

## 第十二单元 电磁感应

### 考点基础巩固卷 I

#### 1. B 必刷知识 ▶ 互感

选项	分析	正误
A	该装置的原理是互感, $A$ 、 $B$ 线圈不需要用导线连通	×
B	线圈 $B$ 中产生变化的电流使音响发出高低不同的声音	√
C	$A$ 、 $B$ 两个线圈的匝数不同, 类比变压器可知电流与匝数有关, 将 $A$ 、 $B$ 线圈互换, 感应电流变化, 音响的播放效果发生变化	×
D	在 $A$ 线圈中插入铁芯, 增加了磁感应强度, 能够增大感应电流, 音响的播放效果会更好	×

#### 2. D 必刷模型 ▶ 通电直导线周围的磁场

【深度解析】根据安培定则可知, 通电直导线右侧的磁场方向垂直于纸面向里; 磁感应强度随时间均匀增加, 根据楞次定律可知线框中产生的感应电流方向为  $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ , **A 错误**; 线框中产生的感应电流为  $I = \frac{E}{R} = n \frac{\Delta \Phi}{R \Delta t} = n \frac{S}{R} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$ , 空间各点的磁感应强度随时间均匀增加, 故线框中产生的感应电流不变, **B 错误**; 流过线框  $ad$  边的感应电流保持不变, 磁感应强度随时间均匀增加, 根据安培力表达式  $F_{安} = BIL$ , 故所受的安培力变大, **C 错误**; 线框所处空间的磁场方向垂直纸面向里, 线框中产生的感应电流方向为  $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ , 根据左手定则可知, 线框  $ad$  边所受的安培力水平向右, 线框  $bc$  边所受的安培力水平向左。由通电直导线周围的磁场分布特点可知  $ad$  边所处位置的磁场较强, 线框整体受到的安培力方向水平向右, **D 正确**。

#### 技巧必背

判断感应电流方向用楞次定律或右手定则(“电生磁”或“磁生电”均用右手判断), 无论是“安培力”还是“洛伦兹力”, 只要是“力”都用左手判断。

#### 3. C 必刷知识 ▶ 楞次定律+法拉第电磁感应定律

选项	分析	正误
A	从上向下看, 根据楞次定律, 圆管中的感应电流为逆时针方向	×
B	根据法拉第电磁感应定律, 圆管中的感应电动势 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t} = \pi R^2 k$	×

选项	分析	正误
C	根据电阻定律,圆管在沿感应电动势方向的电阻 $R = \rho \frac{2\pi R}{dh}$ , 则感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{kRh\Delta\Phi}{2\rho\Delta t}$	✓
D	根据对称性以及左手定则,圆管所受合安培力为零,台秤的读数始终不变	×

## 技巧必背

感应电动势的大小由穿过闭合电路的磁通量的变化率  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  和线圈的匝数共同决定,而与磁通量  $\Phi$ 、磁通量的变化量  $\Delta\Phi$  的大小没有必然联系,  $\Delta\Phi$  仅由  $B$  引起时, 则  $E = \frac{N\Delta B}{\Delta t}$ ; 当  $\Delta\Phi$  仅由  $S$  引起时, 则  $E = \frac{NB\Delta S}{\Delta t}$ 。

## 4. C 必刷知识 ▶ 楞次定律及法拉第电磁感应定律

【深度解析】由题意可知,通过线框的磁通量减少,根据楞次定律“增反减同”可知,线框中的电流为顺时针方向, A 错误;

经时间  $t$  线框磁通量的变化量  $\Delta\Phi = BL^2 - \frac{BL^2}{2}$ , 线框中的平均

感应电动势  $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{BL^2}{2t}$ , 线框中平均感应电流为  $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R}$ , 所

以流过线框横截面的电荷量  $q = \bar{I}t = \frac{BL^2}{2R}$ , B 错误, C 正确;  $t$  时

刻, 线框旋转的角速度为  $\omega = \frac{\pi}{4t}$ , 感应电动势大小  $E = B \times$

$\sqrt{2}L\bar{v} = \sqrt{2}BL \frac{0 + \sqrt{2}L\omega}{2} = \frac{\pi BL^2}{4t}$ , D 错误。

## 一题多解

通过线框横截面的电荷量为  $q = \frac{B\Delta S}{R} = \frac{BL^2}{2R}$ ,  $t$  时刻线框旋转

的角速度  $\omega = \frac{\pi}{4t}$ , 感应电动势大小  $E = \frac{1}{2}B \cdot (\sqrt{2}L)^2 \cdot$

$\frac{\pi}{4t} = \frac{\pi BL^2}{4t}$ 。

## 5. A 必刷知识 ▶ 正弦形状的导线切割磁感线 电磁感应图像

【深度解析】导线切割磁感线产生的感应电动势  $E = Blv = Byv$ , 位移为  $0 \sim L$  过程中, 根据右手定则可知直导线上电流由  $M$

到  $N$  (为正), 感应电流最大值  $i_m = \frac{E_m}{R} = \frac{By_m v}{R}$ , 位移为  $L \sim 2L$  过

程中, 左右两部分同时切割磁感线, 根据右手定则可知直导线上电流由  $N$  到  $M$  (为负), 感应电流最大值  $i_m = \frac{3E_m}{R} =$

$\frac{3By_m v}{R}$ , 故 A 正确。

**快解**

系统向右运动  $L$  的过程中,由楞次定律知产生的电流方向从  $M$  到  $N$ ,为正方向,当向右运动  $1.5L$  时,电流方向从  $N$  到  $M$ ,为负方向,电流达到最大,此时相当于有 3 部分切割磁感线,电流大小为正向最大值的 3 倍。

**6. D 必刷知识 ▶ 电磁感应在生活中的应用**

【深度解析】飞轮在磁场中做切割磁感线的运动,所以会产生感应电动势和感应电流,由楞次定律可知,磁场对运动的飞轮产生阻力,以阻碍飞轮与磁场之间的相对运动,所以飞轮受到的阻力主要来源于磁铁对它的安培力,而安培力大小与其材料电阻率有关,与其密度无关,**A、B 错误**;飞轮转速一定时,磁铁越靠近飞轮,飞轮处的磁感应强度越强,飞轮中产生的感应电动势和感应电流越大,飞轮受到的阻力越大,**C 错误**;磁铁与飞轮间距离不变时,飞轮转速越大,飞轮中产生的感应电动势和感应电流越大,飞轮受到的阻力越大,**D 正确**。

**7. D 必刷知识 ▶ 法拉第电磁感应定律**

【深度解析】在  $0 \sim 1$  s 内,由法拉第电磁感应定律可得电动势为  $E = Ld \frac{\Delta B}{\Delta t} = 2$  V,由闭合电路欧姆定律得电流的大小为  $I = \frac{E}{R+r} = 1$  A,  $t = 1$  s,金属棒所受安培力最大,由金属棒静止可知最大静摩擦力大于等于  $t = 1$  s 时的安培力,即  $\mu mg \geq ILB_1$ ,解得  $\mu \geq 0.5$ ,**A 错误**;  $0 \sim 1$  s 内电流恒定为 1 A,  $1 \sim 2$  s 内电流为零,故前 2 s 内通过电阻  $R$  的电荷量为  $q = It = 1$  C,**B 错误**;由法拉第电磁感应定律知,1 s 后回路磁通量不变,  $t = 1$  s 时,磁通量为  $\Phi_1 = B_1 dL = 2$  Wb,  $t > 1$  s,磁通量为  $\Phi_2 = B_2 L(d-x) = t(2-x)$  (Wb),  $\Phi_1 = \Phi_2$ ,解得  $x = 2 - \frac{2}{t}$  (m),金属棒不是做匀加速直线运动,**C 错误**;  $t = 1$  s 时,  $x = 0$ ,  $t = 2$  s 时,  $x = 1$  m,则金属棒第 2 s 内的位移为 1 m,**D 正确**。

**8. D 必刷知识 ▶ 法拉第电磁感应定律**

【深度解析】由楞次定律可知感生电场的方向沿顺时针,小球带负电,故小球沿逆时针方向运动,**A 错误**;产生的感生电场的电场强度  $E = \frac{B_0 \pi r^2}{2\pi r t_0} = \frac{B_0 r}{2t_0}$ ,**B 错误**;小球做切向加速度大小不变的加速曲线运动,小球所受的电场力方向始终与速度方向相同,当成匀加速直线运动处理(关键点:小球沿切线方向的运动类似匀变速直线运动),根据运动学公式  $2\pi r = \frac{1}{2} \times \frac{qE}{m}$

$t^2$ ,解得  $t = \sqrt{\frac{8\pi m t_0}{qB_0}}$ ,**C 错误**;由动能定理可得  $\frac{1}{2}mv^2 = 2qE \cdot$

$2\pi r$ ,解得  $v = 2r \sqrt{\frac{qB_0 \pi}{m t_0}}$ ,**D 正确**。

**9. (1) 感应电流大小为 0.4 A,方向由  $b$  到  $a$  (2)  $\frac{16}{3}$  m**

**必刷知识 ▶ 法拉第电磁感应定律的应用**

【深度解析】(1)由法拉第电磁感应定律,斜面顶部线圈产生

$$\text{的感应电动势 } E_1 = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = N \frac{\Delta B_1}{\Delta t} S,$$

$$\text{产生的感应电流 } I_1 = \frac{E_1}{R},$$

代入数据可得  $I_1 = 0.4 \text{ A}$ ,

根据楞次定律可得电流方向  $b$  到  $a$ 。

(2)导体棒沿斜面下滑一段距离后进入磁场  $B_2$  中匀速下滑,

由平衡条件可得  $B_2 I_2 L = mg \sin \theta$ ,

导体棒在磁场  $B_2$  中切割磁感线产生的感应电流方向为由  $b$  到  $a$ , 感应电动势大小  $E_2 = B_2 L v$ ,

故回路中的感应电动势为  $E_1 + E_2$ ,

由闭合电路欧姆定律可得  $E_1 + E_2 = I_2 R$ ,

由运动学公式可得  $v^2 = 2g \sin \theta \cdot x$ ,

$$\text{联立解得 } x = \frac{16}{3} \text{ m}。$$

10. (1) 3 V (2) 4.5 V (3) 与题图 1 中的导轨相连接时  $a$  端电势较高,  $\varphi_a = 2 \text{ V}$

**必刷知识** ▶ 法拉第电磁感应定律+楞次定律

【深度解析】(1)杆  $MN$  做切割磁感线的运动,根据法拉第电磁感应定律得  $E_1 = B_1 L v = 0.5 \times 3 \times 2 \text{ V} = 3 \text{ V}$ 。

(2)穿过圆形线圈的磁通量发生变化,

$$\text{则 } E_2 = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = n \frac{\Delta B_2}{\Delta t} \cdot S_2,$$

$$\text{其中 } \frac{\Delta B_2}{\Delta t} = \frac{0.6-0}{4-0} \text{ T/s} = 0.15 \text{ T/s},$$

代入数据解得  $E_2 = 100 \times 0.15 \times 0.3 \text{ V} = 4.5 \text{ V}$ 。

(3)根据右手定则可知,题图 1 的  $a$  连接正极,而由楞次定律可知,题图 2 中  $b$  连接正极,因此当电阻  $R$  与题图 1 中的导轨相连接时,  $a$  端电势较高,通过电阻  $R$  的电流为  $I =$

$$\frac{E_1}{R+r_1} = \frac{3}{2+1} \text{ A} = 1 \text{ A},$$

则电阻  $R$  两端的电势差为  $U_{ab} = IR = 1 \times 2 \text{ V} = 2 \text{ V}$ ,

由于  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ ,

$b$  端接地,则  $\varphi_b = 0$ ,

则  $\varphi_a = 2 \text{ V}$ 。

11. (1) 0.75 V (2) 不能 (3) 0.75 W

**必刷知识** ▶ 法拉第电磁感应定律+安培力及安培力的平均功率

【深度解析】(1)  $a$  棒产生的感应电动势  $E = B(r_2 - r_1) \bar{v} = B(r_2 - r_1) \left( \frac{\omega r_2 + \omega r_1}{2} \right) = 1.5 \text{ V}$ ,

外电阻为金属棒  $b$  的电阻和电阻  $R$  并联后的总电阻,即

$$R_{\text{外}} = \frac{R}{2} = 1.5 \Omega,$$

金属棒  $a$  两端的电压  $U = \frac{ER_{\text{外}}}{r+R_{\text{外}}} = 0.75 \text{ V}$ 。

### 一题多解

$a$  棒产生的感应电动势  $E = \frac{1}{2}Br_2^2\omega - \frac{1}{2}Br_1^2\omega = 1.5 \text{ V}$ 。

(2) 流过金属棒  $b$  的电流  $I = \frac{U}{R} = 0.25 \text{ A}$ ,

根据左手定则可知, 金属棒  $b$  所受安培力垂直导轨平面向下, 导体棒  $b$  所受的最大静摩擦力  $f_m = \mu(mg\cos\theta + BIL) = 0.5 \times (0.05 \times 10 \times 0.8 + 1 \times 0.25 \times 0.2) \text{ N} = 0.225 \text{ N}$ ,

而金属棒  $b$  重力沿导轨向下的分力为  $G_x = mg\sin\theta = 0.3 \text{ N}$ , 由于  $f_m < G_x$ ,

因此金属棒  $b$  不能静止在平行导轨上。

(3) 根据能量守恒可知,  $a$  棒所受安培力的平均功率等于回路产生焦耳热的功率,  $P = \frac{E^2}{r+R_{\text{外}}} = \frac{1.5^2}{1.5+1.5} \text{ W} = 0.75 \text{ W}$ 。

### 一题多解

根据能量守恒可知,  $a$  棒所受安培力的平均功率等于回路产生焦耳热的功率  $P = (2I)^2(r+R_{\text{外}}) = 0.5^2 \times 3 \text{ W} = 0.75 \text{ W}$ 。

12. (1)  $1 \text{ m/s}$  (2)  $2.4 \text{ s}$  (3)  $-16.5 \text{ J}$  (4)  $0.64 \text{ m}$

**必刷知识** ▶ 法拉第电磁感应定律+动量定理及能量守恒

【深度解析】(1) 设  $c$ 、 $M$  间导体棒长度为  $l_2$ , 则有

$$l_2 = l_1 + ac \times \tan 45^\circ = 5 \text{ m},$$

导体棒运动过程中通过电阻  $R$  的电流不变, 则有

$$I = \frac{Bl_2 v}{R} = \frac{B \times l_1 \times v_0}{R},$$

解得  $v = 1 \text{ m/s}$ 。

(2) 电动势不变, 从  $ab$  到  $Mc$  位置, 有

$$E = \frac{\Delta\Phi}{t} = B \frac{\Delta S}{t} = B \frac{(l_1 + l_2) \times ac}{2t} = Bl_1 v_0,$$

则  $t = 2.4 \text{ s}$ 。

(3) 根据欧姆定律有  $I = \frac{E}{R} = 1.25 \text{ A}$ ,

$$Q = I^2 R t = 7.5 \text{ J},$$

由能量守恒有  $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W - Q$ ,

则  $W = -16.5 \text{ J}$ 。

(4) 过  $Mc$  位置后导轨间距离为  $l_2$  不变, 导体棒速度减小,

$$\text{由动量定理有 } 0 - mv = -\sum Bl_2 \bar{I} \cdot \Delta t = -\sum \frac{B^2 l_2^2 \bar{v} \Delta t}{R} = -\frac{B^2 l_2^2 x}{R},$$

解得  $x = 0.64 \text{ m}$ 。



## 考点基础巩固卷 II

1. C **必刷知识** ▶ 右手定则、左手定则及电磁感应与力学相结合

【深度解析】由右手定则判断金属框中电流的方向先逆时针后顺时针, A 错误; 由左手定则判断金属框所受安培力的方

向保持竖直向上, **B 错误**; 匀速运动时安培力与重力平衡, 即  $\frac{B^2 d^2 v}{R} = mg$ , 可求出金属框穿越磁场的速度为  $v = \frac{mgR}{B^2 d^2}$ , 而穿过磁场的位移为  $2d$ , 时间为  $t = \frac{2d}{v} = \frac{2B^2 d^3}{mgR}$ , **C 正确**; 金属框所受安培力做功为  $W = -F_{\text{安}} \cdot 2d = -2mgd$ , **D 错误**。

### 快解

金属框进入磁场时, 磁通量增大, 根据楞次定律和安培定则可知金属框中电流的方向为逆时针方向, 离开磁场时, 磁通量减小, 根据楞次定律和安培定则可知金属框中电流的方向为顺时针方向; 根据能量守恒可知安培力做的功为  $W = -2mgd$ 。

## 2. D 必刷知识 ▶ 电磁感应与力学、电路综合应用

【深度解析】导体棒下落过程中, 速度越来越大, 由公式  $E = Bdv$  可知导体棒切割磁感线产生的感应电动势也越来越大, 不断地给电容器充电, 形成充电电流, 从而产生安培力 (易错点: 认为含电容的电路是断路, 无电流也无安培力), 影响下落的加速度, 由左手定则可判断导体棒受到的安培力方向向上, 大小为  $F_{\text{安}} = BId$ , 对于电容器有  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{C\Delta E}{\Delta t} = \frac{CBd\Delta v}{\Delta t}$ , 即  $I = CBda$ , 对于导体棒, 竖直方向上有  $mg - F_{\text{安}} = ma$ , 联立解得  $a = \frac{mg}{m + CB^2 d^2}$ , 故 **D 正确**。

## 3. B 必刷知识 ▶ 电磁感应的图像问题

【深度解析】根据法拉第电磁感应定律, 金属棒中产生的感应电动势  $E = Blv_0$ , 结合闭合电路欧姆定律, 回路中的感应电流  $i = \frac{E}{R} = \frac{Blv_0}{R}$ , 可见  $E \propto l$ ,  $i \propto l$ 。根据题意, 金属棒向右运动的过程中, 切割磁感线的长度  $l$  随时间先均匀增大, 后不变, 最后均匀减小, 故电流  $i$  随时间先均匀增大, 后不变, 最后均匀减小, **A 错误, B 正确**; 金属棒所受安培力大小  $F = Bil = \frac{B^2 l^2 v_0}{R}$ , 则安培力的功率为  $P = Fv_0 = \frac{B^2 l^2 v_0^2}{R} \propto l^2$ , 结合  $l$  随时间变化的规律可知  $P$  先按开口向上的抛物线规律增大, 后不变, 最后再按开口向下的抛物线规律减小, **C、D 错误**。

### 技巧必背

对于图像问题, 弄清初始条件、正负方向的对应变化范围、所研究物理量的函数表达式、进出磁场的转折点等。

## 4. C 必刷模型 ▶ 转动切割+平动切割

【深度解析】杆  $OP$  产生的感应电动势恒为  $E = Br\bar{v} = Br \frac{\omega r}{2} = \frac{1}{2} B\omega r^2$ , **A 错误**; 由右手定则知  $OP$  产生的感应电流方向为由  $O$  到  $P$ , 则  $MN$  杆中电流方向为由  $M$  到  $N$ , 由左手定则知  $MN$  杆受到向左的安培力,  $MN$  杆向左做加速运动, 也产生感应电动势, 与  $OP$  产生的电动势方向相反, 根据  $E_{MN} = BLv_{MN}$ ,

随着  $MN$  的速度增加,回路中电动势的和逐渐减小,电流减小,电容器的电压减小,则电容器带电荷量逐渐减小, **B 错误**;回路中电流逐渐减小,杆  $MN$  受到的安培力逐渐减小,则杆  $MN$  向左做加速度逐渐减小的加速直线运动, **D 错误**。

### 技巧必背

金属杆平动切割磁感线产生的感应电动势,可以根据  $E = BLv$  来计算;金属杆转动切割磁感线产生的感应电动势,可以根据  $E = \frac{1}{2}Br^2\omega$  来计算。

## 5. D 必刷知识 ▶ 电磁感应与力学、电路综合

【深度解析】题图甲电路中,由闭合电路欧姆定律可得  $I_1 = \frac{BLv}{R+r}$ ,金属杆受到的安培力  $F_1 = BI_1L = \frac{B^2L^2v}{R+r}$ ,方向水平向左,题图乙中金属杆受到的安培力  $F_2 = BIL$ ,方向水平向右,两杆所受安培力方向相反,大小之比为  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{BLv}{I(R+r)}$ , **A、B 错误**;在  $\Delta t$  时间内,题图甲中金属杆与定值电阻产生的热量等于金属杆克服安培力做的功,则有  $Q_{\text{热}} = F_1v\Delta t = \frac{B^2L^2v^2\Delta t}{R+r}$ ,在  $\Delta t$  时间内金属杆产生的热量为  $Q = \frac{r}{R+r}Q_{\text{热}} = \frac{B^2L^2v^2r\Delta t}{(R+r)^2}$ , **C 错误**;在题图乙中电源输出的能量等于安培力对金属杆做的功,即  $E_{\text{输出}} = F_2v\Delta t = BILv\Delta t$ , **D 正确**。

### 快解

在  $\Delta t$  时间内题图甲中金属杆产生的热量为  $Q = I_1^2r\Delta t = \frac{B^2L^2v^2r\Delta t}{(R+r)^2}$ 。

## 6. B 必刷知识 ▶ 线框切割磁感线运动

【深度解析】根据  $v^2 = 2gh$  可得乙线框进入磁场时的速度比甲线框进入磁场时速度大,线框所受的安培力为  $F = BIL$ ,电动势为  $E = BLv$ ,电流为  $I = \frac{E}{R}$ ,联立可得  $F = BIL = \frac{B^2L^2v}{R}$ ,分析可知乙在进入磁场过程中受到的安培力较大,因为两个线框完全相同,故安培力对乙做的负功多,产生的热量多,重力做的功一部分转化为线框的动能,一部分转化为线框穿过磁场产生的热量,根据动能定理可知,甲落地速度比乙落地速度大, **C 错误**;根据电流定义式得  $q = \bar{I}\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R\Delta t} \cdot \Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R}$ ,穿过磁场的过程中甲线框中通过的电荷量等于乙线框通过的电荷量, **D 错误**;下落过程中分析线框,根据动量定理得  $mg\Delta t - I_{\text{安}} = mv - 0$ ,线框穿过磁场时,安培力的冲量为  $I_{\text{安}} = \bar{B}IL \cdot \Delta t = BLq$ ,线框穿过磁场过程中通过的电荷量相等,故甲、乙两线框通过磁场过程中安培力的冲量相等,又因为甲落地时的速度大于乙落地时的速度,说明甲重力作用的时间更长,则乙先落地, **B 正确**, **A 错误**。

## 7. C 必刷知识 ▶ 电磁感应与力学、电路综合

【深度解析】设线圈在磁场中匀速运动的速度为  $v$ , 线圈进磁场过程, 根据动量定理有  $-B\bar{I}L \cdot \Delta t = mv - mv_1$ , 线圈出磁场过程, 根据动量定理有  $-B\bar{I}'L \cdot \Delta t' = mv_2 - mv$ , 而通过横截面的电荷量  $q = \bar{I} \cdot \Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{BS}{R}$ , 由此可知线圈进、出磁场过程通过横截面的电荷量相同, 由以上分析可得  $mv - mv_1 = mv_2 - mv$ , 解得  $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$ , **A 错误, C 正确**; 根据能量守恒, 线圈进磁场过程, 产生焦耳热  $Q_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv^2$ , 线圈出磁场过程, 产生焦耳热  $Q_2 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$ , 则  $Q_1 - Q_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}m \times \frac{(v_1 - v_2)^2}{2} > 0$ , 即  $Q_1 > Q_2$ , **B 错误**; 由于  $mv - mv_1 = mv_2 - mv$ , 则进、出磁场过程动量的变化量相同, **D 错误**。

#### 8. D 必刷知识 ▶ 电磁感应与力学综合

【深度解析】导体棒  $P$  从  $CE$  处滑上导轨后, 受到向左的安培力减速,  $Q$  受到向右的安培力加速运动, 回路电流相同, 两棒所受安培力等大反向, 两棒组成的系统动量守恒, 有  $mv_0 = mv_P + mv_Q$ , 由题可知当  $v_P = \frac{1}{2}v_0$  时,  $v_Q = \frac{1}{2}v_0$ , 此时两棒产生的电动势相同, 回路中电流为 0, 两棒加速度均为 0,  $Q$  棒的速度第一次达到最大, 此时另一导体棒 (设为  $M$ ) 滑上导轨, 此时干路中电流为  $I = \frac{Bdv_0 - \frac{1}{2}Bdv_0}{R + \frac{1}{2}R} = \frac{\frac{1}{2}Bdv_0}{\frac{3}{2}R} = \frac{Bdv_0}{3R}$ ,  $P$ 、 $Q$

两棒加速度为  $a = \frac{\frac{1}{2}BId}{m} = \frac{B^2 d^2 v_0}{6mR}$ , 此后  $M$  棒减速,  $P$ 、 $Q$  两棒在安培力作用下加速, 导体棒  $P$  的最小速度为  $\frac{v_0}{2}$ , **A、B 错误**; 导体棒  $M$  中的电流为  $P$ 、 $Q$  中的 2 倍,  $M$  受到的安培力与导体棒  $P$ 、 $Q$  受到的安培力的合力等大反向, 导体棒  $M$ 、 $P$ 、 $Q$  组成的系统动量守恒, 当三者共速时另一导体棒 (设为  $N$ ) 滑上导轨后, 四根导体棒所受合外力仍为 0, 系统动量守恒, **C 错误**; 每滑上一个导体棒,  $Q$  棒都会加速, 足够长时间后,  $Q$  棒的速度可以认为达到了  $v_0$ , 根据动量定理得  $Bdq = mv_0$ , 解得  $q = \frac{mv_0}{Bd}$ , **D 正确**。

#### 9. C 必刷知识 ▶ 电磁感应与力学综合

【深度解析】当开关打到  $S_1$  同时解除对金属杆  $ab$  的锁定, 金属杆速度最大时满足  $mgsin \theta = \frac{B^2 L^2 v_m}{2R}$ , 即最大速度为  $v_m = \frac{2mgRsin \theta}{B^2 L^2}$ , **A 错误**; 当开关打到  $S_2$  同时解除对金属杆  $ab$  的锁定, 金属杆  $ab$  沿斜面受到的安培力可能大于重力沿斜面的分力, 此时金属杆向上滑动, **B 错误**; 当开关打到  $S_3$  同时解



除对金属杆  $ab$  的锁定,对金属杆有  $mgsin\theta - BiL = ma, i = \frac{\Delta q}{\Delta t} =$

$\frac{(BL\Delta v)C}{\Delta t} = BLaC$ , 可得  $a = \frac{mgsin\theta}{B^2L^2C+m}$ , 故金属杆做匀加速直线

运动, **C 正确**; 由运动学公式得, 在时间  $t$  内金属杆运动的位

移为  $s = \frac{mgt^2sin\theta}{2(B^2L^2C+m)}$ , **D 错误**。

## 10. D 必刷知识 ▶ 电磁感应与力学中动量、能量

【深度解析】对轨道和导体棒分别由动量定理可得  $(F - B\bar{I}L) \cdot \Delta t = 2m \cdot 2v, B\bar{I}L \cdot \Delta t = m \cdot v$ , 解得  $\Delta t = \frac{5mv}{F}$ , **A 错误**;

导体棒从  $MM'$  相对于轨道运动到  $PP'$  的过程中, 设轨道对导体棒作用力的总冲量为  $I$ , 水平方向有  $B\bar{I}'Lt + I_x = m \cdot 3v$ , 竖直方向有  $I_y - mgt = 0$ , 则轨道对导体棒作用力总冲量大小

为  $I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} = \sqrt{(3mv - B\bar{I}'Lt)^2 + (mgt)^2}$ , **B 错误**; 撤去力  $F$

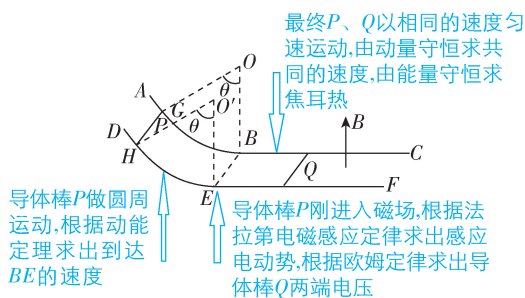
后, 二者组成的系统水平方向动量守恒, 当二者共速时, 由动量守恒定律可知, 速度均为  $3v$ , 速度差为零, **C 错误**; 撤去力  $F$  后, 经过足够长的时间, 因系统的动能没有变化, 故而系统损失的机械能均转化为系统的焦耳热, 则有  $Q =$

$mgR(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}mgR$ , **D 正确**。

## 11. (1) 0.8 V (2) 0.1 J

### 必刷知识 ▶ 电磁感应+圆周运动

#### 【题图剖析】



【深度解析】(1) 设导体棒  $P$  刚滑到圆弧导轨底端  $BE$  时速度大小为  $v_0$ , 电动势大小为  $E$ , 根据动能定理则有  $m_1gr(1 -$

$$\cos\theta) = \frac{1}{2}m_1v_0^2,$$

解得  $v_0 = 3 \text{ m/s}$ ,

根据法拉第电磁感应定律有  $E = BLv_0 = 1.2 \text{ V}$ ,

导体棒  $Q$  两端电压大小  $U = \frac{E}{R_1 + R_2} R_2 = 0.8 \text{ V}$ 。

(2) 最终  $P$ 、 $Q$  以相同的速度  $v$  匀速运动, 回路产生的总焦耳热为  $Q$ , 由动量守恒可得  $m_1v_0 = (m_1 + m_2)v$ ,

可得  $v = 2 \text{ m/s}$ ,

由能量守恒可得  $Q = \frac{1}{2}m_1v_0^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = 0.3 \text{ J}$ ,

则导体棒  $P$  上产生的焦耳热  $Q_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} Q = 0.1 \text{ J}$ 。

12. (1) 0.6 m/s (2) 0.96 C 0.048 J

必刷知识 ▶ 动生电动势+感生电动势

【深度解析】(1) 在闭合开关后, 回路中由于圆形磁场区域中磁场的变化而产生的感应电动势

$$E_1 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = \frac{1-0}{2-0} \times 0.6 \text{ V} = 0.3 \text{ V},$$

金属棒  $ab$  由于运动产生的动生电动势为  $E_2 = B_0 \cdot 2Lv_0$ ,

当  $E_2 = E_1$ , 金属棒  $ab$  达到稳定状态,

$$\text{速度 } v_0 = \frac{E_2}{B_0 \times 2L} = \frac{0.3}{0.5 \times 0.5 \times 2} \text{ m/s} = 0.6 \text{ m/s}.$$

(2) 断开开关后, 金属棒  $ab$  减速, 金属棒  $cd$  加速, 某时刻两金属棒再次达到稳定状态,

$$\text{有 } B_0 \cdot 2Lv_1 = B_0Lv_2,$$

对金属棒  $ab$ 、 $cd$  分别根据动量定理有

$$-B_0 \bar{I} \cdot 2Lt = mv_1 - mv_0,$$

$$B_0 \bar{I} Lt = mv_2,$$

联立以上各式, 解得  $v_1 = 0.12 \text{ m/s}$ ,  $v_2 = 0.24 \text{ m/s}$ ,

金属棒  $cd$  由静止达到稳定速度过程中通过的电荷量为  $q =$

$$\bar{I} t = \frac{mv_2}{B_0 L} = 0.96 \text{ C},$$

在金属棒  $cd$  由静止达到稳定速度过程中, 闭合电路产生的

$$\text{焦耳热为 } Q = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = 0.144 \text{ J},$$

金属棒  $ab$ 、 $cd$  接入电路的阻值之比为  $2:1$ , 因此金属棒  $cd$

$$\text{产生的焦耳热 } Q_1 = \frac{1}{3}Q = 0.048 \text{ J}.$$

13. (1) 4 m (2) -1 m (3) 0.171 J

必刷知识 ▶ 电磁感应与电学、力学综合应用

【深度解析】(1)  $a$  棒通过  $x=0$  后减速向右运动过程中, 则

$$\text{有 } q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{BLx_b}{R},$$

$$\text{解得 } x_b = 4 \text{ m}.$$

$$(2) a \text{ 棒在 } 0 \sim x_b \text{ 区间, 由动量定理得 } -BLq = mv_1 - mv_0,$$

$$\text{解得 } v_0 = 2 \text{ m/s},$$

$a$  棒在恒力作用过程中, 设某时刻的速度为  $v$ , 加速度为  $a$ ,

$$\text{棒中的电流为 } i, \text{ 则有 } F - BiL = ma,$$

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{C\Delta U}{\Delta t} = \frac{CBL\Delta v}{\Delta t} = CBLa,$$

$$\text{解得 } a = \frac{F}{m + CB^2L^2} = 2 \text{ m/s}^2,$$

$$\text{即 } a \text{ 棒做匀加速运动, 根据 } v_0^2 = 2a(-x_a),$$

$$\text{解得 } x_a = -1 \text{ m}.$$

(3)  $a$  棒在  $0 \sim x_b$  区间向右运动过程中, 电路产生的热量

$$Q_1 = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 0.15 \text{ J},$$

$a$  棒向左反弹后,  $b$  棒向右运动, 两棒的加速度大小相等, 相等

时间内速度变化量大小也相等,所以  $b$  棒穿出磁场时  $a$  棒的速度大小  $v_1' = 1 \text{ m/s} - 0.3 \text{ m/s} = 0.7 \text{ m/s}$ ,

$$\text{此过程中发热量 } Q_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_1'^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = 0.021 \text{ J},$$

所以  $Q_b = Q_1 + Q_2 = 0.171 \text{ J}$ 。



## 单元综合提升卷

### 1. B 必刷模型 ▶ 变化磁场中的螺线管

【深度解析】在  $0 \sim t_1$  时间内,  $B$  均匀增加, 则在螺线管中产生恒定不变的感应电流, 则在导线框  $abcd$  中形成稳定的电流, 则此时环中无感应电流产生, 环也没有收缩的趋势, **A 错误**; 在  $t_1 \sim t_2$  时间内,  $B$  的变化率逐渐减小, 则螺线管中的感应电流逐渐减小, 在导线框  $abcd$  中的电流方向为  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ , 框内磁场方向垂直纸面向外, 穿过环的磁通量减小, 根据楞次定律可知, 环内有逆时针方向的感应电流, 且有扩张的趋势, **B 正确, C 错误**; 在  $t_2 \sim t_3$  时间内,  $B$  的方向向下, 且  $B$  的变化率逐渐减小, 则螺线管中的感应电流逐渐减小, 在导线框  $abcd$  中的电流方向为  $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ , 框内磁场方向垂直纸面向里, 穿过环的磁通量减小, 根据楞次定律可知, 环内有顺时针方向的感应电流, **D 错误**。

#### 易错警示

螺线管中的磁场发生变化, 从而在螺线管中产生感应电流, 该感应电流如果再随时间发生变化, 才会在环中产生感应电流, 很多同学由于不理解二次感应的条件而出现错解。

### 2. D 必刷知识 ▶ 电阻定律+电磁感应与电路

【深度解析】设材料的电阻率为  $\rho$ , 密度为  $k$ , 导轨间距为  $l$ , 由公式  $r = \rho \frac{l}{S}$ ,  $m = kSl$  可得  $r = \rho k \frac{l^2}{m}$ , 在质量和长度相同的情况下, 因为密度  $k$  未知, 所以不能确定甲、乙的电阻大小, 对于金属棒, 利用动量定理可得  $-B\bar{I}lt = 0 - mv$ , 则有  $\frac{B^2 l^2 \bar{v} t}{R+r} = mv$ , 金属棒运动的距离  $x = \bar{v}t = \frac{mv(R+r)}{B^2 l^2}$ , 故不能判断运动距离的大小关系, **A 错误**; 回路中的电功率  $P = \frac{E^2}{R+r} = \frac{B^2 l^2 v^2}{R+r}$ , 所以速度相同时不能判断电功率的大小关系, **B 错误**; 经分析可知金属棒甲、乙做减速运动, 前一半位移所用时间较短, 所以尚未达到各自运动的中间时刻, **C 错误**; 根据公式  $a = \frac{B^2 l^2 v}{m(R+r)}$  可知加速度在不断减小, 所以中间时刻的速度小于开始时速度的一半, 则中间时刻的加速度小于开始时加速度的一半, **D 正确**。

#### 易错警示

学生易忽略不同材料, 不考虑金属棒的横截面积, 认为金属棒乙的电阻率大, 所以金属棒乙的电阻大。

### 3. D 必刷知识 ▶ 根据安培力变化图像选择磁感应强度变化图像

【深度解析】线圈  $AB$  边所受的安培力方向向右,由左手定则知,线圈中的电流方向沿顺时针方向,由楞次定律知,磁场是增强的, **C 错误**;  $AB$  边所受的安培力  $F = BIL = B \frac{\Delta B}{R \Delta t} SL$ ,由题图乙知,线圈  $AB$  边所受的安培力为恒力,又因为  $B$  变大,故  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  减小, **D 正确, A、B 错误**。

### 4. D 必刷知识 ▶ 自感现象

【深度解析】断开开关前,通过线圈的电流方向为由  $a$  到  $b$ ,断开开关瞬间,线圈中产生感应电动势,感应电流方向与原来电流的方向相同,线圈相当于电源,在电源内部电流由负极流向正极,故  $a$  端电势低于  $b$  端电势, **A、C 错误**;电路稳定时,三盏灯泡亮度相同,即两支路电流相同,开关断开瞬间,两支路组成闭合回路,线圈中产生的感应电流在原电流基础上逐渐减小,故三盏灯都不会闪亮而只是缓慢熄灭, **B 错误, D 正确**。

### 5. C 必刷知识 ▶ 电磁感应与电学、力学的综合

【深度解析】金属棒经过最低位置  $bb'$  处时,根据右手定则,通过金属棒的电流方向为  $b \rightarrow b'$ , **A 错误**;金属棒经过最低位置  $bb'$  处时,金属棒垂直切割磁感线,产生的感应电动势最大,电路中的电流最大, **B 错误**;金属棒切割磁感线产生的电动势为  $e = BLv_0 \sin \frac{v_0}{r} t$ ,电路中的电动势的有效值为  $E = \frac{BLv_0}{\sqrt{2}}$ ,有  $Q = \left( \frac{E}{R+R'} \right)^2 Rt, t = \frac{\pi r}{v_0}$ ,联立解得  $Q = \frac{\pi r R B^2 L^2 v_0}{2(R+R')^2}$ , **C 正确**;根据能量关系,外力  $F$  做的功等于电路的总热量,则  $W_F = Q_{\text{总}} = \left( \frac{E}{R+R'} \right)^2 (R+R') t = \frac{\pi r B^2 L^2 v_0}{2(R+R')}$ , **D 错误**。

### 6. D 必刷知识 ▶ 电磁感应与电学、力学的综合

【深度解析】导体棒  $MN$  从磁场左边到右边过程中,通过的电荷量为  $q = \frac{BS}{R_{\text{总}}}$ ,磁场的有效面积未知,故不能求出电荷量, **A 错误**;根据速度表达式  $v = 4 \sin 10\pi t$ ,所以  $a = \frac{4B^2 d^2 \sin 10\pi t}{mR_{\text{总}}}$ ,可知导体棒的加速度随时间变化,导体棒在磁场中做变加速运动, **B 错误**;导体棒产生的电动势为  $e = Bdv = 4 \sin 10\pi t$  (V),故电动势有效值为  $E = 2\sqrt{2}$  V,外电路总电阻为  $R_{\text{外}} = \frac{R_L R}{R_L + R} = 2 \Omega$ ,故灯泡两端的电压为  $U = \frac{R_{\text{外}}}{R_{\text{外}} + r} \cdot E = \sqrt{2}$  V,故灯泡的功率为  $P_L = \frac{U^2}{R_L} = \frac{1}{3}$  W, **C 错误**;导体棒运动到磁场中间位置时,导体棒处于运动周期的  $t = \left( \frac{1}{4} + k \right) T, k = 1, 2, 3 \dots$ ,即峰值位置,此时  $v = 4$  m/s,电动势为  $E_m = 4$  V,通过电阻  $R$  的瞬时电

流为  $I = \frac{E_m}{R_{\text{外}} + r} \cdot \frac{R_L}{R + R_L} = \frac{2}{3} \text{A}$ , **D** 正确。

## 7. C 必刷知识 ▶ 电磁感应与电学、力学的综合

【深度解析】金属线框由静止开始进入磁场的过程中,金属线框的下边切割磁感线,根据右手定则可判断电流方向向右,根据左手定则可判断安培力方向竖直向上,根据安培力公式有  $F = BIL$ ,根据切割电动势公式有  $E = BLv$ ,根据闭合电路欧姆定律  $I = \frac{E}{R}$ ,解得  $F = \frac{B^2 L^2 v'}{R}$ ,根据牛顿第二定律有  $mg - \frac{B^2 L^2 v'}{R} = ma$ ,可知金属线框做加速度减小的加速运动,速度—

时间图像如图 1,可知  $h_1 > \frac{1}{2}vt_1$ , **A** 错误;金属线框竖直向上进入磁场的过程中,根据上述分析可知金属线框做加速度减小的加速运动,速度—时间图像如图 2,可知  $h_2 < \frac{1}{2}vt_2$ , **B** 错误;

安培力  $F = \frac{B^2 L^2 v'}{R}$ ,下降过程中,由动量定理有  $mg\Delta t - \frac{B^2 L^2 v'}{R}\Delta t = m\Delta v$ ,两边求和有  $\sum mg\Delta t - \sum \frac{B^2 L^2 v'}{R}\Delta t = \sum m\Delta v$ ,

即  $mg t_1 - \frac{B^2 L^2}{R} h_1 = mv$ ,同理,上升过程中有  $mg t_2 + \frac{B^2 L^2}{R} h_2 = mv$ ,

联立解得  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{gt_1 - v}{v - gt_2}$ , **C** 正确, **D** 错误。

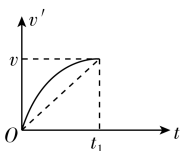


图 1

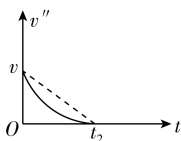


图 2

## 8. C 必刷知识 ▶ 电磁感应与电学、力学综合

【深度解析】导体棒甲刚进入磁场瞬间,感应电流为  $I = \frac{E}{2r} = \frac{Bdv_0}{2r} = \frac{B^3 d^4}{2mr^2}$ ,受到安培力大小为  $F_{\text{安}} = BId = \frac{B^4 d^5}{2mr^2}$ ,由牛顿第二定律有  $F_{\text{安}} = ma$ ,得  $a = \frac{B^4 d^5}{2m^2 r^2}$ , **A** 错误;导体棒甲从开始运动

到刚越过虚线 2 的过程中,产生的平均感应电动势  $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{Bd^2}{\Delta t}$ ,平均感应电流  $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{2r}$ ,又  $q = \bar{I} \cdot \Delta t$ ,联立得  $q = \frac{Bd^2}{2r}$ , **B** 错误;

规定向右为正方向,导体棒甲从开始到运动到虚线 2 的过程中,根据动量定理得  $-BId \cdot \Delta t = mv - mv_0$ ,解得  $v = \frac{B^2 d^3}{2mr}$ , **C** 正确;

根据能量守恒,整个电路中产生的焦耳热  $Q = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = \frac{3B^4 d^6}{8mr^2}$ ,导体棒甲产生的焦耳热  $Q_{\text{甲}} = \frac{Q}{2} = \frac{3B^4 d^6}{16mr^2}$ , **D** 错误。

### 快解

求电荷量可以结论  $q = \frac{N\Delta\Phi}{R+r}$ , 流过导体棒乙某一横截面的

$$\text{电荷量为 } q = \frac{BLd}{2r} = \frac{Bd^2}{2r}。$$

### 9. D 必刷知识 ▶ 电磁感应与电学、力学综合

【深度解析】金属框右边凸出部分  $ACEFDB$  切割磁感线时等效于长度为  $L$  的导体棒切割时产生的感应电动势, 所以整个装置相当于等长双棒问题,  $Q$  在恒力  $F$  作用下向右加速时,  $P$ 、 $Q$  最终以共同加速度一起匀加速运动, 根据  $F = (M+m)a$ , 可得  $a = \frac{F}{M+m}$ , 最终电流恒定,  $P$  的速度始终比  $Q$  小, 磁通量继续变化, **A 错误**; 金属框固定时, 为单棒模型, 根据动量定理  $\bar{F}t = m\Delta v$ , 平均安培力  $\bar{F} = B\bar{I}L = \frac{B^2L^2\bar{v}}{r}$ , 导体棒运动距离  $\Delta x = \bar{v}t$ , 整理得  $-\frac{B^2L^2}{mr} = \frac{\Delta v}{\Delta x}$ , **B 错误**; 若  $P$  棒固定,  $Q$  匀速向右运动时, 框等效于长度为  $L$  的棒切割磁感线, 感应电动势为  $BLv$ , **C 错误**; 给  $P$  一个初速度, 相当于双棒问题, 最终获得共同速度, 系统动量守恒  $mv_0 = (M+m)v$ , 最终回路电流为零, 所以全过程流过  $P$ 、 $Q$  总电荷量均可由框动量定理求得  $BI'Lt = Mv$ , 流过  $P$  的总电荷量为  $q = I't = \frac{Mv}{BL} = \frac{Mmv_0}{(M+m)BL}$ , **D 正确**。

### 技巧必背

对于两导体棒在平直的光滑导轨上运动的情况, 如果两棒所受的外力之和为零, 则考虑应用动量守恒定律处理问题

$$\begin{aligned} 10. (1) & \frac{F}{m} - \frac{3B^2d^2v_1}{4mR} \quad (2) \frac{3}{2}Fd - \frac{9mF^2R^2}{32B^4d^4} \\ (3) & \frac{B^2d^2}{R} \left( \frac{3FR}{4B^2d^2} - \frac{4B^2d^2}{3mR}x \right)^2 \end{aligned}$$

### 必刷知识 ▶ 导轨模型中的电路问题

【深度解析】(1) 当导体棒运动  $\frac{d}{4}$  的距离时, 由几何关系可知导体棒左边金属环对应的圆心角为  $120^\circ$ , 则总电阻为

$$R_{\text{总}} = \frac{2R(R+R)}{2R+(R+R)} = R,$$

$$\text{此时棒的长度 } L_1 = 2 \times \frac{d}{2} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}d,$$

$$\text{电流为 } I_1 = \frac{BL_1v_1}{R_{\text{总}}} = \frac{\sqrt{3}Bdv_1}{2R},$$

$$\text{由牛顿第二定律得 } F - BI_1L_1 = ma, \text{ 解得 } a = \frac{F}{m} - \frac{3B^2d^2v_1}{4mR}。$$

(2) 设导体棒到达  $NQ$  时的速度大小为  $v_2$ , 由动能定理得

$$\frac{3}{2}Fd - W_{\text{安}} = \frac{1}{2}mv_2^2,$$

$$\text{其中安培力为 } F_{\text{安}} = \frac{B^2d^2v_2}{\frac{3}{4}R} = F, \text{ 得 } v_2 = \frac{3FR}{4B^2d^2},$$

$$\text{则 } Q = W_{\text{安}} = \frac{3}{2}Fd - \frac{9mF^2R^2}{32B^4d^4}。$$

(3) 设从  $NQ$  处撤去水平恒力后, 运动位移  $x$  时的速度为  $v$ , 由动量定理得  $mv - mv_2 = -Bd\bar{I}t$ ,

$$\text{根据电荷量的计算公式可得 } \bar{I}t = \frac{4Bdx}{3R},$$

$$\text{产生的热功率 } P_{\text{总}} = \frac{(Bdv)^2}{\frac{3}{4}R} = \frac{4B^2d^2v^2}{3R},$$

$$\text{则定值电阻上的功率为 } P = \frac{3}{4}P_{\text{总}} = \frac{B^2d^2}{R} \left( \frac{3FR}{4B^2d^2} - \frac{4B^2d^2}{3mR}x \right)^2。$$

$$11. (1) 3.62v_0t_0 \quad (2) \frac{v_0 \sqrt{mRt_0}}{R} \quad (3) 2.775mv_0^2$$

**必刷知识** ▶ 电磁感应与电学、力学综合

【深度解析】(1) 由  $v-t$  图像得线框进入磁场前的位移  $s_1 = 0.5v_0t_0$ ,

线框进入磁场过程  $s_2 = v_0t_0$ ,

线框在磁场内匀加速运动  $s_3 = 1.12v_0t_0$ ,

线框穿出磁场和进入磁场位移相等  $s_4 = s_2 = v_0t_0$ ,

所以金属线框由静止开始下落到完全穿过匀强磁场区域的总位移  $s_{\text{总}} = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 = 3.62v_0t_0$ 。

(2) 线框刚进入磁场时做匀速运动  $F_{\text{安}} + f = mg$ ,

$$\frac{B^2l^2v_0}{R} + f = mg,$$

$$l = v_0t_0,$$

线框进入磁场前做匀加速运动  $mg - f = ma = m \frac{v_0}{t_0}$ ,

$$\text{所以 } B = \frac{\sqrt{mRt_0}}{v_0t_0^2},$$

金属线框在进入匀强磁场区域过程中流过其横截面的电荷

$$\text{量 } q = It = \frac{Blv_0}{R}t_0 = \frac{v_0 \sqrt{mRt_0}}{R}。$$

(3) 全过程用动能定理  $(mg - f)s_{\text{总}} - Q = \frac{1}{2}m(1.3v_0)^2 - 0$ ,

解得  $Q = 2.775mv_0^2$ 。

$$12. (1) \frac{B^2l^2v_0}{mR} + kg \quad (2) \frac{1}{2}mv_0^2 - 2kmgd \quad (3) \frac{v_0}{kg} - \frac{2B^2l^2d}{kmgR}$$

**必刷知识** ▶ 线框在磁场中切割磁场线运动 电磁感应与电学、力学综合

【深度解析】(1) 线框刚进入磁场时, 根据牛顿第二定律则有  $BIl + kmg = ma$ ,

$$\text{其中 } I = \frac{Blv_0}{R},$$

$$\text{联立方程解得 } a = \frac{B^2l^2v_0}{mR} + kg。$$

(2) 线框由进入磁场到离开磁场过程中, 由动能定理得

$$-W - kmg \cdot 2d = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2,$$

又  $W=Q$ ,

联立方程解得  $Q=\frac{1}{2}mv_0^2-2kmgd$ 。

(3) 线框由进入磁场到离开磁场过程中, 由动量定理得

$$-B\bar{I}_1 l t_1 - B\bar{I}_2 l t_2 - kmg t = 0 - mv_0,$$

又  $q=\bar{I}t$ ,

$$\text{则 } q=q_1+q_2=\frac{2Bdl}{R},$$

$$\text{联立方程解得 } t=\frac{v_0}{kg}-\frac{2B^2 l^2 d}{kmgR}。$$

### 一题多解

线框由进入磁场到离开磁场过程中, 由动量定理得

$$-\sum \frac{B^2 l^2 v \Delta t_1}{R} - \sum \frac{B^2 l^2 v \Delta t_2}{R} - kmg t = 0 - mv_0,$$

$$\text{则有 } -\frac{B^2 l^2 d}{R} - \frac{B^2 l^2 d}{R} - kmg t = 0 - mv_0,$$

$$\text{解得 } t=\frac{v_0}{kg}-\frac{2B^2 l^2 d}{kmgR}。$$

13. (1) 0.75 (2) 12 N 2 m/s (3) 4.2 J

**必刷知识** ▶ 电磁感应与电学、力学综合应用

【深度解析】(1) 对  $ab$  棒受力分析, 受竖直向下的重力, 垂直于斜面向上的支持力和沿斜面向上的摩擦力作用, 在沿斜面方向上由受力平衡得  $m_1 g \sin \theta - \mu m_1 g \cos \theta = 0$ ,

解得  $\mu = 0.75$ 。

(2) 当  $P$  和  $cd$  的运动达到稳定时,  $P$  和  $cd$  一起做匀速直线运动, 对  $cd$  棒, 设绳中的张力为  $T$ , 由平衡条件得

$$T - F - \mu m_2 g = 0,$$

对  $P$ , 由平衡条件得  $Mg - T = 0$ ,

解得  $F = 12 \text{ N}$ ,

设此时电路中的电流为  $I$ , 则有  $F = BIl$ ,

设  $P$  匀速运动的速度为  $v$ , 由法拉第电磁感应定律和闭合电路欧姆定律得  $Blv = I(R_1 + R_2)$ ,

解得  $v = 2 \text{ m/s}$ 。

### 一题多解

当  $P$  和  $cd$  的运动达到稳定时,  $P$  和  $cd$  一起做匀速直线运动, 对整体则有  $Mg - \mu m_2 g - F_{\text{安}} = 0$ 。

(3) 设  $P$  运动的位移为  $x$ , 对  $cd$  与  $P$  根据动量定理则有

$$Mgt - \mu m_2 gt - B \frac{Blx}{R_1 + R_2} l = (M + m_2)v,$$

根据动能定理则有  $Mgx = \mu m_2 gx + Q + \frac{1}{2}(M + m_2)v^2$ ,

$$cd \text{ 上产生的焦耳热 } Q' = \frac{R_2}{R_1 + R_2} Q,$$

解得  $Q' = 4.2 \text{ J}$ 。