

“轻板模型”的特点及扩展

邬剑峰

(宁波市奉化中学 浙江 宁波 315500)

(收稿日期:2016-10-14)

在分析连接体问题时,物体间通常是通过轻绳、轻弹簧、轻杆来连接,但偶尔也会遇到两物体通过“轻板”与物体间摩擦相连接的题目,这类题目有什么特点呢?

下面我们通过一道具体的题目来分析一下“轻板模型”的特点.

【例1】一个质量可忽略不计的长轻质木板置于光滑水平地面上,木板上放质量分别为 $m_A=1\text{ kg}$ 和 $m_B=2\text{ kg}$ 的 A, B 两物块, A, B 与木板之间的动摩擦因数都为 $\mu=0.2$, 水平恒力 F 作用在 A 物块上,如图1所示(最大静摩擦力大小可看成等于滑动摩擦力大小,重力加速度 g 取 10 m/s^2). 则下列说法正确的是()

- A. 若 $F=1\text{ N}$, 则 A 和 B 都相对板静止不动
- B. 若 $F=1.5\text{ N}$, 则 A 物块所受摩擦力大小为 1.5 N
- C. 若 $F=4\text{ N}$, 则 B 物块所受摩擦力大小为 2 N
- D. 若 $F=6\text{ N}$, 则 B 物块的加速度为 1 m/s^2

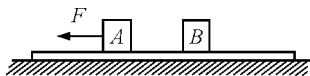


图1 例1题图

解析:求解这道题目关键是要弄清楚“轻板”在两物体运动过程中起到了什么作用? 具体一点说: 当外力发生变化时,“轻板”受力情况如何变? 其加速度和速度又如何变? 要讲清这些问题首先要理解“轻”这个字的物理意义,在物理学里“轻板”是一种理想模型,表示该板的质量可以认为是“零”,也就是说,当“轻板”所受的合力不为零时,其加速度可认为是无穷大,所以,我们可以理想地认为,“轻板”的速度瞬间可以变到与其中一个物体的速度一样大,而与该物体保持相对静止,从而进一步可以认为“轻

板”是该物体的一部分. 那么“轻板”跟哪个物体可以看成是一个整体呢?

下面我们具体来分析一下例1, A 与 B 两物体是借助与“轻板”间的摩擦力相连接的,物体 A 与“轻板”的最大静摩擦力为

$$\mu m_A g = 2\text{ N}$$

物体 B 与“轻板”的最大静摩擦力为

$$\mu m_B g = 4\text{ N}$$

物体 A 的加速度

$$a_A = \frac{F - f_A}{m_A}$$

其加速度 a_A 随 F 增大而增大,而物体 B 的加速度

$$a_B = \frac{f_B}{m_B}$$

其加速度 a_B 随 f_B 增大而增大,当 f_B 增大到最大静摩擦力时,加速度 a_B 达到最大值,那么当 F 从零开始增大时,物体 A 和 B 先保持相对静止,以相同的加速度 a 做匀加速直线运动,随着加速度 a 逐渐增大,物体 A, B 与“轻板”间的静摩擦力也开始逐渐增大,一但当物体 A 与“轻板”静摩擦力达到最大静摩擦力(2 N)时,物体 A 将与“轻板”发生相对运动,而此时“轻板”与物体 B 的静摩擦力也为 2 N ,且小于它们间的最大静摩擦力,故“轻板”与物体 B 仍保持相对静止,此后, a_A 随 F 增大而增大,而物体 B 以恒定的加速度 a_B 做匀加速直线运动,如果“轻板”足够长的话,在整个运动过程中,“轻板”始终与物体 B 保持相对静止且随 B 做匀加速直线运动.

根据上面分析可知“轻板模型”的特点是:借助“轻板”摩擦力相连接的两物体间,当他们的运动状态发生变化时,“轻板”会始终与最大静摩擦力大的那个物体保持相对静止. 故当 A 与板间摩擦力达到 2 N 时, A 与木板开始相对滑动, B 与木板仍保持相

对静止,此时 A, B 的加速度大小都为

$$a = \frac{2}{2} \text{ m/s}^2 = 1 \text{ m/s}^2$$

则拉力的大小为

$$F = f_A + m_A a = 3 \text{ N}$$

当 $F \leq 3 \text{ N}$ 时, A, B 都相对木板静止且以共同加速度运动,故而选项 A 正确,选项 B 错误;

当 $F > 3 \text{ N}$ 时, A 相对轻木板滑动, B 相对木板静止,也容易分析出选项 C, D 正确.

扩展 1: 如图 2 所示, 倾角为 α 的等腰三角形斜面固定在水平面上, 一足够长的轻质绸带跨过斜面的顶端铺放在斜面的两侧, 绸带与斜面间无摩擦. 现将质量分别为 $M, m (M > m)$ 的小物块同时轻放在斜面两侧的绸带上. 两物块与绸带间的动摩擦因数相等, 且最大静摩擦力与滑动摩擦力大小相等. 在 α 角取不同值的情况下, 下列说法正确的有 ()

- A. 两物块所受摩擦力的大小总是相等
- B. 两物块不可能同时相对绸带静止
- C. M 不可能相对绸带发生滑动
- D. m 不可能相对斜面向上滑动

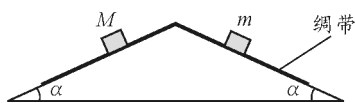


图 2 扩展 1 图

解析: 因为是轻绸带, 其特点与上面分析的轻木板的特点是一样的, 故不管 M, m 的运动状态如何, 轻绸带所受的合力一定为零, 且轻绸带一定跟静摩擦力大的那个物体始终保持相对静止, 故选项 A, C 正确, 当倾角 α 较小时, 容易分析出物体与绸带的摩擦都是静摩擦, 因为 M 的重力沿斜面的分力较大, 所以 M 带着轻绸带沿斜面向下加速, 而轻绸带拉着 m 沿斜面向上加速, 故选项 B, D 错误.

扩展 2: 倾角为 37° 的光滑斜面上固定一个槽, 劲度系数 $\kappa = 20 \text{ N/m}$, 原长 $l_0 = 0.6 \text{ m}$ 的轻弹簧下端与轻杆相连, 开始时杆在槽外的长度 $l = 0.3 \text{ m}$, 且杆可在槽内移动, 轻杆与槽间的滑动摩擦力大小为 $F_f = 6 \text{ N}$, 杆与槽之间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力. 质量 $m = 1 \text{ kg}$ 的小车从距弹簧上端 $L = 0.6 \text{ m}$ 处由静止释放沿斜面向下运动. 已知在本次碰撞过

程中轻杆已滑动. 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$.

关于小车和杆的运动情况, 下列说法正确的是 ()

- A. 杆刚要滑动时, 小车已通过的位移为 0.6 m
- B. 杆刚要滑动时, 小车已通过的位移为 0.9 m
- C. 小车先做匀加速运动, 后做加速度逐渐增大的变加速运动
- D. 小车先做匀加速运动, 后做加速度逐渐减小的变加速运动, 再做匀速直线运动

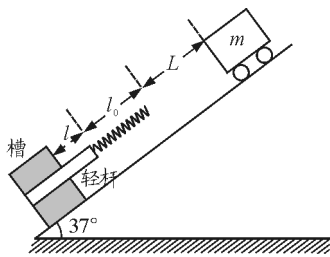


图 3 扩展 2 图

解析: 轻杆与轻木板的特性也是一样的, 通过分析也可得出以下结论.

在弹簧压缩过程中, 当弹簧的弹力和轻杆整体受到的静摩擦力相等的时候, 轻杆开始滑动, 此时由平衡得弹簧压缩量公式为

$$F_f = \kappa \Delta x$$

$$6 = 20 \Delta x$$

解得

$$\Delta x = 0.3 \text{ m}$$

所以杆刚要滑动时小车已通过的位移为

$$x = \Delta x + L = (0.3 + 0.6) \text{ m} = 0.9 \text{ m}$$

故 A 错误, B 正确;

一开始小车受恒力向下做匀加速运动, 后来接触到弹簧, 合力逐渐变小, 于是做加速度逐渐变小的变加速运动, 借助轻弹簧和轻杆的作用, 当轻杆整体受到的静摩擦力和小车重力沿斜面向下的分力平衡时, 小车开始做匀速直线运动, 故 C 错误, D 正确; 故选: B, D.

从上面分析可知, 轻板(轻绸带、轻杆)的特点可理想地看成始终处于受力平衡状态, 其难理解之处是尽管它们处于受力平衡状态, 但其运动状态可以是匀速运动(或静止)状态, 也可以是匀变速直线运动状态, 根据这一特点来分析相应问题, 对应的问题就变得容易理解了.