $v_1 < v_2$,对应图7(c);物体可以加速到与传送带速度相等时,再与传送带一起匀速,对应图7(b),要求 $f_{\text{静max}} > G_Q$,是可能的.

4 结束语

从列举的3道高考题中看出滑块类型题综合性较强,往往需要同时综合以上2点或3点来考虑.学生要有一定的动力学思想、动力学分析能力以及对摩擦力的熟练掌握,才能灵活运用.教师在日常教学中除了夯实基础,还要注重培养学生发现问题、分析问题、归纳总结以及建模的能力,从习题中看到问题本质.物理题不在于多,而在于精,遇到类似以上综合性问题,要引导学生进行多方面深入剖析,才能逐渐提高学生分析处理物理问题的能力,切莫蜻蜓点水,浅尝辄止.