

# 应用物理类专业电磁学课程教学内容改革\*

贾瑞皋<sup>1, †</sup> 柯善哲<sup>2</sup> 吴寿镛<sup>3</sup> 马光群<sup>2</sup>

( 1 石油大学(华东)物理科学与技术学院 东营 257061 )

( 2 南京大学物理系 南京 210093 )

( 3 西安交通大学理学院 西安 710049 )

**摘要** 应用物理类专业的培养目标是培养物理学应用型人才. 物理学应用型人才是具备实验物理学家和工程师双重素质的复合型人才. 物理学应用型人才应着重技术创新和应用能力的培养. 应编写区别于物理学专业的、适应应用物理类专业特点的课程教材. 应用物理类专业《电磁学》教材遵循电磁理论发展顺序的体系能体现理论发展的规律, 符合普通物理的特点、要求和教学目标. 文章论述了应用物理类专业课程教学内容改革的指导思想, 介绍了我国第一套适应应用物理专业的面向 21 世纪的《电磁学》教材的特点.

**关键词** 电磁学教材, 应用物理, 创新

## Reform of the electromagnetism curriculum for applied physics majors

JIA Rui-Gao<sup>1, †</sup> KE Shan-Zhe<sup>2</sup> WU Shou-Huang<sup>3</sup> MA Guang-Qun<sup>2</sup>

( 1 School of Physics and Technology, University of Petroleum( East China ), Dongying 257061, China )

( 2 Department of Physic, Nanjing University, Nanjing 210093, China )

( 3 School of Science, Xian Jiaotong University, Xi'an 710049, China )

**Abstract** The guiding concepts underlying the reform of the electromagnetism curriculum for applied physics majors is discussed. The advantages of the traditional system and the features of the new "Electromagnetism" are analyzed.

**Key words** teaching electromagnetism, applied physics, new ideas

### 1 引言

1992 年, 国家教委颁布了《高等学校应用物理类专业基本培养规格和教学基本要求》文件. 这个文件对规范应用物理类专业的教学起了积极的作用. 1995 年, 南京大学、西安交通大学、武汉大学、石油大学(华东)、华东理工大学共同承担了教育部《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》02-02-6 项目《应用物理类专业教学内容和课程体系改革研究》. 项目组对国内外物理学专业和应用物理类专业的现状以及国民经济发展对应用物理类专业教学改革的要求进行了认真的调查和分析研究, 并在此基础上提出了应用物理类专业教

学改革的指导思想. 在这些思想的指导下, 贾瑞皋教授主编了适应应用物理类专业的《电磁学》教材, 它是高等教育出版社出版的第一套适应应用物理类专业的面向 21 世纪课程教材中的一本.

### 2 应用物理类专业教学改革的指导思想

20 世纪 80 年代以来, 很多学校开办了应用物理类专业. 由于各校的办学初衷和条件不同, 办学水平和教学情况差别较大, 目前, 带有普遍性的问题

\* 教育部高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划 (批准号 02-06-6) 资助项目

2003-04-30 收到初稿 2003-09-01 修回

† 通讯联系人. E-mail: jiang@mail.hdpu.edu.cn

是:应用物理类专业与物理学专业的培养方案没有实质上的差别,或者走到另一个极端,和工科相关专业很相近,物理学应用型人才与物理学基础型人才分流培养的力度不够;应用物理类专业也多采用物理学专业的教材。物理学专业培养做知识创新工作的物理学基础型人才,应用物理学专业培养物理学应用型人才,两者的培养规格和教学内容应有所区别。物理类应用型人才主要从事技术创新工作,应有较好的物理基础,了解物理知识的创新进展,参加应用基础研究,能做高新技术开发工作。物理学应用型人才在物理知识转化为现实生产力的过程中起关键作用。因此,物理学应用型人才应着重技术创新和应用能力的培养。贯彻素质教育,应加强应用物理类专业学生的应用素质培养。物理学应用型人才的创新能力,主要表现在对物理规律的初创式开发应用及对先进技术的消化吸收和改革提高方面。应用型人才的培养还要解决好学生毕业后对工作的前期适应性问题。应用物理类专业的培养规格应介于物理学基础型人才和相关工程技术人才之间,兼取两头的所长。这种人才是具备实验物理学家和工程师双重素质的复合型人才。原有的普通物理教材没有注重适应培养应用能力的需要。因此,编写适应应用物理类专业基本培养规格要求的教材是落实专业教学改革计划的重要环节。

### 3 应用物理类专业《电磁学》教材的内容体系

根据应用物理学专业基本培养规格和教学基本要求,以及电磁学课程在应用物理学专业课程结构中的地位和作用,确定《电磁学》教材的基本内容包括真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、恒定电流、恒定磁场及运动电荷的电磁场、磁介质、电磁感应、电磁场和电磁波等基本内容;为了提高教学适用性及适应不同学校之间的差别,基本内容以外的部分,如电磁学原理在工程实际中的应用、对称性原理在电磁学中的应用等内容冠以星号或作为阅读材料排印,以供不同学校教师选教或学生选择自学。考虑到应用物理专业都设有电工技术类课程,交流电不再作为本书的内容。

应用物理类专业《电磁学》教材的内容体系可有两种选择:其一是从麦克斯韦方程组出发,讲述电磁场及其规律。向前,把静电场、恒定电流磁场的规

律作为麦克斯韦电磁场理论的特例,向后讲述法拉第电磁感应和电磁波。这样看起来改革力度比较大,但整体上系统性和逻辑性不够协调,前面大、后面小,显得有些虎头蛇尾。其实这种体系不符合普通物理应注重感性认识的特点和要求。从方法论的角度上看,普通物理应以归纳法为主,理论物理应以演绎法为主。其二是基本遵循电磁理论这门学科发展顺序的体系,这样能体现理论发展的规律,也符合从感性认识上升到理性认识的认识规律,并能使学生在学物理知识的同时,了解科学家是如何发现问题、提出问题、解决问题和创造理论的,从而培养学生的科学思维方法、创新意识和创新能力。如果结合当时应用电磁学理论成果取得的技术发明成果进行介绍,则能很好地体现物理学理论和原理的初创式开发应用形成了当时的高新技术的结论,生动地体现理论和实践的关系。这有利于培养学生理论联系实际、应用理论解决实际问题的意识和方法。任何理论都不是终极真理,都有其适用条件和局限性,甚至会受到诘难。而恰恰是这些局限性和诘难形成了科学问题。科学问题是科学发展的动力。扩大理论的适用范围,冲破其局限性,特别是在更深层次上解决原有理论受到的诘难,这就能创造出新的理论。电磁学的发展史中很多实例很好地体现了这一科学哲学观点。这正是作者采用第二种内容体系的原因。

### 4 应用物理类专业《电磁学》教材的特点

任何作者都应竭力塑造自己所编写教材的特色。由于指导思想、教学方法、主要对象和各种具体条件的不同,不同教材的特点也不同。为适应培养应用型人才的需要,应用物理类专业《电磁学》教材具有以下几个特点:

(1)精选内容:根据强化基础、反映前沿的原则精选内容。以基本内容为主导,与基本内容相距较远、需要较多数理准备才能讲的前沿发展不宜纳入基础课教学内容。有些前沿发展不宜详细介绍,仅留窗口。减少与中学物理不必要的重复,处理好与电动力的分工和衔接。适当应用已学过的高等数学作为讨论物理问题的手段,实现物理和数学的互动。尽量多采用新材料、新方法,力争使理论、资料、数据等能反映学科的新成果。努力做到与其他课程的相互渗透。对传统内容尽可能用近代物理观点进行审视、

讲述,或用传统观点讲述后,再提高到近代物理的认识上.例如基本电现象、基本磁现象、电磁感应实验方法等内容在中学已详细讲述,本书中不再出现.动生电动势和感生电动势在不考虑相对论情况下是两个不同的电磁现象,而两者的统一是在相对论条件下电磁场变换的必然结果,故书中作了一些介绍.对电势零点的选取原则、随时间变化的磁场的无源性、位移电流中各项的物理本质、电磁场的边值关系、抗磁性的机理等基本内容给出了更详细的论述.巨磁电阻效应、磁电子学、磁光效应、电流变液等不仅是物理学发展的新成果,而且是当代高新技术的重要发源地,应该在教学内容中得到反映.

(2) 加强应用:以电磁学的基本概念和基本规律为主题,加强理论联系实际,培养应用理论解决实际问题的能力.应用能力应包括对基本原理和基本规律的开发应用能力,也包括把工程实际问题简化归纳为理想模型、分析使用理想模型会带来多大误差、在一定误差要求条件下如何建立和选择理想模型的能力.为适应应用物理学专业基本培养规格的需要,应用物理类专业《电磁学》教材在加强应用方面做了很大努力.“电磁学与当代高新技术”单列一章.由于电磁场的边值关系在定性分析界面处的电磁场分布、物理模型的建立、电磁场的数值计算等工程实际中有重要应用,应用物理类专业《电磁学》教材明显增加了这部分内容.结合各节内容介绍电磁学在高新技术中的应用.电磁学中多次涉及点电荷、无限大、无限长等理想模型,应用物理类专业《电磁学》教材以无限长螺线管的判据为例,讲述了理想模型在实际中的应用和分析方法.

(3) 培养素质:除注意论述的科学性和严密性外,特别注重科学素质的培养.对于电磁学理论,不是简单的灌输,而是在原有理论的基础上,从发现问题、提出问题到解决问题,分析理论发展的必要性.突出解决问题的方法和思路,假设的提出和意义,新理论成立的条件和局限性,新理论的建立和验证,以及新理论的成功和应用等.使学生不仅学到电磁学理论,而且培养学生的科学思想方法、思辨能力和创新意识.物理上很多重要发现,例如电流的磁效应和电磁波的发现具有一定“偶然性”.实际上能够获得这些重要发现,起决定作用的是科学家的科学素质.

应用物理类专业《电磁学》教材具有广泛的教學适用性.考虑到各校学时差别较大、富有个性,对于冠星号内容、阅读材料和附录,教师可根据具体情况取舍和适当增加有关内容.本教材便于学生独立

阅读和自学,这有助于培养学生读书的习惯,培养学生独立获取知识的能力.本书也是工科大学物理教师、在职科技人员和自学青年的参考书.

## 5 应用物理类专业《电磁学》教材中几处改进和创新

应用物理类专业《电磁学》教材反映了作者多年的教学经验,书中有多处改进和创新,列举几例,以供参考.

### 5.1 静电平衡过程的弛豫时间

全部电磁学和工科大学物理教材在讲到静电平衡时只讲达到静电平衡以后的电场及电荷的分布等规律,并且指出静电平衡条件对各种材料的导体都成立,即不同材料的导体没有区别.静电平衡是一种状态,例如,从使导体带电到达到静电平衡必定经历一个过程,问题是这个过程经历了多长时间?经历的时间与哪些因素有关?应用物理类专业《电磁学》教材给出了分析,其结论是:导体中的电荷密度随时间的变化关系为  $\rho = \rho_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ , 其中  $\rho_0$  是  $t=0$  时刻的电荷密度,对一般金属导体,特征时间为  $\tau = \frac{\epsilon}{\gamma} \approx 10^{-19} \text{ s}$  的量级.  $\gamma$ 、 $\epsilon$  分别为导体的电导率和电容率,分别表示材料的传导特性和极化特性,它们共同确定材料的电学性质.可见静电平衡过程的弛豫时间取决于导体的性质.之所以在一般情况下可以不区分不同材料的导体,而认为金属导体的静电平衡过程是瞬态过程,是因为通常情况下  $10^{-19} \text{ s}$  左右量级的时间是可以忽略的.但并非任何情况下弛豫时间都可以忽略,只有当问题涉及的时间  $t$  远大于特征时间  $\tau$  时才可以当成瞬态过程,否则必须考虑弛豫时间.这也说明,一种材料表现为导体还是电介质的性质与具体问题有关.在高频情况下,如果周期  $T \geq \tau$ , 可视为导体;如果周期  $T \leq \tau$ , 则应视为电介质.在 X 射线频率 ( $\approx 10^{19} \text{ Hz}$ ) 时,铜的性质也表现为电介质的性质,所以 X 射线可用于金属探伤.

### 5.2 位移电流密度中 $\frac{\partial P}{\partial t}$ 的意义

位移电流密度  $\frac{\partial D}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial t}$ , 式中  $\epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$  与电

场的时间变化率相联系,  $\frac{\partial P}{\partial t}$  是极化电荷的运动形成的极化电流密度.在晶体(例如氯化钠晶体薄膜)中,不可能总是能明确地辨认出“分子电偶极矩”,如图 1 所示<sup>[1]</sup>.对于离子晶体,如果把相邻的两个

正、负离子认为是具有电偶极矩的分子,余下的电荷只能认为是“自由电荷”。图 1(a)说明介质中有方向向下的极化强度,同时上部有正的自由电荷,下部有负的自由电荷,介质中的宏观电场为零。图 1(b)说明介质中有方向向上的极化强度,同时下部有正的自由电荷,上部有负的自由电荷,介质中的宏观电场也为零。两种描述在物理上是等价的。也可以想像出极化强度等于零,没有自由电荷的描述。因此,在原子世界里,束缚电荷与自由电荷的区分或多或少带有一些任意性,极化电流与传导电流没有本质的区别,如果愿意,可以统称为传导电流。所以方程

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S (\mathbf{j}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S}$$

$$= \int_S (\mathbf{j}_0 + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S} + \int_S \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

表示传导电流  $\mathbf{j}_0 + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t}$  和  $\epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$  激发磁场的规律是相同的。在真空中  $\mathbf{j}_0 + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} = 0$ , 只有  $\epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$  激发磁场, 所以  $\epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$  是位移电流的核心。

极化电流和传导电流实际上的区别是“不可能有稳恒的极化电流”。所以应当区分极化电流和传导电流,而把磁场的环路定理写成

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S (\mathbf{j}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S}$$

$$= \int_S (\mathbf{j}_0 + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S}.$$

### 5.3 随时间变化的磁场的无源性的证明

全部电磁学和工科大学物理教材在讲到麦克斯韦方程组时,根据经典电磁学不承认磁单极的存在,直接把恒定磁场的高斯定理  $\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$  推广到普遍情况。静电场的环路定理  $\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$  是可以证明的,不能把静电场的环路定理  $\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$  推广到变化的磁场激发的感应电场。变化的磁场激发的感应电场的环路定理为  $\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$ , 有法拉第电磁感应定律保证。为什么不承认磁单极的存在就可以直接把恒定磁场的高斯定理  $\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$  推广到普遍情况呢? 这样的直接推广显得缺乏根据。在理论体系上,这样直接推广也相当于增加了一条基本假设。其实,随时间变化的磁场遵守  $\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$

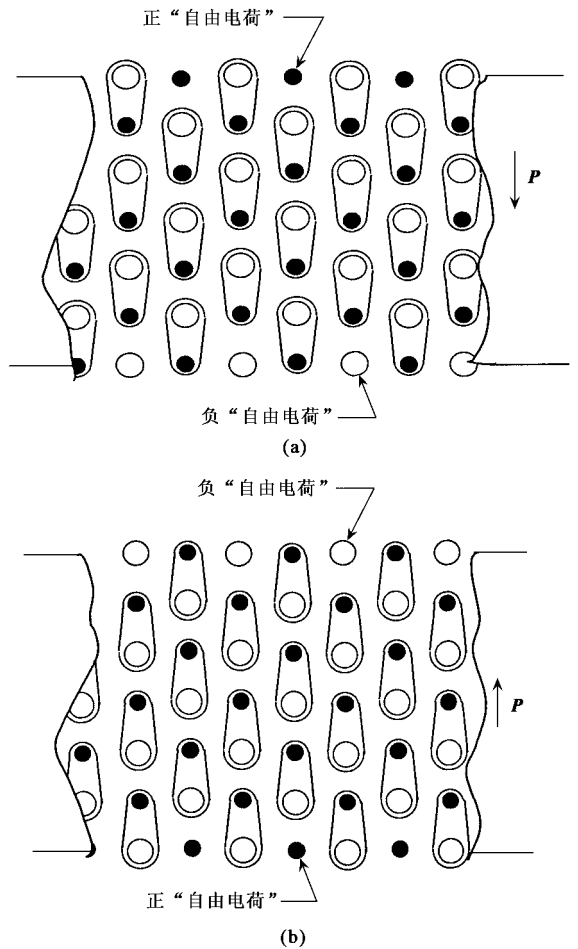


图 1 同一离子晶体介质的两种等价描述

也是可以证明的。应用物理专业《电磁学》给出了变化的磁场遵守  $\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$  的一个证明。这样使得  $\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$  成为在毕-萨定律、磁场的叠加原理和法拉第电磁感应定律基础上推导出的一个定理。

### 5.4 抗磁性的经典解释

应用物理类专业《电磁学》教材导出无矩分子电子轨道角动量在外磁场作用下产生的进动角速度为  $\omega = \frac{e}{2m} B_0$ , 从而说明附加磁矩与外磁场成正比且反向,不但解释了抗磁性的机理,而且给出一个力学在电磁学中的应用实例。这样对加强不同课程之间的相互渗透和启发学生应用所学知识解决问题都有好处。

### 5.5 电场和磁场的能量密度公式

应用物理类专业《电磁学》教材和工科大学物理教材在由简单情况下得出电场的能量密度公式和磁场的能量密度公式后说:“可以证明”它(们)对于变化的电场(变化的磁场)也适用。笔者曾多次问学

生,你对“可以证明”4个字是理解为“理论可以证明”还是“实验可以证明”.学生都回答说“理论可以证明”.实际上恰恰相反,单用理论不能证明,它们是假设,其正确性必须得到实验直接或间接的证明.当然讲清楚上述问题超出本课程的范围,但应注意不要给学生造成误会.为此,应用物理类专业《电磁学》教材在冠星号部分回答了这个问题,以便消除这个误会.

### 5.6 对称性原理在电磁学中的应用

应用静电场的高斯定理可以求有特殊对称性的电荷产生的电场,应用恒定磁场的环路定理可以求有特殊对称性的电流产生的磁场.这很容易使学生产生一个误会.静电场的高斯定理等价于库仑定律和电场的叠加原理,恒定磁场的环路定理等价于毕-萨定律和磁场的叠加原理.为此,应用物理类专业《电磁学》以阅读材料的形式增加了“对称性原理及其在电磁学中的应用内容”,它不仅能使理解为什么对称的电荷(电流)产生对称的电场(磁场),而且能使理解对称性原理对物理学定律的约束和限制.自然规律是分层次的,对称性原理是自然界中更基本、更高层次的规律.如果掌握了对称性原理及应用对称性原理分析问题的方法,在不知道具体物理规律条件下,也能在很多情况下得到很有用的结论.

### 5.7 电磁感应和电磁场的统一性

电磁感应和电磁学中占很重要的地位.动生电动势和感生电动势在某些情况下可以通过坐标变换统一起来,例如条形磁铁插入螺线管中产生的电动势.有的情况在不同坐标系中分析可以得到完全相反的结论,例如在均匀恒定磁场中运动的导体两端的电荷积累.动生电动势和感生电动势对应性质完全不同的非静电力,是两种性质完全不同的物理现象,这也正是麦克斯韦提出感应电场假设的根据.性质完全不同的物理现象怎么能够通过坐标变换的手段统一起来呢?同一物理过程在不同坐标系中分析

得到不同的结论,这很像维恩公式和瑞利-金斯公式关于黑体辐射问题的结论.这些现象正反映了经典电磁理论的局限性.历史上正是这样类似问题的提出和解决促使了科学的发展.认真分析这些问题,既可以加深学生对电磁感应的理解,又可以培养学生发现问题、提出问题的能力,也可以加深学生对科学问题是科学发展的动力的科学哲学观点的理解.

### 5.8 选取电势参考点的原则

电势参考点的选取具有一定的任意性,但又不是完全任意的.应用物理类专业《电磁学》提出选取电势参考点的原则是:使电场中任意确定点的电势具有确定的有限值的前提下,能使电势函数的数学解析式最简单的参考点是最恰当的参考点.应用物理类专业《电磁学》教材详细论述了这一原则,并给出确定最恰当的参考点的一般方法.

### 5.9 加强边值关系的论述

从培养应用型人才的角度,对各种不同介质界面处电场和磁场分布的定性分析是非常重要的.应用物理类专业《电磁学》加强了这部分内容.

### 5.10 文字特点

应用物理类专业《电磁学》教材不采用多数教材采用的第一人称的写法,而采用科技论文的习惯写法,希望学生在阅读本书的过程中,逐渐熟悉科技论文的语言习惯,培养学生写科技论文的能力.

本书的编者在编写过程中虽然做了较多努力,但在这样一件带有创新性的工作中,难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正.

## 参 考 文 献

- [1] E. M. 珀塞尔著.南开大学物理系译.电磁学(伯克利物理学教程第2卷).北京:科学出版社,1979.422—428[E. M. Purcell. Nankai University Dept. of Physics trans. Electricity and magnetism (《Berkeley Physics Course》,Vol. 2). Beijing: Science Press, 1979. 422—428(in Chinese)]

## 更 正

本刊2004年第1期第72页刊登了《美国物理学会(APS)关于学术道德和价值观的声明:APS关于职业道德行为的道德守则》译文,应文章译者庆承瑞研究员的要求,补充文章的致谢如下:

“这一守则译文曾得到美国物理学会(APS)主席 Myriam P. Sarachik 教授的同意,并通过她请到章义朋(Ngee Pong Chang)教授对译文作了修改和润色.此外,高等科技中心的王垂林教授也为译文增色不少.译者感谢他们两位的修改和有益的帮助.”

特此补充.

《物理》编辑部