

国内非晶态合金的应用

张洛 刘光棣 石松跃 孟建栋

(上海钢铁研究所)

非晶态合金的前途在于它的应用,国外从磁屏蔽到各种类型的磁头,从传递微瓦级信号的变换器到数千兆瓦能量的脉冲磁开关,从各类小型变压器到 100 kVA 的配电变压器等方面都取得了成功^[1-4]。

国内非晶态合金的应用研究也比较活跃^[5]。预计 1985 年生产单位将向用户提供 5—10 吨的非晶态带材产品。目前,由非晶态合金研制的电子或电器产品已在国内市场销售,有的已在国防工程上使用,有的还向国际市场出口,受到国际同行的注视和好评。

本文将介绍几年来,我国用急冷技术制取的非晶态合金在以下各方面的应用。

一、漏电开关

对于电路保护,除了大电流保险丝外还广泛采用漏电开关,其工作原理如图 1 所示^[6]。漏电开关中的磁性部件是一个环形软磁铁芯,在平衡状态下,它作为零序电流互感器工作,因此铁芯在正常情况下不被磁化。当电路发生漏电或人身触电时,初级两根导线的电流不平衡,产生一个差值 ΔI , 这个值相当漏电或触电的电流,它使铁芯磁化,同时通过次级输出,控制脱扣器切断电源,起到漏电保护作用。

1982 年,张传历和刘光棣等人分别研制出 Fe-Ni 基和 Co 基非晶高导磁合金,并与上海电器科学研究所等单位合作,研制成功灵敏度为 30—100 mA、额定电流为 6—60 A 的漏电开关系列。在进行了灵敏度、温度、平衡特性、单相接地短路、机械冲击振动等试验,并经受两个月在 $-20^{\circ}\text{C} \rightleftharpoons +95^{\circ}\text{C}$ 温度范围内的冷热交

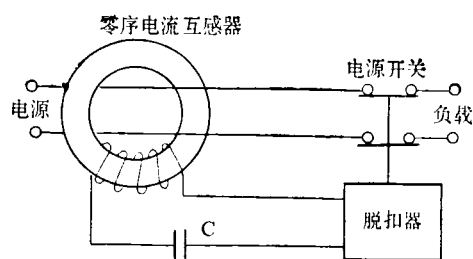


图 1 漏电开关的工作原理

替冲击后,证明在正弦电流下和平衡相控制电路中运行情况良好,性能稳定,满足设计要求,可以在 DZ15L 系、DZ5-20L 系和 JD2 二极民用漏电开关中大量推广应用。

但人们对它在 120°C 极限温度下的稳定性及长期时效问题表示关注。为此,刘光棣与周积刚等人合作,选择了 -25°C , 0°C , 25°C , 40°C , 104°C 和 120°C 七个温度试验点,并进行 120°C (六小时) \rightleftharpoons 室温 (18 小时) 30 个周期的交变温度试验以及两年零四个月的长期时效试验。结果表明,用 Fe-Ni 基和 Co 基非晶态合金制作的零序电流互感器及其漏电开关,性能稳定,完全满足使用要求;并对其中 86 台 DZ-15L-40 (三极、四极)漏电开关进行了六个月的实际运行试验,开关动作灵敏可靠。

二、开关电源

开关电源是一种新型的直流稳压电源,由于用高频变压器代替了笨重的工频变压器,因而体积缩小、重量减轻,效率可达 80% 以上。由于非晶态合金具有低损耗、高电阻率以及带薄等优点,因而在开关电源这一领域中应用很广泛。

1. 大功率开关电源

1984年,杨膺善和石松跃等人分别用宽25mm的Fe基非晶态带材卷绕成约1kg重的矩形铁芯,并与高贵顺、汪荣顺合作,研制成功5kW,10kHz大功率LC谐振式高压开关电源,其主要技术指标如表1所示。这是目前国内用非晶态合金制作的最大功率的开关电源。

该开关电源由于采用10kHz非晶开关变压器替代工频变压器,因而使变压器的重量由原来的40kg下降为3kg,体积由 $45 \times 14 \times 33 \text{ cm}^3$ 缩小为 $12.5 \times 6.5 \times 18 \text{ cm}^3$,从而使开关电源的总重量由原来的160kg下降为40kg,整个体积也明显变小。

表1 5kW开关电源的技术指标

项 目	技 术 指 标
输入电压	380V
输出直流电压	40kV
输出直流电流	130mA
工作频率	10kHz
输出电压稳定度	0.1%
纹波	$\leq 0.1\%$
变换效率	$\geq 86\%$

为便于比较,选用Si-Fe(0.03mm)薄带制成的并与非晶态合金同样功率(5kVA)和规格的变压器进行试验。结果表明,在相同的试验条件下,由于Si-Fe变压器铁芯的损耗大,工作11min后温度就从28℃迅速上升到100℃;而非晶变压器在5kVA满载工作条件下,温升达到100℃时已连续工作90min,且此

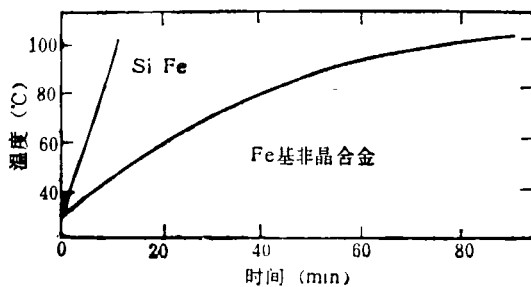


图2 非晶与Si-Fe变压器的温升曲线

时温升呈稳定趋势,如图2所示,同时经105℃,824h和150℃,1076h热稳定性试验后,其铁损变化 $\leq 5\%$,证明Fe基非晶态材料的长期热稳定性是可靠的。

2. 中小功率开关电源

张伍信等人研制出最佳性能为 $P_{5/20k} \approx 14 \text{ W/kg}$, $P_{1/100k} \approx 6.4 \text{ W/kg}$ 的高频低损耗Co基非晶态合金($P_{5/20k}$ 为在20kHz、5000G时,铁芯的损耗),并与艾多文合作,用该合金代替1J86坡莫合金研制成功50kHz和100kHz直流-直流变换器。与20kHz的变换器相比,整个电源的体积和重量明显降低,温度稳定性和长期稳定性都比较好,转换效率大于85%。该电源经例行试验后,交付整机进行了近两年运行试验,性能稳定,未见退化现象。

1982年,姚中等人用Fe基非晶态合金研制出10kHz直流-直流变换器,用于公路车辆测速雷达仪中的开关电源。1983年王新林等人,用Co基非晶合金制作150—200kHz磁放大器和30—50kHz电流控制型磁放大器均获得成功。同年苏州仪表元件厂采用Co基非晶态合金,研制成功隔离电源用的小型($50 \times 50 \times 16 \text{ mm}^3$)直流-直流变换器,经鉴定其技术指标与国外同类产品相当,并开始小批量试生产。

1984年,石松跃等人与上海市内电话修造厂合作,选用Fe基非晶态环形铁芯代替E型MX-2000铁氧体,研制成功20kHz脉冲编码调制开关电源,电源中的变压器铁芯和电感铁芯均采用非晶态材料。在相同功率和效率下,与铁氧体比较的数据列于表2。

表2 非晶和铁氧体20kHz脉码调制开关电源比较

项 目	铁氧体	非晶铁芯	降低量(%)
铁芯重量	1600(g)	296(g)	81.5
总的用铜量	574(g)	171(g)	70.2
铜线总费用	6.3元	1.9元	70
铁芯总价	25.84元	20元	22.6

三、脉冲变压器

脉冲变压器对铁芯材料的主要要求是：(1) 大的磁感应强度增量 ΔB ；(2) 高的脉冲磁导率 μ_p 。由于非晶态合金的高电阻率低损耗，并可以形成低 B_r 状态，因而用于脉冲变压器铁芯材料已引起了人们的注意。

1984年，李志华等人用 $\phi 20/32 \times 10\text{mm}$ 的 Fe 基非晶环形铁芯，制成中功率编码脉冲变压器，在变比 $n=1$ 、温度为 120°C 和脉宽 $\tau=3\mu\text{s}$ 的条件下，脉冲变压器的性能如表 3 所示。该变压器与 1J67 H 合金制作的脉冲变压器比较，材料的脉冲磁导率提高近一倍，明显地改善了脉冲变压器的技术特性，减少了脉冲传输过程中的波形畸变（例如，在保持上升时间相同的条件下，可使脉冲平顶降落减小一半），提高了变压器效率，减小了重量。

表 3 变压器的磁特性

$\Delta B(\text{GS})$	3125	6250	8437	9063
μ_p	4960	4084	2840	2342

1984年，石松跃等人成都 784 厂合作，采用 Fe 基非晶合金制成目前国内最大的非晶合金矩形铁芯 (2.3kg)，研制成功非晶态大功率高压脉冲变压器，如图 3 所示。其中，图 3(a)

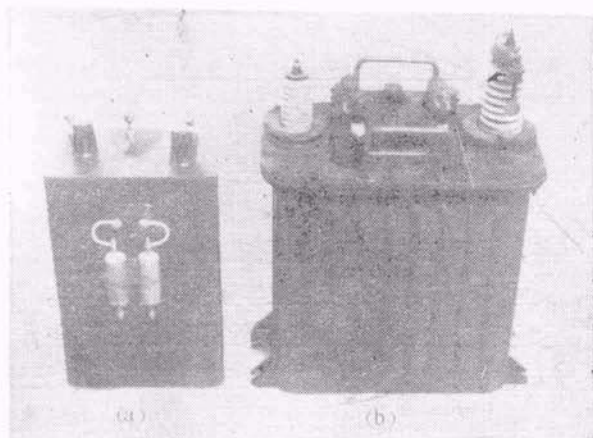


图 3 高压大功率脉冲变压器

是干式结构非晶态变压器，图 3(b) 是油浸式 Si-Fe (0.08mm) 变压器。在脉冲功率为 1.8 MW、脉宽为 $2.8\mu\text{s}$ 、重复频率为 400Hz 的条件下，变压器铁芯的重量由原来的 17kg (Si-Fe) 减轻到 2kg (非晶态)，体积由原来的 3135cm^3 缩小到 411cm^3 ，而且实际平均温升仅为 31°C 。

四、电源变压器

目前航空变压器的铁芯材料主要是采用 Si-Fe 薄带材料和 1J34 等坡莫合金材料。这两种材料就航空技术的发展而言，都存在不同程度的问题。例如，Si-Fe 材料铁损大、温升高、体积大；1J34 坡莫合金虽然铁损低、温升低，但合金的密度大 (8.7g/cm^3)，使变压器重量增加，且材料价格高。而 Fe 基非晶态合金具有较高饱和磁感、低损耗、低密度和价格低等特点，完全可以满足航空器件体积小、重量轻的要求。1984年，韩永柱等人艾多文合作，采用 Fe 基非晶合金研制成功 800Hz 航空变压器，其输出总功率为 65W。表 4 给出了三种不同合

表 4 不同材料变压器的性能对比

变压器铁芯材料	Si-Fe	1J34B	Fe 基非晶
铁芯规格 (mm)	CD10 \times 32 \times 0.05	ϕ 25/40 \times 0.05	ϕ 25/40 \times 0.04
铁芯重量 (g)	98	104	75
变压器重量 (g)	260	270	230
变压器尺寸 (mm ³)	42.5 \times 45 \times 65	39.6 \times 48 \times 54	38.7 \times 48 \times 54
空载电流 (mA)	138	25	40
+25 \rightarrow +80 $^\circ\text{C}$			
空载电流相对变化		-7%	+25%

金制作的相同容量变压器的对比数据。不难看出，用非晶合金替代 Si-Fe 或 1J34B 合金具有一定的优越性，可使变压器的体积略有缩小，重量略有减轻，但温度稳定性尚需进一步的改善和提高。

五、传感器

1981年,姚中等人用 Fe 基非晶合金窄条带制成电磁传感器,用作城市交通信号灯自动控制装置中的探头,取得了成功。这是国内自1977年研究非晶态材料以来取得的第一项应用科研成果。

1984年,朱永山等人与沈阳晶体管二厂合作,针对半导体压力传感器的缺点,采用 Fe-Ni 基非晶合金,研制成功一种小型压力传感器,可测量 $0.001\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力。这也是国内首次用非晶合金作膜片制作的压力传感器,其主要技术指标列于表 5。目前,这种小型压力传感器已用在人体肛肠压力测定装置上,临床使用效果良好。

表 5 非晶压力传感器的性能

项 目	技术性能
额定应变	2258 微应变
零点输出	0.1% FS
非线性度	0.54%FS
不重复度	0.45%FS
滞 后	0.23%FS

六、磁 头

饱和磁致伸缩系数 $\lambda_s \rightarrow 0$ 的 Co 基非晶态合金,具有高的起始导磁率、高电阻率、高硬度和耐磨性,作为磁头材料颇受重视。1981年,王新林等人采用 Co 基非晶合金研制成功非晶

表 6 几种立体声磁头放音频响特性的比较

牌号及名称							输出灵敏度 (mV)
	1kHz	4kHz	6kHz	8kHz	10kHz	12kHz	
HS2931A 磁头(日本)	0	+3	+2.2	+1.2	+0.2	-3	0.12
三洋 9994 磁头(日本)	0	+2	+1.5	0	0	-3	0.007
非晶立体声磁头(中国)	0	+3.5	+3	+3	+4	+2	0.09

盒式立体声磁头,试听效果良好。测试结果表明,该非晶立体声磁头的放音频响与日本立体声磁头相当(表 6),并有良好的耐磨性。

1983年,朱祥宾等人分别与陈尔绍和沈惠安等人合作,用 Co 基非晶合金研制成功电影录音机磁头,并与常用坡莫合金 (1J88, 1J79) 比较,非晶磁头的高频特性好,三次谐波失真小。特别引人注目的是,非晶磁头的耐磨寿命比 1J79 坡莫合金磁头提高三倍以上(图 4)。目前,用 Co 基非晶合金制作的 LC-16 电影译配音机磁头,已随产品在国内市场出售。这对提高少数民族语言影片的译制速度和质量,改变少数民族电影娱乐落后的状态起了一定作用。

1983年,李有贤等人做了用非晶态合金作金属磁带磁头的试验,认为是可行的。同年年

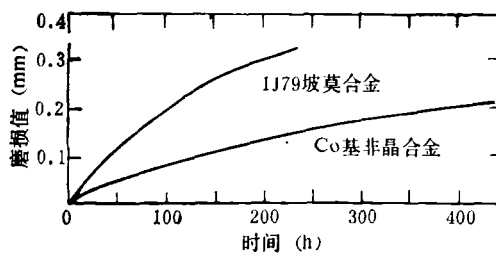


图 4 非晶与坡莫合金磁头的耐磨寿命

底,牡丹江磁头厂研制出磁带机用的 1600 位/英寸 Co 基非晶态合金数字磁头。1984年,朱永山和王俊健等人分别与牡丹江磁头厂合作,研制成功 6250 位/英寸高密度数字磁带机记录磁头,其主要技术指标达到了国外同类产品的水平。

七、磁屏蔽

具有高导磁率和高屈服强度特点的 Co 基非晶态合金, 特别适合用作可弯曲的磁屏蔽器件。1982 年, 刘光棣等人 与上海广播器材厂合作, 成功地将 Co 基非晶态高导磁合金制成彩色摄象管偏转聚焦线圈的导磁筒。用 42mm 宽的非晶合金带材制作的导磁筒不需要退火, 简化了器件的制作工艺。实验结果表明, 用非晶导磁筒制作的偏转线圈 Q 值高, 图象清晰度高, 失真小, 产品一致性好。经美国 AMPEX 公司鉴定, 其灵敏度、聚焦电流、几何畸变等技术指标均达到国外 VXC-520-1 型坡莫合金产品水平。一项重要的改进是, 它所需要的四角动态聚焦电压仅为 5V (VXC-520-1 型产品为 9V), 因而四角清晰度大为提高。其原因是该导磁筒采用了对应力不敏感的零磁致伸缩型 Co 基合金, 导磁筒在制造过程中虽然受到弯曲, 但对其导磁性能的影响远比坡莫合金小, 从而使聚焦磁场分布更加均匀所致。1982 年向国外出口了首批产品。

1983 年, 王新林等人 与中国科学院地球物理研究所合作, 用 20—25mm 宽的 Co 基非晶带材, 双层正交贴在 $75 \times 75 \times 75\text{cm}^3$ 铝机箱的外面, 制成了零磁空间屏蔽室。屏蔽效果的好坏, 通常用屏蔽系数 S 来描述:

$$S = \frac{H_0}{H_1},$$

其中 H_0 为屏蔽箱外的磁场, H_1 为屏蔽箱内的磁场。

实验结果: $H_0 = 10081\text{nT}$, $H_1 = 293\text{nT}$, $S = \frac{H_0}{H_1} = 34.4$ 。说明该屏蔽室的屏蔽效果显著, 完全满足了设计和使用要求。

八、磁分离

所谓磁分离是指在磁场的作用下, 将磁性(或弱磁性)微粒与非磁性微粒进行分离, 即利

物理

用物质产生的磁性吸力来抗衡重力、污水或空气摩擦力及流体阻力, 达到分离的目的。

采用磁性优良的耐腐蚀不锈钢细丝作为聚磁介质, 可以获得高的磁场梯度, 使聚磁细丝表面形成强磁力捕获区, 达到高效率分离的目的。厚度为 0.04mm、宽度为 0.5mm 的 FeCrPC 系非晶态合金可以满足上述要求。

1981 年, 杨膺善等人研制成功 0.03mm 厚、0.2mm 宽的 $\text{Fe}_{75}\text{Cr}_{15}\text{P}_{10}$ C₇ 非晶细丝, 并与苏州瓷土公司合作, 萃取高岭土中的弱磁性物质 Fe_2O_3 , 使高岭土的品位显著提高。例如, 含 2—3% Fe_2O_3 的劣质高岭土可以净化为只含 0.7% Fe_2O_3 的特级品。

变压器绝缘油中的杂质、乳胶状水滴和气泡是引起液体击穿的主要因素, 尤其是变压器在运行中所产生的铁磁性粉末, 在磁场的作用下会发生桥接现象, 使昂贵的变压器有击穿的危险。因此, 净化微细杂质以提高变压器绝缘油的电气性能是具有重要意义。1984 年, 朱永山和张哲等人合作, 用 FeCrPB 非晶细丝作过滤材料, 对超高压变压器绝缘油进行净化处理取得了成功。变压器绝缘油的耐压性能由原来的 48kV 提高到 63kV, 介质损耗 $\text{tg} \delta\%$ (90°C) 由原来的 0.5 下降到 0.25, 延长了变压器的安全运转周期。

九、钎焊部件

常用的 Ni 基和 Cu 基钎焊料, 由于其本身的脆性, 通常只能以粉末状或铸态使用, 但采用急冷工艺可以将其制成带材, 进一步扩大了应用范围。1981 年, 徐礼字等人首先采用急冷技术, 将 GHL6-2Ni 基钎焊料制成薄带, 并成功地用于航空发动机 II 级导向叶片的钎焊, 其性能完全达到了 GHL6-2 粉末状钎焊料的水平, 钎焊缝结合致密, 合格率提高了 10—15%, 接近 100%。

1982 年, 陶志刚等人采用急冷工艺制成了 Cu 基中温钎焊料薄带, 并与严忠富等人合作, 成功地用于 ST614 直流起动机转子的钎焊。

以往,这种起动机转子绕组与换向器间的焊接是采用传统的浸锡焊接工艺,这种工艺生产的转子在大电流负载下,容易造成甩锡现象而起动困难,甚至烧毁转子.采用Cu基中温钎焊料薄带的电阻钎焊工艺后,起动机转子的质量明显提高,其性能基本上达到国外同类产品标准,并从根本上解决了传统锡焊工艺存在的质量问题.若按表7给出的数据计算,仅起动机一项,预计全国每年可节约锡20吨、节约铜60吨、节约电40万度,如进一步扩大应用,其经济效益更加可观.

1985年,王隆宝等人研制出含磷的镍基高温钎料,并对航天工业用的钎焊耐热蜂窝结构薄壁管组件和核电站堆内组件进行了钎焊试验,取得了满意的结果.

表7 质量与经济效益

项目	浸锡焊接工艺	电阻钎焊工艺	备注
过载能力(500A)	1min50s甩锡	>3min	达到国外产品标准
起动机次数	6000次	>10000次	
焊接点抗拉强度	4kg/mm ²	>14kg/mm ²	
一次检验合格率	<90%	>99.5%	
用锡(g/只)	20—25	1—1.2	节约20
夹片用铜(g/只)	61.5	无	节约61.5
用电(度/只)	0.59	0.19	节约0.4

十、其他

急冷工艺制取的非晶合金除了上述的应用外,还有其他方面的应用.例如,李成祥与王敏等人合作,将Pd-Si-Ag非晶合金制成各种频率、各种延时的延迟线,其性能可与熔石英媲美.倪思康研制出高强耐腐蚀的Fe-Ni基非晶合金,并制成保安刮须刀,但刀片的锋利度和使用寿命都需要改进和提高.钢铁研究总院还利用急冷技术研制钢纤维,并在混凝土纤维增强方面进行了试验,取得了一定的效果.

另外,采用电沉积工艺制取的Ni-P耐腐蚀非晶态合金也取得了很大进展,本文不再赘述.

非晶态合金的出现可以说是二十世纪后期金属材料领域中的技术革命,它在我国已经走出了实验室而逐步成为商用产品.它的极好电磁特性已在电子器件和电器产品上得到了体现.随着制备工艺的改进、产量的增加和成本的降低,将会使这种新型材料得到更加广泛的应用.

参 考 文 献

- [1] H. Warlimont, *J. Magn. Magn. Mat.*, **26**(1982) 97—105.
- [2] C. H. Smith, *IEEE Trans. Mag.*, **MAG-18-6**(1982), 1376—1381.
- [3] 张洛, *上海金属*, No. 6(1984), 4—12.
- [4] F. E. Luborsky, Technical Information Series, Class 1, Report 84, CRD 081 (1984), GE, USA.
- [5] 张洛, *Rapidly Quenched Metals Proceedings of the Fifth International Conference on Rapidly Quenched Metals*, North-Holland, (1985), 1679—1682.
- [6] F. Pfeifer, *IEEE Trans. Mag.*, **MAG-18-6**(1982), 1406—1411.