



物理

在解题中学会应用电磁感应知识

北京市第九中学 李 宁

电磁感应是高中物理的重要内容,在每年等级考试卷中都会涉及一定数量的题目,是高考的热门考点。电磁感应内容多、综合性强、难度大,考生在复习中需要在构建电磁感应知识结构的基础上突破学习难点,掌握好典型问题的处理策略,才能在考场上游刃有余。

电磁感应知识难点分析

磁通量变化的理解:磁通量 $\Phi = BS \sin \theta$, 改变磁感应强度 B , 改变闭合回路的面积 S , 或改变 B 与闭合回路所在平面 S 的夹角 θ , 都可以改变磁通量。

楞次定律的应用:考生难以快速判断感应电流的方向,不会用来拒去留(阻碍相对运动)、增反减同、增缩减扩来简化逻辑。

感应电动势的计算:考生会漏掉匝数,误判平均感应电动势与瞬时感应电动势的适用场景。

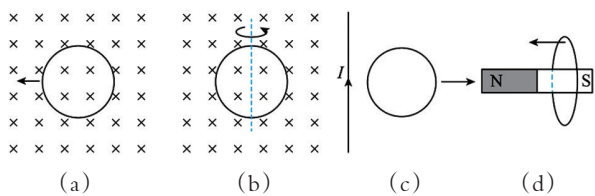
电磁感应中的电路问题:考生分不清电源与外电路,忽略内阻影响,不会计算路端电压、电功率等。

动力学与能量综合:考生无法建立“电磁感应—安培力—牛顿定律—运动分析”或“安培力做功—能量转化”的逻辑链。

典型例题分析

1. 判断感应电流的产生条件

【例1】下列图示情况,金属圆环中不能产生感应电流的是()

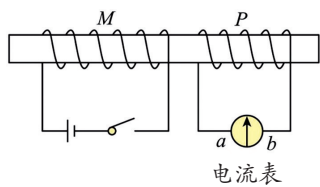


- (a) 图(a)中,圆环在匀强磁场中向左平移
 (b) 图(b)中,圆环在匀强磁场中绕轴转动
 (c) 图(c)中,圆环在通有恒定电流的长直导线旁向右平移
 (d) 图(d)中,圆环向条形磁铁 N 极平移

【解析】感应电流的产生条件是当穿过闭合回路的磁通量发生变化时,闭合回路中就产生感应电流。图(a)中,圆环在匀强磁场中向左平移,该过程中没有磁通量变化,没有感应电流产生。所以本题答案为A选项。

2. 楞次定律的应用

【例2】如图所示,线圈 M 和线圈 P 绕在同一个铁芯上,下列说法正确的是()



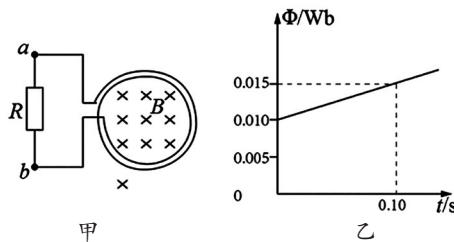
- A. 闭合开关瞬间,线圈 M 和线圈 P 相互吸引
 B. 闭合开关,达到稳定后,电流表的示数为0
 C. 断开开关瞬间,流过电流表的电流方向由 a 到 b
 D. 断开开关瞬间,线圈 P 中感应电流的磁场方向向左

【解析】闭合开关瞬间,由楞次定律可知,线圈 P 中感应电流的磁场与线圈 M 中电流的磁场方向相反,二者相互排斥,故A错误;闭合开关,达到稳定后,通过线圈 P 的磁通量保持不变,感应电流为0,电流表的示数为0,故B正确;断开开关瞬间,通过线圈 P 的磁场方向向右,磁通量减小,由楞次定律可知感应电流的磁场方向向右,因此流过电流表的感应电流方向由 b 到 a ,故CD错误。

3. 法拉第电磁感应定律的应用

【例3】如图甲所示, $N=200$ 匝的线圈(图中只画了2匝),电阻 $r=2\Omega$,其两端与一个 $R=48\Omega$ 的电阻相连,线圈内有指向纸内方向的磁场。线圈中的磁通量按图乙所示规律变化。

- (1)判断通过电阻 R 的电流方向;
 (2)求线圈产生的感应电动势 E ;
 (3)求电阻 R 两端的电压 U 。



【解析】(1)根据图像可知,线圈中垂直于纸面向里的磁场增大,为了阻碍线圈中磁通量的增大,根据楞次定律可知线圈中感应电流产生的磁场垂直于纸面向外,根据安培定则可知线圈中的感应电流为逆时针方向,所通过电阻 R 的电流方向为 $a \rightarrow b$ 。

(2)根据法拉第电磁感应定律:

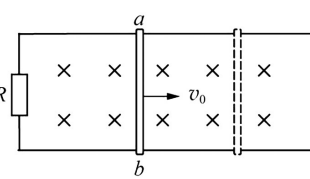
$$E = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 200 \times \frac{0.015 - 0.010}{0.10} \text{ V} = 10 \text{ V}$$

(3)电阻 R 两端的电压为路端电压,根据分压规律可知: $U = \frac{R}{R+r} E = \frac{48}{48+2} \times 10 \text{ V} = 9.6 \text{ V}$

4. 运动与相互作用、功和能

【例4】如图所示,

在竖直向下的匀强磁场中,水平 U 型导体框左端连接一阻值为 R 的电阻,质量为 m 、电阻为 r 的导体棒 ab 置于导体框上。不计导体框的电阻、导体棒与框间的摩擦。 ab 以水平向右的初速度 v_0 开始运动,最终停在导体框上。在此过程中()



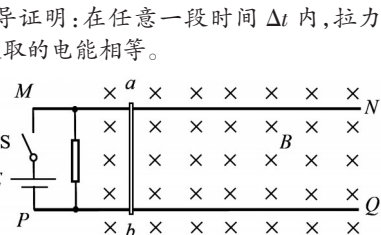
- A. 导体棒做匀减速直线运动
 B. 导体棒中感应电流的方向为 $a \rightarrow b$
 C. 电阻 R 消耗的总电能为 $\frac{mv_0^2 R}{2(R+r)}$
 D. 导体棒克服安培力做的总功小于 $\frac{1}{2}mv_0^2$

【解析】对导体棒 ab 受力分析可知:导体棒受到竖直向下的重力 G 、竖直向上的支持力 N 、水平向左的安培力 F ,其中安培力 $F = ILB$,根据闭合电路欧姆定律可知 $I = \frac{E}{R+r}$,动生电动势 $E = BLv$,联立可得 $F = \frac{B^2 L^2 v}{R+r}$,根据牛顿第二定律可得: $F = ma$,即 $\frac{B^2 L^2 v}{R+r} = ma$,因为导体棒在做减速运动,所以加速度在减小,即导体棒做加速度减小的减速运动,考生可以排除选项A;根据楞次定律或右手定则可知导体棒中的感应电流方向为 $b \rightarrow a$,考生可以排除选项B;根据能量守恒定律可知导体棒的机械能减少完全转化为电路中的电能,即 $E_{\text{电}} = \frac{1}{2}mv_0^2$,其中 $E_{\text{电}} = E_R + E_r$, $E_R : E_r = R : r$,所以电阻 R 消耗的总电能为 $E_R = \frac{mv_0^2 R}{2(R+r)}$,选项C正确;运动全过程,考生根据动能定理可知导体棒克服安培力做的总功等于 $\frac{1}{2}mv_0^2$ 。

5. 力驱动、电驱动、与电容器相关的电磁感应问题

【例5】在竖直向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场中,两根足够长的平行光滑金属轨道 MN 、 PQ 固定在水平面内,相距为 L 。一质量为 m 的导体棒 ab 垂直于 MN 、 PQ 放在轨道上,与轨道接触良好。轨道和导体棒的电阻均不计。

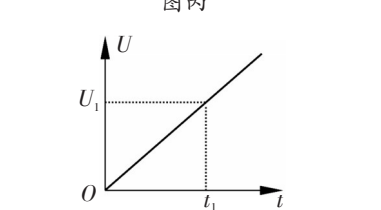
(1)如图甲,若轨道左端 MP 间接一阻值为 R 的电阻,导体棒在拉力 F 的作用下以速度 V 沿轨道做匀速运动。



请通过公式推导证明:在任意一段时间 Δt 内,拉力 F 所做的功与电路获取的电能相等。

(2)如图乙,若轨道左端接一电动势为 E 、内阻为 r 的电源和一阻值为 R 的电阻。闭合开关 S ,导体棒从静止开始运动,经过一段时间后,导体棒达到最大速度 V_m ,求导体棒能达到的最大速度 V_m 。

(3)如图丙,若轨道左端接一电容器,电容器的电容为 C ,导体棒在水平拉力的作用下从静止开始向右运动。电容器两极板电势差随时间变化的图象如图丁所示,已知 t_1 时刻电容器两极板间的电势差为 U_1 。求导体棒运动过程中受到的水平拉力大小。



【解析】(1)在任意一段时间 Δt 内,拉力 F 所做的功 $W = Fv\Delta t$,因为导体棒做匀速运动,所以水平拉力等于安培力,即 $F = ILB$,整理可得: $W = ILBv\Delta t$,电路获取的电能 $E_{\text{电}} = Eq = E I \Delta t$,感应电动势 $E = BLv$,整理可得: $E_{\text{电}} = BLv I \Delta t$,因此拉力 F 所做的功 W 与电路获取的电能 $E_{\text{电}}$ 相等。

(2)闭合开关,导体棒 ab 受到水平向右的安培力,由静止开始加速,导体棒切割产生的感应电动势变大,可以将电源和电阻 R 等效为一个电源,等效电源的电动势为 $\frac{R}{R+r}E$,当等效电源的电动势与导体棒切割产生的反电动势相等时,电路中的电流为0,导体棒所受到的安培力为0,导体棒的加速度为0,速度达到最大,即 $\frac{R}{R+r}E = BLv_m$,整理可得: $v_m = \frac{R}{BL(R+r)}E$ 。

(3)导体棒 ab 在水平拉力作用下向右加速运动,切割磁感线产生感应电动势,回路中产生感应电流,对电容器进行充电,根据右手定则可以判断感应电流的方向从 b 到 a ,根据左手定则可知导体棒 ab 受到水平向左的安培力,根据牛顿第二定律可得: $F - iLB = ma$,其中 $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$, $\Delta q = C \Delta U$,整理可得: $i = \frac{C \Delta U}{\Delta t} = \frac{CU_1}{t_1}$,由图丁可得: $U = \frac{U_1}{t_1}t$,而 $U = BLv$,所以 $BLv = \frac{U_1}{t_1}t$,整理可得: $v = \frac{U_1}{BLt_1}t$,其中 $\frac{U_1}{BLt_1}$ 为一个常数,则加速度 $a = \frac{U_1}{BLt_1}$,综上可得: $F = \frac{BLCU_1}{t_1} + \frac{mU_1}{BLt_1}$ 。