

绝缘灌封材料对电涌保护器用压敏电阻的电性能影响

王茂华¹, 胡克鳌¹, 张南法²

(1. 上海交通大学金属基复合材料国家重点实验室, 上海 200030;

2. 常州市创捷防雷电子有限公司, 江苏 常州 213016)

摘要: 研究了压敏电阻器在环氧树脂灌封后的电性能变化。由于灌封材料渗入了压敏电阻的边沿, 漏电流持续上升, 不能趋于稳定, 引起了性能的劣化, 压敏电阻的侧面灌封材料有电流通过。经交流老化试验后, 压敏电阻的性能进一步劣化, 通过选择与压敏电阻匹配的灌封材料, 或先用绝缘釉对压敏电阻进行侧面处理, 可避免由于灌封材料引起的性能劣化现象。

关键词: 压敏电阻; 灌封; 绝缘; 电性能

中图分类号: TM 546 文献标识码: A 文章编号: 1009-9239(2004)06-0054-04

The effect of insulating coat material on electrical characteristics of varistors for surge protective device

WANG Mao_hua¹, HU Ke_ao¹, ZHANG Nan_fa²

(1. State Key Lab of MMCS, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Changzhou Chuangjie Lightning Protection Co., Ltd, Changzhou 213016, China)

Abstract: The changes of electrical characteristics of varistors after being coated in epoxy resin were investigated. As the coat material permeating in the edge of varistors, the leakage current increases continuously which leads to the degradation of electrical characteristics, part of current pass through the coat material in the side. After the AC accelerated aging test, the electrical characteristics of varistors degrade further. The degradation phenomenon of varistors due to the coat material can be prevented by selecting the suitable coat material, or by first treatment using insulating glaze in the side of varistors.

Key words: varistor; casting; insulation; electrical characteristics

1 引言

压敏半导体陶具有在一定温度下和某一特定电压范围内具有非线性伏-安特性、电阻随电压的增加而急剧减小的特性, 用它制成非线性的压敏电阻器能对瞬间电压波动作出灵敏反应, 广泛应用于电力系统、通讯设备、家用电器和建筑物的避雷等领域的过压保护, 高能浪涌吸收和高压稳压等, 并且反复使用而不会损坏^[1,2]。

电涌保护器 (Surge Protective Devices, SPD)

是抑制用电系统中瞬态过电压和分流冲击电流的器件^[3], 主要由压敏电阻、放电通道、性能劣化指示装置等组成。按其用途可分为电源保护器 (额定电压 100~1000V)、信息系统保护器 (电压 100V 以下)、放电隙 (用于接地系统和等电位连接)^[4]。压敏电阻是电涌保护器 (SPD) 的核心元件, 漏电流是在压敏电阻器两端施加一定的电压时流过压敏电阻的电流, 即在线路、设备正常工作时所流过压敏电阻的电流, 漏电流的大小与电压、温度有关, 电压、温度升高都会使漏电流加大, 它是反映压敏电阻稳定可靠性的一个重要指标, 如果漏电流不断增大, 温度持续上升会导致压敏电阻劣化最后热击穿而失效。因此漏电流必须尽

收稿日期: 2004-07-25

作者简介: 王茂华, 男, 博士, 主要从事电子材料的研究开发和生产 (Tel: 0519-6970660 E-mail: wmh2000@sjtu.edu.cn)。

可能地小, 一般控制在 50~ 100 μ A, 高于 100 μ A 的产品, 工作可靠性差。压敏电阻漏电流大小与材料成分和制造工艺有关。研究绝缘灌封材料对压敏电阻漏电流等电性能的影响, 并提出防止由灌封材料引起的压敏电阻性能劣化, 对提高 SPD 可靠性和稳定性具有重要意义。

2 SPD 用压敏电阻灌封后漏电流变化

选一批已检验合格的电涌保护器 (SPD) 成品进

行试验。SPD 所用的灌封材料为无锡惠利公司生产的 5060A/5060B 双组分环氧树脂, 5060A(树脂): 5060B(固化剂) = 100: 20, 固化温度为 60 $^{\circ}$ C, 时间 3h。压敏电阻器在灌封前已经过严格的检验, 是合格的半成品, 电压规格为 $V_{1mA} = 620V$, 漏电流稳定, 不会爬升。成品先存放一个月, 一个月后, 对这些成品 SPD 进行分析测试, 用 CJ1001 仪器测定 $0.75 V_{1mA}$ 下的漏电流, 发现大部分成品的漏电流持续增长, 不能趋于稳定, 如图 1(a)和(b)所示。

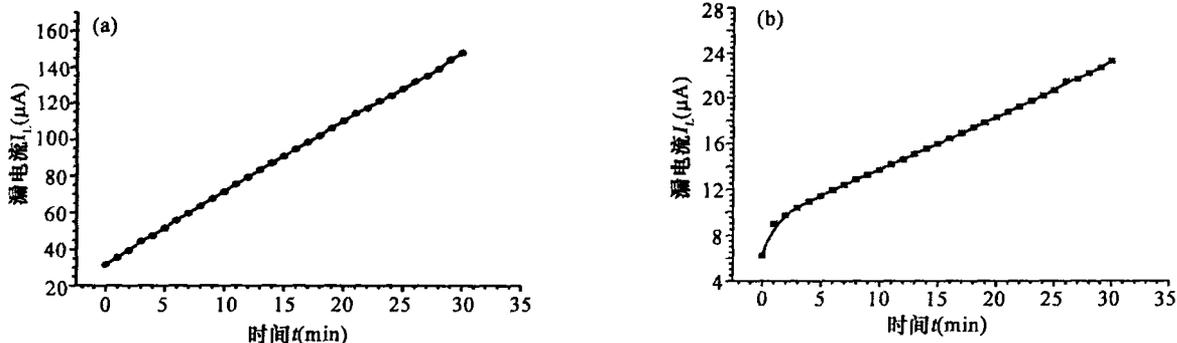


图 1 压敏电阻经环氧树脂灌封后, 漏电流随时间的变化

这里所说的漏电流稳定性, 是指压敏电阻在一定温度和连续电压下, 漏电流随时间的变化规律, 也就是连续电压寿命特性, 常见的变化规律有如图 2 的所示的 A, B, C 三种模式, 模式 A 的特点是一开始增大, 达到最高点后逐渐下降, 然后趋于一个稳定值, 模式 B 的特点是始终稳定在一个数值附近, 模式 C 的特点是漏电流随时间逐渐上升, 直到发展为热击穿, 相当多的压敏电阻烧毁故障就是属于这种情况, 显然在连续电压下应设法避免模式 C。

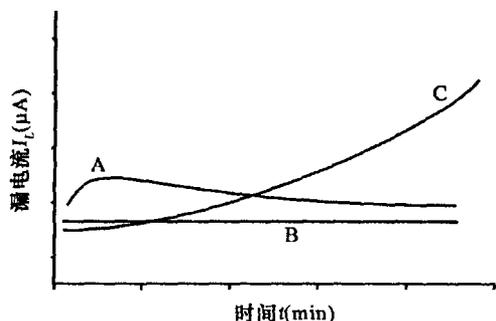


图 2 漏电流随电压作用时间的变化模式

3 灌封材料对压敏电阻的作用机理

为了研究灌封材料引起 SPD 漏电流持续上升的原因, 进行了以下试验:

(1) 在漏电流不断上升的 SPD 成品上, 加 50HZ,

385V_{rms} 的电压, 通过一只 1k Ω 取样电阻 R_y , 用 500 型三用表测 R_y 上的电压来确定漏电流, 实验时间 6h, 期间漏电流持续增长, 从大约 400 μ A 上升到 2~ 3mA, 用示波器观察 R_y 上的波形, 看不到压敏电阻非线性顶尖波, 电压要加大到 500V 左右才能看到顶尖波, 说明上述漏电流是线性电流, 不可能是电阻体的电流。同样, 在 SPD 样品加 500V 直流电压, 测 500V 下的电流, 当电流大到 15mA 还在增大, 但压敏电阻产生的热量, 没有使 SPD 上的热脱离器动作, 也可断定电流是通过灌封材料的侧面电流, 不是通过电阻体的电流。

(2) 取一只 SPD 成品, 压敏电阻经灌封后已劣化, 把压敏电阻从环氧树脂灌封料中挖出, 漏电流 I_L / 压敏电压 V_{1mA} / 非线性指数 α 为: 570 μ A / 353V / 1.8, 将它等分切成 16 小片, 测量每一小片的 3 个参数, 结果如表 1 所示。

将其中严重劣化的一片 (322 μ A / 638V / 4.0) 用砂纸第 1 次打磨后 $I_L / V_{1mA} / \alpha = 96\mu A / 648V / 4.0$, 砂纸第 2 次打磨后 $I_L / V_{1mA} / \alpha = 8.6\mu A / 650V / 41.6$, 用砂纸第 3 次打磨后 $I_L / V_{1mA} / \alpha = 3.72\mu A / 651V / 49.6$ 。经砂纸打磨后, 压敏电阻的性能参数逐渐得到恢复, 从以上实验可知, 由于环氧树脂灌封料渗入压敏电阻的边缘, 引起压敏电阻的劣化, 漏电流不断上升, 但灌封料并未渗入压敏电阻的中间。

(3) 也有一些 SPD 成品, 在环氧树脂灌封后, 压敏电阻的漏电流、压敏电压、非线性指数都符合产品的性能要求, 但是其它性能参数是否合格? 为此进行了 420V 交流电压下 70℃ 的加速交流老化实验, 结果如表 2 所示。

从以上实验可以看出, 经老化实验后, SPD 的性

能参数都已劣化, 漏电流最小 85 μ A, 最大达 580 μ A。为了证明是由环氧树脂灌封料引起的, 进行了对比实验。用 4 只同一批次的未环氧树脂灌封的带电电极片, 同时进行 420V 交流电压下 70℃ 的加速交流老化试验, 结果如表 3 所示。

对表 2 和表 3 的实验结果进行比较可见, 未环氧

表 1 压敏电阻切成小片后的 $I_L / V_{mA} / \alpha$

全部良好的中间4片	严重劣化的边缘3片	轻微劣化的边缘4片	基本没有劣化的边缘5片
0.4 μ A / 646V / 69.0	322 μ A / 638V / 4.0	30.8 μ A / 641V / 52.8	0.56 μ A / 648V / 66.2
0.50 μ A / 650V / 58.8	313 μ A / 638V / 4.0	34.9 μ A / 636V / 41.8	0.84 μ A / 645V / 67.2
0.43 μ A / 652V / 70.2	133 μ A / 636V / 5.7	25 μ A / 626V / 51.5	5.78 μ A / 644V / 62.4
0.41 μ A / 645V / 70.1	—	0.81 μ A / 631V / 47.5	1.06 μ A / 649V / 66.3
—	—	—	0.87 μ A / 646V / 66.9

表 2 SPD 成品老化试验后的 $I_L / V_{mA} / \alpha$

序号	交流老化前	老化时间			
		24h	48h	90h	106h
1	4.1 μ A / 616V / 54.5	2.7 μ A / 626V / 53.5	42 μ A / 626V / 31.8	410 μ A / 614V / 4.3	580 μ A / 482V / 7.1
2	1.2 μ A / 625V / 57.3	3.0 μ A / 633V / 54.6	8.8 μ A / 632V / 51.5	38 μ A / 633V / 38.7	85 μ A / 634V / 9.8
3	1.1 μ A / 616V / 54.4	30 μ A / 624V / 39.4	54 μ A / 623V / 23.6	94 μ A / 627V / 8.2	150 μ A / 625V / 4.3
4	1.4 μ A / 654V / 49.4	13 μ A / 659V / 44.5	68 μ A / 655V / 16	280 μ A / 656V / 3.8	536 μ A / 609V / 4.2

表 3 未环氧灌封的压敏电阻老化试验前后的 $I_L / V_{mA} / \alpha$

序号	交流老化前	老化时间			
		24h	48h	90h	106h
1	1.8 μ A / 653V / 53.5	0.5 μ A / 662V / 53.6	0.5 μ A / 664V / 55.0	0.6 μ A / 667V / 57.1	0.8 μ A / 667V / 57.6
2	2.2 μ A / 617V / 50.8	1.1 μ A / 628V / 53.6	1.3 μ A / 632V / 53.4	1.4 μ A / 636V / 53.4	1.6 μ A / 638V / 54.4
3	1.9 μ A / 643V / 52.4	0.6 μ A / 651V / 53.6	1.1 μ A / 653V / 53.6	0.9 μ A / 656V / 56.8	1.1 μ A / 657V / 57.3
4	1.9 μ A / 648V / 43	0.8 μ A / 658V / 44.9	1.3 μ A / 657V / 43.6	1.0 μ A / 661V / 49.1	1.2 μ A / 660V / 49.7

灌封的压敏电阻老化试验后的漏电流下降, 压敏电压上升, 非线性指数上升, 没有出现劣化现象, 仍是合格的压敏电阻。

(4) 环氧灌封材料引起的压敏电阻性能劣化可能是在压敏电阻边沿留边部位, 虽然没有银电极, 但压敏电阻的晶粒之间有晶界, 灌封材料可以沿着微间隙渗入电阻体, 在压敏电阻和灌封材料的作用下, 侧面可能有电流流过, 与流过电阻体的电流相并联。为

了证明该原因引起了压敏电阻性能劣化, 先用一种绝缘釉对压敏电阻的侧面进行处理^[5], 使银电极以外的边沿部分都有绝缘釉包封, 然后再用 5060A / 5060B 环氧树脂灌封。用粉末环氧树脂作绝缘釉进行侧面处理。通过对 SPD 成品进行测试, 漏电流趋于稳定。经 420V 交流电压下 70℃ 的加速交流老化试验后, 压敏电阻的性能参数仍是合格的, 试验结果如表 4 所示。

表 4 经侧面处理后的 SPD 成品老化试验前后的 $I_L / V_{mA} / \alpha$

序号	交流老化前	老化时间			
		24h	48h	90h	106h
1	1.6 μ A / 658V / 52.8	0.7 μ A / 664V / 54.4	0.6 μ A / 665V / 55.8	0.7 μ A / 669V / 57.9	0.8 μ A / 665V / 57.2
2	2.4 μ A / 621V / 51.3	1.6 μ A / 629V / 53.5	1.4 μ A / 634V / 54.3	1.4 μ A / 639V / 52.7	1.5 μ A / 637V / 53.2
3	1.7 μ A / 647V / 52.4	0.9 μ A / 653V / 53.6	1.0 μ A / 656V / 52.6	0.8 μ A / 660V / 55.4	1.2 μ A / 659V / 56.5
4	1.2 μ A / 651V / 43.3	1.1 μ A / 657V / 44.7	1.3 μ A / 659V / 44.6	1.1 μ A / 663V / 48.7	1.0 μ A / 660V / 50.3

(下转第 63 页)

3.4 橡胶注射成型

液态硅橡胶经供料计量泵或注射机注射进入模具, 经加热 120℃ 保压 10min 脱模成型, 再经 200℃ 加热 4h 的二次硫化, 确保交联度达到 90% 以上, 制品的永久变形 (50℃/48h/200% 定拉伸) 在 2% 以下; 供料计量泵主要有德国 2KM 公司、美国 ENGER-SOLLRAND 公司, 注射机主要有德国 2KM、DESMAR 公司、法国 REP 公司, 日本 SANJO 公司、奥地利 ENGEL 公司、台湾 MULTIPLAS 公司。

3.5 扩张定型

冷缩型电缆附件扩张设备是非标设备, 而扩张设备的设计是否科学、扩张工艺控制的好坏与否, 直接影响产品的质量, 对电缆长期安全运行起到积极的作用。冷缩型电缆附件的生产制造方法, 大体上可归纳为气压扩张法、机械扩张法等。

(1) 气压扩张法: 通过压缩空气和抽真空提供一定的压力对制品进行扩张, 即管内充一定空气压力, 管外施加负压扩张, 放入支撑管, 该方法径向扩张倍率大, 管材内外壁光滑无缺陷, 是较为实用的扩张方法, 是扩张工艺发展的趋势;

(2) 机械扩张法: 利用机械运动对制品进行扩张或拉伸方法, 即以钢丝支撑骨架锥体杆插入扩张法, 放入支撑管, 纵向拉伸几乎为零, 但致命缺点是钢丝易损伤管材内壁, 造成严重缺陷。

4 冷缩型电缆附件的性能

冷缩型电缆附件分别通过了电力工业部电气设备质量检验测试中心、KEMA T&D TESTING SERVICES(荷兰 KEMA 实验室) 的型式试验、中国船级社检测认证, 是国内首家通过国际权威机构的检测的产品, 检测所依据的标准为 IEC 60502-4。

5 结束语

冷缩型电力电缆附件技术日臻成熟, 以稳定的质量, 快捷的安装, 安全可靠的服务, 已经为电力工业建设的繁荣发展作出了很大贡献, 并将有更广阔的应用前景。

参考文献

- [1] JB/T 8640-1997 1-2 额定电压 26/35kV 及以下电力电缆附件型号编制方法[S].
- [2] 中国电力百科全书输电与配电卷[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [3] 武汉高压研究所. 35 千伏及以下热缩电缆附件[R]. 第 3 次全国电力电缆运行经验交流会资料汇编, 1982.
- [4] 电线电缆手册(第 1 册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [5] 陈羽中. 热缩型电缆附件的技术与应用[J]. 绝缘材料, 2002(2): 34-39.
- [6] 徐刚, 等. 中高压电力电缆半导体屏蔽电阻率特性分析[J]. 电线电缆, 2004(3): 25-26.
- [7] GB/T 12706.2-3-2002. 额定电压 1kV($U_m = 1.2kV$) 以上至 36kV($U_m = 40.5kV$) 挤出绝缘电力电缆及其附件[S]. GB/T 11017.1-2-2002 额定电压 110kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件[S].

(上接第 56 页)

从以上的一系列的试验结果来分析可知, 要避免由灌封材料引起的压敏电阻劣化现象, 一是调整压敏电阻的瓷料配方。瓷料配方决定电阻器的性能好坏, 是解决劣化现象的关键之一。二是选择与压敏电阻相匹配的绝缘灌封材料。它必须具有很高的绝缘电阻, 能将压敏电阻边沿微间隙堵住, 还必须具有化学稳定性好, 不会破坏晶界势垒。三是先用绝缘釉对压敏电阻进行侧面处理, 再用灌封材料进行封装, 这样可避免灌封材料沿着微间隙渗入电阻体。

4 结论

(1) 合格的压敏电阻器, 经绝缘灌封材料封装后, 引起漏电流持续上升, 不能趋于稳定, 是由于灌封材料沿着微间隙渗入电阻体, 引起压敏电阻的性能劣化。

(2) 流过 SPD 的电流, 不全是流过压敏电阻的,

仍有一部分是流过灌封材料的侧面电流, 这两部分电流相互并联。

(3) 要选择与压敏电阻相匹配的绝缘灌封材料, 或者先用侧面绝缘釉进行侧面处理后, 再用灌封材料对压敏电阻进行灌封, 可避免由于灌封材料引起的压敏电阻性能劣化。

参考文献

- [1] T K Gupta, Application of zinc oxide varistors [J]. J. Am. Ceram. Soc., 1990, 73(7): 1817-1840.
- [2] 徐廷献. 电子陶瓷材料[M]. 天津: 天津大学出版社, 1993. 324-352.
- [3] IEC 61643-1, Surge Protective Devices connected to Low-Voltage Power Distribution System, Part 1: Performance requirements and testing methods[S]. 1998.
- [4] 王智明. 低压电源避雷器的应用技术[J]. 低压电器, 2000, (6): 57-59.
- [5] 邹晨. 封装材料的改进及其对压敏电阻流耐受性能的影响[J]. 绝缘材料, 2003, (2): 44-47.