

4 法拉第电磁感应定律

目标定位

1. 理解感应电动势的概念。
2. 掌握法拉第电磁感应定律的内容和表达式, 会用法拉第电磁感应定律解答有关问题。
3. 掌握导体切割磁感线产生的电动势 $E = Blv\sin\theta$ 的推导及意义, 会用此关系式解答有关问题。
4. 知道反电动势的定义和作用。

核心提示

- 重点:**
1. 感应电动势大小的计算。
 2. 分析、区别平均感应电动势、瞬时感应电动势。
 3. 法拉第电磁感应定律的理解与应用。
- 难点:**
1. Φ 、 $\Delta\Phi$ 、 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的物理意义及区别。
 2. 右手定则与左手定则的区别与应用。

自主初探·夯基础

温馨提示
如果您在观看本课件的过程中出现压字现象，请关闭所有幻灯片，重新打开可正常观看。

前知回顾

1. 产生感应电流的条件：穿过 闭合 电路的磁通量发生 变化。
2. 磁通量发生变化的方式：
 - (1) 当 **B** 不变，有效面积 **S** 变化时， $\Delta\Phi = \underline{\Delta B \cdot \Delta S}$ 。
 - (2) 当 **B** 变化，**S** 不变时， $\Delta\Phi = \underline{\Delta B \cdot S}$ 。
 - (3) **B** 和 **S** 同时变化，则 $\Delta\Phi = \underline{\Phi_2 - \Phi_1}$ ，但 $\Delta\Phi \neq \Delta B \cdot \Delta S$ 。
3. 电路中存在持续电流的条件：
 - (1) 电路 闭合。
 - (2) 电路中有 电源。

自主学习

一、电磁感应定律

1. 感应电动势：

- (1) 感应电动势：在电磁感应现象中产生的电动势。
- (2) 电源：产生感应电动势的那部分导体相当于电源。
- (3) 在电磁感应现象中，只要闭合回路中有感应电流，这个回路就一定有感应电动势；回路断开时，虽然没有感应电流，但感应电动势依然存在。

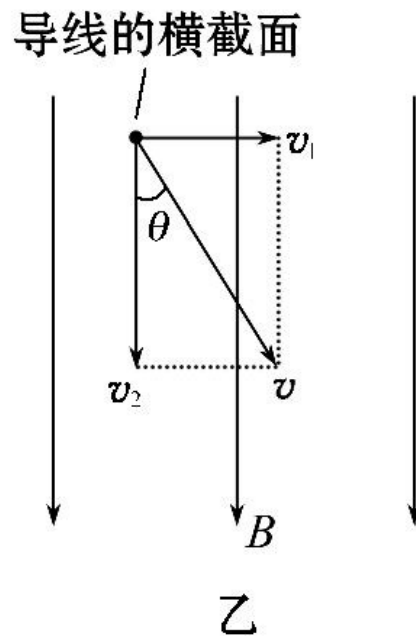
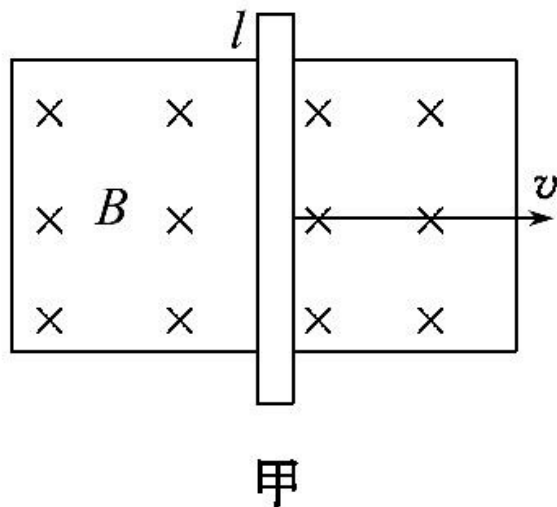
2. 法拉第电磁感应定律：

(1) 内容：闭合电路中感应电动势的大小，跟穿过这一电路的磁通量的 变化率 成正比。

(2) 表达式： $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ (单匝线圈) ； $E = \frac{n\Delta\Phi}{\Delta t}$ (n 匝线圈) 。

二、导体切割磁感线时的感应电动势

1. 垂直切割：导体棒垂直于磁场运动， B 、 l 、 v 两两垂直时，如图甲， $\mathbf{E} = \underline{Blv}$ 。



2. 不垂直切割：导线的运动方向与导线本身垂直，但与磁感线方向夹角为 θ 时，如图乙，则 $E = \underline{B/v_1} = \underline{B/v \sin\theta}$ 。

三、反电动势

1. 定义：电动机转动时，由于切割磁感线，线圈中产生的削弱电源电动势作用的感应电动势。
2. 作用：阻碍线圈的转动。

【思考辨析】

1. 判断正误：

(1) 在电磁感应现象中，有感应电动势，就一定有感应电流。()

(2) 磁通量越大，磁通量的变化量也越大。()

(3) 穿过某电路的磁通量变化量越大，产生的感应电动势就越大。()

(4) 闭合电路置于磁场中，当磁感应强度很大时，感应电动势可能为零；当磁感应强度为零时，感应电动势可能很大。()

(5) 只要穿过线圈的磁通量变化，就产生反电动势。()

提示：（1）×。不管电路是否闭合，只要穿过电路的磁通量发生变化，电路中就会产生感应电动势；有感应电动势不一定存在感应电流（要看电路是否闭合），有感应电流一定存在感应电动势。

（2）×。 Φ 与 $\Delta\Phi$ 的大小没有直接关系。穿过一个平面的磁通量大，磁通量的变化量不一定大。

（3）×。感应电动势的大小取决于磁通量的变化率，而与 Φ 、 $\Delta\Phi$ 的大小没有必然的联系。

(4) √。根据法拉第电磁感应定律，感应电动势的大小取决于磁通量的变化率而不是磁通量的大小，所以上述两种情况均有可能。

(5) ×。反电动势是与电源电动势相反的电动势，其作用是削弱电源的电动势。产生反电动势的前提是必须有电源存在。

2. 问题思考：

(1) 导体棒运动速度越大，产生的感应电动势越大吗？

提示：导体棒切割磁感线时，产生的感应电动势的大小与垂直磁感线的速度有关，而速度大，垂直磁感线方向的速度不一定大。所以，导体棒运动速度越大，产生的感应电动势不一定越大。

(2) 电动机工作时，通过电动机的电流 I 为什么要小于 $\frac{U}{R}$ ？

(U 为加在电动机两端的电压， R 为电动机线圈的电阻)

提示：由于电动机工作时，线圈转动切割磁感线而产生一个反电动势，使线圈两端的电压减小。所以，线圈中的电流 $I < \frac{U}{R}$ 。

核心归纳 · 抓要点

— 对法拉第电磁感应定律的理解

深化
理解

1. Φ 、 $\Delta\Phi$ 、 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的比较：

	磁通量 Φ	磁通量的 变化量 $\Delta\Phi$	磁通量的 变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
物理意义	某时刻穿过磁场 中某个面的磁感 线条数	在某一过程中穿 过某个面的磁通 量的变化量	穿过某个面的磁通量 变化的快慢

	磁通量 Φ	磁通量的 变化量 $\Delta\Phi$	磁通量的 变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
大小 计算	$\Phi = BS_{\perp}$	$\Delta\Phi = \begin{cases} \Phi_2 - \Phi_1 \\ B\Delta S \\ S\Delta B \end{cases}$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \begin{cases} \frac{ \Phi_2 - \Phi_1 }{\Delta t} \\ B\frac{\Delta S}{\Delta t} \\ \frac{\Delta B}{\Delta t}S \end{cases}$
注意	穿过某个面有方向相反的磁场，则不能直接用 $\Phi = B \cdot S$ 。应考虑相反方向的磁通量或抵消以后所剩余的磁通量	开始和转过 180° 时平面都与磁场垂直，但穿过平面的磁通量是不同的，一正一负， $\Delta\Phi = 2B \cdot S$ ，而不是零	既不表示磁通量的大小也不表示变化的多少。在 $\Phi-t$ 图像中，可用图线的斜率表示

2 . 对感应电动势的理解 :

(1) 感应电动势的大小取决于穿过电路的磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 而与 Φ 、 $\Delta\Phi$ 的大小没有必然关系，与电路的电阻 R 无关；

感应电流的大小与 E 和回路总电阻 R 有关。

(2) 磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 是 Φ - t 图像上某点切线的斜率。

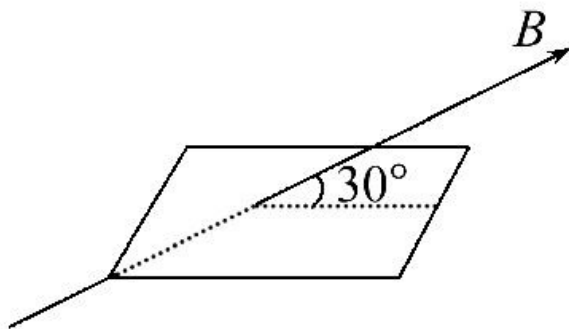
(3) 用 $E \doteq \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 所求的感应电动势为整个闭合电路的感应电动势，而不是回路中某部分导体两端的电动势。

【特别提醒】（1）利用法拉第电磁感应定律计算出的电动势是一段时间内电动势的平均值。

（2）当穿过某回路磁通量的变化率为恒定值时，产生的电动势将为恒量，在闭合回路中可形成恒定电流。

（3）利用公式 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 计算线圈中的磁通量发生变化产生电动势时， n 为线圈的匝数。

【典例 1】 一个 200 匝、面积为 20 cm^2 的线圈，放在磁场中，磁场的方向与线圈平面成 30° 角，若磁感应强度在 0.05 s 内由 0.1 T 增加到 0.5 T ，在此过程中



- (1) 穿过线圈的磁通量的变化量是多少？
- (2) 磁通量的平均变化率多大？
- (3) 线圈中感应电动势大小为多少？

【解题探究】 (1) 磁通量的变化量用 $\Phi_2 - \Phi_1$ 求解。

(2) 感应电动势大小用 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 计算。

【标准解答】 (1) 磁通量的变化量是由磁感应强度的变化引起的, 则 $\Phi_1 = B_1 S \sin\theta$ $\Phi_2 = B_2 S \sin\theta$ $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$, 所以 $\Delta\Phi = \Delta B S \sin\theta = (0.5 - 0.1) \times 20 \times 10^{-4} \times 0.5 \text{ Wb} = 4 \times 10^{-4} \text{ Wb}$

(2) 磁通量的变化率为

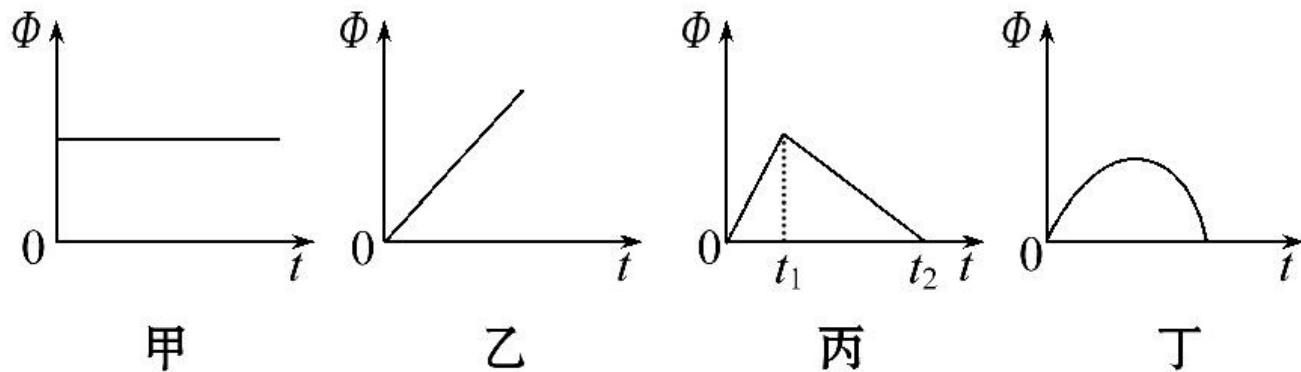
$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{4 \times 10^{-4}}{0.05} \text{ Wb/s} = 8 \times 10^{-3} \text{ Wb/s}$$

(3) 感应电动势的大小可根据法拉第电磁感应定律得

$$E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 200 \times 8 \times 10^{-3} \text{ V} = 1.6 \text{ V}。$$

答案： (1) $4 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ (2) $8 \times 10^{-3} \text{ Wb/s}$ (3) 1.6 V

【变式训练】（多选）（2013·广州高二检测）闭合回路的磁通量 Φ 随时间 t 的变化图像分别如图所示，关于回路中产生的感应电动势的论述，其中不正确的是（ ）

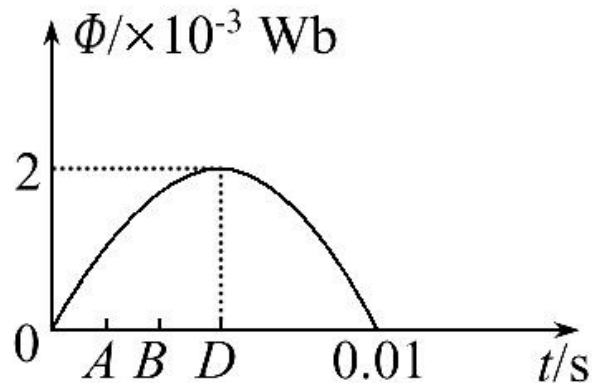


- A. 图甲的回路中没有感应电动势
- B. 图乙的回路中感应电动势恒定不变
- C. 图丙的回路中 $0 \sim t_1$ 时间内的感应电动势小于 $t_1 \sim t_2$ 时间内的感应电动势
- D. 图丁的回路中感应电动势先变大，再变小

【解析】选 C、D。根据法拉第电磁感应定律， $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。在 $\Phi-t$ 图像上，若 $n=1$ ，图线某点切线的斜率表示感应电动势的大小。图甲： $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$ ，A 正确；图乙： $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 是一定值，感应电动势恒定不变，B 正确；图丙： $0 \sim t_1$ 的斜率比 $t_1 \sim t_2$ 的大，即图丙的回路中 $0 \sim t_1$ 时间内的感应电动势大于 $t_1 \sim t_2$ 时间内的感应电动势，C 错误；图丁：斜率先变小后变大，即感应电动势先变小再变大，D 错误。

【变式备选】 (多选) 单匝矩形线圈在匀强磁场中匀速运动，转轴垂直于磁场，若线圈所围面积里磁通量随时间变化的规律如图所示，则 $0 \sim D$ 过程中 ()

- A. 线圈中 0 时刻感应电动势最大
- B. 线圈中 D 时刻感应电动势为零
- C. 线圈中 D 时刻感应电动势最大
- D. 线圈中 $0 \sim D$ 时间内平均感应电动势为 $0.4V$



【解析】选 A、B、D。由法拉第电磁感应定律知线圈中 0 ~

D

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{2 \times 10^{-3}}{0.01} \text{ V} = 0.4 \text{ V}$$

时间内的平均感应电动势 $E =$

2

D 正确；

由感应电动势的物理意义知，感应电动势的大小与磁通量的大小 Φ 和磁通量的改变量 $\Delta\Phi$ 均无必然联系，仅由磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 决定，而任何时刻磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 就是 $\Phi-t$ 图像上该时刻切线的斜率，不难看出 0 时刻处切线斜率最大，D 点处切线斜率最小为零，故 A、B 正确，C 错误。

二 导体切割磁感线时的电动势

1. 对公式 $E=Blv\sin\theta$ 的理解：

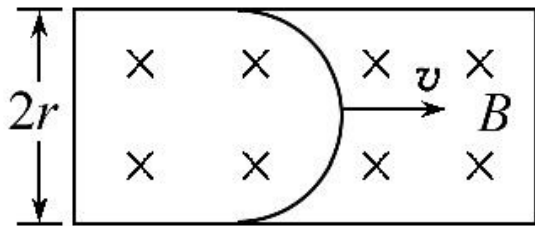
(1) 该公式可看成法拉第电磁感应定律的一个推论，通常用来求导体做切割磁感线运动时的感应电动势。若速度 v 是瞬时速度，则电动势 E 即为瞬时电动势；若速度 v 是平均速度，则电动势 E 即为平均电动势。

(2) 对 θ 的理解：当 B 、 l 、 v 三个量的方向互相垂直时， $\theta=90^\circ$ ，感应电动势最大；当有任意两个量的方向互相平行时， $\theta=0^\circ$ ，感应电动势为零。

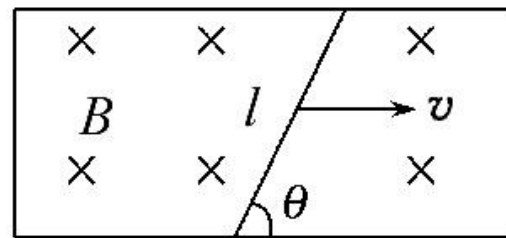
(3) 式中 l 应理解为导线切割磁感线时的有效长度，如果导线不和磁场或 \mathbf{v} 垂直， l 应是导线在垂直磁场或 \mathbf{v} 方向的投影的长度，如果切割磁感线的导线是弯曲的，则应取与 \mathbf{B} 和 \mathbf{v} 垂直方向上的投影的长度。

如图甲中，半径为 r 的半圆形导体垂直切割磁感线时，感应电动势 $E=2Brv \neq B\pi r v$ 。

在图乙中，长为 l 的导体棒垂直切割磁感线时，其感应电动势 $E=B l v \sin\theta \neq B l v$ 。



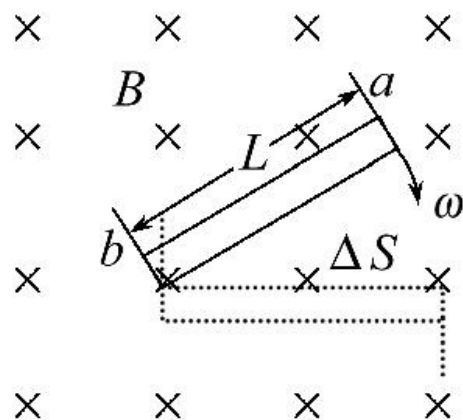
甲



乙

(4) 公式中的 v 应理解为导线和磁场间的相对速度，当导线不动而磁场运动时，同样有感应电动势产生。

(5) 导体转动垂直切割磁感线时：如图丙所示，长为 L 的金属棒 ab ，绕 b 端在垂直于匀强磁场的平面内以角速度 ω 匀速转动，磁感应强度为 B ， ab 棒所产生的感应电动势大小可用下面两种方法推出。



丙

方法一：棒上各处速率不等，故不能直接用公式 $E = BLv$ 求，由 $v = \omega r$ 可知，棒上各点线速度跟半径成正比，故可用棒的中点的速度作为平均切割速度代入公式计算。

$$\bar{v} = \frac{\omega L}{2}, E = BL\bar{v} = \frac{1}{2}BL^2\omega。$$

方法二：设经过 Δt 时间 ab 棒扫过的扇形面积为 ΔS ，

$$\text{则 } \Delta S = \frac{1}{2}L\omega\Delta tL = \frac{1}{2}L^2\omega\Delta t$$

$$\text{变化的磁通量为 } \Delta\Phi = B\cdot\Delta S = \frac{1}{2}BL^2\omega\Delta t。$$

$$\text{所以 } E = n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = nB\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{1}{2}BL^2\omega \quad (n=1)。$$

2. 公式 $E=B/v\sin\theta$ 与 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的对比：

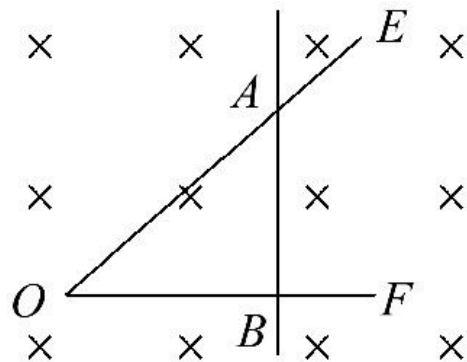
		$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$E=B/v\sin\theta$
区别	研究对象	整个闭合回路	回路中做切割磁感线运动的那部分导体
	适用范围	各种电磁感应现象	只适用于导体切割磁感线运动的情况
	计算结果	Δt 内的平均感应电动势	某一时刻的瞬时感应电动势
联系		$E=B/v\sin\theta$ 是由 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 在一定条件下推导出来的，该公式可看作法拉第电磁感应定律的一个推论	

【特别提醒】（1）感应电动势是标量，但有方向，在内电路中电流的方向与电动势的方向相同。

（2）实际应用中， $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 应用于磁感应强度变化所产生的电磁感应现象较方便； $E=BLv\sin\theta$ 应用于导体切割磁感线所产生的电磁感应现象较方便。

【典例 2】（多选）如图所示，三角形金属导轨 EOF 上放有一金属杆 AB，在外力作用下，使 AB 保持与 OF 垂直，以速度 v 匀速从 O 点开始右移，若导轨与金属棒均为粗细相同的同种金属制成，则下列判断正确的是（ ）

- A. 电路中的感应电流大小不变
- B. 电路中的感应电动势大小不变
- C. 电路中的感应电动势逐渐增大
- D. 电路中的感应电流逐渐减小



【解题探究】 (1) 用公式 $E=B/v\sin\theta$ 判断感应电动势的大小。

(2) 如何求解感应电流的大小？

提示：根据闭合电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R+r}$ 求解。

(3) 闭合回路的电阻如何求解？

提示：根据电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S}$ 求解。

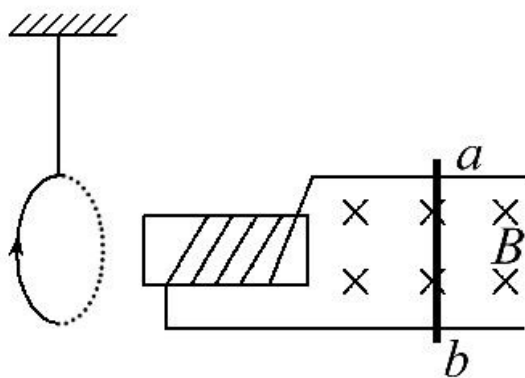
【标准解答】 选 A、C。金属杆从 O 开始到如题图所示位置所经历时间设为 t ， $\angle EOF = \theta$ ，则金属杆切割磁感线的有效长度 $l_{\perp} = \overline{OB} \cdot \tan\theta$ ，故 $E = Bl_{\perp} \cdot v_{\perp} = Bvt \cdot \tan\theta \cdot v =$

$Bv^2 \tan\theta \cdot t$ ，即电路中电动势与时间成正比，B 错误，C 正确；电路中电流强度 $I = \frac{E}{R} = \frac{Bv^2 \tan\theta t}{\frac{\rho L}{S}}$ 而 $L = \triangle OAB$ 的周长

$$= \overline{OB} + \overline{AB} + \overline{OA} = vt + v \tan\theta + \frac{vt}{\cos\theta} = vt \left(1 + \tan\theta + \frac{1}{\cos\theta} \right)$$

所以 $I = \frac{BvS \tan\theta}{\rho \left(1 + \tan\theta + \frac{1}{\cos\theta} \right)} = \text{恒量}$ ，所以 A 正确，D 错误。

【变式训练】（多选）（2013·台州高二检测）如图所示，平行导轨电阻忽略不计，要使悬挂着的金属环产生图示方向的电流，则金属棒 **ab** 的运动应是（ ）



A. 向右匀速

B. 向右加速

C. 向左减速

D. 向左加速

【解析】选 B、C。当 ab 匀速运动时，由 $E=Blv$ 知，产生的电流恒定，螺线管中的磁场恒定，在金属环中不会产生感应电流，A 错误；当棒向右加速运动时，产生的电流使螺线管中的磁场向右增强，金属环中的磁通量向右增强，由楞次定律判断得到如题图所示的感应电流，B 对；同样分析知棒向左加速运动时，环中得到的电流与图示方向相反，D 错误；棒向左减速运动时，感应电流使螺线管中的磁场向左减弱，金属环中的磁通量向左减弱，由楞次定律得到如题图所示的感应电流，C 对。

三 电磁感应中的电路问题_____

1. 对电源的理解：在电磁感应现象中，产生感应电动势的那部分导体就是电源，如切割磁感线的导体棒、内有磁通量变化的线圈等。这种电源将其他形式的能转化为电能。
2. 对电路的理解：内电路是切割磁感线的导体或磁通量发生变化的线圈，外电路由电阻、电容等电学元件组成。

3. 问题分类：

(1) 确定等效电源的正负极、感应电流的方向、电势高低、电容器极板带电性质等问题。

(2) 根据闭合电路求解电路中的总电阻、路端电压、电功率等问题。

(3) 根据电磁感应的平均感应电动势求解电路中通过的电荷量：
$$\bar{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \bar{I} = \frac{\bar{E}}{R_{\text{总}}}, \quad q = \bar{I}\Delta t = \frac{n\Delta\Phi}{R_{\text{总}}}。$$

4. 解决与电路相联系的电磁感应问题的基本方法：

明确哪一部分导体或电路产生感应电动势，该导体或电路就是电源，其他部分是外电路



用法拉第电磁感应定律或导体切割磁感线公式计算感应电动势大小



将发生电磁感应现象的导体看作电源，与电路整合，作出等效电路



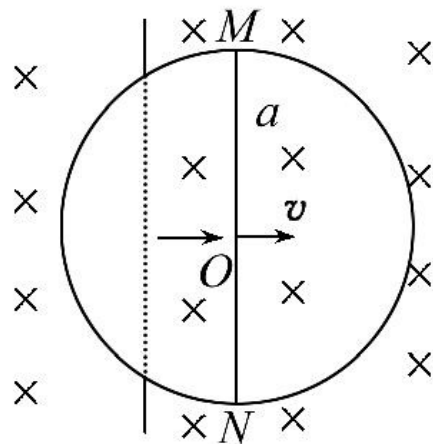
运用闭合回路欧姆定律，部分电路欧姆定律，串、并联电路的性质及电压、电功率分配等公式进行求解

【特别提醒】（1）在电磁感应电路中，切割磁感线的导体棒两端的电压为路端电压，内有磁通量变化的线圈两端的电压为路端电压。

（2）求解电路中通过的电荷量，一定要用平均电动势和平均电流计算。

【典例 3】 把总电阻为 $2R$ 的均匀电阻丝焊接成一半径为 a 的圆环，水平固定在竖直向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场中，如图所示，一长度为 $2a$ ，电阻等于 R ，粗细均匀的金属棒 MN 放在圆环上，它与圆环始终保持良好接触。当金属棒以恒定速度 v 向右移动经过环心 O 时，求：

- (1) 棒上电流的大小和方向；
- (2) 棒两端的电压 U_{MN} ；
- (3) 在圆环和金属棒上消耗的总热功率。



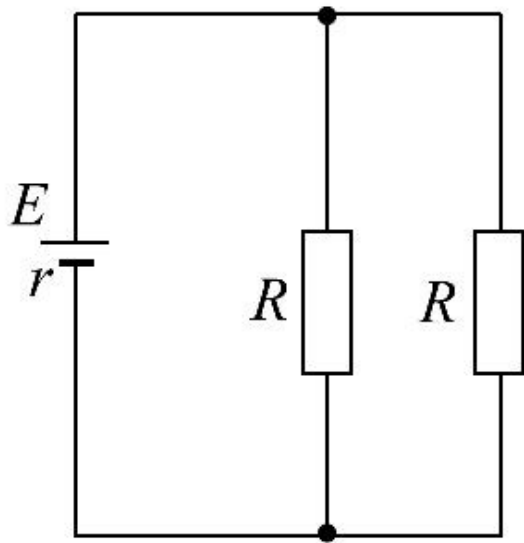
【解题探究】 (1) 金属棒经过环心 O 时的电动势为 瞬时 感应电动势，应用公式 $E = \underline{Blv\sin\theta}$ 求解。

(2) 如何确定棒两端的电压？

提示：棒 MN 相当于一个电源，画出等效电路图，棒两端的电压即为路端电压。

(3) 圆环和金属棒上消耗的总热功率用公式 $P = \underline{IE^2}$ 求解。

【标准解答】（1）棒 MN 右移时，切割磁感线，产生感应电动势，当棒过圆心 O 时，棒两端的电压即为路端电压，其等效电路如图所示。



金属棒经过圆心时，棒中产生的感应电动势为

$$E = B \times 2av = 2Bav。$$

此时，圆环的两部分并联连接，且 $R_{左} = R_{右} = R$ ，

故并联部分的电阻为 $R_{并} = \frac{R}{2}$

由闭合电路欧姆定律得流过金属棒的电流为

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{2Bav}{\frac{1}{2}R + R} = \frac{4Bav}{3R}$$

由右手定则可判断出金属棒上的电流方向由 $N \rightarrow M$ 。

(2) 棒两端的电压

$$U_{MN} = IR_{并} = I \frac{R}{2} = \frac{2}{3} Bav$$

(3) 圆环和金属棒上消耗的总功率等于电路中感应电流的电功率, 即

$$P = IE = \frac{8B^2 a^2 v^2}{3R}$$

答案: (1) $\frac{4Bav}{3R}$, 方向由 N→M

(2) $\frac{2}{3}Bav$ (3) $\frac{8B^2 a^2 v^2}{3R}$

【总结提升】电磁感应问题的分析方法

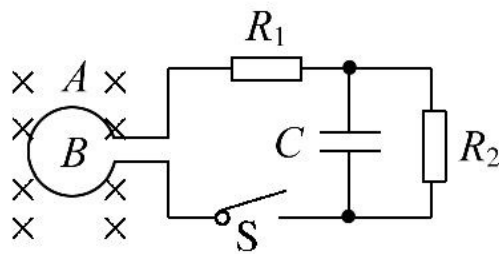
(1) 明确电路结构，分清内、外电路。

(2) 根据产生感应电动势的方式计算感应电动势的大小，如果是磁场变化，由 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 计算；如果是导体切割磁感线，由 $E = Blv$ 计算。

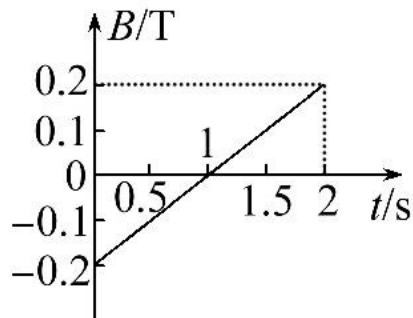
(3) 根据楞次定律判断感应电流的方向。

(4) 根据电路组成列出相应的方程式。

【变式训练】（2013·襄阳高二检测）横截面积 $S=0.2\text{m}^2$ ，匝数 $n=100$ 匝的线圈 A ，处在如图甲所示的磁场中，磁感应强度 B 随时间按图乙所示规律变化，方向垂直线圈平面，规定向外为正方向。电路中 $R_1=4\Omega$ ， $R_2=6\Omega$ ， $C=30\mu\text{F}$ ，线圈电阻不计。



甲



乙

- (1) 闭合 S 稳定后，求通过 R_2 的电流大小和方向；
- (2) 闭合 S 一段时间后再断开，则断开后通过 R_2 的电荷量

【解析】 (1) 由题图知 B 随时间按线性变化, 变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0.2 \text{ T/s}$ 。

由法拉第电磁感应定律得 $E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S = 4 \text{ V}$

由楞次定律确定线圈中的电流方向为顺时针方向, 则通过 R_2 的电流方向向下

由闭合电路欧姆定律得流过 R_2 的电流

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2} = 0.4 \text{ A}$$

(2) S 闭合后, 将对 C 充电, 充电结束后电容器支路断路, 电容器两端的电势差等于 R_2 两端的电压

$$U = IR_2 = 2.4 \text{ V}$$

因此, 其充电量 $Q = CU = 7.2 \times 10^{-5} \text{ C}$

S 断开后, 电容器只通过 R_2 放电, 所以放电量为 $7.2 \times 10^{-5} \text{ C}$

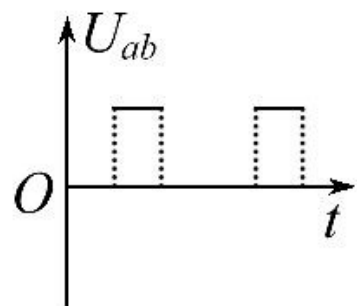
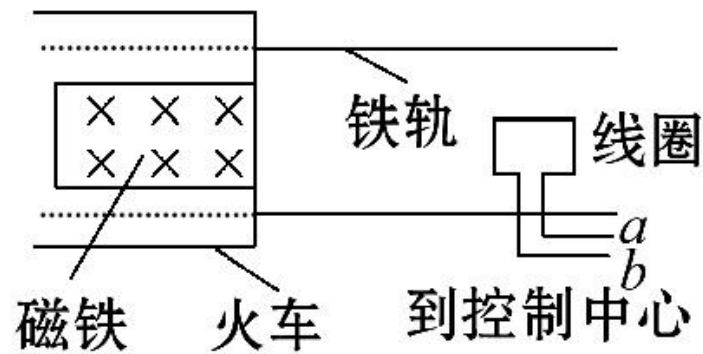
答案: (1) 0.4 A 电流方向向下 (2) $7.2 \times 10^{-5} \text{ C}$

备选例题

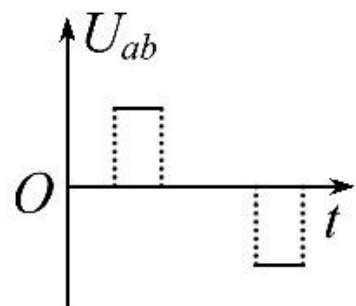
考查内容

法拉第电磁感应定律在实际问题中的综合应用

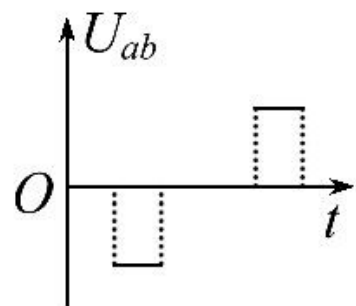
【典例】铁路上使用一种电磁装置向控制中心传输信号以确定火车的位置和速度。被安放在火车首节车厢下面的磁铁能产生匀强磁场，如图所示（俯视图），当它经过安放在两铁轨间的线圈时，便会产生一电信号，被控制中心接收。当火车以恒定速度通过线圈时，表示线圈两端的电压 U_{ab} 随时间变化关系的图像是（ ）



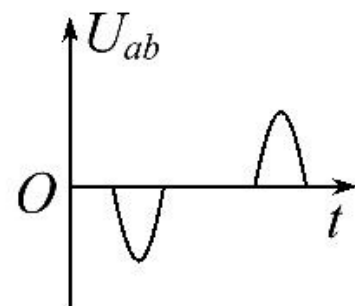
A



B



C



D

【标准解答】选C。当火车以恒定速度通过线圈时，线圈中的磁通量发生变化，因此，线圈会产生感应电动势，该电动势可以等效认为是线圈的一条边切割磁感线产生的，因此，线圈两端的电压 U_{ab} 是恒定的电压，根据右手定则判断，火车进入线圈时， U_{ab} 为负值，火车离开线圈时， U_{ab} 为正值。故C项正确。

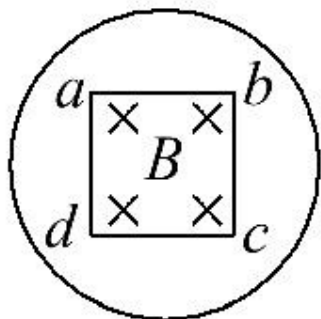


易错辨析

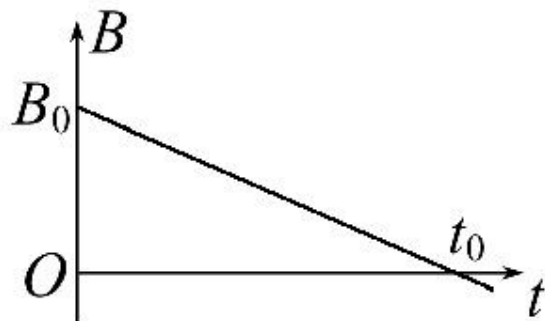
关于 Φ 、 $\Delta\Phi$ 、 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的关系辨析

- (1) $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 与 Φ 、 $\Delta\Phi$ 没有直接关系， Φ 很大时 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 可能很小，也可能很大； $\Phi=0$ 时 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 可能最大。
- (2) $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 与线圈匝数无关，但感应电动势与匝数有关。
- (3) $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} S$ 中的 S 是指磁场区域的有效面积。

【案例展示】 半径为 r 、电阻为 R 的 n 匝圆形线圈在边长为 l 的正方形 $abcd$ 之外，匀强磁场充满并垂直穿过该正方形区域，如图甲所示。当磁场随时间的变化规律如图乙所示时，则穿过圆形线圈磁通量的变化率为多少？ t_0 时刻线圈产生的感应电流为多少？



甲



乙

【标准解答】 磁通量的变化率为 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} S = \frac{B_0}{t_0} l^2$

根据法拉第电磁感应定律得线圈中的感应电动势

$$E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S = n \frac{B_0}{t_0} l^2$$

再根据闭合电路欧姆定律得感应电流

$$I = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t R} = n \frac{B_0 l^2}{t_0 R}$$

答案： $\frac{B_0}{t_0} l^2$ $n \frac{B_0 l^2}{t_0 R}$

【易错分析】 对解答本题的易错角度及错误原因分析如下：

易错角度	错误原因
<p>误认为磁通量的变化率与线圈的匝数有关，而得出</p> $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S = n \frac{B_0}{t_0} l^2$	<p>对磁通量变化率的概念理解不清，磁通量的变化率是指单位时间内穿过某一面积磁通量的变化量，与线圈的匝数无关</p>

易错角度	错误原因
<p>将线圈的面积代入上式得出</p> $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S = n \frac{\pi B_0}{t_0} r^2$	<p>不理解 $\Delta\Phi = \Delta B \cdot S$ 中 S 是指磁场区域的有效面积</p>
<p>误认为 t_0 时刻磁感应强度为零，所以感应电动势和感应电流均为零</p>	<p>不能正确区分 Φ 和 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 间的关系，Φ 等于零，$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 不一定等于零</p>

学业测试·速达标

1. (多选) (基础理论辨析题) 下列说法正确的是 ()
- A. 磁通量变化量越大, 磁通量的变化率也越大
 - B. 磁通量变化率越大, 磁通量变化得越快
 - C. 磁通量等于零时, 磁通量的变化率也为零
 - D. 感应电动势的大小与线圈的匝数无关
 - E. 公式 $E=Blv$ 中的 l 是导体切割磁感线时的有效长度
 - F. 电动机只有在转动时线圈内才会产生反电动势

【解析】选 B、E、F。 Φ 、 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的大小没有直接关系，磁通量的变化量大，磁通量的变化率不一定大，选项 A 错误；磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 表示穿过某一面积的磁通量变化的快慢，磁通量变化率越大，磁通量变化得就越快，选项 B 正确；由于 Φ 与 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的大小没有关系，磁通量等于零时，磁通量可能正在变化，此时磁通量的变化率不为零，选项 C 错误；由感应电动势公式 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 知，感应电动势的大小与匝数有关，选项 D 错误；公式 $E=Blv$ 中的 l 应理解为导线切割磁感线时的有效长度，如果导线不和磁场垂直， l 应是导线在与磁场垂直方向投影的长度，选项 E 正确；电动机转动时，线圈中产生反电动势削弱电源的电动势，阻碍线圈的转动；若电动机停止转动，线圈中就没有了反电动势，选项 F 正确。

2. (多选) 当线圈中的磁通量发生变化时 ()

A. 线圈中一定有感应电流

B. 线圈中一定有感应电动势

C. 线圈中感应电动势大小与电阻无关

D. 线圈中感应电流大小与电阻无关

【解析】 选 B、C。磁通量发生变化，一定有感应电动势，但只有当线圈闭合时才有感应电流，所以 A 错误，B 正确；感应电动势 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 与电阻无关，而感应电流 $I = \frac{E}{R}$ 与电阻有关，C 正确，D 错误。

3. (2013·北京高考) 如图，在磁感应强度为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场中，金属杆 MN 在平行金属导轨上以速度 v 向右匀速滑动， MN 中产生的感应电动势为 E_1 ；若磁感应强度增为 $2B$ ，其他条件不变， MN 中产生的感应电动势变为 E_2 。

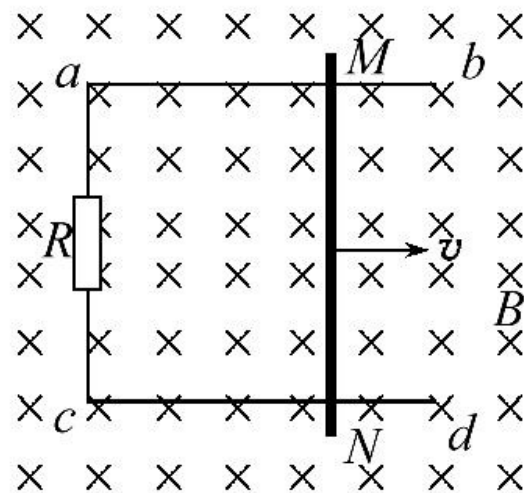
则通过电阻 R 的电流方向及 E_1 与 E_2 的比值为 ()

A. $c \rightarrow a$ ， $2:1$

B. $a \rightarrow c$ ， $2:1$

C. $a \rightarrow c$ ， $1:2$

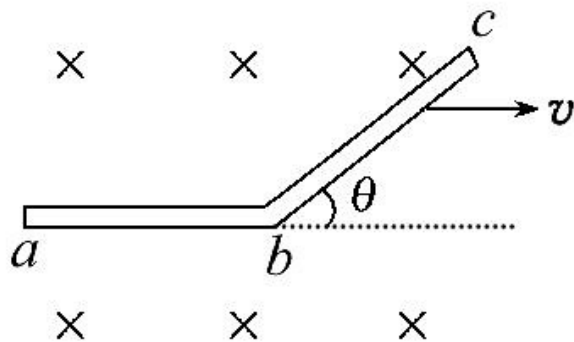
D. $c \rightarrow a$ ， $1:2$



【解析】选 C。根据右手定则可知金属杆中感应电流的方向由 N→M，所以电阻 R 中的电流方向是 a→c；由 $E=BLv$ ，其他条件不变，磁感应强度变为原来的 2 倍，则感应电动势也变为原来的 2 倍。故 C 正确，A、B、D 错误。

4. (2013·和平区高二检测) 如图所示，一金属弯杆处在磁感应强度大小为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场中，已知 $ab=bc=L$ ，当它以速度 v 向右平动时， a 、 c 两点间的电势差

为 ()



A. BLv

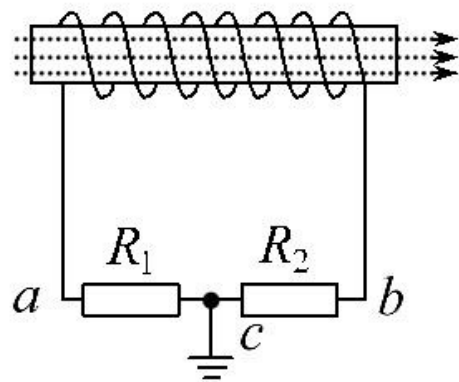
B. $BLv\sin\theta$

C. $BLv\cos\theta$

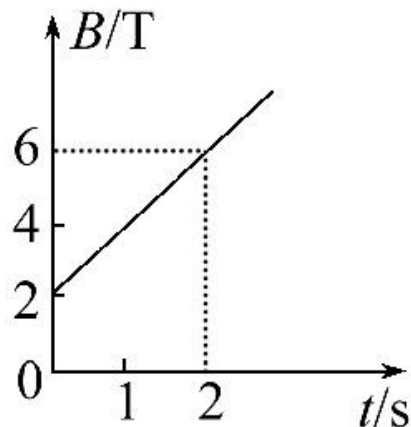
D. $BLv (L+\sin\theta)$

【解析】选 B。公式 $E=BLv$ 中的 L 应指导体切割磁感线的有效长度，也就是与磁感应强度 B 和速度 v 垂直的长度，因此该金属弯杆的有效切割长度为 $L\sin\theta$ ，故感应电动势大小为 $BLv\sin\theta$ ，故选项 B 正确。

5. 如图甲所示的螺线管，匝数 $n=1500$ 匝，横截面积 $S=20\text{cm}^2$ ，电阻 $r=1.5\Omega$ ，与螺线管串联的外电阻 $R_1=3.5\Omega$ ， $R_2=25\Omega$ ，方向向右穿过螺线管的匀强磁场的磁感应强度按图乙所示规律变化，试计算电阻 R_2 的电功率。



甲



乙

【解析】由题图乙知，螺线管中磁感应强度 B 均匀增加，其变

化率为

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{6 - 2}{2} \text{ T/s} = 2 \text{ T/s}$$

由法拉第电磁感应定律知，螺线管中产生的感应电动势

$$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = n \square S \frac{\Delta B}{\Delta t} = 1\ 500 \times 20 \times 10^{-4} \times 2 \text{ V} = 6.0 \text{ V}$$

由闭合电路欧姆定律知，螺线管回路中的电流为

$$I = \frac{E}{r + R_1 + R_2} = \frac{6.0}{1.5 + 3.5 + 25} \text{ A} = 0.2 \text{ A}$$

电阻 R_2 消耗的功率为

$$P_2 = I^2 R_2 = (0.2)^2 \times 25 \text{ W} = 1.0 \text{ W}。$$

答案： 1.0 W



课时提升卷



点击进入
Word版可编辑套题

