

纳米晶合金在高压电力系统中的应用

万云¹,王玉平²

(1. 西北大学 物理学系, 陕西 西安 710069; 2. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要:研究了非晶纳米晶合金在电力系统中高压断路器及全封闭组合电器上配套测量级电流互感器中的应用,并分析了在电力系统中其他设备上应用的可能性。

关键词:纳米晶; 非晶; 高压电力系统; 电流互感器

中图分类号: TB321 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-274 X (2001)02-0102-03

纳米晶合金是问世仅 10 多年的最新型的软磁合金^[1],其应用已从小型电子器材扩展到大型高压电力系统中。软磁材料的应用几乎可以涵盖电力系统中每一电力设备,有的作为配套产品,有的直接采用。如输配电系统中的电力变压器、电抗器、互感器等,以及高压断路器配套互感器、全封闭组合电器配套互感器等,以上均是含有绕组及铁芯的设备,或多或少都会应用到软磁材料。

纳米晶合金是在非晶合金的基础上发展起来的,也就是说一次成材的非晶合金通过 500~600℃ 下热处理后,形成晶粒尺寸仅 10~20 nm 的纳米晶合金,从而使其具有更优异的性能,它除了具有非晶合金所拥有的高导磁、低损耗、耐磨、耐蚀、高强度、大电阻率、韧性好、机电耦合系数大等特征外,还具有在弱场(0.08 A/m)下的导磁率极高的独特性能,这与常规软磁合金的磁性随晶粒减小而恶化反之;损耗进一步降低,尤其是高频损耗十分低,磁化曲线可以根据需求通过热处理工艺控制得到,磁滞回线可圆可扁可矩,因而纳米晶合金的适应领域非常广泛。那么,对电子系统中要求精度高、损耗低,尤其是弱场磁导率要求高及高频损耗要求低的应用场合,也是非常适用的。这样,摆在非晶纳米晶科研工作者面前一个重要的技术课题——将非晶纳米晶合金这一高新技术材料应用到高压电力系统中,使其充分发挥优异软磁特性的功效。

本文描述了纳米晶在高压电力系统中的几种主要设备——高压 SF₆ 罐式断路器(GCB·T)用测量级电流互感器、全封闭组合电器(GIS)用测量级电

流互感器,以及其他电力设备中的应用研究情况。

1 用于 GCB·T 测量级电流互感器

GCB·T 是输电线路中的重要设备之一, SF₆ 气体具有高温分解物不含氧,不致触头氧化且可自行迅速复合等优异的绝缘性能,因而是目前国际上流行的较为先进的技术。其中测量级电流互感器是 GCB·T 的重要组件之一,它担负着对电路容量的测试和对测试仪表的保护,要求精度高、仪表保护性能好等。母线型测量级电流互感器结构简单,但铁芯尺寸大,磁路长(达 150 cm),二次匝数小,这样对软磁材料的导磁率的要求就较高,那么纳米晶合金是合用的铁芯材料。

采用纳米晶合金制作 GCB·T 用测量级电流互感器铁芯,在设计上考虑了串级式结构,一则可以降低一次制作成本;二则可以在第二级上保证精度和仪表保安系数,尤其是后者;三则目前的纳米晶工艺水平经努力尚可得以保证。

本文主要研制的是第二级的铁芯。在研制过程中试制了厚度不同的 3 种铁芯制品,同时亦制作了坡莫合金 1J85 进行对比。针对纳米晶合金充分利用其高导磁率满足精度要求,及其快速饱和来满足仪表保安系数的要求。由于纳米晶合金带非常薄,因而卷绕空隙大,占空系数小(小于 0.70),往往导致铁芯输出性能降低,这就是铁芯有效截面积小的结果。另外,由于空隙大,造成漏磁大,致使测量级互感器的相位差容易超差,那么就要么提高纳米晶合金的

收稿日期:1999-06-02

作者简介:万云(1963-),女,陕西西安人,西北大学副教授,从事超导电子学研究。

导磁率,要么提高占空系数,均可得到较好的结果。

实验得出如此宽的纳米晶带(50 mm 宽)要提高其导磁率务需首先喷制出完全非晶带,方可经过一定的热处理(500~600℃)工艺控制获得高质量纳米晶制品,在控制最佳热处理工艺中可获得弱场导磁率大于 0.1 T·m/A。在很好地解决工艺性、均匀性、重复性问题后,终于成功地研制出了世界上首台 GCB·T 用测量级电流互感器。表 1 列出了采用纳米晶合金制作的 GCB·T 用测量级电流互感器铁芯的有关参数,并与坡莫合金 1J85 进行了对比。

表 1 GCB·T 用测量级电流互感器铁芯性能参数

Tab. 1 The performance of iron core in measuring level current transformer for GCB·T

激磁电流 i_0/mA	激磁场 $H/\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$	磁感应电势 E_2/mV		
		设计要求	纳米晶	1J85
68	0.2	12.5	30	27
136	0.4	30	55	50
272	0.8	80	200	180
1 088	3.2	380	560	500

注:激磁匝数 $N_1=1$;控制匝数 $N_2=5$

根据表 1 可知,纳米晶合金和 1J85 坡莫合金均能满足要求,但坡莫合金相对于纳米晶合金有以下不足:①性能脆弱、娇嫩、低应力应变可使磁性急剧恶化;②带厚卷绕费力;③热处理工艺复杂;④成本较高。此为纳米晶合金替代坡莫合金拓展应用的突破口。

采用纳米晶制成的 GCB·T 用测量级电流互感器(串级式)精度达 0.1 级,仪表保安系数 $F_s<3$ (设计要求 $F_s<5$),容量 30VA,满足了需要,现已有近百台在中国西北电网上运行。

2 用于 GIS 测量级电流互感器

GIS 采用 SF_6 气体做绝缘介质,使开关设备集成化,亦称为六氟化硫绝缘变电站。它把以六氟化硫断路器为主体的其他电器即隔离开关、接地开关、电压和电流互感器等按变电站主接线的要求,合理地通过金属管道和金属壳密封起来,并充以不同压力的 SF_6 气体,以作为灭弧、对地或断口间绝缘介质用,以一定的出线方式和外部母线或电缆相连。所以,它结构紧凑、设备占地面积小(与敞开式变电站相比空间体积缩小到 1/6—1/7),运行安全可靠不受环境的影响,性能稳定,运行时几乎无需维修,且污染和噪音小、无爆炸和致火灾的危险,因而发展十

分迅速^[2]。

如果能将纳米晶合金引入 GIS 中运用,对非晶纳米晶科研工作者将是一个鼓舞,因此,在前述 GCB·T 中成功地采用纳米晶合金的基础上做此种尝试。我们选择 126 kV GIS 中的测量级电流互感器进行设计研制。它对纳米晶合金(磁材)又有新的要求,如:动热稳定性、应力敏感性等。该铁芯尺寸更大,磁路更长(达 750 mm),电流比小(仅 100~200A/5A),容量大(30VA),精度高(0.2 级),仪表保安系数小($F_s<5$)。

根据电流互感器误差计算公式可知^[3]:电流误差(ϵ)与二次总阻抗(Z_2)及磁路长度(l)成正比,与二次匝数(N_2)的平方,铁芯的截面积(S)及磁材的磁导率(μ)成反比。那么,依前述要求 Z_2 及 l 均大, N_2 小,要使误差增大,只有有限地增加截面积和提高导磁率 μ ,这就使得磁材(纳米晶合金)及铁芯制作难度大为增加。

目前,我们已做好设计工作,铁芯规模尺寸远大于前述铁芯尺寸,具体对纳米晶软磁合金铁芯性能要求见表 2,初步制做出的铁芯基本达到要求,有关型式试验正在进行。

表 2 GIS 测量级电流互感器铁芯性能参数

Tab. 2 The performance of iron core in measuring level current transformer for GIS

激磁磁场 $H/\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$	磁感应强度 B/GS	激磁电流 i_0/A	感应电势 E_2/mV
0.4	320	0.3	8.5
1.2	1 330	0.75	35
4	5 140	3	135

注:激磁匝数 $N_1=1$;控制匝数 $N_2=1$

3 用于其他电力设备的前景

电力系统中的高压超高压输变电系统中的设备规模大、性能高,其主要配件规格相应较大,要使纳米晶在其中推广应用,在制作上具有相当大难度,但我们已有 GCB·T 和 126 kV GIS 用纳米晶合金的设计研制经验可资借鉴。这包括:①完全非晶的带是后热处理时获得高质量纳米晶制品的保证;②改善纳米晶带薄(仅 0.03 mm 厚)所致卷绕空隙大(即填充系数小)的现状,可提高制品整体性能;③扩大纳米晶带宽度,以利制作大尺寸制品;④严格控制热处理工艺,提高重复稳定性、工艺性、均匀性程度;⑤扩大知名度,提高人们对其长期稳定性的置信度。这样,

目前电力系统中对磁材有特殊要求的设备如:倒立式电流互感器、特种变压器、干式变压器、独立式油互感器、电抗器等,均可考虑进一步开发。

4 结束语

非晶纳米晶合金是目前软磁材料中的佼佼者,在电力系统中的应用这只是开始,但由于大型产品尚有工艺上要解决的问题,且批量生产量小,成本还

不能降低至期望的程度,故仍有许多工作要做。然而,倘若解决了这两方面的问题,其市场前景不可限量。

纳米晶合金软磁材料是纳米材料科学的一个重要组成部分,亦是热门研究领域之一,故在电力系统中的应用亟待广泛开发。随着时间的推移,科技水平的进一步提高,定会像坡莫合金一样被应用到诸如电力、电子、通信等更广泛的领域。

参考文献:

- [1] YOSHIGAWA Y, OGUMA S, YAMAUCHI K. New Fe-based soft magnetic alloys composed of ultrafine grain structure [J]. J Appl Phys, 1988, 64(10): 6 044-6 049.
- [2] 尚振球. 高压电器[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1992. 123-129.
- [3] 赵修民. 电流互感器[M]. 太原:山西科学教育出版社, 1987. 87-90.

(编辑 曹大刚)

A study on the application of nanocrystal alloy in the high-voltage power system

WAN Yun¹, WANG Yu-ping²

(1. Department of Physics, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. Electro-Engineering College, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The application of nanocrystal and nanoglass alloy was studied in measuring level current transformer which cooperates with high-voltage circuit-breaker and GIS in the power system. The probability of application in other electrical facilities used in power system was also analysed.

Key words: nanocrystal; nanoglass; high-voltage power system; current transformer

· 学术动态 ·

我刊获首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》评比优秀奖

《中国学术期刊(光盘版)》是一个大型的全文数据库,覆盖了自然科学、工程技术、人文和社会科学等各个领域 131 种期刊类别,入编期刊 2 600 多种。为使入编期刊规范化,《中国学术期刊(光盘版)》编辑委员会制定了《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》,并广泛征求入编期刊的意见和建议,几易其稿,并于 1999-02-01 由中华人民共和国新闻出版署作为技术规范试行。为对入编期刊进行综合评价,于 1997 年底开始创建中国学术期刊评价数据库,2000 年对入编期刊进行了抽样评价。据悉,共有 2 000 余种期刊参与了评优,有 600 余种期刊获得优秀奖,《西北大学学报》(自然科学版)获得优秀奖。这标志我刊在学术期刊的正规化、标准化方面迈上了一个新的台阶。

(曹大刚)