

动生电动势的相对性^{*}

孙国耀

(中山大学物理学系, 广东 广州510275)

摘要: 感应电动势分为动生电动势和感生电动势只具有相对的意义。由于运动的相对性以及电场和磁场的相对性, 运动的导体棒, 在一惯性参照系具有动生电动势, 在另一惯性参照系, 不仅有动生电动势还有感生电动势。

关键词: 相对性; 动生电动势; 感生电动势

中图分类号: O441.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) S1-0166-02

在电磁学教学中, 为了讨论感应电动势的物理实质, 把电动势区分为动生电动势和感生电动势。动生电动势的非静电力是洛伦兹力, 感生电动势的非静电力是涡旋电场。在普通物理中, 由于不讨论电磁场的变换, 对这一问题很少进行深入的讨论。本文以导体棒在均匀磁场中的运动, 讨论了动生电动势的相对性, 并分析了原因^[1, 2]。

在与地面静止的惯性参照系 s 系, 导体棒长为 l , 以速度 v 沿 x 轴正方向作匀速直线运动, 即 $V = vj$ 。磁感应强度为 B 均匀磁场垂直于 zox 平面, 方向沿 y 轴正方向 (如图1所示), 即 $B = Bj$ 。在 s 系, 磁场是恒定不变的, 导体棒以速度 v 切割磁力线, 这是典型的动生电动势。

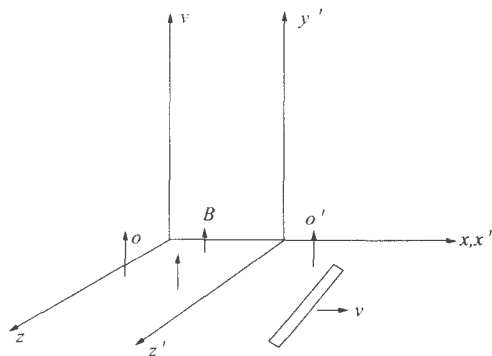


图1 导体棒在磁场中的运动

动生电动势

$$\epsilon_{\text{动}} = \oint_l \mathbf{v} \times \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \oint_l v \mathbf{i} \times B \mathbf{j} \cdot d\mathbf{l} \mathbf{k} = vBl$$

另一惯性参照系 s' 系, 相对于 s 系以速度 u 沿 x 轴正方向运动。导体棒相对 s' 系以 v' 运动。 v'

由狭义相对论的速度变换得

$$v' = \frac{v - u}{1 - \frac{vu}{c^2}} \mathbf{i}$$

式中 c 是光速。

在 s 系中只有磁场, 没有电场, 即

$$E_x = 0, B_x = 0$$

$$E_y = 0, B_y = B$$

$$E_z = 0, B_z = 0$$

由电磁场的变换公式

$$E'_x = E_x = 0, B'_x = B_x = 0$$

$$E'_y = \gamma(E_y - uB_z) = 0,$$

$$B'_y = \gamma\left(B_y + \frac{u}{c^2}E_z\right) = \gamma B$$

$$E'_z = \gamma(E_z + uB_y) = \gamma uB,$$

$$B'_z = \gamma\left(B_z + \frac{u}{c^2}E_y\right) = 0$$

$$\text{式中 } \gamma = \left[1 - \frac{u^2}{c^2}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

在 s' 系, 不单存在电场, 还存在磁场。因此, 在 s' 系看, 导体棒不单存在动生电动势, 还存在感生电动势。

s' 系中的动生电动势

$$\epsilon'_{\text{动}} = \oint_l \mathbf{v}' \times \mathbf{B}' \cdot d\mathbf{l}' = \oint_l \frac{v - u}{1 - \frac{vu}{c^2}} \mathbf{i} \times$$

$$\left\{ B'_x \mathbf{i} + B'_y \mathbf{j} + B'_z \mathbf{k} \right\} \cdot$$

$$\left\{ d'_x \mathbf{i} + d'_y \mathbf{j} + d'_z \mathbf{k} \right\} =$$

$$\frac{v - u}{1 - \frac{vu}{c^2}} \gamma B l$$

* 收稿日期: 2005-03-02

作者简介: 孙国耀 (1949年生), 男, 副教授; E-mail: mnsly@zsu.edu.cn

相对于 s' 系，导体棒中还有感生电动势按叠加原理，总的电动势

$$\begin{aligned}\epsilon'_{\text{感}} &= \oint_l \boldsymbol{E}' \cdot d\boldsymbol{l} = \gamma u B l \\ \epsilon' &= \epsilon'_{\text{动}} + \epsilon'_{\text{感}} = \frac{v-u}{1-\frac{vu}{c^2}} \gamma B l + \gamma u B l = \\ B l v \gamma \frac{1-\frac{u^2}{c^2}}{1-\frac{vu}{c^2}} &= \frac{\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}}{1-\frac{uv}{c^2}} \times \\ B v l &= \frac{\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}}{1-\frac{uv}{c^2}} \epsilon_{\text{动}}\end{aligned}$$

当 $u \ll v$ ， $\epsilon' \approx B v l = \epsilon_{\text{动}}$ 。

我们看到，在不同的惯性参照系 s 系和 s' 系，

同一导体棒的感应电动势是不同的。只有两惯性参照系的相对速度 $u \ll v$ ，二者才近似相等。对 s 系，导体棒仅有动生电动势，但在 s' 系不仅有动生电动势，还观测到感生电动势。动生电动势和感生电动势是相对的，原因是对运动的描述是相对的。在 s 系，导体棒以速度 v 运动；在 s' 系，导体棒以速度 v' 运动。此外，在 s 系，只有磁场；在 s' 系，不仅有磁场，还有电场。这是因为电磁场是统一的整体，把电磁场区分为电场和磁场只具有相对的意义。

参考文献:

[1] 贾起民, 郑永令. 电磁学[M] . 上海: 复旦大学出版社, 1987.
[2] 赵凯华. 电磁学[M] . (第 2 版). 北京: 高等教育出版社, 1985.

The Relativity of Motional Electromotive Force

SUN Guo-yao

(Department of Physics, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Induced electromotive force can be classified into motional electromotive force and induced electromotive force because of the relativity of motion, electric field and magnetic field.

Key words: relativity, motional electromotive force, induced electromotive force.