

# 电磁感应 单杆模型

马祥芸

May 10, 2024

## Contents

<b>1</b>	<b>电感在电路中的表现</b>	<b>2</b>
1.1	通电自感与断电自感 . . . . .	2
<b>2</b>	<b>单杆模型</b>	<b>3</b>
2.1	单杆电阻类 . . . . .	3
2.2	单杆电源类 . . . . .	6
2.3	单杆电容类 . . . . .	7
2.3.1	电容充电式 . . . . .	7
2.3.2	电容放电式 . . . . .	8

1 电感在电路中的表现

1.1 通电自感与断电自感

- 自感电动势:  $E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
- 自感系数影响因素: 线圈大小, 形状, 匝数以及是否有铁芯

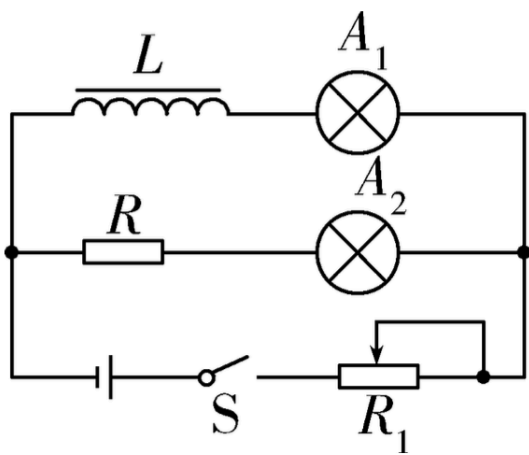


Figure 1  $L$  很大但无铁芯

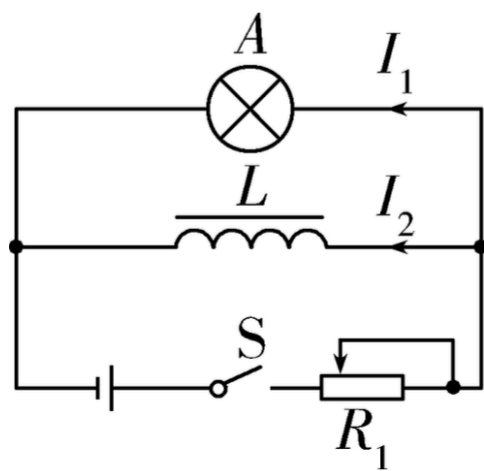
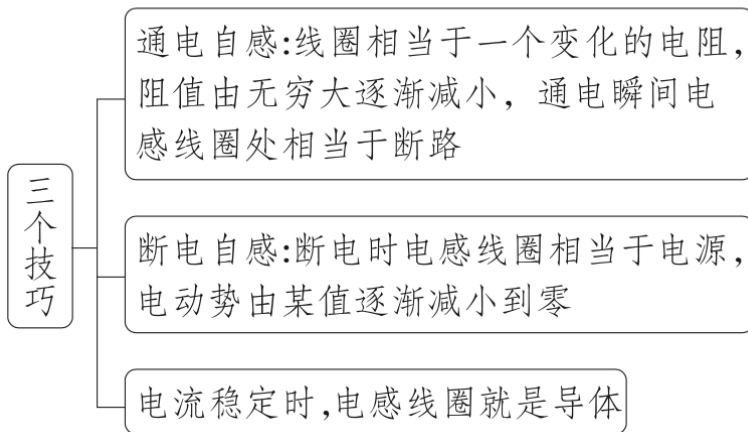


Figure 2  $L$  很大且有铁芯

	图 1	图 2
通电时		
断电时		
总结		

## 分析自感现象的三个技巧



## 2 单杆模型

### 2.1 单杆电阻类

#### (1) 仅初速度

水平放置的平行光滑导轨(电阻不计且足够长),间距为  $L$ ,左侧接有电阻  $R$ ,导体杆初速度为  $v_0$ ,质量为  $m$ ,处于导轨间的部分的电阻为  $r$ ,匀强磁场的磁感应强度大小为  $B$

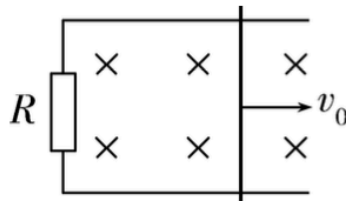


Figure 1 情景

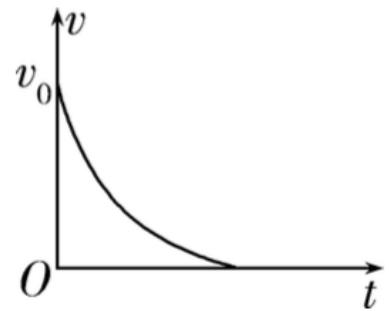


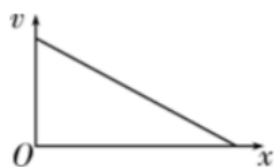
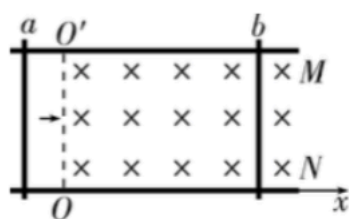
Figure 2 运动过程

- 能量角度:

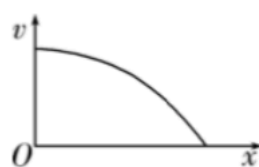
- 动量角度:

• 习题

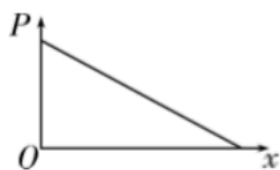
★★★ (2023 福建,4,4 分) 如图,  $M$ 、 $N$  是两根固定在水平面内的光滑平行金属导轨, 导轨足够长且电阻可忽略不计; 导轨间有一垂直于水平面向下的匀强磁场, 其左边界  $OO'$  垂直于导轨; 阻值恒定的两均匀金属棒  $a$ 、 $b$  均垂直于导轨放置,  $b$  始终固定。  $a$  以一定初速度进入磁场, 此后运动过程中始终与导轨垂直且接触良好, 并与  $b$  不相碰。 以  $O$  为坐标原点, 水平向右为正方向建立  $x$  轴坐标; 在运动过程中,  $a$  的速度记为  $v$ ,  $a$  克服安培力做功的功率记为  $P$ 。 下列  $v$  或  $P$  随  $x$  变化的图像中, 可能正确的是 ( )



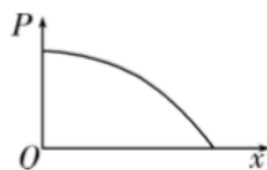
A



B



C



D

(2) 仅受恒力

水平放置的平行光滑导轨  
(电阻不计且足够长),间距  
为  $L$ ,左侧接有电阻  $R$ ,导体  
杆质量为  $m$ ,处于导轨间的  
部分的电阻为  $r$ ,匀强磁场的磁感应强度为  $B$ ,  
杆在恒定外力  $F$  的作用下由静止开始运动

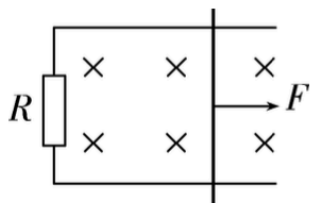


Figure 1 情景

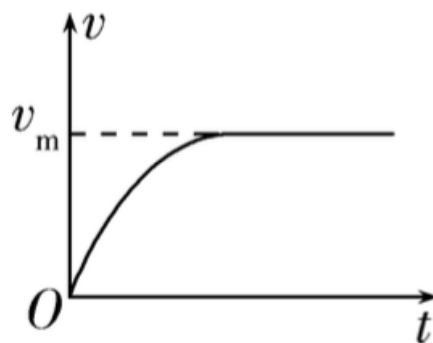


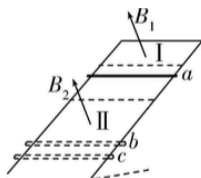
Figure 2 运动过程

- 能量角度:

- 动量角度:

- 习题

3.★★★(2021 山东,12,4 分)(多选)如图所示,电阻不计的光滑 U 形金属导轨固定在绝缘斜面上。区域 I、II 中磁场方向均垂直斜面向上, I 区中磁感应强度随时间均匀增加, II 区中为匀强磁场。阻值恒定的金属棒从无磁场区域中  $a$  处由静止释放,进入 II 区后,经  $b$  下行至  $c$  处反向上行。运动过程中金属棒始终垂直导轨且接触良好。在第一次下行和上行的过程中,以下叙述正确的是 ( )



- A. 金属棒下行过  $b$  时的速度大于上行过  $b$  时的速度
- B. 金属棒下行过  $b$  时的加速度大于上行过  $b$  时的加速度
- C. 金属棒不能回到无磁场区
- D. 金属棒能回到无磁场区,但不能回到  $a$  处

## 2.2 单杆电源类

水平放置的平行光滑导轨(导轨足够长且电阻不计),间距为  $L$ ,左侧接电动势为  $E$ 、内阻为  $r$  的电源,金属杆  $ab$  质量为  $m$ ,电阻为  $R$ ,匀强磁场的磁感应强度大小为  $B$

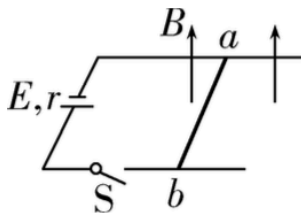


Figure 1 情景

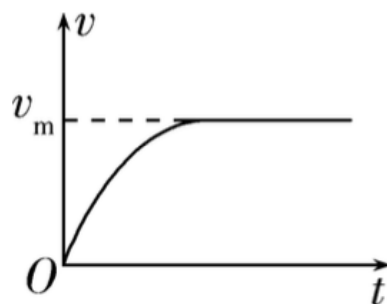


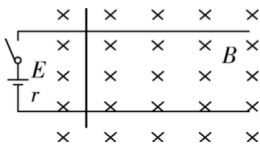
Figure 2 运动过程

- 能量角度:

- 动量角度:

- 习题

**例 2** (多选) 水平固定放置的足够长的光滑平行导轨,电阻不计,间距为  $L$ ,左侧连接的电源电动势为  $E$ 、内阻为  $r$ ,质量为  $m$  的金属杆垂直静放在导轨上,金属杆处于导轨间的部分的电阻为  $R$ 。整个装置处在磁感应强度大小为  $B$ 、方向竖直向下的匀强磁场中,如图所示。闭合开关,金属杆由静止开始沿导轨做变加速运动直至达到最大速度,则下列说法正确的是 ( )



A. 金属杆的最大速度等于  $\frac{E}{BL}$

B. 此过程中通过金属杆的电荷量为  $\frac{mE}{B^2 L^2}$

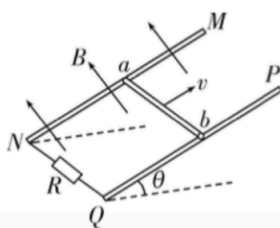
C. 此过程中电源提供的电能为  $\frac{mE^2}{2B^2 L^2}$

D. 此过程中金属杆产生的热量为  $\frac{mE^2 R}{2B^2 L^2 (R+r)}$

★★★(2021 天津,11,16 分)如图所示,两根足够长的平行光滑金属导轨  $MN$ 、 $PQ$  间距  $L=1\text{ m}$ ,其电阻不计,两导轨及其构成的平面均与水平面成  $\theta=30^\circ$  角, $N$ 、 $Q$  两端接有  $R=1\ \Omega$  的电阻。一金属棒  $ab$  垂直导轨放置, $ab$  两端与导轨始终有良好接触,已知  $ab$  的质量  $m=0.2\text{ kg}$ ,电阻  $r=1\ \Omega$ ,整个装置处在垂直于导轨平面向上的匀强磁场中,磁感应强度大小  $B=1\text{ T}$ 。 $ab$  在平行于导轨向上的拉力作用下,以初速度  $v_1=0.5\text{ m/s}$  沿导轨向上开始运动,可达到最大速度  $v=2\text{ m/s}$ 。运动过程中拉力的功率恒定不变,重力加速度  $g=10\text{ m/s}^2$ 。

(1)求拉力的功率  $P$ ;

(2) $ab$  开始运动后,经  $t=0.09\text{ s}$  速度达到  $v_2=1.5\text{ m/s}$ ,此过程中  $ab$  克服安培力做功  $W=0.06\text{ J}$ ,求该过程中  $ab$  沿导轨的位移大小  $x$ 。



## 2.3 单杆电容类

### 2.3.1 电容充电式

(1) 仅初速度

质量为  $m$ 、电阻为  $R$  的金属杆  $ab$  在水平光滑导轨上以速度  $v_0$  开始运动,忽略导轨电阻

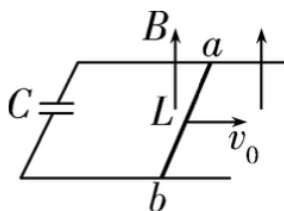


Figure 1 情景

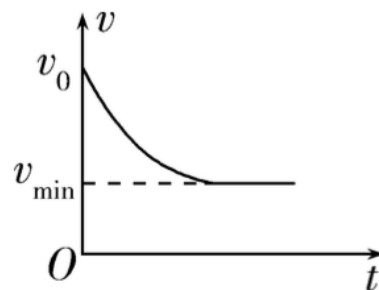


Figure 2 运动过程

- 能量角度:

- 动量角度:

(2) 仅受恒力

质量为  $m$ 、电阻为  $R$  的金属杆  $ab$  在水平光滑导轨上由静止开始运动,所受外力  $F$  恒定,忽略导轨电阻

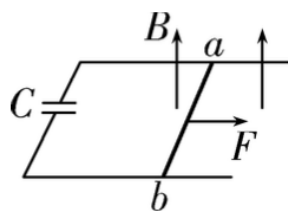


Figure 1 情景

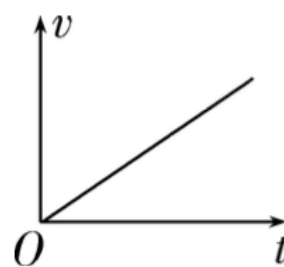


Figure 2 运动过程

- 能量角度:

- 动量角度:



2.3.2 电容放电式

电源电动势为  $E$ , 内阻可忽略, 电容器电容为  $C$ , 质量为  $m$ 、阻值为  $R$  的光滑金属杆静止在导轨上, 先将开关拨到左侧, 电容器充满电后再拨到右侧

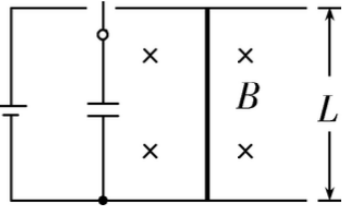


Figure 1 情景

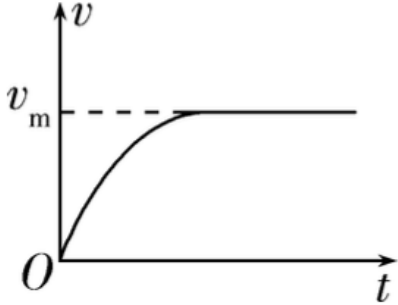
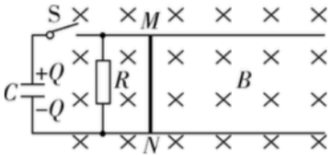


Figure 2 运动过程

- 能量角度:
- 动量角度:
- 习题

★★★(2022 全国甲, 20, 6 分)(多选)如图, 两根相互平行的光滑长直金属导轨固定在水平绝缘桌面上, 在导轨的左端接入电容为  $C$  的电容器和阻值为  $R$  的电阻。质量为  $m$ 、阻值也为  $R$  的导体棒  $MN$  静止于导轨上, 与导轨垂直, 且接触良好, 导轨电阻忽略不计, 整个系统处于方向竖直向下的匀强磁场中。开始时, 电容器所带的电荷量为  $Q$ , 合上开关  $S$  后, ( )



- A. 通过导体棒  $MN$  电流的最大值为  $\frac{Q}{RC}$
- B. 导体棒  $MN$  向右先加速、后匀速运动
- C. 导体棒  $MN$  速度最大时所受的安培力也最大
- D. 电阻  $R$  上产生的焦耳热大于导体棒  $MN$  上产生的焦耳热