

第3节 涡流、电磁阻尼和电磁驱动

课时学习素养目标：1.了解感生电场的概念，了解电子感应加速器的工作原理。

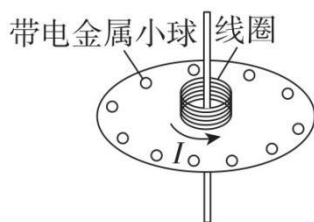
（物理观念）

2.理解涡流的产生原理，了解涡流在生产和生活中的应用。（物理观念）

3.理解电磁阻尼和电磁驱动的原理，了解其在生产和生活中的应用。（科学态度与责任）

任务学习一 电磁感应现象中的感生电场

某物理学家曾设计过这样一个实验装置：一块绝缘圆板可绕其中心的光滑轴自由转动，在圆板的中部有一个线圈，圆板的四周固定着一圈带电的金属小球，如图所示，当线圈接通电源瞬间圆板发生转动，这是为什么？



【答案】线圈接通电源瞬间，变化的磁场产生电场，从而导致带电小球受到电场力，使圆板转动。

新知梳理

1. 感生电场

_____认为，磁场变化时会在空间激发一种电场，这种电场叫作感生电场。

【答案】麦克斯韦

2. 感生电动势：由_____产生的电动势叫感生电动势。

【答案】感生电场

3. 电子感应加速器

电子感应加速器是利用_____使电子加速的设备。当电磁铁线圈中电流的大小、方向发生变化时，产生的感生电场使电子加速。

【答案】感生电场

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 如果空间不存在闭合电路，变化的磁场周围不会产生感生电场。（ ）

(2) 处于变化磁场中的导体，其内部自由电荷定向移动，是由于受到感生电场的作用。()

(3) 感生电场就是感应电动势。()

【答案】 (1) ×

(2) ✓

(3) ×

【解析】

(1) 麦克斯韦认为，磁场变化时会在空间激发感生电场，与是否存在闭合电路无关。

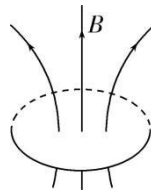
(3) 感应电动势是电磁感应现象中产生的电动势，与感生电场不是一个概念。

2. 感生电场的方向与感应电流的方向有什么关系？如何判断感生电场的方向？

【答案】感生电场的方向与感应电流的方向相同；感生电场的方向可以用楞次定律及安培定则来判定。

典例精讲

例 1 多选题 某空间出现了如图所示的磁场，当磁感应强度变化时，在垂直于磁场的方向上会产生感生电场，下列有关磁感应强度的变化与感生电场的方向关系的描述正确的是 ()



- A. 当磁感应强度均匀增大时，感生电场的方向从上向下看应为顺时针方向
- B. 当磁感应强度均匀增大时，感生电场的方向从上向下看应为逆时针方向
- C. 当磁感应强度均匀减小时，感生电场的方向从上向下看应为顺时针方向
- D. 当磁感应强度均匀减小时，感生电场的方向从上向下看应为逆时针方向

【答案】 AD

【解析】感生电场的方向用楞次定律来判定。原磁场向上且磁感应强度在增大，感应电流的磁场方向应与原磁场方向相反，即感应电流的磁场方向向下，再由安培定则得到感应电流的方向从上向下看应为顺时针方向，则感生电场的方向从上

向下看为顺时针方向；同理可知，原磁场方向向上且磁感应强度减小时，感生电场的方向从上向下看应为逆时针方向。所以 A、D 正确。

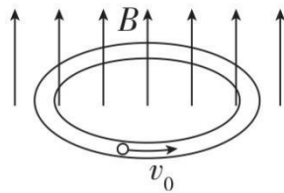
总结归纳

感生电动势与动生电动势的比较

	感生电动势	动生电动势
产生原因	磁场的变化	导体做切割磁感线运动
移动电荷的非静电力	感生电场对自由电荷的力	导体中自由电荷所受洛伦兹力沿导体方向的分力
回路中相当于电源的部分	处于变化磁场中的线圈	做切割磁感线运动的导体
方向判断方法	由楞次定律判断	通常由右手定则判断，也可由楞次定律判断
大小计算方法	由 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 计算	通常由 $E = Blv\sin\theta$ 计算，也可由 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 计算

迁移应用

1. [2024 浙江嘉兴高二期中]多选题 如图所示，在内壁光滑、水平放置的玻璃圆环内，有一直径略小于环口径的带正电的小球，正以速度 v_0 沿逆时针方向匀速转动。若在此空间突然加上方向竖直向上、磁感应强度 B 随时间成正比例增加的变化磁场，设运动过程中小球的电荷量不变，那么 ()

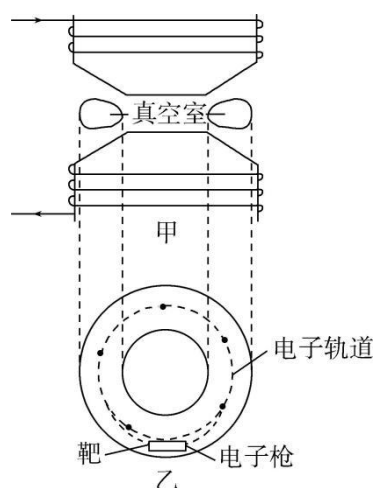


- A. 磁场力对小球一直不做功
- B. 小球受到的磁场力不断增大
- C. 小球受到玻璃圆环的弹力不断增大
- D. 小球先沿逆时针方向做减速运动，过一段时间后，沿顺时针方向做加速运动

【答案】AD

【解析】洛伦兹力始终与运动方向垂直，对小球一直不做功，A 正确；玻璃圆环处在均匀变化的磁场中，由楞次定律及安培定则可知，在周围产生顺时针方向的感生电场，对带正电的小球做功，小球先沿逆时针方向做减速运动，过一段时间后，沿顺时针方向做加速运动，所以磁场力不是一直增大，B 错误，D 正确；因为小球所受的洛伦兹力不是始终在增大，且小球的速度先减小后反向增大，所以小球受到玻璃圆环的弹力不一定不断增大，C 错误。

2. 现代科学研究中常用到高速电子，电子感应加速器就是利用感生电场加速电子的设备。电子感应加速器主要由上、下电磁铁磁极和环形真空室组成。当电磁铁绕组通以变化的电流时，产生变化的磁场，穿过真空盒所包围的区域内的磁通量也随时间变化，这时真空盒空间内就产生感应涡旋电场，电子将在涡旋电场作用下加速。如图所示（甲图为侧视图、乙图为真空室的俯视图），若电子被“约束”在半径为 R 的圆周上运动，当电磁铁绕组通有图中所示的电流时（ ）



- A. 若电子沿逆时针方向运动，保持电流的方向不变，当电流增大时，电子将加速
- B. 若电子沿顺时针方向运动，保持电流的方向不变，当电流增大时，电子将加速
- C. 若电子沿逆时针方向运动，保持电流的方向不变，当电流减小时，电子将加速
- D. 被加速时电子做圆周运动的周期不变

【答案】A

【解析】当电磁铁绕组通有题图中所示的电流时，由安培定则可知将产生向上的磁场，当电磁铁绕组中电流增大时，根据楞次定律和安培定则可知，这时真空盒空间内产生顺时针方向的感生电场，电子沿逆时针方向运动，电子将加速，A 正确，B、C 错误；由于电子被“约束”在半径为 R 的圆周上运动，被加速时电子做圆周运动的周期减小，D 错误。

任务学习二 涡流

新知梳理

1. **涡流：**当线圈中的_____随时间变化时，由于电磁感应，这个线圈附近的导体中可能会产生_____。如果用图表示这样的感应电流，看起来就像水中的漩涡，所以把它叫作涡电流，简称涡流。

【答案】电流； 感应电流

2.应用

(1) 涡流热效应的应用：如真空冶炼炉。

(2) 涡流磁效应的应用：如探雷器、安检门。

3. **防止：**电动机、变压器等设备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_____，常用的铁芯材料是硅钢。

(2) 途径二：用相互绝缘的_____叠成的铁芯代替整块硅钢铁芯。

【答案】 (1) 电阻率

(2) 硅钢片

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 铝块靠近磁体时，铝块中不会产生电流。 ()

(2) 涡流的方向可用楞次定律判断。 ()

(3) 导体中有涡流时，导体没有和其他元件组成闭合回路，故导体不会发热。
()

【答案】 (1) ×

(2) √

(3) ×

【解析】

(1) 铝块自己构成了闭合回路，靠近磁体过程中穿过铝块的磁通量发生变化，会在铝块中产生涡流。

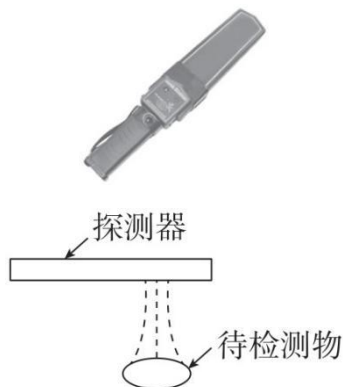
(3) 导体自身构成了闭合回路才会有涡流，也会发热。

2. 电磁炉在工作时一般都是使用不锈钢或铁质的锅来加热食物，为什么不用陶瓷锅、耐热玻璃锅以及铝锅、铜锅呢？

【答案】因陶瓷、玻璃是绝缘体，不能产生电磁感应现象；铝、铜的导磁性太差，效率低。

典例精讲

例 2 多选题 金属探测器已经广泛应用在考场检测、车站安检等领域，其利用的是电磁感应原理。探测器内的线圈中通以大小与方向快速变化的电流从而产生快速变化的磁场，该磁场会在金属物体内部感应出“涡流”（感应电流）。“涡流”会产生磁场，从而影响原始磁场，导致检测器发出蜂鸣声而报警。下列说法正确的是（ ）



- A. 欲使待检测物内部产生“涡流”（感应电流），探测器需在待检测物上方不停地晃动
- B. 探测器静止在待检测物上方，待检测物内部仍然可以产生“涡流”（感应电流）
- C. 若待检测物为塑料则不能报警，因为检测区域内没有磁通量变化
- D. 若待检测物为塑料则不能报警，因为待检测物中几乎没有自由移动的电荷

【答案】BD

【解析】因为金属探测器中通的是大小与方向快速变化的电流，以致产生快速变化的磁场，故即使探测器静止在待检测物的上方，待检测物中依然有感应电流产生，故 A 错误，B 正确；塑料制品为绝缘体，导电性能极差，检测区域中并非

没有磁通量变化，而是因为塑料内部几乎没有自由移动的电荷，而使得待检测物中几乎无感应电流，故 C 错误，D 正确。

总结归纳

1. 产生涡流的两种情况

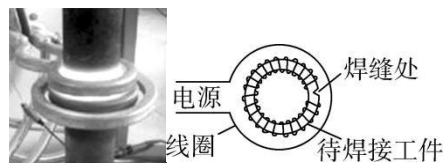
- (1) 块状金属放在变化的磁场中。
- (2) 块状金属进出磁场或在非匀强磁场中运动。

2. 产生涡流时的能量转化

- (1) 金属块在变化的磁场中，磁场能转化为电能，最终转化为内能。
- (2) 金属块进出磁场或在非匀强磁场中运动，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。

迁移应用

3. 多选题 高频焊接原理示意图如图所示。线圈中通以高频交变电流时，待焊接的金属工件中就产生感应电流，感应电流通过焊缝处产生大量热量，将金属熔化，把工件焊接在一起，而工件其他部分发热很少，以下说法正确的是（ ）

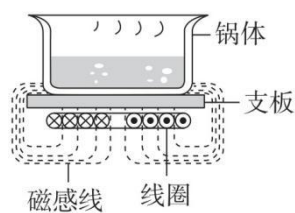


- 交变电流的频率越高，焊缝处的温度升高得越快
- 交变电流的频率越低，焊缝处的温度升高得越快
- 工件上只有焊缝处温度升得很高是因为焊缝处的电阻小
- 工件上只有焊缝处温度升得很高是因为焊缝处的电阻大

【答案】AD

【解析】交变电流的频率越高，它产生的磁场的变化就越快，感应电流就越大，焊缝处产生的热量越多；焊缝处与其他地方的电流大小一样，根据 $Q = I^2 R t$ 可知，工件上只有焊缝处温度升得高，是因为焊缝处电阻很大。故 A、D 正确。

4. [2024 河南高二联考]多选题 电磁灶（又叫电磁炉）的基本结构图如图甲所示，利用电磁感应产生涡流的原理对食物进行加热。利用涡流现象来冶炼钢铁的炼钢炉装置如图乙所示。下列说法正确的是（ ）



甲



乙

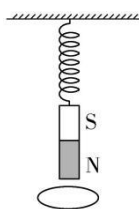
- A. 电磁灶的加热原理是电能变成磁能，然后产生涡流最后产生焦耳热
- B. 将电磁灶的铁质锅换成铜、铝锅，其加热效果与铁质锅一样
- C. 炼钢炉通上恒定电流也可以冶炼钢铁
- D. 炼钢炉的涡流现象与电磁灶的涡流现象本质相同，结构也类似

【答案】AD

【解析】电磁灶的加热原理是变化电流产生变化磁场，然后产生涡流，最后产生焦耳热，A 正确；铜、铝的导磁性较差，将铁质锅换成铜、铝锅，加热效果不同，B 错误；炼钢炉通上恒定电流，产生的磁场是恒定磁场，不会产生涡流，则不能冶炼钢铁，C 错误；炼钢炉的涡流现象与电磁灶的涡流现象本质相同，都是电磁感应现象，结构也类似，D 正确。

任务学习三 电磁阻尼和电磁驱动

弹簧上端固定，下端悬挂一个磁体。将磁体托起到某一高度后放开，磁体能上下振动较长时间才停下来。如果在磁体下端放一个固定的闭合线圈（如图所示），使磁体上下振动时穿过它，磁体就会很快停下来。请解释这个现象。



【答案】当磁体穿过固定的闭合线圈时，在闭合线圈中会产生感应电流，感应电流的磁场会阻碍磁体靠近或离开线圈，也就使磁体振动时除了受空气阻力外，还要受到线圈中感应电流的磁场的阻力，机械能损失较快，因而会很快停下来。

新知梳理

1. 电磁阻尼

(1) 概念：当_____时，感应电流会使导体受到安培力，安培力总是_____导体运动的现象。

(2) 应用：磁电式仪表中利用电磁阻尼使指针迅速停止摆动，便于读数。

【答案】导体在磁场中运动； 阻碍

2. 电磁驱动

(1) 概念：当_____时，导体中产生感应电流，感应电流使导体受到安培力的作用，_____使导体运动起来的现象。

(2) 应用：交流感应电动机。

【答案】磁场相对于导体运动； 安培力

思考交流

1. 判断下列说法正误。

(1) 电磁阻尼是楞次定律的一种体现。 ()

(2) 电磁驱动中不满足能量守恒定律。 ()

(3) 电磁阻尼发生的过程，存在机械能向内能的转化。 ()

(4) 电磁驱动中有感应电流产生，电磁阻尼中没有感应电流产生。 ()

【答案】 (1) ✓

(2) ×

(3) ✓

(4) ×

【解析】

(2) 能量守恒定律是普遍成立的。

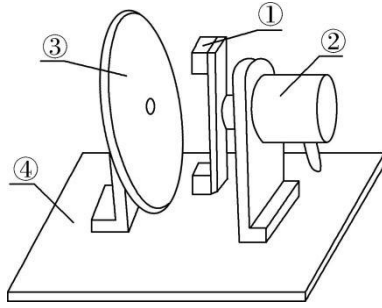
(4) 电磁阻尼中有感应电流产生，本质是受到安培力作用。

2. 灵敏电流计在长途搬运过程中，为什么常将其正、负接线柱用导线连起来？

【答案】将正、负接线柱用导线连起来后，当灵敏电流计内线圈左右偏转时，会因切割磁感线产生感应电流，线圈受到安培力的作用，从而阻碍其转动，即产生电磁阻尼，避免损坏灵敏电流计的指针。

典例精讲

例 3 如图所示为电磁驱动器的原理图。其中①为磁极，它被固定在电动机②的转轴上，金属圆盘③可以绕中心轴转动，圆盘与转轴间的阻力较小。整个装置固定在一个绝缘支架④上。当电动机的转轴转动时，金属圆盘也将转动起来。下列有关说法中正确的是 ()



- A. 金属圆盘转动的方向和磁极的转动方向相同，转速小于磁极的转速
- B. 金属圆盘转动的方向和磁极的转动方向相同，转速等于磁极的转速
- C. 将金属圆盘换成绝缘圆盘，它也会跟着磁极转动
- D. 当电动机突然被卡住不转时，金属圆盘将转动较长时间才会停下来

【答案】A

【解析】当磁极转动时，在金属圆盘中会产生涡流，涡流所受安培力阻碍其相对运动，金属圆盘转动方向与磁极的转动方向相同，但转速一定小于磁极的转速，这样才会有持续的安培力，让其持续转动下去，故 A 正确，B 错误；如果将金属圆盘换成绝缘圆盘，圆盘中不能产生感应电流，所以它不会跟着磁极转动，故 C 错误；当电动机突然被卡住不转时，金属圆盘与磁极间有相对运动，仍会产生涡流，金属圆盘仍受安培力，阻碍相对运动，所以很快停下来，故 D 错误。

总结归纳

电磁阻尼与电磁驱动的比较

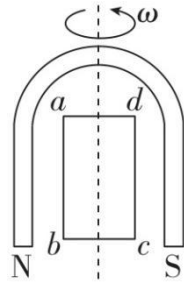
		电磁阻尼	电磁驱动
不同点	成因	由于导体在磁场中运动而产生感应电流，从而使导体受到安培力	由于磁场运动引起磁通量的变化而产生感应电流，从而使导体受到安培力
	效果	安培力的方向与导体运动方向相反，阻碍导体运动	导体受安培力的方向与导体运动方向相同，推动导体运动
	能量转化	导体克服安培力做功，其他形式的能转化为电能，最终转化为内能	机械能转化为电能，通过安培力做功，电能转化为

		导体的机械能，从而对外做功
相同点	两者都是电磁感应现象，都遵循楞次定律，都是由安培力阻碍引起感应电流的磁场与导体间的相对运动	

注意：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——导体的运动速度小于磁场的运动速度。

迁移应用

5. 多选题 如图所示，把一个闭合线框放在蹄形磁体的两磁极之间，蹄形磁体可以绕竖直轴转动，闭合线框也可以绕竖直轴转动，当蹄形磁体逆时针（从上往下看）转动时，有关线圈的运动说法正确的是（ ）

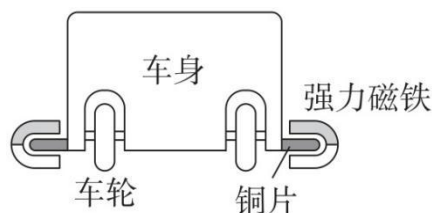


- A. 线圈将顺时针（从上往下看）转动 B. 线圈将逆时针（从上往下看）转动
C. 线圈转速与磁铁相同 D. 线圈转速比磁铁的小

【答案】BD

【解析】转动磁铁时，穿过线圈的磁通量改变，从而产生感应电流，线圈受到安培力，使得线圈转动，根据楞次定律可知，为阻碍磁通量的变化，线圈的转动方向与磁铁转动方向相同，且转速比磁铁的小。故选 B、D。

6. [2024 广东广州高二期末]磁力刹车是游乐场中过山车采用的一种新型刹车装置。该刹车装置的原理图（从车后朝前看）如图所示，停车区的轨道两侧装有强力磁铁，当过山车进入停车区时铜片从强力磁铁间穿过，车很快停下来。关于该装置的刹车原理，下列判断错误的是（ ）



- A. 过山车进入停车区时其动能转化成电能
- B. 把铜片换成有机玻璃片，也能达到相同的刹车效果
- C. 过山车进入停车区的过程中两侧的铜片中会产生感应电流
- D. 过山车进入停车区的过程中铜片受到的安培力使过山车减速

【答案】B

【解析】过山车进入停车区时铜片从强力磁铁间穿过，铜片切割磁感线产生感应电流，停车区的轨道两侧安装的强力磁铁产生的磁场对铜片有安培力的作用，铜片所受安培力是阻力，使过山车减速，故 C、D 正确，不符合题意；根据上述分析可知，铜片所受安培力做负功，过山车进入停车区时其动能转化成电能，故 A 正确，不符合题意；有机玻璃片不是导体，当其进入停车区从强力磁铁间穿过时，不能发生电磁感应现象，达不到同样的刹车效果，故 B 错误，符合题意。