

# 着火电压降低机理的研究

殷一贤 王友德 方定国 倪世泽  
程燕 刘福慧 韩璞 王振明

(重庆光机所)

**提要:** 用“简化等效模型管”和“电位探针法”以及对比测试的方法,对低着火电压 He-Ne 激光管的着火电压降低机理进行实验研究,根据实验结果,提出一种关于着火电压降低的新的机理解释。

## Study on the mechanism of lowering the breakdown voltage

*Yin Yixian, Wang Youde, Fang Dingguo, Ni Shize, Cheng Yan  
Liu Fuhui, Han Pu, Wang Zhenming*

(Chongqing Institute of Optics and Mechanics)

**A bstract:** Experimental study on the mechanism of lowering breakdown voltage in He-Ne laser tubes of low breakdown voltage is described by using “simplified equivalent model tubes”, “potential probe method” and the means of contrast tests. On the basis of experiments, a new explanation of mechanism of lowering breakdown voltage is given.

“着火”是在汤生放电区域边缘上发生的现象,“着火点”是表征汤生放电向自持放电转变的突变点。因此,研究 He-Ne 激光管着火电压的变化,必须是从 He-Ne 管处于汤生放电情况下去探求着火电压降低的机理。这是我们研究着火电压降低机理的出发点。

### 一、研究着火电压的简化模型管

通用型 He-Ne 激光管和低着火电压 He-Ne 激光管的电极配置,均为阳极是一小段钨杆,阴极是高纯铝箔圆筒。当两电极加上一定电压时,管内电场分布比较复杂,极间各点电场的大小、方向是不同的,不便于分析

和研究(特别是从数量关系上分析和研究)着火电压降低的机理。因此,有必要对两种管子的结构进行简化,形成便于分析和研究的简化模型管。显然,对简化模型管的基本要求应该有:1. 就着火电压这个特性参数而言,简化模型管应与对应的原型管等效;2. 管内电场是基本均匀的,或者至少是分段基本均匀的。

在简化时,保留结构上的主要特征,略去次要特征(对研究着火电压而言),使得到的简化模型管在着火电压的特性参数上,达到与对应的原型管等效的要求。这样,从简化模型管得到的关于着火电压降低的机理解

收稿日期: 1981年11月24日。

释,也就可以用于原型管。图1(a)为通用型He-Ne激光管对应的简化模型管(简称通模管);图1(b)为低着火电压He-Ne激光管对应的简化模型管(简称低模管)

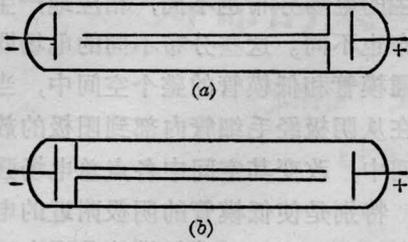


图1 通用型和低着火电压型简化模型管的结构简图

通模管(7#管)和低模管(8#管)充入He、Ne混合气( $P_{He}:P_{Ne}=7:1$ ),当 $P_{总}$ 为1.0、2.0、2.5、3.0、4.0托时测量其着火电压(每个着火电压值重复测量9次,取平均值),得到着火电压 $U_z$ 与 $P_{总}$ 的变化关系曲线,如图2所示。从图2可见,通模管(7#管)的着火电压高,低模管(8#管)的着火电压较低。

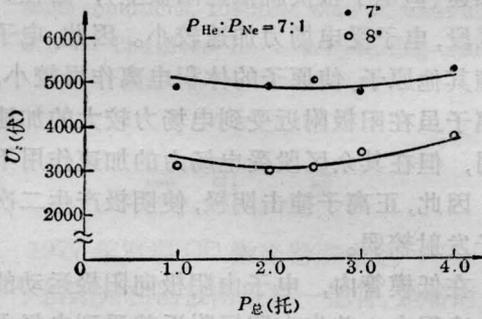


图2 通模管与低模管的着火电压 $U_z$ 随 $P_{总}$ 的变化关系

此外,还测试了He、Ne混合比分别为5:1、9:1、11:1的情况下,当 $P_{总}$ 为1.0、2.0、3.0、4.0托时,通模管与低模管的着火电压 $U_z$ 随 $P_{总}$ 的变化关系。实验结果与图2类似,证明了通模管的着火电压比低模管的高。

## 二、简化模型管内的电位探测实验

图3(a)、(b)分别为带电位探针的通模管和低模管。当管中同时充以 $P_{He}:P_{Ne}=9:1$ 、 $P_{总}=3.0$ 托的He、Ne混合气时,测量了通模管(9#管)和低模管(10#管)处于汤生放电情况下管内的电位分布(准确地说,是测量管内探针所在位置及邻近探针区域的平均电位分布),其电位分布曲线示于图4中(为了使各条曲线区别明显起见,把各测量值连成了折线。)。曲线1、2、3和1'、2'、3'分别表示通模管(9#管)和低模管(10#管)在电极两端的电压为 $2.00 \times 10^3$ 、 $2.50 \times 10^3$ 、 $3.00 \times 10^3$ 伏时管内的电位分布。此外,实验还得知,通模管电极两端上的电压要在约 $5.00 \times 10^3$ 伏以上,管子才会着火;低模管仅略高于 $3.00 \times 10^3$ 伏就着火了。

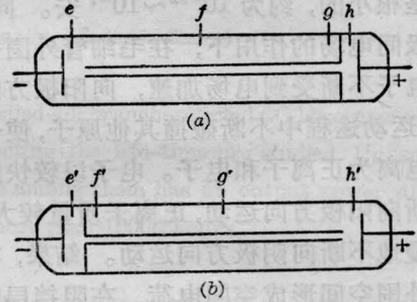


图3 带电位探针的通模管(a)和低模管(b)

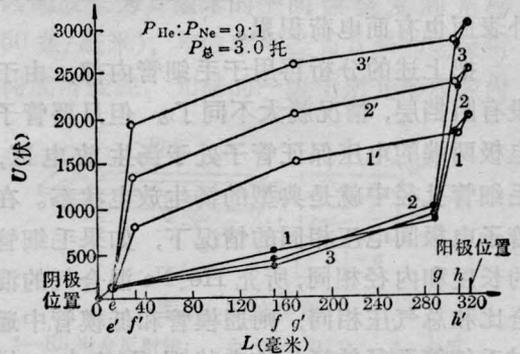


图4 通模管和低模管内的电位分布曲线

—9#管; ·—10#管

同样,还测量了  $P_{\text{He}}:P_{\text{Ne}}=5:1$ 、 $7:1$  和  $9:1$ ,  $P_{\text{总}}$  为  $1.0$ 、 $2.0$ 、 $2.5$ 、 $3.0$ 、 $4.0$  托的情况下,电极间的电压为  $2.00 \times 10^3$ 、 $2.50 \times 10^3$ 、 $3.00 \times 10^3$  伏时,通模管(9#管)和低模管(10#管)内的电位分布,所得到的电位分布曲线与图4类似(对于  $P_{\text{He}}:P_{\text{Ne}}=7:1$  的情况,当低模管电极之间的电压为  $3.00 \times 10^3$  伏时的那条曲线基本测不到,因  $3.00 \times 10^3$  伏时低模管在多数情况下都着火了。)

上述实验结果证明,通模管和低模管内部的电位分布确实存在巨大差别。

### 三、着火电压降低的原因

#### 1. 一般分析

当充有 He、Ne 混合气的通模管和低模管处于汤生放电时,管内的电流随着加在管子两电极的电压增大而增大,但是,电流的绝对值是很小的,约为  $10^{-12} \sim 10^{-7}$  安。同时,在电极间电场的作用下,在毛细管外围空间中的电子不断受到电场加速,向阳极方向运动,在运动途中不断碰撞其他原子,使一些原子电离为正离子和电子。电子以较快的速度不断向阳极方向运动,正离子质量较大,比较缓慢地不断向阴极方向运动。结果,在毛细管外围空间形成空间电荷,在阻挡层的面向阴极的一面形成负的面电荷,在阻挡层的面向阳极的一面形成正的面电荷,毛细管的外表面也有面电荷积累。

把上述的分析再用于毛细管内部,由于没有阻挡层,情况就大不同了。但只要管子电极两端的电压保证管子处于汤生放电区,毛细管孔径中就是典型的汤生放电状态。在管子电极间电压相同的情况下,如果毛细管的长度和内径相同,所充 He、Ne 混合气的混合比和总气压相同,则通模管和低模管中通过毛细管孔径的汤生放电状况是基本一样的。

由上面的分析显然可见,造成低模管着

火电压较通模管低的原因,就在于在汤生放电条件下,通模管和低模管的毛细管周围空间的空间电荷符号、密度和阻挡层表面的面电荷密度分布以及毛细管外表面面电荷符号、密度不同。因而,由这些空间电荷和面电荷产生的电场分布也不同,相应地产生的电位分布也不同。这些分布不同的电场既然迭加在通模管和低模管的整个空间中,当然也迭加在从阴极经毛细管内部到阳极的放电通道空间中,改变其空间中各点总电场强度的分布,特别是使低模管的阴极附近的电场强度改变最大。这是导致低模管着火电压较通模管低的主要原因所在。

#### 2. 联系电位分布曲线的分析

从图4可见,通模管内的电位跃变发生在阳极附近,管内其余区段的电位变化较缓;而低模管内的电位跃变则发生在阴极附近,管内其余区段电位变化亦较缓。电位分布不同,对管内正离子和电子运动状态的影响也不同。

在通模管内,电子由阴极向阳极运动的整个途中,仅在阳极附近受到电场力的较大加速(但电子很快就抵达阳极上),而在其余区段,电子受电场力加速较小。因此,电子碰撞其他原子,使原子的体积电离作用较小。正离子虽在阳极附近受到电场力较大的加速作用,但在其余区段受电场力的加速作用不大。因此,正离子撞击阴极,使阴极产生二次电子发射较弱。

在低模管内,电子由阴极向阳极运动的整个途中,首先在阴极附近就受到电场力的较大加速,运动速度较大,虽然在其余区段受电场力加速较小,但已经具有较大的速度,体积电离作用也就比较大(与通模管内的电子相比较而言)。正离子在阴极附近受到电场力的加速也比较大。因此,使阴极产生二次电子发射就较强了。

气体自持放电的条件指出,电子的体积电离作用和阴极的二次电子发射状况是决定

气体“着火”的重要因素。这样，应用气体自持放电的条件来考察上述分析结果，就可以看出阴极电位跃变对着火电压的影响比阳极电位跃变大得多。通模管的着火电压高和低模管的着火电压较低的原因也就在这里。

#### 四、通用管和低着火电压管的 电位探测实验

我们对通用型 He-Ne 激光管和低着火电压 He-Ne 激光管也作了类似于简化模型管上作的电位探测实验(还增加了一个探测项目，即探测毛细管外表面的电位)，得到了类似的实验结果。

对带电位探针的通用型 He-Ne 激光管(11# 管)和低着火电压 He-Ne 激光管(12# 管)充入 He、Ne 混合气( $P_{He}:P_{Ne}=7:1$ )，在  $P_{总}$  为 2.5 托时，测得各电位探针的电位分布如图 5 所示(为了使各条曲线区别明显起见，我们把各点连成了折线)。对于 11# 管，当阳极和阴极之间加的电压为  $2.00 \times 10^3$ 、 $2.50 \times 10^3$ 、 $3.00 \times 10^3$ 、 $4.00 \times 10^3$ 、 $5.00 \times 10^3$  伏时，其电位分布曲线分别为 1、2、3、4、5。对于 12# 管，当极间电压为  $2.00 \times 10^3$ 、 $2.50 \times 10^3$  伏时，其电位分布曲线则分别为 1'、2' (实验还测得，11# 管的着火电压为

$5.50 \times 10^3$  伏，12# 管的着火电压为  $3.00 \times 10^3$  伏)。从图 5 可见，对于通用型 He-Ne 激光管，电位突变发生在阳极与探针  $m$  所在区域之间；对于低着火电压 He-Ne 激光管，电位突变发生在探针  $j'$  与  $i'$  所在区域之间，这与简化模型管的电位探测实验结果是类似的。

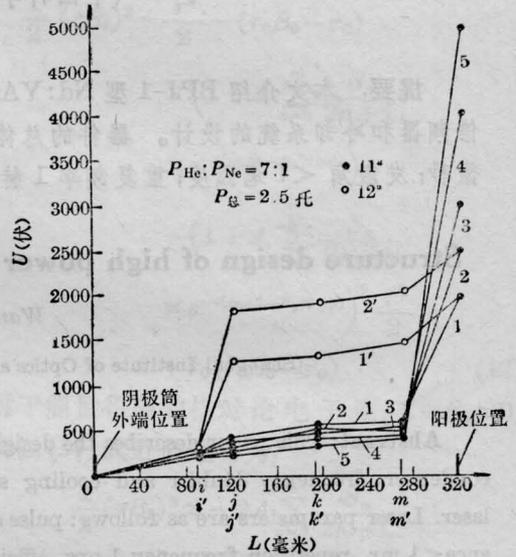


图 5 通用型 He-Ne 激光管和低着火电压 He-Ne 激光管的电位分布曲线

此外，毛细管外表面的电位探测实验结果如表 1 所示。

表 1

实验编号	实验管型	管内所充气体的情况	毛细管外表面的电位 (伏)				
			当极间电压为 $2.00 \times 10^3$ 伏时	当极间电压为 $2.50 \times 10^3$ 伏时	当极间电压为 $3.00 \times 10^3$ 伏时	当极间电压为 $4.00 \times 10^3$ 伏时	当极间电压为 $5.00 \times 10^3$ 伏时
11#	带电位探针的通用型 He-Ne 激光管	$P_{He}:P_{Ne}=7:1$ $P_{总}=2.5$ 托	$0.22 \times 10^3$	$0.22 \times 10^3$	$0.22 \times 10^3$	$0.19 \times 10^3$	$0.19 \times 10^3$
12#	带电位探针的低着火电压 He-Ne 激光管	$P_{He}:P_{Ne}=7:1$ $P_{总}=2.5$ 托	$1.48 \times 10^3$	$2.07 \times 10^3$	—	—	—