# 第二章 电磁感应

朝辞白帝彩云间，千里江陵一日还。

两岸猿声啼不住，轻舟已过万重山。

这首人们耳熟能详的唐诗，曾给我们带来多少愉悦和幻想呀！如今，诗人笔下的三峡，不仅风景秀丽依然，更在为祖国的建设作着巨大的贡献。三峡水电站安装着 32 台巨型发电机，总装机容量 2 250 万千瓦。千年流淌的滚滚长江，正在焕发着青春。

电厂里巨大的发电机怎么会发出这么多电来？ 磁生电有什么规律呢？这一章我们将进一步去认识电与磁的规律。



在他（法拉第）的眼中，华丽的宫廷和布拉顿高原上的雷雨比起来，算得了什么？皇家的一切器具和落日比较起来，又算什么？我之所以说出雷雨和落日，因为这些现象在他的心里，都可以挑起一种狂喜……

——丁铎尔[[1]](#footnote-1)

# 第二章 1 楞次定律

## 问题？

线圈与电流表相连，把磁体的某一个磁极向线圈中插入、从线圈中抽出时，电流表的指针发生了偏转，但两种情况下偏转的方向不同，这说明感应电流的方向并不相同。感应电流的方向与哪些因素有关？



## 影响感应电流方向的因素

我们知道，穿过闭合回路的磁通量变化是产生感应电流的条件，看来感应电流的方向可能与磁通量的变化有关。

### 实验

**探究影响感应电流方向的因素**

在上面的实验中，条形磁体的N极或S极插入闭合线圈时，穿过线圈的磁通量增大，N极或S极抽出时，穿过线圈的磁通量减小。想一想，感应电流的方向与磁通量的变化之间有什么关系呢？

在纸上画出上面实验的草图，记录磁极运动的四种情况（图 2.1–1）。根据实验结果，分别标出不同情况下磁体的 N 极、S 极的运动方向以及感应电流的方向。

甲

**S**

**N**

**S**

**N**

**S**

**S**

**N**

**N**

图2.1–1 研究感应电流方向的实验记录

乙

丙

丁

实验现象表明，穿过线圈的磁通量都在增大时，如果磁场方向不同（图 2.1–1甲、乙），感应电流的方向并不相同。而穿过线圈的磁通量都减小时，如果磁场的方向不同（图 2.1–1丙、丁）感应电流的方向也不同。看来，实验并不能直接显示出感应电流的方向与磁通量变化的关系。

感应电流的方向与磁通量变化不容易建立起直接的联系，那么应该如何转换一个角度来研究这一问题呢？

进一步分析可以想到，磁体周围存在磁场，感应电流也会产生磁场。感应电流磁场的磁通量与磁体磁场的磁通量有没有联系呢？

由于线圈的横截面积是不变的，磁通量的变化可以用磁场的变化来体现。感应电流的方向与磁场的方向有关，我们应该选择磁体的磁场和感应电流的磁场进行分析。

下面用表格来比较图 2.1–1 中的信息。由于这几幅图标出了感应电流的方向，所以根据右手螺旋定则就能判定感应电流的磁场方向。

我们分别研究穿过线圈的磁通量增大和减小的情况。

表1 磁通量增大时的情况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 图号 | 磁体磁场的方向 | 感应电流的方向 | 感应电流的磁场方向 |
| 甲 | 向下 | 逆时针（俯视） | 向上 |
| 乙 | 向上 | 顺时针（俯视） | 向下 |

比较表1中的数据，可以发现，当穿过线圈的磁通量增大时，感应电流的磁场与磁体的磁场方向相反，阻碍磁通量的增加。

表2 磁通量减小时的情况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 图号 | 磁体的磁场方向 | 感应电流的方向 | 感应电流的磁场方向 |
| 丙 |  |  |  |
| 丁 |  |  |  |

根据实验结果填写表 2，比较表 2 中的数据。当穿过线圈的磁通量减小时,感应电流的磁场与磁体磁场的方向是相同的，还是相反的？是有助于磁通量的减小，还是阻碍了磁通量的减小？

概括以上的实验结果，能得出什么结论？

## 楞次定律

1834 年，俄国物理学家楞次在分析了许多实验事实后，得到了关于感应电流方向的规律：**感应电流具有这样的方向，即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化**。这就是**楞次定律**（Lenz’s law）。

感应电流沿着楞次定律所述的方向，是能量守恒定律的必然结果。我们知道，由于电阻的存在，感应电流在闭合回路中流动时将产生热量。根据能量守恒定律，能量不可能无中生有，这部分热量只可能从其他形式的能量转化而来。在上述实验中，把磁极插入线圈或从线圈内抽出时，推力或拉力都必须做机械功，做功过程中消耗的机械能转化成感应电流的电能。

### 思考与讨论

如图 2.1–2，用绳吊起一个铝环，用磁体的任意一极去靠近铝环，会产生什么现象？把磁极从靠近铝环处移开，会产生什么现象？解释发生的现象。

**N**

**S**

图2.1–2 磁极靠近或远离铝环

用楞次定律可以判定感应电流的方向。下面我们通过实例来了解处理这类问题的思路。

### 【例题 1】

法拉第最初发现电磁感应现象的实验如图 2.1–3 所示。软铁环上绕有 M、N 两个线圈，当线圈 M 电路中的开关断开的瞬间，线圈 N 中的感应电流沿什么方向？

M

N

S

图2.1-3

**分析与解答** 首先明确，我们用楞次定律研究的对象是线圈N和电流表组成的闭合导体回路。

线圈 M 中的电流在铁环中产生的磁感线是顺时针方向的（图2.1–4），这些磁感线穿过线圈 N 的方向是向下的，即线圈 N 中原磁场 *B*0 的方向是向下的。

开关断开的瞬间，铁环中的磁场迅速减弱，线圈 N 中的磁通量减小。

感应电流的磁场*B*i（图2.1–4中没有标出）要阻碍磁通量的减小，所以，*B*i 的方向与*B*0 的方向相同，即线圈 N 中 *B*i 的方向也是向下的。

S

M

*B*0

N

*I*1

图2.1–4

根据右手螺旋定则，由*B*i的方向判定，线圈N中感应电流*I*i应沿图2.1–4所示的方向。

### 【例题2】

如图 2.1–5 所示，在通有电流 *I* 的长直导线附近有一个矩形线圈 *ABCD*，线圈与导线始终在同一个平面内。线圈在导线的一侧，垂直于导线左右平移时，其中产生了 *A*→*B*→*C*→*D*→*A* 方向的电流。已知距离载流直导线较近的位置磁场较强。请判断：线圈在向哪个方向移动？

*I*

图2.1–5

A

D

B

C

**分析与解答** 选择矩形线圈为研究对象，画出通电直导线一侧的磁感线分布图（图2.1-6），磁感线方向垂直纸面向里，用“×”表示。已知矩形线圈中感应电流的方向是A→B→C→D→A，根据右手螺旋定则，感应电流的磁场方向是垂直纸面向外的（即指向读者的，用矩形中心的圆点“·”表示）。

*I*

A

D

B

C

图2.1-6

根据楞次定律，感应电流的磁场应该是阻碍穿过线圈的磁通量变化的。现在已经判明感应电流的磁场从纸面内向外指向读者，是跟原来磁场的方向相反的。因此线圈移动时通过它的磁通量一定是在增大。这说明线圈在向左移动。

## 右手定则

我们用楞次定律进行分析，看一看当闭合导体回路的一部分做切割磁感线的运动时，怎样判定感应电流的方向。

### 思考与讨论

在图 2.1–7 中，假定导体棒 *CD* 向右运动。

*B*

C

D

F

E

*v*

图2.1–7 判定感应电流的方向

1．我们研究的是哪个闭合导体回路？

2．当导体棒 *CD* 向右运动时，穿过这个闭合导体回路的磁通量是增大还是减小？

3．感应电流的磁场应该是沿哪个方向的？

4．导体棒 *CD* 中的感应电流是沿哪个方向的？

可以用右手的手掌和手指的方向来判断导线切割磁感线时产生的感应电流的方向（图 2.1–8），即：**伸开右手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内；让磁感线从掌心进入，并使拇指指向导线运动的方向，这时四指所指的方向就是感应电流的方向。**这就是更便于判定导线切割磁感线时感应电流方向的**右手定则**（right-hand rule）。

图2.1-8 右手定则

## 科学方法

**归纳推理**

归纳推理是从一类事物的部分对象所具有的某种属性出发，推理出这类事物的所有对象都具有共同属性的推理方法，也就是由具体结论推理出一般规律的方法。楞次定律的得出就运用了归纳推理。通过研究不同磁极插入和拔出线圈等的实验现象，逐步归纳推理得出反映感应电流方向的规律。与演绎推理不同的是，归纳推理是从物理现象出发研究问题，而演绎推理则是由已知物理规律出发研究问题。

## 练习与应用

本节共 5 道习题。前 4 题都是运用楞次定律判断电磁感应现象中产生的感应电流的方向，但情境不同，目的是让学生在不同情境中理解楞次定律并会用楞次定律判断感应电流的方向，初步掌握使用楞次定律的步骤。第 2 题除运用楞次定律判断感应电流的方向外，可以加强学生对右手定则的理解，并初步与电路知识相联系。第 5 题通过对不同现象的分析，进一步强化产生感应电流的条件，加深学生对楞次定律的理解和运用。

1．在图 2.1–9 中，线圈 M 和线圈 P 绕在同一个铁芯上。

M

P

*E*

S

图 2.1–9

（1）当闭合开关 S 的一瞬间，线圈 P 中感应电流的方向如何？

（2）当断开开关 S 的一瞬间，线圈 P 中感应电流的方向如何？

**参考解答**：（1）当闭合开关 S 的一瞬间，线圈 P 中有感应电流，沿逆时针方向流动。线圈 M 产生磁场，穿过线圈 P 中磁场的磁通量从无到有增加，根据楞次定律，线圈 P 中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的增加，即感应电流的磁场与原磁场方向相反，再根据右手螺旋定则可知线圈 P 中感应电流沿逆时针方向流过电流表。

（2）当断开开关 S 瞬间，线圈 P 中感应电流沿顺时针方向。线圈 M 产生的磁场消失，穿过线圈 P 的磁通量减少，根据楞次定律，线圈 P 中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的减少，即感应电流的磁场与原磁场方向相同，再根据右手螺旋定则可知线圈 P 中感应电流沿顺时针方向流过电流表。

2．在图2.1–10中*CDEF*是金属框，框内存在着如图所示的匀强磁场。当导体*AB*向右移动时，请用楞次定律判断*MNCD*和*MNFE*两个电路中感应电流的方向。

*F*

*E*

*N*

*C*

*D*

*M*

*B*

*v*

图 2.1–10

**参考解答**：当导体 MN 向右移动时，线框 MNDC 中磁场垂直于纸面向内的磁通量减少。根据楞次定律，它产生感应电流的磁场要阻碍磁通量减少，即感应电流的磁场与原磁场方向相同，垂直于纸面向内。所以感应电流的方向是 N→M→C→D。

此时，线框 MNEF 中磁场垂直于纸面向内，磁通量增加，根据楞次定律，它产生的磁场要阻碍磁通量的增加，即感应电流的磁场与原磁场方向相反，垂直于纸面向外。所以，感应电流的方向是 N→M→F→E。

综上，我们用这两个线框中的任意一个都可以判定导体 MN 中感应电流的方向。提示：此题对导体 MN 中的电流方向的判定也可用右手定则来确定。

3．如图2.1–11所示，导线*AB*与*CD*平行。试判断在闭合与断开开关S时，导线*CD*中感应电流的方向，说明你判断的理由。

S

*E*

*C*

*A*

*D*

*B*

图2.1–11

**参考解答**：当闭合开关 S 时，导线 AB 中电流由左向右，它在上方的闭合线框中引起垂直于纸面向外的磁场的磁通量增加。根据楞次定律，闭合线框中产生感应电流的磁场，要阻碍它的增加，所以感应电流的磁场在闭合线框内的方向是垂直于纸面向内，再根据右手螺旋定则可知 CD 导线中感应电流的方向是由 D 向 C。

当断开开关 S 时，垂直于纸面向外的磁通量减少。根据楞次定律，闭合线框中产生感应电流的磁场，要阻碍原磁场磁通量的减少，所以感应电流的磁场在闭合线框内的方向是垂直于纸面向外，再根据安培定则可知感应电流的方向是由 C 向 D。

4．如图 2.1–12 所示，在水平放置的条形磁铁的 N 极附近，一个闭合线圈竖直向下运动并始终保持水平。在位置 *B*，N 极附近的磁感线正好与线圈平面平行，*A*、*B* 之间和 *B*、*C* 之间的距离都比较小。试判断线圈在位置 *A*、*B*、*C* 时感应电流的方向，说明你判断的理由。

*A*

**S**

**N**

*B*

*C*

图2.1–12

**参考解答**：由于线圈在条形磁体的 N 极附近，所以可以认为经过 A 到 B 的过程中，线圈中向上的磁通量减小。根据楞次定律，线圈中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的减少，即感应电流的磁场与原磁场方向相同。再根配右手螺旋定则可知感应电流的方向，从上向下看为逆时针方向。

经过 B 的过程中，线圈中向上的磁通量变为向下的磁通量，根据楞次定律，线圈中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的变化，即感应电流的磁场与原磁场方向相同。再根据右手螺旋定则可知感应电流的方向，从上向下看也为逆时针方向。

经过 B 到 C 的过程中，线圈中向下的磁通量增加，根据楞次定律，线圈中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的增加，即感应电流的磁场与原磁场方向相反。再根据右手螺旋定则可知感应电流的方向，从上向下看也为逆时针方向。

5．图 2.1–13 中的 A 和 B 都是铝环，A 环是闭合的，B 环是断开的，横梁可以绕中间的支点转动。某人在实验时，用磁铁的任意一极移近 A 环，A 环都会被推斥，把磁铁远离 A 环，A 环又会被磁铁吸引。但磁极移近或远离 B 环时，却没有发现与 A 环相同的现象。这是为什么？

A

B

**S**

**N**

图 2.1–13

**参考解答**：用磁体的任一级（如 N 极）接近 A 环时，穿过 A 环中的磁通量增加，根据楞次定律，A 环中将产生感应电流，阻碍磁体与 A 环接近，A 环将会被磁体排斥；同理，当磁体远离 A 环时，A 环中产生感应电流的方向将阻碍 A 环与磁体远离，A 环将会被磁体吸引。

由于 B 环是断开的，无论磁体移近或远离 B 环，都不会在 B 环中形成感应电流，所以 B 环将不移动。

# 第二章 电磁感应

## 课程标准的要求

2.2.1 探究影响感应电流方向的因素，理解楞次定律。

2.2.2 通过实验，理解法拉第电磁感应定律。

2.2.3 通过实验，了解自感现象和涡流现象。能举例说明自感现象和涡流现象在生产生活中的应用。

## 一、本章教材概述

必修第三册已经讲述了电磁感应现象、感应电流的产生条件，在此基础上，本章从楞次定律开始，进一步研究电磁感应的规律。第 1 节通过实验探究影响感应电流方向的因素，阐述楞次定律的内容，这是从感应电流角度来认识电磁感应现象，是认识电磁感应现象的第一个阶段。第 2 节“法拉第电磁感应定律”从感应电流深入到感应电动势来理解电磁感应现象，这是第二个阶段，它的核心内容是法拉第电磁感应定律 *E* = 。第 3 节介绍了涡流、电磁阻尼和电磁驱动。与前面研究电路中的电磁感应现象不同，涡流是导体块中的感应电流。第 4 节“互感和自感”阐述了两种具体的电磁感应现象，特别是自感现象的特点及应用。第 3、4 节介绍了产生感应电动势的两种非静电力的来源，即洛伦兹力和感生电场，它揭示了电磁感应现象的本质，这是认识电磁感应现象的第三个阶段。

本章教材在编写时还有以下一些具体的考虑。

### 1．从运动与相互作用及能量的角度来分析楞次定律

教材通过实验展示把磁极插入线圈或从线圈内抽出时，感应电流的方向并不相同，引出探究活动并得出结论：“感应电流具有这样的方向，即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。”进一步分析探究实验，推力或拉力都必须做机械功，做功过程中消耗的机械能转化为感应电流的电能。总的来看，阻碍的作用是把其他形式的能量（或其他电路的电能）转化（或转移）为感应电流所在回路的电能，在这个过程中，能量总是守恒的。楞次定律的深刻意义，正是在于它是能量的转化与守恒定律在电磁感应现象中的体现，而这种能量的转化与守恒关系是通过“阻碍”作用具体体现出来的。

### 2．楞次定律的得出运用了归纳推理的科学思维方法

归纳推理是从一类事物的部分对象所具有的某种属性出发，推理出这类事物的所有对象都具有共同属性的推理方法，也就是由具体结论推理出一般规律的方法。楞次定律的得出就运用了归纳推理。在纸上画出实验的草图，记录磁极运动的全部四种情况，把实验结果记录在表格中，分析四种情况，逐步归纳推理得出反映感应电流方向的规律。

### 3．通过探究得出影响感应电流方向的因素

首先，教材通过“问题”栏目中的实验引出探究的问题：“感应电流的方向与哪些因素有关？”其次，根据学生学过的感应电流产生的条件“穿过闭合回路的磁通量变化”，引导学生猜想感应电流的方向可能与磁通量的变化有关。进而再通过探究实验寻找感应电流的方向与磁通量的变化之间的关系。

学生通过观察，记录磁极运动的全部情况。这个实验的操作和记录难度不大，难点在于感应电流的方向与磁通量变化如何建立起联系。教材通过“进一步分析可以想到，磁体周围存在磁场，感应电流也会产生磁场。感应电流磁场的磁通量与磁体磁场的磁通量有没有联系呢？”引导学生突破难点。“由于线圈的横截面积是不变的，磁通量的变化可以用磁场的变化来体现。感应电流的方向与磁场的方向有关，我们应该选择磁体的磁场和感应电流的磁场进行分析。”在此基础上，分析得出无论磁通量增大还是减少，感应电流都会阻碍磁通量的变化。

### 4．重视理论联系实际

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。教材在理论联系实陈方面做了比较系统的安排，如先介绍涡流的热效应和磁效应的各种应用，接着又介绍涡流的机械效应（即电磁阻尼和电磁驱动）的各种应用。另外，在介绍互感现象和自感现象时也介绍了多个实例，注意培养学生理论联系实际的能力。

### 5．注意揭示电磁感应现象的物理本质

必修第三册已经介绍了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。需要注意，电磁感应现象是在变化、运动过程中出现的效应，虽然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。另外，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。只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就产生了感应电动势。

完整的法拉第电磁感应定律应该包括感应电动势的大小和方向的内容。为便于学生接受和理解，教材先在第 1 节介绍了如何判别感应电流的方向，即楞次定律，然后在第 2 节“法拉第电磁感应定律”中主要介绍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，用它可以判断感应电动势的方向，感应电流的方向与感应电动势的方向一致。

电动势的本质是非静电力移动电荷做功。教材在第 2 节的“导线切割磁感线时的感应电动势”中分析了导体运动产生的电动势及其非静电力，因为前面一章已经讲了洛伦兹力，所以本章对动生电动势的本质用洛伦兹力做了说明。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的基本内容之一，它鲜明地显示了磁场与电场的联系，困此教材在第 4 节介绍了磁场产生的感生电动势。对电磁感应非静电力的分析使学生对电磁感应现象的认识又上升到一个新的高度。2004 年版《普通高中课程标准实验教科书 物理》在一节中介绍了动生电动势和感生电动势，此次修订把它们分别放到相应的节里，一方面便于理解，另一方面分散了难点。因为课程标准对动生电动势和感生电动势没有要求，所以这部分内容对学生没有过高要求。

## 课时安排建议

1．第 1 节 楞次定律 2 课时

2．第 2 节 法拉第电磁感应定律 2 课时

3．第 3 节 涡流、电磁阻尼和电磁驱动 2 课时

4．第 4 节 互感和自感 2 课时

# 第 1 节 楞次定律 教学建议

## 1．教学目标

（1）理解楞次定律，知道楞次定律是能量守恒的反映，会用楞次定律判断感应电流方向。

（2）理解右手定则，知道右手定则是楞次定律的一种具体表现形式，会用右手定则判断感应电流方向。

（3）经历推理分析得出楞次定律的过程，体会归纳推理的方法。

（4）经历实验探究得出楞次定律的过程，提升科学探究的能力。

## 2．教材分析与教学建议

通过学习必修第三册之后，学生已经了解电磁感应现象，了解产生感应电流的条件，知道电磁感应现象的应用及其对现代社会的影响。在此基础上本章继续学习楞次定律。

楞次定律是本章教学的重点和难点。楞次定律解决感应电流方向的问题，是法拉第电磁感应定律的一部分内容，是电磁感应的重点。同时楞次定律涉及的因素多（磁场方向、磁通量的变化、线圈绕向、电流方向等），关系复杂，并且规律隐蔽，其抽象性和概括性很强。因此，学生理解楞次定律有较大的难度，楞次定律成为本章教学的难点。

本节课的主要任务是引导学生通过实验探究、分析、归纳、概括、总结得出感应电流方向所遵循的一般规律——楞次定律。在探究楞次定律后，通过楞次定律进行有关判断，帮助学生深刻理解楞次定律，顺利突破这一难点。

### （1）问题引入

在本节教学中．教师通过演示实验说明：当某一磁极插入和抽出时电流表指针均会发生偏转。同时，让学生观察当 N 极插入线圈时电流表指针会往哪个方向偏转，抽出时电流表指针又会往哪个方向偏转。然后可以提出问题：“改用 S 极时，指针又将如何偏转？为什么？”

### （2）楞次定律的得出

本节的编写是以问题解决为纽带，通过引导学生从发现问题、分析问题（提出假设）、解决问题等步骤去掌握知识。意在突出科学探究要素，着眼于学生探究能力的提高。具体来说，关于“楞次定律的得出”流程如下。

重温实验

提出问题

分析问题

收集证据

寻求“中介”

归纳规律

实验验证

评估结论

教师可以利用提供的素材，设置问题情境，引导学生观察、分析实验现象，寻找共性，归纳和总结规律。

在分析实验现象时，突出研究的对象是线圈（闭合导体回路），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“原磁场方向”和“原磁场磁通量的变化”以及“感应电流的磁场方向”。其中，如何引导学生分析实验数据，发现以感应电流的磁场作为“中介”来确定感应电流的方向是本节教学的重点和难点。

教学中，可以从分析感应电流产生的条件入手，构建各相关量关系的流程图如下，引出“中介”——感应电流的磁场，从而引导学生归纳出楞次定律的表述。

闭合导体回路原磁通量的变化

感应电流

感应电流的磁场

（中间量）

产生

产

生

阻

碍

**教学片段**

**归纳楞次定律**

教学中，还可以设计如下表格，引导学生进行分析归纳，最后得出楞次定律。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 相对运动情况 |  |  |  |  |
| 原磁场方向 |  |  |  |  |
| 磁通量的变化情况 |  |  |  |  |
| 感应电流方向 |  |  |  |  |
| 感应电流磁场方向 |  |  |  |  |
| 感应电流磁场方向与磁通量变化间的关系 |  |  |  |  |
| 结论 |  |

### （3）对楞次定律的理解

楞次定律的表述简明扼要，高度概括。学生初学时，常不能正确理解它的含义。教学时应注意以下问题。

明确各物理量之间的关系

①当穿过闭合导体回路的磁通量发生变化时，闭合导体回路中会产生感应电流，感应电流与其他电流一样，也会产生磁场，即感应电流的磁场。这样，电路中存在两个磁场——原磁场（产生感应电流的磁场）和感应电流的磁场。

②正确理解“磁通量的变化”

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。

③正确理解楞次定律中“阻碍”的含义

楞次定律的关键词是”阻碍”．只有深刻理解“阻碍”的含义，才能准确地把握楞次定律的实质。教学中，要注意结合实例进行分析，并从以下三点纠正学生可能存在的误解。

* “阻碍”不是“相反”

有些学生误认为“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，“阻得”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”不是“阻止”

感应电流的磁场对原磁场磁通量的变化有“阻碍”作用，但不是“阻止”原来磁通量的变化，因为原磁通量的变化是引起惑应电流的必要条件，若这种变化被阻止了，就不可能产生感应电流。因此，感应电流的磁场是阻止不了原磁通量的变化的。

* “阻碍”不仅是“反抗”

感应电流的磁场对原磁场的磁通量变化的“阻碍”作用不仅是“反抗”。当原磁场的磁通量增加时，感应电流的磁场与原磁场的方向相反，“反抗”磁通量的增加；当原磁场的磁通量减少时，感应电流的磁场与原磁场的方向相同，以“补偿”原磁通量的减少。所以“阻碍”不仅“反抗”原磁通量的增加，还会“补偿”原磁通量的减少。

**教学片段**

**楞次定律中“阻碍”的含义**

设计问题串：



分析：

①谁在阻碍？

起阻碍作用的是“感应电流的磁场”。

②阻碍什么？

感应电流的磁场阻碍的是“引起感应电流的磁通量的变化”，而不是阻碍原磁场，也不是阻碍原磁通量。

③如何阻碍？

当引起感应电流的磁通量（原磁通量）增加时，感应电流的磁场就与原磁场的方向相反，感应电流的磁场“反抗”原磁通量的增加。当原磁通量减少时，感应电流的磁场就与原磁场的方向相同，感应电流的磁场“补偿”原磁通量的减少。

④能否阻止？

当原磁通量的增加引起感应电流时，感应电流的磁场方向与原磁场方向相反，其作用仅仅使原磁通量的增加变慢了，但磁通量仍在增加。当原磁通量的减少引起感应电流时，感应电流的磁场方向与原磁场方向相同，其作用仅仅使原磁通量的减少变慢了，但磁通量仍在减少。原磁通量是在阻碍中“变化”的，没有“变化”也就没有阻碍。

⑤为何阻碍？

产生感应电流的过程也必须遵守能量守恒定律，这是能量转化的必然结果。阻碍的作用是把其他形式的能量（或其他电路的电能）转化（或转移）为感应电流所在回路的电能，没有这种阻碍就不能实现能量的转化（或转移）。

### （4）从能量守恒角度看楞次定律

由于引起磁通量变化的原因各不相同，如磁场变化、相对运动、线圈变化等。总的来看，阻碍的作用是把其他形式的能量（或其他电路的电能）转化（或转移）为感应电流所在回路的电能。在这个过程中，能量总是守恒的。楞次定律的深刻意义，正是在于它是能量的转化与守恒定律在电磁感应现象中的体现，而这种能量的转化与守恒关系是通过“阻碍”作用具体体现出来的。

教材图 2.1–2 中，磁体靠近铝环时，通过铝环的磁通量发生变化，产生感应电流，根据楞次定律可以削断出铝环内感应电流的方向。磁体向右靠近铝环时，铝环向右退，磁体向左离开铝环时，铝环向左跟随磁体。在由相对运动引起的电磁感应现象中，楞次定律可以描述为“阻碍”物体间的相对运动。总之，从磁通量变化的角度来看，感应电流的磁场总要阻碍原磁通量的变化；从导体和磁体的相对运动的角度来看，感应电流总要阻碍相对运动。

教学中，可以用一个趣味的“落磁”实验作为楞次定律的结尾。

**教学片段**

**“落磁”实验**

演示：如图 2–1 所示，把一根长 1 m 左右的空心铝管竖直放置。把一枚没有磁性的圆柱形铁块（直径略小于管道内径）从管上端放入管口，很快就从管下端出来，类似自由落体。同样把一枚磁性很强的圆柱形磁体（直径略小于管道内径）从管上端放入管口，过了许久才从管下端出来。



提出问题：是什么阻碍了磁体的下落呢？磁体减少的机械能转化为什么能？

总之，理解楞次定律需要明确它所包含的两层意义：一是注意因果关系，即磁通量的变化为“因”，而感应电流的磁场的产生是“果”；二是符合能量守恒定律。

### （5）楞次定律的应用

教材结合实例，说明应用楞次定律判定感应电流方向的方法与思路。其中，例题 1 选取的是由于电流变化引起磁通量的变化，从而产生电磁感应现象的实例。教材借助例题 1 的分析与解答，说明了应用楞次定律判定感应电流方向的具体方法。

教学中，建议在解析例题 1 的过程中，可仿照楞次定律得出的方式，设计表格。然后分析解题过程，归纳应用楞次定律判定感应电流方向的步骤：

①明确研究的对象是哪一个闭合导体回路；

②确定原磁场的方向，原磁场可以是磁体形成的，也可以是电流形成的；

③判断穿过闭合导体回路的磁通量如何变化，这是产生感应电流的必要条件；

④根据楞次定律确定感应电流所产生的磁场方向；

⑤运用安培定则根据感应电流的磁场方向确定感应电流的方向。

例题 2 选取的是由于相对运动引起磁通量的变化，从而产生电磁感皮现象的实例。该例题可以引导学生在情境不同时采用逆向思维的方法解决电磁感应问题。

应当指出，当对楞次定律的应用熟练到一定程度，对楞次定律理解到一定深度时，还会有灵活应用楞次定律的各种其他方法，特别是应用能量观点分析问题的方法，十分简捷。但在初始阶段，应该严格按照基本步骤去做。

### （6）右手定则

在右手定则的教学中，教材存“思考与讨论”栏目中设置了问题串帮助学生理解所学内容。有意识地让学生经历这样的学习过程，将会逐渐形成提出问题的习惯，这样学生不仅学到了科学方法，也养成了质疑的习惯。应该说，这是科学态度与责任的教育。那种简单地把结论告诉学生的做法是不可取的，探究的过程就是发现问题和解决问题的过程。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。需要说明的是，应用楞次定律或右手定则判断，其结果应该是一致的。如何判断，要根据具体问题的方便与否来确定。

①感应电动势方向的判断

利用楞次定律可以判断感应电流的方向。由于在电源内部电流的方向是从负极到正极，即电源内部电流的方向与电动势的方向相同，所以判断出了感应电流的方向也就知道了感应电动势的方向。

②楞次定律与右手定则比较

从研究对象上说，楞次定律研究的是整个闭合导体回路，右手定则研究的是闭合导体回路的一部分做切割磁感线运动。从适用范围上说，楞次定律可应用于由磁通量变化引起感应电流的各种情况，右手定则只用于一段导线在磁场中做切割磁感线运动的情况，导线不动时不能应用。因此，右手定则是楞次定律的特殊应用。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 5 道习题。前 4 题都是运用楞次定律判断电磁感应现象中产生的感应电流的方向，但情境不同，目的是让学生在不同情境中理解楞次定律并会用楞次定律判断感应电流的方向，初步掌握使用楞次定律的步骤。第 2 题除运用楞次定律判断感应电流的方向外，可以加强学生对右于定则的理解，并初步与电路知识相联系。第 5 题通过对不同现象的分析，进一步强化产生感应电流的条件，加深学生对楞次定律的理解和运用。

1．（1）当闭合开关 S 的一瞬间，线圈 P 中有感应电流，沿逆时针方向流动。线圈 M 产生磁场，穿过线圈 P 中磁场的磁通量从无到有增加，根据楞次定律，线圈 P 中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的增加，即感应电流的磁场与原磁场方向相反，再根据右手螺旋定则可知线圈 P 中感应电流沿逆时针方向流过电流表。

（2）当断开开关 S 瞬间，线圈 P 中感应电流沿顺时针方向。线圈 M 产生的磁场消失，穿过线圈 P 的磁通量减少，根据楞次定律，线圈 P 中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的减少，即感应电流的磁场与原磁场方向相同，再根据右手螺旋定则可知线圈 P 中感应电流沿顺时针方向流过电流表。

2．当导体 MN 向右移动时，线框 MNDC 中磁场垂直于纸面向内的磁通量减少。根据楞次定律，它产生感应电流的磁场要阻碍磁通量减少，即感应电流的磁场与原磁场方向相同，垂直于纸面向内。所以感应电流的方向是 N→M→C→D。

此时，线框 MNEF 中磁场垂直于纸面向内，磁通量增加，根据楞次定律，它产生的磁场要阻碍磁通量的增加，即感应电流的磁场与原磁场方向相反，垂直于纸面向外。所以，感应电流的方向是 N→M→F→E。

综上，我们用这两个线框中的任意一个都可以判定导体 MN 中感应电流的方向。

提示：此题对导体 MN 中的电流方向的判定也可用右手定则来确定。

3．当闭合开关 S 时，导线 AB 中电流由左向右，它在上方的闭合线框中引起垂直于纸面向外的磁场的磁通量增加。根据楞次定律，闭合线框中产生感应电流的磁场，要阻碍它的增加，所以感应电流的磁场在闭合线框内的方向是垂直于纸面向内，再根据右手螺旋定则可知 CD 导线中感应电流的方向是由 D 向 C。

当断开开关 S 时，垂直于纸面向外的磁通量减少。根据楞次定律，闭合线框中产生感应电流的磁场，要阻碍原磁场磁通量的减少，所以感应电流的磁场在闭合线框内的方向是垂直于纸面向外，再根据安培定则可知感应电流的方向是由 C 向 D。

4．由于线圈在条形磁体的 N 极附近，所以可以认为经过 A 到 B 的过程中，线圈中向上的磁通量减小。根据楞次定律，线圈中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的减少，即感应电流的磁场与原磁场方向相同。再根据右手螺旋定则可知感应电流的方向，从上向下看为逆时针方向。

经过 B 的过程中，线圈中向上的磁通量变为向下的磁通量，根据楞次定律，线圈中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的变化，即感应电流的磁场与原磁场方向相同。再根据右手螺旋定则可知感应电流的方向，从上向下看也为逆时针方向。

经过 B 到 C 的过程中．线圈中向下的磁通量增加，根据楞次定律，线圈中产生的感应电流的磁场要阻碍磁通量的增加，即感应电流的磁场与原磁场方向相反。再根据右手螺旋定则可知感应电流的方向，从上向下看也为逆时针方向。

5．用磁体的任一极（如 N 极）接近 A 环时，穿过 A 环中的磁通量增加，根据楞次定律，A 环中将产生感应电流，阻碍磁体与 A 环接近，A 环将会被磁体排斥；同理，当磁体远离 A 环时，A 环中产生感应电流的方向将阻碍 A 环与磁体远离，A 环将会被磁体吸引。

由于 B 环是断开的，无论磁体移近或远离 B 环，都不会在 B 环中形成感应电流，所以 B 环将不移动。

1. 丁铎尔（John Tyndall，1820 — 1893），英国物理学家，法拉第的学生和朋友，《作为一个发现者的法拉第》一书的作者。 [↑](#footnote-ref-1)