

MOV与GDT组合型SPD特性分析与设计要素

武汉 陈泽同

摘 要: 本文分析了MOV与GDT组合型SPD的元件特性和组合特性,分析了其失效模式,提出了设计制造中的三个要素,即:导通电压与脉冲点火电压比值要素,线路中脱扣点选择要素,电极中脱扣点的选择要素。

关键词: 组合型SPD; 失效模式; MOV; GDT; 设计要素

1 引言

组合型SPD线路结构为限压型的MOV与开关型的GDT串联而成(图1所示),是针对MOV和GDT元件的特性短板,进行互补组合。

要了解组合后的特性,先要分别了解元件各自特性与短板。

1 MOV、GDT及其组合SPD特性

1.1 MOV特性

笔者以往发表过不少介绍MOV特性及应用相关文章,这里仅作简介。图2、图3是典型的MOV伏安特性曲线。

从曲线看出,MOV在导通状态下,有一定的内阻,脉冲电流流过时会产生压降,这就是限压型特性。该元件主要优点:通流容量大、响应时

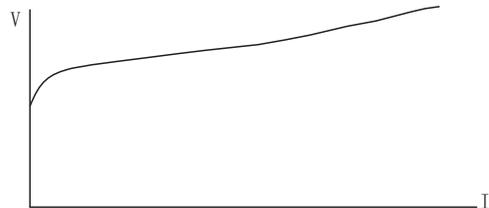


图 2

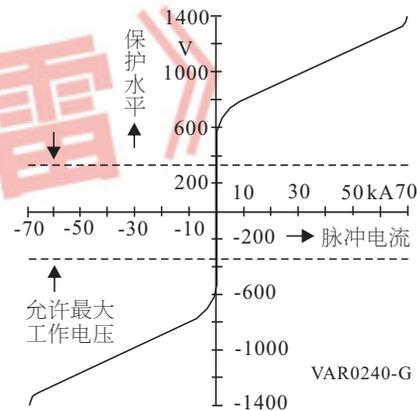


图 3

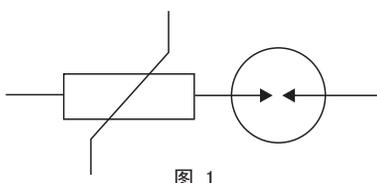


图 1

间快、无续流、使用寿命长。短板特性为:在电源负荷下有泄漏电流,且随着产品老化会逐渐增大。

1.2 GDT特性

图4是GDT典型伏安特性曲线。从曲线可以看

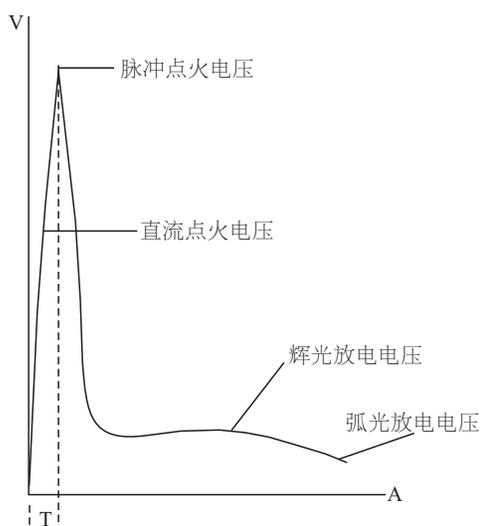


图 4

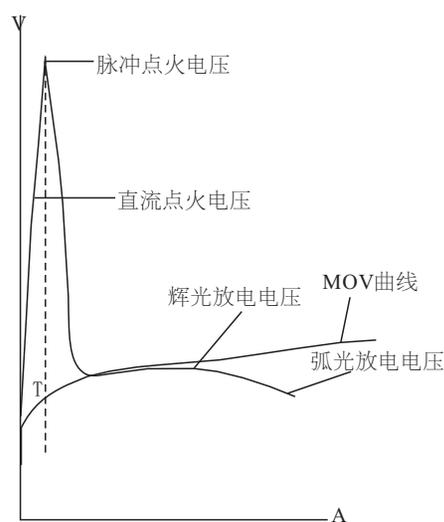


图 5 曲线叠加示意

出，GDT在导通状态下，其内阻急剧减小，最后可趋近于零。GDT的脉冲点火电压是在 $1\mu\text{s}/1000\text{V}$ 状况下测得。而直流点火电压是在 $1\text{s}/100\text{V}$ 状况下测得。

作为应用，希望两个值越接近越好。越接近说明在比较宽的频率范围内其响应时间相差不大。

GDT另外一个特性是脉冲点火电压是随 dv/dt （单位时间内电压上升陡度）变化的， dv 不变， dt 时间越短，脉冲点火电压越高。

GDT从开路至导通状态，要经过脉冲点火，辉光放电和弧光放电三个过程。其中辉光放电是过渡过程，是不稳定，呈现也是短暂的。该元件主要优点：通流量大、残压低、无泄漏电流、使用寿命长。短板特性为：用于直流或工频电压下，单间隙结构有续流，响应时间不够快。

1.3 组合特性

由于二种元件均使用在浪涌过电压防护领域，有着许多相似特性，如通流容量大，残压低等。短板特性：MOV有泄漏电流，无续流；而GDT无泄漏电流，有续流的相反特点，将元件组合一起，可达到较为理想的效果。组合后特性曲线如图5、图6所示。

图5曲线说明，元件串联后，点火电压、导通电压、残压均是叠加的。静态测试时也会发现测试电压需往上加高。

组合后特性为：通流容量大、残压低、无续

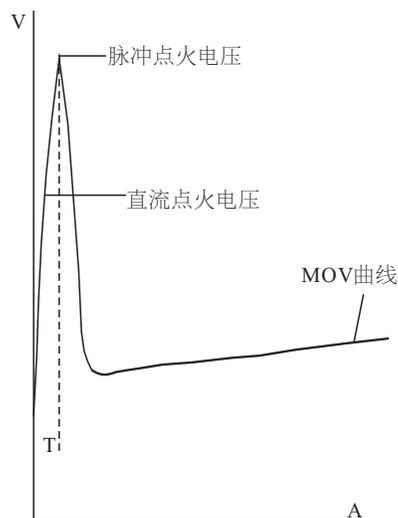


图 6 完整曲线

流、无泄漏电流、MOV不易老化等新特点。串联后电路响应时间始终由最慢元件所决定（图6中T所示），器件的导通电压也相应提高。

2 组合型SPD失效模式

组合型SPD的运行模式为开关型，会出现限压型没出现的故障状况。突出表现为：MOV初步老化，轻微跳火，更有甚者导通电压下降50%，或者半穿孔等故障，由于有GDT的隔离阻断作用，脱离了电源负荷，在翻红板（脱扣）前，靠观察，很难发现故障（实际带病工作）。也不会像限压型那样，轻微损坏和初步老化，会在电源作用下

继续老化下去，最终会因发热而导致脱扣。组合型SPD的失效往往发生在GDT完全导通，MOV本身又有老化，跳火或闪络等上述缺陷，电源与过电压同时作用在MOV身上的瞬间。由于先前轻微毛病，在故障发生瞬间，MOV没有能力坚持稍长时间，以积蓄足够热量供脱扣动作。所以往往引发MOV击穿烧熔，SPD不能脱扣或脱扣不完全的事故，如图7。更有甚者还会使GDT金属端头熔脱，或工频电流过大使其完全炸崩溃。这种失效模式称为二次失效模式，因初次失效被其电路结构，无电源作用所掩盖，不易被发现。

对组合型SPD而言，二次失效系彻底失效，事故现象自然比一次失效的限压型严重的多，危害也大得多。这是组合型SPD隐性短板，是雷雨季节后一定要检查组合型SPD的原因所在。其实边缘闪络，电极与银面间跳火，是常规手段检测不出来的。

以常用470V的MOV与600V的GDT组合为例。当MOV受到冲击老化（冲击电流宽度达几个毫秒以上脉冲，可能会引起穿孔或半穿孔）时，导通电压由原来470V下降50%，仅剩200多伏，这在限压型SPD中早已脱扣失效，不能使用。但由于有600V的GDT串联，在工频220V状况下，还有500多伏（GDT在工频条件下，不击穿电压约为直流点火电压的50%），组合型SPD仍旧为正常状况。只有过电压再次点燃GDT，在过电压和工频电压双重作用下，MOV失去了原有的抵抗能力，很快崩溃了，崩溃过程非常短暂，以至于脱扣机构还未得到足够热量来执行动作。由于有GDT作用，这种失效属突变式，完全改变了MOV渐变失效特性。

3 组合型SPD设计要素

组合型的SPD在铁路系统中应用比较广泛，元件组合后静态特性比较完美，但现场往往又出现半脱扣或未脱扣，MOV击穿，GDT熔脱，SPD外壳碳化等事故。如图7所示。

解剖事故后的SPD，觉得几乎所有事故，均与设计结构有很大关联。综合起来有以下原因：

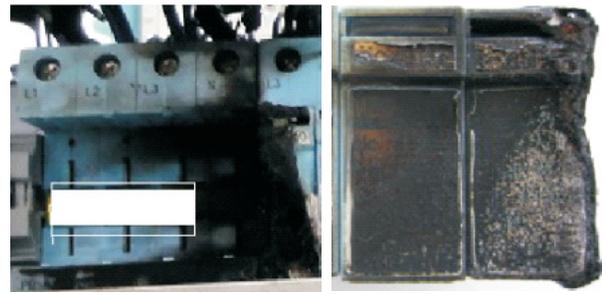


图 7

3.1 MOV与GDT取值问题

在设计组合SPD时，需认定哪个元器件起主要作用，另外元件要服从和配合。笔者认为组合中MOV是主要元件，而放电管则是配合元件，它主要帮助MOV在电路中悬浮，不产生泄漏电流（这点对铁路信号系统尤为重要），延长使用寿命。由于增加GDT元件，MOV工作方式也发生了根本改变。由原来可以吸收从几百伏开始的过电压，（只要大于导通电压的过电压均可吸收，比如碳刷电机运行时产生的火花电压），变为只能吸收大于导通电压加上脉冲点火电压以上幅度的过电压了，提高了阈值电压（最常见 $470\text{V}/\text{V}1\text{mA} + 900\text{V}/\text{kV}\mu\text{s} = 1370\text{V}$ ），小于1300V的过电压均被挡在阈值以下，只能由被保护线路来承受。而MOV工作状态则由单独工作时的模拟方式转变为开关方式。若比例取值不当，会使MOV承受较大的导通冲击电流。加之高速铁路运行过程中所产生的电磁场和过电压（机车供电系统为35kV），高速磨擦产生电荷，加之路轨又不接地，均会对组合型SPD产生多频次，宽脉冲（列车高速经过的时间段为一个宽度，通常列车间隔为10分钟左右）的电流冲击。倘若放电管取值过高，会导致MOV承受陡开陡关的幅度很大。倘若放电管取值过低，又会导致MOV承受开关频度很大，会产生某一时段关不断。GDT一旦导通后，过电压几乎完全降落在MOV上（因动态内阻不一样，MOV大，GDT小）。加上时开时关的断续工作，得不到电源支持，使得MOV得不到持续能量，热量上不去，或者是热量产生不均匀，导致脱扣不好或不脱扣。这点与限压型完全不一样。所以合

理选择元件电压比例，保持比较合适的通断比，是设计组合SPD要素。

3.2 MOV电极问题

组合SPD在铁路信号保护上应用，火车高速运动时，GDT开关动作频繁，趋肤效应和边缘效应比较突出。若在制作上稍有瑕疵，就会引起局部损坏（如边缘跳火，电极与银面闪络等），从而引发事故。

MOV制作中对银面至边缘有着规定，留边宽度为2mm左右（也有应客户要求，不作留边处理）。同理，引脚铜片与银面结合时是否也需适当留边呢？答案是肯定的。因为未留边的MOV容易在趋肤效应和边缘效应双重作用下，铜片与银面间产生跳火，特别是四个角R处。多次过电压冲击后故障会越来越严重，会引事故。图8便是典型银面、电极片均未留边，又在双重效应下产生二次失效后事故照片。



图 8

有人担心留边过多会影响通流面积，现在MOV的制造技术，已在34mm见面积上突破了70kA(8/20 μ s)大关。留点安全边应该问题不大。

怎样留边？留多少合适？笔者认为每层退留2mm比较合适。即MOV瓷体边至银面边退留2mm，银面边至电极边退留2mm，同时R角角度不可过小。留有充分无银面和合金化过渡边缘，可有效减轻双重效应带来的损害。

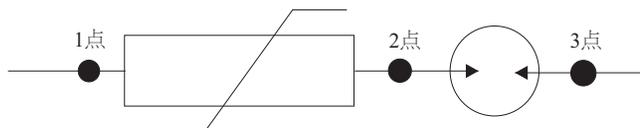


图 9

3.3 脱扣点选取

为保证其安全性，必须根据线路结构，电极结构仔细的选择脱扣点。

线路结构：指的是串联电路中有点可设置脱扣点，如图9所示。

但点与点间有细微的区别。1点全靠MOV热量，3点全靠GDT热量，2点则兼而有之。笔者见到的产品，均以1点作为脱扣点为多。其实2点作为脱扣点最合理。理由是：当MOV完全击穿，失去电源功率支持，其表面温度会下降（除了击穿点外），而此时失去限流的GDT正处在工频续流之中，表面会产生很高温度，可作为补充。

线路中脱扣点选取好了，就应选取电极面上的脱扣点。这也是设计要素。应遵从就近获取最大热量，遵从热量传递线路越短越好的原则。尤其要分析在MOV任意点失效时，均能以最短路径，最短时间，得到最大热量。同时电极结构设计上还须兼顾上述第2点留边要求。在设计中，机械动作安排要服从以上几点要素，不能因为机械动作不好处理而随意更改脱扣点。

4 结束语

作为安全防护产品，本身安全是第一位的，设计安全第一产品的设计人员，其安全理念也应是第一位。任何形式的创新或改动，均要有安全第一的思想。好的产品是在设计与制作各个环节中，想到每个细节，做好每个细节。

（本文曾在电压敏协会学术研讨会上交流）