

# 审视绳系连接体教学中的两个困惑

何忠燕

(江苏省梁丰高级中学 江苏 苏州 215600)

(收稿日期:2021-03-24)

**摘要:**论述了绳系连接体教学过程中学生存在的两个困扰,通过教学常规思路的进一步总结,找到了快速判断绳系连接体的速度关系规律;通过瞬时功率法证明了绳系连接体中轻绳做功特征.

**关键词:**绳系连接体 瞬时功率法 速度关系

两个或以上的物体通过轻绳连接,各自经历相同或不同的运动过程,如图1和图2所示;这是中学阶段比较常见的绳系连接体情景;于学生而言,绳系连接的物体之间力学联系较为简单,但物体之间的运动联系特别是速度大小关系,以及轻绳对每个物体做功的问题颇为困扰学生.

本文从绳系连接体的基本特点入手,一是帮助学生快速判断连接体间的速度关系;二是通过证明导出轻绳对两个物体做功的特征,寻求找到解决绳系连接体中能量关系的方法.

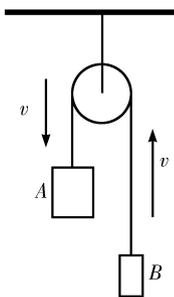


图1 速度大小相等的连接体

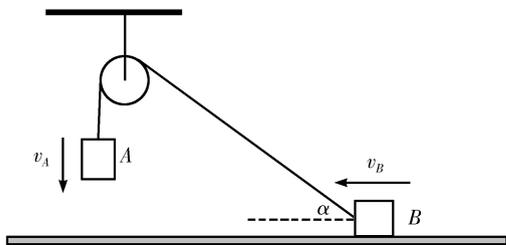


图2 速度大小不等的连接体

## 1 绳系连接体的动力学特征

轻绳是一种理想模型,它的质量和形变均可以

忽略,因此绳系连接体中绳子的总长度不会发生变化;因此轻绳一端伸长的长度必然与另一端收缩的长度相同,轻绳一端伸长的速度也必然与另一端收缩的速度相同,即  $v_{伸} = v_{收}$ . 在轻绳与接触的介质之间摩擦可以忽略的情况下,轻绳对和它连接的两个物体施加的弹力大小相等,且弹力与连接的轻绳在同一直线上.

## 2 绳系连接的物体间的速度联系

学习过运动的合成与分解,经常需要讨论绳系连接体之间的速度关系;对于初学者而言,应用运动分解解决具体问题一般会有以下几个困惑:

**问题 1:**连接体中物体的速度要不要分解?

**问题 2:**若要分解,将什么速度分解?

**问题 3:**分解速度时沿哪两个方向?

解决以上3个问题,首先要明确探讨的目标——寻找连接物体之间速度的大小关系.

对于问题1,只要判断两个物体的速度大小不相等,就需要将连接体中某个(或两个)物体的速度分解,至于如何判断两个物体的速度大小相等,高中阶段通常的做法,取一段极短的时间  $\Delta t$ ,在情境图中找出该时间内两个物体各自的起始位置,比较它们的路程  $\Delta s$  是否相等,若路程相同,根据瞬时速度的定义,两物体的速率必定相等.

图1中A上升的路程等于B下落的路程,所以  $v_A = v_B$ . 图2中,取连接体运动的一段很短时间内,当两物体各自到达虚线位置如图3所示,物体B的

路程为图中的  $\Delta s_B$ , 过程中连接物体 B 的轻绳由  $L_1$  变成  $L_2$ ; 物体 A 的路程等于定滑轮左边轻绳伸长的长度, 也等于定滑轮右侧轻绳缩短的长度. 在连接 B 的轻绳  $L_1$  上取一段长度等于  $L_2$ ,  $L_1$  上余下的那部分长度就是定滑轮右侧轻绳收缩的长度, 即为物体 A 的路程, 由三角形知识(大边对大角)可知,  $\Delta s_B$  大于  $\Delta s_A$ ; 所以  $v_A$  的大小不等于  $v_B$ .

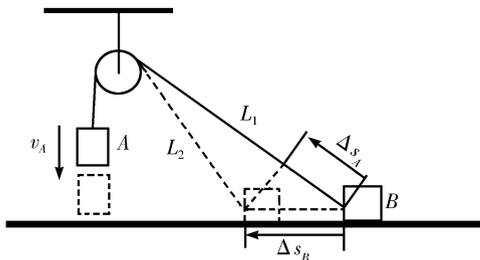


图3 相等时间内两物经过的路程比较

对于问题 2, 只有当被连接的两个物体速度大小不相等, 才需要考虑将连接体中物体的速度分解. 由于连接的介质轻绳(或轻杆)也在运动, 刚接触运动分解的高中学生容易混淆合运动是指物体的运动还是连接介质的运动, 教师只需强调合运动的概念——物体实际发生的运动(不是连接介质的运动), 所以物体的实际运动速度才是合速度, 才是需要分解的对象.

在具体的问题中, 绳系连接体的两个物体的速度是不是都要分解, 要看物体的运动对连接它的轻绳产生了几个效果, 如果效果单一, 则该物体的速度不需要分解. 图 2 中, 物体 A 的运动仅仅使连接它的轻绳伸长, 运动产生的效果唯一, 因此物体 A 的速度不需要分解; 而物体 B 的运动不仅使连接它的轻绳收缩(由长度  $L_1$  变为  $L_2$ ), 同时还使轻绳与竖直方向的夹角减小(轻绳绕与定滑轮的接触点转动), 因此物体 B 的速度需要分解.

对于问题 3, 绳系连接体中速度分解是按照物体使轻绳产生的实际效果进行的, 即将物体的速度沿轻绳方向(使轻绳伸长或收缩的速度)和垂直于轻绳方向(使轻绳转动)两个方向分解, 根据绳系连接体的运动学特征  $v_{\text{伸}} = v_{\text{收}}$ , 就能建立绳系连接体中两物体之间的速度大小关系.

图 2 中, 物体 B 运动使连接它的轻绳变短, 其速度分解如图 4 所示, 可得

$$v_{\text{收}} = v_B \cos \alpha$$

物体 A 运动仅仅使连接它的轻绳伸长,  $v_{\text{伸}} = v_A$ , 故

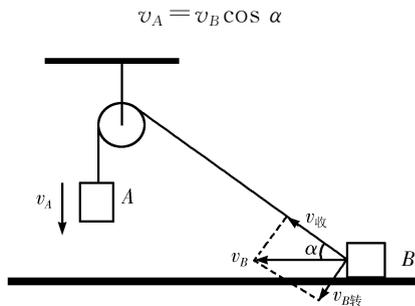


图4 速度按实际效果分解

以上是运动合成与分解在教学中的一种常规思路. 对初学者而言, 立足于轻绳的动力学特征, 剖析绳系连接体之间的速度关系有利于学生掌握运动合成与分解的基本原理, 也有利于培养学生的物理科学思维, 在新授课阶段无疑对学生大有裨益; 但若在找寻绳系连接体的速度关系习题中都采用这种分析方法, 那过程就显得有些繁琐, 因此有必要提炼出相对高效的规律.

因为绳系连接体间  $v_{\text{伸}} = v_{\text{收}}$ , 若两物体的速度不相等, 我们只需找到两个速度沿轻绳方向分量. 只有一种情况“与轻绳垂直的速度分量”为零——即物体的速度方向和连接物体轻绳平行, 此时沿轻绳方向的速度分量就等于物体的速度( $v_{\text{伸}} = v_{\text{物}}$  或  $v_{\text{收}} = v_{\text{物}}$ ). 因此找寻绳系连接体的物体速度关系, 我们可以两个简单步骤:

(1) 观察物体的速度与连接物体的轻绳是否平行; 若都平行, 则两物体的速度大小相等, 都等于轻绳的伸长或收缩速度, 若其中有物体的速度和轻绳不平行, 则将该物体的速度分解.

(2) 绳系连接体速度按照规定的范式分解: 沿轻绳方向和垂直于轻绳方向; 建立  $v_{\text{伸}} = v_{\text{收}}$  的关系即可.

下面我们就按照上面的方法分析两个案例.

图 5 中, 物体 A 的速度和连接 A 的轻绳平行, 物体 B 的速度和连接 B 的轻绳平行, 只要轻绳不松弛, A 和 B 的速度大小就始终相等.

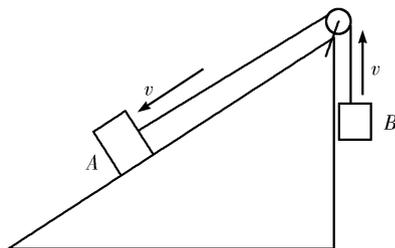


图5 两物速度等大, 拉力做功大小相等说明图

图6中,物体A的速度和连接A的轻绳不平行,物体B的速度和连接B的轻绳也不平行,因此A和B的速度均需分解,按照规定的范式,必然有

$$v_A \cos \beta = v_B \cos \alpha$$

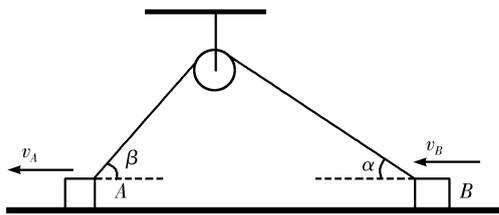


图6 两物体速度大小不等,拉力做功大小相等说明图

图7中,物体A的速度和连接A的轻绳平行,绳子收缩速度 $v_{收} = v_A$ ;物体B的速度和连接B的轻绳不平行,只需将B的速度分解

$$v_{伸} = v_B \cos \alpha$$

$$v_A = v_B \cos \alpha$$

所以

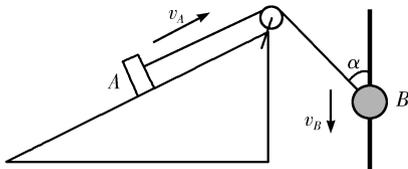


图7 系统机械能守恒说明图

### 3 绳系连接体中轻绳对两个物体做功的特征

在绳系连接体中,轻绳对两个物体的弹力可以是恒力,如图5轻绳对A和B的拉力;也可以是变力,如图6轻绳对两个物体的拉力.在这些情境中,轻绳对两个物体做的功大小有什么关系呢?

尽管在机械能守恒定律中强调,系统内如果只有重力和弹力(非突变弹力)做功,系统的机械能守恒;但教材中并未做详细的阐述,学生在涉及弹力做功的系统中应用机械能守恒定律时总是带着困惑.在这里我们先应用“瞬时功率法”证明系统内的非突变弹力(是系统的内力)对物体做功的特征.

忽略与轻绳接触的物体间的摩擦;根据轻绳的动力学特征,轻绳对和它连接的两个物体弹力大小相等.设轻绳任意时刻的弹力大小为 $F$ ,物体的速度为 $v$ ,弹力 $F$ 与速度 $v$ 之间的夹角为 $\theta$ ,弹力 $F$ 的瞬时功率 $P = Fv \cos \theta$ .

图5中,轻绳的弹力与两物体的速度均平行,弹力 $F$ 对物体A做功的瞬时功率 $P_A = -Fv$ (夹角为 $\pi$ ),“-”表示弹力 $F$ 是物体A运动的阻力,对物体

A做负功;弹力 $F$ 对物体B做功的瞬时功率 $P_B = Fv$ (夹角为零);轻绳的弹力对两个物体做功的快慢始终相同,在同一时间内,轻绳对两个物体的功 $W_A$ 和 $W_B$ 的大小必然相等,但对A做负功,因此 $W_A + W_B = 0$ .

图6中,轻绳的弹力与两物体的速度都不平行,弹力 $F$ 对物体A做功的瞬时功率 $P_A = -Fv_A \cos \beta$ ,-表示弹力 $F$ 是物体A运动的阻力,对物体A做负功;弹力 $F$ 对物体B做功的瞬时功率 $P_B = Fv_B \cos \alpha$ ;由前面的分析有 $v_A \cos \beta = v_B \cos \alpha$ ;因为轻绳的弹力对两个物体做功的快慢也始终相同,故轻绳对两个物体的功 $W_A$ 和 $W_B$ 的大小必然相等,只不过对A做负功,同样 $W_A + W_B = 0$ .

综上所述,绳系连接体中无论轻绳的弹力是恒力还是变力(绳子不能突然绷紧),轻绳对两个物体做功的代数和均为零.

在忽略一切摩擦的情况下,如果讨论类似图7的情境时,若将物体A和B视为系统,在A、B运动的过程中,根据功能关系——除重力外其他力的功等于物体机械能的改变量,可知弹力对物体A的功为 $W_A = \Delta E_A$ ,弹力对物体B的功为 $W_B = \Delta E_B$ ,将两式相加

$$W_A + W_B = \Delta E_A + \Delta E_B = 0$$

即物体A和B组成的系统机械能守恒.这就对高中物理必修教材上机械能守恒定律的论述做了一个很好的辅证.

下面再用一个案例来讨论绳系连接体的功能关系.

**【例题】**套在光滑竖直细杆上的小球B用细线绕过定滑轮与放在斜面上的物体A连接,如图8所示,已知斜面倾角为 $37^\circ$ ,A与斜面间的动摩擦因数为 $\mu$ ,定滑轮与细杆间的距离为 $L$ ;开始时施加外力使B球静止,此时连接B的轻绳水平,撤去外力后B球运动到最低点时轻绳与杆的夹角为 $37^\circ$ ,求物体A与小球B的质量之比.

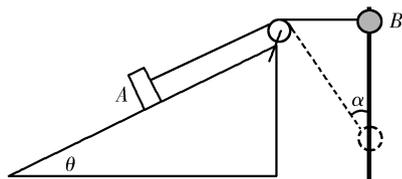


图8 案例题图

# 基于学习路径的高中物理深度学习

汤有国

(浙江省天台中学 浙江 台州 317200)

(收稿日期:2021-01-20)

**摘要:**在“学为中心”的课堂教学改革理念指引下,物理课堂教学就应该基于学生的学习路径,立足于知识和经验、思维过程、知识表征3个方面,实现教学路径的最优化,实现深度学习,从而更好地促进学生核心素养的培养。

**关键词:**核心素养 学习路径 物理教学 深度学习

## 1 学习路径和深度学习

根据认知理论,学习是一个复杂的过程,当个体在面临刺激情境时就会产生认知矛盾,通过同化与顺应的共同作用来消除矛盾,个体在这个过程中获得了一种认知满足感.因此,良好的环境或情境的创设以及科学地干预、调节,能够促进知识的积极建构、有效迁移.据此,对于学习,除了关注目标之外,还应关注学生学习的不同起点、过程和载体、环境等多方面要素,即要研究和分析学生的学习路径.笔者认为,学习路径就是在某学段,为达到一定的学习目标,教师基于认知心理学理论,根据学习起点(基础)、载体、氛围、方法等要素采取一定的教学策略,从而使形成的一系列生理和心理活动的轨迹.北师大张春莉教授认为学生已有知识和经验、学生

的思维过程、学生对知识的表征方式构成学习路径的3个方面.

深度学习和浅层学习是相对的,浅层学习表现为被动的学习状态<sup>[1]</sup>,往往偏离了学生的认知需求、原有的知识和经验以及思维过程,使得学生的学习处于低效状态,即识记和复述知识的阶段,最终的结果是表现为学生知识的表征是凌乱的、碎片化的,新旧知识出现缝隙和断层,没有形成系统性的知识结构.这既不利于知识的掌握,也不利于后续的学习和内驱力的激发,学习力的提高更是空中楼阁.根据郭元祥、何玲等教授的观点,深度学习则以浅层学习为逻辑起点,是一种深入学科本质的知识内核、由传统的符号记忆向逻辑理解和内涵认知转变的学习.这里所指的深度不是指内容的深度和难度,而是指对知识全方位、深层次的理解和体悟<sup>[2]</sup>.

**解析:**物体受力分析略,由几何关系可知, $B$ 球从初位置到最低点下降了 $\frac{4L}{3}$ ;连接 $B$ 的轻绳伸长了 $\frac{2L}{3}$ ;物体 $A$ 向上的位移也为 $\frac{2L}{3}$ ;初始时,两物体的初速度为零,当 $B$ 到最低点时 $B$ 的末速度为零,根据绳系连接体的速度关系,此时 $A$ 的末速度也为零,设轻绳对两个物体的功分别为 $W_A$ 和 $W_B$ .对小球 $B$ 应用动能定理

$$m_{BG} \cdot \frac{4L}{3} + W_B = 0$$

对物体 $A$ 应用动能定理

$$-m_{AG} \sin 37^\circ \cdot \frac{2L}{3} - \mu m_{AG} \cos 37^\circ \cdot \frac{2L}{3} + W_A = 0$$

虽然轻绳的拉力为变力,但它对两物体的功之

和为零,将两式相加,即可解得

$$\frac{m_A}{m_B} = \frac{10}{3+4\mu}$$

“多物体”组成的问题情境一直是高中阶段探究的热点,于学生而言,厘清绳系连接体的运动联系以及功能关系不仅仅有利于学生掌握此类题型的分类方法,更能培养学生物理科学思维、物理建模以及求真的精神.此外,文中对绳系连接体的两个困扰的解释也可以迁移到活杆组成的连接体上.

## 参考文献

- 1 赵金荣. 注意绳系连接体的速度关系[J]. 物理通报, 2012(3): 55~56
- 2 宋来鹏. 机械能守恒定律在轻绳连接体问题中的应用[J]. 中学物理教学参考, 2016, 45(22): 57