

概述：磁性是物质的基本属性之一。磁性现象是与各种形式的电荷运动相关联的，由于物质内部的电子运动和自旋会产生一定大小的磁场，因而产生磁性。一切物质都具有磁性。自然界的按磁性的不同可以分为顺磁性物质，抗磁性物质，铁磁性物质，反铁磁性物质，以及亚铁磁性物质，其中铁磁性物质和亚铁磁性物质属于强磁性物质，通常将这两类物质统称为磁性材料。...

磁性材料的分类，性能特点和用途：

1 铁氧体磁性材料，一般是指氧化铁和其他金属氧化物的符合氧化物。他们大多具有亚铁磁性。特点：电阻率远比金属高，约为 $1-10^{12}$ 欧/厘米，因此涡损和趋肤效应小，适于高频使用。饱和磁化强度低，不适合高磁密度场合使用。居里温度比较低。

2 铁磁性材料：指具有铁磁性的材料。例如铁镍钴及其合金，某些稀土元素的合金。在居里温度以下，加外磁时材料具有较大的磁化强度。

3 亚铁磁性材料：指具有亚铁磁性的材料，例如各种铁氧体，在奈尔温度以下，加外磁时材料具有较大的磁化强度。

4 永磁材料：磁体被磁化后去除外磁场仍具有较强的磁性，特点是矫顽力高和磁能积大。可分为三类，金属永磁，例，铝镍钴，稀土钴，钕铁硼等。

铁氧体永磁，例，钡铁氧体，锶铁氧体，其他永磁，如塑料等。

5 软磁材料：容易磁化和退磁的材料。锰锌铁氧体软磁材料，其工作频率在 $1K-10M$ 之间。镍锌铁氧体软磁材料，工作频率一般在 $1-300MHZ$

6 金属软磁材料：同铁氧体相比具有高饱和磁感应强度和低的矫顽力，例如工程纯铁，铁铝合金，铁钴合金，铁镍合金等，常用于[变压器](#)等。

7 损耗角正切：他是串联复数磁导率的虚数部分与实数部分的比值，其物理意义为磁性材料在交变磁场的每周期中，损耗能量与储存能量的 2π 之比。

8 比损耗角正切：这是材料的损耗角正切与起始导磁率的比值。

9 温度系数：在两个给定温度之间，被测的变化量除以温度变化量。

10 磁导率的比温度系数：磁导率的温度系数与磁导率的比值。

11 居里温度：在此温度上，自发磁化强度为零，即铁磁性材料（或亚磁性材料）由铁磁状态（或亚铁磁状态）转变为顺磁状态的临界温度。

术语： ..

1 饱和磁感应强度：（饱和磁通密度）磁性体被磁化到饱和状态时的磁感应强度。在实际应用中，饱和磁感应强度往往是指某一指定磁场（基本上达到磁饱和时的磁场）下的磁感应强度。 ..

2 剩磁感应强度：从磁性体的饱和状态，把磁场（包括自退磁场）单调的减小到 0 的磁感应强度。 ..

3 磁通密度矫顽力，他是从磁性体的饱和磁化状态，沿饱和磁滞回线单调改变磁场强度，使磁感应强度 B 减小到 0 时的磁感应强度。 ..

4 内禀矫顽力：从磁性体的饱和磁化状态使磁化强度 M 减小到 0 的磁场强度。 ..

5 磁能积：在永磁体的退磁曲线上的任意点的磁感应强度和磁场强度的乘积。 ..

6 起始磁导率：磁性体在磁中性状态下磁导率的极限值。 ..

磁性材料的命名方法： ..

由 4 部分组成： ..

1 材料类别：以汉语拼音的第一个字母表示，R—软磁，Y—永磁，X—旋磁，J—矩磁，A—压磁。 ..

2 材料的性能，用数字表示。3 材料的特征以汉语拼音表示。4 序号。 ..

第三部分的特征代号：（仅限于软磁材料） ..

Q—高 Q B—高 BS U—宽温度范围 X—小温度系数 H—低磁滞损耗 F—高使用频率 D—高密度 T—高居里温度 Z—正小温度系数 ..

铁氧体零件的命名方法： ..

1 零件的用途和形状，以拼音或英文表示。 ..

2 区别第一部分相同而形状不同的零件，以汉语拼音字母表示。 ..

3 零件的规格，以零件的特征尺寸或序号表示。 ..

4 材料牌号，零件的等级或使用范围。 ..

常用磁环的实测数据： ...

在以下测试中，均以 401ALCR 测试仪 SER/1KHZ 档常温测试，以 0.1*15 芯 30cm 导线平绕 3 圈测得值。各取样本 10 个取平均值，可供参考。 ...

30*18*12 磁环： ...

电感量平均值为：99.5mh 最大正误差：+25%最大负误差：-36.5%Q 平均值为：19.8 最大正误差：+22%最大负误差：-27.5% ...

48*28*12 铁环： ...

电感量平均值为：584uh 最大正误差：+10%最大负误差：-17%Q 平均值为：0.633 最大正误差：+10%最大负误差：-10.4% ...

58*38*12 铁环： ...

电感量平均值为：381uh 最大正误差：+11%最大负误差：-14.7%Q 平均值为：0.714 最大正误差：+11%最大负误差：-8.8% ...

磁环工艺特性试验：（1999 年 12 月 5 日） ...

在本例试验中采用 58*38*12 铁环 10 个批量跟踪试验的方法，求出磁环在浸漆，高温，等情况下对性能的影响。（0.15*15 3 扎，ser/1khz） ...

1 浸漆前：时间：10：00 电感平均值：381.23uh Q 平均值：0.7142 ...

2 浸漆后：时间：14：00 电感平均值：391.99uh Q 平均值：0.7071 ...

3 高温 65 度：时间：15：30 电感平均值：393.21uh Q 平均值：0.7024 ...

4 复测：时间：16：40 电感平均值：392.64uh Q 平均值：0.7067 ...

总结： ...

浸漆后 H 值上升 2.8% Q 值下降 0.99% ...

在高温下 H 值继续上升 0.3% Q 下降 0.66% ...

复测稳定性为：H 值继续上升 0.02% Q 下降 0.05%

磁性材料的基本特性

1. 磁性材料的磁化曲线

磁性材料是由铁磁性物质或亚铁磁性物质组成的，在外加磁场 H 作用下，必有相应的磁化强度 M 或磁感应强度 B，它们随磁场强度 H 的变化曲线称为磁化曲线（M~H 或 B~H 曲线）。磁化曲线一般来说是非线性的，具有 2 个特点：磁饱和现象及磁滞现象。即当磁场强度 H 足够大时，磁化强度 M 达到一个确定的饱和值 M_s ，继续增大 H， M_s 保持不变；以及当材料的 M 值达到饱和后，外磁场 H 降低为零时，M 并不恢复为零，而是沿 $M_s M_r$ 曲线变化。材料的工作状态相当于 M~H 曲线或 B~H 曲线上的某一点，该点常称为工作点。

2. 软磁材料的常用磁性能参数

饱和磁感应强度 B_s ：其大小取决于材料的成分，它所对应的物理状态是材料内部的磁化矢量整齐排列。

剩余磁感应强度 B_r ：是磁滞回线上的特征参数，H 回到 0 时的 B 值。

矩形比： B_r / B_s

矫顽力 H_c ：是表示材料磁化难易程度的量，取决于材料的成分及缺陷（杂质、应力等）。

磁导率 μ ：是磁滞回线上任何点所对应的 B 与 H 的比值，与器件工作状态密切相关。

初始磁导率 μ_i 、最大磁导率 μ_m 、微分磁导率 μ_d 、振幅磁导率 μ_a 、有效磁导率 μ_e 、脉冲磁导率 μ_p 。

居里温度 T_c ：铁磁物质的磁化强度随温度升高而下降，达到某一温度时，自发磁化消失，转变为顺磁性，该临界温度为居里温度。它确定了磁性器件工作的上限温度。

损耗 P：磁滞损耗 P_h 及涡流损耗 P_e $P = P_h + P_e = af + bf^2 + c$ $P_e \propto f^2 t^2 / \rho$ ， ρ 降低，

磁滞损耗 P_h 的方法是降低矫顽力 H_c ；降低涡流损耗 P_e 的方法是减薄磁性材料的厚度 t 及提高材料的电阻率 ρ 。在自由静止空气中磁芯的损耗与磁芯的温升关系为：

总功率耗散 (mW) / 表面积 (cm²)

3. 软磁材料的磁性参数与器件的电气参数之间的转换

在设计软磁器件时，首先要根据电路的要求确定器件的电压~电流特性。器件的电压~电流特性与磁芯的几何形状及磁化状态密切相关。设计者必须熟悉材料的磁化过程并掌握材料的磁性参数与器件电气参数的转换关系。设计软磁器件通常包括三个步骤：正确选用磁性材料；合理确定磁芯的几何形状及尺寸；根据磁性参数要求，模拟磁芯的工作状态得到相应的电气参数。

磁性材料是一种重要的电子材料。早期的磁性材料主要采用金属及合金系统，随着生产的发展，在电力工业、电讯工程及高频无线电技术等方面，迫切要求提供一种具有很高电阻率的高效能磁性材料。在重新研究磁铁矿及其他具有磁性的氧化物的基础上，研制出了一种新型磁性材料——铁氧体。铁氧体属于氧化物系统的磁性材料，是以氧化铁和其他铁族元素或稀土元素氧化物为主要成分的复合氧化物，可用于制造能量转换、传输和信息存储的各种功能器件。

铁氧体磁性材料按其晶体结构可分为：尖晶石型(MFe_2O_4)；石榴石型($R_3Fe_5O_{12}$)；磁铅石型(MFe_2O_7)；钙钛矿型($MFeO_3$)。其中M指离子半径与 Fe^{2+} 相近的二价金属离子，R为稀土元素。按铁氧体的用途不同，又可分为软磁、硬磁、矩磁和压磁等几类。

软磁材料是指在较弱的磁场下，易磁化也易退磁的一种铁氧体材料。有实用价值的软磁铁氧体主要是锰锌铁氧体 $Mn-ZnFe_2O_4$ 和镍锌铁氧体 $Ni-ZnFe_2O_4$ 。软磁铁氧体的晶体结构一般都是立方晶系尖晶石型，这是目前各种铁氧体中用途较广，数量较大，品种较多，产值较高的一种材料。主要用作各种电感元件，如滤波器、变压器及天线的磁性和磁带录音、录像的磁头。

硬磁材料是指磁化后不易退磁而能长期保留磁性的一种铁氧体材料，也称为永磁材料或恒磁材料。硬磁铁氧体的晶体结构大致是六角晶系磁铅石型，其典型代表是钡铁氧体 $BaFe_2O_7$ 。这种材料性能较好，成本较低，不仅可用作电讯器件如录音器、电话机及各种仪表的磁铁，而已在医学、生物和印刷显示等方面也得到了应用。

镁锰铁氧体 $Mg-MnFe_2O_4$ ，镍钢铁氧体 $Ni-CuFe_2O_4$ 及稀土石榴型铁氧体 $3Me_2O_3 \cdot 5Fe_2O_3$ (Me为三价稀土金属离子，如 Y^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Gd^{3+} 等)是主要的旋磁铁氧体材料。磁性材料的旋磁性是指在两个互相垂直的直流磁场和电磁波磁场的作用下，电磁波在材料内部按一定方向的传播过程中，其偏振面会不断绕传播方向旋转的现象。旋磁现象实际应用微波波段，因此，旋磁铁氧体材料也称为微波铁氧体。主要用于雷达、通讯、导航、遥测、遥控等电子设备中。

重要的矩磁材料有锰锌铁氧体和温度特性稳定的 $Li-Ni-Zn$ 铁氧体、 $Li-Mn-Zn$ 铁氧体。矩磁材料具有辨别物理状态的特性，如电子计算机的“1”和“0”两种状态，各种开关和控制系统的“开”和“关”两种状态及逻辑系统的“是”和“否”两种状态等。几乎所有的电子计算机都使用矩磁铁氧体组成高速存贮器。

另一种新近发展的磁性材料是磁泡材料。这是因为某些石榴石型磁性材料的薄膜在磁场加到一定大小时，磁畴会形成圆柱状的泡畴，貌似浮在水面上的水泡，泡的“有”和“无”可用来表示信息的“1”和“0”两种状态。由电路和磁场来控制磁泡的产生、消失、传输、分裂以及磁泡间的相互作用，即可实现信息的存储记录和逻辑运算等功能，在电子计算机、自动控制等科学技术中有着重要的应用。

压磁材料是指磁化时能在磁场方向作机械伸长或缩短的铁氧体材料。目前应用最多的是镍锌铁氧体，镍铜铁氧体和镍镁铁氧体等。压磁材料主要用于电磁能和机械能相互转换的超声器件、磁声器件及电讯器件、电子计算机、自动控制器件等。