

关于动生电动势和感生电动势的讨论

罗志娟 段永法 谢艳丁 何燕

(空军预警学院 湖北 武汉 430019)

(收稿日期:2016-06-20)

摘要:通过两道例题对动生电动势的概念,以及对电磁感应定律、动生电动势和感生电动势的等效性进行了讨论.

关键词:动生电动势 感生电动势 法拉第感应定律

在物理学^[1]中,动生电动势和感生电动势是电磁感应的重要基础,其中动生电动势与感生电动势的相对性被广泛的研究^[2],动生电动势与感生电动势与电磁感应定律的等效性也被大量的研究^[3],然而下列几个问题易使初学者模糊、混淆和困惑,例如动生电动势中 $d\mathbf{l}$ 的方向是怎么选取,对电动势的计算是否有影响,由计算的结果判断电动势电势的高低与静电场中电势高低的判断方法为什么不一致,电磁感应、动生电动势和感生电动势的等效关系,针对这些问题,本文作出以下几点讨论.

1 动生电动势的概念

对于动生电动势 $d\mathbf{l}$ 方向的选取和电势高低的判断以一道例题为例进行讲解.

【例1】如图1所示,一长导线通以稳恒电流 I ,导体棒 AB 长为 l ,以匀速 v 沿垂直于导线方向向右离开,此时导体棒 AB 处的磁场为 \mathbf{B} ,则导体棒 AB 上产生的动生电动势为

$$\begin{aligned} \epsilon_{AB} &= \int_A^B (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} = \\ & \int_A^B vB \sin 90^\circ \cos 180^\circ dl = -Blv \quad (1) \end{aligned}$$

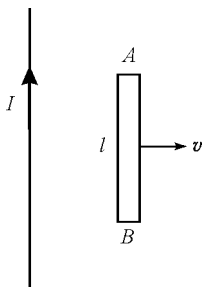


图1 长直载流导线与导体棒

其中,负值表示电动势的指向与 $d\mathbf{l}$ 的方向相反,即由 B 指 A , A 点电势高.

$$\begin{aligned} \epsilon_{BA} &= \int_B^A (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} = \\ & \int_B^A vB \sin 90^\circ \cos 0^\circ dl = Blv \quad (2) \end{aligned}$$

正值表示电动势的指向与 $d\mathbf{l}$ 的方向相反相同,也是由 B 指 A , A 点电势高.

由上面的分析可知 $d\mathbf{l}$ 的方向是可以任意选取,对动生电动势没有影响,并且动生电动势的方向是唯一的,由 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ 的方向确定, $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ 在导体棒上的分矢量指向电势高的一端.

在式(2)中 $\epsilon_{BA} > 0$,但是 A 点电势比 B 点电势高,而静电场中若 $U_{BA} = U_B - U_A > 0$,则 B 点电势比 A 电势高,这与前面结论恰好相反,这是因为在电源中非静电场强是从负极指向正极,即从低电势指向高电势,在磁场中运动的导体棒等效于电源,而在静电场中的场强指向低电势,所以前面的结论恰好相反,这点值得注意.

2 电磁感应定律 动生电动势和感生电动势解法的等效性

在电磁感应教学中我们谈到电磁感应定律的两种等效表达方式,特别是等效成感生电动势对初学者很难接受,同样以一道例题为例进行讲解.

【例2】如图2所示,一长导线通以稳恒电流 I ,线圈 AB 长为 a , BC 边长为 b ,开始时 AB 边与导线重合,以匀速 v 沿垂直于导线方向向右离开,求线圈 AB 边距导线为 d 时线圈中的感应电动势.

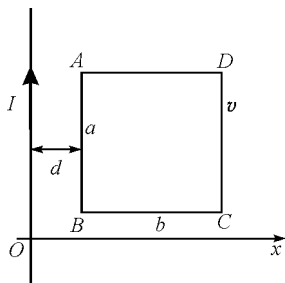


图2 长直载流导线与矩形线圈

(1) 利用法拉第电磁感应定律

$$\Phi = \int_x^{x+b} \frac{\mu_0 I}{2\pi x} a dx = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \ln \frac{x+b}{x}$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Phi}{dx} \frac{dx}{dt} =$$

$$-\frac{\mu_0 I a}{2\pi} \frac{x}{x+b} \left(-\frac{b}{x^2}\right) v = \frac{\mu_0 I a b v}{2\pi x(x+b)}$$

当 $x = d$ 时

$$\varepsilon = \frac{\mu_0 I a b v}{2\pi d(d+b)} \quad (3)$$

(2) 利用 AB, CD 边在磁场中运动时产生动生电动势有

$$\varepsilon_{BA} = \int (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} = \frac{\mu_0 I a v}{2\pi d}$$

方向由 B 指向 A

$$\varepsilon_{CD} = \int (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} = \frac{\mu_0 I a v}{2\pi(d+b)}$$

方向由 C 指向 D

$$\varepsilon_{BA} = \varepsilon_{CD} = \int (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} = 0$$

所以总的感应电动势为

$$\varepsilon = \varepsilon_{BA} - \varepsilon_{CD} =$$

$$\frac{\mu_0 I a v}{2\pi d} - \frac{\mu_0 I a v}{2\pi(d+b)} = \frac{\mu_0 I a b v}{2\pi d(d+b)} \quad (4)$$

(3) 在整个运动过程中线圈的面积不变,线圈上同一位置在运动过程中磁感应强度 \mathbf{B} 发生变化,即产生感生电动势

$$\varepsilon = \oint \mathbf{E}_k \cdot d\mathbf{l} = -\int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} =$$

$$-\int_x^{x+b} \frac{\partial B}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} a dx =$$

$$-\int_x^{x+b} -\frac{\mu_0 I}{2\pi x^2} a v dx = \frac{\mu_0 I v a b}{2\pi x(x+b)}$$

当 $x = d$ 时

$$\varepsilon = \frac{\mu_0 I a b v}{2\pi d(d+b)} \quad (5)$$

由上面可知式(3)、(4)和式(5)完全一样,即电磁感应定律对感应电动势的两种表示形式是等效的,特别是第3种情况感生电动势的理解,容易被初学者忽略。

3 结束语

动生电动势的计算时 $d\mathbf{l}$ 的方向是可以任意选取,不过电动势的方向由 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ 唯一确定,但是电动势的高低与静电场中的电势的高低的判断结果恰好相反,思考的角度不同,动生电动势和感生电动势可以互化,并与法拉第电磁感应定律是等效的。

参考文献

- 1 马文蔚. 物理学(第6版). 北京:高等教育出版社,2014
- 2 何红雨. 试析动生电动势与感生电动势的相对性. 广西师范大学学报,2000(52):159~160
- 3 陈继胜. 动生电动势公式与法拉第电磁感应定律关系的讨论. 荆州师专学报,1998(5):45~46

Discussion on the Motional Electromotive Force and Induced Electromotive Force

Luo Zhijuan Duan Yongfa Xie Yanding He ran

(Department of the Basics, Air Force Early Warning Academic, Wuhan, Hubei 430019)

Abstract: The concept of motional electromotive force, and the equivalence between motional electromotive force and induced electromotive force with the law of induction are discussed through two examples.

Key words: motional electromotive force; induced electromotive force; faraday's law of induction