

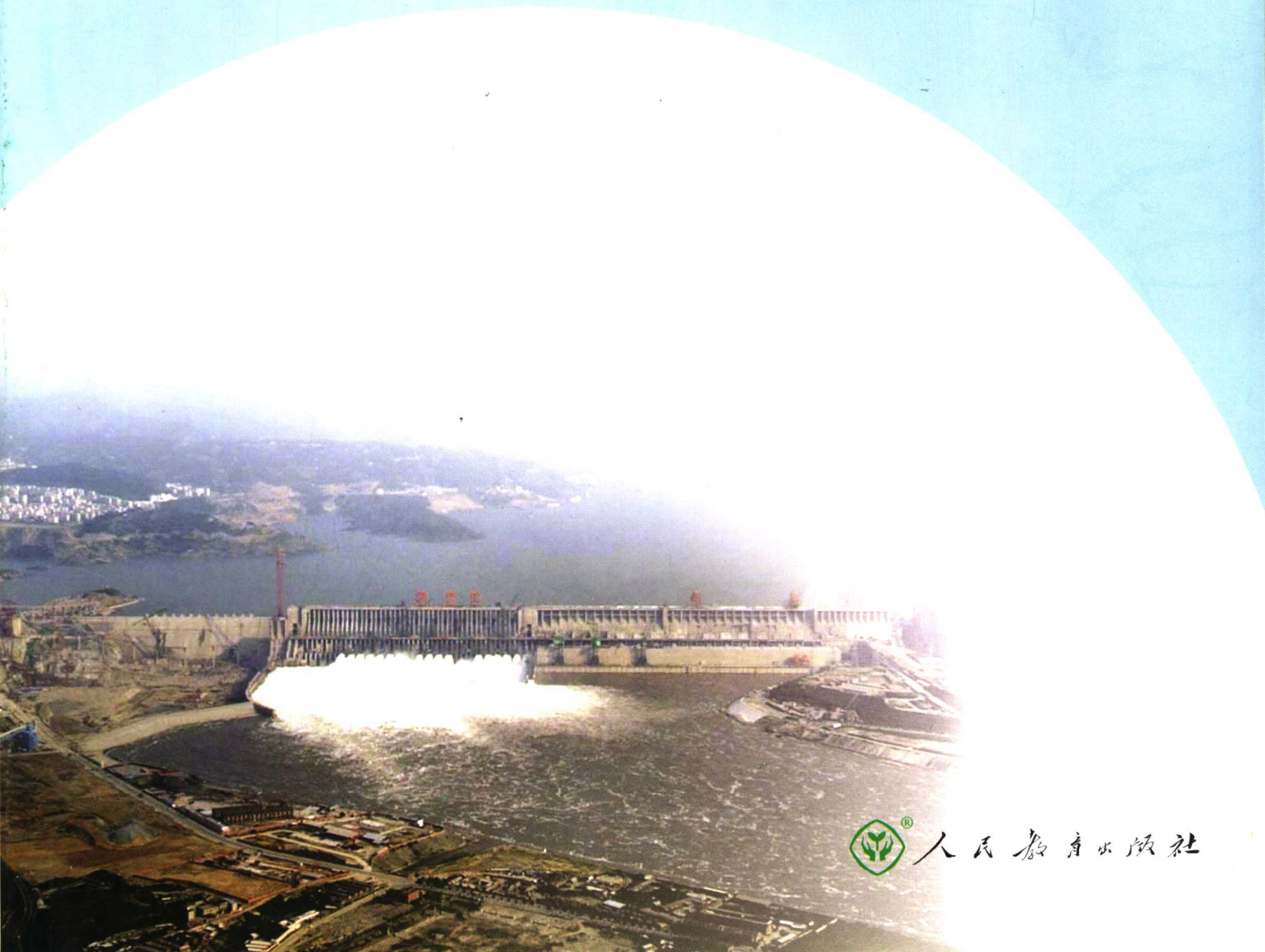
普通高中课程标准实验教科书

# 物理

选修 3-2

## 教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所 编著  
物理课程教材研究开发中心



人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

# 物 理

选修 3-2

---

## 教师教学用书

---

人民教育出版社 课程教材研究所  
物理课程教材研究开发中心 编著

人民教育出版社

策 划:彭前程  
主 编:周誉蔼  
编写人员:唐 掣(第四章)  
          王 琦(第五章)  
          刘彬生(第六章)  
          汪维澄(实验)  
责任编辑:孙 新  
终 审:彭前程  
绘 图:刘 菊  
版式设计:马迎莺

普通高中课程标准实验教科书

物理选修 3-2

教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所 编著  
物理课程教材研究开发中心

\*

人民教育出版社 出版发行

网址:<http://www.pep.com.cn>

北京天宇星印刷厂印装 全国新华书店经销

\*

开本:890毫米×1240毫米 1/16 印张:5.5 字数:135 000

2005年6月第1版 2005年12月第2次印刷

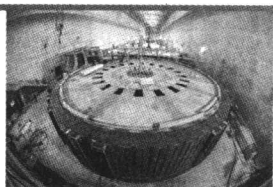
ISBN 7-107-18711-2 定价:5.60元  
G·11801(课)

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版科联系调换。


(联系地址:北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编:100081)

# 目 录


---

<b>第四章 电磁感应</b>	1	
一、教科书的编写意图	1	
二、教学要求与建议	3	
三、问题与练习解答	18	
四、教学参考资料	23	

---

<b>第五章 交变电流</b>	46	
一、教科书的编写意图	46	
二、教学要求与建议	46	
三、问题与练习解答	53	
四、教学参考资料	57	

---

<b>第六章 传感器</b>	65	
一、教科书的编写意图	65	
二、教学要求与建议	66	
三、问题与练习解答	73	
四、教学参考资料	76	

# 第四章 电磁感应



## 一、教科书的编写意图

### 1. 重视电磁感应现象发现的历史

人类在探索丰富多彩、繁杂纷乱的自然现象的奥秘过程中建立了许多学科，物理学是研究自然界各种最基本的运动形态的学科。从某种意义上说，物理学的历史就是寻找不同自然现象之间的联系，追求统一解释的历史。牛顿创建经典力学理论（牛顿运动定律、万有引力定律）统一解释了天体的运动和地面上物体的运动。长期以来，电和磁一直作为没有联系的两个自然现象，奥斯特、法拉第等科学家在“自然力统一”思想的影响下发现了“电生磁”和“磁生电”，打开了电和磁联系的大门。经过麦克斯韦的进一步研究，建立了电磁理论，统一解释了各种电磁现象。

牛顿的力学理论构建了一幅自然界的机械运动图景，这是人类对自然现象的第一次大综合。从奥斯特、法拉第到麦克斯韦的电磁理论构建了自然界另一幅图景，即电磁运动的图景，这是人类对自然现象的第二次大综合。从这个角度考虑，编者由奥斯特的“电生磁”说起，阐述了法拉第发现电磁感应现象这一划时代的成果。

法拉第的思想非常深刻，具有高度的创造性和想象力。他在“自然力统一”思想的影响下，提出具有近距离作用“场”的观点，并经过艰苦努力，终于做出了他一生中最大的发现——电磁感应定律。编者通过课文和“科学足迹”栏目，介绍了法拉第的科学思想方法和他淡泊名利、献身科学事业的普通劳动者的一生。学生能从法拉第的信念、科学思想和方法、艰苦奋斗不慕荣华富贵的高尚品质中受到教益。

在“科学足迹”栏目中还介绍了法拉第关心他的发现对社会进步的影响。法拉第在奥斯特发现的基础上，巧妙利用电流与磁极间作用力的特征做了“电磁旋转实验”，使通电导线能绕磁棒连续转动和磁棒绕通电导线连续转动，实现了电能向机械能的转化，这就是人类历史上第一台电动机的雏型。

法拉第发现电磁感应现象的第一个实验是关于互感现象的实验，他所用的铁环上绕两组线圈就是变压器的雏型。法拉第利用电磁感应现象，发明了人类历史上第一台发电机——圆盘发电机，实现了机械能向电能的转化。近一百多年来人类社会的发展，充分说明电磁感应现象的发现对社会进步的积极推动作用。

### 2. 注意揭示电磁感应现象的物理本质

物理学追求认识自然界最普遍、最基本的规律。学生学习物理，就要注意养成追根问底、悟物穷理的思维习惯，这有利于提高学生的理性思维能力。教材注意逐步展开电磁感应现象的发现和过程，使学生对电磁感应现象的认识逐步由现象深入其物理本质。

首先，归纳实验现象，说明电磁感应现象的特征是闭合电路中出现了感应电流，条件是穿过闭合电路的磁通量发生变化。这一过程中需要注意，电磁感应现象是在变化、运动过程中出

现的效应，引起感应电流的各种变化、运动的形式多种多样，但都可归结为“穿过闭合电路的磁通量的变化”。与静电感应不同，电磁感应现象不是一种静态效应。

其次，根据闭合电路欧姆定律，闭合电路中的电流是由电动势产生的。因此，感应电流是由闭合电路中的感应电动势产生的。感应电流的大小除了与感应电动势大小有关外，还与闭合电路的电阻有关。穿过闭合电路磁通量的变化要产生感应电动势，由此在闭合电路中就会有感应电流产生。我们对电磁感应现象的表述可从“只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就有感应电流产生”，进一步表述为“只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就产生感应电动势”。

感应电动势的大小和方向是法拉第电磁感应定律的内容，为便于学生接受和理解，教材先叙述的法拉第电磁感应定律只说明了感应电动势的大小与磁通量变化率之间的关系。楞次定律是电磁感应定律的一部分，教材把它放在法拉第电磁感应定律之后，目的是用来说明如何判断感应电动势的方向问题。感应电流的方向就是感应电动势的方向。

最后，教材设置了“感生电动势和动生电动势”一节内容，说明产生感应电动势的非静电力的本质，使学生对电磁感应现象的认识又上升到一个新的高度。在《物理选修3-1》中，学生学习了电动势的本质是非静电力移动电荷做功，自然会追问感应电动势的本质是什么呢？考虑到随时间变化的磁场产生涡旋电场是电磁感应规律的核心内容，也是麦克斯韦电磁场理论基本方程的内容，它鲜明地显示了磁场与电场的联系。教材介绍了感生电动势的本质是涡旋电场力，不过应该注意到，它对感生电动势的介绍是粗浅的、形象的，它只要求学生对此有初步的认识即可。教材对动生电动势的本质用洛伦兹力做了具体的分析、说明，在学生学习了洛伦兹力之后，导线切割磁感线运动产生动生电动势的机理就不难理解了。

### 3. 重视理论联系实际

电磁感应现象的应用非常广泛，教材注意让学生了解其多方面的应用。

在“做一做”栏目中介绍了摇绳发电，使学生对电磁感应现象感到亲近、可操作，并能引起学习兴趣。介绍有关反电动势的内容时，分析直流电动机中反电动势的作用。另外，通过“问题与练习”，让学生了解有关动圈式扬声器也可当话筒用；绳系卫星的缆绳中能产生感应电动势；电磁流量计的测量原理；法拉第圆盘发电机的原理等。在学生了解感生电场的基础上，教材介绍了电子感应加速器的基本构造和原理。

互感现象和自感现象是常见的电磁感应现象，教材注意联系多种自感现象的实例。涡流是在金属块中产生的感应电流，这是与电路中产生感应电流不同的另一类电磁感应现象。涡流的重要性表现在：它能造成危害，但又有很多有益的应用。教材在理论联系实际方面做了比较系统的介绍，如教材先介绍涡流的热效应和磁效应的各种应用，接着又介绍了涡流的机械效应，即电磁阻尼和电磁驱动的各种应用。

### 4. 提供学生自主学习、教学方式多样化的条件

划时代的发现一节提供了丰富、生动的历史资料，它能激发学生的兴趣，引起学生的思考，并认真阅读更多的资料。

探究电磁感应的产生条件一节设置了一个探究活动。学生在自主探究过程中会出现各种想法，提出各种问题，甚至会提出课本没有涉及的许多实验方案，教学中应该多鼓励，不要对此加以限制。目的让学生广开思路、大胆实践、独立思考、互相切磋，最后归纳出产生感应电流的条件。

楞次定律一节，教材注意通过实验，引导学生归纳出楞次定律，教材的陈述可使学生自己

动手做实验，归纳出判断感应电流方向的规律，体验科学探究的过程。

为学生独立思考创造条件，教材从第3节到第7节为引入课题、点拨课题和总结课题等目的设置了多项“思考与讨论”栏目，提出了重要的问题，引导学生独立思考，逐步达到对问题更透彻的理解。“思考与讨论”栏目是教材内容重要的组成部分，与过去的教材相比，留给学生足够的思考空间。

### 5. 落实“三维”目标的有机融合

应该看到，初、高中阶段，学生对电磁感应现象的理解经历了四个阶段：

初中关于电磁感应现象的描述是：闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，导体中就产生电流，这种现象叫做电磁感应，产生的电流叫做感应电流。另一种更简单的表述是：由于导体在磁场中运动而产生电流的现象，是一种电磁感应现象，产生的电流叫做感应电流。这是认识电磁感应现象的第一个阶段。

在高中阶段，让学生通过实验，发现：尽管导体与磁场之间没有位置的相对变化，只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就有感应电流产生。法拉第电磁感应定律概括了初中所学的内容，真正揭示了产生感应电流的条件是穿过闭合电路中的磁通量发生变化。明确了电路中感应电动势的大小跟穿过这一闭合电路的磁通量的变化率成正比，以及感应电流的方向与磁通量变化的关系。这是认识电磁感应现象的第二个阶段。

在学习《物理选修3-4》的电磁振荡和电磁波的知识时，将提出电磁场的概念，这样，就对电磁感应现象做了本质的解释。至此，在初、高中阶段对电磁感应现象的认识相对来说提高了一大步。

从能的转化与守恒的观点看，电磁感应现象是把其他形式的能转化为电能的过程。

本章的内容主要是讲述电磁感应现象的产生，确定感应电动势的大小和方向的一般规律，以及电磁感应现象在现实生活中的应用。电磁感应定律的发现，不仅在科学和实践上具有重要意义，而且发现定律的思想以及发现过程中法拉第所表现的科学态度、意志力，对后人也有重要的启迪和教育意义。人类对“电与磁”关系的认识过程，反映了科学发展过程的继承性，以及科学家群体的巨大作用。这些也都应在教学中有意识地、自然地渗透和体现，这有利于提高学生的科学素质。

教科书注重“过程与方法”教学目标的实现。如，第2节“探究电磁感应的产生条件”、第4节“楞次定律”以及其他各节中的“思考与讨论”等内容，都努力将知识的获得过程适当展现给学生，通过学生在学习中的活动过程、思维过程获得相应的知识。同时，在教学中一定要要求学生实际操作、独立思考、合作交流。

了解自感现象、互感现象和涡流现象，主要是为了说明它们在生活和生产中的应用。直流发电机、直流电动机、动圈式扬声器、电子感应加速器和变压器等都是电磁感应规律的应用，它们改善了人们的生活。教科书突出了科学与技术、科学与社会之间的关系。

## 二、教学要求与建议

本章分为3个单元。第1单元主要讲述电磁感应现象的发现；第2单元主要讲述电磁感应的规律；第3单元主要讲述电磁感应现象在生活与技术中的应用。

## 课时分配建议

第1单元	1 划时代的发现	(1学时)
	2 探究电磁感应的产生条件	(2学时)
第2单元	3 法拉第电磁感应定律	(3学时)
	4 楞次定律	(3学时)
	5 动生电动势和感生电动势	(1学时)
第3单元	6 互感与自感	(1学时)
	7 涡流	(1学时)

## 1 划时代的发现

## (1) 教材分析

电磁感应的发现过程具有比较深刻的哲学内涵,也具有丰富的情感、态度、价值观的教育内容。为此,本节教材用了较为详细的笔墨,从奥斯特讲述到法拉第,在“科学足迹”栏目中,以“科学发现的启迪”“伟大的科学家法拉第”为题介绍了科学研究过程中的“功利性与非功利性”的关系,科学发现过程中的“失败、挫折与成功的关系”,以及渗透科学研究工作所具有的历史继承与发展的关系。

## (2) 渗透科学史的教育

过去往往把这样的教学内容当做阅读材料处理,这次把它单列为一节,目的是出于对过程与方法、情感态度与价值观这两方面教育价值的考虑。不要认为该内容不属于具体的物理知识而轻视对它的教学。

我们不但要重视让学生通过探究把未知变为已知的过程。另一方面,也要重视让学生了解人类对某一自然规律认识的历史,两类学习的功能是并重的。奥斯特实验之所以重要,是它将两种外观上看似不同的现象,即磁和电之间建立起了联系。教学中应该注意渗透当时的重要思想对科学研究者的影响,即自然现象之间的相互联系和相互转化。

正是在这种思想的启示下,奥斯特经过不懈地努力,发现了“电流产生磁场”的现象。也正是这种思想的启示和奥斯特的成功,鼓舞着人们探索这种对称性的另一面——“磁是否可以生电”的现象。

教学中应该将本节教材中的“科学足迹”内容揉进教学中。可以事先提出下列问题,让学生收集资料,了解电磁感应现象的发现过程。

- 为什么奥斯特发现“电流产生磁场”后,人们想到了“磁能否生电”的问题?
- 为什么法拉第能够发现电磁感应现象,而其他人却没有获得成功?
- 其他人在电磁感应现象的发现过程中做了哪些工作?
- 了解19世纪初的社会环境对科学发展的影响。

.....





就上述问题因地制宜，可以通过教师讲解，也可以让学生进行辩论、师生共同探讨等方式，从而让学生体会人类探索自然规律的科学态度和科学精神。

在教学过程中需要注意以下几个问题：

第一、法拉第确信自然现象之间的相互联系和相互转化。在这种信念的支持下，他研究了电与磁的相互联系，发现了电磁感应现象；研究了电与化学的关系，得出了电解定律；还研究了光学现象与磁学现象的联系，发现了光的振动面在强磁场中的旋转。

第二、法拉第不但具有踏实、客观的科学态度，更重要的是他相信自然界应该是和谐统一的。这是法拉第及其同时代许多科学家共同的信念。他们中也有不少人在这种信念影响下从事研究，终于在科学上有所发现，但他们往往没有穷追到底。

第三、探索电磁感应现象的历史背景。一方面，可以了解科学家是如何探索电磁感应现象的条件；另一方面，可以了解社会与科学的关系。例如，社会对电力的需求，促使人们思考如何能获得廉价而又强大的电力，推动电学进一步发展。

第四、其他科学家在探索电磁感应现象过程中的贡献与失误。安培、阿拉果、亨利、楞次等在探索电磁感应现象过程中，都做了许多研究。

## 2 探究电磁感应产生的条件

### (1) 教材分析

学生在初中阶段已经接触过有关电磁感应现象的知识，但还较为粗浅。本节教材力图通过学生自己探究，总结出电磁感应产生的条件，即，尽管导体与磁场之间没有位置的相对变化，只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就有感应电流产生。

课本中安排了一个演示实验和两个学生实验，它们是本单元中研究感应电流产生条件的依据，也是后面研究法拉第电磁感应定律、楞次定律的基础。因此，认真做好这三个实验，力争有较好的观察效果，是教学的关键。同时，要引导学生逐步从实验现象中总结出正确的结论，这不但是学生掌握概念和规律的需要，而且也有利于培养学生的抽象、概括能力。

### (2) “探究电磁感应产生的条件”的教学

三个实验的观察重点不同。

**实验一** 观察闭合电路的一部分导体在磁场中运动时产生感应电流的条件。这是初中学习过的内容，演示实验中要引导学生注意观察导体向上或向下运动和向左或向右运动的不同结果，从而了解“导体做切割磁感线运动”的含义。可以明确告诉学生，所谓切割磁感线的运动，就是导体运动的方向和磁感应强度的方向不平行。这也为推导  $E=Blv\sin\theta$  公式打下了基础。

**实验二** 进一步观察导体不动而磁铁运动时是否产生感应电流。要使学生了解，只要导体和磁铁之间发生相对运动，闭合电路所在位置的磁场就发生变化，闭合电路中就会产生感应电流。这里要强调“闭合电路中的磁场发生变化”。

**实验三** 研究导体静止在磁场中时能否获得感应电流的问题。在这个实验中，学生能观察到不论是线圈 A 的电路是接通或断开，还是变阻器滑动片的移动，线圈 B 电路中都会出现感应电流。在观察实验现象的基础上，要引导学生分析上述现象的物理过程。在上一章的学习中，学生已经知道由电流所激发的磁场的磁感应强度  $B$  总是正比于电流  $I$  的，电路的闭合或断开，控制了电流从无到有的变化，变阻器滑动片的移动是通过改变电阻来改变电流。而电流

的变化必将引起磁场的变化，线圈  $B$  中出现感应电流就是由“闭合电路中的磁场发生变化”所引起的。

通过三个实验的初步分析，学生认识到“闭合电路中的磁场发生变化”，能使闭合电路中产生电磁感应现象。是不是只要闭合电路所在位置的磁场发生变化，闭合电路中就能产生电磁感应现象呢？

这里建议进行如下实验：

如图 4-1 所示连接电路。演示如下操作，并让学生观察电流表指针的位置变化情况。

① 让插有软铁芯的螺线管  $A$  的轴线与线圈  $C$  的平面共面，闭合电键；

② 让螺线管  $A$  的轴线与线圈  $C$  的平面垂直，闭合电键。

现象及结论：

在操作①时，螺线管  $A$  中磁场发生变化，而电流表指针不偏转，说明线圈  $C$  中没有感应电流；在操作②时，螺线管  $A$  中磁场发生变化，而电流表指针偏转，说明线圈  $C$  中有感应电流。其中，

操作①②的不同点在于螺线管  $A$  通电前后穿过闭合线圈  $C$  的磁感线条数是否发生变化。能否将前面三个实验归纳为：穿过闭合电路的磁感线条数发生变化，闭合电路中就有感应电流产生。最后让学生认识到“闭合电路中的磁场发生变化”，是指穿过闭合电路的磁通量发生变化。

处理这段教材时应注意以下几点：

① 通过提问复习磁通量的概念，明确磁通量的定义。让学生推测用什么方法可以使闭合电路的磁通量发生变化，加深学生对实验一、实验二、实验三共同之处的理解。

② 引导学生通过示意图来分析三个实验。课本图 4.2-6、图 4.2-4、图 4.2-5 很形象地展示了闭合电路中的磁场分布，建议有条件的学校，最好能用“动画”来展示“磁通量变化”的动态过程。

③ 对于条件较好的学校，可以采取更加开放一些的教学方式，可以让学生用自己的语言来表述电磁感应产生的条件，并就不同的表述进行比较，看谁的表述最恰当。

④ 可以让同学设计一些课本以外的类似实验，来检验所得到的“电磁感应产生的条件”。

### ·(3) 做一做“摇绳能发电吗？”的教学

“做一做”栏目的目的是让学生对身边的地磁场有所了解，同时加强物理与生活的联系，提高学生学习物理的兴趣。

本实验可以在课外活动时间进行，也可以在课堂分小组进行。长度可取 3 m 左右，摇动部分大于 1 m，东西方向站立，可以看到电流表指针的摆动。

通过实验还可以要求学生研究下面几个问题：

① 摇绳为什么能够发电？

② 通过东西方向与南北方向电流大小的差异，了解北半球地磁场的分布情况、磁倾角的大小以及产生差异的原因。

③ 在摇动导线时观察到电流表指针为什么左右摆动，而不是指向一个方向？

④ 地磁发电机有无实际意义？

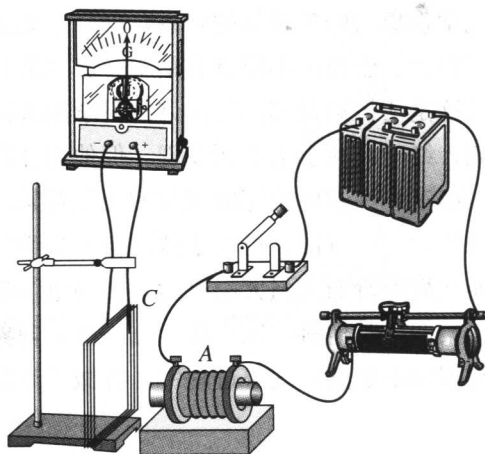


图 4-1

这几个问题不要求学生一定明白道理，但是可以作为学生探究问题的参考，拓展学生的思路。

具体实验过程和注意事项，请参阅后面实验参考资料中的相关内容。

### 3 法拉第电磁感应定律

#### (1) 教材分析

法拉第电磁感应定律是关于感应电动势的大小和方向的表述。本节教材不研究感应电动势的方向，在得到感应电动势大小的一般表达式  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  之后，对“导体切割磁感线时的感应电动势”和“反电动势”两种特殊情景进行了分析。

#### (2) 感应电动势的教学

感应电动势是反映电磁感应现象的重要物理量。要使学生理解感应电动势的概念，可以从图 4-2 中的实物图与电路图的对比中使学生认识感应电动势。根据闭合电路的欧姆定律可知，闭合电路的电流是由电源的电动势决定的。

如图 4-2 甲所示，电路中的线圈相当于电源，其电动势为感应电动势，线圈的导线电阻为电源内阻。可以画出图 4-2 乙的电路图与图 4-2 甲的实物图类比。应该告诉学生，在对发生电磁感应现象的闭合电路进行分析时，可将其呈现为如图 4-2 乙所示的电路图。

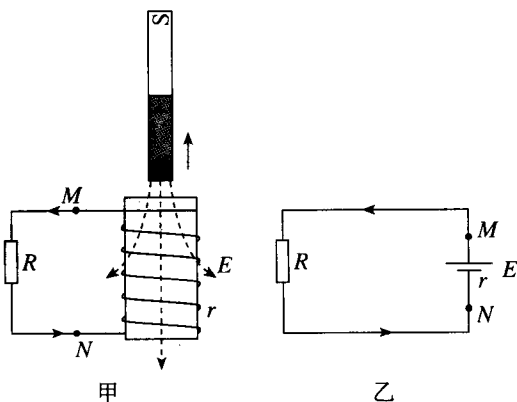


图 4-2

实验表明，感应电动势完全与导体的种类和性质无关。通过分析应使学生了解到，电磁感应现象中感应电动势比感应电流更有本质意义，从而区别“产生电磁感应的条件”与“产生感应电流的条件”。只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就有感应电流产生。如果电路不闭合，电路中没有感应电流，但感应电动势仍然存在，也产生了电磁感应现象。所以在电磁感应现象中“感应电动势”比“感应电流”更具本质意义。

#### (3) 法拉第电磁感应定律的教学

让学生回顾上一节所做的实验，并思考以下问题：

- 电流表的指针偏转有大有小，为什么会出现这种现象？
- 感应电流的大小跟什么因素有关？
- 感应电动势的大小可能跟哪些因素有关？

在此基础上，可以通过实验再次说明感应电动势的大小跟磁通量的变化率有关。

① 如图 4-3 所示，让条形磁铁的下端与螺线管的上端圆口平齐，将条形磁铁自由下落，观察电流表指针的偏转情况。再让条形磁铁缓慢插入螺线管，观察电流表指针的偏转情况，并比较两种情况下电流表指针偏转角度的大小，引导学生得出感应电动势的大小与磁通量变化的快慢有关。



② 取两根磁性强弱不同的条形磁铁，分别以①中的方式自由下落，观察两次电流表指针的偏转情况，并比较两种情况下电流表指针偏转角度的大小，引导学生得出感应电动势的大小与磁通量变化的大小有关。

在上述实验的基础上，提出用单位时间内磁通量的变化来定量描述磁通量的变化快慢，引出磁通量的变化率的概念，从而自然引出感应电动势的大小由磁通量的变化率来决定的结论。磁通量的变化率越大，感应电动势就越大。

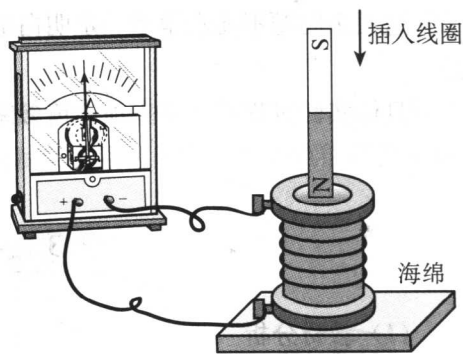


图 4-3

按上述线索处理教材时，一是要使学生对演示实验的现象观察清楚。二是要讲清变化率的概念。教学中可以列举速度是由位置的变化率决定，加速度是由速度的变化率决定等。通过用这些已有知识的类比来加深对变化率概念的理解。

“法拉第电磁感应定律”一节的教学，按惯例既无法作定量的实验验证，更无法进行定量测量，只能将结论直接告诉学生。在本章实验参考资料部分介绍了两个可以定量验证该定律的实验，供大家参考。

#### 参考方案（一）

实验仪器如图 4-4 所示。

利用电池  $E$  对原线圈供电；用数字电流表测量流过原线圈中的电流；用数字电压表测量副线圈的感应电动势大小；用光电计时器测量原线圈匀速进入副线圈所需的时间。

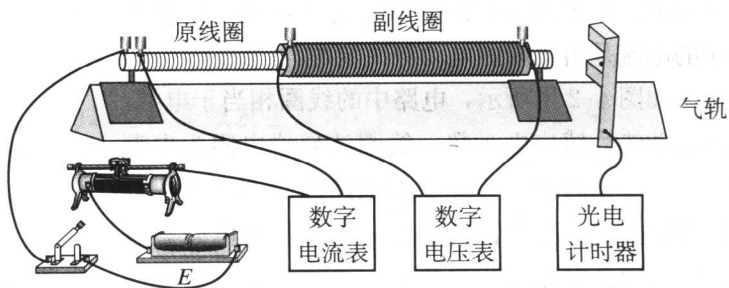


图 4-4

在气垫导轨上，用两个滑块架起原线圈，使之能随滑块一起运动。

#### ① 磁通量的变化量的确定

如果保持通过原线圈的电流恒定，那么原线圈中电流产生的磁场在线圈周围空间的分布也恒定。调整气垫导轨水平，使原线圈可以匀速地穿出（或穿入）副线圈。如果原线圈运动的始、末位置一定，导致穿过副线圈的磁通量的变化量就是恒定的。

改变通过原线圈中的电流的大小，就改变了磁场的强弱。磁感应强度  $B$  与电流  $I$  成正比，即  $B \propto I$ 。在副线圈面积不变，且原线圈运动始、末位置固定时，穿过副线圈磁通量的变化量  $\Delta\Phi$ ，与原线圈中电流产生的磁场的磁感应强度  $B$  成正比，即  $\Delta\Phi \propto B$ 。这样，就将研究感应电动势  $E$  与磁通量的变化量  $\Delta\Phi$  之间的关系，转变为研究感应电动势  $E$  与原线圈中电流  $I$  之间的关系，实现了“不可测量量”  $\Delta\Phi$  向“可测量量”  $I$  的转变。

#### ② 感应电动势的测量

原线圈内部的磁场是均匀的，两端的磁场是非均匀的，原线圈从副线圈中匀速穿出（或匀速穿入）的过程中，在开始运动和结束运动的两个短时间内，副线圈中的感应电动势是不稳定的，但在中间一段较长的时间内，副线圈中的感应电动势是稳定的。用示波器观察，副线圈中的感应电动势—时间图象如图 4-5 所示。因此，只要原、副线圈足够长，就可以获得稳定的感应电动势的值，这是实验的关键。

## ③ 磁通量变化所需时间的测量

实验时,应该测量原线圈从初始位置开始,运动到末位置的总时间。由于原线圈较长,挡光片的最长距离一般为 10 cm,测量原线圈运动的总时间有一定的困难,但是由于原线圈做匀速直线运动,运动的总时间与挡光片两次挡光的时间的比值是一个恒量,因此,可用 10 cm 的挡光片两次挡光的时间来代替原线圈运动的总时间。

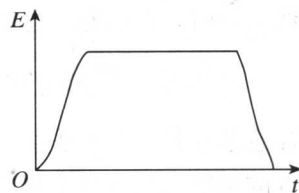


图 4-5

## 参考方案(二)

实验装置如图 4-6 所示。

$$\text{法拉第电磁感应定律 } E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

式中  $\Delta\Phi = \Delta B \cdot S$ , 在空心通电线圈中  $S$  为定值, 而  $\Delta B \propto \Delta I$ , 可得  $\Delta\Phi \propto \Delta I$ 。当线圈中的电流为线性增大时  $\Delta I$  为定值, 则  $\Delta\Phi$  为定值。在相同时间间隔  $\Delta t$  内, 感应电动势  $E$  为定值。

原线圈中不使用铁心, 直接用空气作介质, 在原线圈中通入线性变化的电流, 才能形成均匀变化的磁场, 使磁通量  $\Delta\Phi$  恒定, 这样在副线圈中便可获得恒定的感应电动势。

根据欧姆定律可知, 要获得线性变化的电流, 则需要有线性变化的电压。实验室的滑动变阻器的电阻变化是线性的, 而输出的电压或电流的变化却是非线性的。如果让滑动变阻器的电阻成为非线性变化, 使输出的电压或电流为线性变化, 便可在线圈中得到线性变化的磁通量。在相同的时间间隔内产生恒定的感应电动势。图中  $R_1$  为非线性变化的滑动变阻器。

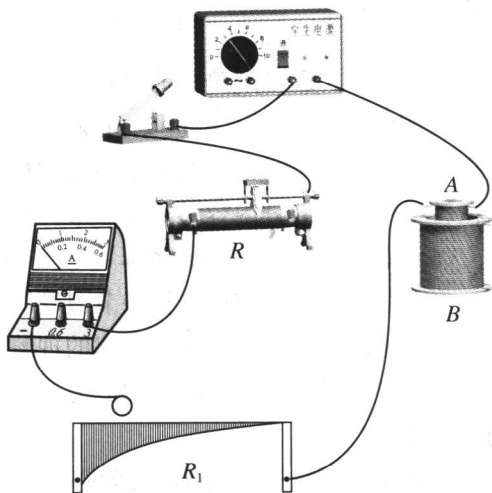


图 4-6

至于两种方案的具体实施过程以及注意事项, 请参阅本章实验参考资料部分的相关内容。

讲解法拉第电磁感应定律的定量表达式时, 要注意以下几点:

① 讲清比例常数  $k$ , 可引导学生推导出  $1 \text{ Wb/s} = 1 \text{ V}$ , 从而得出后  $k=1$  的结论, 因此法拉第电磁感应定律的表达式为  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。

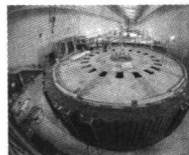
② 要使学生了解如果闭合电路是由  $n$  匝线圈串联组成, 整个线圈的总电动势是单匝线圈的  $n$  倍, 即  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。这里要注意说明, 穿过每匝线圈的磁通量变化率是相同的。

③ 应明确指出, 利用  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  进行定量计算, 所得结果是  $\Delta t$  时间间隔内的平均电动势。因为  $\Delta t$  是一个有限的时间间隔, 在这个时间间隔内磁通量的变化可以是不均匀的。如果在  $\Delta t$  时间间隔内磁通量的变化是均匀的, 则其变化率是恒定的, 这时平均电动势和瞬时电动势相等。

④ 电磁感应定律的表达式  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  是 1845 年由诺埃曼 (Neumann, 1798—1895) 给出的, 由于诺埃曼的理论基础是错误的, 同时由于法拉第对电磁感应现象的深刻研究, 这一发现的荣誉归功于法拉第是当之无愧的。

## (4) 导线切割磁感线时的感应电动势

引起闭合电路磁通量变化的原因有多种, 例如闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感



线运动时，会引起闭合电路磁通量的变化。

利用  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  来研究导体做切割磁感线运动，可推导出感应电动势的公式为  $E = Blv \sin \theta$ 。注意条件是  $v$  与  $l$  垂直。其中  $\theta$  是  $B$  与  $v$  的夹角。不论从分解速度的角度还是从分解磁感应强度的角度来理解这个公式，其意义是等价的。因为不论把  $B$  分解为  $B_{//}$  和  $B_{\perp}$ ，还是把  $v$  分解  $v_{//}$  和  $v_{\perp}$ ，都会得出相同的结果。上式中如果速度  $v$  为瞬时速度，则求得的  $E$  为瞬时电动势，如果速度  $v$  为平均速度，则电动势  $E$  为平均电动势。切割磁感线运动产生的感应电动势的计算公式虽然是  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  的一个特例，但在计算感应电动势时是一个十分重要的公式。

### (5) 关于“反电动势”的教学

“反电动势”也是“感应电动势”，从教学内容的完整性考虑，教材将“反电动势”的内容放在了这一节，实际上，要等学习完“楞次定律”后，学生才能理解其中“反”字的含义。建议在教学中将这部分内容移至下一节“楞次定律”再讲。

### (6) 本节“习题课”的教学

在本节教学中，应该安排一节习题课。通过习题课的学习，加深学生对电磁感应定律的理解，同时提高应用电磁感应定律解决有关习题的能力。下面提供几个习题供参考。

**问题 1** 如图 4-7 所示，设匀强磁场的磁感应强度  $B$  为 0.10 T，矩形线框向左匀速运动的速度  $v$  为 5.0 m/s，长度  $l$  为 40 cm 的一条边在磁场中切割磁感线，整个线框的电阻  $R$  为 0.50  $\Omega$ ，试求：

- ① 感应电动势的大小；
- ② 感应电流的大小。

参考答案： $E = Blv = 0.2 \text{ V}$       $I = \frac{E}{R} = 0.4 \text{ A}$

**问题 2** 如图 4-8 所示，边长为  $a$  的正方形金属线圈绕通过  $OO'$  轴，以角速度  $\omega$  做匀速转动，匀强磁场的磁感应强度为  $B$ ，金属线圈的平面与磁场方向重合时开始计时，则在转过  $90^\circ$  的过程中，金属框中产生的感应电动势的平均值为多大？

参考答案： $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{2Ba^2\omega}{\pi}$

**问题 3** 如图 4-9 所示，设匀强磁场的磁感应强度为  $B$ ，导体棒  $MN$  的长度为  $l$ ，以速度  $v$  在导轨上向右匀速运动。求此时  $M$ 、 $N$  两点间的电势差。已知导轨的总电阻为  $R$ ，导体棒  $MN$  的电阻为  $r$ 。

参考答案： $U_{MN} = \frac{R}{R+r} Blv$

**问题 4** 如图 4-10 所示，固定水平桌面上的金属框架  $CDEF$ ，处在竖直向下的匀强磁场中，金属棒  $AB$  搁在框架上，可无摩擦滑动，此时  $ADEB$  构成一个边长为  $l$  的正方形，棒的电阻为  $r$ ，其余部分电阻不计，开始时磁感应强度为  $B_0$ 。

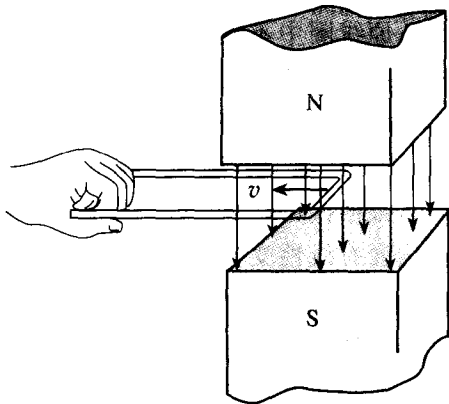


图 4-7

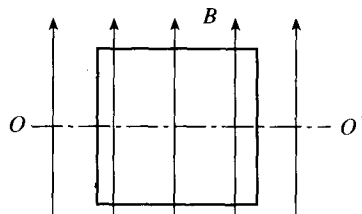


图 4-8

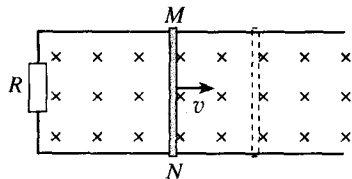


图 4-9

(1) 若从  $t=0$  时刻起, 磁感应强度均匀增加, 每秒增量为  $k$ , 同时保持棒静止, 求棒中的感应电流。

(2) 若从  $t=0$  时刻起, 磁感应强度逐渐减小, 当棒以恒定速度  $v$  向右作匀速运动时, 可使棒中不产生感应电流, 则磁感应强度应怎样随时间变化 (写出  $B$  与  $t$  的关系式)?

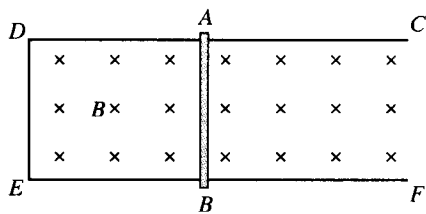


图 4-10

参考答案: (1) 感应电流  $I = \frac{E}{r} = \frac{kl^2}{r}$

(2)  $B$  与  $t$  的关系式为  $B = \frac{B_0 l}{l + vt}$

问题 1、2 的目的是让学生理解法拉第电磁感应定律和初步掌握使用法拉第电磁感应定律的方法; 问题 3 是让学生体会电路中的感应电动势; 问题 4 是让同学进一步理解“产生感应电流”的条件。

## 4 楞次定律

### (1) 教材分析

楞次定律是确定感应电流 (感应电动势) 方向的规律, 楞次定律的内容是“法拉第电磁感应定律”内容的一个方面。本节内容的处理是建立在第 2 节“探究电磁感应产生的条件”、第 3 节“法拉第电磁感应定律”的基础上的, 教材中的实验, 都是在前面教学中做过的。本节主要是从确定“感应电流的方向”这个角度重新研究第 2 节中的两个学生实验。教材是从“磁通量变化”与“感应电流的磁场”之间的关系来描述感应电流的方向的。

本节教材要求学生通过探究活动得出感应电流的方向遵循的规律, 由于教材写得很详细, 建议有条件的学校, 放手让学生自己去探究和使用楞次定律, 并用自己的语言来表述感应电流方向的规律, 用自己的体会来理解楞次定律的使用。

### (2) “楞次定律”的教学

教材详细地提供了一个“探究感应电流 (感应电动势) 方向”的实验案例, 教师可按自己的体会和学生的实际情况来安排教学。

#### ① 实验过程的指导

首先, 要让学生清楚电流表指针的偏转方向与电流方向的关系。将电流表与一个阻值在  $15 \sim 20 \text{ k}\Omega$  的电阻串联后, 接到一节干电池上, 观察电流表指针的偏转方向, 确定电流表指针的偏转方向与电流方向的关系。

其次, 要清楚线圈导线的绕向。使用现成的线圈, 由于导线的松动等其他原因, 线圈导线的绕向有时不容易弄清楚。建议在教学过程中, 为学生准备一节长约  $20 \text{ cm}$  的塑料管, 并在塑料管两端锯出两个卡线槽, 如图 4-11 所示。再为学生准备一根长约几米的导线, 让学生自己绕制线圈。

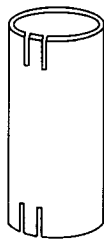


图 4-11

在学生实验过程中, 要求学生认真将观察结果填写在表 2 中。

在引导学生对自己的实验结果进行分析时, 一定要让学生很好地分析实验现象。在分析实验现象时, 要突出研究的对象是线圈 (闭合电路), 要抓住穿过线圈的磁场方向和磁通量的变



化。注意让学生分清“原磁场的方向”“原磁场的磁通量变化”“感应电流的磁场方向”。

### ② 对“楞次定律”的理解

楞次定律的文字表述简明扼要，学生初学时，常不能完全理解它的含义。教学中要注意结合实例让学生理解定律的内容。尤其是理解“磁通量的变化”和“阻碍”的含义。

要提醒学生注意区分“磁通量的变化”“磁通量的多少”“原磁场的方向”“原磁场磁通量的变化”等各自不同的含义，尤其要使学生清楚定律中“阻碍”二字的含义。有的学生误以为阻碍就是方向相反，以为感应电流的磁场总与原磁场的方向相反。应使学生明确，“阻碍”既不是阻碍原磁场，也不是阻碍原来的磁通量，而是指感应电流的磁场阻碍原磁场磁通量的增加或减少。“阻碍”不仅有“反抗”的含义，还有“补偿”的含义，即反抗磁通量的增加，补偿磁通量的减少。

但要特别注意，以上各点都是不能靠教师列出几条反复讲解，甚至让学生背过几个例题就可以让学生理解和掌握的。而是要通过实例的分析，使学生自己动脑体会，才能真正理解。

教学中也可以让学生设计一个类似于教材中表 1、2 的表格，让学生通过闭合、断开电键，观察感应电流的方向，总结“磁通量变化”与“感应电流的磁场”之间的关系，加深对楞次定律的理解。

### ③ “楞次定律”的应用

教材通过两道例题，分析了利用楞次定律判定感应电流方向的基本思路，并详细地提供了它的基本步骤。不过，教师可按自己的体会和学生的实际情况来安排教学。

应用楞次定律时，要按照课本所讲的基本步骤分析，思路比较清晰。但是，不要让学生死记这些步骤，而要按照定律本身的要求进行具体分析。像其他定律一样，首先要明确研究对象，即要分析的是哪一个闭合电路。然后，依次弄清它的原磁场方向，原磁场磁通量如何变化，感应电流的磁场方向，最后确定感应电流（感应电动势）的方向。

另外，应当特别指出的是，可以引导学生应用能量的观点分析这类问题。

无论是使闭合电路的部分导体切割磁感线，还是引起闭合电路中磁通量发生变化，都要消耗其他形式的能量而做功，转化成闭合电路中的电能，这体现了能量的转化与守恒定律。所以说，楞次定律揭示了把其他形式能转化成电能的途径。可以通过如图 4-12 所示的例子来说明。当条形磁铁的 N 极靠近螺线管时，螺线管中便产生感应电流，电流表中电流的方向是由 D 到 C，螺线管的左侧为 N 极，螺线管将对条形磁铁产生一个推斥力。电能便是由于外力克服斥力做功，由机械能而转化来的。

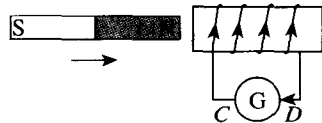


图 4-12

但在初学阶段，还要严格按照基本步骤去做。

### (3) “右手定则”的教学

当感应电流是由于导体的一部分切割磁感线而产生时，用“右手定则”确定感应电流的方向有时更为直接和简便。

教学中要发挥“思考与讨论”栏目的作用，层层递进，利用“磁通量的变化”与“感应电流方向”的关系判断出感应电流的方向。教学中还可以在课本图 4.4-6 所示的电路的右端也接一个电流表，让学生从右侧回路判断导体 AB 中的感应电流的方向，并在此基础上引出“右手定则”。

要让学生明白，应用楞次定律或右手定则判断感应电流的方向其结果是一致的。如何判



断, 要根据具体问题的方便与否来确定。

#### (4) 关于反电动势的教学

① 让学生观察演示实验和直流电动机模型, 了解其结构后, 分析其转动原理。使学生了解通电线圈在磁场中受到的安培力是使线圈产生转动的动力, 由负载和摩擦引起的力为阻力。

② 重点引导学生讨论直流电动机的线圈转动时所产生的感应电动势及其特点, 使学生从导线做切割磁感线运动的角度, 了解转动的线圈切割磁感线时会产生感应电动势。这个电动势的大小与线圈转动的快慢有关(不需做出定量的分析)。感应电动势的方向可根据楞次定律来判断。感应电动势的方向与线圈中的电流方向相反, 而电流方向和外加电压方向相同。故感应电动势方向与外加电压方向相反。

③ 有条件的学校, 还可以利用能量转化的观点分析直流电动机的工作原理。具体应注意以下两点:

- 使学生进一步理解电功和电热不一定相等

只有在纯电阻电路中电功才等于电热, 而像直流电动机这种存在反电动势的电路中电功是大于电热的。

设闭合电路中的电流为  $I$ , 电动机两端电压为  $U$ , 电路中的反电动势为  $E_{\text{反}}$ , 电路的总电阻为  $R$ , 则  $I = \frac{U - E_{\text{反}}}{R}$ , 从能量守恒的角度看, 就是  $UI = I^2 R + E_{\text{反}} I$ , 其中  $UI$  就是电动机的输入电功率,  $I^2 R$  是电路中产生的电热功率,  $E_{\text{反}} I$  是电动机输出的机械功率。

- 分析直流电动机的输入功率  $UI$  随负载的增大而增大

当电动机两端电压  $U$  一定, 电动机匀速转动时, 安培力矩等于阻力矩。当负载加大时, 阻力矩增大, 引起转速减小, 则反电动势  $E_{\text{反}}$  减小。根据  $I = \frac{U - E_{\text{反}}}{R}$  可知, 电路电流增大, 安培力矩增大, 电动机的输入功率  $UI$  增加。

- 观察电动机启动过程中电流的变化(此内容教学上不作要求)

实验器材: 3 V 玩具电动机(或教学用的电动机模型)、学生用电流表、导线、开关、3 V 电源。

实验方法: 按课本图 4.3-4 连接电路, 闭合开关的瞬间注意观察电流表指示的最大电流值, 电流下降后的稳定值。

参考数据: 3 V 玩具电动机, 电压 2.6 V, 通电瞬间电流最大值为 350 mA 或更大些, 空载转速稳定时电流为 280 mA。

实验方法一: 即加负载的方法。用手指或笔杆轻压电动机转轴, 电流表指针的示数迅速增大, 注意不要超过电流表的量程。

观察到实验现象后, 再讨论电动机启动时的电流与正常工作时的电流不同。有负载与空载时的电流不同。这在技术上会引起什么问题? 如果有问题, 应该沿什么途径去解决? 如防止启动电流过大的问题就可以通过两个途径来完成。最简单的方法在电源电压不变的情况下, 电动机启动时与可变电阻串联并且取较大阻值, 然后逐渐减小电阻值, 电动机逐渐增加转速, 直到撤去串联电阻, 这一方法在电阻上要消耗电源的电能。另一个途径是调节电源电压, 启动时加较小电压, 达到正常转速后, 改为额定电压。目前由电力半导体组成的斩波器调压装置取代了电阻器调压, 但是这些装置都比较复杂。

应该看到, 两种方法各有优缺点, 选用哪种方法调速, 可视情况而定。有负载与空载时的

