

# 金属环在超强磁场中的收缩现象

刘智民

(中国科学院等离子体物理研究所 合肥 230031)

超强磁场通常是指磁场强度达到百特斯拉(1 特斯拉 =  $10^4$  高斯)领域的脉冲强磁场。在这样的极端条件下,可能发生在平常条件下无法观察到的物理现象。运用物理学原理,能够解释这些现象发生的原因,物理学工作者的目的就是通过这些现象来观察和认识物质世界。

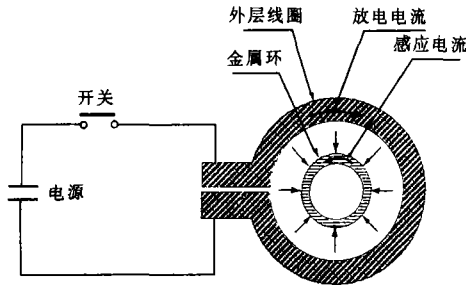


图1 脉冲超强磁场的发生原理

由电磁感应原理可知(图1),在一匝线圈内部放入同轴向的闭金属环,当线圈上流过脉冲电流时,金属环为了阻止脉冲电流在其内部产生磁场,环上要感应出与脉冲电流大小相等,方向相反的感生电流。受到这两个反方向电流产生的电磁力作用,金属环向内部压缩。这种利用电磁感应原理产生强磁场的方法称为电磁浓缩法。目前在实验室里利用该法产生了磁场强度达到百特斯拉领域的超强磁场,最高磁场已经超过 500 特斯拉。

在通常条件下当我们从周围用力压缩一个金属圆筒时,比如用手握紧一只铝制易拉罐,罐壁上极易出现许多皱褶,这称为屈曲现象。然而,如果处于一种极端条件下,将会出现什么样的现象呢?根据理论分析,如果线圈通电之前,预先在金属环内部注入一定的恒定磁场,当外层线圈通电后,金属环首先向内部做加速运动,

随着环内面积的减少,内部磁通密度增大,在环中心产生高磁场。该磁场在金属环上产生的感生电流将阻止金属环的收缩。受到加速力和被浓缩磁场的反作用力,金属环经过加速,匀速和减速运动后停止,随即转为反方向向外运动。这个现象被称为运动反弹。

在日本东京大学进行的上述实验中,还利用光电图像变换管高速照相机拍摄了金属环收缩现象的照片。在实际实验中,对外层线圈在数微秒的时间内通过数兆安培的脉冲大电流,内部的金属环受到巨大的电磁力加速作用,在真空中以极快的速度向内作收缩运动,最高速度可达到  $2\text{km/s}$ ,这相当于自动步枪弹丸速度的 2.5 倍。在这样的高速运动状态下,金属环壁内的介质做高速粒子运动,由此产生了大量的焦耳热量,引起金属环温度急剧上升。这种情况造成金属环表面不出现常态下的屈曲现象,而是保持着光洁整齐的状态均匀地收缩。随着时间的推移,金属环一边保持着光洁的圆筒形状一边均匀地收缩,壁厚逐渐地增加。

实际上,当金属环由减速运动到达停止状态时,环上温度已经极高,金属环由于气化而被烧蚀,无法再进行反弹运动。从拍摄的金属环收缩的照片中,可见到明亮的白热点。根据对同样亮度点的色温测量,知道热点的温度已达到 3000K,超过了金属铜环的熔点,同样可见到金属环呈现烧熔状态的样子。

理论分析和实验都表明,金属环在通电线圈内部的收缩状态是决定产生最高磁场的主要因素,亦即能够实现最高磁场与金属环的初始速度成为正比关系,对此现象的研究对于实现更高的超强磁场有着重要意义。