

教学论坛

# 物理核心素养的试题命制与评价策略研究

## ——以科学思维评价为例

蒋炜波 (清华大学附属中学 北京 100084)

赵 坚 (昆明市五华区基础教育科学研究中心 云南 650031)

**摘要** 以科学思维评价为例,如何命制试题评价学生的物理观念形成情况? 又如何对所命制的试题进行评价? 结合科学思维的能力水平层次等级要求,笔者在实践中总结了可以借鉴的试题命制与评价方法策略。

**关键词** 科学思维 试题评价

文章编号 1002-0748(2020)3-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

### 1 科学思维

科学思维是从物理视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识方式;是基于经验事实构建理想模型的抽象概括过程;是分析综合、推理论证等方法在科学领域的具体运用;是基于事实证据和科学推理对不同观点和结论提出质疑和批判,进行修正和检验,进而提出创造性见解的能力和品格<sup>[1]</sup>。不同于物理观念的是,物理观念是从认识结果角度对物理学科核心素养进行描述,而科学思维则是从认识方式的角度对学生的关键能力做出说明。科学思维主要包括模型构建、科学推理、科学论证和质疑创新<sup>[2]</sup>。

经过物理学习以后,学生的科学思维养成究竟到了什么程度? 这就需要进行相应的检测评价。

### 2 科学思维的试题评价

《普通高中物理课程标准(2017 年版)》(以下简称“课标”)中对科学思维发展水平进行了 5 个水平等级划分,其中水平 1 代表入门等级,水平 2 代表毕业合格性等级,水平 3 介于合格性等级和高考选拔要求之间,水平 4 代表高考选拔性等级,水平 5 代表中学阶段的最高等级<sup>[1]</sup>。

不同的水平等级阶段所要求的科学思维内容并没有特别大的差异,但是对相应的科学思维的要求高度和深度却随着水平等级的提高而增大。鉴于试题评价仍然是当前最为重要的评价方式,因此可以

结合课标水平等级的要求,从科学思维所包括的模型构建、科学推理、科学论证和质疑创新等方面设计不同类型的试题来完成对学生科学思维水平的等级评价。

#### 2.1 从模型构建进行科学思维评价

模型构建是科学思维的首要要求,课标中科学思维的 5 个水平等级中都对模型构建提出了明确要求。水平 1 要求能说出一些简单的物理模型,水平 2 要求能在熟悉的物理情景中应用常见的物理模型,水平 3 要求能在熟悉的物理情景中选择常见的物理模型解决简单问题,水平 4 要求能够将实际问题中的对象和过程转换成物理模型,水平 5 要求能够将复杂的实际问题中的对象和过程转换成物理模型。

可见水平 2 比水平 1 要求掌握更多的物理模型,水平 3 比水平 2 要求具有更高的模型“选择”能力,水平 4 和水平 5 则要求学生具备模型建构的能力。

##### 2.1.1 命题策略

常见的命题方式有三种,第一种命题方式针对中学物理要求的模型对学生是否具备相应的基本知识和初步能力进行评价,不涉及模型的选取和构建,主要用于水平 1 和水平 2 的等级评价。第二种命题方式针对中学物理要求的模型对学生是否能够熟练运用相应的知识和能力进行评价,不涉及新情景中模型的构建,主要用于水平 2 和水平 3 的等级评价。第三种命题方式针对学生是否具备构建在复杂问题

中的新模型所涉及的创新能力进行评价,主要用于水平 4 和水平 5 的等级评价。

### 2.1.2 对所命制试题的评价

这三种命题方式命制的试题都基于物理模型,区别在于对模型的考查侧重不同。整体而言一旦涉及新情景以及模型构建,那么试题考查的水平层次则属于水平 4 和水平 5。在不涉及情景和模型构建的时候,若试题侧重模型的选择和应用,则考查的水平层次属于水平 2 和水平 3,其余的命题则属于水平 1。

### 2.1.3 实例展示

#### 例题 1 下面关于质点的描述中正确的是

( )

- (A) 只有体积很小的物体才能够当做质点
- (B) 形状规则的物体才能够当做质点
- (C) 只要物体的形状对研究的问题没有影响,就可以当做质点
- (D) 质点是一个从现实中抽象出来的理想模型

这道题属于通过第一种命题方式得到的典型试题,考查质点模型,但不涉及到模型的应用,是较为纯粹的对基本模型掌握和认识的考查,属于水平 1 等级评价。

**例题 2** 两辆完全相同的汽车,沿水平直路一前一后匀速行驶,速度均为  $v_0$ ,若前车突然以恒定的加速度刹车,在它刚停住时,后车以前车刹车时的加速度开始刹车,已知前车在刹车过程中所行的距离为  $s$ ,若要保证两辆车在上述情况中不相撞,则两车在行驶时保持的距离至少应为 ( )

- (A)  $1s$
- (B)  $2s$
- (C)  $3s$
- (D)  $4s$

匀变速直线运动和追及模型都是中学阶段运动学常见的模型,这道题考查学生对于这两个模型的运用,属于通过第二种命题方式得到的试题。此处学生可以利用运动学公式和图象来解决问题,要求学生具备一定的选择模型能力,因此属于水平 3 等级评价。

**例题 3** 请类比电场强度的定义方式,得出地球周围重力场的场强表达式。

不管是重力还是万有引力,我们都没有要求过学生能够构建场的模型,但是学生已经学习了电场的模型,应该能够处理重力场的构建问题。这道题考查学生在情景中通过类比构建新模型,属于通过第三种命题方式得到的试题。此处涉及的情景较为熟悉且并不复杂,因此属于水平 4 等级评价。

此处类似的考查还有很多,比如将电场和重力场的复合场等效为一个新的力场模型,以便分析带电小球在电场力和重力共同作用下的摆动问题。再比如将电子围绕原子核在某一轨道上运动时的动能和电势能之和类比行星模型构建出“机械能”,以便分析电子在不同轨道上的能量变化与守恒问题。这些面对的情境更加复杂,属于水平 5 等级评价,这种考查方式需要学生对物理模型有较强的迁移能力,难度比较大。

### 2.1.4 小结

从模型构建对科学思维进行评价,试题的难度可调性很大,一般不涉及过于复杂的计算,试题的命制与评价主要在“模型应用”“模型选择”“模型构建”和“情景复杂程度”4 个方面各自有所侧重,从而完成对课标中不同水平等级的科学思维的评价。

## 2.2 从推理论证进行科学思维评价

科学推理和科学论证是科学思维的重要部分,两者相关性较大,可以一起作为命题考查。课标中科学思维的 5 个水平等级都对推理论证提出了要求。水平 1 要求能对常见的物理现象进行简单分析;水平 2 要求能对比较简单的物理现象进行分析推理且得到结论,并利用简单直接的证据阐述自己的观点;水平 3 要求能对常见的物理现象进行分析推理、解释并得到结论,并利用证据阐述自己的观点;水平 4 要求能对综合性物理问题进行分析推理、解释并得到结论,并且能够证明得到的物理结论;水平 5 要求能在新情境中对综合性物理问题进行分析推理、解释并得到结论,并且能够在证明过程中考虑到证据的可靠性并合理地选用。

可见水平 4 和水平 5 均要求面对综合性的物理问题,只是后者更强调陌生的新情景。水平 2 和水平 3 都针对常见的不太复杂的物理问题,只是后者要求相对更高一些。相比之下水平 1 所要求的推理论证能力很不完整,一般不适合单独命题进行考查,在此暂不做讨论。

### 2.2.1 命题策略

课标中没有明确提出推理论证评价的细节操作策略,因此笔者从实践出发进行思考,总结出三种可用的从推理论证方面对科学思维进行评价的命题策略,即考查推理论证的思维长度、思维宽度和思维深度。

推理论证的思维长度,即学生是否能够处理长思维过程的问题。

推理论证的思维宽度,即学生是否能够处理涉

及多方面知识与模型的问题,是否能够处理多细节多条件问题,是否具有同时处理多个信息的能力。

推理论证的思维深度,即学生能否对物理问题提出有创造性的深刻见解认识。

一般而言,思维长度较长的命题较适合水平 4 和水平 5 等级评价,二者的区别仅在于问题情景的新颖性。通过缩短思维长度,所命制试题则可用于水平 3 和水平 2 的等级评价。

思维宽度较广的命题,原则上更贴合真实复杂的物理情景问题,但因为与中学阶段基于从实际问题中抽象出模型的教学与评价之间的契合度不高,所以受限较大,思维宽度不同的命题常用于水平 2、水平 3 和水平 4 的等级评价。也可以通过结合陌生的新情景进行水平 5 的等级评价。

思维深度较深的命题,往往侧重在某一点,因此思维的过程长度较短,宽度也不大,不太能够出现在复杂的综合性问题中。对比课标的水平标准可以发现,这种命题策略暂时并不在课标要求之列,但是笔者在实践中发现它很适合用来评价和培养学生的科学思维。

### 2.2.2 对所命制试题的评价

从上述三种命题方式得到的试题,各自的特征非常鲜明,区分起来并不困难。主要的难处在于所命制的试题与课标中的水平等级之间的对应关系较难厘清。整体上而言一旦涉及陌生的新情景,试题的综合性也会较大,考查的水平层次应该归为水平 5。不涉及到新情景的时候,视问题所需的推理论证的综合程度和复杂程度,比如思维长度、思维宽度和思维深度,可归为水平 4、水平 3 和水平 2。

### 2.2.3 实例展示

**例题 4** 在光滑的水平桌面上,有 A、B、C、…、N 共 n 个相同的弹性小球,静止地排列在一条直线上,如图 1 所示,其中 B、C、D、…、N 各球的质量都为 m, A 球的质量为 2m。若 A 球沿该直线方向以初速  $v_0$  碰 B 球,且各球碰撞时都无机械能损失,设桌面足够长。求 A 球的最终速率。

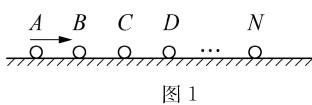


图 1

这是典型的侧重思维长度的命题。整个过程中只涉及了一个模型,即碰撞模型,但是由于参与的物体数量较多,情景的持续过程较长,因此思维链的长度较长。本题的思维链是碰撞模型的不断重复使

用,且不涉及新的情境,因此虽然属于综合性难题,但仍然属于水平 4 等级评价。

**例题 5** 若火星和地球都绕太阳做匀速圆周运动,现知道地球的质量、公转的周期和地球与太阳之间的距离,又测得火星绕太阳运动的周期,则由上述已知量可求出 ( )

- (A) 火星的质量
- (B) 火星与太阳间的距离
- (C) 火星的加速度大小
- (D) 火星做匀速圆周运动的速度大小

这是典型的侧重思维宽度的命题。题干中给出的信息较多,包括地球和火星两大类,然后选项中对应的物理问题也各不相同,需要学生能够熟练地处理多种信息,利用天体运动模型解决问题。一般而言这种题目难度不会很大,但是却需要学生始终思路清晰并且对细节足够留意,比较耗费学生的时间精力,属于水平 4 等级评价。

**例题 6** 图象是物理中常见的分析数据工具,常见的图象中的切线斜率往往是有一定的物理意义的,比如  $s-t$  图中的切线斜率就代表了物体在某一时刻的瞬时速度。下列选项中图象的切线斜率也有物理意义的是 ( )

- (A) 速度与时间的  $v-t$  图
- (B) 功与时间的  $W-t$  图
- (C) 电压与电流的  $U-I$  图
- (D) 力与速度的  $F-v$  图

这是典型的侧重思维深度的命题。切线斜率究竟代表什么含义呢? 这正是这道题对思维深度的考查点。切线斜率代表一种“变化率”,比如速度的定义是位移随时间的变化率,即  $\Delta s/\Delta t$ ,加速度的定义是速度随时间的变化率,即  $\Delta v/\Delta t$ ,功率的定义是功随时间的变化率(做功快慢),而电阻的定义是电压与电流相比,并不是变化率。学生只有对变化率进行深入的理解和思考,才能在这种题上游刃有余。这道题并不是综合的物理问题,因此属于水平 3 等级评价。

**例题 7** 设示波器的加速电压为 1 000 V,  $yy'$  偏转极板长为 5 cm,估算电子加速后经过偏转极板的时间是多少。当用示波器观察本机 50 Hz 余弦电压信号时,为什么可以认为电子通过偏转极板时  $yy'$  间的电压不变? 电子的质量为  $9.1 \times 10^{-31}$  kg。

**例题 8** 真空中放置的平行金属板可以用作光电转换装置,如图 2 所示。光照前两板都不带电。以光照射 A 板,则板中的电子可能吸收光的能量而

逸出。假设所有逸出的电子都垂直于 A 板向 B 板运动,忽略电子之间的相互作用。保持光照条件不变。 $a$  和  $b$  为接线柱。

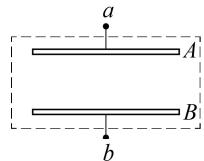


图 2

已知单位时间内从 A 板逸出的电子数为  $N$ , 电子逸出时的最大动能为  $E_{km}$ 。元电荷为  $e$ 。

(1) 求 A 板和 B 板之间的最大电势差  $U_m$ , 以及将  $a$ 、 $b$  短接时回路中的电流  $I_{短}$ 。

(2) 图示装置可看作直流电源, 求其电动势  $E$  和内阻  $r$ 。

(3) 在  $a$  和  $b$  之间连接一个外电阻时, 该电阻两端的电压为  $U$ 。外电阻上消耗的电功率设为  $P$ ; 单位时间内到达 B 板的电子, 在从 A 板运动到 B 板的过程中损失的动能之和设为  $\Delta E_k$ 。请推导证明:  $P = \Delta E_k$ 。

例题 7 和例题 8 是典型的物理推理论证题, 要求学生有非常好的推理论证能力, 能够从题干中找到支撑自己结论的证据, 并且两者都涉及到了较为新颖的情景或者设问角度, 属于水平 5 等级评价。

#### 2.2.4 小结

从推理论证评价科学思维, 是当前非常主要的一种模式, 由于考查中计算量可以很大, 物理问题可以很新颖, 思维过程可以很长, 问题可以很综合, 因此这部分的命题经常作为试卷中的压轴难题出现, 对试卷的难度往往有决定性的影响。

#### 2.3 从质疑创新进行评价

质疑和创新是科学思维中最难用试题进行考查评价的部分, 原则上讲它更适合使用过程性评价的方式, 在教学中引导学生去质疑创新, 在不断地质疑过程中完成对学生的评价<sup>[3]</sup>。

课标中科学思维的 5 个水平等级中都对质疑创新提出了要求。水平 1 要求知道质疑和创新的重要性; 水平 2 要求具有质疑和创新的意识; 水平 3 要求能对已有观点进行质疑, 从不同角度思考问题; 水平 4 要求能对已有的结论提出有依据的质疑, 采用不同的方式分析解决物理问题; 水平 5 要求能从多个视角审视检验结论, 解决物理问题具有一定的新颖性。

水平 1 和水平 2 都更适合在教学中进行过程性评价, 不过试题评价也能进行。水平 3 和水平 4 都要求对已有的观点和结论进行质疑, 只是后者要求更高, 需要学生最终解决物理问题, 相比较而言水平 4 比水平 3 更适合用试题评价。水平 5 强调多视角和新颖性, 命制试题的难度相对较大, 因此该试题并不常见。

#### 2.3.1 命题策略

常见的命题方式是给学生呈现可以质疑的对象, 让学生完成质疑并解决问题, 这适用于水平 3 和水平 4 等级评价。此外, 还可以在题干中要求学生从某几个角度进行分析, 让学生利用不同角度得到的结论彼此质疑创新, 这种命题方式适用于水平 5 等级评价。而对于水平 1 和水平 2, 可以在其他水平评价时穿插其中进行, 也可以在一些推理论证过程中穿插进行。

与此同时, 所命制的试题自身也是学生质疑的对象, 试题自身的数据自治性非常重要, 否则会被充满质疑精神的学生挑出毛病来。

#### 2.3.2 对所命制试题的评价

从上述命题方式得到的试题特征非常的鲜明, 水平 1 和水平 2 更侧重学生是否进行了质疑和创新, 水平 3、水平 4 和水平 5 则更侧重学生质疑的方式, 尤其是水平 5 要求从不同的角度进行质疑。

相较于命题方式, 命制的试题自身自治与否, 其实更需要我们的关注。

#### 2.3.3 实例展示

**例题 9** 汽车以速度  $10 \text{ m/s}$  在水平路面上直线行驶, 从  $t = 0 \text{ s}$  开始以  $2 \text{ m/s}^2$  的加速度刹车, 则  $t = 8 \text{ s}$  时汽车的位移是\_\_\_\_\_。

这是经典的考查学生质疑意识的命题, 汽车刹车  $5 \text{ s}$  就已经停下来了, 因此并不能直接将  $8 \text{ s}$  代入位移计算公式进行求解, 这属于水平 2 等级评价。

**例题 10** 光滑水平轨道上有一辆小车质量为  $20 \text{ kg}$ , 质量为  $60 \text{ kg}$  的人站在小车上, 与车一起以  $v_0 = 5 \text{ m/s}$  的速度运动, 若人相对于车以  $2 \text{ m/s}$  的速度沿车前进的反方向行走, 则车速是多大? 小明的分析如下。

车原来的速度是  $5 \text{ m/s}$ , 于是由题人相对车的速度为反向的  $2 \text{ m/s}$ , 可知人的速度为  $3 \text{ m/s}$ , 于是利用动量守恒定律可以求解出小车的运动速度为  $11 \text{ m/s}$ 。

你认为小明的分析是否正确, 分析并说明理由。

这道题是典型的呈现质疑对象的命题,属于水平 4 等级评价。分析的关键点在于人相对车的速度是 2 m/s,如果按照小明的做法,最终人相对车的速度并不是 2 m/s,而是 8 m/s,学生若有质疑的意识,当能发现前后矛盾。

在现实之中,由于人与车的速度都发生了变化,因此讨论人相对于速度变化前的车的相对速度是没有意义的,所以题干中的 2 m/s 一定是相对速度变化以后的小车而言的。

**例题 11** 如图 3 所示,人在河岸上用轻绳向左拉船,若人以速度  $v$  匀速行进,某时刻拉船的绳索与水面夹角为  $\theta$ ,则此时船前进的速度是多少? 请分别用速度的合成分解和能量守恒进行求解。

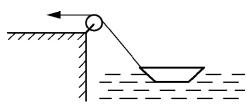


图 3

这道题目属于要求多角度分析的问题,属于水平 5 等级评价。利用速度分解将沿绳子的速度分解为水平和竖直方向的分速度,学生很容易给出  $v \cdot \cos \theta$  的错误答案,不是因为速度分解的思路有错误,而是因为学生的速度分解错了。学生此时若有质疑的意识,应该能想到这么分解的话船将具有竖直向上的  $v \cdot \sin \theta$  的速度,显然这是不现实的。

若此时学生用能量守恒求解,即人拉绳子的功率等于绳子拉船的功率,就可以得到船速的正确答案为  $v/\cos \theta$ 。借此学生恰好能够质疑反思自己两种方法为什么没有得到同样的答案,继而进行纠正。

**例题 12** 如图 4 所示,在一个光滑金属框架上垂直放置一根长  $L = 0.4\text{ m}$  的金属棒 CD, CD 质量为  $0.1\text{ kg}$ , 其电阻不计, 框架左端有一电阻, 阻值  $R = 0.5\Omega$ , 垂直框架面的匀强磁场的磁感应强度  $B = 1\text{ T}$ , 某时刻导体棒 CD 获得一个初速度  $v = 5\text{ m/s}$  向右水平运动, 导体棒运动 1 m 后停了下来。求:(1)电流通过电阻 R 所发的热;(2)通过电阻 R 的电荷量。

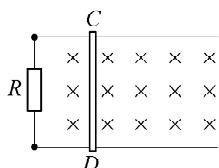


图 4

此题的第(1)问可以通过能量守恒求解,导体的动能全部转化为热,得到发热为  $1.25\text{ J}$ 。第(2)问可以通过  $q = I\Delta t = \Delta\Phi/R$  求解,得到结果为  $0.8\text{ C}$ 。

可是如果第(2)问我们使用动量定理  $F_{安} \Delta t = mv$ , 即  $BLI\Delta t = mv$  求解, 可知  $q = I\Delta t = mv/BL = 1.25\text{ C}$ 。这是怎么回事呢? 两个答案为什么不一致呢?

题目中在最后给出了导体棒运动的距离为  $1\text{ m}$ , 可是事实上导体棒运动的距离已经可以通过前面的条件计算出来, 是  $1.5625\text{ m}$ , 正是这一个距离数据不自洽, 导致计算结果出了问题。这种情况是每场正式考试一直所力求避免出现的, 我们用来评价学生的试题本身也要经得起学生的质疑才行。

### 2.3.4 小结

对质疑创新能力的评价在试题中比较受局限, 但并不是完全不能实现。除了上述命题策略之外, 如果将题型方式进行调整, 比如设置文字表述的主观题, 让学生对问题解决过程进行分析, 针对质疑创新的评价就能够更好地实现了。

## 3 结束语

对科学思维的试题评价,往往将科学思维的几个内在要素集中在一起。尤其是在最后的高考中,由于试题数量有限,不可能就某一个点针对性地进行考查评价。因此科学思维的系统性培养就显得尤为重要,在教学中切不可将科学思维分散学习,即使是分散学习之后也需要在复习阶段进行整体的融会贯通。

除此以外,物理核心素养自身也是有内在联系的,科学思维的考查评价也离不开物理观念、科学探究和科学态度与责任。试题只是一个评价载体,试题一直处于动态变化之中的,教学中切不可过于以试题为导向进行安排。既然试题的评价对象是物理学科核心素养,万变不离其宗,教学应该抓住核心素养这一主旨,以物理学科核心素养为教学目标进行统筹计划,方能做到以不变应万变。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017 年版)[S].北京:人民教育出版社,2018.
- [2] 郭玉英,苏明义.新版课程标准解析与教学指导——高中物理[M].北京:北京师范大学出版社,2018.
- [3] 蒋炜波.科学思维中提出质疑的方法策略研究[J].物理教学,2019(6): 6—8.