

# 磁环分类大全

## (一). 粉芯类

### 1. 磁粉芯

磁粉芯是由铁磁性粉粒与绝缘介质混合压制而成的一种软磁材料。由于铁磁性颗粒很小（高频下使用的为 0.5~5 微米），又被非磁性电绝缘膜物质隔开，因此，一方面可以隔绝涡流，材料适用于较高频率；另一方面由于颗粒之间的间隙效应，导致材料具有低导磁率及恒导磁特性；又由于颗粒尺寸小，基本上不发生集肤现象，磁导率随频率的变化也就较为稳定。主要用于高频电感。磁粉芯的磁电性能主要取决于粉粒材料的导磁率、粉粒的大小和形状、它们的填充系数、绝缘介质的含量、成型压力及热处理工艺等。

常用的磁粉芯有铁粉芯、坡莫合金粉芯及铁硅铝粉芯三种。

磁芯的有效磁导率  $\mu_e$  及电感的计算公式为：
$$\mu_e = DL/4N^2S \cdot 10^9$$

其中：D 为磁芯平均直径（cm），L 为电感量（亨），N 为绕线匝数，S 为磁芯有效截面积（cm<sup>2</sup>）。

#### (1). 铁粉芯

常用铁粉芯是由碳基铁磁粉及树脂碳基铁磁粉构成。在粉芯中价格最低。饱和磁感应强度值在 1.4T 左右；磁导率范围从 22~100；初始磁导率  $\mu_i$  随频率的变化稳定性好；直流电流叠加性能好；但高频下损耗高。

#### (2). 坡莫合金粉芯

坡莫合金粉芯主要有钼坡莫合金粉芯(MPP)及高磁通量粉芯(High Flux)。

MPP 是由 81%Ni, 2%Mo, 及 Fe 粉构成。主要特点是: 饱和磁感应强度值在 7500Gs 左右；磁导率范围大，从 14~550；在粉末磁芯中具有最低的损耗；温度稳定性极佳，广泛用于太空设备、露天设备等；磁致伸缩系数接近零，在不同的频率下工作时无噪声产生。主要应用于 300KHz 以下的高品质因素 Q 滤波器、感应负载线圈、谐振电路、在对温度稳定性要求高的 LC 电路上常用、输出电感、功率因素补偿电路等, 在 AC 电路中常用, 粉芯中价格最贵。

高磁通粉芯 HF 是由 50%Ni, 50%Fe 粉构成。主要特点是: 饱和磁感应强度值在 15000Gs 左右；磁导率范围从 14~160；在粉末磁芯中具有最高的磁感应强度，最高的直流偏压能力；磁芯体积小。主要应用于线路滤波器、交流电感、输出电感、功率因素校正电路等, 在 DC 电路中常用，高 DC 偏压、高直流电和低交流电上用得多。价格低于 MPP。

### (3). 铁硅铝粉芯

铁硅铝粉芯由 9%Al, 5%Si, 85%Fe 粉构成。主要是替代铁粉芯, 损耗比铁粉芯低 80%, 可在 8KHz 以上频率下使用; 饱和磁感在 1.05T 左右; 导磁率从 26~125; 磁致伸缩系数接近零, 在不同的频率下工作时无噪声产生; 比 MPP 有更高的 DC 偏压能力; 具有最佳的性能价格比。主要应用于交流电感、输出电感、线路滤波器、功率因素校正电路等。有时也替代有气隙铁氧体作变压器铁芯使用。

## 2. 软磁铁氧体 (Ferrites)

软磁铁氧体是以 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为主成分的亚铁磁性氧化物, 采用粉末冶金方法生产。有 Mn-Zn、Cu-Zn、Ni-Zn 等几类, 其中 Mn-Zn 铁氧体的产量和用量最大, Mn-Zn 铁氧体的电阻率低, 为 1~10 欧姆-米, 一般在 100KHz 以下的频率使用。Cu-Zn、Ni-Zn 铁氧体的电阻率为 102~104 欧姆-米, 在 100kHz~10 兆赫的无线电频段的损耗小, 多用在无线电用天线线圈、无线电中频变压器。

磁芯形状种类丰富, 有 E、I、U、EC、ETD 形、方形(RM、EP、PQ)、罐形(PC、RS、DS)及圆形等。在应用上很方便。

由于软磁铁氧体不使用镍等稀缺材料也能得到高磁导率, 粉末冶金方法又适宜于大批量生产, 因此成本低, 又因为是烧结物硬度大、对应力不敏感, 在应用上很方便。而且磁导率随频率的变化特性稳定, 在 150kHz 以下基本保持不变。随着软磁铁氧体的出现, 磁粉芯的生产大大减少了, 很多原来使用磁粉芯的地方均被软磁铁氧体所代替。

国内外铁氧体的生产厂家很多, 分为三类基本材料: 电信用基本材料、宽带及 EMI 材料、功率型材料。

电信用铁氧体的磁导率从 750~2300, 具有低损耗因子、高品质因素 Q、稳定的磁导率随温度/时间关系, 是磁导率在工作中下降最慢的一种, 约每十年下降 3%~4%。广泛应用于高 Q 滤波器、调谐滤波器、负载线圈、阻抗匹配变压器、接近传感器。

宽带铁氧体也就是常说的高导磁率铁氧体, 磁导率分别有 5000、10000、15000。其特性为具有低损耗因子、高磁导率、高阻抗/频率特性。广泛应用于共模滤波器、饱和电感、电流互感器、漏电保护器、绝缘变压器、信号及脉冲变压器, 在宽带变压器和 EMI 上多用。

功率铁氧体具有高的饱和磁感应强度, 为 4000~5000 Gs。另外具有低损耗/频率关系和低损耗/温度关系。也就是说, 随频率增大、损耗上升不大; 随温度提高、损耗变化不大。广泛应用于功率扼流圈、并列式滤波器、开关电源变压器、开关电源电感、功率因素校正电路。

## (二). 带绕铁芯

### 1. 硅钢片铁芯

硅钢片是一种合金，在纯铁中加入少量的硅（一般在 4.5%以下）形成的铁硅系合金称为硅钢。该类铁芯具有最高的饱和磁感应强度值为 20000 高斯；由于它们具有较好的磁电性能，又易于大批生产，价格便宜，机械应力影响小等优点，在电力电子行业中获得极为广泛的应用，如电力变压器、配电变压器、电流互感器等铁芯。是软磁材料中产量和使用量最大的材料。也是电源变压器用磁性材料中用量最大的材料。特别是在低频、大功率下最为适用。常用的有冷轧硅钢薄板 DG3、冷轧无取向电工钢带 DW、冷轧取向电工钢带 DQ，适用于各类电子系统、家用电器中的中、小功率低频变压器和扼流圈、电抗器、电感器铁芯，这类合金韧性好，可以冲片、切割等加工，铁芯有叠片式及卷绕式。但高频下损耗急剧增加，一般使用频率不超过 400Hz。从应用角度看，对硅钢的选择要考虑两方面的因素：磁性和成本。对小型电机、电抗器和继电器，可选纯铁或低硅钢片；对于大型电机，可选高硅热轧硅钢片、单取向或无取向冷轧硅钢片；对变压器常选用单取向冷轧硅钢片。在工频下使用时，常用带材的厚度为 0.2~0.35 毫米；在 400Hz 下使用时，常选 0.1 毫米厚度为宜。厚度越薄，价格越高。

## 2. 坡莫合金

坡莫合金常指铁镍系合金，镍含量在 30~90%范围内。是应用非常广泛的软磁合金。通过适当的工艺，可以有效地控制磁性能，比如超过十万的初始磁导率、超过一百万的最大磁导率、低到千分之二奥斯特的矫顽力、接近 1 或接近零的矩形系数，具有面心立方晶体结构的坡莫合金具有很好的塑性，可以加工成 1 微米的超薄带及各种使用形态。常用的合金有 1J50、1J79、1J85 等。1J50 的饱和磁感应强度比硅钢稍低一些，但磁导率比硅钢高几十倍，铁损也比硅钢低 2~3 倍。做成较高频率(400~8000Hz)的变压器，空载电流小，适合制作 100 瓦以下小型较高频率变压器。1J79 具有好的综合性能，适用于高频低电压变压器，漏电保护开关铁芯、共模电感铁芯及电流互感器铁芯。1J85 的初始磁导率可达十万以上，适合于作弱信号的低频或高频输入输出变压器、共模电感及高精度电流互感器等。

## 3. 非晶及纳米晶软磁合金

硅钢和坡莫合金软磁材料都是晶态材料，原子在三维空间做规则排列，形成周期性的点阵结构，存在着晶粒、晶界、位错、间隙原子、磁晶各向异性等缺陷，对软磁性能不利。从磁性物理学上来说，原子不规则排列、不存在周期性和晶粒晶界的非晶态结构对获得优异软磁性能是十分理想的。

非晶态金属与合金是 70 年代问世的一个新型材料领域。它的制备技术完全不同于传统的方法，而是采用了冷却速度大约为每秒一百万度的超急凝固技术，从钢液到薄带成品一次成型，比一般冷轧金属薄带制造工艺减少了许多中间工序，这种新工艺被人们称之为对传统冶金工艺的一项革命。由于超急凝固，合金凝固时原子来不及有序排列结晶，得到的固态合金是长程无序结构，没有晶态合金的晶粒、晶界存在，称之为非晶合金，被称为是冶金材料学的一项革命。这种非晶合金具有许多独特的性能，如优异的磁性、耐腐蚀性、耐磨性、高的强度、硬度和韧性，高的电阻率和机电耦合性能等。由于它的性能优异、工艺简单，从 80 年代开始成为国内外材料科学界的研究开发重点。目前美、日、德国已具有完善的生产规模，并且大量的非晶合金产品逐渐取代硅钢和坡莫合金及铁氧体涌向市场。

我国自从 70 年代开始了非晶态合金的研究及开发工作, 经过“六五”、“七五”、“八五”期间的重大科技攻关项目的完成, 共取得科研成果 134 项, 国家发明奖 2 项, 获专利 16 项, 已有近百个合金品种。钢铁研究总院现具有 4 条非晶合金带材生产线、一条非晶合金元器件铁芯生产线。生产各种定型的铁基、铁镍基、钴基和纳米晶带材及铁芯, 适用于逆变电源、开关电源、电源变压器、漏电保护器、电感器的铁芯元件, 年产值近 2000 万元。“九五”正在建立千吨级铁基非晶生产线, 进入国际先进水平行列。

目前, 非晶软磁合金所达到的最好单项性能水平为:

初始磁导率  $\mu_0 = 14 \times 10^4$  钴基非晶

最大磁导率  $\mu_m = 220 \times 10^4$  钴基非晶

矫顽力  $H_c = 0.001 \text{ Oe}$  钴基非晶

矩形比  $Br/B_s = 0.995$  钴基非晶

饱和磁化强度  $4\pi M_s = 18300 \text{ Gs}$  铁基非晶

电阻率  $r = 270$  微欧厘米

### (1) .铁基非晶合金

铁基非晶合金是由 80% Fe 及 20% Si、B 类金属元素所构成, 它具有高饱和磁感应强度 (1.54T), 磁导率、激磁电流和铁损等各方面都优于硅钢片的特点, 特别是铁损低 (为取向硅钢片的 1/3—1/5), 代替硅钢做配电变压器可节能 60—70%。铁基非晶合金的带材厚度为 0.03 毫米左右, 广泛应用于配电变压器、大功率开关电源、脉冲变压器、磁放大器、中频变压器及逆变器铁芯, 适合于 10kHz 以下频率使用。

### (2) .铁镍基钴基非晶合金

铁镍基非晶合金是由 40%Ni、40%Fe 及 20%类金属元素所构成, 它具有中等饱和磁感应强度 (0.8T)、较高的初始磁导率和很高的最大磁导率以及高的机械强度和优良的韧性。在中、低频率下具有低的铁损。空气中热处理不发生氧化, 经磁场退火后可得到很好的矩形回线。价格比 1J79 便宜 30—50%。

铁镍基非晶合金的应用范围与中镍坡莫合金相对应, 但铁损和高的机械强度远比晶态合金优越; 代替 1J79, 广泛用于漏电开关、精密电流互感器铁芯、磁屏蔽等。铁镍基非晶合金是国内开发最早, 也是目前国内非晶合金中应用量最大的非晶品种, 年产量近 200 吨左右。空气中热处理不发生氧化铁镍基非晶合金 (1K503) 获得国家发明专利和美国专利权。

1K501、坡莫合金的磁化曲线比较

1K503 不同频率下的动态损耗曲线

钴基非晶合金 DC 磁滞回线

钴基非晶合金的动态损耗特性

### (3). 铁基纳米晶合金

铁基纳米晶合金是由铁元素为主, 加入少量的 Nb、Cu、Si、B 元素所构成的合金经快速凝固工艺所形成的一种非晶态材料, 这种非晶态材料经热处理后可获得直径为 10—20 纳米的微晶, 弥散分布在非晶态的基体上, 被称为微晶、纳米晶材料或纳米晶材料. 纳米晶材料具有优异的综合磁性能: 高饱和磁感(1.2 T)、高初始磁导率(8 万)、低 Hc(0.32A/M), 高磁感下的高频损耗低 ( $P_{0.5T} / 20\text{kHz} = 30 \text{ W/kg}$ ), 电阻率为 80 微欧厘米, 比坡莫合金(50-60 微欧厘米)高, 经纵向或横向磁场处理, 可得到高 Br(0.9)或低 Br 值(1000Gs). 是目前市场上综合性能最好的材料; 适用频率范围: 50Hz-100kHz, 最佳频率范围: 20kHz-50kHz. 广泛应用于大功率开关电源、逆变电源、磁放大器、高频变压器、高频变换器、高频扼流圈铁芯、电流互感器铁芯、漏电保护开关、共模电感铁芯.

#### (三). 常用软磁磁芯的特点比较

##### 1. 磁粉芯、铁氧体的特点比较:

MPP 磁芯: 使用安匝数 < 200,

50Hz~1kHz:  $m_e : 125 \sim 500$ ; 1~10kHz:  $m_e : 125 \sim 200$ ; > 100kHz:  $m_e : 10 \sim 125$

HF 磁芯: 使用安匝数 < 500, 能使用在较大的电源上, 在较大的磁场下不易被饱和, 能保证电感的最小直流漂移,  $m_e : 20 \sim 125$

铁粉芯: 使用安匝数 > 800, 能在高的磁化场下不被饱和, 能保证电感值最好的交直流叠加稳定性. 在 200kHz 以内频率特性稳定; 但高频损耗大, 适合于 10kHz 以下使用。

FeSiAlF 磁芯: 代替铁粉芯使用, 使用频率可大于 8kHz. DC 偏压能力介于 MPP 与 HF 之间.

铁氧体: 饱和磁密低(5000Gs), DC 偏压能力最小

##### 2. 硅钢、坡莫合金、非晶合金的特点比较:

硅钢和 FeSiAl 材料具有高的饱和磁感应值 Bs, 但其有效磁导率值低, 特别是在高频范围内; 坡莫合金具有高初始磁导率、低矫顽力和损耗, 磁性能稳定, 但 Bs 不够高, 频率大于 20kHz 时, 损耗和有效磁导率不理想, 价格较贵, 加工和热处理复杂; 钴基非晶合金具有高的磁导率、低 Hc、在宽的频率范围内有低损耗, 接近于零的饱和磁致伸缩系数, 对应力不敏感, 但是 Bs 值低, 价格昂贵; 铁基非晶合金具有高 Bs 值、价格不高, 但有效磁导率值较低。

纳米晶合金的磁导率、Hc 值接近晶态高坡莫合金及钴基非晶, 且饱和磁感 Bs 与中镍坡莫合金相当, 热处理工艺简单, 是一种理想的廉价高性能软磁材料; 虽然纳米晶合金的 Bs 值低于铁基非晶和硅钢, 但其在高磁感下的高频损耗远低于它们, 并具有更好的耐蚀性和磁

稳定性。纳米晶合金与铁氧体相比，在低于 50kHz 时，在具有更低损耗的基础上具有高二至三倍的工作磁感，磁芯体积可小一倍以上。