

对于许多人而言，低频磁场干扰是一种最难对付的干扰，这种干扰是由直流电流或交流电流产生的。例如，由于炼钢的感应炉中有数万安培的电流，会在周围产生很强的磁场，这个强磁场会使控制系统中的磁敏感器件失灵，最常见的磁敏感设备是彩色 **CRT** 显示器。在磁场的作用下，显示器屏幕上的图象会发生抖动、图象颜色会失真，导致显示质量严重降低，甚至无法使用。低频磁场往往随距离的衰减很快，因此在很多场合，将磁敏感器件远离磁场源是一个减小磁场干扰的十分有效的措施。但当空间的限制而无法采取这个措施时，屏蔽是一个十分有效的措施。但要注意的是，低频磁场屏蔽与与射频屏蔽是完全不同的，射频屏蔽可以用铍铜复合材料、银、锡或铝等材料，但这些材料对磁场没有任何屏蔽作用。只有高导磁率的铁磁合金能屏蔽磁场。

1.基本原理

根据电磁屏蔽的基本原理，低频磁场由于其频率低，趋肤效应很小，吸收损耗很小，并且由于其波阻抗很低，反射损耗也很小，因此单纯靠吸收和反射很难获得需要的屏蔽效能。对这种低频磁场，要通过使用高导磁率材料提供磁旁路来实现屏蔽，如图 1 所示。由于屏蔽材料的导磁率很高，因此为磁场提供了一条磁阻很低的通路，因此空间的磁场会集中在屏蔽材料中，从而使敏感器件免受磁场干扰。

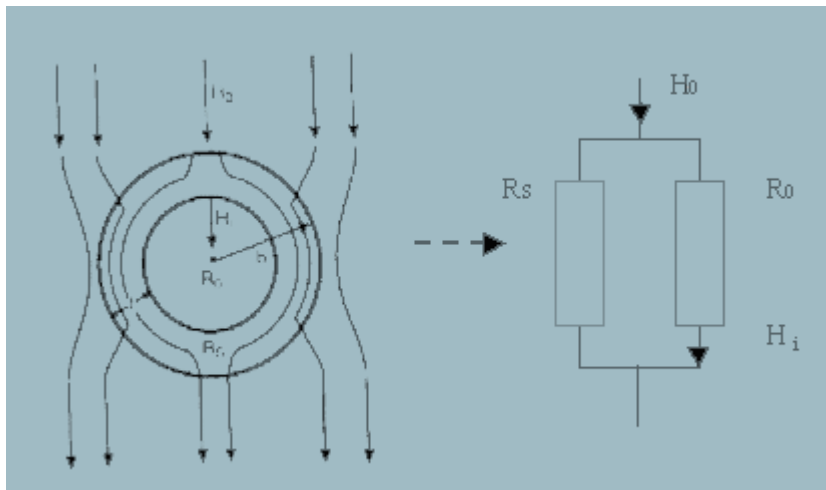


图 1 高导磁率材料提供了磁旁路，起到屏蔽作用

从这个机理上看，显然屏蔽体分流的磁场分量越多，则屏蔽效能越高。根据这个原理，我们可以用电路的计算方法来计算磁屏蔽效果。用两个并联的电阻分别表示屏蔽材料的磁阻和空间的磁阻，用电路分析的方法来计算磁场的分流，由此可以计算屏蔽效果。

计算屏蔽效果

$$H_i = H_0 R_s / (R_s + R_0)$$

式中：

H_i = 屏蔽体内的磁场强度

H_0 = 屏蔽体外的磁场强度

R_s = 屏蔽体的磁阻

R_0 = 空气的磁阻

磁阻的计算公式

$$\text{磁阻} = S / (\mu A)$$

式中：

S = 磁路长度

$\mu = \mu_0 \mu_r$

μ_r = 屏蔽材料的相对磁导率

A = 磁通流过的面积

因此圆形管子的磁阻为

$$R_s = \pi b / (\mu_0 \mu_r 2t L)$$

为了简单，设截面为正方形，
管子内空气的磁阻为：

$$R_0 = 2b / (\mu_0 2b L)$$

屏蔽效能为：

$$SE = H_0 / H_i$$

对于高导磁率屏蔽材料， $R_s \ll R_0$ ，因此，屏蔽效能为：

$$SE = R_0 / R_s = 2.3 t / \mu b$$

从公式中可以看出，屏蔽材料的导磁率越高、越厚，则屏蔽效能越高。另外， b 越小，屏蔽效能越高，这意味着，屏蔽体距离所保护的空間越近，则效果越好。

低频电磁场的屏蔽分析 2

2. 基本概念

磁场强度 (H)：	单位是奥斯特，与磁场源的强度和距离有关
磁通密度 (B)：	单位是高斯，度量穿过每平方厘米的磁力线数量，与源的方向有关
磁导率 (μ)：	表征材料为磁力线提供通路的能力， $\mu = B / H$
饱和强度：	在饱和强度下，材料不能再通过多余的磁力线
磁阻 (R)：	表征材料对通过磁通的阻碍特性，定义为： $R = L / \mu A$ ，L 是磁通路径长度 (cm)，A 截面面积 (cm ²)

3. 屏蔽材料

如前所述，磁屏蔽需要高导磁率材料，满足这种要求的材料是铁镍合金，这种材料具有很高的磁导率。一种常用的合金的化学成分如表 1 所示。这种材料

在正确热处理的条件下，起始磁导率（直流，磁通密度为 40 高斯）可达到 60,000，最高磁导率可达到 400,000。

表 1

成分	Ni	Mo	Mn	Si	Fe
数量(%)	80	4.2	0.5	0.35	其余

磁导率并不是固定不变的，它会随外加磁场、频率等变化。磁导率随频率的变化如图 2 所示。从图中可以看出，不同厚度的材料的频率特性也不一样，较厚的材料磁导率随频率下降更快一些。

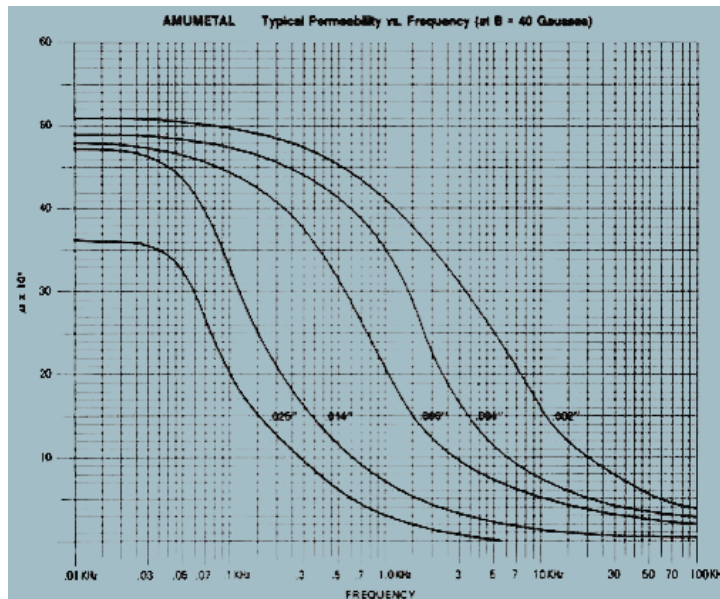


图 2 磁导率与频率关系

磁导率还与外加磁场强度有关，当外加磁场强度较低时，磁导率随外加磁场的增加而升高，当外加磁场强度超过一定值时，磁导率急剧下降，这时称材料发生了饱和，典型高导磁率材料的磁导率随外加磁场的变化如图 3 所示。材料一旦发生饱和，就失去了磁屏蔽作用。材料的磁导率越高，越容易饱和。因此，在很强的磁场中，磁导率很高的材料可能并没有良好的屏蔽效能。在选材料时，关键点一是选择同时具有适当饱和特性和足够磁导率的材料。表 2 给出了一些常用合金的磁特性。

表 2

材料	饱和强度 (高斯)	磁导率	
		最高	起始
磁合金 (80%镍)	8,000	400,000	60,000
磁合金 (48%镍)	15,000	150,000	12,000
硅钢	20,000	5,000	3,000
碳钢	22,000	3,000	1,000

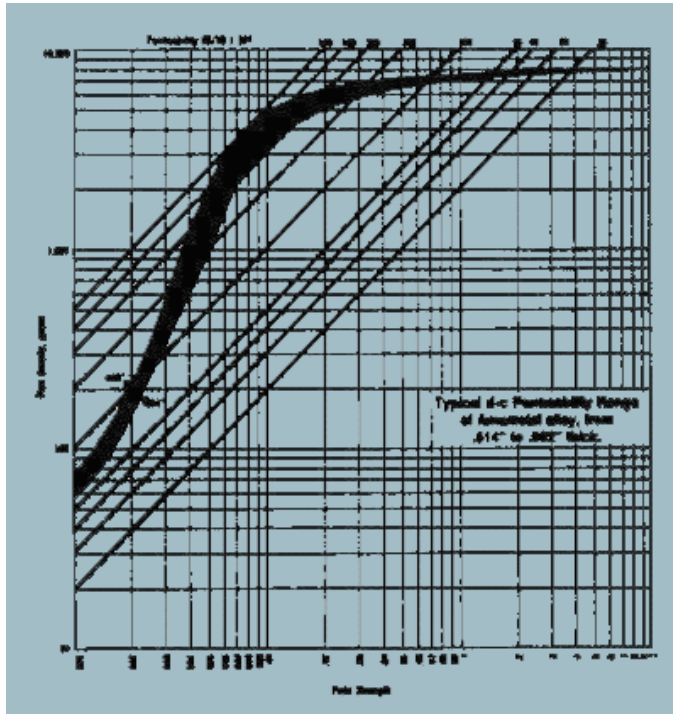


图 3 常用高磁导率的磁导率与外加磁场的关系

低频电磁场的屏蔽分析 3

4. 注意事项

高导磁率材料在机械冲击的条件下会极大地损失磁性，导致屏蔽效能下降。因此，屏蔽体在经过机械加工后，如敲击、焊接、折弯、钻孔等，必须经过热处理以恢复磁性。热处理要在特定条件下进行，一般要在干燥氢气炉中以一定的速率加热到 1177°C ，保持 4 个小时，然后以一定的速率降温到室温。由于热处理的条件极其严格，因此最好是委托材料厂家进行屏蔽体的加工，在工件完成后，进行热处理。如果，用户一定要自己加工，记住要按照材料厂家提出的条件对屏蔽体进行热处理，以获得最佳屏蔽效能，最理想的方法是将工件寄到厂家进行热处理。

在对拼接处进行焊接时，要使用屏蔽材料母料做焊接填充料，这样可以保证焊缝处的高导磁率。如果屏蔽效能要求较低，也可以采用点焊或铆接的方式固定，但要注意拼接处的屏蔽材料要有一定的重叠，以保证磁通路上较小磁阻。

当需要屏蔽的磁场很强时，仅用单层屏蔽材料，不是达不到屏蔽要求，就是会发生饱和。这时，一种方法是增加材料的厚度。但更有效的方法是使用组合屏蔽，将一个屏蔽体放在另一个屏蔽体内，它们之间留有气隙。气隙内可以填充任何非导磁率材料做支撑，如铝。组合屏蔽的屏蔽效能比单个屏蔽体高得多，因此组合屏蔽能够将磁场衰减到很低的程度。

5. 实际应用

计算机的 CRT 显示器受到磁场干扰而发生图象扭曲、失真、滚动等现象是最常见的磁干扰现象。对这种干扰，最有效的方法是将显示器屏蔽起来。屏蔽有两种方法，一种是仅对显象管屏蔽，如图 4 所示，另一种是对整个显示器屏蔽，如图 5 所示。

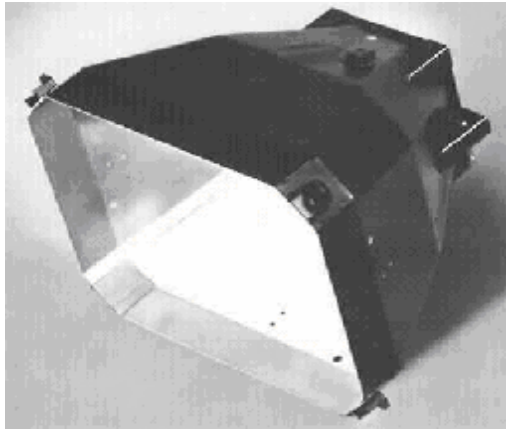


图 4 显象管屏蔽罩



图 5 显示器屏蔽罩

根据前面所述的磁屏蔽理论，屏蔽体将要保护器件包的越紧，则屏蔽效果越好。因此，仅将显象管屏蔽起来方法屏蔽效果更好。但这需要将显示器拆开，重新安装屏蔽，不是一般条件下可以做的。并且，这种方法中使用的屏蔽罩往往需要按照显象管的实际尺寸订做，成本很高。在实际中，将显示器整体屏蔽起来是更加实用的方法。当显示器发生了磁场干扰时，用户只要采购一台标准的显示器屏蔽罩就可以解决问题了。

当磁场不是很强时，仅用一块高导磁率材料遮挡一下也能够解决问题。例如，在一个办公区域中，使用着大约 **20** 多台工作站，其中有几台的屏幕发生了抖动。调查表明，干扰源是在显示器正下方的电力电缆。电缆中的电流每相仅有 **30** 安培，结果是，在显示器处测量的磁场强度超过了 **70** 毫高斯。解决的方法是在地板，显示器与电缆之间，放置一块高导磁率屏蔽材料，然后在屏蔽材料上盖一块

地毯，如图 6 所示。

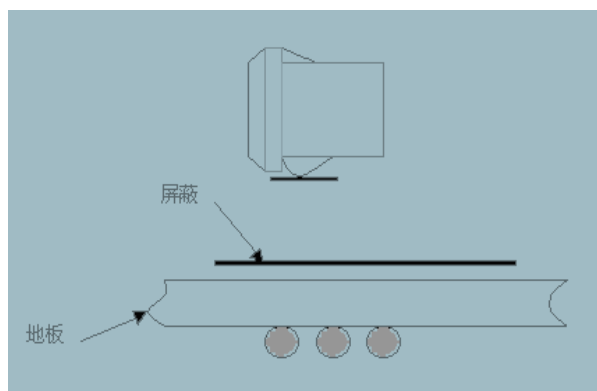


图 6 高导磁率材料能遮挡磁场

在办公室的另一位置，由于靠近配电盘，两台工作站的显示器必须进行屏蔽。