

金属陶瓷气体放电管稳定性研究

李 荣 玉

上海交通大学光纤技术研究所

1.引言

金属陶瓷放电管是广泛应用于邮电通信、铁路信号、广播电视、计算机、家用电器、仪表等领域的过电压保护器件，它具有体积小、功率大、寿命长、冲击放电延时短、绝缘好、极间电容小等优点，是目前最为理想的过电压防雷保护器件。由于现在信息高速公路的发展，计算机联网以及有线电视的普及，对传输线路的防雷及过电压保护的要求越来越高，这样，就必须要求放电管具有稳定的直流击穿电压及较小的冲击击穿电压，也需要有较大的耐冲击电流的能力，国标 GB9043—88 及邮电部有关配线架生产的标准中对放电管都提出了相应的要求，下面我们从放电管原理出发，讨论其击穿电压稳定性的问题，在此基础上，制备出优良品质的放电管。

1.放电管的工作原理

放电管的结构图如图 1 所示

- 1.电极
- 2.陶瓷管
- 3.导电带
- 4.电子粉
- 5.Ag-Cu 焊片

图 1. 放电管的结构图

在放电管的两电极上施加电压时，由于电场作用，管内初始电子在电场作用下加速运动，与气体分子发生碰撞，一旦电子达到一定能量时，它与气体分子碰撞时发生电离，即中性气体分子分离成电子和阳离子，电离出来的电子与初始电子在行进过程中还要不断地再次与气体分子碰撞发生电离，从而电子数按几何级数增加，即发生电子雪崩现象，另外，电离出来的阳离子也在电场作用下向阴极运动，与阴极表面发生碰撞，产生二次电子，二次电子也参加电离作用，一旦满足：

$$r(ead-1)=1 \text{ 时}$$

放电管由非自持放电过渡到自持放电（1），管内气体被击穿，放电管放电，此时放电电压称为击穿电压 V_s 。其中， r 表示一个正离子轰击阴极表面而使阴极表面逸出的电子数， d 为极间距离， a 为电子的有效电离系数。

放电管放电后，管子从绝缘态变为导体，管内产生电流，随着电流的增加，放电管由辉光放电变为弧光放电，而此时管压降远远小于 V_s ，而且其值不随电流的变化而变化，显现一种稳压态，从而达到过压保护作用。

当充气压力与极间距离的乘积为定值时，放电管有一最小击穿电压 V_{sm} ，它仅与阴极表面及气体种类有关，其值如下：(2)

$$V_{sm} = V_i + (1/a_m) \log(1/r)$$

其中 V_i 为气体的电离电位；

a_m 为在最小击穿电压下的有效电离系数；

r 为正离子打到阴极上产生的二次电子数；

图 2. 巴邢曲线

最小击穿电压下的 Pd 值（即巴邢曲线最低点所对应的 Pd 值，如图 2 巴邢曲线）由下式给出：(2)

$$(Pd)_{min} = \frac{V_{sm}}{Z_{min}}$$

其中： Z_m 为最小击穿电压的 E/P 值， E 为电场强度， P 为充气压力；不同的气体 Z_m 值不同。

可见，放电管在机械结构一定的情况下，阴极发射材料和充入气体的成分及压力，是其特性好坏的决定性因素。

2. 影响击穿电压的因素

由以上分析可知，在极间距离及气体种类一定的情况下，放电管的击穿电压主要取决于阴极发射材料和充气气压，由于气体放电的机制比较复杂，理论计算值与实际的击穿电压值是有偏离的，影响击穿电压稳定性的因素较多，最主要的是阴极发射材料和内部的气氛的变化情况，下面我们着重讨论这两个因素对放电管的影响。

2.1 阴极发射材料

阴极发射材料是气体放电管的关键，我们一般要求它发射效率高，耐离子轰击能力强，溅射小，它的配方及处理工艺，不但对直流击穿电压有影响，也直接影响到放电管的其他各参数。

阴极发射材料涂复在电极两端，它有利于电子的发射，特别有利于初始电子的产生，由于不同的阴极材料具有不同的逸出功，因此，在其他条件相同的情况下，不同的阴极材料，其击穿电压是不同的，逸出功低，击穿电压低，逸出功高，击穿电压也高。要求击穿电压稳定，就必须要求阴极材料具有稳定的逸出功，在阴极材料配比一定的情况下，要具有稳定的逸出功，必须：(1) 合理选用基金属材料，它必须含有一定数量阴极材料的还原剂，且性能稳定，蒸发率低，易于去气，而且还必须易于与金属化陶瓷管封接；(2) 阴极材料的预处理，比如预反应，预烧 H 等，预处理过的阴极材料，不但在封接时放气少，而且激活后表面原子层的化学结构稳定；(3) 阴极材料的激活与老炼工艺，实验证明，对放电管采取不同的激活与老炼工艺，其性能将大大不同，我们分别用 4 秒 1 次，1 秒 4 次，3 秒 1 次再加 1 秒 1 次等不同的老炼工艺，所得出的结果是不同的。

目前，国内外的气体放电管还存在一个比较突出的问题，就是光敏效应，即在有光照条件下和无光条件下其击穿电压不一致，因为光本身就是能量，光子可以使得阴极材料的表面势

垒降低，从而逸出功降低，这有利于初次电子的产生，从而有光照时击穿电压比无光照时击穿电压低，因而出现光敏效应，为了克服这一现象，可在阴极材料或管壁上加入适量的放射性元素，利用其 α 、 β 、 γ 射线的能量产生初始电子参与阴极材料的发射，使其表面势垒降低从而受光的影响减弱，实验证明在掺入铀及钷元素的情况下，光敏现象基本消失，但是，放射性元素对人体及环境是有害的，因此不但在生产上有困难，而且用户使用也会受到损害。为此，我们在寻找其他降低光敏效应途径，通过大量的实验我们发现，降低光敏效应还有两种方法，一种是改变电极结构，使得一次电子易于受电场的作用而发射，另一种是在阴极材料中加入某种元素（非放射性元素）使得表面势垒发生变化，通过对阴极材料的预处理，使得阴极材料的电子总处于预发射态，它的发射主要依赖于电场的强度变化，而依赖于光能量较弱，从而达到降低光敏效应的作用。我们通过这两种方法，在不加放射性元素的情况下已经制备出较好地克服光敏效应的放电管。

我们还要求阴极材料具有较强的耐离子轰击能力，即溅射小，如果溅射大，除会改变表面状态外，还会改变电极材料特性，从而引起击穿电压的改变，甚至影响放电管的绝缘性能。为了降低阴极材料被离子轰击引起的溅射，除了选用一些溅射率低材料外，还可在阴极材料中加入特定的微量元素以提高其抗溅射能力，实验表明，在阴极材料中加入微量的硼元素，将大大提高抗溅射能力。

2.2 气体

气体放电管在制备过程中由于极限真空的影响，真空度不可能很高就要充气，因此管子在封离后，管内必然有如油蒸汽、 H_2 、 N_2 、 H_2O 、 CH_4 、 CO 、 CO_2 、 O_2 等残余气体，其中油蒸汽是由真空系统扩散的， N_2 、 CO_2 、 O_2 主要是大气中留下的， H_2 一部分是原材料烧氢处理时留下的， CO 、 CH_4 及部分 H_2 是由 H_2O 与电极表面的 C 起反应生成的 (3)，另外还有些气体是放电管激活老炼时由阴极材料释放的以及由于电子和离子碰撞电极，电极表面吸附气体的释放。由这些杂质气体的存在，而且这些杂质气体之间还会产生复杂的化学反应，从而使管内杂质气体的成分常常发生变化，气压及电离电位也相应变化，因而也会引起着火电压发生变化，特别是 H_2O ，它是引起管内气体成分变化的主要因素。因而在生产放电管时，必须尽可能降低管内杂质气体成分，为此，必须注意以下几点：(1) 必须提高排气系统的极限真空度，采用大速率的真空系统，增粗排气管道以便减小气阻延长排气时间等；(2) 电极材料要真空除气，电极涂好电子粉后，要在烘箱内充分烘干，以便去除水分，装配完的管子要立即放在干燥皿内，防止反潮。(3) 采用高纯度的惰性气体。(4) 改进封接工艺，控制好每段温区的升温速度及保温时间，选择合适的充气温度。(5) 在设计放电管时，尽可能让击穿电压在巴那曲线的最低点附近，这样即使管内气压有小的变化也不会对击穿电压有大的影响。

3. 结论

在考虑到以上各因素的前提下，我们经过数百次试验，研制成功通信设备保护用的气体放电管所需的电子发射材料，在充纯 Ar 的情况下，配合适当工艺，生产出的放电管，经邮部通信产品防护性能监督检验测试中心的检验 (NO.95184)，既达到了 GB9043—88 的标准，也达到了邮电部行业标准。具体指标如下：(4)

耐流试验前：

直流击穿电压为优等品，绝缘电阻、冲击击穿电压和过保持电压 (150V) 为一等品要求，极间电容符合国标；

耐流试验后：

- (1) 5A 交流试验后，直流击穿电压和绝缘电阻为优等品，冲击击穿电压为一等品；
- (2) 8/20us(5KA)冲击电流试验后,直流击穿电压、冲击击穿电压、绝缘电阻为优等品；
- (3) 10/1000us(100A)冲击电流试验后，直流击穿电压和绝缘电阻为优等品，冲击击穿电压为一等品。

----->