

电磁感应中的动力学、能量问题



一.电磁感应中的动力学问题

1、安培力的大小：

安培力公式：

$$F = BIL$$

电流公式：

$$I = \frac{E}{R}$$

感应电动势公式：

$$E = BLV$$

安培力的大小：

$$F = \frac{B^2 L^2 V}{R}$$

2、安培力的方向：

感应电流的方向：根据楞次定律或右手定则判断

安培力的方向：根据左手定则判断

3、导体的两种运动状态以及处理方法

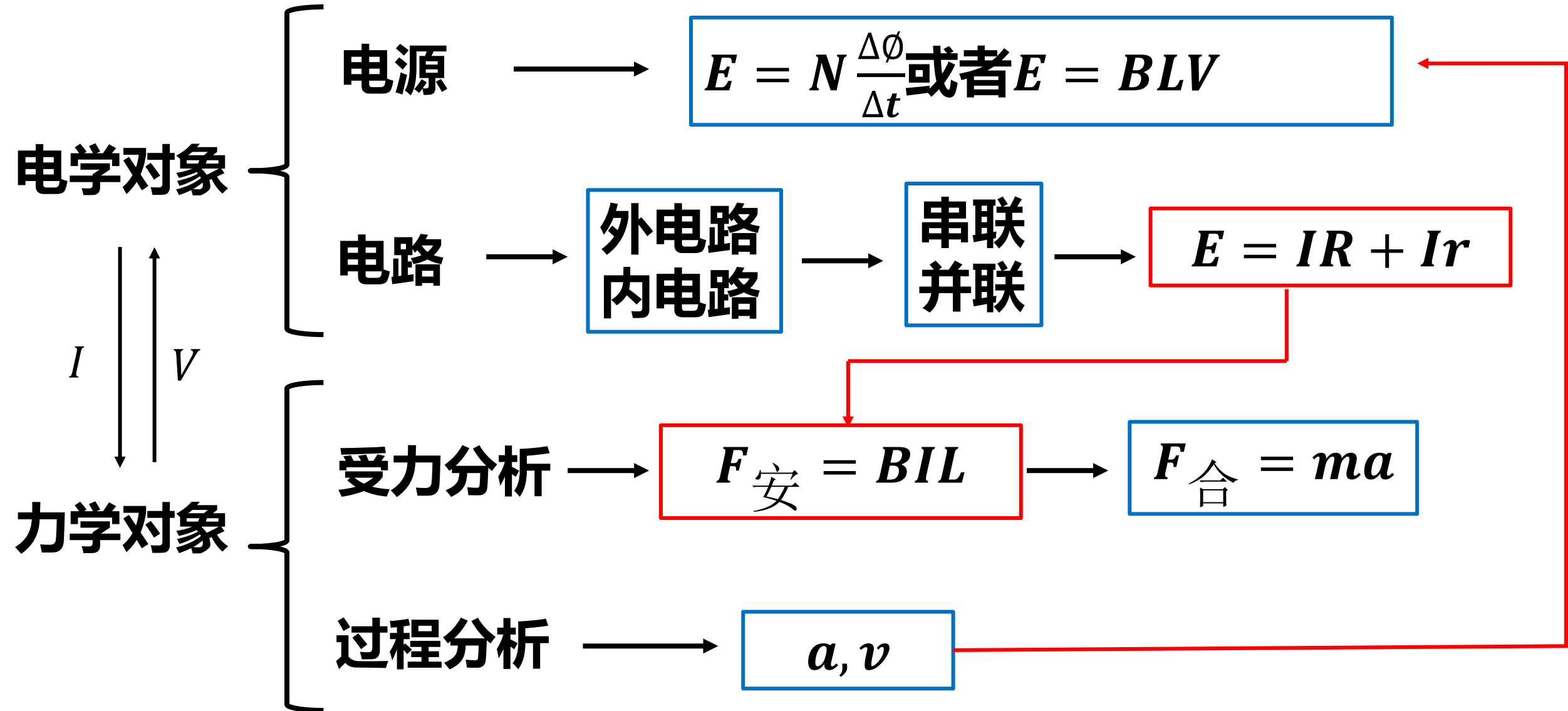
(1)导体处于**平衡态**——静止或匀速直线运动状态。

方法：根据平衡条件(合外力等于零)列式分析。

(2)导体处于**非平衡态**——合外力不为零，加速度不为零。

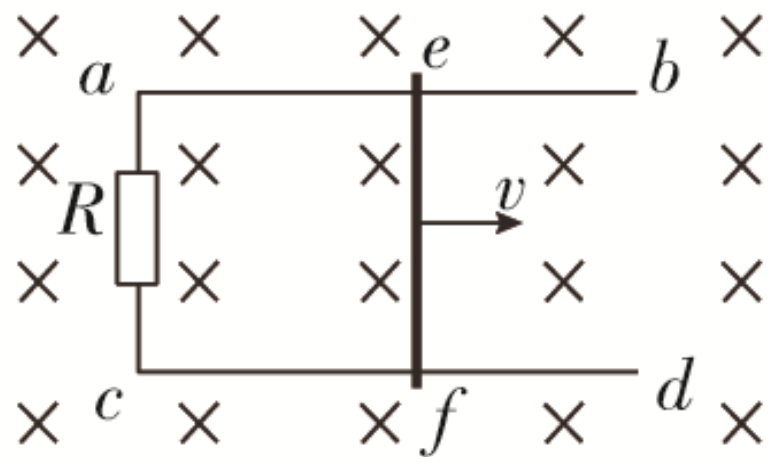
方法：根据牛顿第二定律进行动态分析

4、两大研究对象及其关系



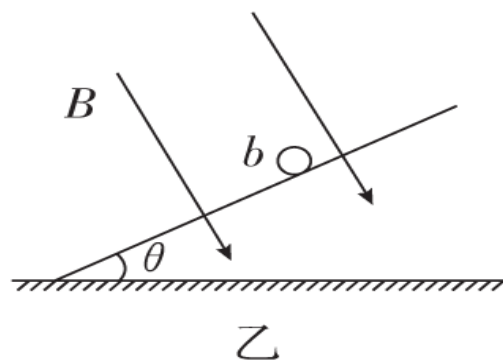
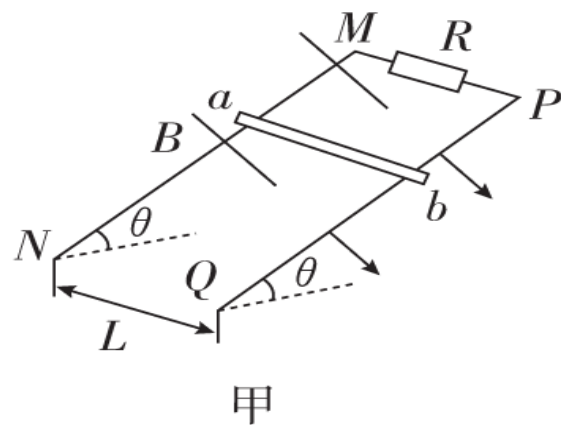
(1) 平衡态

如图所示， ab 和 cd 是位于水平面内的平行金属轨道，间距为 L ，其电阻可忽略不计， ac 之间连接一阻值为 R 的电阻。 ef 为一垂直于 ab 和 cd 的金属杆，它与 ab 和 cd 接触良好并可沿轨道方向无摩擦地滑动，电阻可忽略。整个装置处在匀强磁场中，磁场方向垂直纸面向里，磁感应强度为 B ，当施加外力使杆 ef 以速度 v 向右匀速运动时，杆 ef 所受的外力大小为？



(2) 非平衡态

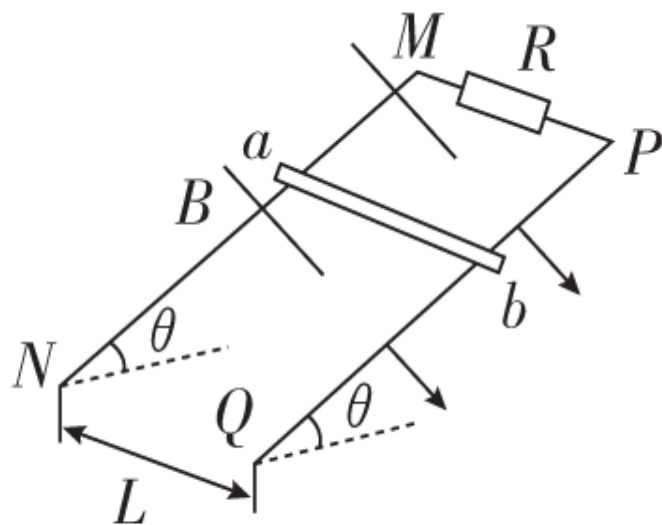
如图甲所示，两根足够长的直金属导轨 MN 、 PQ 平行放置在倾角为 θ 的绝缘斜面上。两导轨间距为 L ， M 、 P 两点间接有阻值为 R 的电阻。一根质量为 m 的均匀直金属杆 ab 放在两导轨上，并与导轨垂直。整套装置处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直斜面向下。导轨和金属杆的电阻可忽略。让 ab 杆沿导轨由静止开始下滑，导轨和金属杆接触良好，不计它们之间的摩擦。



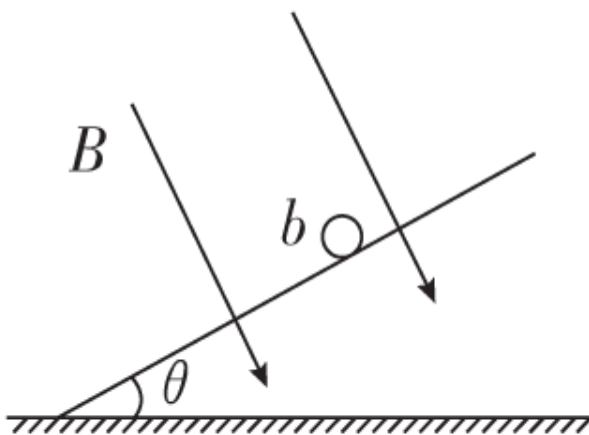
(1)由 **b** 向 **a** 方向看到的装置如图乙，在此图中画出 **ab** 杆下滑过程中某时刻的受力示意图；

(2)在加速下滑时，当 **ab** 杆的速度大小为 v 时，求此时 **ab** 杆中的电流及其加速度的大小；

(3)求在下滑过程中， **ab** 杆可以达到的速度最大值。



甲



乙

2. 解决此类问题的基本思路

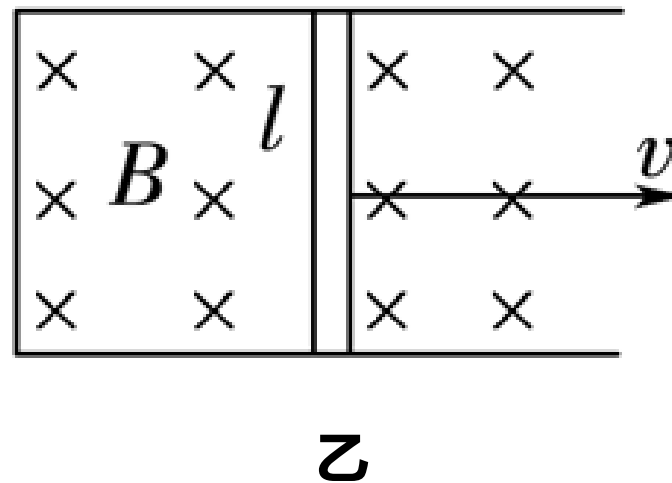
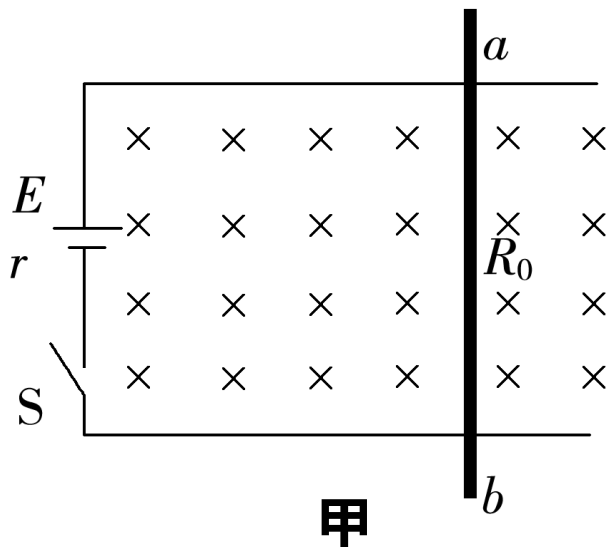
(1)先做“源”的分析——分离出电路中因电磁感应起电源作用的部分，确定电源的电动势 E 和内阻 r 。

(2)再进行“路”的分析——画出必要的电路图，分析电路结构，弄清串、并联关系，求出相关部分的电流大小，以便安培力的求解。

(3)然后是“力”的分析——画出必要的**受力分析图**，分析所研究对象(常是金属杆、导体线圈等)的**受力情况**，尤其注意其所受的安培力。

(4)接着进行“**运动状态**”分析——根据力和运动的关系，判断出正确的**运动模型**。

2.电磁感应的能量问题



安培力做功：正功

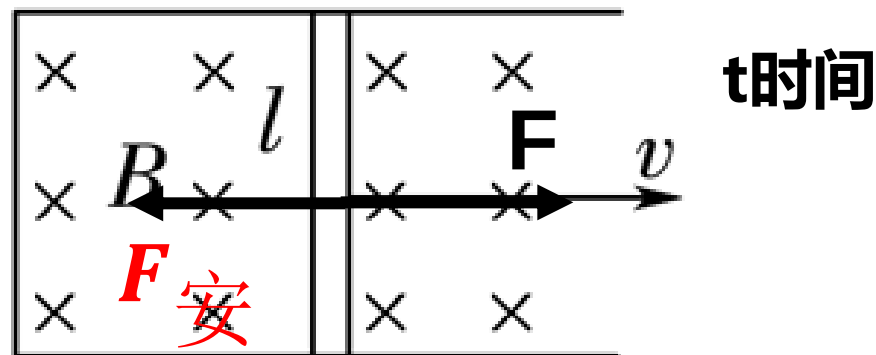
负功

能量转化：电能 $\longrightarrow$ 机械能

机械能 $\longrightarrow$ 电能

电磁感应的实质就是不同形式的能量转化的过程

比较常见的一种形式：通过安培力做功，把其他形式的能转化为电能，克服安培力做了多少功，就产生多少电能。



$$W = -BIL \cdot x = -BIL \cdot vt = -EIt = -E_{\text{电}}$$

若电路是纯电阻电路，转化过来的电能将全部转化为电阻的焦耳热

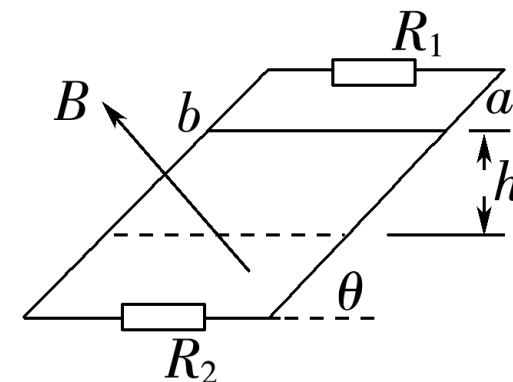
求解焦耳热Q的几种方法:

1. 焦耳定律: $Q = I^2 R t$
(I 恒定)
- 感生: $E = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
(Φ 均匀变化)
- 动生: $E = BLV$
(匀速)
2. 功能关系: $Q = W$ (W 为克服安培力做的功)
3. 能量转化: (判断清楚能量是怎么转化的)
- $Q = \Delta E$ (ΔE 为其他能的减少量)

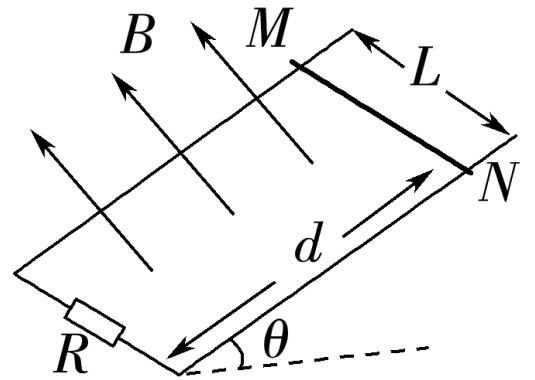
1.如图所示，两根足够长的固定的光滑平行金属导轨位于倾角 $\theta = 30^\circ$ 的固定斜面上，导轨上、下端分别接有阻值 $R_1 = 10\ \Omega$ 和 $R_2 = 30\ \Omega$ 的电阻，导轨自身电阻忽略不计，导轨宽度 $L = 2\ \text{m}$ ，在整个导轨平面内都有垂直于导轨平面向上的匀强磁场，磁感应强度 $B = 0.5\ \text{T}$ 。质量为 $m = 0.1\ \text{kg}$ ，电阻 $r = 2.5\ \Omega$ 的金属棒 ab 在较高处由静止释放，金属棒 ab 在下滑过程中始终与导轨垂直且与导轨接触良好。当金属棒 ab 下滑高度 $h = 3\ \text{m}$ 时，速度恰好达到最大值。 (g 取 $10\ \text{m/s}^2$) 求：

(1) 金属棒 ab 达到的最大速度 v_m ；

(2) 金属棒 ab 在以上运动过程中导轨下端电阻 R_2 中产生的热量。



2.如图所示，两根光滑的平行金属导轨与水平面的夹角 $\theta = 30^\circ$ ，导轨间距 $L = 0.5 \text{ m}$ ，导轨下端接定值电阻 $R = 2 \Omega$ ，导轨电阻忽略不计。在导轨上距底端 $d = 2 \text{ m}$ 处垂直导轨放置一根导体棒 MN ，其质量 $m = 0.2 \text{ kg}$ ，电阻 $r = 0.5 \Omega$ ，导体棒始终与导轨接触良好。某时刻起在空间加一垂直导轨平面向上的变化磁场，磁感应强度 B 随时间 t 变化的关系为 $B = 0.5 t (\text{T})$ ，导体棒在沿导轨向上的拉力 F 作用下处于静止状态， g 取 10 m/s^2 。求：



- (1) 流过电阻 R 的电流 I ;
- (2) $t = 2 \text{ s}$ 时导体棒所受拉力 F 的大小;
- (3) 从 $t = 4 \text{ s}$ 时磁场保持不变，同时撤去拉力 F ，导体棒沿导轨下滑至底端时速度恰好达到最大，此过程回路产生的热量 Q 。

焦耳热的计算技巧

(1)感应电路中电流恒定，则电阻产生的焦耳热等于电流通过电阻做的功，即 $Q = I^2 R t$ 。

(2)感应电路中电流变化，可用以下方法分析：

①利用动能定理，根据产生的焦耳热等于克服安培力做的功，即 $Q = -W_{\text{安}}$ 。

②利用能量守恒，即感应电流产生的焦耳热等于电磁感应现象中其他形式能量的减少，即 $Q = -\Delta E_{\text{其他}}$ 。