



智能框架断路器用触头材料

张明江* 陈名勇 张 洁 杨 清

(机械部桂林电器科学研究所, 桂林 541004)

摘要 论述了应用于我国最新设计制造的智能框架断路器上的触头材料工艺研究试验。通过大量试验,制成了高性能预烧钨骨架银钨触头和银镍石墨触头。经大电流电弧烧损和电磨损模拟试验,确定了较佳的动静触头品种。经装机型式试验证明,采用 AgW50/AgNi25C2 非对称配对触头,满足了断路器的各项性能指标。短路分断能力达 380V,65kA;660V,50kA。并具有显著的节银效果。

主题词 烧结触头材料 银钨基触头材料 断路器

1 前言

在低压配电系统领域,我国从 80 年代初开始引进了一些先进国家的框架式断路器制造技术,如上海人民电器厂引进德国 AEG 公司的 ME 系列断路器;广州南洋电器厂引进日本三菱公司的 AE 系列框架式断路器;合肥开关厂引进德国西门子公司的 3WE 断路器。同时我国在 80 年代也开发出了 DW15 系列万能式断路器。就额定电流 1600A 而言,DW15 断路器分断能力为 40~50kA(380V),引进断路器分断能力也只达到 50kA,而且这些断路器的智能化程度也很低。随着我国国民经济的高速发展,我国低压配电系统容量也在日益扩大,为了提高供电系统的可靠性、连续性和安全性,同时也为了缩小与国外先进水平的差距,很有必要在我国开发出智能化选择型万能式断路器。

目前国外已有许多种智能化框架式断路器,其优点一方面是保护功能齐全,智能化程度高,另一方面分断能力也有提高。如法国的

M. G 公司制造的额定电流为 1600A 的 M16 型智能化框架式断路器,其短路分断能力为 65kA(660V)⁽¹⁾。日本三菱公司制造的额定电流为 1600A 的 AE1600-H 型智能化框架式断路器,短路分断能力达 85kA(600V)⁽²⁾。本文叙述了为国内新设计的智能框架断路器配套的触头的研制。

2 试验方法

2.1 触头材料制造工艺试验

采用粉末冶金方法研制了 AgW50 及 AgNi25C2 触头。其中采用了不同粒度的 W 粉、不同的添加剂含量、不同的成形方法、不同的烧结熔渗 Ag 的工艺来制备 AgW50 触头以及不同的烧结温度、烧结时间和复压压力来制备 AgNi25C2。

2.2 触头材料模拟电试验

根据断路器的分断性能指标及电寿命温升指标,对国内外触头进行了对比试验。进行了模拟分断电流参数的大电流电弧烧损试验及模拟电寿命参数的电磨损及温升试验。

* 张明江,高级工程师,长期从事高低压电工触头的开发研究与生产工作

收稿日期:1995. 7. 22

2.3 装机试验

根据模拟电试验的结果,选择具有较佳综合性能的触头材料进行智能化断路器样机的装机摸底试验和正式装机型式试验。

3 试验结果及分析

3.1 国内外样机触头分析

电子探针、化学分析及物性测试结果见表 1。从表 1 中可看出既有对称配对触头,也有非对称配对触头。

表 1 目前国内外框架式断路器触头静态性能比较

Table 1 Comparison of static properties between domestic and foreign frame type circuit breaker at present

断路器型号	触头品种	性 能		
		硬度,MPa	密度,g/cm ³	电阻率,μΩ·cm
M-16 样机	动 AgNi30	935HV	9.75	
	静 AgC4Ni2	368HV	9.18	2.62
DW15	动 AgNi30	979HB	9.90	
	静 AgWC12C3	631HB	9.43	3.58
ME	AgZnO8	775HB	9.28	2.34
3WE	AgNi10C3	600HB	9.10	3.20

3.2 触头材料制造工艺试验

通过对 4 种不同的低压框架式断路器触

头尺寸进行实测,计算出 4 种断路器触头的各种电流密度,结果见表 2。

表 2 各种框架式断路器触头电流密度

Table 2 Electric current density of various frame type circuit breaker contact

框架式 断路器 型 号	每相触头 数 量	每相触头面积 mm ²	额定电流 A	短路分断 电 流 kA	额定电流 密 度 A/mm ²	短路电流 密 度 A/mm ²
DW15	主动:8 片	8×10×8	1600	40	2.5	62.5
	主静:2 条	2×50×12			1.33	33.33
	弧动:1 片	1×25×12			5.33	133.33
	弧静:1 片	1×25×12			5.33	133.33
ME	主动:2 片	2×25×10	1600	50	3.20	100
	主静:2 片	2×25×10			3.20	100
M-16	动:10 片	10×11×6.1	1600	65	2.38	96.87
	静:1 条	1×80×10			2	81.25
新设计智能 化断路器	动:10 片	10×10×4	1600	65	4	162.5
	静:1 条	1×60×10			2.67	108.3

由表 2 可看出新设计的智能化断路器触头的短路电流密度特别大,因而对触头的抗熔焊性有很高的要求。

(1) 触头材料品种的确定

首先分析比较现有国内外框架式断路器触头品种,考虑到新设计的智能化框架式断路器对触头的分断能力有很高的要求,即对

触头的抗熔焊性有很高的要求,初步确定两类触头材料品种:一类是 AgW,另一类是 AgNiC。

(2) 银钨触头的研制

钨具有很高的熔点,因此银钨触头具有很好的抗熔焊性能。但钨在高温作用下易使触头表面氧化,接触电阻增大,导致触头温升

过高,故钨含量不应过高。我们选择了 AgW50 触头。AgW50 材料的常规制造工艺有:混粉烧结法和熔渗法。为获得具有超常性能的材料,我们采用预烧钨骨架及熔融渗 Ag 的工艺来制造 AgW50 触头,由于钨含量低,触头又薄(1.5mm),如何制成 AgW50 触头的钨骨架就成了主要难点。

a. 钨骨架的制备

先后试验了掺蜡压制法和直接压制法,结果制得的钨骨架其钨含量都太高。经过反复试验,研究成功用烧结法来制备钨骨架,开辟了制作高性能 AgW50 触头的新途径。经文献检索,到目前为止尚未见报道过采用此烧结法来制作低 W 含量的钨骨架。要获得良好的钨骨架,烧舟的选择也非常重要。先后试验了铁舟、石墨舟、氧化铝舟等,经过试验,找到了一种烧舟,烧出了成分和尺寸都符合要求的钨骨架。

b. 钨粉粒度试验

采用不同费氏平均粒度的三种 W 粉来制备 W 骨架,然后渗 Ag 制成 AgW50 触头。以考核 W 粉粒度对电性能的影响。图 1~图 3 示出了用三种 W 粉制成的 W 骨架的扫描电镜照片。

c. 渗 Ag 试验

将预烧好的 W 骨架在高温下渗 Ag 1.5h,制成 AgW50 触头,图 4 为 AgW50 金相照片。

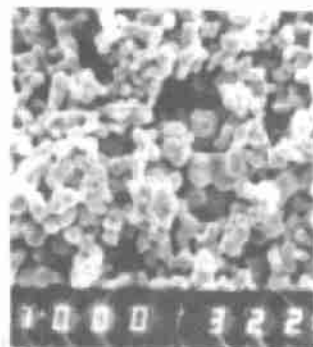


图 1 W 骨架(2.14μm W 粉) × 1000

Fig. 1 W skeleton(2.14 μm W powder)



图 2 W 骨架(5.2μm W 粉) × 1000

Fig. 2 W skeleton(5.2 μm W powder)



图 3 W 骨架(8.9μm W 粉) × 1000

Fig. 3 W skeleton(8.9 μm W powder)

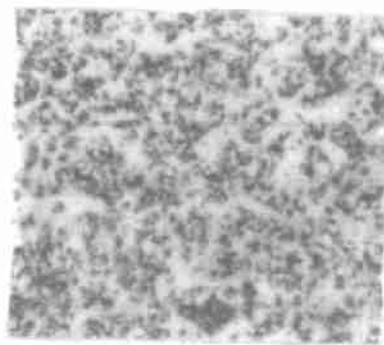


图 4 预烧钨骨架 AgW50 显微组织 × 200

钨粉: 2.14 μm

Fig. 4 Microstructure of pre-sintered tungsten skeleton AgW50

(3) 银镍石墨触头的研制

AgNi30 触头材料是低压断路器常用的一种触头材料,为了适应新设计的智能化断路器的分断电流 65kA 这一高性能指标,我们拟对 AgNi30 材料加以改造,即适当减少 Ni 含量而添加些对抗熔焊性有利的石墨,而提出 AgNi25c2 材料。AgNi25c2 中的 Ni 和 C 所占的体积比为 34.73%,AgNi30 中 Ni 所占的体积比为 33.58%,这两者的高熔点成分所占的体积比是相当的,但 AgNi25c2 的抗熔焊性应更高些。

对 AgNi25c2 采用了正交试验法来确定其基本工艺参数。先后试验了不同的成形压力、烧结温度和复压压力对 AgNi25c2 的硬度、密度和电阻率的影响,最终确定较佳工艺参数。图 5 为 AgNi25c2 触头的显微组织。目前国内外已有 AgNi29C3, AgNi10C3, AgNi10C2 触头,但 AgNi25c2 尚未见报道^[3,4]。



图 5 AgNi25c2 触头显微组织 $\times 200$

Fig. 5 Microstructure of AgNi25c2 contact

3.3 触头材料模拟电性能试验

(1) 抗熔焊性试验

将各种触头材料放在 CCDS 型电弧烧损试验机上进行大电流电弧烧损试验。首先对各种 AgNi30 及 AgNiC 触头进行筛选试验,其结果见图 6。从图中可以看出,银镍 30(SN30),银镍 7 石墨 3(SN7G3)和银镍 4 石墨 4(SN4G4)电弧烧损量都较大,而银镍 25 石墨 2(SN25G2)烧损量则最小。从此图还可以看出,在 AgNi 中添加高熔点成份石墨可以减少

电弧烧损量即增加抗熔焊性;但石墨添加量太多,电弧烧损量也变大。此外,从试验结果看出,各种 AgNi30 触头经大电流放电试验后,触头表面都凹凸不平,而添加石墨的 Ag-NiC 触头表面都较平整。

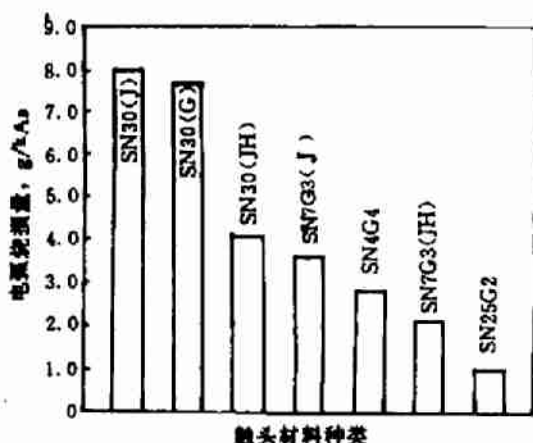


图 6 银镍及银镍石墨触头的电弧烧损试验

Fig. 6 Electric arc burning loss test of silver nickel and silver nickel graphite contacts

试验参数 放电电压:2500V 放电电流 $I_r=2800A$

触头间隙:0.6mm

触头直径: $\varnothing 6mm$ 电流密度: $99A/mm^2$

J: 挤压 G: 共沉淀 JH: 机械混粉

其次对各种 AgW 触头进行筛选试验(经 3 次试验),结果见图 7。从图中可以看出,对于预烧钨骨架的 AgW50 来说,钨粉粒度越粗,烧损量越大,Y2 号的 AgW50 的 W 粉粒度为 $2.14\mu m$,烧损最小,而 Y8 号的 AgW50 的 W 粉粒度为 $8.90\mu m$,烧损量最大。AgW50 中 W 含量低,W 所占的体积比小,W 粉越粗,经预烧后所形成的 W 骨架所占的比表面就越小,使得 AgW50 中的 Ag 易被烧损。而 W 粉越细,比表面积越大,在 AgW50 中就越弥散,使得 AgW50 中的 Ag 不易被烧损。但是对于银钨 70(ST70)情况就不同了,因 W 含量较高,W 所占的体积比也大了,所以即使是粗 W 粉,其抗电弧烧损能力也与细 W 粉的差别不大。

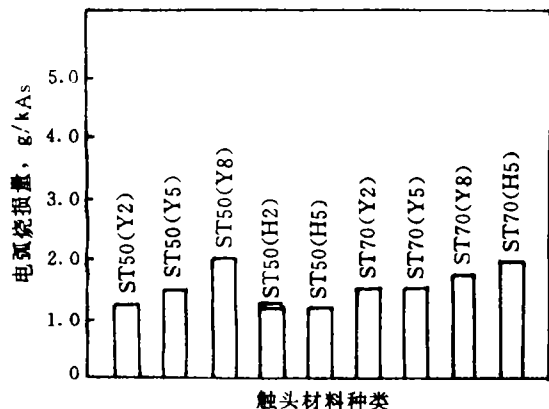


图 7 AgW 触头的电弧烧损试验

Fig. 7 Electric burning loss of AgW contact

试验参数 放电电压:2500V 放电电流: $I_r=2800A$
 触头间隙:0.6mm
 触头直径: $\varnothing 6mm$ 电流密度: $99A/mm^2$
 ST:AgW Y:预烧钨骨架 H:混粉渗 Ag
 阿拉伯数字表示 W 粉的粒度

此外,未预烧 W 骨架的 AgW50 (ST50H2)其电弧烧损量虽与预烧 W 骨架的相差不大,但试验后的触头表面氧化更严重,呈现出蓝色。预烧 W 骨架的三种 AgW50 中,采用 $2.14\mu m$ W 粉制成的预烧 W 骨架 AgW50,不但烧损量最小,而且试验后触头表面基本上未氧化。

将研制的性能较好的几种触头与现有的几种框架式断路器触头进行对比试验,其结果示于图 8 中。从图可以看出 DW15 断路器主触头经 1 次放电后即烧损很大。法国 M. G 公司的样机触头经 2 次放电后动触头即烧毁了。ME 断路器触头烧损量不算大。而预烧钨骨架的 AgW50 经 3 次放电后其烧损量仍为最小,且试后触头表面仍较致密,由此可见其抗熔焊性是非常好的。混粉渗 Ag 法制作的 AgW50 放电 3 次后烧损也不大,但其触头表面已出现疏松和小孔。AgNi25C2 触头经 3 次放电后,烧损量增加了,其抗熔焊性能还是较

佳的。而 AgWC12C3 经 1 次放电后烧损量就达到了 $3.9g/kAs$ 。

通过上述大量的模拟电试验的比较,可以看出采用 $2.14\mu m$ 钨粉预烧钨骨架的 AgW50 触头具有最佳的抗熔焊性。而 Ag-Ni25C2 触头具有较佳的抗熔焊性。

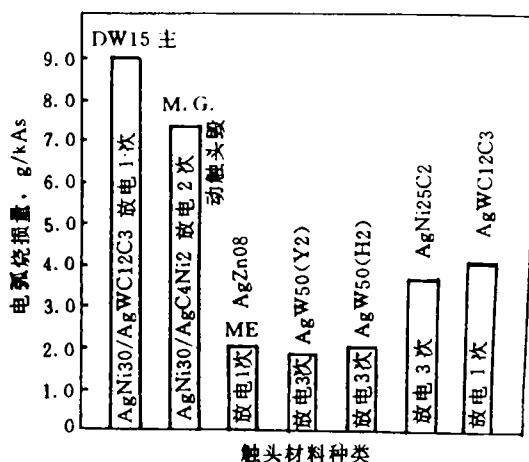


图 8 框架式断路器触头的电弧烧损试验

Fig. 8 Electric burning test of frame type circuit breaker

试验参数 放电电压:2500V 放电电流: $I_r=2800A$
 触头间隙:0.6mm
 触头直径: $\varnothing 6mm$ 电流密度: $99A/mm^2$

(2) 抗电弧磨损性试验

将各种不同的触头材料装在 CWMS 触头电磨损试验机上进行抗电弧磨损试验(500 次),以考核触头的电寿命性能。试验结果示于图 9 中。从图中可以看出法国 M. G 公司的断路器样机触头只开闭 400 次就不能再进行下去了,电磨损量高达 $177.4mg$ 。DW15 断路器主触头电磨损量也较大。ME 断路器触头经 500 次开闭后电磨损量也达到了 $26.3mg$ 。而我们研制的预烧钨骨架 AgW50(Y2)经 500 次开闭后电磨损量很小,只有 $8.5mg$ 。用 AgW50(Y2)与 AgNi25C2 配对,开闭 500 次后磨损量也只有 $12.2mg$,而且开闭 500 次后触头温升也只有 $66^{\circ}C \sim 75^{\circ}C$,而用 AgNi25C2 与 AgW12C3 配对电磨损量就很大了。由此

看来,综合考虑抗熔焊性、抗电磨损性及触头温升这三方面的要求,采用预烧钨骨架的AgW50(Y2)与AgNi25C2配对用于新设计的智能化框架断路器中应能有较好的结果。

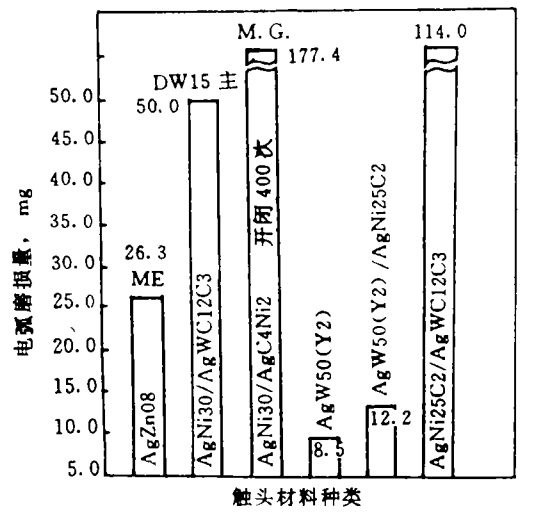


图 9 框架式断路器触头的电磨损试验

Fig. 9 Electric erosion test of frame type circuit breaker contact

试验参数 电压:U=220V 电流:I=100A
功率因数 cosφ=0.76
开闭次数:500 次 操作频率:50 次/h
触头开距:S=8mm
触头直径:φ6mm 电流密度:3.5A/mm²

3. 4 触头材料装机试验

根据模拟电试验的结果,采用 AgW50/AgNi25C2 配对触头装在新设计的智能化框架式断路器样机上又进行正式装机型式试验,结果通过了全套型式试验,满足智能化框架式断路器对触头的全部要求:Ir=1600A 的断路器短路分断能力达 380V,65kA;660V,50kA。额定电流(1600A)下电寿命达 500 次。

4 经济效益与社会效益

智能化框架式断路器的研制成功,是我国低压电器制造行业的一个里程碑。不但分断能力达到了目前我国低压框架式断路器分断能力的最高水平(1600A 等级为 65kA),而且具有四段保护及其它智能型功能,它的制造成功不仅填补了我国智能化断路器的空白,而且使我国低压电器的制造水平达到了一个新的水准。它将提高我国供电系统的可靠性、连续性和安全性,因而其社会效益是十分显著的。

由于我所研制的电触头材料性能优良,满足了智能化断路器对触头的设计要求,相对现有的各种低压框架式断路器触头而言,不但缩小了触头体积,而且降低了触头中 Ag 的含量,因此其经济效益和社会效益都将是十分显著的。表 3 比较了各种框架式断路器触头的用 Ag 量。

表 3 各种框架式断路器触头用 Ag 量的比较

Table 3 Comparison of silver quantity consumed for various frame type circuit breaker contacts

断路器品种	每相触头数量	触头尺寸 mm	每相触头体积 cm ³	每相触头用 Ag 量,g	
DW15-1600	主动:AgNi30 8 片	10×8×2.0	1.28	8.74	总计 31.74
	主静:AgWC12C3 2 条	50×12×2.5	3.00	23.00	
	弧动:CuW 1 片	25×12×3.0	0.90		
	弧静:CuW 1 片	25×13×3.0	0.90		
ME-1600	主动:AgZn08 2 片	25×10×1.5	0.75	6.12	总计 12.24
	主静:AgZn08 2 片	25×10×1.5	0.75	6.12	
M-16	动:AgNi30 10 片	11×6.1×1.1	0.738	5.04	总计 16.09
	静:AgC4Ni2 1 条	80×10×1.6	1.280	11.05	
智能化断路器 DW40-1600	动:AgW50 10 片	10×4×1.5	0.600	4.08	总计 10.12
	静:AgNi25C2 1 条	60×10×1.5	0.900	6.04	

由此表可看出, DW40-1600 智能化断路器触头用 Ag 量比 DW15 的减少约 68%; 比 M-16 的减少 37%, 比 ME-1600 的减少 18%, 由此可见其节 Ag 效果也是十分显著的。

5 结论

(1) 预烧钨骨架 AgW50 触头与采用混粉法制造的 AgNi25C2 触头配对应用于 DW40 型智能化框架式断路器中, 性能优良, 全部型式试验合格, 瞬时短路分断能力达 65kA(380V), 50kA(660V)。额定电流下电寿

命达 500 次。

(2) 采用钨粉烧结法可制得低钨含量的钨骨架。

(3) 采用预烧钨骨架及渗 Ag 的工艺制造 AgW50 触头, 使其具有优良的抗熔焊性及耐电磨损性。

(4) 采用预烧钨骨架 AgW50 与 Ag-Ni25C2 触头配对应用具有显著的节 Ag 效果。

朱名日同志和杨光联同志在模拟电试验中作了大量的工作, 在此表示感谢。

7 参考文献

- 1 法国 MERLIN GERIN 公司. LV Power Air Circuit-breaker 样本
- 2 日本 MITSUBISHI 公司. AE-H 型 INTELLIGENCE & HIGH POWER 低压断路器样本
- 3 梁宇青. 精密电工合金. 第一机械工业部科学技术情报研究所出版, 1980. 51.
- 4 李业建等. 电工合金, 1993, (2): 19

CONTACT MATERIALS FOR INTELLIGENT FRAME CIRCUIT BREAKER

Zhang Mingjiang, Cheng Mingyoung, Zhang Jie and Yang qing

(Guilin Electrical Equipment Scientific Research Institute, Guilin 541004)

Abstract Technolog research and test of contact materials used for the intelligent frame circuit breaker newly designed by our country. The silver-tungsten and silver-nickel graphite contacts with high properties pre-sintered tungsten skeleton have been made through a lot of experiments. After high current arc burning loss and electric erosion model tests, better dynamic and static varieties have been decided. It has been proved by trial running type experiments that asymmetry paired contacts of AgW50/Ag-Ni25C2 can meet various property targets of circuit. The limited short circuit breaking capacity reached 380V, 65kA; 660V, 50kA with obvious energy-saving results.

Key words sintered electric contact material silver-tungsten based contact material circuit breaker

合订本征订

本刊征订 1995 年合订本(第十三卷), 每册 35 元, 另有少量第一卷(1982 年), 第五卷(1987 年), 第七卷(1989 年)合订本, 每册 12 元, 第八卷(1990 年)合订本每册 15 元, 第十二卷(1994 年)合订本, 每册 25 元。1995 年以前的合订本均属最后一批, 以后不再装订。

购者可将款寄到本刊编辑部, 地址及邮编见目次页(第 1 页)。