

## 教学拓展

## 疑难问题解析

## 静电屏蔽与电磁屏蔽

刘倩 艾丽娜

(石家庄理工职业学院 河北 石家庄 050000)

(收稿日期:2019-09-04)

**摘要:**全面讨论了静电屏蔽和电磁屏蔽的屏蔽机理,从本质上分析了静电屏蔽与电磁屏蔽的不同,即静电屏蔽屏蔽的是静电场,金属腔或者金属网.在外电场的作用下处于静电平衡后腔内场强为零,使腔内空间不受外电场的影响,且接地的金属腔外部的电场不会受到腔内电场的影响;电磁屏蔽是金属导体对电磁波的吸收和反射,得出孕妇防辐射服有一定作用的结论;电磁干扰是屏蔽器发出同频率段的电磁波,从而对基站发出的电磁波进行干扰,对手机信号达到一个屏蔽的效果.

**关键词:**静电屏蔽 电磁屏蔽 电磁干扰 静电场 电磁波

## 1 引言

“屏蔽”一词在课堂上还有生活中经常听到并且被讨论,在许多期刊中也有不少文章探讨了静电屏蔽、电磁屏蔽,还有静电屏蔽与电磁屏蔽的区别<sup>[1~3]</sup>,但是在上课还有听课过程中发现学生甚至是有些教师对静电屏蔽以及电磁屏蔽理解得不够透彻,有些杂志中的文章对此讨论得也不是太全面.本文首先根据静电屏蔽的概念,从壳内电场和壳外电场两方面分析了金属导体壳对外部电场的屏蔽以及接地金属壳对壳内电场的屏蔽作用,并且给出了直观的示意图形.然后分析了金属对电磁波屏蔽的实质:对电磁波的吸收和反射.又讨论了容易让人们与电磁屏蔽混淆的信号屏蔽仪对手机信号屏蔽的实质:电磁波干扰.

## 2 静电屏蔽

在静电场的作用下,导体中的电荷发生宏观定向移动,在导体内部形成一个反向的附加电场,达到静电平衡时,导体内部的场强为零.静电屏蔽现象是对于一个有空腔的导体壳,导体无论是否接地,其内部电场不受外界电场的影响,而接地的导体壳外部

电场不受内部电荷的影响<sup>[2,4]</sup>.

## 2.1 壳内电场

日常生活中我们会见到高空作业的人穿着金属网制作的高压服在高压线上工作,笼中的鸟儿即使在很强的电场中也不会受到伤害,为了使精密电磁测量仪不受外界杂散电场的干扰,通常在仪器外面加上金属外壳或金属网,这些都是由于静电屏蔽的结果.如图1所示,金属导体空腔外有一正电荷带电 $q$ ,外壳会因静电感应产生感应电荷,达到静电平衡后,空腔为一等势体,所以腔内各点的电场强度为零,这是空腔外部电荷和外壳感应电荷共同作用的结果.导体表面的场强<sup>[4]</sup>为 $E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ,由于腔内 $E=0$ ,可知内表面壳内壁 $\sigma=0$ ,即壳内表面不带电.对于空腔内部,空腔导体起到了一个保护作用,腔内的电场不受外部电场的影响.

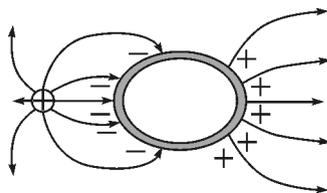


图1 导体腔外有电荷时电场分布

## 2.2 壳外电场

中性金属导体腔内放入电荷 $+q$ ,导体空腔不接地,那么内壁的感应电荷为 $-q$ ,外壁的感应电荷为 $+q$ ,外壁会在外部空间产生电场,如图2所示.这是壳内电荷间接作用的结果.所以对于不接地的导体腔,内部场强会对壳外空间产生影响.

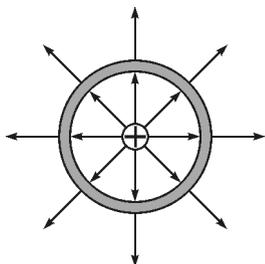


图2 腔内放入正电荷场强分布(壳不接地)

导体腔内放入电荷 $+q$ ,导体空腔接地.由于静电平衡后的导体壳是等势体,又由于导体壳接地,所以导体壳外的整个区域为等势区,外壳的感应电荷随接地线流入大地,外部场强为零<sup>[4,5]</sup>,如图3所示.即接地的导体空腔外部的电场不受内部电场的影响.

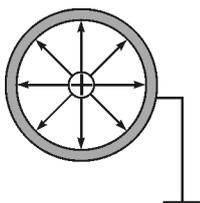


图3 腔内放入正电荷场强分布(壳接地)

导体空腔外部有电荷 $+q$ ,导体空腔外壳接地,空腔内分别不放电荷、放入电荷 $+q$ 、放入电荷 $-q$ ,用唯一性定理可以证明<sup>[4,7]</sup>,外壳接地后,壳外电场不受壳内电荷的影响,如图4、图5、图6所示,不管壳内电荷情况如何,壳外电场只由壳外的电荷决定.

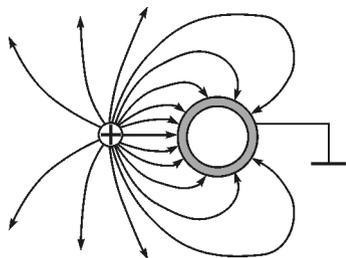


图4 接地导体腔(壳内无电荷)壳外场强分布

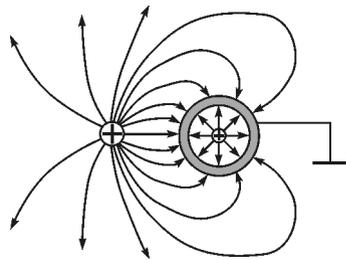


图5 接地导体腔(壳内有正电荷)壳外场强分布

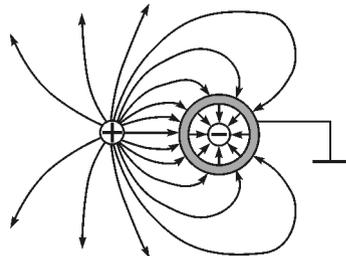


图6 接地导体腔(壳内有负电荷)壳外场强分布

由以上情况可知,接地的封闭金属导体壳外部的电场不受内部电荷的影响,屏蔽了壳内电场.比如高压设备外部有很强的电场,通常会把它的外壳接地,使其不影响其他仪器正常工作,起到屏蔽的作用.

## 3 电磁屏蔽

### 3.1 导体对电磁波的吸收

电磁波是变化的电场与磁场相互激发形成的,金属导体对电磁波也具有屏蔽作用,但是其电磁屏蔽与静电屏蔽有着不同的屏蔽机制.导体中的电磁波为

$$E = E_0 e^{-\alpha x} e^{i(\beta x - \omega t)} \quad (1)$$

式中 $\alpha$ 为衰减常数,描述波幅的衰减.导体内有自由电子,电子在电磁波场的作用下形成传导电流,电流会产生焦耳热,这样产生的焦耳热使电磁波的能量不断损耗.所以,入射进导体内部的电磁波是一种衰减波,由于有衰减因子,电磁波只能透入导体表面薄层内<sup>[7]</sup>.穿透深度为

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (2)$$

由式(2)可知穿透深度与电导率及频率的平方根成反比,对于生活中常见的金属来说,高频电磁波在金属中的穿透深度大都在 $10^{-5}$  m以上,例如,当100 MHz的电磁波入射到金属铜表面时,根据式(2)可

计算出穿透深度约为  $7 \times 10^{-6}$  m, 即便当电磁波频率为 50 Hz 时, 穿透深度为也仅 9 mm, 所以一般的金属厚度即可对较宽范围的电磁波达到屏蔽的效果。

### 3.2 导体对电磁波的反射

电磁波入射到金属表面上除了在金属表层转化为焦耳热损耗掉以外, 一部分的电磁波还会反射出去<sup>[7]</sup>, 反射系数为

$$R \approx 1 - 2 \sqrt{\frac{2\omega\epsilon_0}{\sigma}} \quad (3)$$

电导率越高, 反射系数越接近于 1, 对于金属, 在微波或无线电波入射时, 电磁波的大部分能量都会被反射出去, 这样金属就起到了屏蔽的作用。

基于以上的讨论我们知道, 密闭的金属导体可以达到屏蔽部分频率电磁波的效果, 但是网状的金属、钢筋混凝土结构的房子等对电磁波是没有屏蔽效果的, 这也就是为什么把手机放到密闭的金属容器中没有信号, 而在金属笼、楼房、电梯中却能接通电话。再有就是近几年争论比较大的“孕妇穿的防辐射服到底有没有效果”, 根据静电屏蔽的原理我们知道, 防辐射服中有金属, 所以可以屏蔽静电场。而对于日常所用的手机、电脑等, 辐射出来的都是电磁波, 根据电磁屏蔽的原理, 若防辐射服只是网状金属丝, 那么就不会屏蔽电磁波, 穿防辐射服是没有效果的。不过近年来制作防辐射服的技术一直在改良, 所以防辐射服若质量达标, 选择合适的款式且贴身穿着, 还是能起到屏蔽部分电磁波的作用<sup>[8]</sup>, 而不是像有的文章中所提到的一点作用也没有。

### 3.3 电磁干扰

还有一种被称为电磁“屏蔽”的是当前流行的手机信号屏蔽器。但是这种“屏蔽”原理和上述文中提到的电磁波屏蔽是完全不同的原理。手机信号屏蔽器对电磁波的“屏蔽”准确的说应该被称为电磁干扰。手机通话是由射频部分、逻辑部分以及电源部分 3 部分协调工作完成的, 通话时手机把语言信号转化为电磁信号发送到通信网络的基站, 基站再将此信号发送到运营商的交换网络, 然后通过目标所在地的基站传递给目标手机。手机信号屏蔽器会发射电磁波信号, 频率范围段为 869 ~ 894 MHz, 925 ~ 960 MHz, 1 780 ~ 1 920 MHz 以及 2 010 ~

2 145 MHz, 覆盖了三大运营商各种制式的不同频率段。工作过程中的屏蔽器以一定的扫描速度从前向信道的低端频率向高端扫描。该扫描速度可以在手机接收报文信号中形成乱码干扰, 形成一个立体的屏蔽区域, 这样手机就不能检测出从基站发出的电磁波信号, 从而手机与基站不能建立联接。

## 4 结论

静电屏蔽与电磁屏蔽是两个不同的概念: “静电屏蔽”屏蔽的是静电场, 无论外界场强如何, 金属导体腔或者金属网内部的场强为零, 会对放入腔内的物体起到一个保护作用, 使其不受外界静电场的干扰, 若把导体接地, 不论腔内的静电场如何, 都不会影响腔外的电场分布, 即接地导体腔对腔内静电场起到了屏蔽的作用, 使其不影响腔外电场的分布; “电磁屏蔽”是金属导体对辐射来的电磁波进行吸收(金属内电子形成传导电流产生焦耳热)和反射, 所以网状的金属对电磁波是没有屏蔽作用的。另外手机信号“屏蔽”器对电磁波的“屏蔽”实质是对电磁波进行干扰, 屏蔽器发出与手机信号相同频率段的电磁波, 在手机接收信号中形成乱码干扰, 使手机失去与基站的联系, 达到一个“屏蔽”信号的效果。

## 参考文献

- 1 李奕池. 静电屏蔽物理原理分析与解读[J]. 物理通报, 2019(5):117 ~ 118
- 2 陶聪燕. “静电现象的应用”教学中促进深度理解的几点思考[J]. 物理通报, 2019(4):44 ~ 46
- 3 沈华嘉, 江俊勤. 导体球面感应电荷的电场与静电屏蔽[J]. 物理教师, 2017, 38(5):66 ~ 69
- 4 梁灿斌, 秦光戎, 等. 电磁学[M](第2版). 北京: 高等教育出版社, 2004. 55 ~ 58
- 5 吴寿宠. 高中生静电学错误概念和思维策略研究——以导体的静电屏蔽为例[J]. 物理教师, 2018, 39(10): 23 ~ 27
- 6 章策. 静电屏蔽物理原理分析与解读[J]. 高考, 2019(3):274 ~ 274
- 7 郭硕鸿. 电动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997. 57 ~ 60, 153 ~ 156
- 8 张鹏, 顾昊, 李卫东, 等. 不同款式孕妇防辐射服的屏蔽效能研究[J]. 产业用纺织品, 2018, 36(3):31 ~ 35