

巧用 $I = \Delta q / \Delta t$ 解决与电容器有关的新颖题

◆ 王诗峰

求电流强度的问题,最常用的方法是欧姆定律,但最近几年与电流强度定义式相关的问题也经常遇到,如果在相关电路中再加上电容器,这种题目就增加了难度,以下举出几例来加以说明.

例1 如图1所示,电源电动势 $E_0 = 8\text{ V}$, 内阻 $R_0 = 4\ \Omega$, 电阻 $R_1 = R_2 = 4\ \Omega$, AB 是一根长 $L = 1\text{ m}$, 电阻值 $R = 10\ \Omega$ 的电阻丝, 电容 $C = 10\ \mu\text{F}$, 滑动变阻器滑片处于 A 端, 试求: (1) 开关 S 闭合后通过电阻 R_1 的电流. (2)

若滑片 P 以 4 m/s 的速率从 A 端向 B 端匀速滑动时, 电流表 A 的示数为多大?

分析与解 许多同学拿到题目后, 认为电流表与电容器串联, 而电容器在电路中相当于断路, 所以不可能有电流流过电流表, 第

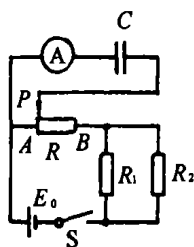


图1

(2) 问的答案应为 0. 事实上, 当滑动片 P 向右移动时, 电容器与滑动变阻器 AP 部分电阻并联, 电压不断变大, 电容器上电量增多, 对电容器来讲, 是一个充电的过程, 当然要有电流流过电流表, 其读数不可能为 0.

(1) 开关 S 闭合, 电路稳定后, 电路构成是 R_1 、 R_2 并联后, 再与 R 串联接在电源上. 流过电路的总电流 $I = E / (R_{\text{外}} + r) = 8 / 16 = 0.5\text{ A}$, 所以流过 R_1 的电流为总电流的 $1/2$, 可得 $I_1 = 0.25\text{ A}$.

(2) 电流表的电流就是电容器的充电电流, 由于滑动片 P 是匀速向右滑动的, 所以电容器上的电压是均匀变化的, 电量也是均匀增加的. 在一定的时间内电容器上的电量变化确定, 所以流过电流表的电流 $I = \Delta q / \Delta t = C \Delta U / \Delta t$. 滑动片从 A 到 B , 所用时间 $\Delta t = L / v = 0.25\text{ s}$, $\Delta U = U_{AB} = 5\text{ V}$. 得 $I = 2 \times 10^{-4}\text{ A}$.

◀ 力约为多少? ($g = 10\text{ m/s}^2$)

解析 设人从 P 处由静止下落距离为橡皮绳长 $l = 15\text{ m}$ 时所用的时间为 t_1 , 根据自由落体运动规律可得: t_1

$$= \sqrt{\frac{2l}{g}} = \sqrt{3}\text{ (s)}.$$

橡皮绳对人有力的作用至运动停止的瞬间所用的时间为 t_2 , 则

$$t_2 = t - t_1 = (4 - \sqrt{3})\text{ s}.$$

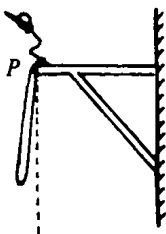


图2

由上述结果有: $\frac{F}{mg} = \frac{t_1 + t_2}{t_2} = \frac{t}{t_2}$,

$$\therefore F = mgt/t_2.$$

代入数据: $F = \frac{4}{4 - \sqrt{3}} \times 50 \times 10 \approx 882\text{ (N)}$.

当然, 利用这一结果来处理计算题时不能很好地显示出解题的思维过程, 但在检验计算题结果的正误或处理选择题和填空题时不失为一个很好的捷径.

【作者单位: (464100) 河南省信阳市第二中学】

例2 如图2所示,两根竖直放置在绝缘地面上的金属框架,框架的上端接有一电容为 C 的电容器,框架上有一质量为 m , 长度为 L 的金属棒平行于地面放置,与框架接触良好无摩擦,离地面的高度为 h ,磁感应强度为 B 的匀强磁场与框架平面相垂直,开始时电容器不带电,自静止起将棒释放,求棒落到地面的时间.(不计各处电阻).

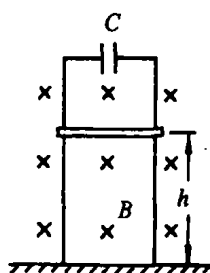


图2

分析与解 如果上面的电容器换成一个固定电阻,这就是一个常见模型,金属棒将向下做变加速运动,加速度越来越小,速度越来越大,最后达到匀速运动,匀速运动时棒受平衡力的作用,棒的重力等于棒所受向上的安培力.

现在将电阻换成电容器,电路与原来相比是断开的,金属棒是不是只受重力作用、以加速度 g 加速下滑呢?事实上,当金属棒下滑时,导体棒切割磁感线,将在两端产生电势差,电容器将被充电.在充电的过程中,将有充电电流从金属棒中流过,金属棒中除重力外,还要有由充电电流造成的安培力.这个力是恒力还是变力呢?它被电流的大小决定着.

充电电流

$$I = \Delta q / \Delta t = C \Delta U / \Delta t = CBL \Delta v / \Delta t = CBL a.$$

由导线切割磁感线,安培力方向判定的规律可知:安培力方向向上,大小

$$F = BIL = CB^2 L^2 a.$$

取金属棒为研究对象:

$$mg - F = ma,$$

把 F 代入,求得

$$a = mg / (m + CB^2 L^2).$$

可见,金属棒向下做的是初速度为零的匀加速直线运动.

落地时间

$$t = \sqrt{2h/a} = \sqrt{2h(m + CB^2 L^2) / mg}.$$

扩展 如果将例2中的整个系统都放在一个倾角为 θ 的光滑斜面上,题目的解题思路不变,只是把受力分析中的重力 mg 变成 $mg \sin \theta$ 便可.

例3 光滑U型框架宽度为 L ,足够长,其上放一质量为 m 的金属棒 ab ,左端连接有一个电容器和电键,当 S 断开时,给棒一个初速 v_0 ,使棒始终垂直框架.闭合电键 S 后,最终金属棒沿框架以速度 v 作匀速运动,且 $v < v_0$,如图3所示,求电容器的电容.

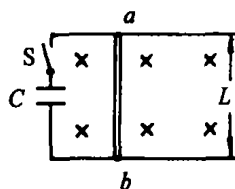


图3

分析与解 当电键闭合后,由于 ab 棒切割磁感线产生的电动势将对电容器充电,电路中产生充电电流,电流在磁场中又会受到安培力的作用.棒速度的减小就是安培力作用的结果.

对棒利用动量定理:

$$BI_{\text{平均}} L \Delta t = mv_0 - mv,$$

$$\text{而 } I_{\text{平均}} = \Delta q / \Delta t = C \Delta U / \Delta t = CBLv / \Delta t,$$

$$\text{所以 } C = m(v_0 - v) / B^2 L^2 v.$$

从以上几道例题可以看出,由于电路中加入了电容器,电容充、放电将在相应电路中产生瞬间电流,只要利用电流强度的定义式便可顺利解决这类问题.

【作者单位:(214187)江苏省无锡市洛社高级中学】