

## 7 涡流、电磁阻尼和电磁驱动

### 目标定位

1. 知道涡流是如何产生的。
2. 了解涡流现象的利用和危害。
3. 通过对涡流实例的分析,了解涡流现象在生活和生产中的应用。
4. 知道电磁阻尼和电磁驱动。

### 核心提示

- 重点:**1. 涡流的概念及其应用。  
2. 电磁阻尼和电磁驱动的实例分析。
- 难点:**电磁阻尼和电磁驱动的实例分析。

# 自主初探·夯基础

温馨提示  
如果您在观看本课件的过程中出现压字现象，请关闭所有幻灯片，重新打开可正常观看。

## 前知回顾

1. 当闭合回路中的磁通量变化时，回路中就会产生 感应电流。
2. 电流的热效应：当电流通过电阻时，产生热量的表达式为：  
 $Q = I^2 R t$ 。
3. 导体切割磁感线运动，产生的感应电流在磁场中受到 安培力 作用，该力的方向往往与导体运动的方向 相反。
4. 由能量守恒定律知，一种形式能量的增加，必然有其他形式能量的 减少。

## 一、涡流

定义	由于 <u>电磁感应</u> ，在导体中产生的像水中旋涡样的 <u>感应</u> 电流。
特点	若金属的电阻率小，涡流往往 <u>很强</u> ，产生的热量 <u>很多</u> 。
应用	( 1 ) 涡流热效应的应用：如 <u>真空冶炼炉</u> 。 ( 2 ) 涡流磁效应的应用：如 <u>探雷器</u> 、 <u>安检门</u> 。
防止	电动机、变压器等设备中应防止铁芯中涡流过大而导致浪费能量，损坏电器。 ( 1 ) 途径一：增大铁芯材料的 <u>电阻率</u> 。 ( 2 ) 途径二：用相互绝缘的 <u>硅钢片</u> 叠成的铁芯代替整块硅钢铁芯。

## 二、电磁阻尼和电磁驱动

### 1. 电磁阻尼：

(1) 定义：当导体在磁场中运动时，感应电流 会使导体受到安培力，安培力的方向总是 阻碍 导体的运动的现象。

(2) 应用：电学仪表中利用电磁阻尼使指针很快地停下来，便于读数。

### 2. 电磁驱动：

(1) 定义：如果磁场相对于导体转动，在导体中会产生感应电流，感应电流使导体受到 安培力 的作用，安培力 使导体运动起来的现象。

(2) 应用：交流感应电动机。

## 【思考辨析】

### 1. 判断正误：

(1) 涡流跟平时常见的感应电流一样，都是因为穿过导体的磁通量变化而产生的。( )

(2) 涡流有热效应，但没有磁效应。( )

(3) 在硅钢中不能产生涡流。( )

(4) 电磁灶是在金属锅体中产生热效应，从而达到加热和烹饪食物的目的。( )

(5) 电磁驱动和电磁阻尼中，感应电流的结果总是阻碍磁场跟线框的相对运动。( )

**提示：**（1）√。涡流本质上是感应电流，是自身构成的回路，在穿过导体的磁通量变化时产生的。

（2）×。涡流既有热效应，又有磁效应。

（3）×。硅钢电阻率大，产生的涡流较小，但仍能产生涡流。

（4）√。电磁灶是在金属锅体中产生热效应，是典型的涡流现象的应用，通过这种方式，可以达到加热和烹饪食物的目的。

（5）√。电磁驱动和电磁阻尼的本质都是电磁感应。由楞次定律可知，感应电流的结果总是阻碍磁场跟线框的相对运动。若磁场运动，线圈中感应电流的结果是安培力的方向与磁场运动方向相同，即电磁驱动；若磁场不动，线圈运动，则感应电流的结果是阻碍线圈运动，即电磁阻尼。

## 2. 问题思考：

(1) 发生涡流时，金属块并没有接入闭合电路，为什么会产生感应电流？

**提示：**金属块虽然没有接入闭合电路，但穿过金属块的磁通量变化时，金属块自身构成闭合回路，导体内部等效成许多闭合电路，所以能产生感应电流。

(2) 用导线把微安表的两个接线柱连在一起后，晃动微安表时，表针摆动的幅度为什么比没连接接线柱时的小？

**提示：**用导线把微安表的两个接线柱连接起来后，就形成了闭合回路，产生感应电流从而阻碍表针的相对运动，即发生电磁阻尼现象。

# 核心归纳 · 抓要点

深化  
理解

## — 对涡流的理解

### 1. 对涡流的理解：

( 1 ) 本质：电磁感应现象。

( 2 ) 条件：穿过金属块的磁通量发生变化，并且金属块本身构成闭合回路。

( 3 ) 特点：整个导体回路的电阻一般很小，感应电流很大。故金属块的发热功率很大。

2. 产生涡流的两种情况：

(1) 块状金属放在变化的磁场中；

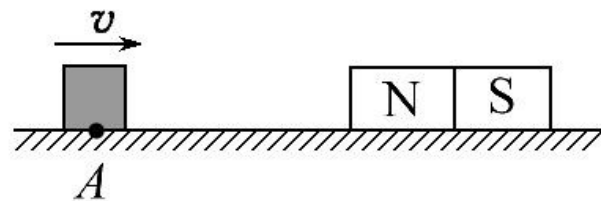
(2) 块状金属进出磁场或在非匀强磁场中运动。

3. 产生涡流时的能量转化：伴随着涡流现象，其他形式的能转化成电能最终在金属块中转化为内能。例如，金属块放在了变化的磁场中，则磁场能转化为电能，最终转化为内能；如果是金属块进出磁场或在非匀强磁场中运动，则由于克服安培力做功，金属块的机械能转化为电能，最终转化为内能。

**【特别提醒】**（1）涡流是整块导体发生的电磁感应现象，同样遵循法拉第电磁感应定律。

（2）磁场变化越快（ $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  越大），导体的横截面积  $S$  越大，导体材料的电阻率越小，形成的涡流就越大。

**【典例 1】** 在水平放置的光滑导轨上，沿导轨固定一个条形磁铁，如图所示，现有铜、铝和有机玻璃制成的滑块甲、乙、丙，使它们从导轨上的 A 点以某一初速度向磁铁滑去。各滑块在未接触磁铁前的运动情况是 ( )



- A. 都做匀速运动
- B. 甲、乙做加速运动
- C. 甲、乙做减速运动
- D. 乙、丙做匀速运动

**【解题探究】**（1）当金属中磁通量发生变化时，内部将产生 涡流。

（2）甲、乙、丙三滑块在磁场中产生的电磁感应现象有何不同？

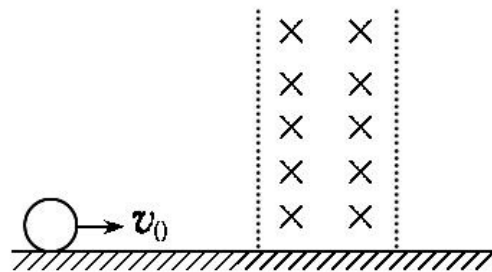
**提示：**金属甲、乙能够自身形成闭合回路，形成涡流；非金属丙在磁场中不产生涡流现象。

**【标准解答】**选C。铜块、铝块向磁铁靠近时，穿过它们的磁通量发生变化，因此在其内部产生涡流，反过来涡流产生的感应磁场对原磁场的变化起阻碍作用，所以铜块和铝块向磁铁运动时会受阻碍而做减速运动，有机玻璃为非金属，不产生涡流现象。故C正确。

## **【总结提升】** 涡流问题的两大特点

一是金属能够自身形成闭合回路，形成涡流；二是磁通量发生变化，形成涡流，阻碍相对运动。

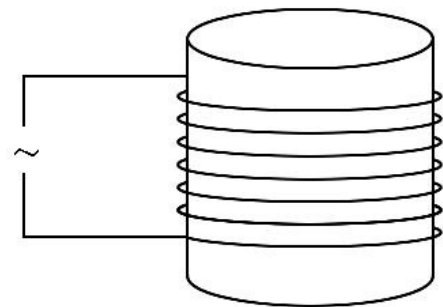
**【变式训练】** 如图所示，有一铝质圆形金属球以一定的初速度通过有界匀强磁场，则从球开始进入磁场到完全穿出磁场过程中（磁场宽度大于金属球的直径），小球（ ）



- A. 整个过程做匀速运动
- B. 进入磁场过程中小球做减速运动，穿出过程做加速运动
- C. 整个过程都做匀减速运动
- D. 穿出时的速度一定小于初速度

**【解析】**选 D。小球在进入和穿出磁场时，有涡流产生，受阻力作用，做减速运动；完全处于磁场中时，穿过小球的磁通量不发生变化，小球中无涡流，做匀速运动。故 A、B、C 错误，D 正确。

**【变式备选】** 高频感应炉是用来熔化金属对其进行冶炼的，如图所示为冶炼金属的高频感应炉的示意图，炉内放入被冶炼的金属，线圈通入高频交变电流，这时被冶炼的金属就能被熔化，这种冶炼方法速度快，温度易控制，并能避免有害杂质混入被冶炼金属中，因此适于冶炼特种金属。该炉的加热原理是（ ）



- A. 利用线圈中电流产生的焦耳热
- B. 利用线圈中电流产生的磁场
- C. 利用交变电流的交变磁场在炉内金属中产生的涡流
- D. 给线圈通电的同时，给炉内金属也通了电

**【解析】**选 C。高频感应炉的原理：给线圈通以高频交变电流后，线圈产生高频变化的磁场，磁场穿过金属，在金属内产生涡流，由于电流的热效应，可使金属熔化。故只有 C 正确。

## 二 对电磁阻尼和电磁驱动的理解

拓展  
提升

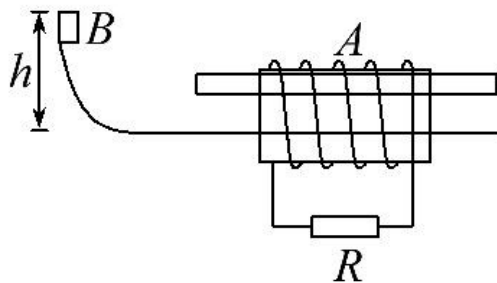
电磁阻尼和电磁驱动的比较：

		电磁阻尼	电磁驱动
共同点		两者都是电磁感应现象，导体受到的安培力都是阻碍导体与磁场间的相对运动	
不同点	成因	由于导体在磁场中运动形成的	由于磁场运动而形成的
	安培力	安培力方向与导体运动方向相反，为阻力	安培力方向与磁场运动方向相同，为动力
	能量转化	克服安培力做功，其他形式的能转化为电能，最终转化为内能	磁场能转化为电能，通过安培力做功，电能转化为导体的机械能

**【特别提醒】**（1）电磁阻尼、电磁驱动都是电磁感应现象，都遵循楞次定律。

（2）电磁阻尼、电磁驱动现象中安培力的作用效果都是阻碍相对运动，应注意电磁驱动中阻碍的结果，导体的运动速度仍要小于磁场的运动速度。

**【典例 2】** 如图所示，光滑弧形轨道和一足够长的光滑水平轨道相连，水平轨道上方有一足够长的金属杆，杆上挂有一光滑螺线管 A。在弧形轨道上高为  $h$  的地方，无初速度释放一磁铁 B（可视为质点），B 下滑至水平轨道时恰好沿螺线管 A 的中心轴运动，设 A、B 的质量分别为  $M$ 、 $m$ ，若最终 A、B 速度分别为  $v_A$ 、 $v_B$ 。



- (1) 螺线管 A 将向哪个方向运动？
- (2) 全过程中整个电路所消耗的电能。

**【解题探究】**（1）螺线管中磁场变化时，将会产生感应电流，原磁场对其有 安培 力作用。

（2）试分析磁铁的重力势能转化为什么形式的能？

**提示：**磁铁的重力势能转化为磁铁的动能、螺线管的动能和电路的电能。

**【标准解答】**（1）磁铁 B 向右运动时，根据楞次定律知螺线管中产生感应电流，感应电流产生电磁驱动作用，使得螺线管 A 向右运动。

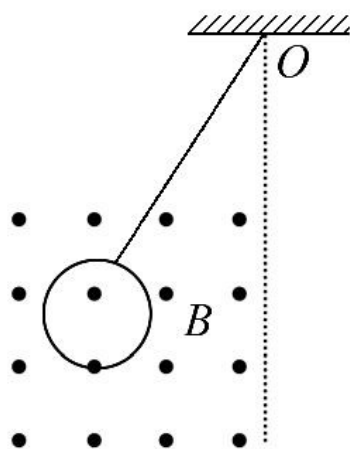
（2）全过程中，磁铁减少的重力势能转化为 A、B 的动能和螺线管中的电能，所以

$$mgh = \frac{1}{2}Mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2 + E_{\text{电}},$$

$$\text{即 } E_{\text{电}} = mgh - \frac{1}{2}Mv_A^2 - \frac{1}{2}mv_B^2.$$

**答案：**（1）向右      （2） $mgh - \frac{1}{2}Mv_A^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$

**【变式训练】** 如图所示，用丝线悬挂闭合金属环，悬于O点，第一种情况是虚线左边有匀强磁场，右边没有磁场。第二种情况是整个空间都有向外的匀强磁场，金属环的摆动情况是（ ）



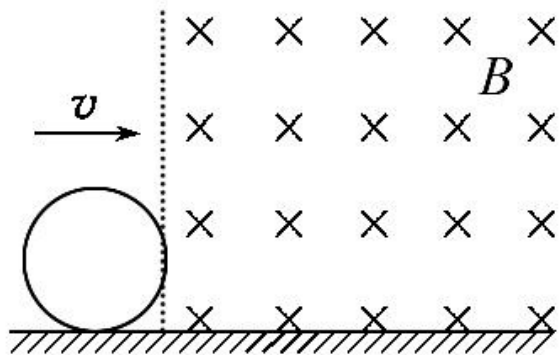
- A . 两种情况都经过相同的时间停下来
- B . 第一种情况先停下来
- C . 第二种情况先停下来
- D . 无法确定

**【解析】**选 B。只有左边有匀强磁场，金属环在穿越磁场边界时，由于磁通量发生变化，环内一定会有感应电流产生，根据楞次定律将会阻碍相对运动，所以摆动会很快停下来，这就是电磁阻尼现象。也可以用能量守恒来解释：既然有电流产生，就一定有一部分机械能向电能转化，最后电能通过导体转化为内能。若空间都有匀强磁场，穿过金属环的磁通量不变化，因此不产生感应电流，也就不会阻碍相对运动，摆动就不会很快停下来。故选 B。

## 备选例题

考查内容	综合应用
------	------

**【典例】**如图所示，在光滑的水平面上有一半径  $r=10\text{cm}$ 、电阻  $R=1\Omega$ 、质量  $m=1\text{kg}$  的金属环，以速度  $v=10\text{m/s}$  向一有界磁场滑动。匀强磁场方向垂直于纸面向里， $B=0.5\text{T}$ ，从环刚进入磁场算起，到刚好有一半进入磁场时，圆环释放了  $32\text{J}$  的热量，求：



- (1) 此时圆环中电流的瞬时功率；
- (2) 此时圆环的加速度。

**【标准解答】**（1）取圆环为研究对象，从刚进入磁场至一半进入磁场的过程中，由能量守恒知，圆环减少的动能全部转化为内能，设此时速度为  $v'$ ，则

$$\frac{1}{2}mv^2 = Q + \frac{1}{2}mv'^2$$

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{(B \cdot 2r \cdot v')^2}{R}$$

联立以上两式，代入数据解得

$$P = 0.36 \text{ W}。$$

（2）由楞次定律可知圆环此时受的安培力方向向左，由牛顿第二定律得： $F=ma$

$$a = \frac{BIL}{m} = \frac{B^2(2r)^2v'}{mR} = 6 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2, \text{ 方向向左。}$$

**答案：**（1）0.36 W （2） $6 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ ，方向向左



# 解题技巧

## 两类涡流现象中的能量转化问题的分析技巧

伴随着涡流现象，其他形式的能转化成电能，最终在金属块中转化为内能。如果金属块放在变化的磁场中，则磁场能转化为电能，最终转化为内能；如果是金属块进出磁场或在非匀强磁场中运动，则由于克服安培力做功，金属块的机械能转化为电能，最终转化为内能。



**【标准解答】** 选D。金属块在进出磁场过程中要产生感应电流，感应电流转化为内能，机械能要减少，上升的最大高度不断降低，最后刚好滑不出磁场，做往复运动永不停止，根据能量转化与守恒，整个过程中产生的焦耳热应等于机械能的损失，即  $Q = \Delta E = \frac{1}{2}mv^2 + mg(b-a)$ ，故D正确。

**【名师点评】**利用能量守恒分析电磁感应问题时，应注意明确初、末状态及其能量转化，根据力做功和相应形式能的转化列式求解。本题中一定要搞清金属块的运动状态，根据电磁感应知识和能量守恒确定金属块最终活动范围。易犯的错误是认为金属块最终停在0点处，也有同学列公式时忽略了金属块刚开始滑动时具有的动能。

## 学业测试·速达标

1. (多选) (基础理论辨析题) 下列说法正确的是 ( )
- A. 涡流不是感应电流，而是一种有别于感应电流的特殊电流
  - B. 在匀强磁场中匀速运动的金属块会产生涡流
  - C. 把金属块放在变化的磁场中可产生涡流
  - D. 大块金属中无感应电动势产生，直接产生了涡流
  - E. 涡流对生产和实验既有利又有害
  - F. 对电磁驱动而言，使线圈转动起来的动力是安培力

**【解析】**选 C、E、F。涡流本质上是感应电流，是自身构成的回路，在穿过导体的磁通量变化时产生的，选项 A 错误；涡流是整个金属块中产生的感应电流，所以产生涡流的条件是在金属块中产生感应电流，即穿过金属块的磁通量发生变化，B 错误；把金属块放在变化的磁场中时，穿过金属块的磁通量发生了变化，有涡流产生，C 正确；涡流是一种自成回路的感应电流，由闭合电路欧姆定律可知，有电流必有电动势，故 D 错误；由于整块金属导体的电阻一般情况下很小，所以产生的涡流很大，因而其热效应和磁效应很明显，涡流的热效应可以用来加热或冶炼金属，但有时也产生危害，如使某些元件发热，故涡流既有有利的一面，也有不利的一面，所以 E 正确；从动力学的观点来看，电磁驱动中线圈中产生的感应电流受到的安培力是使线圈转动起来的动力，F 正确。

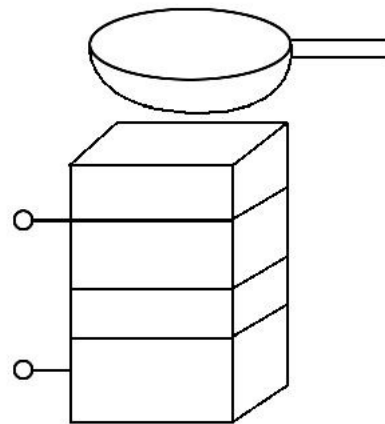
2. (多选) 变压器的铁芯是利用薄硅钢片叠压而成的，而不是采用一整块硅钢，这是因为 ( )

- A. 增大涡流，提高变压器的效率
- B. 减小涡流，提高变压器的效率
- C. 增大铁芯中的电阻，以产生更多的热量
- D. 增大铁芯中的电阻，以减小发热量

**【解析】**选 B、D。不使用整块硅钢而使用很薄的硅钢片，这样做的目的是增大铁芯中的电阻，阻断涡流回路，来减少电能转化成铁芯的内能，提高效率，故 B、D 正确。

3. 如图所示，在一个绕有线圈的可拆变压器铁芯上分别放一小铁锅水和一玻璃杯水。给线圈通入电流，一段时间后，一个容器中水温升高，则通入的电流与水温升高的是（ ）

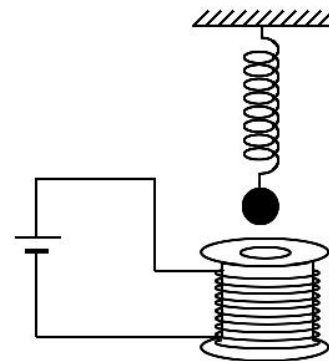
- A. 恒定直流、小铁锅
- B. 恒定直流、玻璃杯
- C. 变化的电流、小铁锅
- D. 变化的电流、玻璃杯



**【解析】**选C。通入恒定直流时，所产生的磁场不变，不会产生感应电流，A、B错误；通入变化的电流，所产生的磁场发生变化，在空间产生感生电场，小铁锅是导体，感生电场在导体内产生涡流，电能转化为内能，使水温升高；涡流是由变化的磁场在导体内产生的，所以玻璃杯中的水不会升温，C对，D错。

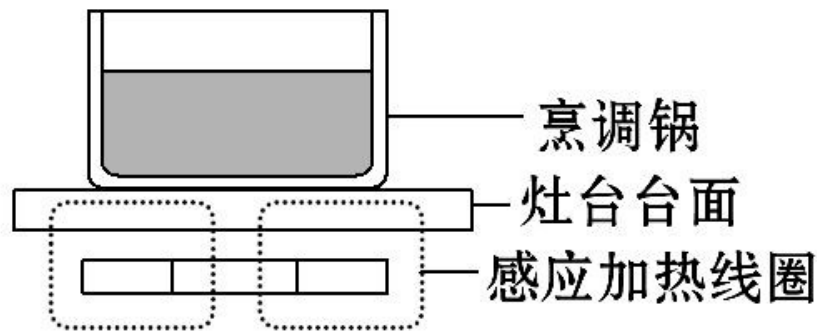
4. 如图所示，金属球（铜球）下端有通电的线圈，今把小球拉离平衡位置后释放，此后关于小球的运动情况是（不计空气阻力）（ ）

- A. 做等幅振动
- B. 做阻尼振动
- C. 振幅不断增大
- D. 无法判定



**【解析】**选 B。小球在通电线圈磁场中运动，小球中产生涡流，故小球要受到安培力作用阻碍它的相对运动，做阻尼振动，故振幅越来越小，A、C、D 错误，B 正确。

5. 如图所示为高频电磁炉的工作示意图，它是采用电磁感应原理产生涡流加热的，它利用变化的电流通过线圈产生变化的磁场，当变化的磁场通过含铁质锅的底部时，即会产生无数小涡流，使锅体本身自行高速升温，然后再加热锅内食物。电磁炉工作时产生的电磁波，完全被线圈底部的屏蔽层和顶板上的含铁质锅吸收，不会泄漏，对人体健康无危害。关于电磁炉，以下说法中正确的是（ ）



- A. 电磁炉是利用变化的磁场在食物中产生涡流对食物加热的
- B. 电磁炉是利用变化的磁场产生涡流，使含铁质锅底迅速升温，进而对锅内食物加热的
- C. 电磁炉是利用变化的磁场使食物中的极性水分子振动和旋转来对食物加热的
- D. 电磁炉跟电炉一样是让电流通过电阻丝产生热量来对食物加热的

**【解析】**选 B。电磁炉的工作原理是利用变化的电流通过线圈产生变化的磁场，变化的磁场通过含铁质锅的底部产生无数小涡流，使锅体温度升高后加热食物，故选项 A、D 错误，B 正确；而选项 C 是微波炉的加热原理，C 错误。

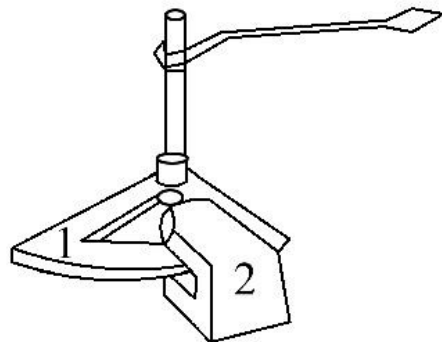
6. (多选) 如图所示是电表中的指针和电磁阻尼器，下列说法中正确的是 ( )

A. 2 是磁铁，在 1 中产生涡流

B. 1 是磁铁，在 2 中产生涡流

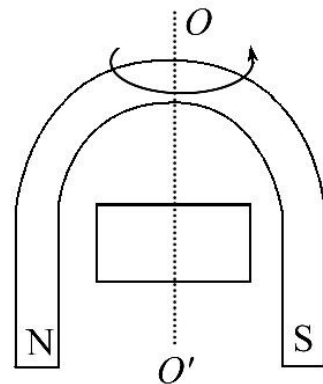
C. 该装置的作用是使指针能够转动

D. 该装置的作用是使指针能很快地稳定



**【解析】**选 A、D。当指针摆动时，1 随之转动，2 是磁铁，那么在 1 中产生涡流，2 对 1 的安培力将阻碍 1 的转动。总之，不管 1 向哪个方向转动，2 对 1 的效果总起到阻尼作用，所以它能使指针很快地稳定下来，故 A、D 项正确。

7. 如图所示，蹄形磁铁的两极之间放置一个线圈，磁铁和线圈都可以绕  $OO'$  轴转动，当磁铁按图示方向绕  $OO'$  轴转动时，线圈的运动情况是（ ）



- A. 俯视，线圈顺时针转动，转速与磁铁的转速相同
- B. 俯视，线圈逆时针转动，转速与磁铁的转速相同
- C. 线圈与磁铁转动方向相同，但转速小于磁铁的转速
- D. 线圈静止不动

**【解析】**选 C。当磁铁转动时，由楞次定律知，线圈中有感应电流产生，以阻碍磁通量的增加，即感应电流使其受到的力与磁铁转动方向相同，以减小磁通量的增加，因而线圈跟着转动起来，但转速小于磁铁的转速。故 C 正确。



# 课时提升卷

---



点击进入  
Word版可编辑套题

