

高中物理滑块和滑板的力学问题总结与反思

田树平

攀枝花市大河中学校 四川 攀枝花 617000

【摘要】：力学问题是高中物理的重要部分，受力分析贯穿于整个高中物理，物体运动还是静止以及怎样的运动完全取决于物体所受到的力，能量问题和做功问题也是与正确的受力分析为前提。本文通过对滑块和滑板力学问题的讨论来总结归纳处理这类问题的一般方法。

【关键词】：高中物理；受力分析；滑块问题；滑块和滑板

物理作为一门自然科学，通过对物理课堂的学习来培养学生的思维能力、思维方式、处理和研究问题能力。对物体的受力分析贯穿于整个高中物理，物理过程中涉及的思维、分析、推理等方法对学生核心素养的培养有积极作用，因此处理好物体的受力分析对研究物体的运动过程有着重要的作用。根据物体受力确定运动过程的典型问题之一——“滑块和滑板问题的处理”，不仅能考察学生的知识点的掌握情况，还能考察学生的耐性。滑块和滑板问题可以设置多个过程，分清楚每个运动过程都需要受力分析。

1 判断滑块与长木板是否有相对运动。

例 1：图 1 甲，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 $\frac{1}{2}\mu g$

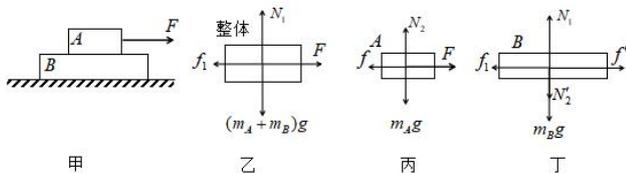


图 1

分析：首先明确力 F 作用 A 物体上，则使物体 B 的发生相对运动趋势或相对运动的动力来源是 A 对 B 的摩擦力，由

于 A 对 B 摩擦力大小的限制，决定了物体 B 能够产生的最大加速度，①当地面粗糙，则需要判断使 B 运动的力（A 对 B 的摩擦力）与地面的最大静摩擦力比较。对物体 A、B 的受力分析分别如图 1 丙和丁，其中 f_1 、 f 和 f' 分别表示地面对 B 的摩擦力、B 对 A 的摩擦力和 A 对 B 的摩擦力。对物体 B 由牛顿第二定律可知 $f' - f_1 = m_B a$ ，当加速度最大时

$$a_{\max} = \frac{f'_{\max} - f_1}{m_B}$$

二定律得物体 AB 发生相对滑动临界条件为

$$F = (m_A + m_B) \frac{f'_{\max} - f_1}{m_B}$$

$$F > (m_A + m_B) \frac{f'_{\max} - f_1}{m_B} \text{ 时物体 A、B 将发生相对滑动}$$

且都相对于地面以各自的不同的加速度做加速运动；当

$$f_1 < F < (m_A + m_B) \frac{f'_{\max} - f_1}{m_B} \text{ 时，物体 A、B 相对静止但相对地面运动；}$$

当 $F < f_1$ 时物体 A、B 均相对地静止。②当地面是光滑时，无论多么小的力都可以使物体 B 相对地做加速运动，但物体 A、B 发生相对滑动的临界条件只需上述临界条件

$$F = (m_A + m_B) \frac{f'_{\max} - f_1}{m_B} \text{ 中，} f_1 = 0 \text{ 即可。}$$

此题由于 AB 间的动摩擦因数为 μ ，则 A、B 间的最大静摩擦力为 $2\mu mg$ ，B 和地面之间的最大静摩擦力为 $\frac{3}{2}\mu mg$ ，对 A、B 整体如图 2，只要 $F > \frac{3}{2}\mu mg$ ，整体就会相对地面运动。当 A

对 B 的摩擦力为最大静摩擦力时，A、B 将要发生相对滑动，此时 B 的动力来源是 A 对 B 的摩擦力。由上述讨论可知：F

$> 3\mu mg$ 时两者会发生相对滑动; $\frac{3}{2}\mu mg < F < 3\mu mg$ 时, AB 相对静止但相对地面滑动; $F < \frac{3}{2}\mu mg$ 时, AB 相对静止也相对地面静止。故 $F = \frac{5}{2}\mu mg$ 时, 两者相对静止, 相对地面一起滑动, 加速度满足 $F - \frac{3}{2}\mu mg = 3ma$, 解得 $a = \frac{1}{3}\mu g$ 。如果 A 对 B 的最大摩擦力小于地面对 B 的最大静摩擦力时, 外力无论多大 B 都不会相对地运动, 即 $2\mu mg < 3\mu' mg$ 时, 得 $\mu' > \frac{2}{3}\mu$, μ' 为 B 与地面间的动摩擦因数。故选 BCD。

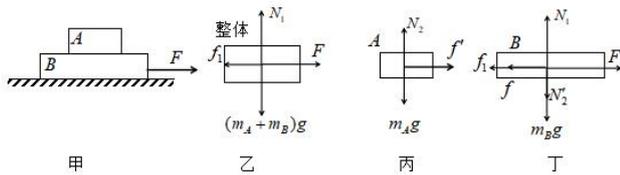


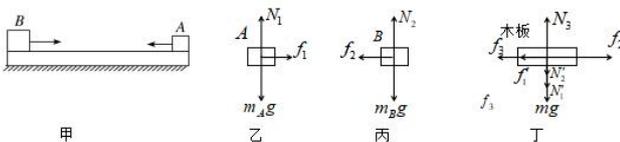
图 2

总之判断两个物体之间在外力作用下是否发生相对运动, 主要限制性条件是依靠摩擦力加速的物体, 选此物体作为研究对象, 求出在最大摩擦力下的产生的最大加速度, 再利用整体法求出最大的临界力, 当外界力大于临界力将发生相对运动, 外力小于临界力则相对静止。若外力作用在上面物体上, 两物体之间的最大摩擦力小于地面对下面物体的摩擦力, 则无论外力多大下面物体相对地始终静止。

2 滑块与滑板发生相对滑动时的处理方法

例 2: 如图 3 甲所示, 两个滑块 A 和 B 的质量分别为 $m_A = 1\text{ kg}$ 和 $m_B = 5\text{ kg}$, 放在静止于水平地面上的木板的两端, 两者与木板间的动摩擦因数均为 $\mu_1 = 0.5$; 木板的质量为 $m = 4\text{ kg}$, 与地面间的动摩擦因数为 $\mu_2 = 0.1$ 。某时刻 A、B 开始相向滑动, 初速度均为 $v_0 = 3\text{ m/s}$ 。A、B 相遇的时候, A 与木板恰好相对静止。设最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 取重力加速度大小 $g = 10\text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) B 与木板相对静止时, 木板的速度;
- (2) A、B 开始运动时, 两者之间的距离。



甲

乙

丙

丁

图 3

分析: (1) 滑块 A 和 B 在木板上滑动时, 受力分析如图 3 乙、丙所示, 木板相对地面有相对运动趋势还是相对运动, 取决于 AB 对它的摩擦力和地面对它的最大静摩擦力, 由于 $f_1 = f_1' = \mu_1 m_A g = 5\text{ N}$, $f_2 = f_2' = \mu_1 m_B g = 25\text{ N}$, 而地面对木板的最大静摩擦力 $f_{\max} = \mu_2 (m + m_A + m_B) g = 10\text{ N}$, 所以木板相对地面滑动, 其受力分析如图 3 丁所示, 利用牛顿第二定律可计算出物体 A、B 以及长木板的加速度分别为 $a_1 = 5\text{ m/s}^2, a_2 = 5\text{ m/s}^2, a_3 = 2.5\text{ m/s}^2$, 由于木板将向右运动, 所以物体 B 先和木板达到相对静止具有共同速度, 设经过时间 t 物体 B 和木板达到相对静止, 利用两物体速度相等列出方程解出时间 t 从而求得共同速度 $v_1 = 1\text{ m/s}$, 方向水平向右, 此时利用速度公式同样求出物体 A 的速度大小也为 $v_1 = 1\text{ m/s}$, 方向水平向左。共速后摩擦力可能发生变化, 还需要判断之后的运动过程会不会发生相对运动, 由于 $\mu_1 = 0.5$, 对于物体 B 摩擦力作用下能够产生的最大加速度为 $a_{2\max} = 5\text{ m/s}^2$, 而将物体 B 和长木板看成整体在地面摩擦力和物体 A 对长木板的摩擦力作用下, 合力为 $f_{\text{合}} = 15\text{ N}$, 产生的加速度大小为 $a_{2\max} = 5\text{ m/s}^2$, 所以 B 和长木板相对静止共同运动, 物体 A 向左运动最后 A、B 相遇时物体 A 恰好相对木板静止。第二问中要求物体 A、B 开始运动时的距离, 即物体 A、B 相对木板的相对距离之和, B 与木板相对运动时, A 相对板的距离 $\Delta x_1 = x_A + x_{\text{板}}$, B 相对板的距离 $\Delta x_2 = x_B - x_{\text{板}}$ 刚开始 B 与木板的。A 速度减为零, 此过程中相对距离 $\Delta x_3 = x'_A + x'_{\text{板}}$; 之后在木板摩擦力带动作用下又开始加速运动, 而 B 和长木板一直减速运动, 最后 A 相对长木板也静止此过程中 A 与长木板相对距离 $\Delta x_4 = x''_{\text{板}} - x''_A$, 最后将几个点对距离相加即为开始运动时 AB 间的距离。

例 3: 如图 4 所示, 质量为 $m = 5\text{ kg}$ 的长木板 B 放在水平地面上, 在木板的最右端放一质量也为 $m = 5\text{ kg}$ 的物块 A (可视为质点)。木板与地面间的动摩擦因数 $\mu_1 = 0.3$, 物块与木板间的动摩擦因数 $\mu_2 = 0.2$ 。现用一水平力 $F = 60\text{ N}$ 作用在木板上, 使木板由静止开始匀加速运动, 经过 $t = 1\text{ s}$, 撤去拉力, 设物块与木板间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力, $g = 10\text{ m/s}^2$, 求:

- (1) 拉力撤去时, 木板的速度 v_B ;
- (2) 要使物块不从木板上掉下, 木板的长度 L 至少为多大;
- (3) 在满足 (2) 的条件下, 物块最终将停在右端多远处。

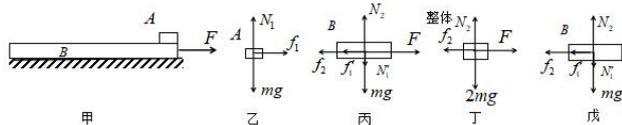


图 4

分析：①当外力 F 作用于 B 上，物体 A 靠摩擦力加速，受力分析如图 4 乙所示，利用上述方法可以判断当 $F > 50N$ 时，物体 A 、 B 将发生相对滑动。对物体 B 受力分析如图 4 丙所示，利用牛顿第二定律可分别计算出 A 、 B 的加速度，从而得到 $t=1s$ 时木板的速度 $v_B = 4m/s^2$ ， $v_A = 2m/s^2$ 。②有外力作用时 A 、 B 同向运动， A 相对长木板向后运动，故相对距离为 $\Delta x_1 = x_{B1} - x_{A1}$ 。撤去外力后物体 A 的受力分析仍然与之前相同，如图 4 乙所示，长木板的受力分析如图 5 甲所示， A 将继续加速，长木板减速运动，某时刻速度达到相等，此过程中相对距离 $\Delta x_2 = x_{B2} - x_{A2}$ ；速度相等时长木板受到地面摩擦力作用减速，因此物体 A 相对长木板 B 有向前运动或者运动趋势，对 A 的受力分析如图 5 乙图所示，长木板的受力分析如图 5 丙所示，由牛顿第二定律可分别计算出 A 、 B 的加速度分别为 $a_{A1} = 2m/s^2$ ， $a_{B1} = 4m/s^2$ ，故长木板先 B 速度先减速停下， A 先相对长木板将向右做减速运动，最

后停在长木板上。所以要使物块不从木板上掉下，木板的长度 L 至少为 $\Delta x_1 + \Delta x_2$ 。③由第二问的分析可知，物体 A 相对长木板向右滑动，相对距离为 $\Delta x_3 = x_{A3} - x_{B3}$ ，故物块最终将停在右端的距离为 $x = \Delta x_1 + \Delta x_2 - \Delta x_3$ 。

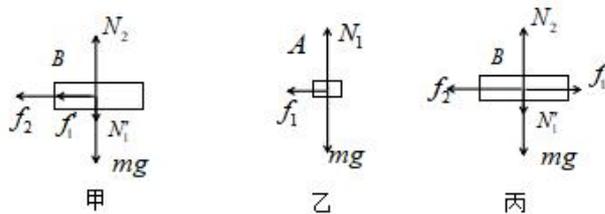


图 5

综上所述：滑块和滑板的力学问题的主要核心问题是对各个物体进行受力分析，判断能否发生相对运动，若发生相对运动，利用牛顿第二定律求解加速度并弄清楚以后各个物体的运动情况，两者达到共同速度时摩擦力可能发生变化，因此共速时需要再次分别对滑块和滑板受力分析，根据受力判断后续运动是相对静止还是相对滑动。当发生相对运动时：

$$x_{\text{相}} = |x_{\text{块}} - x_{\text{板}}|; \text{两者相对地反向向运动, } x_{\text{相}} = x_{\text{块}} + x_{\text{板}}。$$

参考文献：

- [1] 李祖娟,高中力学滑块模型解题技巧,物理通报,2017年第3期
- [2] 吴泽亮,浅析高中物理受力分析在运动学中的运用技巧,数理化解题研,2015年3月上第5期
- [3] 王丽芳,浅谈高中物理物体受力分析问题及思考,中旬利,2013年第8期