

如何解决电磁学问题

冯光严¹ 胡利娟²

(1 陕西省宁强县天津高级中学 陕西汉中 724400

2 陕西省宁强县高寨子初级中学 陕西汉中 724400)

带电粒子在电场、磁场、复合场中的运动与控制及导体棒在磁场中运动相关的电磁感应问题是近几年高考命题的热点,也是难点,题型有选择题和计算题,试题难度多为中等或偏上,有的甚至是整套试题的压轴大题。由于试题的难度不同,物理过程的复杂程度不同,对问题的分析过程也有所不同,但最多涉及以下五个方面的分析:

1. 场的分析——身在何处(什么场,场的性质、方向、边界)
2. 力的分析——是何原因(各种场力的特点分析:大小、方向)
3. 路的分析——怎么运动(两类:电路和路径,画等效的电路,分析粒子的运动轨迹,寻找几何关系)
4. 能的分析——如何转化(哪种形式的能减少了,哪种形式的能增加了,转化的原因是什么?变化量是多大?)
5. 动量分析——是否守恒(是否满足动量守恒定律,能否应用动量定理解决)

下面通过一个例题研究电磁学问题

例1 如图所示,足够长的水平轨道左侧 $b_1b_2 \sim c_1c_2$ 部分轨道间距为 $2L$,右侧 $c_1c_2 \sim d_1d_2$ 部分的轨道间距为 L ,曲线轨道与水平轨道相切于 b_1b_2 ,所有轨道均光滑且电阻不计。在水平轨道内有斜向下与竖直方向成 $\theta = 37^\circ$ 的匀强磁场,磁感应强度大小为 $B = 0.1 \text{ T}$ 。质量为 $M = 0.2 \text{ kg}$ 的金属棒 B 垂直于导轨静止放置在右侧窄轨道上,质量为 $m = 0.1 \text{ kg}$ 的金属棒 A 自曲线轨道上 a_1a_2 处由静止释放,两金属棒在运动过程中始终相互平行且与导轨保持良好接触,A 棒总在宽轨上运动,B 棒总在窄轨上运动。已知:两金属棒接入电路的有效电阻均为 $R = 0.2 \ \Omega$, $h = 0.2 \text{ m}$, $L = 0.2 \text{ m}$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$, $g = 10 \text{ m/s}^2$,求:

- (1)金属棒 A 滑到 b_1b_2 处时的速度大小;
- (2)金属棒 B 匀速运动的速度大小;
- (3)在两棒整个的运动过程中,通过金属棒 A 某截面的电荷量;
- (4)在两棒整个的运动过程中,金属棒 A、B 在水平导轨间扫过的面积之差。

[解题指导]

(一)场的分析——身在何处

由 $a_1a_2 \rightarrow b_1b_2$ 的区域没有磁场,由 $b_1b_2 \rightarrow d_1d_2$ 整个区域有斜向下的匀强磁场 B , $B = 0.1 \text{ T}$ 。

(二)力的分析——是何原因

(1)金属棒 A 由 $a_1a_2 \rightarrow b_1b_2$ 的过程受重力和弹力作用,进入 b_1b_2 右侧区域后受安培力作用,向右减速运动。

(2)当金属棒 A 进入 b_1b_2 右侧区域后,金属棒 B 受到斜向右上方的安培力作用,向右做加速运动。

(三)路的分析——怎么运动

金属棒 A 进入 b_1b_2 右侧区域之前的过程中没有感应电动势产生,进入 b_1b_2 右侧区域后,金属棒 A 切割磁感线,产生电动势,金属棒 B 因受安培力作用向右加速,也切割磁感线,产生电动势,但二者电动势方向相反,当两电动势大小相等时,回路中电流为零,两金属棒均做匀速直线运动。

(四)能的分析——如何转化

金属棒 A 由 $a_1a_2 \rightarrow b_1b_2$ 的过程中只有重力做功,机械能守恒,因此有: $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$ 。

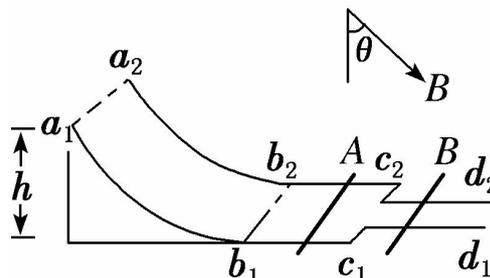
(五)动量分析——是否守恒

(1)金属棒 A 进入 b_1b_2 右侧后,因回路中电流大小相等,金属棒

A 的有效长度为 $2L$,金属棒 B 的有效长度为 L ,故两金属棒所受安培力在水平方向的分力并不满足等大反向,故两金属棒组成的系统动量不守恒。

(2)由动量定理可知,因金属棒 A 的安培力在水平方向的分力始终为金属棒 B 在水平方向的分力的 2 倍,因此,金属棒 A 动量的减少量是金属棒 B 的增加量的 2 倍。

(3)对金属棒 B 的运动过程应用动量定理:



$$\sum (BiL \cos \theta \cdot \Delta t) = Mv_B - 0$$

而 $q = \sum i \Delta t$, 可求出感应电荷量。

[解析] (1)A 棒在曲线轨道上下滑,由机械能守恒定律得:

$$mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $v_0 = 2 \text{ m/s}$ 。

(2)选取水平向右为正方向,对 A、B 利用动量定理可得:

$$\text{对 B: } F_{B安} \cos \theta \cdot t = Mv_B$$

$$\text{对 A: } -F_{A安} \cos \theta \cdot t = mv_A - mv_0$$

其中 $F_{A安} = 2F_{B安}$

$$\text{由上知: } mv_0 - mv_A = 2Mv_B$$

两棒最后匀速时,电路中无电流,此时回路总电动势为零,必有 $2BLv_A - BLv_B = 0$

$$\text{解得 } v_B = 2v_A$$

$$\text{联立解得 } v_B = \frac{4}{9} \text{ m/s} \approx 0.44 \text{ m/s}。$$

(3)在 B 加速过程中: $\sum (B \cos \theta) i L \Delta t = Mv_B - 0$

$$q = \sum i \Delta t$$

$$\text{解得 } q = \frac{50}{9} \text{ C} \approx 5.56 \text{ C}。$$

(4)根据法拉第电磁感应定律有: $\overline{E} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

其中磁通量变化量: $\Delta \Phi = B \Delta S \cos \theta$

$$\text{电路中的电流: } \overline{I} = \frac{\overline{E}}{2R}$$

$$\text{通过截面的电荷量: } q = \overline{I} \Delta t$$

$$\text{解得 } \Delta S = \frac{250}{9} \text{ m}^2 \approx 27.8 \text{ m}^2。$$

[答案] (1)2 m/s (2)0.44 m/s (3)5.56 C (4)27.8 m²

总之,大家考试过程中,遇到电磁学题目之后,不要慌张,从以上五方面谨慎求解,一定能得出正确结果,考出理想的成绩。