

# 第19章 电磁感应



# 作业

课本P176习题

5, 7, 8, 9, 13, 14, 16 (共7题)

## 注意

- 作业用A4纸, 不抄题, 有题号
- 选择&填空题要有解题过程





## § 19 电磁感应

### 重点

- 法拉第电磁感应定律及应用
- 动生、感生电动势的计算(计算题)
- 自感和互感的计算
- 磁场能量及计算

### 难点

- 电动势方向的判断
- 感生电动势的理解和计算



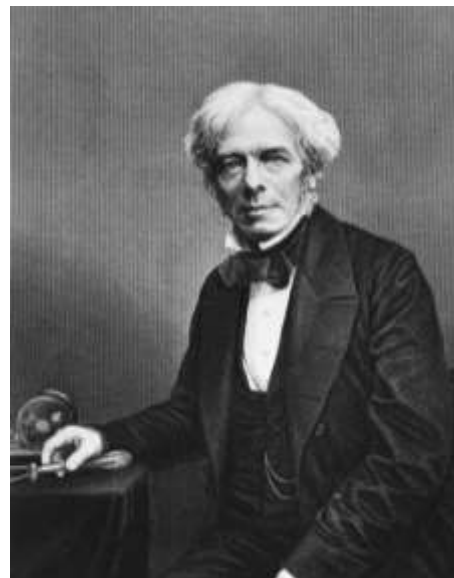


# 19.1 电磁感应定律



1820年丹麦物理学家**奥斯特**发现了**电流的磁效应**，人们就开始了其逆效应的研究。

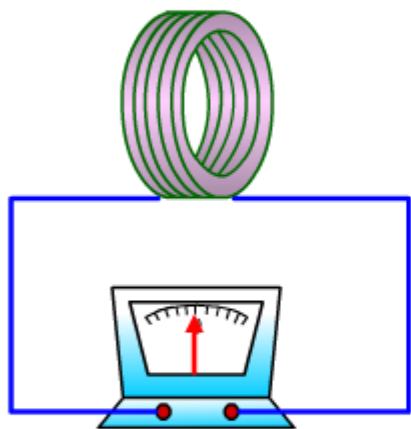
1831年8月英国物理学家**法拉第**发现了**电磁感应定律**，大大推动了电磁理论的发展。



电磁感应定律的发现，不但找到了**磁生电的规律**，更重要的是它揭示了**电和磁的内在联系**，为电磁理论奠定了基础，并且开辟了人类使用电能的道路，成为**电磁理论**发展的**第一个重要里程碑**。



# 电磁感应现象

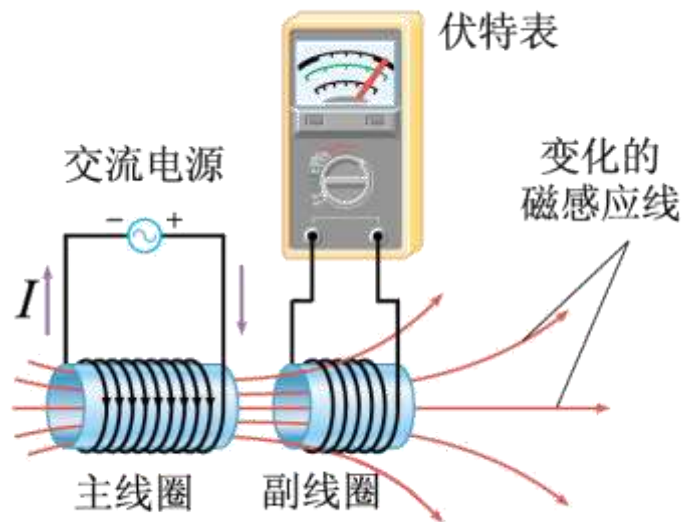


# 电磁感应现象

## ➤ 以通电线圈代替条形磁铁

□ 当载流主线圈相对于副线圈**运动**时，线圈回路内有电流产生

□ 当载流主线圈相对于副线圈**静止**，如果**改变主线圈的电流**，则副线圈回路中也会产生电流



当穿过闭合回路的**磁通量发生变化**时，回路中有电流产生，这一现象称为**电磁感应现象**。

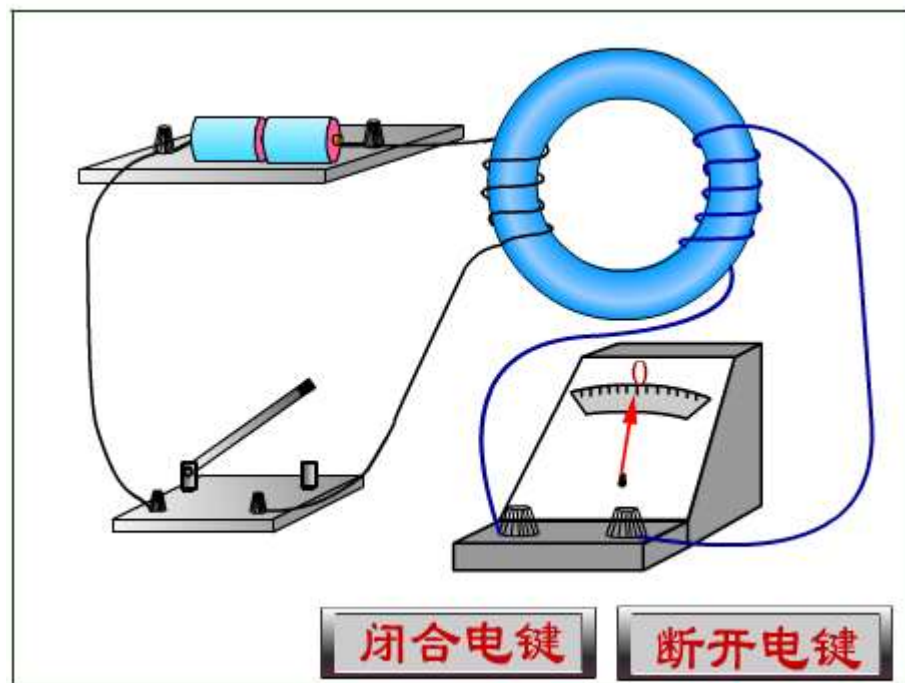
电磁感应现象中产生的电流称为**感应电流**，相应的电动势称为**感应电动势**。



# 法拉第电磁感应定律

□当穿过闭合回路所围面积的**磁通量**发生变化时，回路中会产生**感应电动势**，且感应电动势正比于磁通量对时间变化率的**负值**。

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$



式中的负号反映了**感应电动势**的方向，是**楞次定律**的数学表示。



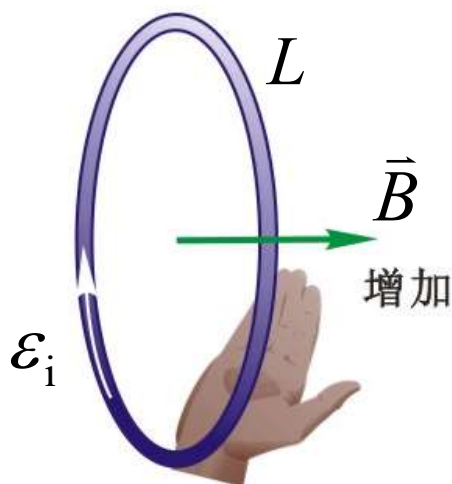
## ➤符号法则规定

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

□对回路任取一绕行方向。

□当回路中的磁感线方向与回路的绕行方向成**右手螺旋**关系时，磁通量为**正(+)**，反之为**负(-)**。

□若根据电磁感应定律得 $\varepsilon_i > 0$ ，则回路中的感应电动势方向与绕行方向**一致**，否则**相反**。

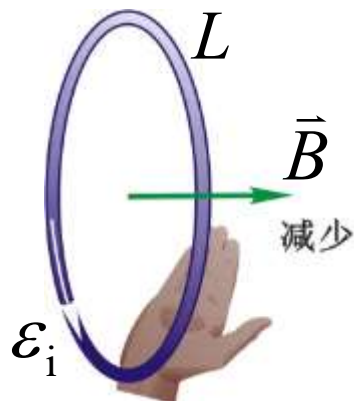


$$\Phi > 0 \longrightarrow \frac{d\Phi}{dt} > 0$$

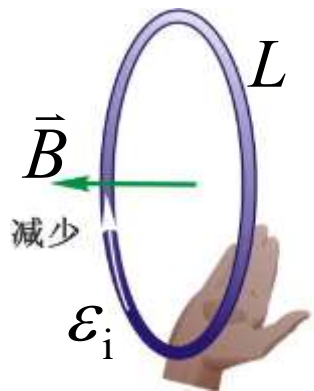
$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \longrightarrow \varepsilon_i < 0$$



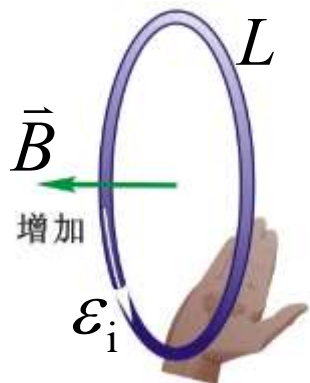




$$\Phi > 0 \rightarrow \frac{d\Phi}{dt} < 0 \rightarrow \varepsilon_i > 0$$



$$\Phi < 0 \rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d|\Phi|}{dt} > 0 \rightarrow \varepsilon_i < 0$$



$$\Phi < 0 \rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d|\Phi|}{dt} < 0 \rightarrow \varepsilon_i > 0$$



## □由 $N$ 匝导线线圈串联构成的回路

$$\begin{aligned}\varepsilon_i &= -\frac{d\Phi_1}{dt} + \left(-\frac{d\Phi_2}{dt}\right) + \cdots + \left(-\frac{d\Phi_N}{dt}\right) \\ &= -\frac{d}{dt}(\Phi_1 + \Phi_2 + \cdots + \Phi_N) = -\frac{d}{dt}\left(\sum_{i=1}^N \Phi_i\right) = -\frac{d\Psi}{dt}\end{aligned}$$

全磁通  
(磁通链数)  $\Psi = \sum_{i=1}^N \Phi_i$        $\Psi = N\Phi$        $\varepsilon_i = -N\frac{d\Phi}{dt}$

设闭合线圈回路的电阻为 $R$

感应电流  $I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Psi}{dt} = \frac{dq}{dt}$

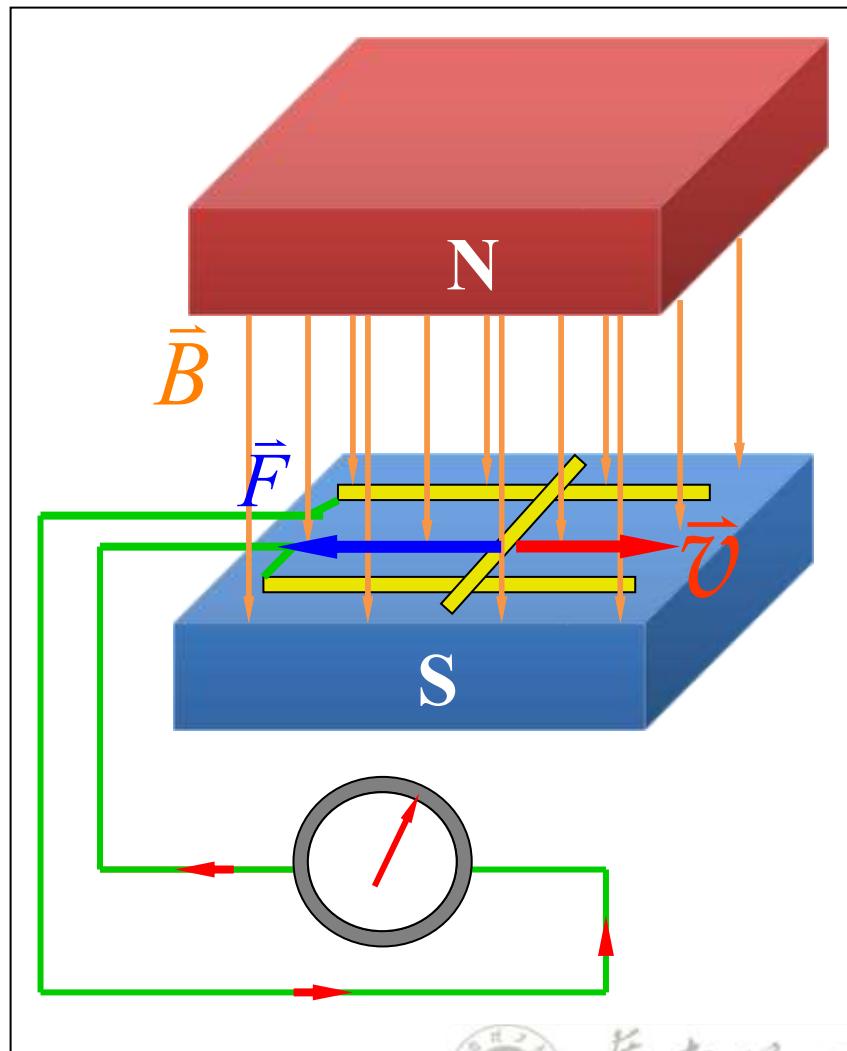
感应电荷量  $q = \int_{t_1}^{t_2} I_i dt = -\frac{1}{R} \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} d\Psi = \frac{1}{R} (\Psi_1 - \Psi_2)$



# 楞次定律

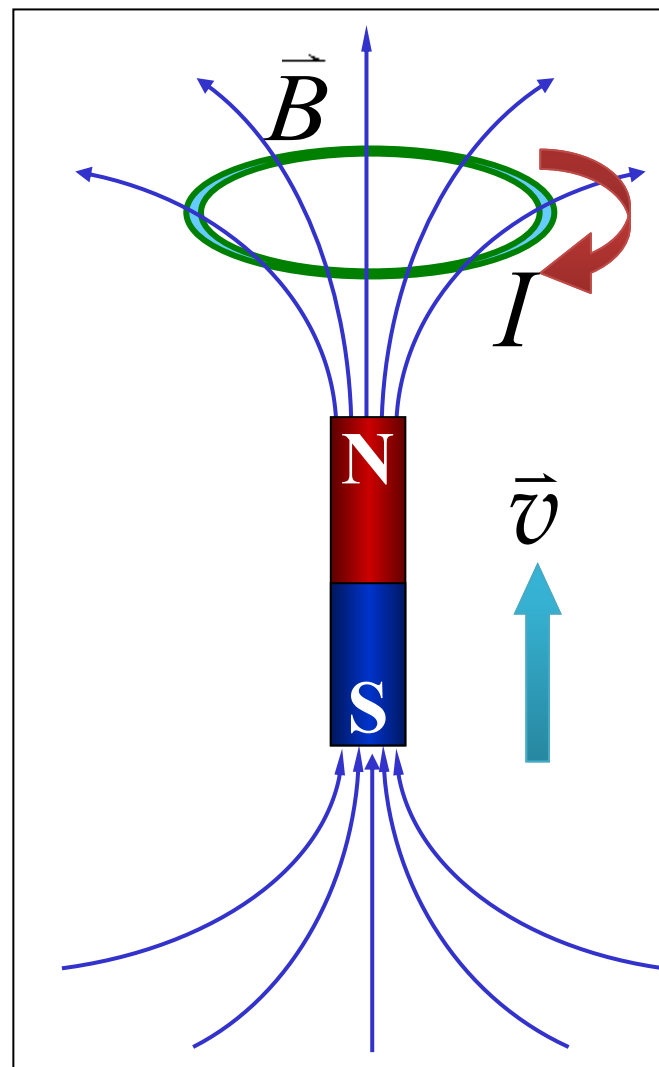
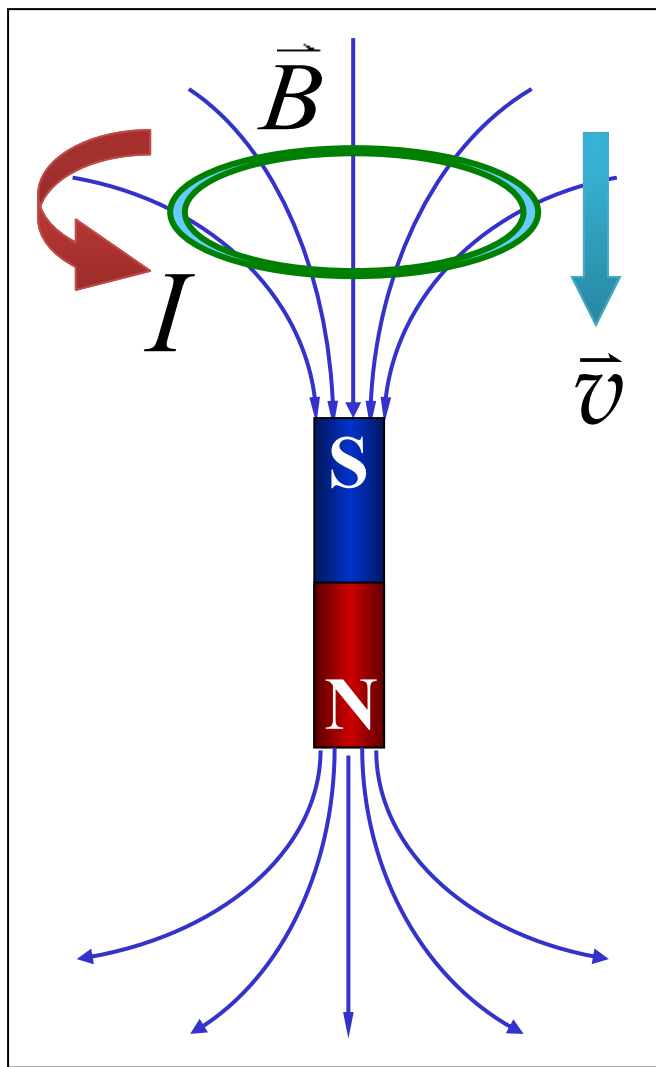
➤请判断右图运动载流导线的受力方向：

闭合的导线回路中所出现的感应电流，总是使它自己所激发的磁场反抗引发感应电流**磁通量的变化**(反抗相对运动、磁场变化或线圈变形等)。



# 楞次定律的应用

用楞次定律判断感应电流方向

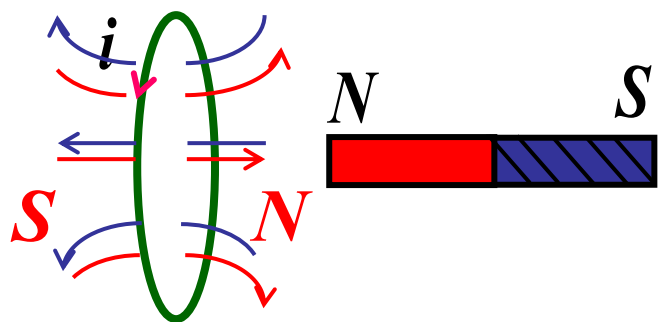


华南理工大学

South China University of Technology

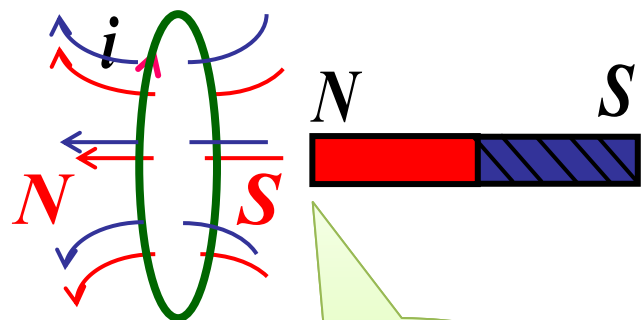


# 楞次定律是能量守恒在电磁感应现象中的体现



正是外界克服阻力做功，将其它形式的能量转换成回路中的电能。

若不是反抗将是什么情形？



电磁永动机

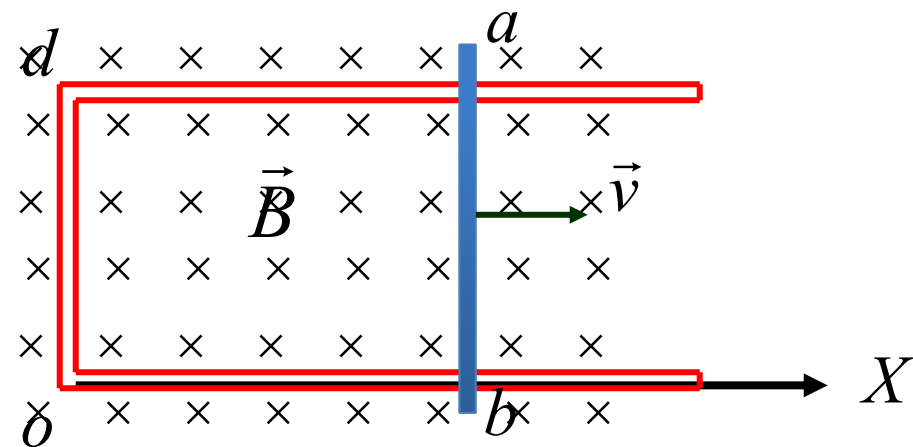
过程将自动进行，磁铁动能增加的同时，感应电流急剧增加，而 $i \uparrow$ ，又导致 $\phi \uparrow \rightarrow i \uparrow \dots$ 而不须外界提供任何能量。



# 例题 1

矩形导体的一边 $ab$ 可以平行滑动，长为 $l$ 。整个回路放在磁感强度为 $B$ 、方向与其平面垂直的均匀磁场中。若 $ab$ 以恒定的速率 $v$ 向右运动，求闭合回路的感应电动势。

**解：**设 $t$ 时刻 $ab$ 边的坐标为 $x$ ，取**顺时针方向**为 $aboda$ 回路的绕行正方向，则该时刻穿过回路的磁通量为：



$$\Phi = BS = Blx \quad \varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -Bl \frac{dx}{dt} = -Blv$$

**负号**表示感应电动势的方向与回路的**正方向**相反，即沿回路的**逆时针方向**。



## 例题 2

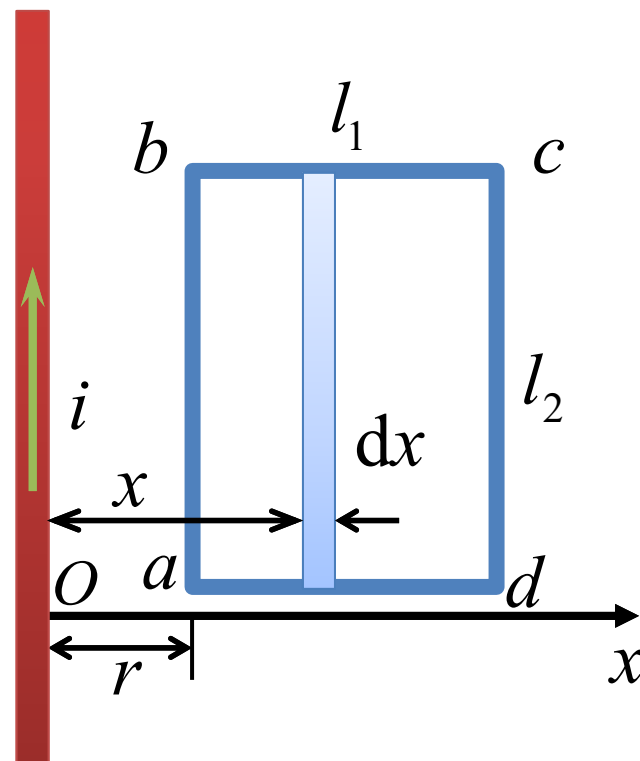
一长直导线通以电流  $i = I_0 \sin \omega t$ ，旁边有一个共面的矩形线圈  $abcd$ 。求：线圈中的感应电动势。

**解：**选顺时针方向为正

$$\Phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_r^{r+l_1} \frac{\mu_0 i}{2\pi x} l_2 dx$$

$$= \frac{\mu_0 I_0 l_2}{2\pi} \sin \omega t \ln \frac{r+l_1}{r}$$

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{\mu_0 I_0}{2\pi} l_2 \omega \cos \omega t \ln \frac{r+l_1}{r}$$



电动势的方向取决于  $\cos \omega t$  的正负



### 例题3

在无限长直载流导线的磁场中，有一运动的导体线框，导体线框与载流导线共面。求线框中的感应电动势。

**解：**选顺时针方向为正

$$\Phi_m = \int d\Phi_m = \int_l^{l+a} \frac{\mu_0 I}{2\pi x} b dx$$
$$= \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln\left(\frac{l+a}{l}\right) \quad \text{运动的导线框}$$

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{\mu_0 I b}{2\pi} \left[ \frac{dl/dt}{l+a} - \frac{dl/dt}{l} \right]$$

$$= \frac{\mu_0 I a b v}{2\pi l(l+a)}$$

**电动势：顺时针方向**

