

## 易错点 11 不能准确解决电磁感应中电路与力学的综合问题

### 目 录

#### 01 易错陷阱

易错点一：错误地运用楞次定律求感应电流

易错点二：不能明确磁通量、磁通量变化量、磁通量变化率的区别

易错点三：错误求解电磁感应与电路和力学的综合问题

#### 02 易错知识点

知识点一、动生电动势的几个问题

知识点二、能量转化及焦耳热的求法

知识点三、电磁感应中的“单杆”问题分析

知识点四、电磁感应中的“双杆”问题分析

知识点五、电磁感应中的图像问题

#### 03 举一反三——易错题型

题型一：通过导体的电量  $q$  计算

题型二：电磁感应中的图像分析

题型三：电磁感应中的导轨滑杆模型

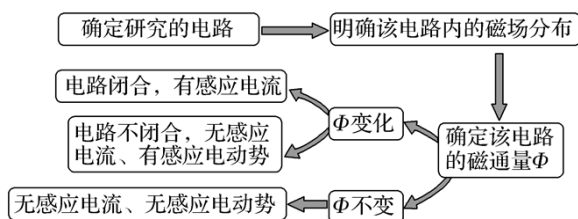
题型四：动量定理 动量守恒定律在电磁感应中的应用

#### 04 易错题通关

## 01 易错陷阱

### 易错点一：错误地运用楞次定律求感应电流

1.判断电磁感应现象是否发生的一般流程



2.“阻碍”的含义及步骤

楞次定律中“阻碍”的含义		“四步法”判断感应电流方向	
谁阻碍谁	感应电流的磁场阻碍引起感应电流的磁场(原磁场)的磁通量的变化	一原	明确要研究的回路及原磁场 $B$ 的方向
阻碍什么	阻碍的是磁通量的变化,而不是阻碍磁通量本身	二变	确定磁通量 $\Phi$ 的变化
如何阻碍	当磁通量增加时,感应电流的磁场方向与原磁场的方向相反;当磁通量减少时,感应电流的磁场方向与原磁场的方向相同,即“增反减同”	三感	判断感应电流的磁场方向
阻碍效果	阻碍并不是阻止,只是延缓了磁通量的变化,这种变化将继续进行	四电流	判断感应电流的方向

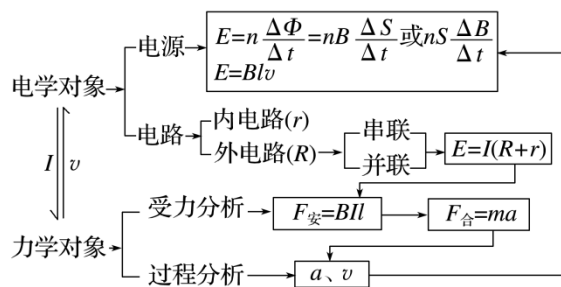
### 易错点二：不能明确磁通量、磁通量变化量、磁通量变化率的区别

1. 磁通量  $\Phi$ 、磁通量的变化量  $\Delta\Phi$  及磁通量的变化率  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  的比较

	磁通量 $\Phi$	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
当 $B$ 、 $S$ 互相垂直时的大小	$\Phi = BS$	$\Delta\Phi = \begin{cases} \Phi_2 - \Phi_1 \\ B \cdot \Delta S \\ S \cdot \Delta B \end{cases}$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \begin{cases} \frac{ \Phi_2 - \Phi_1 }{\Delta t} \\ B \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} \\ \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S \end{cases}$
注意	若穿过的平面中有方向相反的磁场,则不能直接用 $\Phi = BS$ . $\Phi$ 为抵消以后所剩余的磁通量	开始和转过 $180^\circ$ 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, $\Delta\Phi = 2BS$ , 而不是零	在 $\Phi-t$ 图像中,可用图线的斜率表示 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

### 易错点三：错误求解电磁感应与电路和力学的综合问题

1. 电磁感应问题中电学对象与力学对象的相互制约关系



2. 处理此类问题的基本方法

- (1)用法拉第电磁感应定律和楞次定律求感应电动势的大小和方向.
- (2)求回路中感应电流的大小和方向.
- (3)分析研究导体受力情况(包括安培力).
- (4)列动力学方程或根据平衡条件列方程求解.

## 02 易错知识点

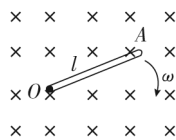
### 知识点一、动生电动势的几个问题

#### 1. 导体切割磁感线时的感应电动势

切割方式	电动势表达式	说明
垂直切割	$E = Blv$	①导体棒与磁场方向垂直，磁场为匀强磁场 ②式中 $l$ 为导体切割磁感线的有效长度 ③旋转切割中导体棒的平均速度等于中点位置的线速度 $\frac{1}{2}\omega l$
倾斜切割	$E = Blv\sin\theta$ ( $\theta$ 为 $v$ 与 $B$ 的夹角)	
旋转切割(以一端为轴)	$E = Bl\bar{v}$ $= \frac{1}{2}Bl^2\omega$	如果求导体中两点间，则 $\bar{v}$ 等于这两点速度之和的一半

#### 2. 导体转动切割磁感线

当导体棒在垂直于磁场的平面内，绕导体棒上某一点以角速度  $\omega$  匀速转动时，则：



(1)以导体棒中点为轴时， $E = 0$ (相同两段的代数和)。

(2)以导体棒端点为轴时， $E = \frac{1}{2}B\omega l^2$  (平均速度取中点位置的线速度  $\frac{1}{2}\omega l$ )。

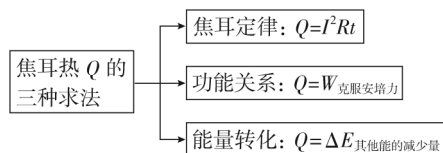
(3)以导体棒上任意一点为轴时， $E = \frac{1}{2}B\omega(l_1^2 - l_2^2)$ (不同两段的代数和，其中  $l_1 > l_2$ )。

## 知识点二、能量转化及焦耳热的求法

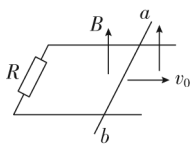
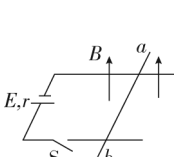
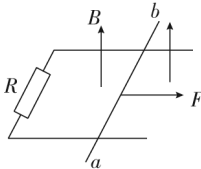
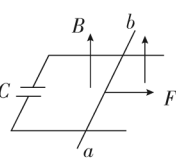
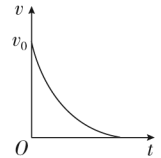
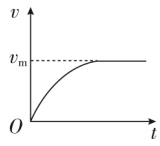
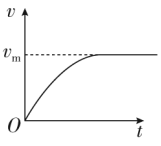
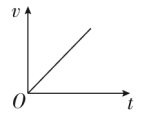
### (1)能量转化



### (2)求解焦耳热 $Q$ 的三种方法(纯电阻电路)



## 知识点三、电磁感应中的“单杆”问题分析

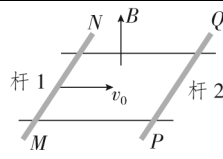
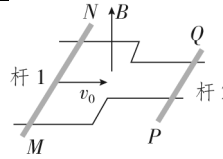
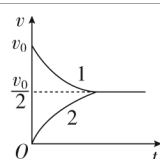
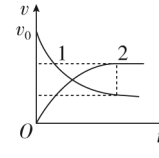
初态	$v_0 \neq 0$	$v_0 = 0$		
示意图	 <p>质量为 <math>m</math>、电阻不计的单杆 <math>ab</math> 以一定初速度 <math>v_0</math> 在光滑水平轨道上滑动，两平行导轨间距为 <math>l</math></p>	 <p>轨道水平光滑，单杆 <math>ab</math> 质量为 <math>m</math>，电阻不计，两平行导轨间距为 <math>l</math></p>	 <p>轨道水平光滑，单杆 <math>ab</math> 质量为 <math>m</math>，电阻不计，两平行导轨间距为 <math>l</math>，拉力 <math>F</math> 恒定</p>	 <p>轨道水平光滑，单杆 <math>ab</math> 质量为 <math>m</math>，电阻不计，两平行导轨间距为 <math>l</math>，拉力 <math>F</math> 恒定</p>
运动分析	 <p>导体杆做加速度越来越小的减速运动，最终杆静止</p>	 <p>当 <math>E_{\text{感}}=E</math> 时，<math>v</math> 最大，且 <math>v_m = \frac{E}{Bl}</math>，最后以 <math>v_m</math> 匀速运动</p>	 <p>当 <math>a=0</math> 时，<math>v</math> 最大，<math>v_m = \frac{FR}{B^2l^2}</math>，杆开始匀速运动</p>	 <p><math>\Delta t</math> 时间内流入电容器的电荷量 <math>\Delta q = C\Delta U = CBl\Delta v</math>              电流 <math>I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = CBl \frac{\Delta v}{\Delta t}</math></p>

				安培力 $F_{安} = I l B$
--	--	--	--	---------------------

				$=CB^2l^2a$ $F - F_{安} = ma, a = \frac{F}{m + B^2l^2C}$ 所以杆以恒定的加速度匀加速运动
能量分析	动能转化为内能, $\frac{1}{2}mv_0^2 = Q$	电能转化为动能和内能, $E_{电} = \frac{1}{2}mv_{末}^2 + Q$	外力做功转化为动能和内能, $W_F = \frac{1}{2}mv_{末}^2 + Q$	外力做功转化为电能和动能, $W_F = E_{电} + \frac{1}{2}mv^2$

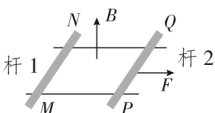
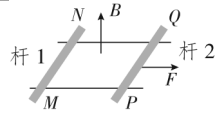
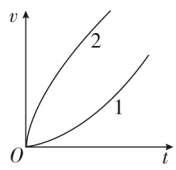
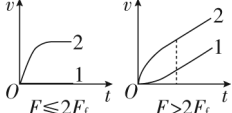
### 知识点四、电磁感应中的“双杆”问题分析

(1)初速度不为零, 不受其他水平外力的作用

	光滑的平行导轨	光滑不等距导轨
示意图	 <p>质量 <math>m_1 = m_2</math> 电阻 <math>r_1 = r_2</math> 长度 <math>l_1 = l_2</math></p>	 <p>质量 <math>m_1 = m_2</math> 不 电阻 <math>r_1 = r_2</math> 长度 <math>l_1 = 2l_2</math></p>
运动分析	 <p>杆 MN 做变减速运动, 杆 PQ 做变加速运动, 稳定时, 两杆的加速度均为零, 以相等的速度 <math>\frac{v_0}{2}</math> 匀速运动</p>	 <p>稳定时, 两杆的加速度均为零, 两杆的速度之比为 1:2</p>
能量分析	一部分动能转化为内能, $Q = -\Delta E_k$	

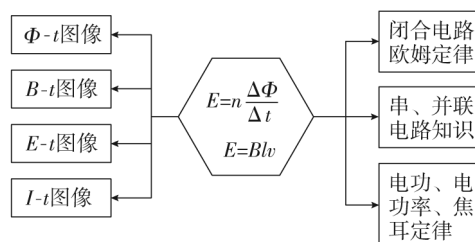
(2)初速度为零, 一杆受到恒定水平外力的作用

	光滑的平行导轨	不光滑平行导轨
--	---------	---------

示意图	 <p>质量 <math>m_1 = m_2</math> 电阻 <math>r_1 = r_2</math> 长度 <math>l_1 = l_2</math></p>	 <p>摩擦力 <math>F_{f1} = F_{f2}</math> 质量 <math>m_1 = m_2</math> 电阻 <math>r_1 = r_2</math> 长度 <math>l_1 = l_2</math></p>
运动分析	 <p>开始时，两杆做变加速运动；稳定时，两杆以相同的加速度做匀加速运动</p>	 <p>开始时，若 <math>F \leq 2F_f</math>，则 <math>PQ</math> 杆先变加速后匀速运动；<math>MN</math> 杆静止。若 <math>F &gt; 2F_f</math>，<math>PQ</math> 杆先变加速后匀加速运动，<math>MN</math> 杆先静止后变加速最后和 <math>PQ</math> 杆同时做匀加速运动，且加速度相同</p>
能量分析	<p>外力做功转化为动能和内能，<math>W_F = \Delta E_k + Q</math></p>	<p>外力做功转化为动能和内能(包括电热和摩擦热)，<math>W_F = \Delta E_k + Q_{电} + Q_f</math></p>

## 知识点五、电磁感应中的图像问题

### (1) 图像类型



### (2) 2. 解题关键

- ① 弄清物理量的初始条件和正负方向；
- ② 注意物理量在进、出磁场时的变化；
- ③ 写出函数表达式。

### (3) 解题方法：先定性排除，再定量解析

- ①

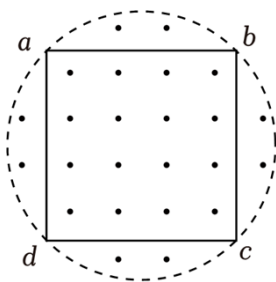
定性排除法：用右手定则或楞次定律确定物理量的方向，定性地分析物理量的变化趋势、变化快慢、是否均匀变化等，特别注意物理量的正负和磁场边界处物理量的变化，通过定性分析排除错误的选项。

②定量解析法：根据题目所给条件定量地推导出物理量之间的函数关系，然后由函数关系对图像作出分析，由图像的斜率、截距等作出判断。

## 03 举一反三 易错题型

### 题型一：通过导体的电量 $q$ 计算

**【例 1】** (2024·常州三模) 如图所示，abcd 是边长为  $l$ 、总电阻为  $R$  的正方形导体框，其外接圆内充满着均匀变化的磁场，磁场方向垂直于纸面向外，磁感应强度大小  $B=kt$  ( $k>0$ )，则下列说法正确的是 ( )



- A.  $t_1$  时刻 ab 边产生的感应电动势为  $kl^2$
- B.  $t_1$  时刻 ab 边受到的安培力大小为  $\frac{k^2 l^3 t_1}{R}$
- C.  $0 \sim t_1$  时间内通过 cd 边的电荷量为  $\frac{kl^2 t_1}{4R}$
- D. 撤去导体框，圆上 a 处的电场强度为零

**【解答】**解：A、根据法拉第电磁感应定律可得  $t_1$  时刻导体框产生的感应电动势为

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} S = kl^2$$

则 ab 边产生的感应电动势为  $\frac{1}{4}kl^2$ ，故 A 错误；

B、 $t_1$  时刻 ab 边受到的安培力大小为  $F = B_1 I l = kt_1 \times \frac{kl^2}{R} \times l = \frac{k^2 l^3 t_1}{R}$ ，故 B 正确；

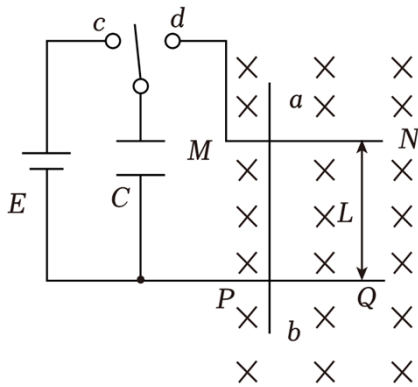
C、 $0 \sim t_1$  时间内通过 cd 边的电荷量为  $q = I t_1 = \frac{kl^2}{R} t_1 = \frac{kl^2 t_1}{R}$ ，故 C 错误；



D、撤去导体框，变化的磁场产生电场，可知圆上会产生感生电场，则 a 处的电场强度不为零，故 D 错误。

故选：B。

**【变式 1-1】**（2024·重庆模拟）如图为某同学设计的电磁弹射装置示意图，平行的足够长光滑水平导轨 MN、PQ 间距为 L，置于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，质量为 m，长度为 2L 导体棒 ab 垂直放在导轨上。单刀双掷开关先打向 c，内阻不计电动势为 E 的电源给电容为 C 的电容器充电，充完后打向 d，导体棒 ab 在安培力的作用下发射出去。阻力不计，下列说法正确的是（ ）



- A. 导体棒达到最大速度前，做加速度逐渐增大的加速运动
- B. 导体棒以最大速度发射出去后，电容器储存的电荷量为零
- C. 导体棒能达到的最大速度为  $\frac{2CEBL}{m + 4CB^2L^2}$
- D. 导体棒达到最大速度时，电容器放出的电荷量为  $\frac{mCE}{m + CB^2L^2}$

**【解答】**解：A、开关先打向 d，则电容器放电，通过导体棒的放电电流方向从 a→b，由左手定则可知导体棒 ab 所受安培力水平向右，导体棒向右运动切割磁感线产生感应电动势，回路中总感应电动势  $E_{\text{总}} = U_C - BLv$ ，随着电容器放电，电容器两端电压  $U_C$  减小，导体棒速度 v 增大，则回路中总电动势减小，电流减小，由  $F = BIL$  可知安培力减小，对导体棒由牛顿第二定律有： $F = ma$ ，安培力 F 减小，则加速度 a 减小，故 A 错误；

B、当导体棒产生的感应电动势与电容器两端电压相等时，即  $U_C = BLv$ ，回路中  $E_{\text{总}} = 0$ ，电流  $I = 0$ ，导体棒所受安培力  $F = 0$ ，导体棒加速度  $a = 0$ ，导体棒速度达到最大，此时电容器电压不为零，则电容器电荷量不为零，故 B 错误；

CD、电容器开始的电荷量： $Q_0 = CU = CE$ ，设导体棒速度最大时电容器的电荷量为  $Q_1$ ，则  $Q_1 = CU_1$ ，此时电路中总电动势为零，则有： $U_1 = BLv_m$

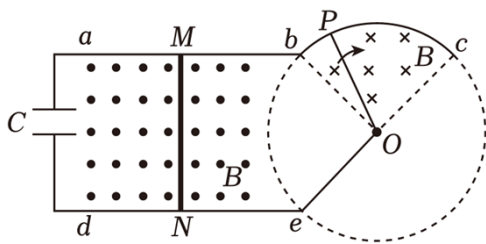
取水平向右为正方向，导体棒从静止到最大速度过程，对导体棒利用动量定理有： $BIL\Delta t = mv_m - 0$

这一过程中电容器放出的电荷量  $\Delta Q = Q_0 - Q_1 = \bar{I}\Delta t$

联立方程可得： $v_m = \frac{BLCE}{m + CB^2L^2}$ ， $\Delta Q = \frac{mCE}{m + CB^2L^2}$ ，故 D 正确，C 错误。

故选：D。

**【变式 1-2】**（2024·溧河区校级模拟）如图所示，水平放置足够长光滑金属导轨 abc 和 de，ab 与 de 平行并相距为 L，bc 是以 O 为圆心的半径为 r 的圆弧导轨，圆弧 be 左侧和扇形 Obc 内有方向如图的匀强磁场，磁感应强度均为 B，a、d 两端接有一个电容为 C 的电容器，金属杆 OP 的 O 端与 e 点用导线相接，P 端与圆弧 bc 接触良好，初始时，可滑动的金属杆 MN 静止在平行导轨上，金属杆 MN 质量为 m，金属杆 MN 和 OP 电阻均为 R，其余电阻不计，若杆 OP 绕 O 点在匀强磁场区内以角速度  $\omega$  从 b 到 c 匀速转动时，回路中始终有电流，则此过程中，下列说法正确的有（ ）



- A. 杆 OP 产生的感应电动势恒为  $B\omega r^2$
- B. 电容器带电量恒为  $\frac{BC\omega r^2}{2}$
- C. 杆 MN 中的电流逐渐减小
- D. 杆 MN 向左做匀加速直线运动，加速度大小为  $\frac{B^2\omega^2 r^2 L}{4mR}$

**【解答】解：**A、设 OP 转动的角速度为  $\omega$ ，圆弧导轨半径为 r，则 OP 转动切割磁感应线的感应电动势为： $E = Br\bar{v} = \frac{1}{2}Br^2\omega$ ，故 A 错误；

BC、根据右手定则可知 OP 棒中产生的感应电流方向由 O 到 P，则通过 MN 的电流方向由 M 到 N，根据左手定则可知杆 MN 受到的安培力方向向左，杆 MN 将向左运动切割磁感应线，由于 MN 切割磁感应线产生的感应电流方向由 N 到 M，从而使得杆 MN 中的电流逐渐减小，则电容器两端带电量会减小，故 B 错误，C 正确；

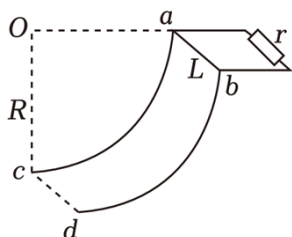
D、根据 C 选项分析可知，杆 MN 中的电流大小发生变化，根据牛顿第二定律可得 MN 的加速度大小  $a = \frac{BIL}{m}$  发生改变，杆 MN 不是做匀加速直线运动，故 D 错误；

故选：C。

**【变式 1-3】**（2024·南昌模拟）如图所示，整个区域内有竖直向下的匀强磁场（图中未画出），磁感应强度大小  $B=0.5\text{T}$ ，两根间距为  $L=0.5\text{m}$ 、半径为  $R=2\text{m}$  的光滑四分之一竖直圆弧金属导轨等高平行放置，顶端连接阻值为  $r=0.4\Omega$  的电阻。长为 L、质量为  $m=0.2\text{kg}$ 、阻值为  $r_1=0.1\Omega$

的金属棒在力  $F$ （除重力、安培力以外的力）作用下从导轨顶端  $ab$  处以恒定速率  $v=4\text{m/s}$  下滑，整个过程中金属棒与导轨接触良好，始终与导轨垂直。导轨电阻忽略不计，重力加速度  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ 。求：

- (1) 金属棒运动到  $cd$  处时，金属棒两端的电压  $U$ ；
- (2) 金属棒从导轨  $ab$  处运动至圆弧的中间位置的过程中，通过电阻  $r$  的电荷量  $q$ ；
- (3) 金属棒从导轨  $ab$  处运动至  $cd$  处的过程，电流的有效值  $I_{\text{有}}$  和外力  $F$  做的功  $W$ 。



**【解答】解：**(1) 金属棒运动到  $cd$  处时，金属棒产生的感应电动势为  $E=BLv$

根据串联电路分压规律有  $U = \frac{E}{r + r_1} \cdot r$

代入数据解得  $E=1\text{V}$ ， $U=0.8\text{V}$

(2) 金属棒从导轨  $ab$  处运动至圆弧的中间位置的过程中，根据  $q = \bar{I} \cdot \Delta t$ ， $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{r + r_1}$ ， $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

联立得  $q = \frac{\Delta\Phi}{r + r_1}$

又根据  $\Delta\Phi = BL(R - R\cos 45^\circ)$

联立解得  $q = (1 - \frac{\sqrt{2}}{2})C$

(3) 电动势有效值为  $E_{\text{有}} = \frac{E}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\text{V} = \frac{\sqrt{2}}{2}\text{V}$

可得电流有效值为  $I_{\text{有}} = \frac{E_{\text{有}}}{r + r_1} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{0.4 + 0.1}\text{A} = \sqrt{2}\text{A}$

根据动能定理有  $W + W_{\text{安}} + mgR = 0$

且  $-W_{\text{安}} = Q$

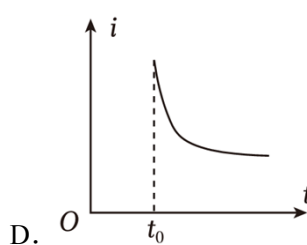
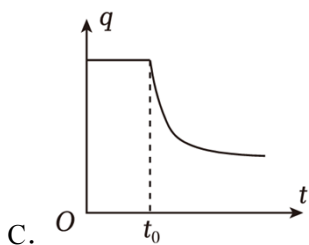
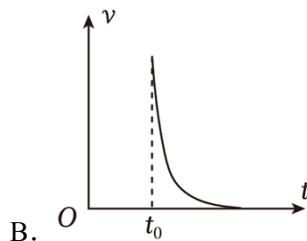
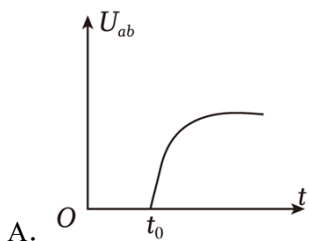
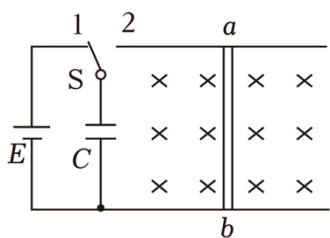
$Q = I_{\text{有}}^2(r + r_1)t$

$t = \frac{\pi R}{2v}$

联立解得  $W = 3.215\text{J}$

## 题型二：电磁感应中的图像分析

**【例 2】**（2024·南通三模）如图所示，匀强磁场中水平放置两足够长的光滑平行金属导轨，导轨的左侧连接电池  $E$  和电容器  $C$ ，单刀双掷开关  $S$  接 1，金属棒  $ab$  在导轨上处于静止状态。在  $t_0$  时刻  $S$  接 2，金属棒  $ab$  在导轨上向右运动过程中棒始终与导轨垂直且两端与导轨保持良好接触，不计导轨电阻。则金属棒两端电压  $U_{ab}$ 、速度  $v$ 、电容器所带电荷量  $q$ 、回路中电流强度  $i$  随时间  $t$  变化的关系图像可能正确的是（ ）

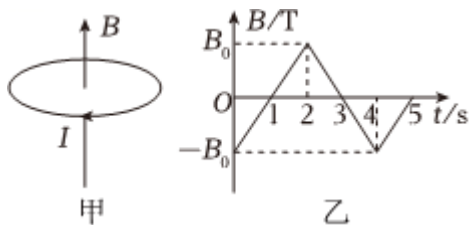


**【解答】**解：电容器充电完毕后，开关打在 2 处时，处于放电状态，有流过导体棒从 a 到 b 的电流，在安培力作用下导体棒向右运动，在金属棒运动过程中，由于切割磁感线也将产生电动势，该电动势方向和电容器电压相反，故电路中电流是变化的，当金属棒的感应电动势和电容器电压相等时，金属棒匀速运动，电容器充完电带电量为  $Q=CE$ ，故金属棒先做加速度逐渐减小的加速运动，最后匀速运动，回路中电流为 0，电容器两个极板之间有电势差，仍带有一定的电荷量，开始的时候  $ab$  的电压等于  $E$ ， $t_0$  时候切割电动势为零，金属棒电压等于电容器电压  $E$ ，速度增大，切割电动势增大，电路电流减小， $ab$  电压降低，故 C 正确，ABD 错误。

故选：C。

**【变式 2-1】**

(2024·下城区校级模拟) 在竖直方向的匀强磁场中，水平放置一闭合金属圆环，面积为  $S$ ，电阻为  $R$ 。规定圆环中电流的正方向如图甲所示，磁场向上为正。当磁感应强度  $B$  随时间  $t$  按图乙变化时，下列说法正确的是 ( )



- A. 0~1s 内感应电流的磁场在圆环圆心处的方向向上
- B. 1~2s 内通过圆环的感应电流的方向与图甲所示方向相反
- C. 0~2s 内线圈中产生的感应电动势为  $\frac{B_0 S}{2}$
- D. 2~4s 内线圈中产生的焦耳热为  $\frac{2B_0^2 S^2}{R}$

【解答】解 A、0~1s 内磁场向下减小，根据楞次定律可知感应电流的磁场在圆环圆心处的方向向下，故 A 错误；

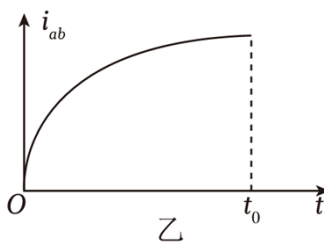
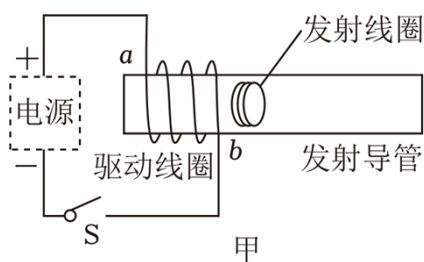
B、1~2s 内磁场向上增大，根据楞次定律可知感应电流的磁场在圆环圆心处的方向向下，所以感应电流方向与图甲所示方向相同，故 B 错误；

C、根据法拉第电磁感应定律有： $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = ns \frac{\Delta B}{\Delta t}$ ，0~2s 内线圈中产生的感应电动势为  $E = B_0 S$ ，故 C 错误；

D、同 C 选项可知在 2~4s 内线圈中的感应电动势为  $E = B_0 S$ ，焦耳热  $P = \frac{E^2}{R} t$ ，解得： $P = \frac{2B_0^2 S^2}{R}$ ，故 D 正确；

故选：D。

【变式 2-2】(2023·镇海区模拟) 如图甲所示，驱动线圈通过开关  $S$  与电源连接，发射线圈放在绝缘且内壁光滑的发射导管内。闭合开关  $S$  后，在  $0 \sim t_0$  内驱动线圈的电流  $i$  随时间  $t$  的变化如图乙所示。在这段时间内，下列说法正确的是 ( )



- A. 发射线圈中感应电流产生的磁场水平向左
- B.  $t=t_0$  时驱动线圈产生的自感电动势最大

C.  $t=0$  时发射线圈具有的加速度最大

D.  $t=t_0$  时发射线圈中的感应电流最大

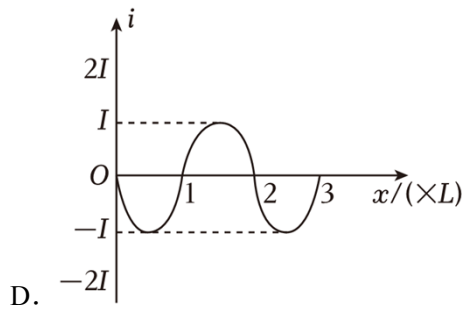
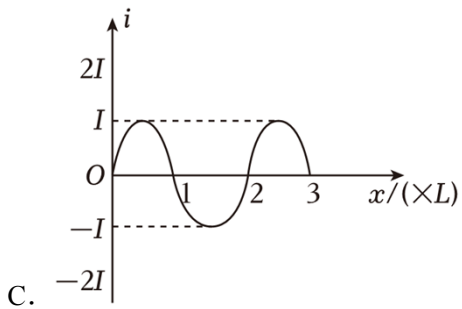
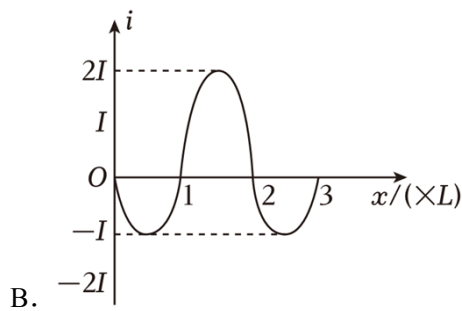
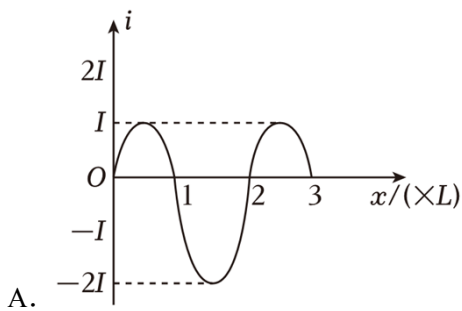
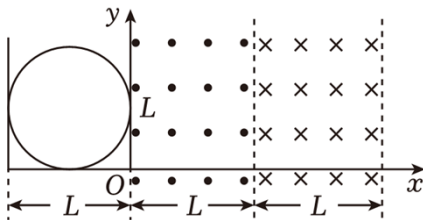
**【解答】解：**A、根据安培定则可知，驱动线圈内的磁场方向水平向右，再由图乙可知，驱动线圈的电流增大，通过发射线圈的磁通量增大，根据楞次定律可知，发射线圈内部的感应磁场方向水平向左，故 A 正确；

BD、由图乙可知， $t=t_0$  时驱动线圈的电流变化最慢，电流变化率最小，此时通过发射线圈的磁通量变化率最小，此时驱动线圈产生的自感电动势最小，感应电流最小，故 BD 错误；

C、 $t=0$  时驱动线圈的电流变化最快，则此时通过发射线圈的磁通量变化最快，产生的感应电流最大，但此时磁场最弱，安培力不是最大值，则此时发射线圈具有的加速度不是最大，故 C 错误。

故选：A。

**【变式 2-3】**（2023·重庆模拟）如图所示，在  $y$  轴与直线  $x=L$  之间区域有垂直纸面向外的匀强磁场，在直线  $x=L$  与直线  $x=2L$  之间区域有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小均为  $B$ 。现有一直径为  $L$  的圆形导线框，从图示位置开始，在外力  $F$ （未画出）的作用下沿  $x$  轴正方向匀速穿过磁场区域。线框中感应电流（逆时针方向为正方向）与导线框移动的位移  $x$  的变化关系图像中正确的（ ）





【解答】解：设导线框匀速运动的速度为  $v$ ，导线框电阻为  $R$ 。

在  $0 \leq x < L$  过程，导线框进入左侧磁场，导线框的磁通量向外增大，根据楞次定律可知，感应电流为顺时针方向（负方向），导线框切割磁感线的有效长度先增大后减小，根据闭合电路欧姆定律，有  $I_1 = \frac{E_1}{R} = \frac{BL_{有}v}{R}$ ，可知导线框的电流先增大后减小，此过程中的最大电流为  $I_{1max} = \frac{BLv}{R}$

在  $L \leq x < 2L$  过程，导线框从左侧磁场进入右侧磁场，导线框的磁通量从向外减小到向里增大，根据楞次定律可知，感应电流为逆时针方向（正方向），又因为导线框切割磁感线的有效长度先增大后减小，根据闭合电路的欧姆定律，有  $I_2 = \frac{E_2}{R} = \frac{2BL_{有}v}{R}$ ，可知导线框的电流先增大后减小，

此过程中的最大电流为  $I_{2max} = \frac{2BLv}{R}$ ；

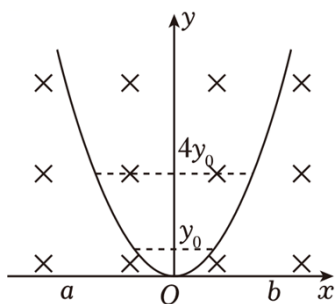
在  $2L \leq x < 3L$  过程，导线框离开右侧磁场，导线框的磁通量垂直于线框平面向里，且减小，根据楞次定律可知，感应电流为顺时针方向（负方向），导线框切割磁感线的有效长度先增大后减小，

根据闭合电路欧姆定律，有  $I_3 = \frac{E_3}{R} = \frac{BL_{有}v}{R}$ ，可知导线框的电流先增大后减小，且此过程中的最大电流为  $I_{3max} = \frac{BLv}{R}$ ，故 ACD 错误，B 正确。

故选：B。

### 题型三：电磁感应中的导轨滑杆模型

【例 3】（2024·湖北模拟）如图所示，水平面内放置着电阻可忽略不计的金属导轨，其形状满足方程  $y=x^2$ ，空间分布者垂直  $xOy$  平面向内的匀强磁场。先将足够长的导体棒  $ab$  与  $x$  轴重合，且关于  $y$  轴对称放置，再用沿  $y$  轴正向的外力使其由静止开始做匀加速直线运动，导体棒先后经过  $y=y_0$ 、 $y=4y_0$  的位置。若导体棒接入电路的电阻和其长度成正比，运动过程中始终和  $x$  轴平行并和导轨接触良好，不计摩擦，下列说法正确的是（ ）



- A. 导体棒经过  $y=y_0$ 、 $y=4y_0$  的位置时，闭合回路中的电动势之比为 1: 1
- B. 导体棒经过  $y=y_0$ 、 $y=4y_0$  的位置时，闭合回路中的电流大小之比为 1: 4
- C. 经过  $y=y_0$ 、 $y=4y_0$  的位置时，导体棒所受安培力大小之比为 1: 1
- D.  $0\sim y_0$ 、 $y_0\sim 4y_0$  过程中，闭合回路中产生的电热之比为 1: 15

【解答】解：A、设导体棒运动到某一位置时，速度大小为  $v$ ，其与导轨接触点的坐标为  $(\pm x, y)$ ，导体棒由静止开始做匀加速直线运动，则有

$$v^2 = 2ay$$

闭合回路中的感应电动势大小为

$$E = 2Bvx$$

解得

$$E = 2\sqrt{2aBy}, \text{ 则感应电动势之比为 } 1: 4, \text{ 故 A 错误;}$$

B、由闭合电路欧姆定律得闭合回路中的电流为

$$I = \frac{E}{R}$$

其中  $R = 2kx$

解得

$$I = \frac{B}{k}\sqrt{2ay}, \text{ 则电流之比为 } 1: 2, \text{ 故 B 错误;}$$

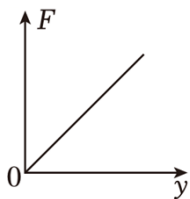
C、导体棒所受安培力大小为

$$F = 2BIx$$

解得

$$F = \frac{2\sqrt{2aB^2y}}{k^2}, \text{ 则安培力之比为 } 1: 4, \text{ 故 C 错误;}$$

D、由  $F = \frac{2\sqrt{2aB^2y}}{k^2}$  可知，导体棒所受安培力大小  $F$  与其位移大小  $y$  成正比，作出安培力随着位移变化的图像，如图所示。



图像与横轴所围的面积即导体棒运动过程中克服安培力做的功，等于闭合回路产生的电热，为

$$Q = \frac{1}{2}Fy$$

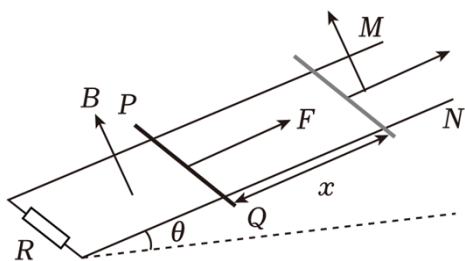
解得

$$Q = \frac{\sqrt{2aB^2y^2}}{k^2}$$

则  $0 \sim y_0$ 、 $y_0 \sim 4y_0$  过程中，闭合回路中产生的电热之比为  $Q_1:Q_2=1^2:(4^2-1^2)=1:15$ ，故 D 正确。

故选：D。

**【变式 3-1】**（2024·衡水模拟）如图所示，在一个倾角为  $\theta$  的导轨 MN 上面，放置一个长度为  $L$  的金属棒 PQ，已知两导轨间距为  $d$  ( $d < L$ )，金属棒的质量为  $m$ 、阻值为  $r$ ，导轨与金属棒接触良好，两者间动摩擦因数为  $\mu$ ，导轨下端连接一个阻值为  $R$  的定值电阻，整个导轨处在一个垂直导轨所在平面向上、磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中。现用一个恒力  $F$  拉动金属棒沿导轨斜面运动了  $x$  的距离，所用时间为  $t$ ，此时金属棒的速度为  $v$ ，下列说法正确的是（ ）



- A. 金属棒速度为  $v$  时，R 两端的电压为  $\frac{BLRv}{R+r}$
- B. 该过程中生成的焦耳热为  $Fx - \frac{1}{2}mv^2 - mgx\sin\theta$
- C. 该过程中摩擦力做的功为  $\mu mgx\cos\theta$
- D. 该过程中安培力做的功为  $mgx(\sin\theta + \mu\cos\theta) + \frac{1}{2}mv^2 - Fx$

**【解答】**解：A、金属棒速度为  $v$  时，产生的感应电动势  $E=Bdv$ ，R 上的电压为  $U_R = \frac{R}{R+r}Bdv$ ，

故 A 错误；

B、该过程中，生成的焦耳热指电阻生热的总和，由能量守恒定律有： $Q = Fx - \frac{1}{2}mv^2 - mgx\sin\theta - \mu mgx\cos\theta$ ，故 B 错误；

C、该过程中摩擦力做的功为  $W_f = -\mu mgx\cos\theta$ ，故 C 错误；

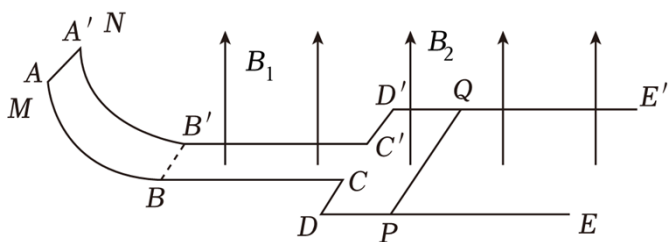
D、设该过程中安培力做的功为  $W_{安}$ ，根据动能定理有

$$W_F + W_{安} - mgx\sin\theta - \mu mgx\cos\theta = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

解得： $W_{安} = mgx(\sin\theta + \mu\cos\theta) + \frac{1}{2}mv^2 - Fx$ ，故 D 正确。

故选：D。

**【变式 3-2】** (多选) (2024·郑州一模) 如图, 平行光滑导轨左侧 AB 和 A'B' 是半径为 R 的四分之一圆弧, BE、B'E' 处于同一水平面, AC 和 A'C' 间距为 L, DE 和 D'E' 间距为 2L, AC、A'C'、DE、D'E' 均足够长, AC 和 DE、A'C' 和 D'E' 通过导线连接, 其中 BB' 右侧导轨平面处在竖直向上的匀强磁场中, DD' 左侧大小为  $B_1$ , DD' 右侧大小为  $B_2$ ,  $B_1=B_2=B$  现将长度为 2L 的导体棒 PQ 垂直导轨放置于 DE 和 D'E' 上, 将长度为 L 的导体棒 MN 垂直导轨放置于 AA' 端, 静止释放导体棒 MN, 导体棒运动的过程始终与导轨垂直且接触良好。已知导体棒 MN 和 PQ 材料、横截面积均相同, 导体棒 MN 质量为 m, 电阻为 r, 重力加速度为 g, 不计导轨电阻, 下列说法正确的是 ( )



- A. 导体棒 MN 进入磁场瞬间, 导体棒 PQ 的加速度大小  $\frac{2B^2L^2}{3mr}\sqrt{2gR}$
- B. PQ 棒的最终速度为  $\frac{1}{3}\sqrt{2gR}$
- C. 磁场方向不变, 若  $B_1=2B_2$ , 从释放 MN 至两导体棒稳定运动的整个过程中导体棒 PQ 上产生的焦耳热为  $\frac{4}{9}mgR$
- D. 磁场方向不变, 若  $B_1$ 、 $B_2$  大小可调, 则两棒的最终速度之比  $\frac{v_{MN}}{v_{PQ}} = \frac{B_2}{2B_1}$

**【解答】**解: A、导体棒 MN 在圆弧下滑过程, 根据机械能守恒, 有  $mgR = \frac{1}{2}mv_0^2$

导体棒 MN 进入磁场瞬间, 感应电动势为  $E_1 = BLv_0$

由于导体棒 MN 和 PQ 材料、横截面积均相同, 根据  $R = \rho \frac{L}{S}$  和  $m = \rho V$  可知导体棒 PQ 的质量、电阻分别为  $2m$ 、 $2r$

则感应电流为  $I_1 = \frac{E_1}{r + 2r}$

对导体棒 PQ 分析, 有:  $2BI_1L = 2ma_1$ , 解得加速度大小为:  $a = \frac{B^2L^2}{3mr}\sqrt{2gR}$ , 故 A 错误;

B、稳定时, 两导体棒均做匀速直线运动, 回路总的感应电动势为 0, 则有  $BLv_{MN} = B \cdot 2Lv_{PQ}$

取向右为正方向, 对 MN 根据动量定理可得:  $-\bar{F}_A t = mv_{MN} - mv_0$

对 PQ 根据动量定理可得:  $2\bar{F}_A t = 2mv_{PQ} - 0$

解得  $v_{PQ} = \frac{1}{3}\sqrt{2gR}$ , 故 B 正确;

C、磁场方向不变, 若  $B_1=2B_2$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要  
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/915041121100012011>