

# 落实物理核心素养 培养科学思维能力

——以电磁感应专题复习教学为例

张兵荣 (华东师范大学第二附属中学 上海 201203)

**摘要** 电磁感应专题包含运动学、力学、动力学、功和能、电路、磁场和电磁感应等内容,具有最强的综合性,纷繁复杂的多样性往往令学生头疼。本文从八种模型的构建,从各种模型物理量逻辑链的科学推理,从解决问题的三种方案的科学论证,从对结论的质疑创新,帮助学生厘清思路,培养学生的科学思维意识和能力,提升学生物理的核心素养。

**关键词** 电磁感应 科学思维 核心素养

**文章编号** 1002-0748(2021)3-0002

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

物理学科的核心素养包括物理观念、科学思维、科学探究和科学态度与责任等四个方面的要素,科学思维是其中重要的要素之一。科学思维包括模型构建、科学推理、科学论证和质疑创新等环节,没有科学思维而只有天生的自然的思维不可能进行深入的研究,没有深入的研究就不可能有新的产品和新的革命,只有运用科学思维进行深入研究,人类的发展和社会的进步才变得可能。教师在教学过程中,要有意识地培养学生科学思维的意识 and 能力,党的十九大明确提出:“要全面贯彻党的教育方针,落实立德树人根本任务,发展素质教育,推进教育公平,培养德智体美全面发展的社会主义建设者和接班人。”这里的素质教育就包括科学思维的教育、促使学生终身发展的教育,学生的科学思维意识高了、能力强了,将终身受益。

本文将高电磁感应专题复习为载体,谈谈在教学中落实物理学科核心素养,切实提高学生科学思维意识和能力的一些做法,以飨读者。

## 1 提高学生模型构建的意识和能力

通过比较电磁感应中各种变式情景,构建以变式为特征的物理模型,提高学生模型构建的意识和能力。

模型思维是一种重要的科学思维,创设基于建模的科学学习环境,有利于学生建模思维的发展。基于电磁感应高考题中的各种变化形式,构建以形式变化为特征的模型,有利于学生抓住重点,提高抽象物理问题的形象画面感,从而强化学生的模型思维意识和能力。

在电磁感应习题教学的具体实施中,从光滑到摩擦,从水平到倾斜,从平行到不平行,从单杆到双

杆,从串联到混联,从匀强磁场到变化磁场,从杆的运动到磁场的运动,从发电机到电动机等八种变式模型,根据不同模型所包含的重点难点,逐个分析并加以综合总结,对厘清学生的认识,提高模型构建意识和能力很有帮助,在教学实践中得到学生极大欢迎。

### 1.1 模型一:从光滑到摩擦

(1) 基本模型:如图1所示,金属杆  $ab$  在光滑轨道上运动,匀强磁场  $B$  竖直向下。

(2) 变式模型:如图1所示,金属杆  $ab$  在水平轨道上运动,杆与轨道间动摩擦因数为  $\mu$ 。

### 1.2 模型二:从水平到倾斜

(1) 基本模型:如图1所示,金属杆  $ab$  在水平轨道上运动,匀强磁场  $B$  竖直向下。

(2) 变式模型:如图2所示,金属杆  $ab$  在倾斜轨道上运动,匀强磁场  $B$  垂直斜面向下。

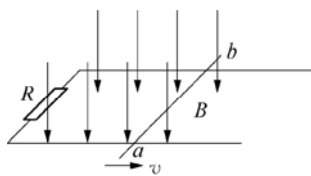


图1

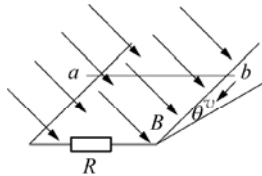


图2

### 1.3 模型三:从平行到不平行

(1) 基本模型:如图1所示,金属杆  $ab$  在平行轨道上运动,匀强磁场  $B$  竖直向下。

(2) 变式模型:如图3所示,金属杆在不平行轨道上运动(不平行轨道可以是三角形、梯

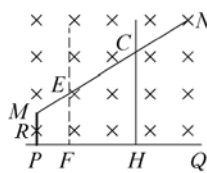


图3

形、圆形、抛物线形等), 匀强磁场  $B$  垂直轨道平面。

1.4 模型四: 从单杆到双杆

(1) 基本模型: 如图 1 所示, 金属杆  $ab$  在光滑水平平行轨道上运动, 匀强磁场  $B$  竖直向下。

(2) 变式模型: 如图 4 所示, 两根金属杆在磁场中运动, 双杆可以是独立两根杆, 也可以是矩形线圈两条边, 可以在同一个磁场中, 也可以在不同的两个磁场中。

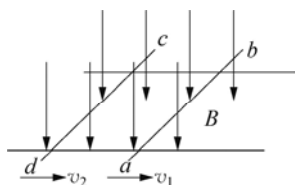


图 4

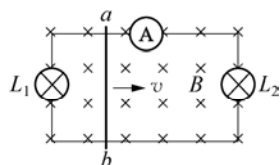


图 5

1.5 模型五: 从串联到混联

(1) 基本模型: 如图 1 所示, 金属杆  $ab$  电阻  $r$ , 定值电阻为  $R$ , 两者为最简单串联连接。

(2) 变式模型: 如图 5 所示, 除金属杆外, 有两个电阻并联, 与金属杆构成混联, 或者多个电阻构成混联。

1.6 模型六: 从匀强磁场到变化磁场

(1) 基本模型: 如图 1 所示, 金属杆  $ab$  在光滑轨道上运动, 匀强磁场  $B$  竖直向下并保持不变。

(2) 变式模型: 如图 6 所示, 金属杆在水平轨道上运动, 磁场的磁感应强度  $B$  随空间坐标  $x$  发生变化, 也可以是磁场的磁感应强度  $B$  随时间  $t$  发生变化。

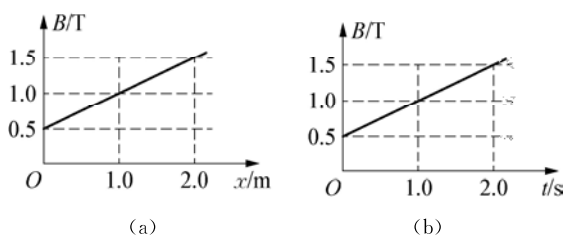


图 6

1.7 模型七: 从杆的运动到磁场的运动

(1) 基本模型: 如图 1 所示, 金属杆  $ab$  在光滑轨道上运动, 匀强磁场  $B$  竖直向下。

(2) 变式模型: 如图 7 所示, 磁场以速度  $v$  匀速运动, 杆或线圈可以不动, 或落后于磁场的速度而运动。

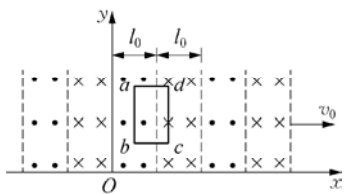


图 7

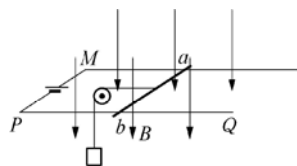


图 8

1.8 模型八: 从发电机到电动机

(1) 基本模型: 如图 1 所示, 金属杆  $ab$  在光滑轨道上运动, 匀强磁场  $B$  竖直向下。

(2) 变式模型: 如图 8 所示, 电源电动势为  $E$ , 内阻为  $r$ , 金属杆运动可以是独立自由运动, 也可以是带动其他物体运动。

2 提高学生推理的意识和能力

通过分析电磁感应中各物理量间的逻辑关联, 形成稳定的逻辑链流程图, 揭示各种变式模型的特征以及对应的不同的重点和难点, 提高学生科学推理的意识和能力。

科学推理是根据一个判断得出另一个判断的思维形式, 在关于科学推理的研究中, 不仅包括逻辑上的归纳推理、演绎推理和类比推理, 而且包括分析与综合、抽象与概括、比较与分类等思维方式, 还包括控制变量及组合推理、概率推理、相关推理、因果推理等推理形式。

在电磁感应习题教学具体实施中, 一般需要解决三类问题, 一类是分析运动情况的问题, 一类是分析通过的电量问题, 还有一类是分析功能关系问题, 结合上述科学推理的各种方法和形式, 根据前述提出的八种变式模型, 利用科学推理, 逐一归纳其重点和难点, 既可以提高学生分析问题和解决问题的能力, 又可以增强学生科学推理的意识和能力。

2.1 通过组合推理、相关推理、因果推理等推理形式, 归纳得出电磁感应中金属杆运动情况的逻辑链流程图

以基本模型为例, 如图 1 所示, 当金属杆以一定初速度在光滑水平平行轨道上运动时, 满足的物理规律有: 电动势  $E = BLv$  (动生电动势表达式); 电流  $I = E / (R + r)$  (闭合电路欧姆定律); 安培力  $F_A = BIL$  (安培力表达式);  $F_{\text{合}} = F_A = ma$  (牛顿第二定律); 加速度  $a = \Delta v / \Delta t$  (加速度定义式) 等, 从速度影响电动势, 电动势影响电流, 电流影响安培力, 安培力影响合力, 合力影响加速度, 加速度再影响速度, 如此循环, 构成如图 9 所示逻辑链。

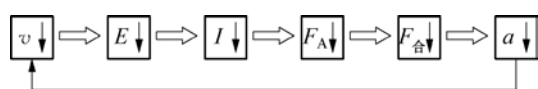


图 9

由上述分析可知, 金属杆的运动情况是加速度

减小的减速运动,直至停止。以上是对基本模型中金属杆运动的分析,对其他情景中金属杆的运动分析可依此类推。

2.2 通过分析与综合、抽象与概括、比较与分类等思维方式,得出变式模型中突出的具体特征以及相应的重点和难点

**模型一**中含摩擦力,突出表现为合力为  $F_{\text{合}} = \mu mg + F_A = ma$ ,杆的运动与基本模型相同。

**模型二**中金属杆在光滑斜面上自由下滑,突出表现为合力  $F_{\text{合}} = mg \sin \theta - F_A = ma$ ,得出如图 10 所示逻辑链,由此可知金属杆在斜面上下滑是加速度减小的加速运动,直到匀速。

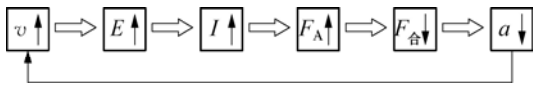


图 10

**模型三**中一般已知金属杆匀速运动,且单位长度电阻为  $r$ ,由此可得到电流  $I = BLv/Lr = Bv/r$  为一定值,或者直接告诉我们电流不变,由平衡条件求得其他力的情况。

**模型四**中突出两个金属杆对应两个电源,电动势相减为  $E = BL(v_1 - v_2)$ ,两杆受到的安培力通常为一个阻力一个动力,具体由左手定则判定,如图 11 所示。

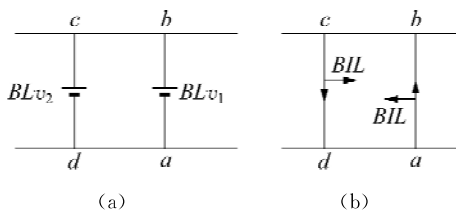


图 11

**模型五**要关注到总电阻的计算,特别要注意到总电流与支路电流的不同,若支路的电流为  $I$ ,在计算安培力时,千万不能直接用  $F_A = BIL$ ,这将是一个难点,教学实践中学生错误较多。

**模型六**所述的闭合电路中,由于电动势  $E = BLv$ ,磁感应强度  $B = B_0 + kx$ ,故电动势将发生变化,若  $B = B_0 + kt$ ,则电动势不仅有  $E = BLv$  的动生电动势,而且将产生感生电动势  $E = kLx$ ,这显然是个理解上的难点,感生电动势的存在容易被忽视。

**模型七**磁场运动时从定性到定量都是难点,首先引起感应电流方向的判定依然是右手定则,但此时右手定则的大拇指指向是金属杆相对磁场运动方

向,而不再是金属杆的速度方向了,再者电动势  $E = BLv$  中的速度  $v$  也不是金属杆的速度,而是相对速度大小了,这两点都是学生容易忽视的难点。

**模型八**中充当发电机的金属杆引起的电动势是产生感应电流的逻辑起因,杆受到的安培力一般做负功,能量变化一般是将机械能转化为电能,充当电动机的金属杆引起的电动势是反电动势,其受到的安培力一般是动力,安培力做正功,将电能转化为机械能,区分好发电机和电动机的不同,对提高学生的理解能力和科学推理能力有极大的帮助。

### 3 提高学生科学论证的意识和能力

通过设置教学中某一特定问题,分析解决问题的多种可能方案,从运动观念、物质观念和能量观念等不同角度加以可行性论证,提高学生科学论证的意识和能力。

科学论证是运用科学证据对所研究的问题进行判断、解释和预测,科学证据可以是实验数据,也可以是理论依据,论证过程包含使用理论依据进行类比、演绎、归纳等推理过程。物理核心素养中包含物理观念,这不仅是核心素养的一个要素,而且为我们解决物理问题提供了不同的思维角度,在物理教学中,可以设置同一问题的多种解决方案,从不同角度进行可行性论证,从而培养学生科学论证的意识和能力。

在电磁感应习题教学中,设置从运动、电量、功能等三个方面解决金属杆运动时间的问题,以问题解决的方案论证为重点,具体举例如下。

问题的提出如下:在变式模型三中,光滑水平轨道,初始杆的速度为  $v_0$  向左运动,在外力作用下杆中电流不变,电阻  $R$  分布在  $MP$  上,其他电阻不计,初始有效长度为  $L$ ,  $MN$  与  $PQ$  夹角  $45^\circ$ ,如图 3 所示,在杆向左运动距离为  $x$  的过程中杆运动时间是多少?可从下面三种途径来分析,通过分析,不仅提高了学生分析问题解决问题的能力,同时也强化了学生科学推理的能力,具体如下:

#### 3.1 从运动观念角度

结合图象类比,通过分析图象中的面积物理含义,从运动学理论依据论证得出求解时间问题的可行方案。

如图 12 所示,速度时间图象中,图线与横轴  $t$  所夹的面积为位移,因为图象中的微元面积等于纵坐标速度  $v$  与横坐标微元时间的乘积,即  $\Delta s = v\Delta t$ ,微元面积即为微小位移,故总面积即为总位移,可以通过求解三角形的面积得到总位移。与此类似,当金

属杆电流不变时,各物理量关系推理如下:电动势  $E = IR$ , 又  $E = Byv$ ,  $y = L - x$ , 得到

$$\frac{1}{v} = \frac{By}{IR} = \frac{B}{IR}(L - x)$$

画出  $1/v - x$  图象,其中微元面积为等于纵坐标速度倒数  $1/v$  与横坐标微元位移的乘积,即  $\Delta S = \Delta x/v$ , 微元面积即为微小时间,故总面积即为总时间,可以通过求解梯形的面积得到总时间,经过论证,这一方案可行。

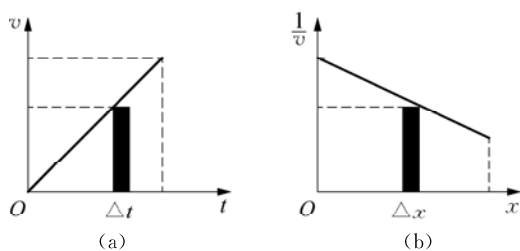


图 12

### 3.2 从物质观念角度

结合演绎推理,通过分析电路中流动的电荷,组合电量的基本表达式和演绎表达式,从电路理论依据论证得出求解时间问题的可行方案。

电路中形成电流的是自由电荷,单位时间通过某个横截面积的电荷总量—电量即为电流,基本表达式中包含时间这一物理量,恰好电路的电流不变,可以使用  $q = It$  这一基本公式,因为电流  $I$  可以通过初始电动势得到,即为已知,若能从另一角度得到电量,则可求得时间。这可以从时间微元变换电流形式演绎得到,演绎如下:

$$\begin{aligned} q &= \sum I \Delta t = \sum \frac{E}{R} \Delta t = \sum \frac{Byv}{R} \Delta t \\ &= \sum \frac{By}{R} \Delta x = \frac{B}{R} \sum y \Delta x \end{aligned}$$

其中  $\sum y \Delta x$  即为金属杆在轨道上移动所扫过的面积,可通过计算梯形面积求得,这样电量可求得,之后代入前面的电量基本表达式,从而可求得时间,经过论证,这一方案也可行。

### 3.3 从能量观念角度

结合演绎推理,通过分析电路的电能和内能,组合电阻的发热和克服安培力做功,从功能关系理论依据论证得出求解时间问题的可行方案。

金属杆运动过程中,安培力做负功,消耗其他形式的能转化为电能,电能通过电阻发热转化为内能,功能关系表现为克服安培力的功等于电阻产生的焦耳热,根据焦耳定律  $Q = I^2 R t$ , 表达式中电流通过

初始电动势可求得,电阻为已知,若焦耳热能得到,则时间问题可以解决。根据焦耳热等于克服安培力的功,即

$$Q = W = \sum BIy \cdot \Delta x = BI \sum y \cdot \Delta x$$

其中  $\sum y \Delta x$  即为金属杆在轨道上移动所扫过的面积,可通过梯形面积求得,这样焦耳热可求得,之后代入前面的焦耳定律表达式,从而可求得时间,经过论证,这一方案也可行。

## 4 提高学生质疑创新的意识和能力

通过设置判断性、条件性、机理性等物理问题,引导学生思考和质疑,分析解决问题的方法,从物理量的转换、条件的揭示和物理机理的深刻认识等方面加以创新,提高学生质疑创新的意识和能力。

质疑创新是科学思维的重要环节,质疑是一种批判性思维,是指对于事物保持好奇心和开放性态度,具有探索精神,对于现象能够反思和质疑,发现问题所在,提出质疑和批判,能基于事实和证据进行检验和修正,进而提出创造性见解。以下从三方面说明培养学生质疑创新能力的做法。

### 4.1 设置判断性物理问题

通过设置判断性物理问题引导学生思考和质疑,从动力学、运动学和电磁学等物理规律进行物理量的转换来解决问题,提高质疑创新的意识和能力。

设置的问题:如图 1 所示,光滑水平金属导轨,金属杆电阻  $r$ , 质量  $m$ , 当给定一个初速度后,金属杆还能运动多远? 学生求解过程如下:

$$E = BLv_0, I = \frac{E}{R+r}, F = \frac{BIL}{2}, F_x = \frac{mv_0^2}{2}$$

求得:  $x = \frac{mv_0(R+r)}{B^2 L^2}$ 。试分析解答是否正确。

学生的质疑:从教学实践来看,学生的第一反应是这样的解答是错误的,因为力做功表达式中直接用了初始力的一半,这个是不对的。

老师的引导:这是一个很好的教学契机,笔者在教学中引导学生寻找安培力与移动距离的关系,如果力与距离不是线性关系,则上述做功的力不能用初始的一半力,如果力与距离是线性关系,则上述解答即为正确解。

学生的创新性检验与修正:学生在老师的引导下兴趣很高,跃跃欲试,得到如下推理过程:

$$F = BIL = B^2 L^2 v / (R+r) = ma$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, v = \Delta x / \Delta t$$

最后得到力与距离的关系式为： $F = \frac{B^2 L^2}{R+r} (v_0 - \frac{B^2 L^2}{m(R+r)} x)$ ，力与距离的确成线性关系，由此可知前面的解答结果正确，但是需要修正过程，把推导力与距离的关系写入解答过程就比较完美了。另外也可以直接从推导的速度与距离关系  $v = v_0 - \frac{B^2 L^2}{m(R+r)} x$ ，令末速度为零，即可得到金属杆的移动最远距离。

#### 4.2 设置条件性物理问题

通过设置条件性物理问题引导学生思考和质疑，从物理规律的成立条件分析问题和解决问题，提高质疑创新的意识和能力。

设置的问题：如图 1 所示，金属杆从离左边距离为  $x_0$  处以某一速度  $v_0$  在光滑的水平轨道上开始运动，磁感应强度为  $B_0$ ，试问：金属杆能否做匀速直线运动？如何实现？

学生的质疑：学生的分析是电动势  $E = BLv$ ，引起电流，产生安培力，使得金属杆减速运动，不可能做匀速直线运动。

老师的引导：老师提示材料，感应电流的产生条件是穿过闭合电路的磁通量发生改变。

学生的创新性检验和修正：在老师的提示下，学生质疑后提出新的观点，可以让磁场发生改变，从而使闭合电路的磁通量不变，这样感应电流为零，安培力为零，金属杆可以做匀速直线运动，即  $B_0 L x_0 = BLx$ ，又  $x = x_0 + v_0 t$ ， $B = B_0 x_0 / (x_0 + v_0 t)$ ，这样不仅回答了原提出的问题即可以让金属杆匀速直线运动，又得出了可能的条件，学生对物理规律成立的条件的认识在对问题的质疑中得到强化。

#### 4.3 设置机理性物理问题

通过设置机理性物理问题引导学生思考和质疑，从物理本质上分析和解决问题，提高质疑创新的意识和能力。

设置的问题：如图 7 所示，若磁场以速度  $v$  向右匀速运动，金属杆固定不动，电路中的电流方向和大小如何？电流产生的原因是什么？

学生的质疑：学生通过金属杆相对磁场向左运动，利用右手定则可以得到电流方向为顺时针方向，电流大小为  $I = BLv / (R+r)$ 。可是对电流的产生原因却无法解释，因为金属杆不动，金属杆里面的自由电子没有定向运动，不受磁场的洛伦兹力作用，没有定向移动形成电流的动力，也就不可能有电流，这与前面分析的有顺时针电流自相矛盾，这也引起了学生的强烈的好奇心。

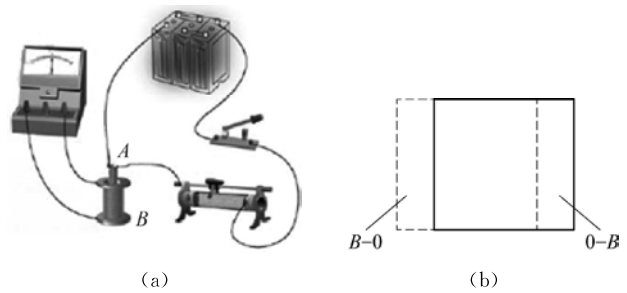


图 13

老师的引导：老师提示材料：教材中如图 13 (a) 所示的实验中，电键闭合瞬间，副线圈 B 中有感应电流产生，回忆一下感应电流产生的原因。

学生的创新性检验和修正：教材中实验可以理解为原线圈 A 中电流的变化引起了磁场的变化，变化的磁场产生电场，这个电场是感应电场，感应电场力正是副线圈 B 中感应电流产生的根本原因，所以本问题可以通过图 13 (b) 来解释，当磁场区域向右移动一段距离时，图中左侧部分的磁场将从 B 变为零，从而引起了感应电场，感应电场力正是感应电流产生的原因。之后老师给出材料：令地面系为 S 系，磁场系为 S' 系，根据电磁场变换式：

$$B'_z = \frac{B_z - \frac{v}{c^2} E_y}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

因为  $v \ll c$ ，所以  $B'_z = B_z = B$ 。

又  $E'_y = \frac{E'_y + v B'_z}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = vB$ ，由此可得，电动势  $E =$

$LvB$ ，电流  $I = BLv / (R+r)$ ，同前所述，形成自洽。

## 5 结束语

经过笔者的教学实践，在电磁感应专题复习中，从构建模型到科学推理，从科学论证到质疑创新，在落实物理学科核心素养，培养学生科学思维能力方面有较好的效果。当然，科学思维能力的培养途径和策略多种多样，值得我们不断研究，只要我们教书育人的目标不变，培养学生能力，提升学生的物理核心素养就绝不是一句空话。

#### 参考文献

- [1] 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] 廖伯琴. 普通高中物理课程标准(2017年版)解读[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.