



高考力学中的传送带问题归类赏析

程 嗣

庆红

(宜昌市二中 443000) (宜昌市夷陵中学 443000)

传送带是一种常用的运输工具,它被广泛地应用于矿山、码头、货场等生产实践中,在车站、

机场等交通场所它也发挥着巨大的作用。近年来的高考物理复习和理科综合测试中的传送带问题屡见不鲜,各省市的高考模拟题也不乏其例,特别是2003年的理科综合测试中传送带压轴题的出现,更引起了人们对传送带问题的极大关注。

命题专家为何对此问题偏爱且赋分较多,我们分析研究认为有以下几个原因:其一是此题的出现符合当今高考改革的精神,充分体现了命题专家以综合见能力的命题意图,强调了“着眼综合、立足基础、突出能力”的命题原则;其二是此种类型问题源于生活、实践,对启迪学生思维和培养学生各种能力,特别是对培养学生观察问题的能力和提高学生分析问题、解决实际问题的能力以及开发学生的学习潜能起到良好的促进作用;其三是传送带问题所涉及的知识点较多,通常需要学生综合运用所学的物理知识建立正确的物理模型,甚至和数学知识有机地结合在一起去全面思考、分析和解答,因而,此类问题可以从多层面、多角度、全方位对学生进行考查,解决此类问题的关键是对传送带和物体进行动态分析和终态推断,灵活巧妙地从能量的观点和力的观点来揭示其本质、特征、过程。因此解答此类问题更需要具有素质高、能力强、方法巧等优势,这样才能在物理高考中解答得心应手、方法不落窠臼、最终稳操胜券。

力学中的传送带问题,一般归纳起来可分为三

大类——水平放置运行的传送带、倾斜放置运行的传送带、平斜交接放置运行的传送带,下面分别举例加以说明,从中领悟此类问题的精华部分和解题关键所在。

水平放置运行的传送带

[例1] 如图1所示,一平直的传送带以速度 $v = 2\text{m/s}$ 匀速运动,传送带把A处的工件运送到B处,A、B相距 $L = 10\text{m}$ 。从A处把工件无初速地放到传送带上,经时间 $t = 6\text{s}$ 能运送到B处,欲用最短时间把工作从A处传到B处,求传送带的运行速度至少多大?

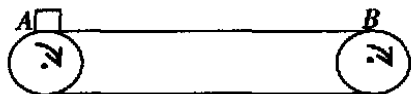


图 1

分析和解答:此题应先分析工件在 $t = 6\text{s}$ 内是任何种运动,然后作出判断,进而用数学知识来加以处理,使之得出传送带的运行速度至少多大?

由题意可知 $L/t > v/2$,所以工件在 6s 内先匀加速运动,后匀速运动,故有

$$s_1 = \frac{v}{2}t_1 \quad (1) \quad s_2 = v \cdot t_2 \quad (2)$$

$$\text{由于} \quad t_1 + t_2 = t \quad (3) \quad s_1 + s_2 = L \quad (4)$$

联立求解(1)~(4)得

$$t_1 = 2\text{s}; \quad a = v/t_1 = 1\text{m/s}^2 \quad (5)$$

若要工件最短时间传送到B处,工件加速度仍为 a ,设传送带速度为 v ,工件先加速后匀速,同上

$$L = \frac{v}{2}t_1 + vt_2 \quad (6)$$

$$\text{又} \quad \therefore t_1 = v/a \quad (7)$$

自学,教师还要引导学生通过电子阅览室提高学生的阅读能力和分析问题、解决问题的能力。随着大学时间的推进、年级的增高,要使课堂学习时间逐渐减少而自学时间不断增加。有目的地培养学生的自学能力,是提高学生自学能力的有效方法。根据高职《物理学》的教学要求,恰当安排大学生的自学时

间,以锻炼、提高学生的自学能力。

总之,学生进入大学后,教师首先要引导学生进行自我调节,充分了解、认识、分析、适应大学学习方法、方式、特点等问题,根据自己的智力水平、知识基础选择适合自己的学习方法。教师在“衔接期”的教学要控制难度、放慢进度、降低教学要求,特别注意

循序渐进的原则, 给学生留一段接受新知识、适应新

$$t_2 = t - t_1 \quad (8)$$

联立求解(6)~(8)得

$$L = \frac{v^2}{2a} + v \left(t - \frac{v}{a} \right) \quad (9)$$

将(9)式化简得

$$t = \frac{L}{v} + \frac{v}{2a} \quad (10)$$

从(10)式看出 $\frac{L}{v} \times \frac{v}{2a} = \frac{L}{2a} = \text{常量}$

故当 $L/v = v/2a$ 即 $v = \sqrt{2aL}$ 时, 其 t 有最小值。

因而 $v = \sqrt{2aL} = 4.47 \text{ m/s}$ 。

通过解答可知工件一直加速到 B 所用时间最短。

评析: 此题先从工件由匀加速直线运动直至匀速与传送带保持相对静止, 从而求出加速度, 再由数学知识求得传送带的速度为何值时, 其工件由 A 到 B 的时间最短, 这正是解题的突破口和关键, 这是一道立意较新的运动学考题, 也是一道典型的数理有机结合的物理题, 真正达到了考查学生能力的目的。

[例 2] 如图 2 所示为车站使用的水平传送带的模型。已知它的水平传送带的长度 $L = 8 \text{ m}$, 传送皮带轮的半径均为 $r = 0.2 \text{ m}$, 传送带的上部距离地面 $h = 0.45 \text{ m}$, 现有一个旅行包以 $v_0 = 10 \text{ m/s}$ 的初速度水平地滑上传送带的 A 端, 已知它与皮带之间的动摩擦因数 $\mu = 0.6$, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 视旅行包为质点。设皮带轮顺时针匀速转动, 当转动的角速度为 ω 时, 旅行包从 B 端脱落后落地点距 B 端的水平距离为 s , 若皮带轮以不同的角速度 ω 重复上述动作。可得到一组对应的 ω 值与 s 值, 试在给定的坐标上正确地画出 $s - \omega$ 的关系图线。

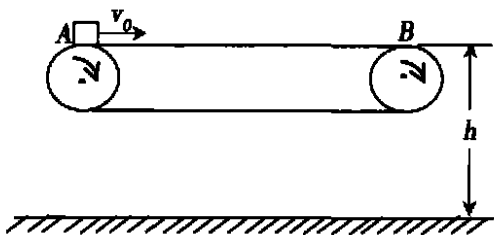


图 2

分析和解答: 此题是一道运动学、动力学、图像相结合的考题, 中间还涉及到需用临界速度加以讨论, 只有识别隐含在物理过程中的临界状态, 才能从整体上把握问题的实质。

环境的过程。

解决图像问题, 一般是从两个方面去考虑。一方面是通过定性分析, 以确定图像的大致走向; 另一方面是通过寻找应变量与自变量之间的函数关系以准确求得图像。由于本题皮带轮以不同的角速度运转, 因而, 应需先分类加以讨论。

(1) 当 $\omega = 0$ 时, 即皮带轮不转时, 旅行包在传送带上将在滑动摩擦力作用下匀减速运动, 其加速度可由牛顿第二定律求得, $\mu mg = ma$ 即 $a = \mu g = 6 \text{ m/s}^2$ 。

滑至 B 端的速度 $v_B = \sqrt{v_0^2 - 2aL} = 2 \text{ m/s}$ 。旅行包在传送带滑出 B 后做平抛运动, 落到地面的时间为

$$t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2 \times 0.45/10} \text{ s} = 0.3 \text{ s}$$

$$\text{水平距离 } s = v_B \cdot t = 0.6 \text{ m}$$

(2) 当 ω 值逐渐增大, 传送带的传动速度也将逐渐增大, 但可以判定, 只要传送带的传动速度 $v < v_B$, 即 ω 值满足条件 $v_B > \omega \cdot r$ 即 $\omega < \frac{v_B}{r} = 10 \text{ rad/s}$

旅行包在传送带上就始终做匀减速运动, 水平距离 s 保持不变。

(3) 当 ω 值继续增大至 $\omega > 10 \text{ rad/s}$ 时, 传送带的传动速度 v 将大于 v_B , 旅行包在传送带上先作匀减速运动, 直至其速度与传动速度 v 相等; 之后将以传动速度 v 作匀速运动, 则水平距离为

$$s = vt = \omega r t = \omega \times 0.2 \times 0.3 \quad \text{即 } s \propto \omega$$

图像上反映出来的是一条通过原点的直线。但随着 ω 值不断增大, 情况又怎样, 因而, 我们还得进一步讨论。

(4) 显然, 当 ω 值不断增大, 至传送带的传动速度 v 大于旅行包的初速度 $v_0 = 10 \text{ m/s}$ 时, 旅行包将先作匀加速运动, 直至其速度等于传送带速度 v , 之后将以传送带速度 v 作匀速运动。

则水平距离仍为 $s = vt = \omega r t = \omega \times 0.2 \times 0.3 = 0.06\omega$ 。图像上反映出来的仍是一条通过原点的直线。

(5) 当皮带的传动速度达到或大于某一值时, 旅行包在皮带上将一直作匀加速运动, 这种情况下旅行包到达 B 端的速度为所有可能值中的最大值, 其水平距离亦将达到最大值。

设旅行包一直加速到 B 端的最大速度为 v_m , 显然 v_m 为传送带运行的一个临界速度。

$$\text{由 } v_m^2 = v_0^2 + 2aL \quad \text{得 } v_m = 14 \text{ m/s}$$

这个临界速度所对应的皮带轮的角速度为

$$\omega = \frac{v_m}{r} = 70 \text{ rad/s}$$

即为皮带轮的转动角速度等于或大于 70 rad/s 时旅行包到达 B 端的速度总等于 $v_m = 14 \text{ m/s}$, 这时它从 B 端滑出作平抛运动的水平距离为最大, 均为

$$s_m = v_m \cdot t = 4.2 \text{ m}$$

综上所述, s 与 ω 的关系要分为以下三种情形:

- ① 当 $0 < \omega < 10 \text{ rad/s}$ 时, $s = 0.6 \text{ m}$, 是一定值;
- ② 当 $10 \text{ rad/s} \leq \omega < 70 \text{ rad/s}$ 时, $s = 0.06\omega$, 图线上反映出来的是一条过原点的直线;
- ③ 当 $\omega \geq 70 \text{ rad/s}$ 时, $s_m = 4.2 \text{ m}$, 又是一定值。

由上分析和解答, 我们不难看出 $s-\omega$ 图如图 3 所示。

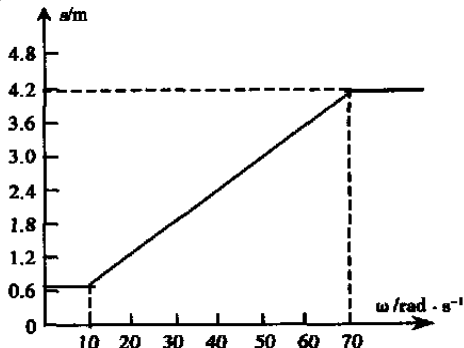


图 3

评析: 此题结合传送带这种运输工具来考查学生掌握牛顿定律和运动学的基本规律的应用情况, 解答此题的关键是要求学生通过分析要分多种情况来加以讨论, 因此分析物理过程, 建立清晰的物理情景尤为重要。

[例 3] 如图 4 所示, 水平传送带 AB 长 $L = 8.3 \text{ m}$, 质量为 $M = 1 \text{ kg}$ 的木块随传送带一起以 $v_1 = 2 \text{ m/s}$ 的速度向左匀速运动(传送带的传送速度恒定), 木块与传送带间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$ 。当木块运动至最左端 A 点时, 一颗质量为 $m = 20 \text{ g}$ 的子弹以 $v_0 = 300 \text{ m/s}$ 水平向右的速度正对射入木块并穿出, 穿出速度 $v = 50 \text{ m/s}$, 以后每隔 1 s 就有一颗子弹射中木块, 设子弹射穿木块的时间极短, 且每次

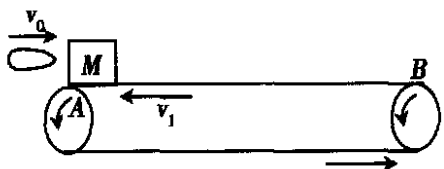


图 4

射入点各不相同, g 取 10 m/s^2 。求:

- (1) 第一颗子弹射入木块并穿出时, 木块速度多大?
- (2) 在被第二颗子弹击中前, 木块向右运动离 A 点的最大距离?
- (3) 木块在传送带上最多能被多少颗子弹击中?

分析和解答: (1) 设子弹第一次射穿木块后的速度为 v' (方向向右), 则在第一次射穿木块的过程中, 对木块和子弹整体由动量守恒定律(取向右方向为正)得:

$$mv_0 - Mv_1 = mv + Mv'$$

可解得 $v' = 3 \text{ m/s}$, 其方向应向右。

(2) 木块向右滑动中加速度大小为 $a = \mu g = 5 \text{ m/s}^2$, 以速度 $v' = 3 \text{ m/s}$ 向右滑行速度减为零时, 所用时间为

$$t_1 = v' / a = 0.6 \text{ s}$$

显然这之前第二颗子弹仍未射出, 所以木块向右运动离 A 点的最大距离

$$s_m = v'^2 / 2a = 0.9 \text{ m}$$

(3) 木块向右运动到离 A 点的最大距离之后, 经 0.4 s 木块向左作匀加速直线运动, 并获得速度 v'' , $v'' = a \times 0.4 = 2 \text{ m/s}$, 即恰好在与皮带速度相等时第二颗子弹将要射入。注意到这一过程中(即第一个 1 s 内)木块离 A 点 $s_1 = s_m - (1/2) \times a \times 0.4^2 = 0.5 \text{ m}$ 。第二次射入一颗子弹使得木块运动的情况与第一次运动的情况完全相同, 即在每一秒的时间里, 有一颗子弹击中木块, 使木块向右运动 0.9 m , 又向左移动 $s' = (1/2) \times a \times 0.4^2 = 0.4 \text{ m}$, 每一次木块向右离开 A 点的距离是 0.5 m 。显然, 第 16 颗子弹恰击中木块时, 木块离 A 端的距离是 $s_2 = 15 \times 0.5 \text{ m} = 7.5 \text{ m}$, 第 16 颗子弹击中木块后, 木块再向右运动 $L - s_2 = 8.3 \text{ m} - 7.5 \text{ m} = 0.8 \text{ m} < 0.9 \text{ m}$, 木块就从右端 B 滑出。

由此推算, 则经过 16 次子弹射击后木块应将从 B 点滑出。

评析: 子弹打木块是常见的物理模型。但把子弹打木块的模型搬到皮带上进行, 增加了趣味性, 也增加了题目的难度。此题考查学生掌握动量守恒定律、牛顿运动定律和运动学的基本规律的应用情况, 解答此题的关键是要求学生分析物理过程, 建立清晰的物理情景, 并注意到过程之间的内在联系, 弄清过程之间的重复性和周期性。

倾斜放置运行的传送带

[例 4] 如图 5 所示, 传送带与地面倾角 $\theta = 37^\circ$, 从 A 到 B 长度为 16m , 传送带以 $v = 10\text{m/s}$ 的速率逆时针转动。在传送带上端 A 无初速地放一个质量为 $m = 0.5\text{kg}$ 的物体, 它与传送带之间的动摩擦因数为 $\mu = 0.5$ 。求物体从 A 运动到 B 所需时间是多少? ($\sin 37^\circ = 0.6$)

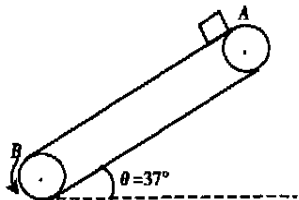


图 5

分析和解答: 物体放到传送带上后, 开始阶段, 由于传送带的速度大于物体的速度。

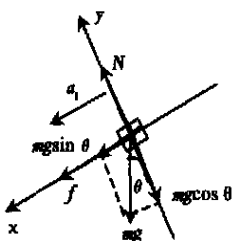


图 6

传送带给物体一沿平行传送带向下的滑动摩擦力, 物体受力情况如图 6 所示。物体由静止加速, 由牛顿第二定律 $\sum F = ma$ 可知

$$\sum F_x = mg \sin \theta + f = ma_1 \quad (1)$$

$$\sum F_y = N - mg \cos \theta = 0 \quad (2)$$

$$f = \mu N \quad (3)$$

联立 (1)(2)(3) 得

$$a_1 = g(\sin \theta + \mu \cos \theta) \quad (4)$$

代入已知条件可得 $a_1 = 10\text{m/s}^2$

物体加速至与传送带速度相等所需的时间

$$v = a_1 t_1 \quad \text{则 } t_1 = v/a_1 = (10/10)\text{s} = 1\text{s}$$

$$\text{再由 } s = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 1^2 \text{m} = 5\text{m}$$

由于 $\mu < \tan \theta$, 物体在重力作用下将继续作加速运动, 当物体速度大于传送带速度时, 传送带给物体一沿平行传送带向上的滑动摩擦力。此时物体受力情况如图 7 所示。

再由牛顿第二定律 $\sum F = ma$

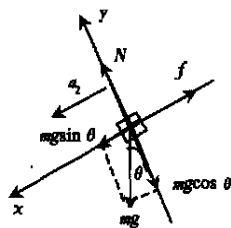


图 7

$$\sum F_x = mg \sin \theta - f = ma_2 \quad (5)$$

$$\sum F_y = N - mg \cos \theta = 0 \quad (6)$$

$$f = \mu N \quad (7)$$

联立 (5)(6)(7) 式得 $a_2 = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) = 2\text{m/s}^2$

设后一阶段物体滑至底端所用时间为 t_2 , 由运动学公式可知

$$L - s = vt_2 + \left(\frac{1}{2}\right) a_2 t_2^2,$$

$$16 - 5 = 10t_2 + \frac{1}{2} \times 2 \times t_2^2$$

$$\text{即 } 11 = 10t_2 + t_2^2$$

解得 $t_2 = 1\text{s}$ ($t_2 = -11\text{s}$ 舍去)

所以物体由 A 到 B 的时间 $t = t_1 + t_2 = 2\text{s}$ 。

评析: 此题主要用来考查学生分析物理过程和物体的受力分析, 运用牛顿第二定律和运动学基本规律来解题的能力, 这是一道较好的广为采用的经典倾斜放置运行的传送带例题。

[例 5] 1998 年上海高考题, 某商场安装了一台倾角为 $\theta = 30^\circ$ 的自动扶梯, 该扶梯在电压为 $U = 380\text{V}$ 的电动机带动下以 $v = 0.4\text{m/s}$ 的恒定速率向斜上方移动, 电动机的最大输出功率 $P = 4.9\text{kW}$ 。不载人时测得电动机中的电流为 $I = 5\text{A}$, 若载人时扶梯的移动速率和不载人时相同, 则这台自动扶梯可同时乘载的最多人数为多少(设人的平均质量 $m = 60\text{kg}$, $g = 10\text{m/s}^2$)

分析和解答: 这台自动扶梯最多可同时载人数的意义是电梯仍能以 $v = 0.4\text{m/s}$ 的恒定速率运动。依题意应有电动机以最大输出功率工作, 且电动机做功有两层含义: 一是电梯不载人时自动上升; 二是对人做功。由能量转化守恒应有: $P_{\text{总}} = P_{\text{人}} + P_{\text{出}}$

设乘载人数最多为 n , 则有 $P = IU + nmg \sin \theta \cdot v$

$$n = \frac{P - IU}{mg \sin \theta v} = \frac{4.9 \times 10^3 - 5 \times 380}{60 \times 10 \times 0.5 \times 0.4} \quad \text{即 } n = 25 \text{人}$$

评析: 此题主要用来考查学生对能量守恒的掌握情况和对题目所给信息的理解。此题要注意的问

题是不管扶梯上是否有人,只要扶梯在运动,就要消耗电功。题中所给空载电流本质就是给定扶梯在运行中要消耗的电能值。另外,扶梯对人做功的过程本身是克服重力做功的过程,其重力功率的意义是 $P_A = mng \sin \theta \cdot v$, 此题从功能角度提示了传送带的问题,的确是一道结合生活实际的好例题,给人学以至用的启示。

平斜交接放置运行的传送带

这种类型一般可分为二种,一是传送带上仅有一个物体运动,二是传送带上有多个物体运动,解题思路与前面两种相仿,都是从力的观点和能量转化守恒角度去思考,挖掘题中隐含的条件和关键词句,从而找到解题突破口和切入点。

[例 6] (2003 全国理综)一传送带装置示意图 8 所示,其中传送带经过 AB 区域时是水平的,经过 BC 区域时变为圆弧形(圆弧由光滑模板形成,未画出),经过 CD 区域时是倾斜的,AB 和 CD 都与 BC 相切,现将大量的质量均为 m 的小货箱一个一个在 A 处放到传送带上,放置时初速度为零,经传送带运送到 D 处,D 和 A 的高度差为 h ,稳定工作时的传送带速度不变,CD 段上各箱等距排列,相邻两箱的距离为 L 。每个箱子在 A 处投放后,在到达 B 之前已经相对于传送带静止,且以后也不再滑动(忽略 BC 段时的微小滑动)。已知在一段相当长的时间 T 内,其运送小货箱的数目为 N ,这种装置由电动机带动,传送带与轮子间无相对滑动,不计轮轴处的摩擦,求电动机的平均输出功率 \bar{P} 。

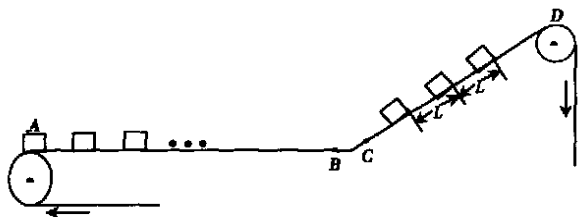


图 8

分析和解答:此题是 2003 年的高考理科综合压轴题,分值为 22 分。该题将物体的运动,功能关系等知识结合于传送带这一实际情境而融为一体,较好地考查了学生综合运用所学知识去解决物理问题的能力。

以地面为参考系(下同),设传送带的运动速度为 v_0 ,在水平段运输的过程中,小货箱先在滑动摩擦力作用下做初速度为零的匀加速运动,设这段路程为 s ,所用时间为 t ,加速度为 a ,则对小货箱有

$$s = \frac{1}{2}at^2 \quad (1)$$

$$v_0 = at \quad (2)$$

在这段时间内,传送带运动的路程为 $s_0 = v_0t$

$$(3)$$

由(1)(2)(3)式可得 $s_0 = 2s$

$$(4)$$

用 f 表示小货箱与传送带之间的摩擦力,则传送带对小货箱做功为 $W = fs = \frac{1}{2}mv_0^2$

$$(5)$$

传送带克服小货箱对它的摩擦力做功为

$$W_0 = fs_0 = 2 \times \frac{1}{2}mv_0^2 = mv_0^2 \quad (6)$$

两者之差就是克服摩擦力做功产生的热量。

$$Q = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (7)$$

可见,在小货箱加速运动过程中,小货箱获得的动能与发热量相等。 T 时间内电动机输出的功为 $W = \bar{P}T$

$$(8)$$

此功用于增加小货箱的动能,势能以及克服摩擦力生热,即

$$W = \frac{1}{2}Nmv_0^2 + Nmgh + NQ \quad (9)$$

已知相邻两小货箱的距离为 L ,所以由题意可知

$$v_0T = NL \quad (10)$$

$$\text{联立(7)~(10)得 } \bar{P} = \frac{Nm}{T} \left[\frac{N^2L^2}{T^2} + gh \right]$$

评析:此题是一道用来考查学生综合运用物理知识来分析、推理、建模的物理学科内的综合题,它较好的区分度和难度,是一道较好的高考题。通过解答,我们可以领悟到,高考试题已由过去的强调知识立意已转化成强调能力立意,形成了试题难度不大,但能力要求较高,既能为高校选拔高素质的人才,又能使中学物理教学改革步入良性循环的良好局面。

传送带问题是以真实物理现象为依据的问题,它既能训练学生的科学思维,又能联系科学、生产和生活实际,因而,这种类型问题具有生命力,当然也就是高考命题专家所关注的问题。

