

# 聚焦科学思维方法 提升物理建模能力

张 斌

(威宁县第九中学 贵州 毕节 553100)

(收稿日期:2023-06-16)

**摘要:**建模是一种思维过程,从思维方法入手才能触摸到模型构建的真谛,提升高中学生的建模能力才可能找到源头活水.选取中学物理中较为熟悉的科学思维方法构建物理模型,旨在培养学生的科学思维,提升学生的建模能力和运用模型解决问题的能力.

**关键词:**物理思维;模型构建;建模能力

建模教学是新一轮课程改革关注的热点.首先《普通高中物理课程标准》强调,要培养学生的物理核心素养,其中模型构建属于物理核心素养中的科学思维素养;其次《中国高考评价体系》提出3个方面的关键能力群,其中模型建构能力属于思维认知能力群.因此,模型建构是科学思维的核心要素,建模能力是科学思维的重要能力指标<sup>[1]</sup>.然而,大多数教师在教学过程中仅仅简单地介绍了质点和点电荷两个理想化模型,并没有深入探讨如何建模以及利用模型来解决实际问题.因此,师生普遍存在“直呼其名不见其实”的情况.

为此,本文探讨了物理模型的思维特征,分析了几种基本的物理思维方法在解题建模过程中的运用,以便进行更深入的建模教学研究.

## 1 物理模型的思维特征

物理模型是指人们为了研究物理问题、探讨事物的本质特征和规律,对研究对象作出的一种简化的、抽象的描述<sup>[2]</sup>.其思维特征主要如下:

### (1) 抽象性

物理模型是对真实世界的抽象,需要通过抽象思维将真实世界的现象转化为符号和数学公式,以便进行数学分析和计算.

### (2) 形象性

物理模型需要通过图像、图表等形式来表达,需要具备形象思维能力,将抽象的数学公式转化为直观的图像,使得物理概念更加形象化,便于理解和分析.

### (3) 科学性

建构模型不能凭空想象,要以实验事实和科学知识为依据,通过抽象概括、等效类比、猜想假设、分析综合等一系列逻辑论证,提取影响问题解决的主要因素,建立能反映原型本质特征的模型,完成现象到本质的过程,具有科学性<sup>[3]</sup>.

### (4) 创新性

物理模型的建构需要创新思维,能够将已有的物理理论和数学方法运用到新的物理问题中,提出新的物理模型.

## 2 聚焦物理思维方法 提升科学建模能力

中学物理模型虽然是事物原型通过抽象后的一种理想化形态,在现实中虽不存在,但它并不是完全虚构、任意编造的,其构建过程蕴含了许多物理思维方法,如抽象概括、类比迁移、猜想假设、等效替代、分析综合等方法.这些方法不仅仅是应用在建模过程中,而是贯穿于整个物理的学习过程中,因此,教师应该积极引导掌握这些方法,加强思维方法的运用,提高学生的学习效果.

### 2.1 利用抽象概括思维抓主忽次 建立杆模型解决体育运动问题

抽象是一种思维过程,它将复杂的现象和过程进行合理的简化,以突出事物的主要本质特征,舍去非本质的属性的过程,是实际问题的近似.概括则是在抽象的基础上,将分散的、具体的物理现象和规律进行归纳和总结,形成更为一般和普遍的物理原理和定律.该过程能将物理规律从特殊到一般,从具体

到抽象,揭示物理现象之间的内在联系和共同规律.可以这么说,我们每次的物理课都在与模型打交道,平时的物理实验和所做的各种练习题等,都是简化了事物原型后的一种模型.正是依靠着对事物原型简化后的学习,才使人们对物质世界的认识不断深化,不断向真理逼近,推动着物理学的发展.

**【例1】**俯卧撑是体育课上常做的一项运动,身高为1.6 m的学生在一分钟内做20个俯卧撑,若该同学每做一次俯卧撑头顶上升的高度约为30 cm,则他克服重力做功的功率约为( )

- A. 2.5 W    B. 15 W    C. 20 W    D. 25 W

**建模思路:**由于人体是一个不规则刚体,为了估算,可以先将做俯卧撑的人体抽象为一根刚性直杆,忽略人体的体型等次要因素,建立一个图1所示的杆模型.假设普通中学生的体重大概为50 kg,重心大概处于身高的50%处.运动中“撑起”的过程就是把人体重心抬高的过程,在这个过程中需要消耗人体的能量克服重力做功,再根据相似三角形的比例关系可得人体重心上升的高度 $h = 0.5H$ .因此,20次俯卧撑需要克服重力做功 $W = 20mgh = 1\ 500\text{ J}$ , $P = \frac{W}{t} = 25\text{ W}$ ,答案选D.

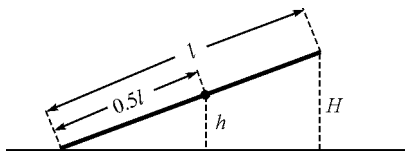


图1 杆模型

**评析:**模型构建的关键是透过现象抽象本质,学会抽象不仅要求懂得从现实原型中提取本质成分,作出合理的简化,而且还要求能够与理想的典型问题联系起来,根据理想条件下的原理作出符合实际的分析与解释.在中学物理学习中,除了一些常见的理想模型外,还会遇到各种以生活、体育等活动为背景,通过简化抽象后所建立的一些物理模型.这类物理模型更紧贴现实,也更为生动,同时也是近年高考中很活跃的一个题材.通过对这类问题的探究,可以加深对“具体—抽象—模型”的深刻认识,提高学生的建模能力以及运用物理模型解决问题的能力,也更进一步体会“从生活走向物理,从物理走向社会”的理念.

## 2.2 利用等效替代唤起思维灵感 构建等效运动模型解决陌生运动问题

等效思维是指将一种情境、问题或解决方案与另一种情境、问题或解决方案进行比较,发现它们之间效果相同,那么说明这些事件具有等效性,从而找到新的解决方法.因此,等效思维可以促进人们产生新想法,探索问题解决的新方法.

**【例2】**如图2所示,固定于竖直平面内的光滑大圆环上套有一个小环,小环从大圆环顶端P点由静止开始自由下滑,在下滑过程中,小环的速率正比于( )

- A. 它滑过的弧长  
B. 它下降的高度  
C. 它到P点的距离  
D. 它与P点的连线扫过的面积

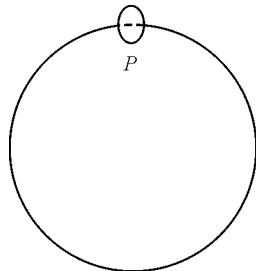


图2 例2题图

**建模思路:**由于重力做功与路径无关,因此在本情景中只要下降的高度相同速率就相同.设小球下降到A点时,可在P、A两点间架设一条光滑直轨道PA,单从“速率”这一点看,小环沿圆弧轨道PA与沿直轨道PA运动到A点的效果是相同的,所以可用直轨道PA等效代替圆弧轨道求解运动到A点时的速率,从而建立起大家所熟悉的等时圆模型,如图3所示.

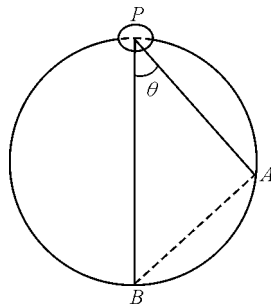


图3 等时圆模型

设PA间距为L,圆环半径为R,由几何关系可得到 $\cos \theta = \frac{L}{2R}$ ,根据运动学公式 $L = \frac{1}{2}at^2$ 结合牛

顿第二定律  $mg \cos \theta = ma$  得  $t = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$  (时间  $t$  为定值), 再由运动学公式  $v = at = L\sqrt{\frac{g}{R}}$  得速率与  $PA$  间距离成正比, 答案 C 正确.

**评析:** 本题目中给出的情景学生并不陌生, 但是求解速率  $v$  与选项中的物理量成正比是生疏的, 改用熟悉的等时圆模型等效代替后, 解答就十分轻松了. 因此当思维陷于僵化、停滞的时候, 由等效方法唤起的思维灵感, 引导学生构筑出一条别致的思路, 从而巧妙地化难为易.

### 2.3 利用类比迁移触类旁通 构建类斜抛模型解决电偏转问题

在物理学习过程中, 我们会发现许多运动规律间存在一定的相似性, 因此, 在进行物理模型构建时, 教师可以让学生通过原有掌握的模型知识类比分析新的物理过程, 发现他们之间具有相同或者类似的地方, 进而等效类比, 将复杂的物理问题转换为熟悉的模型.

**【例 3】** 地面上方某区域存在方向水平向右的匀强电场, 将一带正电荷的小球自电场中  $P$  点水平向左射出. 小球所受的重力和电场力的大小相等, 重力势能和电势能的零点均取在  $P$  点. 则射出后 ( )

- A. 小球的动能最小时, 其电势能最大
- B. 小球的动能等于初始动能时, 其电势能最大
- C. 小球速度的水平分量和竖直分量大小相等时, 其动能最大
- D. 从射出时刻到小球速度的水平分量为零时, 重力做的功等于小球电势能的增加量

**建模思路:** 带电小球在匀强电场中运动时, 受重力和电场力的作用, 首先可应用等效思维将电场力与重力合成为等效重力  $G' = \sqrt{2}mg$ , 方向与水平方向成  $45^\circ$  角; 其次小球初速方向与等效重力  $G'$  的方向成  $135^\circ$  角, 此运动类似斜抛运动, 因此, 可将此等效场中的曲线运动类比学生所熟悉的斜抛运动, 建立如图 4 所示的类斜抛运动模型, 通过研究  $x$ 、 $y$  两个方向上的运动规律即可快速解题. 根据斜抛运动模型可知当  $y$  方向的速度减为零时, 小球运动到  $y$  方向的最高点, 动能最小, 设此时的速度为  $v$ , 方向与等效重力  $G'$  垂直、与水平方向成  $45^\circ$  角, 速度  $v$  的水平分量与竖直分量相等, 故 C 错误; 小球的动能最

小时, 水平方向依然还有运动分量, 电场力继续做负功, 故电势能并不是最大, A 错; 小球的末动能等于初始动能时, 由斜抛模型的对称性可知小球的速度竖直向下, 速度的水平分量为零时, 再由动能定理  $W_G - W_{E_q} = 0$  可知重力做功等于小球电势能的增加量, 故 B、D 正确.

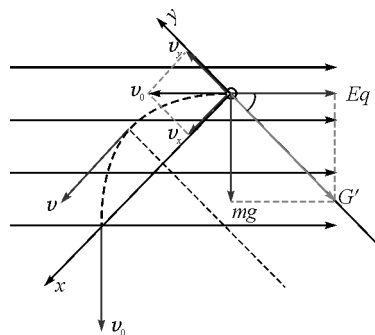


图 4 类斜抛运动模型

**评析:** 类比思维是最富有创造性的一种思维方法, 运用类比思维的方法可以使风马牛不相及的事物归并到同一个模型中, 这样不仅可以触类旁通, 还可以通过对“异形同质”问题进行“多题归一”的效果. 因此, 采用类比思维来构建模型可以更有效地把握问题的核心, 并突出其中的关键因素.

### 2.4 利用猜想假设活化思维 构建理想气体模型解决液柱运动问题

假设法是一种创造性思维, 物理模型的建立也常依赖于猜想假设. 当所研究的物理现象不能通过直觉感官进行感知时, 可以根据已知的物理原理假设一个存在的可能性推测, 从而建立起相应的物理模型, 并在此模型上开展推理论证, 判断假设成立或不成立, 当假设被事实所证实的那一刻, 假说也就自然地上升为科学的物理理论.

**【例 4】** 如图 5 所示为竖直放置的上细下粗的密闭细管, 水银柱将气体分隔成 A、B 两部分, 初始温度相同. 使 A、B 升高相同温度达到稳定后, 体积变化量为  $\Delta V_A$ 、 $\Delta V_B$ , 压强变化量为  $\Delta p_A$ 、 $\Delta p_B$ , 对液面压力的变化量为  $\Delta F_A$ 、 $\Delta F_B$ , 则 ( )

- A. 水银柱向上移动
- B.  $\Delta V_A > \Delta V_B$
- C.  $\Delta p_A > \Delta p_B$
- D.  $\Delta F_A = \Delta F_B$



图 5 例 4 题图

**建模思路:** 温度升高时, 上下两部分气体的  $p$ 、 $V$ 、 $T$  互相牵制难于判断, 为此可从物理过程假设上另辟蹊径. 假设温度升高后液柱不动, 水银柱上下两部分气体体积不变, 可以建立理想气体的恒容变化模型, 由图 6 所示的  $p-T$  图可知, 气体升高相同温度时, A 气体的压强增量  $\Delta p_A$  大于 B 气体的压强增量  $\Delta p_B$ , 水银柱会向上移动, A、C 正确. 稳定后, 上下两部分气体的体积变化量相同, 即增加的体积等于减小的体积, B 错. 由于上面的管子比较细, 因此液柱上移后, 液柱的总高度会增加, 上下两部分压力的变化为  $\Delta F = \Delta pS$  根据  $\Delta p_A > \Delta p_B$  和  $S_A > S_B$  的关系可知  $\Delta F_A > \Delta F_B$ , D 错.

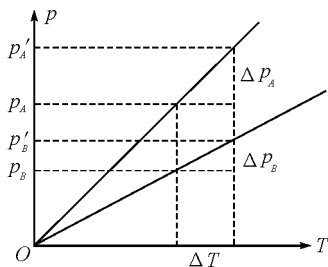


图 6 恒容模型

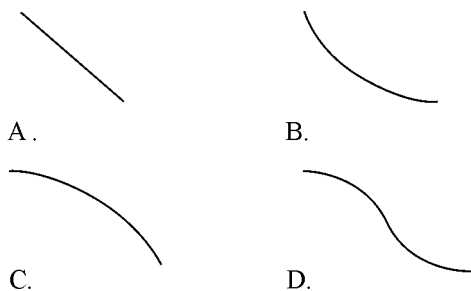
**评析:** 假设法是一种非常有效的科学研究方法, 历史上很多物理模型的构建都是从假设开始的, 如原子结构模型、行星运动模型、光子模型等. 这些模型都是从一个假设或者几个假设出发, 利用物理规律推导出结论, 并通过合理的讨论和分析, 最终得出正确的答案.

通过这种方式来解决问题, 不仅可以保证逻辑性和科学性, 还可以帮助我们扩展思维, 提升我们分析和解决问题的能力. 熟练地运用假设法本身就是进行推理论证必须具备的关键能力<sup>[4]</sup>.

## 2.5 利用分析与综合见微知著 建立流体模型 解决非质点类问题

在物理学的研究中, 分析和综合是非常重要的思维方法. 分析是把整体分解为部分, 综合则是把部分联合为整体. 在分析物理问题时, 需要将问题分解成更小的部分并进行深入的探究, 以便更好地理解问题的本质和原理; 而在解决物理问题时, 需要将各个因素进行综合, 并将其合理地组合起来, 形成系统性的解决方案. 因此, 分析和综合是一种不可或缺的辩证思维方式, 它能够帮助我们更好地理解和研究复杂的问题.

**【例 5】**2022 年北京冬奥会跳台滑雪空中技巧比赛场地边, 有一根系有飘带的风力指示杆, 教练员根据飘带的形态提示运动员现场风力的情况. 若飘带可视为粗细一致的匀质长绳, 其所处范围内风速水平向右、大小恒定且不随高度改变. 当飘带稳定时, 飘带实际形态最接近的是( )



**建模思路:** 飘带整体的形态是飘带各部分形态的宏观表现, 可以选取飘带上极小的一段构建相关的物理模型进行部分分析, 寻求飘带倾角的决定因素. 由于风速水平向右、大小恒定且不随高度改变, 风对飘带的作用力可以抽象为流体的冲击模型, 用动量定理求其大小.

首先, 设飘带的总长度为  $L$ , 质量为  $m$ , 取长度为  $\Delta l$  的极小一段微元飘带, 如图 7 所示, 则其质量为

$$\Delta m = \frac{\Delta l}{L} m$$

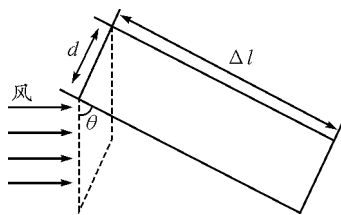


图 7 流体模型

设微元飘带的宽度为  $d$ , 微元飘带与竖直方向的夹角为  $\theta$ . 则微元飘带垂直于风速的有效面积  $S = \Delta l d \cos \theta$ . 设空气的密度为  $\rho$ , 风速为  $v$ , 假设空气撞击垂直面后速度减为零, 则在极短的时间  $\Delta t$  内, 撞击到微元飘带等效垂直面的风的质量为

$$\Delta m' = \rho S v \Delta t$$

根据动量定理

$$F \Delta t = \Delta m' v$$

联立解得, 等效垂直面对空气的作用力为

$$F = \rho d \Delta l v^2 \cos \theta$$

根据牛顿第三定律,风对微元飘带等效垂直面的水平作用力为

$$F_{\text{风}} = \rho d \Delta l v^2 \cos \theta$$

其次,该微元飘带稳定时受到其余部分飘带斜向上和斜向下的拉力、重力、风力共4个力,可先将微元受到飘带斜向上、斜向下的拉力求合力为 $T$ ,方向沿微元飘带向上,实现4个力变为3个力,从而建立三力平衡模型,如图8所示.

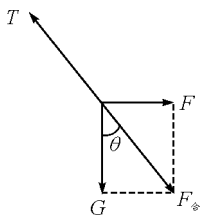


图8 三力平衡模型

由重力与风力的合力与剩余部分间的拉力 $T$ 是平衡力,设竖直方向的夹角为 $\theta$ ,则满足

$$\tan \theta = \frac{F}{\Delta mg} = \frac{\rho d L v^2 \cos \theta}{m g}$$

可见,微元飘带与竖直方向的夹角仅取决于空气的密度、风速以及飘带整体的相关性质,与所取的微元飘带本身并无关系,也就是说,飘带的各部分与竖直方向的夹角都是相同的,因此飘带应成一倾斜直线的形态,A项正确.

**评析:**本高考题创设了飘带形态的生活实践问题情境,主考查模型建构能力、推理论证能力.见微知著,从微元飘带的倾角窥视飘带的整体形态是解

决本题的关键所在,因此需要学生有以小见大,从局部看整体的思想,利用微元法确定研究对象并建立与风速相关的流体模型找到影响飘带倾角的因素,进而真正地确定飘带的整体形态.

### 3 结束语

本文通过论述和示例,就是想表达,物理的学习过程就是不断建模的过程.在建模的过程中融入物理思维方法,可以逐渐培养学生的建模能力和应用模型的能力<sup>[5]</sup>,此时学生不再是机械地记住一些物理概念、原理,而是在面对新的物理情景时,能透过现象抓住事物的本质,然后运用科学思维方法自主建构物理模型并解决物理问题,这不仅提高了学习质量,也在潜移默化中进行着物理思维的训练,有助于学生思维品质的提高,掌握科学的研究方法,形成终身发展所必备的关键能力.

### 参考文献

- [1] 俞国富. 高中物理教学中科学建模的策略[J]. 物理教学探讨, 2019, 37(9): 12-18.
- [2] 曹键粮. 核心素养下的高中物理模型教学研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2019.
- [3] 孙雯. 高中物理教学中培养学生模型思维的策略研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2021.
- [4] 胡道成. 培育物理思想方法提升推理论证能力[J]. 教学考试, 2022(4): 77-80.
- [5] 曹丽丹. 物理核心素养下培养高一学生物理问题解决能力策略研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2019.

## Focusing on Scientific Thinking Methods to Enhance Physical Modeling Capabilities

ZHANG Bin

(No. 9 Middle School of Weining, Bijie, Guizhou 553100)

**Abstract:** Modeling is a kind of thinking process. Only by starting from the thinking method can we understand the true meaning of model construction and improve the modeling ability of high school students. This paper selects the scientific thinking method commonly employed in middle school physics to construct physical models, aiming to cultivate students' scientific thinking and improve students' modeling and problem-solving ability.

**Key words:** physical thinking; model building; modeling capability