

# 对近年高考试题中跳高问题的思考

张



跳高、跳远是我们非常熟悉的活动,以跳高为模型的试题在近几年高考中也屡见不鲜,下面要介绍的2006年理综全国卷I第20题就是其中的代表。一质量为  $m$  的运动员从下蹲状态向上起跳经时间  $\Delta t$ , 身体伸直并刚好离开地面, 速度为  $v$ , 在此过程中, A. 地面对他的冲量为  $mv + mg \Delta t$ , 地面对他做的功为  $(1/2) mv^2$ ; B. 地面对他的冲量为  $mv + mg \Delta t$ , 地面对他做的功为零; C. 地面对他的冲量为  $mv$ , 地面对他做的功为  $(1/2) mv^2$ ; D. 地面对他的冲量为  $mv + mg \Delta t$ , 地面对他做的功为零。

此题答案为B。本题从受力、动量变化、能量变化及做功等方面全面考查了跳高问题。为了便于分析,先描述起跳过程,运动员首先屈腿下蹲,然后快速用力蹬地,经一段时间  $t$  (即加速时间)后,重心上升一段距离  $s$  (即加速距离),身体刚好伸直并离开地面,以一定速度向上运动,速度为零时达到最高点。脚在离开地面之前始终接触地面,直到身体完全伸直,才随身体上半部分离地上升。另外,随着人

体的上升,在离开地面之前,向上运动部分的质量越来越大,到刚好离开地面时,向上运动部分的质量才等于人体的质量,所以整个起跳过程是一个变质量问题。

先看这样一组模型(图1左),放在水平面上质量为  $m_1$  的物体A与劲度系数为  $k$  的弹簧上端相连,弹簧下端与质量为  $m_2$  的物体B相连,开始时物体A和物体B以及弹簧在竖直方向上保持静止,若要使物体B离开地面,求在原来基础上弹簧的最小压缩量为多少?

【解】设平衡时弹簧的压缩量为  $x_1$ , 将弹簧压缩  $x$  后释放,当物体A到达最高位置时刚好能使物体B离开地面,即对地面的压力为零,物体要离开地面

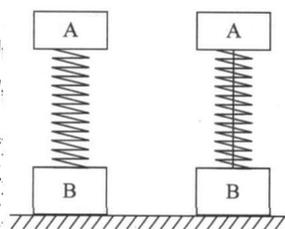


图1

$$f_1 = (\mu + v \cos \theta) f_0 / \mu \quad (1)$$

该波将被血流再次反射,此时血液变为波源,且以速度  $v \cos \theta$  向探头传播,则探头接收到的频率

$$f = \mu f_1 / (\mu - v \cos \theta) \quad (2)$$

由①②两式可得  $v = (f - f_0) \mu / [(f + f_0) \cos \theta]$ 。

## 定量取药器

在第九届“全国青少年发明创造比赛”获奖作品中,有一项“方便药水瓶”,它是在药水瓶上加一小杯型容器,该容器用两根细管与药水瓶相通,制成定量取药器(图5a),使用时把药水按图5b方式倒立,当药水停止流动时再把药水瓶倒置(图5c),指定份量的药水便盛载在容器内,取下药水瓶盖就可倒出指定份量的药水。以(图5b)方式倒立时,B为排气管,A为进液管,药液可充满容器,而药水瓶按图5c方式放置时,高出B管的液体则可由管排出,因此取药水量由B管在取药器内的插入深度确定。

## 心脏灌注显像技术

现在很多心血管专科医院都引进了一种叫作“心脏灌注显像”的检测技术,将若干毫升含放射性

锝(Tc)注射液注入动脉,40分钟后通过血液循环均匀分布在被检测者的血液中,对被检测者的心脏进行造影。心血管正常的位置是由于有放射性物质到达而有放射线射出;被堵塞的部分由于放射性物质不能到达而无放射线射出。医生根据显像情况就可判断被检测者的心脏有无病变及病变位置。由于放射性物质伤害人体,所以在人体内的滞留时间不能太长,所以其半衰期不能太长;但是因为放射性物质需要40分钟才能均匀分布于人体血液,所以其半衰期又不能太短,因此半衰期为6小时的放射性锝成为最佳选择。

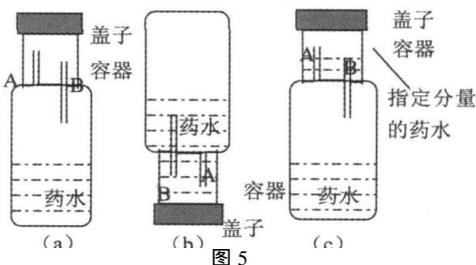


图5

(甘肃省高台县第一中学 734300)

时弹簧的拉伸量为  $x_2$ 。将弹簧压缩  $x$  后 A 所在平面作为重力势能的零势能面, 根据机械能守恒定律有  $(1/2)k(x+x_1)^2 = (1/2)kx_2^2 + m_1g(x+x_1+x_2)$ 、 $x_1 = m_1g/k$ 、 $x_2 = m_2g/k$ 。由以上三式可得  $x = \sqrt{3(m_2g)^2 + (m_1g)^2}/k$ 。由以上计算可知, 当弹簧压缩量大于  $x$  时, 物体 B 离地上升; 当等于  $x$  时, 不能离开地面, 但对地面的压力为零; 当压缩量小于  $x$  时, 物体不能离开地面且对地面的压力不为零。

上题若其他条件不变, 在物体 A 和物体 B 以及弹簧处于平衡状态时, 用不可伸长的轻绳锁定弹簧长度, 即弹簧此后只能压缩、不能拉伸(图 1 右), 将弹簧压缩一定距离  $x$  后释放, 求物体的运动情况。

【解】设平衡时弹簧压缩量为  $x_1$ , 将弹簧压缩  $x$  后释放, 仍将弹簧压缩  $x$  时 A 所在平面作为重力势能的零势能面, 根据机械能守恒定律有  $(1/2)k(x+x_1)^2 = (1/2)kx_1^2 + m_1gx_1 + (1/2)m_1v^2$ 、 $x_1 = m_1g/k$ , 由以上两式得  $v_1 = \sqrt{m_1/kx}$ 。此后物体 A 和物体 B 满足动量守恒, 则  $m_1v_1 = (m_1+m_2)v$ , 可得  $v = m_1v_1/(m_1+m_2) = \sqrt{m_1/km_1x}/(m_1+m_2)$ 。然后, 物体 A 和物体 B 及弹簧一起上升。由上式可看出, 压缩距离  $x$  越大, 物体系统离地上升的速度  $v$  越大。对比以上两种情形, 将人体起跳情况看成第二种情况比较合理。人从下蹲到完全伸直(图 2), 先把人体看成由上、下两部分组成, 上半部分包括大腿及以上部分、质量为  $m_1$ , 下半部分包括小腿和脚、质量为  $m_2$ , 人的总质量为  $m = m_1+m_2$  且假定  $m_1 \gg m_2$ , 则  $m = m_1$ , 其中大腿及以上的一部分由特殊的轻质弹性材料构成。人体的重心将和上半部分的重心重合, 从下蹲到完全伸直重心上升的距离为  $s$ 。

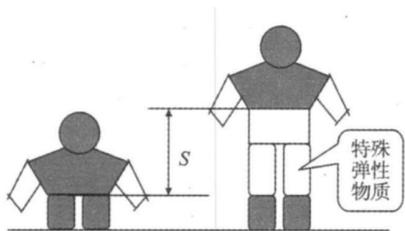


图 2

先用动量观点来分析: 假定从人蹬地到完全离开地面所用的时间为  $t$ 、脚与地面作用力大小为  $F$ (此力为脚蹬地的力)、人的质量为  $m$ , 人的重力  $mg$ , 以人的运动方向为正方向, 对人应用动量定理

有  $(F-mg)t = mv$ , 则  $v = (F-mg)t/m$ 。由此式可看出, 人蹬地的力  $F$  越大、加速时间  $t$  越大、起跳速度  $v$  也越大、上升高度也越高。

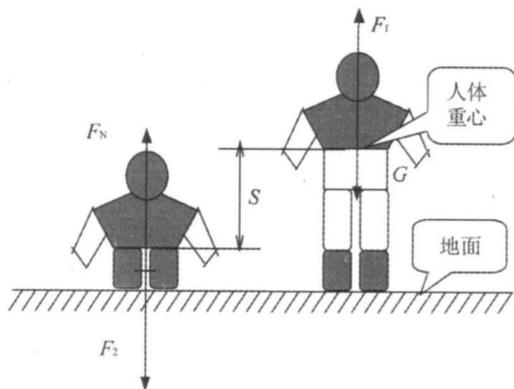


图 3

再从做功的角度分析: 人从下蹲到完全伸直的情况如图 2 所示, 人从下蹲状态蹬地到完全伸直过程中的受力情况和位移情况如图 3 所示, 人的下半部分受力如左图、人的上半部分受力如右图,  $F_1$  和  $F_2$  分别是对人体上半部分和下半部分的作用力, 其大小均为  $F$ (这个力其实是人体骨骼肌收缩产生的), 对地面表现为人蹬地的力,  $G$  为人所受的重力、 $F_N$  为地面对人的支持力、 $s$  为人体重心上升的距离, 对人体(上半部分)应用动能定理有  $(F-mg) \cdot s = (1/2)mv^2$ , 可得  $v = \sqrt{2(F-mg)s/m}$ 。由上式可得, 人蹬地的  $F$  力越大、加速距离  $s$  越大、起跳速度  $v$  也越大、上升高度就越高。

由以上两种推导得出  $F$  越大、时间  $t$  越长(或加速距离  $s$  越长)、起跳速度  $v$  将越大, 那么  $t$  和  $s$  之间有无一定关系呢? 其实  $s$  与  $t$  存在一定制约关系, 根据前面的设定, 起跳阶段可简化为匀加速上升过程,  $s = (F-mg)t^2/2m$ , 因此蹬地作用力  $F$  越大、加速距离  $s$  越大、起跳速度  $v$  将越大。

再分析人体下半部分的情况, 其受力如图 3 左图所示, 在起跳过程中受到上面特殊弹性物质向下的作用力  $F_2$ 、下半部分的重力  $m_2g$ (因较小而被忽略)、地面对它向上的支持力  $F_N$ , 却始终接触地面且保持静止, 因此  $F_N = F_2$ 。由做功的条件可知, 地面对人向上的支持力并没有做功。真正对人体做功使人向上运动的力是人体骨骼肌收缩产生的力。

下面看 2005 年理综全国卷 I 第 23 题。原地起跳时, 先屈腿下蹲, 然后突然蹬地。从开始蹬地到离地是加速过程(视为匀加速), 加速过程中重心上升的距离称为“加速距离”。离地后重心继续上升, 在

此过程中重心上升的距离称为“竖直高度”。现有下列数据:人原地上跳的“加速距离” $d_1=0.50\text{m}$ 、“竖直高度” $h_1=1.0\text{m}$ ;跳蚤原地上跳的“加速距离” $d_2=0.00080\text{m}$ 、“竖直高度” $h_2=0.10\text{m}$ ;假想人具有与跳蚤相等的起跳加速度,而“加速距离”仍为 $0.50\text{m}$ ,则人上跳的“竖直高度”是多少?

【解】用  $a$  表示跳蚤起跳的加速度、 $v$  表示离地时的速度,则对加速过程和离地上升过程分别有  $v^2=2ad_2$ 、 $v^2=2gh_2$ 。假设人和跳蚤的加速度  $a$  相同、 $V$  表示这时人离地时的速度、 $H$  表示与此相应的竖直高度,则对加速过程和离地上升过程分别有  $V^2=2ad_1$ 、 $V^2=2gH$ 。由以上各式可得  $H=h_2d_1/d_2$ ,代入数据得  $H=63\text{m}$ 。

这里假设人和跳蚤的加速度相同,由于人的加速距离远大于跳蚤,因此人跳的高度也远大于跳蚤所跳的高度。但人实际所跳的高度为  $1\text{m}$  左右(跳高的世界纪录才  $2.45\text{m}$ ,等于起跳后重心上升的高度与运动员站立时重心的高度之和),远远地小于  $63\text{m}$ 。这是因为人蹬地时产生的加速度远小于跳蚤的加速度(根据数据计算:人向上起跳的加速度为  $20\text{m/s}^2$ 、跳蚤为  $1250\text{m/s}^2$ ),人蹬地时的作用力约为人体重力的  $3$  倍,所以不能产生这样大的加速度。

那么人怎样才能跳得更高呢?能不能在人的脚下安装一个弹性物体(如蹦床)使之能跳得更高呢?请看 2002 年理综(全国卷)第 26 题蹦床是运动员在一张绷紧的弹性网上蹦跳、翻滚并做各种空中动作的运动项目。一个质量为  $60\text{kg}$  的运动员,从离水平网面  $3.2\text{m}$  高处自由下落,着网后沿竖直方向蹦回到离水平网面  $5.0\text{m}$  高处。已知运动员与网接触的时间为  $1.2\text{s}$ ,若把这段时间内网对运动员的作用力当作恒力处理,求此力的大小( $g=10\text{m/s}^2$ )。

【解】将运动员看作质量为  $m$  的质点,从  $h_1$  高处下落到刚接触网时的速度  $v_1=\sqrt{2gh_1}$ 、方向向下;弹跳后到达的高度为  $h_2$ ,刚离网时的速度  $v_2=\sqrt{2gh_2}$ 、方向向上;速度改变量  $\Delta v=v_1+v_2$ 、方向向上。 $a$  为加速度、 $\Delta t$  为接触时间,则  $\Delta v=a\Delta t$ 。接触过程中运动员受到向上的弹力  $F$  和向下的重力  $mg$ ,由牛顿第二定律有  $F-mg=ma$ 。由以上各式可得  $F=mg+m(\sqrt{2gh_1}+\sqrt{2gh_2})/\Delta t$ ,代入数据  $F=1500\text{N}$ 。这与前一题所求结果接近、与事实基本一致,体现了高考题目的科学性,下面讨论在弹

性物体上的跳高问题。

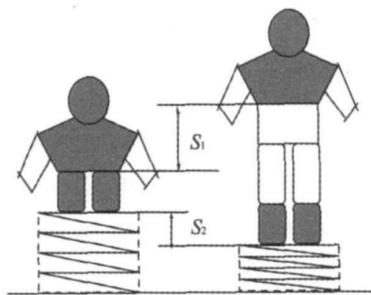


图 4

先做如下设定和推导:设弹簧的劲度系数为  $k$ 、人屈膝站在弹簧上时弹簧的压缩量为  $L$ ,由于在起跳前小腿和脚与脚下所踩物体的位置基本保持不变,仍采用前面设定的模型,起跳过程中上半部分上升的距离为  $s_1$ 、下半部分随弹簧下降的距离为  $s_2$ (图 4),则有  $s=s_1+s_2$ , $s$  为人屈膝下蹲到完全伸直重心上升的距离。由动能定理,对上半部分有  $(F-m_1g)s_1=(1/2)m_1v_1^2$ 、对下半部分连同弹簧有  $(F+m_2g)s_2=(1/2)m_2v_2^2+(1/2)k(s_2+L)^2-(1/2)kL^2$ 。身体完全伸直时人体的上下两部分成为一个整体以共同的速度为  $v_3$  向上运动,满足动量守恒,则有  $m_1v_1-m_2v_2=mv_3$ 。然后以速度  $v_3$  在弹力、重力共同作用下继续上升,离开弹簧时的速度  $v=$

$\sqrt{(1/2)[mv_3^2+k(s_2+L)^2]-mg(L+s_2)}$ 。若直接在地面上屈膝下蹲后起跳,由动能定理有  $(F-mg)s=(1/2)mv_0^2$ ,从而得出  $v_0=\sqrt{2(F-mg)s/m}$ 。

经对比分析可得  $v_0>v$ ,即利用弹簧装置的起跳速度小于在地面上直接起跳的速度,所以利用弹性装置所跳的高度并不比不踩弹性装置时的高,因此在比赛时运动员穿的是没有弹性的跳鞋,而不穿有弹性的鞋。那为什么蹦床运动员却跳得那么高呢?我们再回顾一下蹦床运动的过程,仍然是先下蹲、再蹬床、然后起跳,落下来时使其原有的动能转化为蹦床的弹性势能、同时下蹲,当速度几乎为零时紧接着蹬床使人体向上的动能增大,也使得蹦床的弹性形变更大,弹性势能进一步增大,离开床时获得比上一次更大的速度。重复以上过程,使他上升的速度一次比一次大,上升高度一次比一次高。当在整个过程中克服阻力做功消耗的能量和每次蹬床上跳所增加的能量相等时其上跳高度就基本稳定而不再升高了。

从以上分析可得出以下结论:①在跳高过程中

# 大学物理设计性实验分类

张敏锐

物理实验教学不仅能帮助正确理解物理概念和规律,而且与课堂理论教学相比,在培养和提高学生动手能力、观察能力、理论联系实际能力等方面都更具优势。同时也为学生的研究能力、开拓能力、创新意识等综合科学素质的培养提供了较好途径。因此,实验课程在物理学科教学中具有不可替代的作用。

但是在传统实验教学中,学生往往过分依赖教师指导。几乎所有实验都由教师安排内容、准备仪器。教师在学生做实验前先讲解实验的目的、原理、步骤并做演示,学生只要按照现成的步骤进行实验,最后把结果写在统一设计好的记录实验数据的报告纸上即可。这种僵化的实验教学模式在很大程度上抑制了学生的积极性和主动性。因此要从根本上提高实验教学效果,就要研究、分析实验教学的内容和方法,寻找更有效的组织形式,在优化的教学结构中提高学习效率。

要使学生变被动学习为主动学习,使教学内容贴近时代,必须打破传统按部就班的教学模式,代之以分阶段、分层次、以设计性实验为中心的教學体系。那么何谓设计性实验?顾名思义,就是让学生按照自己设计的方案去做实验。它介于基础实验和科学实验之间,是对科学实验全过程进行初步训练的实验教学模式,即让学生做一个费时少、难度低的微型科研项目。设计性实验由教师提出目的、要求,

学生自己选择仪器、设计方案、拟定步骤、观察分析,最后得出结果。设计性实验是引导学生进行探究性学习的一种很好方式,在培养学生创造能力方面效果较好。

从培养学生某一方面的能力出发,我们可以把大学物理设计性实验划分为思维操作型、操作思维型、手段移植型、数据处理型、理解拓展型等。当然实际的设计性实验往往很难界定为上述哪一种类型,下面就进行具体分析。

## 思维操作型

这类实验以训练学生的思维能力为主、操作能力为辅,要求学生在实验方案的设计上有所创新,对实验操作只作基本要求,这种思维锻炼可激发学生的想象力、增强他们的创新意识,这类实验有测量棱镜偏向角特性和色光折射率、测定易溶于水的颗粒状物质密度、用不同光学方法测定玻璃片折射率等。

以测量棱镜偏向角特性和色光折射率为例,实验设计的关键是如何确定入射角。多数学生首先测量棱镜的最小偏向角,然后推出入射角。由于在测量棱镜的最小偏向角时存在测量误差,这种方法显然不是最佳方案。若用望远镜内的叉丝对准狭缝后固定,再把三棱镜放在载物台上,然后旋转载物台,当反射的绿叉丝与望远镜内的叉丝重合时固定载物台,便可测得入射角。实验结果表明,后一种测量方法更为精确。

地面对人的作用力、对人的冲量不为零,但做功为零。②从做功和能量转化关系来说是人体内的生物能做功转化为起跳的动能。③对于加速距离不同的运动员,起跳速度由加速距离和肌肉收缩的爆发力产生的加速度共同决定;对于加速距离相同的运动员,起跳速度仅决定于肌肉收缩的爆发力所产生的加速度。④脚下踩踏弹性物体并不能增大起跳速度。在弹性物体上之所以会越跳越高,是因为能量的多次积累使每次的起跳速度都比前一次大,而不是第一次起跳时就有那么大的速度。

以上只是笔者的一点粗浅认识,仅以此来抛砖引玉,以期对其有正确的认识,不妥之处恳请各位读

者不吝批评指正。

(甘肃省陇西县职业教育中心 748100)

