

SPD 脱扣装置中温度保险丝性能分析

刘艳辉¹ 王芳² 伍星² 何建棠³ 李荣标¹

(1 广东省江门市新会区气象局, 新会 529100; 2 广东省开平市气象局, 开平 529300;
3 广东省台山市气象局, 台山 529200)

摘要 金属氧化物避雷器(MOV)对电子设备和网络系统提供有效防雷保护的同时也出现了因 MOV 失效所导致的诸多问题, 其中最严重的是导致起火、爆炸。分析了 MOV 起火的原因, 阐述了温度保险丝的工作原理, 提出运用温度保险丝对 MOV 进行过热保护, 防止 MOV 起火的观点。为检测温度保险丝的性能, 设计了温度保险丝的过电流耐受冲击试验、限制电压试验和热稳定性试验。试验结果表明: 使用温度保险丝作为电涌保护器内置脱扣装置时, 能够耐受雷电流的冲击; 压敏电压的变化率在 10% 以内, 限制电压仅上升 2.2%, 说明温度保险丝并不会影响 MOV 的限压性能; 在 MOV 过热时, 温度保险丝能迅速熔断, 切断 MOV 与主电路的连接, 从而保护系统安全。还对温度保险丝和低温焊锡的脱扣性能进行比较, 将二者的脱扣温度与断开时间进行了分析, 当脱扣时的温度小于 130 °C 时, 温度保险丝较低温焊锡动作及时, 具有一定的优越性。

关键词 温度保险丝 MOV 失效 电涌保护器 脱扣装置 热稳定性

引言

随着防雷事业的蓬勃发展, 金属氧化物压敏电阻^[1] MOV(Metal Oxide Varistor)以其优越的非线性伏安特性, 使得过电压防护技术达到了一个稳定的水平。然而, MOV 在使用过程中也出现了失效所导致的诸多问题, 其中最严重的问题是 MOV 失效后导致起火、爆炸。

国内外对压敏电阻的老化过程和失效保护模式进行了大量研究工作。在标称电流 I_n 的冲击下, MOV 型避雷器的压敏电压 U_{1mA} 随冲击次数的增加经历了“增大—稳定—急剧减小”3 个过程^[2-3]。压敏电阻在电流冲击达到自身承受的最大值时, 会失去非线性, 转化为稳定阻抗, 启动电压降低。由于热累积效应, 压敏电阻会发生平均功率过应力失效^[4-5]。当系统中产生操作过电压、供电系统电网质量差引起的长期电压波动和多次出现雷击等情况时, 压敏电阻的性能逐渐劣化, 最终短路失效。因而合理选择路径, 采取最佳 SPD 能量配合设计尤为重要^[6-7]。SPD 的脱离结构及热传导方式可以指导选择低温焊锡的温度^[8]。脱扣弹片的脱扣性能与其

自身的表面积有关, 表面积越小, 脱扣时间越短^[9]。当雷电流通过金属材料后, 其金相结构将发生明显的变化^[10]。对于实际闪电电流参数的研究成果, 将有助于我们更好地测试脱扣装置的性能^[11-12]。

本文阐述了温度保险丝的工作原理, 并设计了一系列试验, 研究其作为 MOV 脱扣装置使用时的性能。

1 MOV 起火原因分析

导致 MOV 失效的原因除了严酷的环境条件, 如强太阳光辐照、环境高温外, 主要因素包括如下几个方面:

- (1) 在线路中受到过电压的冲击, 会导致压敏电阻发热, 材料燃烧起火。
- (2) 雷电过电压与正常工频电压的联合作用, 会导致 MOV 的失效。
- (3) MOV 自身的性能也会导致失效起火。

2 温度保险丝作为 SPD 内置脱扣装置工作原理

2.1 温度保险丝

温度保险丝指露置于超过设定温度下, 经足够

长的时间后,能使电路断开的仅供一次性保护而不可重新再用的元件^[13]。当设备或电路的环境温度升高到某一异常值时,保险丝中的易熔合金就立即熔断,将电路切断,起到保护设备和电路的作用^[14]。

目前温度保险丝有两种,机物型温度保险丝和合金型温度保险丝。本文中涉及到温度保险丝全是指合金型温度保险丝。

2.2 温度保险丝作为 SPD 内置脱扣装置

MOV 的过热保护设计中,将一只温度保险丝与 MOV 串联并使二者紧靠。当温度保险丝感应到 MOV 表面温度过高时,自身熔断,切断 MOV 的电流通路,以达到保护 MOV 的目的。

温度保险丝作为 SPD 内置脱扣装置的工作原理如图 1 所示。

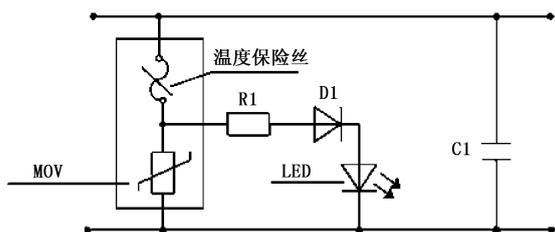


图 1 温度保险丝工作原理示意图

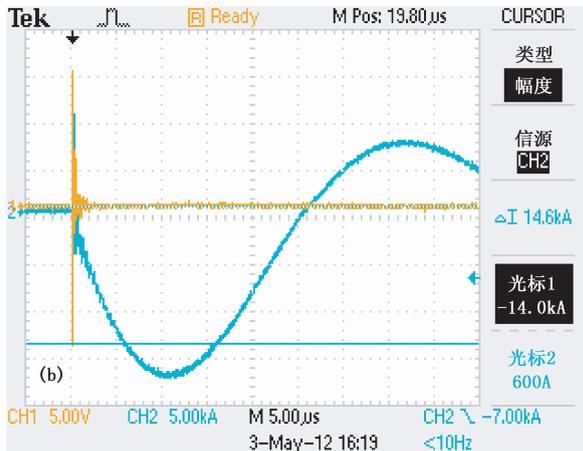
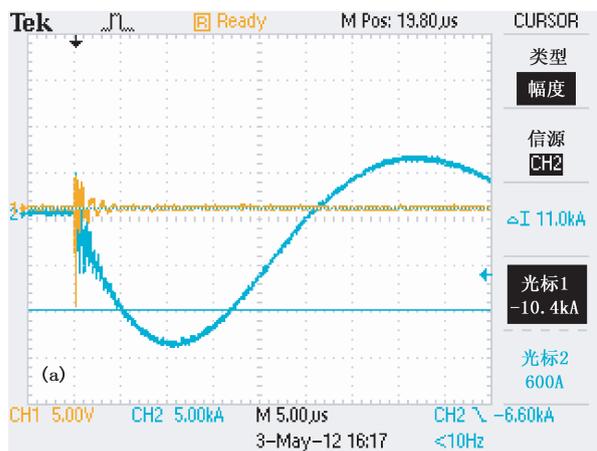


图 2 温度保险丝 I_{\max} 波形:(a) $I_r=20$ A 的温度保险丝所承受的 I_{\max} (14.6 kA),
(b) $I_r=40$ A 的温度保险丝所承受的 I_{\max} (18.5 kA)

从波形图我们可以看出:温度保险丝在规定波形(8/20 μ s)的冲击电流下,波形没有失真,说明温度保险丝没有熔断。试验结果如表 1 所示。

经过 5 组(每组含同等级冲击试验 10 次)冲击试验后,用万用表检测两种温度保险丝($I_r=20$ A、 $I_{\max}=14.6$ kA; $I_r=40$ A、 $I_{\max}=18.5$ kA),温度保

当电路正常工作时,温度保险丝连通,MOV 呈高阻抗状态。LED 指示灯亮,表示电路正常运行;LED 灯熄灭,表示防雷模块失效,即 MOV 过热触发温度保险丝动作,此时内置温度保险丝熔断,并将 MOV 从主电路中隔离出来。

3 温度保险丝耐受冲击试验

为了验证温度保险丝作为 MOV 的内置脱扣装置能够耐受雷电流的冲击,不会影响 MOV 的性能,以及能够及时可靠动作,本文设计了如下 3 个试验。

3.1 冲击电流试验

采用高电压实验室的雷电冲击试验平台,对温度保险丝进行冲击耐受试验,以检测温度保险丝是否能承受规定波形(8/20 μ s)的冲击电流。试验使用的温度保险丝的参数为:①型号 S20K125 型温度保险丝,分断电流为 $I_r=20$ A,额定动作温度 $T_f=125$ $^{\circ}$ C,额定电压 $U_r=250$ V(AC),对应标称放电电流 $I_n=10$ kA;②型号 P40K135 型温度保险丝,分断电流为 $I_r=40$ A,额定动作温度 $T_f=135$ $^{\circ}$ C,额定电压 $U_r=250$ V(AC),对应标称放电电流 $I_n=20$ kA。

试验中两种温度保险丝的 I_{\max} 波形如图 2 所示。

险丝均未有熔断,表明温度保险丝仍然处于正常的工作状态,说明温度保险丝能够耐受模拟雷电波形的冲击,在实际使用中能够承受真实的雷电流的冲击。

3.2 限制电压试验

为了验证温度保险丝在通过电涌电流时是否会产生比较高的电压降,与 MOV 配合能否影响 SPD

表 1 温度保险丝耐受冲击试验结果

序号	冲击电压/kV	$I_r=20$ A 的温度	$I_r=40$ A 的
		保险丝 I_{max}/kA	温度保险丝 I_{max}/kA
1	10	7.6	7.8
2	15	11.0	11.3
3	20	14.6	14.9
4	25	18.1	18.5
5	30	21.3	21.6

的残压,对其进行了限制电压试验。试验中选用了 3 个样品,样品 1 为 $U_{1mA}=621$ V 的 MOV,样品 2 为 $U_{1mA}=621$ V 的 MOV 串联 $I_r=15$ A 的温度保险丝,样品 3 为 $U_{1mA}=621$ V 的 MOV 串联 $I_r=20$ A 的温度保险丝。

限制电压试验采用复合波(开路电压波形:1.2/50 μs ,短路电流波形:8/20 μs ,发生器特性阻抗(VOC/ISC):2.00 Ω)^[15]。使用(1~3) kV $\pm 10\%$ 冲击电压分别对 3 个样品进行 5 次冲击,测量其限制电压。试验结果如图 3 所示。

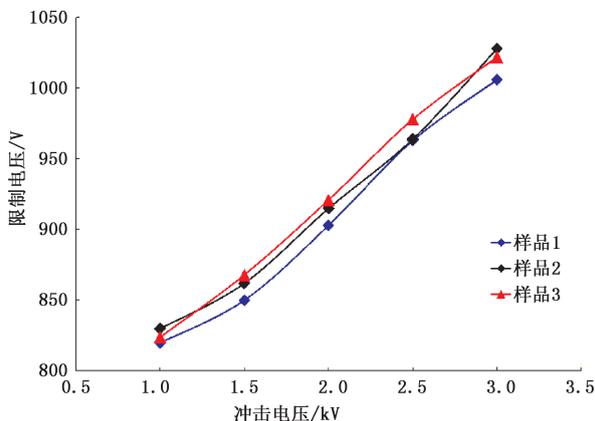


图 3 3 个样品的限制电压比较

对限制电压的进行分析发现,限制电压的变化甚少,最大增加率仅为 2.2%,这对于 MOV 性能的影响是可以忽略不计的。

本文还对 MOV 的残压比进行了分析,发现串联上温度保险丝后 MOV 的残压比均小于 3,这说明温度保险丝并不会影响 SPD 的正常工作,能够较好的保护后续电路。

3.3 热稳定性试验

采用高压实验室的热稳定测试仪进行热稳定性试验,以检测温度保险丝动作的灵敏度,将 MOV 从电路中脱离。试验时,SPD 两端连接到工频电源,电源电压应足够高使 SPD 有电流流过。该试验电

流调到恒定值,试验从 2 mA 逐级变到最大功率^[16]。试品表面温度通过温枪测量。

采用 SET C2 的温度保险丝和压敏电阻片 A1 串联(A1 静态参数:压敏电压:624.3 V,漏流:1.8 μA ,SET C2 的额定工作温度 T_f 为 115 $^{\circ}C$),通过电流分为 10、20、40 mA 3 组。

将试验所得的数据绘制成图 4。

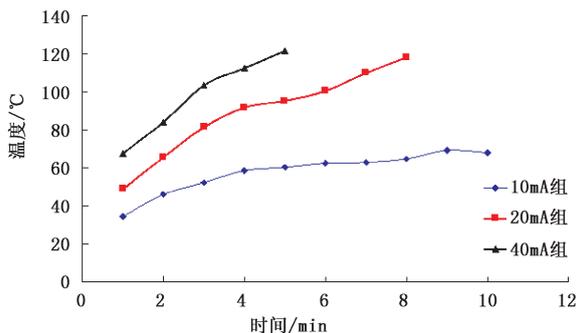


图 4 MOV 热稳定试验数据曲线

分析图 4 可知:10 mA 组 5 min 后的温度不再快速上升,这是 MOV 达到热平衡的原因。20 mA 组和 40 mA 组开始时,MOV 的温度迅速上升,当达到温度保险丝的动作温度后,温度保险丝熔断,让 MOV 从测试电路中分离出来。通过试验及以上分析可知,温度保险丝可以满足文献[17]中关于 SPD 热稳定试验的要求,在 SPD 过热时,能及时动作,防止 SPD 起火。

4 温度保险丝脱扣装置与低温焊锡型脱扣装置的性能对比

由于目前在市面上采用的电涌保护器多为低温焊锡型 MOV,较少采用温度保险丝脱扣。为了研究它们在不同场合的适用情况,我们通过热稳定性试验,采集温度-时间数据,对 MOV 两种脱扣方式的性能进行比较。

4.1 初步分析比较

由现有的已知条件,可知温度保险丝脱扣装置与低温焊锡型脱扣装置部分共同点和不同点。共同点:两者的脱扣机制主要都是靠传导热,其中包括纵向和横向两个过程^[18]。而不同点则有:①使用温度保险丝作为脱扣装置无需考虑脱扣弹片样式等问题,只需增大与 MOV 的接触面积;②温度保险丝的体积较小,适用于某些特殊场所,比如 PCB 电路板

等,而弹片式 MOV 则一般用于配电柜中,其封装外壳一般制成嵌入式,方便嵌入模块导轨槽中;③低温焊锡型 MOV 中的脱扣弹片由于有缺口,在大电流冲击的情况下断开,起到过流脱扣保护作用,同样也可以起到保护 MOV 及整个回路的作用^[19]。

4.2 试验数据采集与分析

首先对低温焊锡型 MOV 进行试验,选用 $U_{1mA} = 621$ V 的 MOV,通过 80 mA 电流,结果如表 2 所示。

表 2 低温焊锡的热稳定试验结果

型号	起始温度 $T_1/^\circ\text{C}$	脱扣时温度 $T_2/^\circ\text{C}$	断开 时间/s
1 cm 低温焊锡	24.6	98	55
2 cm 低温焊锡	24	136	78

同样采用 $U_{1mA} = 621$ V 的 MOV,对不同型号温度保险丝通过 80 mA 的测试电流,结果如表 3 所示。

表 3 使用温度保险丝脱扣的热稳定试验结果

序号	温度保险丝 型号	起始温度 $/^\circ\text{C}$	断开后 MOV 温度/ $^\circ\text{C}$	断开 时间/s
1	SET K0	25.5	78	42
2	SET K18	25.9	96	48
3	SET X18	25.3	103	50
4	SET X1	25.8	115	62
5	SET T115	25.5	128	74
6	SET T136	25.3	136	80

从以上试验数据我们可以得知:低温焊锡与温度保险丝的温度脱扣均大致与断开时间呈正比,低温焊锡的断开时间随脱扣温度的变化率为 0.605 s/ $^\circ\text{C}$,而温度保险丝的为 0.695 s/ $^\circ\text{C}$,变化速率要大许多。当脱扣温度较低时,温度保险丝的性能明显优越于低温焊锡,保护更加及时,例如脱扣温度为 100 $^\circ\text{C}$ 时,温度保险丝会比低温焊锡提前动作 6 s 左右;当脱扣温度达到 130 $^\circ\text{C}$ 时,两者的断开时间大致相等,当脱扣温度大于 130 $^\circ\text{C}$ 时,低温焊锡的性能较好一些。

由于在实际应用中,脱扣温度一般均小于 130 $^\circ\text{C}$,故温度保险丝能够更为及时的动作,且脱扣温度能够精确控制。因此,使用温度保险丝脱扣的 SPD 可应用于次级或细级保护,而低温焊锡型

MOV 主要应用于初级保护。

5 结论

作为防雷保护的元器件,温度保险丝在故障时必须第一时间从主电路中分开,以防止 MOV 自燃。从文中的试验我们可以得知:

(1)集成温度保险丝和 MOV 为一体的 SPD 中,能够耐受雷电流的冲击。

(2)温度保险丝对 MOV 静态参数的影响在容许的范围内,对 MOV 限制电压变化率仅为 2.2% 影响不大。与温度保险丝串联使用,能够有效地防止过电压。

(3)使用温度保险丝脱扣和使用低温焊锡型脱扣分析可知:当脱扣温度低于 130 $^\circ\text{C}$,温度保险丝比低温焊锡型脱扣装置的脱扣时间短,说明温度保险丝保护更及时。除此外,温度保险丝的对于脱扣温度的控制更精确,更适合于次级保护。

参考文献

- [1] GB 50057-10 建筑物防雷设计规范[S].北京:北京标准出版社,
- [2] 尹桂来,李建英,尧广,等. ZnO 压敏陶瓷冲击老化的电子陷阱过程研究[J]. 物理学报,2010,59(9):6345-6350.
- [3] 杨仲江,张彬,柴键,等. 氧化锌压敏电阻老化过程中非线性系数变化的研究[J]. 电子元件与材料,2011,30(9):27-30.
- [4] 杜志航,孙涌,汪计昌,等. 压敏电阻在配合使用时的老化和失效分析[J]. 电瓷避雷器,2009,(6):31-34.
- [5] 王茂华,胡克鳌,张南法. 氧化锌压敏电阻器的失效模式[J]. 电子元件与材料,2005,24(9):62-64.
- [6] 杨大晟,张小青,许杨. 低压供电系统中 SPD 的失效模式及失效原因[J]. 电瓷避雷器,2007,(4):43-46.
- [7] 陈军. 电气系统中电涌保护器的雷电流能量配合设计[J]. 气象科技,2007,35(5):723-726.
- [8] 韩伟,王建文,王学辉,等. 电源线路浪涌保护器(SPD)安全性能的分析研究[J]. 电瓷避雷器,2008,(6):22-24.
- [9] 杨仲江,唐宏科,朱浩,等. MOV 型 SPD 脱扣弹片的性能分析[J]. 低压电器,2010,7:10-13.
- [10] 李家启,陈宏,曾理,等. 模拟雷电流冲击金属材料的金相组织分析[J]. 气象科技,2012,40(5):834-838.
- [11] 冯志伟,肖稳安,马金福,等. 基于地闪数据的雷电流幅值累积频率公式探讨[J]. 气象科技,2012,40(1):137-140.
- [12] 李家启,李博,申双和,等. 基于 ADTD 系统的雷电流波头陡度频率分布特征[J]. 气象科技,2010,38(6):741-745.
- [13] GB9816-2008(IEC60691-2002). 热熔断体的要求和应用导则[S].北京:北京标准出版社,2009.
- [14] 王德沅. 温度保险丝的原理和代换[J]. 电子世界,2005(7):

72-73.

- [15] 卢燕. 电涌保护器的性能与试验方法的研究[D]. 南京:南京信息工程大学, 2008.
- [16] 李祥超, 姜翠宏, 赵学余. 防雷工程设计与实践[M]. 北京:气象出版社, 2010.
- [17] GB188021-2002. 低压配电系统的电涌保护器(SPD)第 1 部分:性能要求和试验方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2002.

- [18] Gurrum S P, Joshi Y K, King W P. A compact approach to on-chip interconnect heat conduction modeling using the finite element method [J]. Journal of Electronic Packaging, 2008, 31(1):1-8.
- [19] 杨仲江, 唐宏科, 朱浩, 等. MOV 型 SPD 脱扣弹片的性能分析[J]. 低压电气, 2010, (7):10-17.

Performance Analysis of Thermal Fuses in SPD Disconnecter

Liu Yanhui¹ Wang Fang² Wu Xing² He Jiantang³ Li Rongbiao¹

(1 Xinhui Meteorological Service, Guangdong, Xinhui 529100; 2 Kaiping Meteorological Service, Guangdong, Kaiping 529300; 3 Taishan Meteorological Service, Guangdong, Taishan 529200)

Abstract: The malfunction of SPD can incur many problems. The most hazardous problem is the fire and explosion resulted from the failure of MOV (Metal Oxide Varistor). The reasons for the fire are analyzed and the working mechanisms of thermal fuses are described. The method using thermal fuses to protect SPDs from excessive heating and MOV fire is introduced. In order to test the characteristics of thermal fuses, the tolerance impulse overcurrent, the voltage limiting, and thermal stability experiments are designed. The results indicate that using a thermal fuse as the arrester disconnecter can stand the impulses of thunders. The change rate of the residual voltage is only 2.2% and the switching voltage is within 10% after the experiment. It shows that thermal fuses do not affect the voltage-limiting performance of MOV. When the MOV is over-heating, the thermal fuse can rapidly blow out and turn off the circuit to inhibit current to protect working systems. Comparison is conducted between thermal fuse and low-temperature soldering tin through thermal stability experiments. It is discovered that thermal fuses have certain advantages when the operating temperature is blow 130 °C.

Key words: thermal fuse, MOV breakout, surge protective device, disconnecter, thermal stability