

专题 12 电磁感应

考点 49 楞次定律的应用

1. A 【解析】闭合开关,线圈中有电流通过,周围产生磁场,穿过圆环的磁通量增加,则由楞次定律可知,圆环将向左运动,从绝缘杆的 M 端离开, A 正确;圆环的位置不变,将 P 向左滑动少许,电路中的总电阻减小,闭合开关的瞬间,线圈中电流增大,则圆环所受的安培力增大, B 错误;如果将电源反接,闭合开关后穿过圆环的磁通量仍增加,则由楞次定律可知,圆环仍从绝缘杆的 M 端离开,即圆环仍将向左运动, C 错误;如果将圆环放在线圈的右侧,闭合开关,由以上分析可知圆环将从绝缘杆的 N 端离开, D 错误.

2. A 【解析】根据楞次定律可知,由于条形磁铁的运动,在圆环中产生感应电流,感应电流激发出的磁场对条形磁铁有磁场力的作用,该磁场力的效果总是阻碍条形磁铁的相对运动,即该磁场力的水平分力方向始终向左,根据牛顿第三定律可知,条形磁铁对圆环中感应电流的磁场力的水平分力方向始终向右,圆环静止,则地面对圆环的摩擦力方向始终向左, A 正确.

一题多解

等效法:将圆环等效为条形磁铁.当条形磁铁靠近圆环圆心的正上方时,圆环上方相当于条形磁铁的 S 极;当条形磁铁远离圆环圆心的正上方时,圆环上方相当于条形磁铁的 N 极.结合磁极间“同性相斥,异性相吸”,可得到圆环受到的摩擦力始终向左.

3. A 【解析】磁铁的 N 极接近 A 环时,通过 A 环的磁通量变大,感应电流的磁场 N 极垂直纸面向外阻碍磁通量的变化,从相对运动角度来说两 N 极相互排斥,即“来拒去留”, A 环向后运动,横梁绕支点沿顺时针(俯视)方向转动,知 A 环中产生逆时针方向的感应电流,通过左手定则可判断, A 环上任意一点的安培力方向都指向圆心,即“增缩减扩”,所以 A 环还有收缩的趋势, A 正确, B 错误.根据“来拒去留”原理可知,无论 N 极还是 S 极靠近, A 环都会因为磁通量的增大而受到排斥作用,横梁都会绕支点沿顺时针(俯视)方向转动, C 错误;若用磁铁的 N 极接近 B 环, B 环内的磁通量变大,但由于 B 环是断开的,无法形成电流,不受安培力,所以横梁不会转动, D 错误.

4. D 【解析】在 $0 \sim t_1$ 时间内,线圈 A 中的顺时针电流在减小,电流产生磁场在减弱,故穿过线圈 B 的磁通量方向向里且在减小,则线圈 B 的感应电流的方向为顺时针,两线圈的电流同向,相互吸引,所以线圈 B 有收缩趋势, A 、 B 错误; t_1 时刻,线圈 A 中的电流为零,没有磁场,因此线圈 B 既没有扩张的趋势,也没有收缩的趋势, C 错误; $t_1 \sim t_2$ 时间内,线圈 A 中的逆时针电流在增大,电流产生的磁场在增强,故穿过线圈 B 的磁通量方向向

外,且在增大,则线圈 B 的感应电流方向为顺时针,所以 $0 \sim t_2$ 时间内,线圈 B 中的感应电流方向不变,又由于线圈 A 中的电流变化率不变,则穿过线圈 B 的磁通量变化率不变,因此线圈 B 中的感应电流大小也不变,D 正确.

- 5. BD** 【解析】当导线 ab 匀速向左运动时,导线 ab 产生的感应电动势和感应电流恒定不变,大线圈 M 产生的磁场恒定不变,穿过小线圈 N 的磁通量不变,没有感应电流产生,A 错误;当导线 ab 减速向右运动时,导线 ab 中产生的感应电动势和感应电流减小,由右手定则判断出 ab 中的电流方向为由 a 指向 b ,根据安培定则可知, M 产生的磁场方向垂直于导轨平面向里,且穿过 N 的磁通量减小,由楞次定律和安培定则可知,线圈 N 产生顺时针方向的感应电流,B 正确;当导线 ab 加速向右运动时,导线 ab 中产生的感应电动势和感应电流增加,由右手定则判断出 ab 中的电流方向为由 a 指向 b ,根据安培定则判断可知, M 产生的磁场方向垂直于导轨平面向里,且穿过 N 的磁通量增大,由楞次定律和安培定则可知,线圈 N 产生逆时针方向的感应电流,C 错误;当导线 ab 加速向左运动时,导线 ab 中产生的感应电动势和感应电流增加,由右手定则判断出 ab 中的电流方向为由 b 指向 a ,根据安培定则可知, M 产生的磁场方向垂直于导轨平面向外,且穿过 N 的磁通量增大,由楞次定律和安培定则可知,线圈 N 产生顺时针方向的感应电流,D 正确.

考点 50 法拉第电磁感应定律的直接应用

- 1. B** 【解析】金属棒在运动过程中始终保持水平,结合右手定则可知 a 端电势高于 b 端电势,由于金属棒没有形成闭合回路,故没有感应电流,金属棒不受安培力,只受重力,所以金属棒做平抛运动,水平速度不变,竖直分速度逐渐变大,所以 ab 棒的电动势逐渐增大,故选 B.
- 2. A** 【解析】导体棒 OA 段切割磁感线产生感应电动势,且未构成闭合回路,不产生感应电流,所以由右手定则可知, $\varphi_o > \varphi_A$, AC 段不切割磁感线,故 $\varphi_A = \varphi_C$, A 正确.
- 3. AC** 【解析】转动的圆盘可看成由无数根沿着半径的导体棒组成,每根导体棒均切割磁感线,从而产生感应电动势,产生感应电流,根据右手定则,圆盘上感应电流从圆周边缘流向圆心 O 点,即通过电阻 R 的电流方向为 $b \rightarrow a$,故 A 正确,B 错误;圆盘产生的感应电动势为 $E = BL\bar{v}$,而 $\bar{v} = \frac{1}{2}\omega L$,联立解得 $E = \frac{1}{2}BL^2\omega$,根据欧姆定律可得通过电阻 R 的电流大小为 $I = \frac{E}{R} = \frac{\omega BL^2}{2R}$,故 C 正确,D 错误.
- 4. C** 【解析】当 PQ 边的中点经过边界 MN 的瞬间, OQ 段和 PQ 段的一部分在切割磁感线,切割的有效长度为从 O 到 PQ 中点的距离,即 $L = a \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}a$,产生的电动势为 $E = BL\bar{v} = B \times \frac{\sqrt{3}}{2}a \times$

$$\frac{\sqrt{3}}{2}a\omega = \frac{3}{8}Ba^2\omega, \text{由右手定则可知, } Q \text{ 点的电势比 } O \text{ 点的电势高,}$$

设每条边的电阻为 R , OP 两点间的电势差的绝对值 $|U_{OP}| = IR =$

$$\frac{E}{3}, \text{且 } P \text{ 点的电势比 } O \text{ 点的电势高, 则 } U_{OP} = -\frac{1}{8}Ba^2\omega, \text{C 正确.}$$

- 5. AD** 【解析】导体棒以某一初速度从 ab 位置向右运动距离 x 到达 cd 位置时, 速度为 v , 产生的电动势为 E , 则 $E = BLv$, B 错误, A 正确; 导体棒以某一初速度从 ab 位置运动到 cd 位置的过程中, 产生的平均电动势 $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{BLx}{\Delta t}$, 因为导体棒有电阻, 电阻 R_1 两端的电压是外电压, 则 $q_1 = \bar{I}_1 \Delta t = \frac{\bar{U}}{R_1} \Delta t \neq \frac{\bar{E}}{R_1} \Delta t = \frac{BLx}{R_1}$, C 错误; 因为电阻 R_1 、 R_2 并联, 两端的电压相等, 根据 $q = \bar{I} \Delta t = \frac{\bar{U}}{R} \Delta t$, 则通过电阻 R_1 、 R_2 的电荷量之比为 $\frac{q_1}{q_2} = \frac{R_2}{R_1}$, D 正确.

- 6. B** 【解析】电路中的感应电动势 $E = Blv$ (关键点: 公式 $E = BLv$ 中 L 指有效切割长度), 感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{E}{\frac{l}{\sin \theta}} = \frac{Bv \sin \theta}{r}$, 故 A 错误, B 正确; 金属杆所受安培力大小 $F = BIL = BI \frac{l}{\sin \theta} = \frac{B^2 lv}{r}$, 故 C 错误; 金属杆的发热功率 $P = I^2 R = I^2 \frac{l}{\sin \theta} r = \frac{B^2 l v^2 \sin \theta}{r}$, 故 D 错误.

易错警示 对公式 $E = BLv$ 和 $F = BIL$ 理解不到位而致错

在应用 $E = BLv$ 求解金属杆做切割磁感线运动产生的感应电动势时, 必须是 B 、 L 、 v 两两相互垂直; L 和 v 不垂直时, L 应为导体与 v 垂直方向上的投影长度. 在应用 $F = BIL$ 求解通电直导线所受的安培力时, B 与 L 应相互垂直, L 指的是有效长度. 弯曲通电导线的有效长度 L 等于连接导线两端点的线段的长度, 相应的电流方向沿两端点连线由始端流向末端.

- 7. AD** 【解析】线圈中原磁场先向左减弱后向右增强, 由楞次定律可知, 感应磁场的方向一直向左, 根据线圈环绕方向可知 a 端的电势比 b 端的电势高, 故 A 正确; 在 0 到 t_1 时间内, 通过线圈的磁通量的变化量为 $\Delta\Phi = SB_2 - S(-B_1) = S(B_2 + B_1)$, 故 B 错误; 由法拉第电磁感应定律有 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{nS(B_2 + B_1)}{t_1} = \frac{nSB_2}{t_1 - t_0} = U_{ab}$, 故 C 错误; 若用导线将线圈的 a 、 b 两端连接起来, 通过导线横截面的电荷量 $q = \bar{I} \Delta t = \frac{\bar{E}}{R} \Delta t = \frac{n \Delta\Phi}{R \Delta t} \Delta t = n \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{nS(B_2 + B_1)}{R}$, 故 D 正确.

- 8. AC** 【解析】由磁感应强度 B 的大小随时间 t 的变化关系可知, 穿过金属框的磁通量变大, 由楞次定律可知, 金属框中的感应电流方向为逆时针, 根据法拉第电磁感应定律 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 可得, 金属

框中的感应电动势为 $E = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{L^2}{2} = 0.1 \text{ V}$, 整个金属框的电阻为

$R = \lambda \cdot 4L = 4 \times 10^{-2} \Omega$, 则感应电流为 $I = \frac{E}{R} = 2.5 \text{ A}$, 根据题意, 由

磁感应强度 B 的大小随时间 t 的变化关系可得, $t = 3 \text{ s}$ 时, 磁感应强度为 $B_3 = (0.8 + 0.4 \times 3) \text{ T} = 2.0 \text{ T}$, 由左手定则可知, 金属框受到竖直向上的安培力, 由题图可知, 有效长度为 $L_1 = \sqrt{2}L = 1 \text{ m}$, 则金属框受到的安培力为 $F = B_3 I L_1 = 5 \text{ N}$, 又有 $G = mg = 5 \text{ N}$, 则有 $F = mg$, 则细绳对金属框的拉力为 0, 即力传感器的示数为 0, 故 B 错误, A 正确; 根据题意, 由公式 $q = It$ 可得, $0 \sim 3 \text{ s}$ 内, 通过金属框的电荷量为 $q = 2.5 \times 3 \text{ C} = 7.5 \text{ C}$, 故 D 错误, C 正确.

9. (1) $\frac{B_0 L^2}{4\pi \Delta t}$ $\frac{B_0 L S}{4\pi \rho \Delta t}$ (2) $\frac{B_0^2 L^3 S}{16\pi^2 \rho (\Delta t)^2}$

【解析】(1) 设戒指的半径为 r , 则有 $L = 2\pi r$,

磁感应强度大小在 Δt 时间内从 0 均匀增加到 B_0 , 产生的感应电

动势为 $E = \frac{B_0}{\Delta t} \cdot \pi r^2$, 联立解得 $E = \frac{B_0 L^2}{4\pi \Delta t}$, 戒指的电阻为 $R = \frac{\rho L}{S}$, 则

戒指中的感应电流为 $I = \frac{E}{R} = \frac{B_0 L S}{4\pi \rho \Delta t}$.

(2) 戒指中电流的热功率为 $P = I^2 R = \frac{B_0^2 L^3 S}{16\pi^2 \rho (\Delta t)^2}$.

考点 51 电磁感应中的图像问题

1. D 【解析】由题图乙可知, $0 \sim 1 \text{ s}$ 内, 磁感应强度 B 沿正方向增大, 线圈所包围区域中的 Φ 增大, 由楞次定律可知, 感应电流沿逆时针方向, 为负值; $1 \sim 2 \text{ s}$ 内, 磁通量不变, 无感应电流; $2 \sim 3 \text{ s}$ 内, 磁感应强度 B 的方向垂直于纸面向里且逐渐减小, 则 Φ 减小, 由楞次定律可知, 感应电流沿顺时针方向, 为正值; $3 \sim 4 \text{ s}$ 内, B 的方向垂直于纸面向外且逐渐增大, 则 Φ 增大, 由楞次定律可知, 感应电流沿顺时针方向, 为正值, A、B、C 错误; 由左手定则可知, 在 $0 \sim 1 \text{ s}$ 内, bc 边受到的安培力方向水平向左, 是正值, 根据 $F = BIL$ 和 $I = nS \frac{\Delta B}{\Delta t}$, 可知安培力均匀增加; $1 \sim 2 \text{ s}$ 内无感应电流, bc 边不受安培力; $2 \sim 3 \text{ s}$ 内, 安培力方向水平向右, 是负值且均匀减小; $3 \sim 4 \text{ s}$ 内, 安培力方向水平向左, 是正值且均匀变大, D 正确.

2. BD 【解析】进入磁场前线框做自由落体运动, ab 边进入磁场时, 如果安培力大于重力, 线框做减速运动, 安培力减小, 合力减小, 加速度减小, 有可能在 cd 边进入磁场前安培力已经和重力平衡, 线框做匀速运动; 在 cd 边进入磁场后, 安培力消失, 线框做匀加速运动, 加速度大小为 g , A 错误, B 正确; 进入磁场前线框做自由落体运动, ab 边进入磁场时, 如果安培力小于重力, 线框做加速运动, 但加速度减小, 在 cd 边进入磁场后, 安培力消失, 线框做匀加速运动, 加速度大小为 g , C 错误; 进入磁场前线框做自由落体运动, ab 边进入磁场时, 如果安培力大小恰好等于重力, 线框做匀速运动, 在 cd 边进入磁场后, 安培力消失, 线框做匀加速

运动,加速度大小为 g , D 正确.

3. D 【解析】切割磁感线时,线圈在拉力的作用下由静止开始做匀

加速直线运动,由 $E = Blv$, $I = \frac{E}{R}$, $F_A = BIl$ 知 $F_A = \frac{B^2 l^2 v}{R}$, 由牛顿第二

定律有 $F = ma + \frac{B^2 l^2 v}{R} = ma + \frac{B^2 L^2 \sqrt{2ax}}{R}$, A、B 错误; 线圈中的感应电流

$I = \frac{Blv}{R} = \frac{BL\sqrt{2ax}}{R}$, 产生电流的 $0 \sim L$ 段和 $2L \sim 3L$ 段应为同一曲线的两

段, C 错误; 线圈中的热功率 $P = \frac{U^2}{R} = \frac{(Blv)^2}{R} = \frac{B^2 L^2 \cdot 2ax}{R}$, D 正确.

4. A 【解析】由右手定则可知,刚进入磁场时,感应电流的方向为

逆时针方向,故感应电流为正,设两腰与水平方向的夹角为 θ ,则

有效切割长度为 $l = L + 2x \tan \theta$, 感应电流为 $I = \frac{Blv}{R} = \frac{Bv}{R} (L +$

$2x \tan \theta)$, 即感应电流与位移成线性关系,且随位移的增大而增

大; 右侧底边出磁场后,有效切割长度为 $l' = 2L \tan \theta$, 即感应电流

保持不变; 之后左侧底边进入磁场后,由右手定则可知感应电流

方向为顺时针方向,即感应电流为负,同理可知有效长度增大,

即感应电流增大,故 A 正确.

考点 52 电磁感应与多模块知识的综合应用

1. BD 【解析】因 $B-t$ 图像的斜率不变,则金属线框中感应电动势

不变,感应电流不变,根据 $F = BIL$ 且磁感应强度 B 不断变化,则金

属线框 ab 边受到的安培力大小不断地变化, A 错误; 根据楞次定

律可知,金属线框中的电流始终沿 $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 方向, B 正确;

通过金属线框的电荷量为 $q = \bar{I}t = \frac{\bar{E}}{R}t = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{2 \times 0.2 \times 0.2^2}{0.1} \text{ C} =$

0.16 C , C 错误; 感应电动势 $E = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = \frac{0.2}{0.1} \times 0.2^2 \text{ V} = 0.08 \text{ V}$, 则

金属线框上产生的焦耳热为 $Q = \frac{E^2}{R}t = \frac{0.08^2}{0.1} \times 0.2 \text{ J} = 0.0128 \text{ J}$, D

正确.

2. CD 【解析】由题意可知,通过线框的磁通量减少,根据楞次定律

的“增反减同”可知,线框中的电流为顺时针方向,故 A 错误; 时间

t 内磁通量的变化量大小为 $\Delta\Phi = B \times \left[2 \times \frac{1}{2} \times (L + 2L) \times \frac{\sqrt{3}L}{2} - \frac{1}{2} \times$

$\sqrt{3}L \times \frac{L}{2} \right] = \frac{5\sqrt{3}BL^2}{4}$, 平均感应电动势的大小为 $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{t} = \frac{5\sqrt{3}BL^2}{4t}$,

故 B 错误; 该过程中流过线框任意横截面的电荷量为 $q = \bar{I} \cdot t =$

$\frac{\bar{E}}{R} \cdot t = \frac{5\sqrt{3}BL^2}{4R}$, 故 C 正确; 线框转动的角速度为 $\omega = \frac{\pi}{t} = \frac{\pi}{2t}$, t 时

刻线框中感应电流的大小为 $I = \frac{B \cdot \sqrt{3}L \cdot (0 + \sqrt{3}L)\omega}{2R} = \frac{3\pi BL^2}{4Rt}$, 线

框受到的安培力大小 $F = BI \cdot \sqrt{3}L = \frac{3\sqrt{3}\pi B^2 L^3}{4Rt}$, 故 D 正确.

3. BCD 【解析】 MP 棒进入磁场后切割磁感线产生感应电动势, 回

路产生感应电流,金属棒在磁场中受安培力的作用, MP 做减速运动, NQ 做加速运动,感应电流 $I = \frac{BLv_{MP} - BLv_{NQ}}{R + 2R} = \frac{BL(v_{MP} - v_{NQ})}{3R}$, 由于 MP 的速度减小而 NQ 的速度增大,则感应电流 I 减小, NQ 所受的安培力 BIL 减小,由牛顿第二定律可知, NQ 的加速度减小,则 NQ 做加速度减小的加速运动,故 A 错误; NQ 在离开磁场时的速度最大, MP 、 NQ 组成的系统动量守恒,可得 $mv_0 = mv_1 + 2mv_2$,由题意可得 $v_1 = 2v_2$,解得 NQ 的最大速度为 $v_2 = \frac{v_0}{4}$,故 B 正确;对 NQ ,由动量定理可得 $\bar{B}IL \cdot \Delta t = 2mv_2$,流过 NQ 的电荷量 $q = \bar{I} \cdot \Delta t$,联立解得 $q = \frac{mv_0}{2BL}$,故 C 正确;根据能量守恒定律可得 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_2^2 + Q$,解得系统产生的焦耳热 $Q = \frac{5}{16}mv_0^2$,故 D 正确。

4. AC 【解析】金属棒下落过程只受重力和安培力的作用,由静止开始做加速度减小的运动,当加速度减小到零时,金属棒的速度达到最大,此时重力与安培力大小相等,则有 $F_{\text{安}} = B_0IL = mg$,其中 $I = \frac{B_0Lv_m}{R+R}$,解得 $v_m = \frac{2mgR}{B_0^2L^2}$,A 正确;金属棒运动过程中有安培力做负功,机械能不守恒,B 错误;细绳断裂前,由法拉第电磁感应定律可得,感应电动势的大小为 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot hL = \frac{B_0hL}{t_0}$,由电功率公式,可得电路中的电功率为 $P = \frac{E^2}{R+R} = \frac{B_0^2h^2L^2}{2Rt_0^2}$,C 正确;金属棒向下运动到达到最大速度的过程中,由能量守恒定律可得 $mgd = \frac{1}{2}mv_m^2 + Q$,电路中产生的总热量为 $Q = mgd - \frac{1}{2}mv_m^2 = mgd - \frac{2m^3g^2R^2}{B_0^4L^4}$,D 错误。

5. C 【解析】根据题意,对金属杆分析可知,设金属杆的质量为 m ,电阻为 r ,当金属杆的速度最大时有 $F_{\text{安}} = mg\sin\theta$,由公式 $E = BLv$, $I = \frac{E}{R+r}$ 和 $F_{\text{安}} = BIL$ 可得 $F_{\text{安}} = \frac{B^2L^2v_{\text{max}}}{R+r}$,结合图乙整理可得 $v_{\text{max}} = \frac{mg\sin\theta}{B^2L^2}R + \frac{mg\sin\theta}{B^2L^2}r = kR + v_0$,由上述分析可知 $\frac{mg\sin\theta}{B^2L^2} = k$,可得金属杆的质量为 $m = \frac{kB^2L^2}{g\sin\theta}$,故 A、B 错误;当 $R = R_0$ 时,杆 ab 匀速下滑的速度,即金属杆的最大速度为 $kR_0 + v_0$,故 D 错误,C 正确。

6. (1) $\frac{2mgR}{B^2L^2}$ (2) 见解析

【解析】(1) 若虚线框中是一个电阻,金属棒最后做匀速直线运动,则电路中产生的感应电动势为 $E = BLv_1$,感应电流为 $I = \frac{E}{R+R}$,金属棒受到的安培力为 $F = BIL$,最后金属棒做匀速直线运动,则有 $F = mg$,解得 $v_1 = \frac{2mgR}{B^2L^2}$ 。

(2) 若二极管的右端是正极,左端是负极,二极管在电路中导通,

相当于一段导线,则电路中产生的感应电动势为 $E' = BLv_2$, 感应电流为 $I' = \frac{E'}{R}$, 金属棒受到的安培力为 $F' = BI'L$, 最后金属棒做匀速直线运动, 则有 $F' = mg$, 联立以上四式可求得 $v_2 = \frac{mgR}{B^2L^2}$. 若二极管的左端是正极, 右端是负极, 二极管不能导通, 电路中没有电流, 金属棒不受安培力作用, 一直做匀加速直线运动, 没有最大速度或最大速度为无穷大.

7. (1) $\frac{mv_0}{BL}$ (2) $\frac{3v_0}{4\mu g} - \frac{v_1 + 2v_2}{2\mu g}$ (3) $\frac{mv_2R}{B^2L^2} - \frac{1}{4}mv_2^2$

【解析】(1) 开关闭合的瞬间, 处于磁场中的导体棒 P_1 受到安培力的冲量 $I_{\text{安}} = m_1v_0$, 即 $\sum BI_1L \cdot \Delta t = m_1v_0$, $BqL = m_1v_0$, 可得 $q = \frac{m_1v_0}{BL} = \frac{mv_0}{BL}$.

(2) 在开关通断的瞬间, 导体棒 P_2 受到安培力的冲量 $I'_{\text{安}} = m_2v_{20}$, 即 $\sum BI_2L \cdot \Delta t = m_2v_{20}$, 由于 P_1 、 P_2 并联, 电流 $I_1 : I_2 = 2 : 1$, 可得 $v_{20} = \frac{v_0}{4}$, 导体棒 P_1 从开始运动到通过边界 O_1O_2 时, 由导体棒 P_1 和 P_2 组成的电路, 对导体棒 P_1 , 有 $I_{\text{安}1} = m_1v_0 - m_1v_1$, 导体棒 P_2 , 有 $I_{\text{安}1} - \mu m_2gt = m_2v_2 - m_2v_{20}$, 可得导体棒 P_2 的运动时间 $t = \frac{m_1(v_0 - v_1) - m_2(v_2 - v_{20})}{\mu m_2g}$, 联立求得 $t = \frac{3v_0}{4\mu g} - \frac{v_1 + 2v_2}{2\mu g}$.

(3) 导体棒 P_2 以速度 v_2 冲上平行导轨 EF 、 GH 后, 导体棒 P_2 、 P_3 动量守恒, 有 $2m \cdot v_2 = 4mv$, 设导体棒 P_2 、 P_3 间的速度差为 Δv , 对导体棒 P_2 , 由动量定理有 $\sum \frac{B^2 \cdot 2L\Delta v}{4R} \cdot 2L \cdot \Delta t = 2mv_2 - 2mv$, 即 $\frac{B^2 \cdot 4L^2}{4R} \cdot \Delta x = 2mv_2 - 2mv$, 可得导体棒 P_3 至 EG 初始时的距离至少为 $\Delta x = \frac{mv_2R}{B^2L^2}$, 导体棒 P_2 与 P_3 , 由能量守恒定律得 $2Q = \frac{1}{2} \times 2m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \times 4m \cdot v^2$, 可得 $Q = \frac{1}{4}mv_2^2$.

考点 53 电磁感应的五种模型

1. ABD 【解析】根据左手定则和平衡条件可知, 金属棒 ab 所受的安培力方向沿倾斜轨道向上, 则金属棒 ab 中的电流方向为从 b 到 a , 根据楞次定律可知, B_1 均匀减小, 故 A 正确; 设 B_1 的变化率为 $\frac{\Delta B_1}{\Delta t}$, 螺线管中产生的感应电动势为 $E = n \frac{\Delta B_1}{\Delta t} S$, 回路中总电阻为 $R_{\text{总}} = R + \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = 2R$, 回路中的总电流为 $I = \frac{E}{R_{\text{总}}} = \frac{E}{2R}$, 金属棒受到的安培力大小为 $F = B_2 \cdot \frac{I}{2} \cdot L$, 由平衡条件得 $F = mg \sin \alpha$,

即 $B_2 \cdot \frac{n \frac{\Delta B_1}{\Delta t} S}{4R} \cdot L = mg \sin \alpha$, 解得 $\frac{\Delta B_1}{\Delta t} = \frac{4mg \sin \alpha \cdot R}{nB_2SL}$, 故 B 正确;

断开开关 K 之后, 回路总电阻为 $4R$, 根据牛顿第二定律有 $mg \sin$

$\alpha - \frac{B_2^2 L^2 v}{4R} = ma$, 则金属棒 ab 将做变加速直线运动, 故 C 错误; 断

开开关 K 之后, 金属棒 ab 的速度最大时受力平衡, 有 $B_2 IL =$

$mg \sin \alpha$, $I = \frac{B_2 Lv}{4R}$, 联立解得 $v = \frac{4Rmg \sin \alpha}{B_2^2 L^2}$, 故 D 正确.

2. AC 【解析】通过电阻 R 的电荷量为 $q = \frac{\Delta \Phi}{R_{\text{总}}} = \frac{BLh}{R+r} = \frac{7BLh}{8R}$, A 正

确; 安培力的冲量大小为 $I_{\text{安}} = \bar{B} \bar{I} L t = BLq = \frac{7B^2 L^2 h}{8R}$, B 错误; 金属棒

在磁场中切割磁感线产生感应电流, 使金属棒受到沿导轨向下的安培力, 金属棒的速度越大, 阻碍它运动的安培力也越大, 故金属棒在磁场中做加速度减小的加速运动, 当受力平衡时, 其速

度达到最大值 v_m , 此时由感应电动势 $E = BLv_m$, 感应电流 $I = \frac{E}{R_{\text{总}}}$,

可得 $mg \sin \theta + \frac{B^2 L^2 v_m}{R+r} = 4mg$, 解得 $v_m = \frac{4mgR}{B^2 L^2}$, 由能量守恒定律得

$4mgh = mgh \sin \theta + \frac{1}{2} (4m + m) v_m^2 + Q_{\text{总}}$, 解得 $Q_{\text{总}} = \frac{1}{2} m (7gh -$

$\frac{80m^2 g^2 R^2}{B^4 L^4})$, 则电阻 R 上产生的焦耳热为 $Q = \frac{R}{R+r} Q_{\text{总}} = \frac{1}{2} m \cdot$

$\left(\frac{49}{8} gh - \frac{70m^2 g^2 R^2}{B^4 L^4} \right)$, 根据功能关系可知金属棒克服安培力做的

功为 $W = Q_{\text{总}} = \frac{1}{2} m \left(7gh - \frac{80m^2 g^2 R^2}{B^4 L^4} \right)$, C 正确, D 错误.

3. AD 【解析】金属棒 b 在空中做平抛运动, 水平方向上的速度不变, 根据 $E = BLv$ 可知, 金属棒 b 在空中运动过程中两端的电势差不变, 故 A 正确; 两个棒做平抛运动, 根据平抛运动的规律可知

$0.5h = v_0 t$, $h = \frac{1}{2} g t^2$, 解得 $v_0 = \frac{\sqrt{2gh}}{4}$, 两个金属棒落地点相同, 所

以两个金属棒平抛运动的初速度相同, 两金属棒发生弹性碰撞,

碰撞过程系统动量守恒、机械能守恒, 两棒离开轨道后做平抛运

动的速度相等, b 的质量大于 a 的质量, a 、 b 发生弹性碰撞后 a 反

弹, a 的速度方向向左, 以向右为正方向, 由动量守恒定律得

$mv_a + 5mv_b = -mv_0 + 5mv_0$, $\frac{1}{2} mv_a^2 + \frac{1}{2} \times 5mv_b^2 = \frac{1}{2} m (-v_0)^2 + \frac{1}{2} \times$

$5mv_0^2$, 联立解得 $v_a = \frac{7\sqrt{2gh}}{12}$, $v_b = \frac{\sqrt{2gh}}{12}$, a 、 b 两金属棒在水平轨

道碰撞前的运动过程中系统动量守恒, 以向右为正方向, 由动量

守恒定律得 $mv = mv_a + 5mv_b$, 解得金属棒 a 刚到达水平轨道时的

速度大小 $v = \sqrt{2gh}$, 金属棒 a 在圆弧轨道上下滑过程机械能守

恒, 由机械能守恒定律得 $mgR = \frac{1}{2} mv^2$, 解得圆弧轨道的半径 $R =$

h , 整个运动过程中, 由能量守恒定律得 $mgR = \frac{1}{2} mv_0^2 + \frac{1}{2} \times 5mv_0^2 +$

Q , 解得 $Q = \frac{5mgh}{8}$, 故 B 错误, D 正确; 整个过程取金属棒 b 为研

究对象,根据动量定理有 $B\bar{I}L\Delta t = 5mv_b - 0$, $\bar{I}\Delta t = q$, 解得 $q = \frac{5m\sqrt{2gh}}{12BL}$, 故 C 错误.

4. C 【解析】金属棒 cd 在恒力 F 的作用下由静止开始加速, 此时金属棒 ab 、 cd 的加速度分别为 $a_{ab} = 0$, $a_{cd} = \frac{F}{m}$, 之后回路中出现感应电流, 金属棒 cd 受到的安培力与恒力 F 反向, 金属棒 cd 的加速度减小, 金属棒 ab 在安培力的作用下开始加速, 金属棒 cd 与金属棒 ab 的速度差逐渐增大, 回路中的电动势逐渐增大, 安培力 $F_{安} = \frac{B^2 L^2}{R_{总}}(v_{cd} - v_{ab})$ 逐渐增大, 金属棒 cd 的加速度减小, 金属棒 ab 的加速度增大, 当 $a_{cd} = a_{ab}$ 时, $v_{cd} - v_{ab}$ 不再变化, 回路中的电流不再变化, 安培力不变, 两棒加速度不变, 但是两金属棒的速度仍在增大, 故 C 符合题意, A、B、D 不符合题意.

5. AC 【解析】 a 棒刚开始运动时, 回路电动势 $E_0 = 2B \frac{L}{2} v_0 = BLv_0$, 回路总电阻 $R_{总} = \frac{3R}{2}$, 由 $I_0 = \frac{E_0}{R_{总}}$, $F_b = BI_0 L$, $F_b = ma_b$, 可得 b 棒的加速度大小为 $a_b = \frac{2B^2 L^2 v_0}{3mR}$, 故 A 正确; 分析知, a 棒、 b 棒向右分别做加速度减小的减速和加速运动, 回路电动势 $E = E_a - E_b = 2B \frac{L}{2} v_a - BLv_b = BL(v_a - v_b)$, 当 $v_a = v_b = v$ 后, $E = 0$, 两棒均做匀速运动, 对两棒组成的系统, 合外力 $F_{合} = BIL - 2BI \frac{L}{2} = 0$, 系统动量守恒, 有 $mv_0 = 2mv$, 故经过足够长的时间后, a 棒的速度大小为 $v = \frac{v_0}{2}$, 故 B 错误; 整个过程, 对 b 棒由动量定理有 $BL \sum (I \Delta t) = BLq = m \frac{v_0}{2}$, 可得通过回路的电荷量为 $q = \frac{mv_0}{2BL}$, 故 C 正确; 整个过程, 对系统由能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(m+m) \left(\frac{v_0}{2}\right)^2 + Q$, 解得 $Q = \frac{1}{4}mv_0^2$, 故 b 棒产生的焦耳热为 $Q_b = \frac{R}{R_{总}}Q = \frac{1}{6}mv_0^2$, 故 D 错误.

6. (1) $\frac{B_0 L^2}{t_0}$ (2) $F = \frac{mg}{2t_0} \cdot t$ (3) $\sqrt{gL - \frac{2Q}{3m}}$

【解析】(1) $0 \sim t_0$ 时间内回路的感应电动势为 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = L^2 \frac{\Delta B}{\Delta t}$, 根据题图乙可知 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{B_0}{t_0}$, 解得 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{B_0 L^2}{t_0}$.

(2) 根据题图乙可知 $B = \frac{B_0}{t_0} t (0 \leq t \leq t_0)$, 令 $0 \sim t_0$ 时间内回路的感应电流为 I , 对 M 杆有 $mg = B_0 I \cdot 2L$, 对 N 杆有 $F = BIL$, 解得 $F = \frac{mg}{2t_0} \cdot t$.

(3) 根据上述, t_0 时刻的拉力大小 $F_0 = \frac{1}{2}mg$, t_0 时刻之后, 对 M 杆与重物整体进行分析有 $mg - B_0 I' \cdot 2L = 2ma_1$, t_0 时刻之后, 对

N 杆进行分析有 $F_0 - B_0 I' L = ma_2$, 解得 $a_1 = a_2 = \frac{1}{2}g - \frac{B_0 I' L}{m}$, 可知在 t_0 时刻之后 M 、 N 杆的加速度大小相等, 即 M 、 N 杆的速度在任意时刻大小均相等, 则从 t_0 时刻开始到重物落地的过程中有 $mgL + F_0 L = \frac{1}{2} \times 3mv^2 + Q$, 解得 $v = \sqrt{gL - \frac{2Q}{3m}}$.

7. AD 【解析】由题意, 根据导体框进出磁场的过程中运动的对称性可知, ab 边刚好进入磁场和刚好离开磁场时的速度大小均为 $v_1 = \sqrt{2gh}$, 设两虚线之间的距离为 H , 导体框全部位于磁场中时下落的加速度大小为 g , 根据运动学公式有 $2g(H-h) = v_1^2 - v^2$, 解得 $H = \frac{7}{4}h$, 故 A 正确; 设导体框穿过磁场的过程中产生的焦耳热为 Q , 对导体框从开始下落到穿过磁场的过程, 根据能量守恒定律有 $mg(h+H+h) = \frac{1}{2}mv^2 + Q$, 解得 $Q = \frac{7}{2}mgh$, 故 B 错误; 导体框的 ab 边与虚线 1 重合时的速度大小为 $v_1 = \sqrt{2gh}$, 此时 ab 边产生的感应电动势大小为 $E = Bhv_1$, 导体框中的感应电流为 $I = \frac{E}{r}$, ab 边所受的安培力大小为 $F = BIlh$, 导体框的 ab 边与虚线 1 重合时克服安培力做功的功率为 $P = Fv_1$, 整理得 $P = \frac{2B^2 h^3 g}{r}$, 故 C 错误; 设导体框通过磁场上边界所用时间为 t , 线框中的平均感应电流为 \bar{I} , 则由动量定理可得 $mgt - B\bar{I}ht = mv - mv_1$, 根据电流的定义可知 t 时间内通过导体框某一截面的电荷量为 $q = \bar{I}t$, 根据法拉第电磁感应定律、闭合电路欧姆定律综合分析可知 $q = \frac{\bar{E}}{r}t = \frac{Bh^2}{r}$, 联立解得 $t = \frac{B^2 h^3}{mgr} - \sqrt{\frac{h}{2g}}$, 故 D 正确.

8. (1) $\frac{\sqrt{PR}}{BL}$ (2) 导体框做加速度减小的减速运动, 最后可能做匀速运动 (3) $\frac{B^2 L^2 W}{kR}$

【解析】(1) 导体框的 MN 边在磁场中运动时, 回路中的电流 $I_0 = \frac{E_0}{R} = \frac{BLv_0}{R}$, 导体框进入磁场内做匀速运动, 由平衡条件得 $F = BI_0 L$, 外力 F 的功率 $P = Fv_0$, 解得 $v_0 = \frac{\sqrt{PR}}{BL}$.

(2) 导体框的 PQ 边进入磁场后, 导体框受水平向右的外力 F 、向左的安培力 F_A 、向左的外力 F' 作用, 此时导体框的合力方向向左, 导体框做减速运动. 取向左为正方向, 根据牛顿第二定律可得加速度大小 $a = \frac{F_A + F' - F}{m} = \frac{B^2 L^2 + kR}{mR}v - \frac{P}{mv}$, 随着速度 v 减小, 加速度也减小, 故导体框的 PQ 边在磁场内的过程中, 导体框做加速度减小的减速运动, 最后可能做匀速运动.

(3) 导体框的速度为 v 时, 安培力 $F_A = BIL = \frac{B^2 L^2 v}{R}$, 与速度 v 成正

比,又因为 $F' = kv$,与速度 v 成正比,故必有 $\frac{W}{W_A} = \frac{F'}{F_A} = \frac{kR}{B^2 L^2}$,由功能关系可知,导体框中产生的焦耳热 $Q = W_A = \frac{B^2 L^2 W}{kR}$.

9. ACD 【解析】当杆 ab 刚具有初速度 v_0 时,其切割磁感线产生

的感应电动势 $E = Blv_0$,杆 ab 两端的电压 $U = \frac{ER}{R+r} = \frac{Blv_0 R}{R+r}$,根据右

手定则可知,感应电流的方向为从 b 到 a ,杆 ab 相当于电源, a 相当于电源的正极,则 a 点电势高于 b 点电势,A 正确;通过电阻 R

的电流 $I = \frac{Blv}{R+r}$,根据左手定则可知杆 ab 在向右运动的过程中,受

到向左的安培力,杆 ab 速度 v 减小,则电流减小,安培力减小,所以杆 ab 做加速度逐渐减小的减速运动,速度 v 随时间 t 的变化率的绝对值逐渐减小,则通过电阻 R 的电流 I 随时间 t 的变化率的绝对值逐渐减小,B 错误;当杆 ab 以初速度 v_0 开始切割磁感线时,电路开始给电容器充电,有电流通过杆 ab ,杆在安培力的

作用下做减速运动,随着速度的减小,安培力减小,加速度也减小,即做加速度减小的减速运动,当电容器两端的电压与感应电动势相等时,充电结束,杆 ab 以恒定的速度做匀速直线运动,电容器两端的电压 $U = Blv$,而 $q = CU$,对杆 ab ,根据动量定理得 $-B$

$\bar{I}l \cdot \Delta t = -Blq = mv - mv_0$,联立可得 $v = \frac{mv_0}{m+B^2 l^2 C}$,C 正确;杆 ab 稳定

后,电容器不再充电,回路中没有电流,根据右手定则可知, a 点电势高于 b 点电势,D 正确.

10. D 【解析】开关 S 先接 1,使电容器完全充电后,其电压等于电

源电动势,其电荷量为 $Q = CE = 70 \text{ C}$,故 A 错误;开关 S 接 2 后,金属棒 ab 加速运动的过程中,电容器因放电其两端的电压逐渐减小,金属棒 ab 的动生电动势逐渐增大,则两者的电压之差逐渐减小,则流过金属棒 ab 的电流逐渐减小,所受的安培力逐渐减小,由牛顿第二定律可知,加速度逐渐减小,故 B 错误;当金属棒 ab 刚开始运动时,电容器与金属棒 ab 的电压之差最大,则电流

最大,安培力最大,加速度最大且为 $a = \frac{BIL}{m} = \frac{BEL}{mR} = 7 \text{ m/s}^2$,故 C

错误;金属棒 ab 达到最大速度时,加速度为零,有 $U = BLv_m$,对金属棒 ab 运动的全过程,由动量定理有 $B\bar{I}l \cdot \Delta t = mv_m - 0$,而电容

器放电的电荷量为 $q = \bar{I} \cdot \Delta t = C(E - U)$,联立解得 $v_m = \frac{BLCE}{m+B^2 L^2 C} =$

14 m/s ,故 D 正确.