

软磁材料及磁芯选用规范

艾默生网络能源内部资料

1. 目的

规范公司电磁元件中软磁材料和磁芯的选用，保证我司在电磁元件设计合理地选用软磁材料和磁芯。

2. 适用范围

本规范适用于艾默生网络能源有限公司所有产品的电磁元件设计，应用于但不限于电磁元件的设计、工艺审查、试验、测试等活动。

本规范之前的相关标准、规范的内容如与本规范的规定相抵触的，以本规范为准。

3. 规范引用文件

- 3.1 GB/T9637-2001《电工术语 磁性材料与元件》
- 3.2 SJ/T10281-91《磁性零件有效参数的计算》

4. 术语和定义

4.1 有效参数 effective parameter

在以磁性特性为基础计算磁芯的磁特性时，设磁芯被一个理想的环所替代，如果使磁环上绕的匝数与原来的磁芯上的线圈匝数相同时，则可得到完全相同的电性能，这个代用环的磁特性和尺寸参数叫有效参数。如，有效磁路长度 l_e ，有效横截面积 A_e ，有效磁导率 μ_e 等。

4.2 振幅磁导率 amplitude permeability μ_a

当磁场强度随时间作周期性变化且其平均值为零，并且材料处于指定的磁中性状态时，由磁通密度的峰值和外磁场强度的峰值（两者之一处于规定的幅度）求得的相对磁导率。

4.3 起始磁导率 initial permeability μ_i

当磁场强度趋近于零时的振幅磁导率的极限值。

4.4 增量磁导率 initial permeability μ_Δ

当一随时间周期性变化的磁场叠加在指定的静磁场上，并且磁通密度和磁场强度两者之一的振幅为规定值时，由磁通密度峰—谷值求得的相对磁导率。

4.5 磁滞伸缩系数

磁性材料磁化状态的变化引起其形状、尺寸改变的

现象称为磁致伸缩效应，磁滞伸缩系数为磁性材料伸长或缩短值 ΔL 与原长 L_0 之比。

5. 规范内容

5.1 软磁材料的选用

软磁材料一般是指矫顽力（ H_c ）低于800A/m的铁磁性材料（金属软磁材料）或亚铁磁性材料（铁氧体软磁材料），其最大特征是磁滞回线面积小，磁导率（ μ ）高而矫顽力（ H_c ）低。常用的软磁材料主要有：电工纯铁、硅钢（铁硅合金）、铁镍合金、铁基或钴基非晶态合金、铁氧体、磁粉芯、磁性薄膜等，本规范只考虑硅钢（铁硅合金）、铁镍合金、铁基或钴基非晶态合金、铁氧体、磁粉芯的选用。

5.1.1 软磁材料的特性

5.1.1.1 铁氧体材料的特性

铁氧体材料又称氧化物磁性材料，它是由铁和其它金属组成的复合氧化物，其磁性属亚铁磁性，是由被氧离子所隔开的磁性金属离子间产生超交换相互作用，从而使处于不同晶格位置上的磁性金属离子磁矩反向排列，若两者的磁矩不相等，则表现出强磁性。软磁铁氧体材料是各种铁氧体材料中产量最多，用途最广泛的一种。这类材料的主要特点是起始磁导率高和矫顽力低，主要的晶格结构为尖晶石结构。若按化学成分分类，软磁铁氧体材料主要是MnZn系、MgZn系三大类；若按应用特性参数分类，可分为高磁导率、功率铁氧体材料、高频铁氧体材料、高电阻率材料、甚高频软磁铁氧体材料（六角晶系高频铁氧体）、高频大功率铁氧体材料等。

MnZn系铁氧体具有高的起始磁导率，较高的饱和磁感应强度，在无线电中频或低频范围有低的损耗，它是1兆赫兹以下频段范围磁性能最优良的铁氧体材料。常用的MnZn系铁氧体起始磁导率 μ_i 系铁氧体起始磁导率 $\mu_i=400-20000$ ，饱和磁感应强度 $B_s=400-530mT$ 。

NiZn系铁氧体使用频率100kHz~100MHz，最高可使用到300MHz。这类材料磁导率较低，电阻率很高，一般为105~107 $\Omega\cdot cm$ 。因此，高频涡流损耗小，是1MHz以上

高频段磁性能最优良材料。常用NiZn系材料的磁导率 $\mu_i=5\sim 1500$ ，饱和磁感应强度 $B_s=250\sim 400\text{mT}$ 。

MgZn 系铁氧体材料的电阻率较高，主要应用于制作显像管或显示管的偏转线圈磁芯。

5.1.1.2 磁粉芯材料的特性

磁粉芯是由颗粒直径很小（ $0.5\sim 5\mu\text{m}$ ）的铁磁性粉粒与绝缘介质混合压制而成的磁芯，一般为环形，也有压制成E形的。磁粉芯的电磁特性取决于金属粉粒材料的导磁率、粉粒的大小与形状、填充系数、绝缘介质的含量、成型压力、热处理工艺等。磁粉芯主要用于电感铁芯，由于金属软磁粉末被绝缘材料包围，形成分散气隙，大大降低了金属软磁材料的高频涡流损耗，使磁粉芯具有抗饱和特性与宽频响应特性，特别适用于制作谐振电感、功率因数校正电感、输出滤波电感、EMI滤波电感等。

常用磁粉芯主要有铁粉芯、铁硅铝粉芯、高磁通量（High Flux）粉芯、坡莫合金粉芯（MPP）。

铁粉芯由碳基铁磁粉及树脂碳基铁磁粉构成，由于价格低廉，铁粉芯至今仍然是用量最大的铁硅铝粉芯的典型成分为：9%Al、55Si、85%Fe。由于在纯铁中加入了硅和铝，使材料的磁滞伸缩系数接近零，降低了材料将电磁转化为机械能的能力，同时也降低了材料的损耗，使铁硅铝粉芯的损耗比铁粉芯的损耗低。铁硅铝粉的饱和磁感应强度在 1.05T 左右，磁导率有26、60、75、90、125等5种，比铁粉芯具有更强的抗直流偏磁能力。由于不含有机成分，铁硅铝粉芯不存在老化问题，工作温度可达 200°C 。

高磁通量（High Flux）粉芯的成分为：50%Ni、50%Fe，饱和磁感应强度为 1.4T 左右，磁导率有14、26、60、125、147、160等，是磁粉芯中具有最强抗直流偏磁能力的材料（如磁导率为60的HF材料在 1000Oe 磁场下仍然没有饱和）磁芯损耗与铁粉芯相近，比铁硅铝大许多。主要用在高DC偏压、大直流电和低频交流电路中，也用于线路滤波器、交流电感、输出电感、功率因数校正电感等，价格高于铁粉芯和铁硅铝粉芯。

钼坡莫合金粉芯（MPP）的成分为：81%Ni、2%Mo、19%Fe，饱和磁感应强度较低，约为 0.75T ，磁导率变化范围大，从14到550，磁滞伸缩系数接近零，温度稳定性极佳（磁导率小于330的材料从 -60°C 到 80°C 磁导率相

对变化小于0.4%），在磁粉芯中具有最低的磁芯损耗，抗直流偏磁能力仅次于铁铝粉芯，由于含镍量高，价格也是磁粉芯中最贵的。

5.1.1.3 硅钢与铁镍合金的特性

硅钢（铁硅合金）具有稳定性好、环境适应性好和磁通密度高等特点，是电力和电子工业中用途最广、用量最大的一种软磁材料。硅钢是立方晶系的多晶体金属合金，硅钢片的性能受硅含量、杂质（C、O、S、Mn、P等）、晶粒取向、应力、晶粒尺寸、钢片厚度、钢片表面质量等七个因数的影响，提高硅钢片性能有三条主要措施：改变晶粒结构、调整硅含量和减少带材厚度。硅钢片又称电工钢板，按其制造工艺可分为热轧电工钢（含硅2%~4.5%）、冷轧无取向硅钢（含硅0.5%~3%）和冷轧取向硅钢（含硅约3%）。80年代末，已可以批量生产含硅量为6.5%（磁滞伸缩在该成分下趋近于零）的无取向带材，可进一步降低噪声。

铁镍合金又称坡莫（Permalloy），含镍量在30%~90%范围内，主要形状为带材，主要特点是在弱、中磁场下有很高的磁导率和极小的矫顽力，加工性能好，有较好的防锈性能；经过特定的加工，可获得很好的磁性能，如超过十万的起始磁导率、超过百万的最大磁导率，小于 2mOe 的矫顽力、接近1的矩形比系数、在相当宽的磁场范围内保持恒导磁率等。由于含有钨、钴等贵重元素，此类合金价格高，带材越薄、价格越昂贵。

5.1.1.4 非晶态合金与超微晶合金的特性

非晶态合金是一种新型软磁材料，在晶态材料中原子在空间作周期性的有序排列，形成所谓晶体点阵结构，而在非晶态材料中原子在空间的排列无序，不存在宏观的磁各向异性。非晶态材料具有优异的磁性和韧性，具有高的电阻率和机电耦合系数，具有耐腐蚀、耐磨、高强度、高硬度的良好的材料特性。

非晶态合金是以铁、镍、钴为基材制作的合金。铁基非晶态合金含量在80%左右，具有高的饱和磁感应强度和低的铁损、低的价格。

5.1.1.5 各种软磁材料的性能对比

各种软磁材料的特性参数不同，应用环境也不一样，表1给出了各种软磁材料的性能比较。

表1 各种软磁材料的性能比较

类别	名称	材料主要成分	导磁率	Bs(mT)	最高工作温度℃	最高使用频率f(kHz)	特点说明
金属磁性材料	硅钢片	Si-Fe	~ 1800	2000	~ 300	~ 10	由于电阻率低，涡流损耗大，除非晶态合金、超微晶材料外，其它的金属磁性材料只能在 30kHz 以下的频率应用。
	铁镍合金	Ni-Fe	~ 100000	750	~ 150	~ 30	
	非晶态合金	Fe(Co,Ni)	~ 100000	1500	~ 150	~ 500	
	超微晶	Fe	~ 80000	1500	~ 150	~ 100	
磁粉芯	铁粉芯	Fe	3 ~ 100	~ 1400	~ 150	~ 500	导磁率低，主要应用于中低频滤波电感。
	铁硅铝粉芯	Al, Si, Fe	26 ~ 125	~ 1050	~ 200	~ 1000	
	高磁通粉芯	Ni, Fe	14 ~ 160	~ 1400	~ 200	~ 1000	
	钕坡莫合金粉芯	Mo, Ni, Mo	14 ~ 550	~ 800	~ 200	~ 1000	
铁氧体材料	锰锌铁氧体	Mn, Zn, Fe, O	1000 ~ 18000	510	~ 125	~ 1000	
	镍锌铁氧体	Ni, Zn, Fe, O	15 ~ 2500	400	~ 100	~ 120000	
	镁锌铁氧体	Mg, Zn, Fe, O	~ 10			~ 200000	

5.1.2 软磁材料的选用原则 选用软磁材料时主要综合考虑以下因素：

- (1) 使用频率范围
- (2) 磁导率（起始磁导率、振幅磁导率、增量磁导率）
- (3) 饱和磁感应强度
- (4) 剩余磁感应强度
- (5) 材料损耗

- (6) 湿度系数
- (7) 电阻率
- (8) 磁滞伸缩系数
- (9) 居里温度
- (10) 使用温度范围

表2给出了各种软磁材料的物理性能和价格比较，在软磁材料选用可参考。

表2 各种软磁材料的物理性能和价格比较

特性	非晶态和超微晶	硅钢片	坡莫合金	铁粉芯	铁硅铝粉芯	高磁通粉芯	钕坡莫合金粉芯	铁氧体
铁损	低	高	中	高	低	低	低	低
磁导率	高	低	高	低	低	低	低	中
Bs	高	高	中	高	高	高	中	低
温度影响	中	小	小	小	小	小	小	中
加工	难	易	易	难	难	难	难	易
价格	中	低	高	低	中	高	高	低

5.2 磁芯的选用

5.2.1 磁芯形状特点

5.2.1.1 铁氧体磁性形状特点

(1) 罐型

罐型磁芯是专门为低损耗（高Q）线圈设计的一种

标准系列磁芯。特点是结合面较大，磁芯屏蔽好，器件的漏感及分布电容小。

本文来自：GPFC全球采购论坛中心[url]http://www.59239.com[/url]国内最大的采购交流平台。