

浅谈物理学中的屏蔽现象

谷春生

不少人有这样的经验:在火车车厢中,如果不是靠近窗口,收音机的收听效果会大打折扣。这是为什么?原来火车车厢相当于一个大金属容器,它能阻止车厢外部的电磁波进入车厢,这就是我们通常所说的屏蔽现象。在钢筋混凝土建筑物里收看无线电视节目一般要加室外天线,否则钢筋网格的屏蔽作用也将减弱电视信号,这同样是屏蔽现象所致。

各种天然和人为的电磁波干扰还会危害人体健康,为了将电磁辐射强度减小到人体能够接受的程度,或将有害影响限制在一定空间内,必须采取各种屏蔽措施。屏蔽措施大体上可分为电屏蔽、磁屏蔽和电磁屏蔽三类,下面将简要介绍其原理。

一、电屏蔽

电屏蔽的范畴较广,这里仅介绍最简单的静电屏蔽。把一个不带电的金属导体 ABCD 放入场强为 E_0 的电场,导体内的自由电子受电场力作用将向电场的反方向移动(图 1a),使导体的 AB 面出现负电荷、CD 面出现正电荷。导体两面出现的正负电荷在导体内部产生反方向电场 E (图 1b),该电场与外电场叠加削弱导体内部电场。但是只要导体内部场强不为零,自由电子就会在电场力作用下继续移动,导体两面的正负电荷随之进一步增多、导体内部电场随之进一步减弱,直到导体内部各点的合场强都等于零时为止。这时导体内的自由电子不再定向移动(图 1c),导体中(包括表面)没有电荷定向移动的状态叫做静电平衡状态,处于静电平衡状态的导体内部场强处处为零。

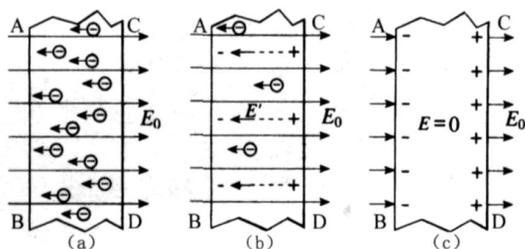


图 1

把一个实心导体挖空,变成一个导体壳,壳内场强在静电平衡状态下仍处处为零,导体包围的区域就不再受外部电场影响,这种现象叫做静电屏蔽。法拉第曾做过一个著名实验,他钻进一个金属笼中,

任凭怎样电击网笼,法拉第都安然无恙。为纪念法拉第的伟大创举,这个金属网笼被称为法拉第笼。实验证明:不光导体壳,就连金属网罩都能起到静电屏蔽作用。进一步的研究还表明:不接地的导体壳或金属网罩只能屏蔽外部电场,使其内部不受外电场干扰;而接地的导体壳或金属网罩既能屏蔽外部电场,又能屏蔽内部电场,使其外部也不受内电场干扰,这就是内外双屏蔽现象。

静电屏蔽有着重要的实际用途:有的电学仪器和电子设备外部套有金属罩,有的通信电缆外包有一层铅皮,有线电视的信号传输线外面则包着金属网筒……这都是用来屏蔽外界电场的。

二、磁屏蔽

如图 2,用磁导率 μ 很高的铁磁材料制成屏蔽罩,罩与空腔则可看作两个并联的磁阻,由于空腔的磁导率 $\mu_0 \gg \mu$,其磁阻远大于屏蔽罩的磁阻,所以外部的磁感线绝大部分穿过屏蔽罩而不进入空腔。要想获得更好的屏蔽效果,可使用较厚的屏蔽罩或采用多重屏蔽罩(一个套一个),因此效果良好的铁磁屏蔽罩一般都比较笨重。

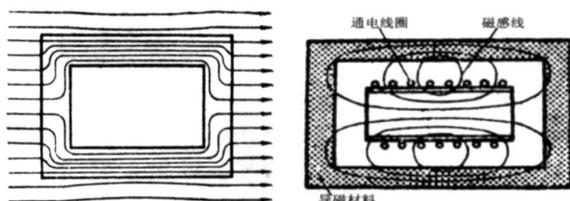


图 2 铁磁屏蔽

图 3

实际应用中一般以磁导率很高的材料制成容器,把产生干扰的部分(或易受干扰的部分)包起来,将磁场(磁感线)限制或集中在磁阻很小的屏蔽体内(或不能进入屏蔽体内)。图 3 就是用铁氧体或坡莫合金等高磁导率材料制成的壳体容器,通电线圈产生的磁场受壳体限制无法辐射出去,从而防止其磁场干扰外界,也使其免受外界磁场干扰。一些电信设备还常用磁盒将线圈密封起来,效果更好(图 4)。一般软磁性材料,如电工钢板甚至低碳钢板(俗称软铁板)等,也都具有较好的导磁能

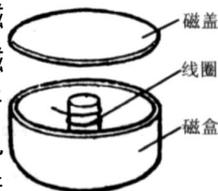


图 4

力,而且成本低廉,因此有些电源变压器的磁屏蔽措施是以加厚电工钢板制成的壳体包裹。

磁屏蔽不同于电屏蔽,即使以导磁金属材料作为屏蔽壳,壳体接地与否也不会影响屏蔽效果,但是要求金属材料磁导率要高。从屏蔽原理来看,如果以导磁良好的材料作为变压器铁芯,将绝大部分磁感线集中于磁路内,实际上也起到了屏蔽作用,这时就不必非加屏蔽壳不可。

三、电磁屏蔽

工作于高频的电路或器件周围存在着交变电磁场(即电磁波辐射),而且交变电流频率越高、幅度越大,电磁辐射就越厉害,对周围电路的影响也就越大。由于这种高频电磁辐射既有变化的电场、又有变化的磁场,两者密不可分,所以这时就应采取电磁屏蔽措施。

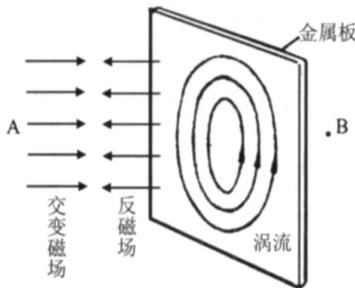


图5

用于电磁屏蔽的材料都是低电阻金属材料,被屏蔽的电路或器件用屏蔽容器密封起来,利用金属材料在高频电磁场中产生的涡流起到屏蔽作用。如图5,假设A处有高频电磁场(图中只画了磁场),为减少它对B处的干扰,在A、B间加入金属板。此板垂直于交变磁场方向,使金属板感应出涡流。当原交变磁场增强时,感应出的涡流会产生与原磁场方向相反的反磁场,金属板电阻越小、涡流越大,反磁场越强。由于反磁场抵消了原磁场,大大削弱了B处的交变磁场,金属板就这样起到了屏蔽作用。若把金属板制成壳体容器,把A或B处的电路包起来,屏蔽效果会更好。当原高频交变磁场减弱时,感生涡流产生的磁场与原磁场方向相同,阻碍原磁场减弱(阻碍不是阻止),A、B间的合磁场会很快大幅度减弱,故不会干扰B处区域。

虽然这是从屏蔽交变磁场角度来说明的,但因为高频电磁辐射中的电场、磁场相互感应,所以削弱辐射磁场就是屏蔽电磁辐射。显然,我们并未要求

屏蔽物接地,因为涡流在金属板上流通,与接地与否无关。为了减小涡流损耗,金属材料的电阻率越小越好。如果再把屏蔽物接地,那就兼有电屏蔽作用,所以高频电路的屏蔽壳体总是接地的。

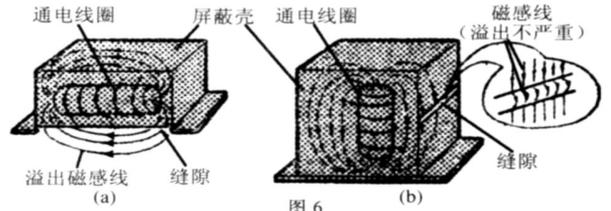


图6

最后,我们来谈谈屏蔽壳的孔洞和缝隙问题。被屏蔽的无线电电路或器件,有的需要调整,不需要调整的也要有引出线与其他电路连接,这就需要屏蔽壳留有孔洞或缝隙。这些孔洞或缝隙是否会影响屏蔽效果呢?从电屏蔽的原理可知,小孔洞对电容量影响不大,所以不会影响电屏蔽效果。而磁屏蔽则不然,如果缝隙和磁感线平行,就会导致磁感线外溢(图6a)破坏屏蔽作用。只有缝隙较小或与磁感线垂直时,才能保证屏蔽效果(图6b)。

(安徽省阜阳市第三中学 236006)

封三照片说明

5月19日第三届“中国科学院公众科学日”活动开幕,中国科学院高能物理研究所此次活动的主题是“撞出物质奥秘,展现高能魅力”,正在紧张进行加速器调试的北京正负电子对撞机重大改造工程为此停机一天向公众免费开放。

工作在一线的科研专家做了《漫谈对撞机》《中国开始黑洞探测之旅》《大亚湾反应堆中微子实验》《核分析技术考古简介》等精彩的科普报告,参观者还观看了介绍北京正负电子对撞机的录像。

北京正负电子对撞机重大改造工程模型、直线加速器、束流输运线、储存环双环隧道及中央控制室、同步辐射实验室、北京谱仪、核分析技术重点实验室和粒子天体物理重点实验室等丰富的参观内容,使公众能与世界一流大科学装置“亲密接触”,感受我国前沿科技的壮观与神奇。

据悉,中国科学院每年5月都会举行“公众开放日”,向广大市民敞开大门,传播科普知识。

(李博文)