



# 教学探求本质 命题回归科学

——以电磁感应章节为例

胡志伟

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2022-06-05)

**摘要:**针对高中学生学习感应电动势出现的问题,结合教材的特点和教学现状,给出了一种教学思路,以期引导学生抓住规律的本质,正确理解规律,也为物理教师实施单元教学落实学科核心素养提供一定的思路参考.同时针对目前电磁感应内容命题的问题,提出关于命题的建议与思考.

**关键词:**感应电动势;教学思路;本质;单元教学;命题

在高中物理中,电磁感应内容往往是教学的难点也是重点,学生对产生感应电流、感应电动势的本质理解不清,造成解题上的困难.而当我们去审视教学时,会发现教学的不恰当处理以及命题的不科学性难辞其咎.

## 1 感应电动势教学存在的问题

当穿过闭合回路的磁通量发生变化时,在闭合回路产生感应电动势的现象,为电磁感应现象.而引起闭合回路磁通量变化的原因不止一种,导体保持不动,而磁场变化引起磁通量变化,产生感生电动势;磁场保持不变,而闭合回路的面积变化引起磁通量的变化,产生动生电动势.两种形式的感应电动势都是因为磁通量的变化产生,因此,可以借助法拉第电磁感应定律求解电动势.然而学生对电动势的理解程度如何呢?事实表明大部分学生在没有深入理解感应电动势产生机理的情况下,套用法拉第电磁感应定律,而不明确电动势在导体中的分布,以一道经典的电磁感应题为例.

**【题1】**如图1所示,用均匀导线做成的矩形线框 $abcd$ ,且 $bc = 2ab$ , $ab = 0.2\text{ m}$ ,线框的左半部分放在垂直纸面向里的正方形区域匀强磁场中.当该磁场以 $10\text{ T/s}$ 的变化率均匀增加时,求线框中 $e$ 、 $f$ 两点电势差的大小.

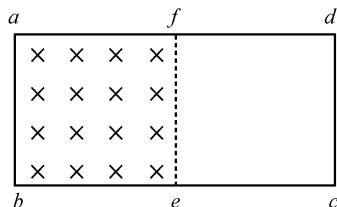


图1 题1题图

该问题受到物理教师们的广泛讨论,在各大杂志上发表的文章众说纷纭,以在《物理教师》杂志发表的《一例有关感生电动势计算的讨论》<sup>[1]</sup>和《感生电动势的理解与应用——对〈物理教师〉一篇论文的质疑》<sup>[2]</sup>为例,文章内容均聚焦于感生电动势产生的原理进行讨论,然而仍然未触及感生电场产生的根本原因,未明确感生电场在空间的具体分布.已有讨论主要存在以下几点误区:

(1) 认为磁场在左侧区域,因此感应电动势只存在左侧区域.

(2) 认为感生电动势均匀分布在整个导体框.

(3) 认为正方形磁场区域中的磁场变化产生的是严格的同心圆感生电场.

感生电动势的实际分布需要根据涡旋电场力对电荷做功来计算,正方形区域的感生电场分布并不是严格的圆形,具体分布可以通过 Matlab 进行模拟得出,也可以依靠对称性进行求解<sup>[3]</sup>,正确结果应为右半部分线框的感生电动势等于总电动势的 $\frac{1}{4}$ .

作者简介:胡志伟(1997-),男,在读硕士研究生,研究方向为物理学科教学.

指导教师:谢元栋(1965-),男,副教授,研究方向为理论物理.

根据麦克斯韦的电磁场理论,变化的磁场激发的电场应该分布在整个空间,感应电动势在整个闭合回路中均存在,而学生容易认为线框左半部分处在磁场中,因此左半部分有电动势,右半部分没有.这是学生套用法拉第电磁感应定律的计算公式而没有充分认识感生电动势的产生机理造成的错误认识.而从感生电动势产生的本质出发,即涡旋电场力充当非静电力做功,产生感生电动势,理解这道题便不难了.

## 2 感应电动势产生的本质

依据麦克斯韦电磁理论,感生电动势的产生本质上是由于变化的磁场能激发出感生电场,导线中的自由电荷受到电场力作用做定向移动,从而产生了感应电流及感应电动势.从大学电磁学的角度出发,感生电场与感应电动势的计算可以依据公式

$$\oint \mathbf{E}_{\text{旋}} d\mathbf{l} = \iint \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} d\mathbf{s}$$

$$\varepsilon_{\text{感}} = \int \mathbf{E}_{\text{感}} d\mathbf{l}$$

在感生电动势中,感生电场驱动自由电子的运动,充当非静电力的作用.感生电场的分布并不是严格的圆形,其分布受磁场边界条件的影响.感生电场线是同心圆的情况是在很苛刻的对称性条件得到满足后才能得到的特例<sup>[4]</sup>,而且正方形磁场区域产生的感生电场也并不是同心圆,而是复杂的形状分布<sup>[5]</sup>.

在稳定的磁场中,由于导体切割磁感线的运动,引起磁通量的变化而产生的感应电动势叫做动生电动势.动生电动势的本质与感生电动势则不同,其是由于导体中的自由电子随着导体棒一起运动,从而受到磁场给带电粒子的洛伦兹力,在洛伦兹力的作用下,自由电子在导体棒中定向移动从而产生感应电动势,因此充当非静电力作用的是洛伦兹力.动生电动势的计算可以依据公式

$$\varepsilon = \oint (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) d\mathbf{l}$$

## 3 关于教学与命题的一些思考

学生对感应电动势的本质理解不清,认为“只有处在磁场中的导线才有感生电动势”,将感应电

动势产生的原因仅仅归结为磁通量的变化只是表层上的认识.物理的教学应注重落实学科核心素养,从物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任等方面着手,而注重和掌握物理规律的本质是物理学习中的重要任务,能培养学生的科学思维,深刻理解物理规律的内涵.

### 3.1 源于教材 高于教材

教材为教学提供了一定的参考,在电磁感应章节,人教版的总体编排思路是“楞次定律、法拉第电磁感应定律、涡流、电磁阻尼和电磁驱动、互感和自感”,在“涡流、电磁阻尼和电磁驱动”板块中呈现了感生电场的内容;粤教版的编排思路为“感应电流的方向、法拉第电磁感应定律、电磁感应定律的应用、互感和自感、涡流现象及其应用”;鲁科版编排思路为“科学探究:感应电流的方向、法拉第电磁感应定律、自感现象和涡流”.

对比不同版本的教材,除了人教版在讲解电磁感应定律时会提及感生电场之外,其他版本并未呈现相关内容,人教版在本章的内容注重循序渐进,由易到难,符合学生的认知规律.虽然这部分内容与法拉第电磁感应定律属于不同小节,然而二者确是因与果、本质与表象的联系,感生电场是产生感生电动势的根本原因.课标对于感生电场的学习要求并不高,然而脱离该部分内容的学习,学生易出现上文提到的对感生电动势在导体中的分布认识不清的问题.

教师在运用教材素材的过程中,要准确分析利用教材插图,如图2和图3所示,人教版和粤教版关于涡流现象的分析插图中,涡旋电流的方向为圆形和正方形,若教师引导不恰当,学生容易形成“涡旋电场都是圆形或者是长方形”的错误认识.同时,教学过程中应该明确感生电场的分布并非一定是同心圆,同心圆的情况是只有在很苛刻的对称性条件得到满足后才能得到的特例.虽然感生电场的定量分析超出高中生的接受范围,但是从定性的角度分析,依然可以帮助学生较好地理解感生电动势产生的原因,避免套用法拉第电磁感应定律而忽视电动势产生的根本原因,用法拉第电磁感应定律得到的电动势是闭合回路产生的总电动势.

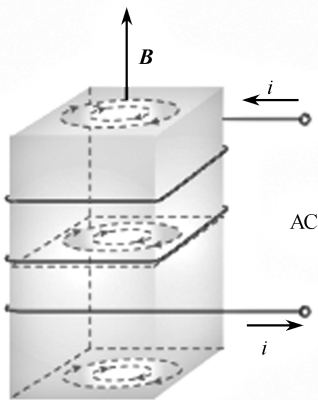


图2 新教材版教材涡流现象分析

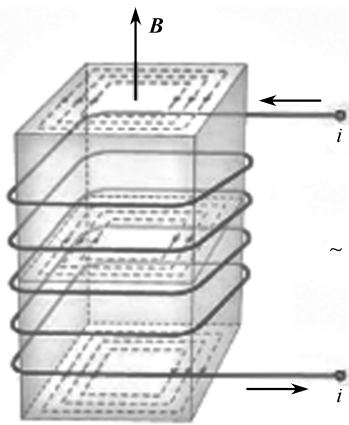


图3 新粤教版教材涡流现象分析

### 3.2 探求本质 优化教法

如果教学能从感应电动势的产生机理出发,而不是浅尝辄止,学生对感应电动势的分布认识也会更加准确深入.在学习感应电动势时,以感生电场作为起点,引导学生认识到自由电子受到感生电场中的非静电力而做定向移动,从而产生感生电动势.在学习“导体切割磁感线时的感应电动势”时,通过分析导体的运动,明确自由电荷受到洛伦兹力的作用而运动,导致导体棒一端的电势高于另一端,从而产生动生电动势.

在学生理解两种不同的感应电动势的产生机理之后,进行一定的归纳与对比,不管是感生电动势还是动生电动势,都可以通过法拉第电磁感应定律进行求解.即使两种感应电动势产生机理并不相同,但是两种电动势相互联系,选择不同的参考系,感生电动势可以认为是动生电动势,动生电动势也可以认为是感生电动势.这样的教学既让学生理解了感应电动势的本质,也让学生领悟了二者的联系,教学并不仅仅要教授知识,更要促进学生思维的成长,教学

中渗透统一性的观念,实现核心素养理念下的“知识教学”向“观念教学”的转变.

近年来,物理单元教学被视为是落实学科核心素养的重要举措,电磁感应教学不仅注重感生电场本质的探讨,更需注重整体思维,带领学生认识感生电动势和动生电动势之间的联系.

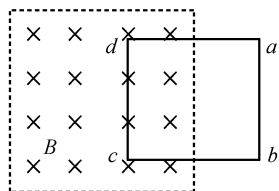
### 3.3 科学命题 创新有据

教学上做出一定突破的同时,命题上也需要做出一定的改进.试题的命制要符合科学性、综合性、创新性、人文性原则,要促进学生发展、联系实际导向性<sup>[6]</sup>.一道好的试题能为学生的学习提供有效的诊断,促进学生的发展,而不是一味地强调拔高,试题的命制提倡创新性,提倡能激发学生的思考,而不是一味地偏爱偏题、怪题,或者出现让学生和教师都无所适从的题目,例如上文呈现的出现在高三复习资料中的试题,竟然让众多一线教师们束手无策或者进行错误解答.

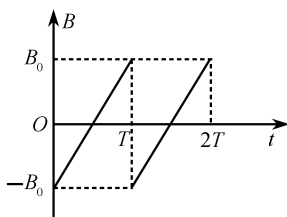
在素质教育导向的今天,教学应该促进学生的发展,培养学生的核心素养,注重试题的规范性,在最近发展区理念下命制试题,才是激发学生思维的最好方法.而上文呈现的经典例题中,让学生求解两端的电势差大小,便不适宜呈现在高中习题中.要计算 $fe$ 两端的电势差值,便会涉及感生电场的计算,以及感生电动势在导体中的分布问题,学生利用已有的知识难以解决,而只能依靠法拉第电磁感应电流计算整个回路产生的总的电动势.

除此之外,在电磁感应相关知识的命题中,也容易出现科学性错误,在高三复习资料中出现的一道题如下.

**【题2】**在如图4(a)所示的虚线框内有匀强磁场,设图4(a)所示磁场方向为正,磁感应强度随时间的变化规律如图4(b)所示.边长为 $l$ 电阻为 $R$ 的正方形均匀线框 $abcd$ 有一半处在磁场中,磁场方向垂直于线框平面,此时线框 $ab$ 边的发热功率为 $P$ ,则( )



(a)



(b)

图4 题2题图

A. 线框中的感应电动势为  $\frac{B_0}{l^2 T}$

B. 线框中感应电流为  $\sqrt{\frac{P}{R}}$

C. 线框  $cd$  边的发热功率为  $\frac{P}{2}$

D.  $c$ 、 $d$  两端电势差  $U_{cd} = \frac{3B_0 l^2}{4T}$

试题解析提供的参考答案为选项 D, 不同形状的磁场区域产生的感生电场的分布各异, 然而试题中并未明确虚线方框的边长面积, 无法确定感生电场的具体分布, 也未明确导线框的具体位置, 故无法计算线框的具体某一边的电势差的大小, 而只能根据磁场的变化率计算出线框的总感应电动势. 这道试题的选项命制不仅超出了高中学生的知识体系, 也出现了科学性错误, 这间接反映出命题者对感生电动势产生机理的错误认知. 试题的呈现在一定程度上, 反而误导了学生. 因此, 提高命题的科学性, 需要命题教师们仔细斟酌, 避免出现试题命制容易出现的五大问题, 即以偏概全、先入为主、百密一疏、无中生有、顾此失彼<sup>[7]</sup>, 也需要授课教师们正确利用

(上接第 135 页)

## 5 总结与教学启示

本选择题情景经典, 设问新颖, 属于“老树开新芽”, 得到了一线教师的一致好评, 有效地落实了物理学科核心素养的考查. 警示了大家靠大量机械刷题考高分在高考中行不通, 尤其在“双减”背景下, 对高中物理教学具有很强的指导性.

纵观全国乙卷物理试题, 命题者很好地落实了“一核”“四层”“四翼”的高考评价体系<sup>[3]</sup>. 对高中物理教学至少有 3 点重要启示: (1) 重点问题、重点方法、经典模型经常考, 常考常新; (2) 重视学科关

键能力培养, 尤其要重视数学能力、空间想象能力、

## 4 总结

电磁感应内容的教学对教师本身专业素质提出较高要求, 教师要从大学物理的高度审视高中物理教学, 引领学生领悟电磁感应的核心, 教学过程注重本质的探求. 在单元教学设计的大背景下, 电磁感应教学值得进一步研究分析, 教师要灵活运用教材素材, 在大概概念统摄下进行教学实践. 要培养学生的核心素养, 教学上要注重教法的灵活运用, 命题上也要注重质量, 避免命题的科学性错误, 不盲目追求难题、怪题, 才能使试题功能最大化.

## 参考文献

- [1] 沈海辉. 一例有关感生电动势计算的讨论[J]. 物理教师, 2014, 35(4): 63-64.
- [2] 董友军. 感生电动势的理解与应用——对《物理教师》一篇论文的质疑[J]. 物理教学探讨, 2015, 33(8): 70-72.
- [3] 王松涛. 构造虚拟闭合电路求解感生电动势[J]. 物理通报, 2015(S2): 28-30.
- [4] 毛全宁, 周雨青. 应该重视感生(涡旋)电场的方向性教学[J]. 物理与工程, 2013, 23(6): 12-14.
- [5] 桑芝芳. 导体回路中感应电动势是如何分布的[J]. 物理通报, 2010(2): 8-11.
- [6] 童秀平. 两道试题引发的对高中物理试题命制的探讨[J]. 读写算(教研版), 2015(18): 381-381.
- [7] 林厦门, 饶华东. 基于高考评价体系的物理试题命制实例分析[J]. 物理通报, 2022(1): 136-139.

键能力培养, 尤其要重视数学能力、空间想象能力、图像处理问题能力、模型构建能力、质疑创新能力、设计实验探究方案能力; (3) 关注物理知识“应用性”, 将所学知识紧密联系生产生活和科学技术发展.

## 参考文献

- [1] 张晓琳, 时子豪, 孟岩. 树立科学思维方式 提高科学思维能力——2021年北京高考物理第20题释疑[J]. 物理教师, 2021, 13(3): 81-83.
- [2] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [3] 教育部考试中心. 中国高考评价体系[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020.