

# 高频等离子体尾焰接地熄弧的原因及解决办法

范支鹏 阎嘉坪 高彦春 黎齐修 陈允明

(中国科学院力学研究所)

高频等离子体在化工、冶金中有着广泛的应用。国内先后用于制造钛白、光导纤维及氮化硼等新材料。但在试验或生产中常遇到下述问题：与高频等离子体发生器相连的化学反应器一旦接地，系统就无法正常运转。经过反复试验发现，由于高频等离子体尾焰很长，时而会接触连在后面的反应器器壁，而一般反应器又是导电的，这时反应器的（电）接地就会引起熄弧。因此，为了进行试验，不得不把反应器对地绝缘，就连反应器上的进料管、冷却水管也需要采取绝缘措施。这些都带来设计、安装上的困难及生产操作上的不安全。而且，反应器对地存在电容，不易作好高频绝缘。另一个办法就是用非金属材料作反应器，但这又会遇到结构强度及密封问题。

为了弄清这一现象的原因，我们进行了一系列实验。用一根接地金属棒模拟反应器，去接触纯氧等离子体尾焰（图1），尾焰与接地棒之间将产生放电，引起熄弧。若将金属棒串联一个几百欧的电阻再接地，当金属棒只与尾焰外部粉红色部位相接触时，虽看到有较弱放电，但弧不会熄灭。如果把金属棒进一步伸向尾焰中蓝色核心部位，那末必须把串联电阻增加到两千欧以上，才能维持等离子弧不熄灭。纯氮等离子体弧的

尾焰更长，维持弧所要求的串联电阻值也比纯氧时更大，约四千欧以上。尾焰接地时会放电，说明等离子体尾焰能导电，而且对地有一电位。这是由于等离子体中电离了的原子，有的还没来得及复合就被气流带入尾焰，尾焰中气流也有好几千度的高温，尽管这里电离度很低，但仍能导电。

我们还用水冷铁罐作假负载，来模拟高频等离子体，进行了实验。先调节铁罐与感应线圈的相对位置（即调节负载耦合程度），使高频设备的电参数与负载为等离子体时一样。当接地棒靠近铁罐时，其间产生较强的电火花，说明铁罐上也存在对地电位。用高压静电表测量铁罐，能测得几百伏的电压。还用示波器观察了这个对地电位的波形。从电压波形上可看出，存在一个高频电位，其频率与迴路振荡频率相同，波形也相同。这说明假负载上的高频电位，确实是由感应线圈耦合过去的。当然，这些测量只是定性的，因为等离子弧（铁罐）上存在的是高频电位，测量引线的对地电容就远大于感应线圈与弧（铁罐）之间的耦合电容。因此，对地电位的测量值必然远小于实际值。但实验说明，采用通常的LC并联槽路（下端接地），将使等离子体对地存在一个高频电位。

那末这个高频电位又是如何产生的呢？观察和计算都表明：这是由于感应线圈与等离子体弧之间存在分布电容耦合，虽然这个电容只有几个微微法，但在几兆周的高频下，就形成了足够强的耦合（相当于几十千欧的阻抗）。这电容耦合就是等离子体弧的浮动电位的决定性因素（其它因素都比它小得多），见图2。

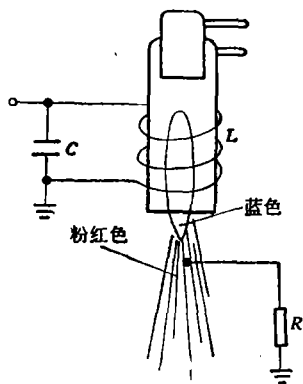


图1

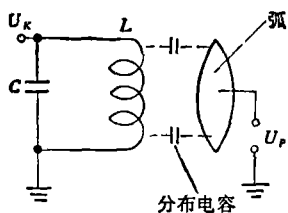


图 2

当然,这电位与振荡槽路形式有关。采用通常的 LC 并联振荡回路,下端接地,就会使等离子体对地具有很高的电位。那末,能否采用别的振荡槽路形式,来消除等离子弧的对地电位呢?回答是肯定的。我们用两个相同的电容构成了  $\pi$ 型振荡槽路(图 3),由于槽路的对

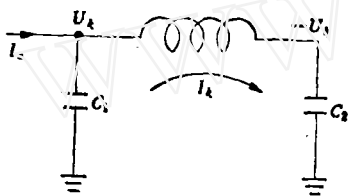


图 3

称性,使得等离子弧对地的电位接近于零。因为电感上的电压降与电容上的电压降位相反,由于  $I_a \ll I_k$ , 所以有  $U_L = U_{C_1} + U_{C_2}$ 。今

两电容相同,且下端接地,故电感(感应线圈)两端的电位,也即两电容的上端电位,一正一负,

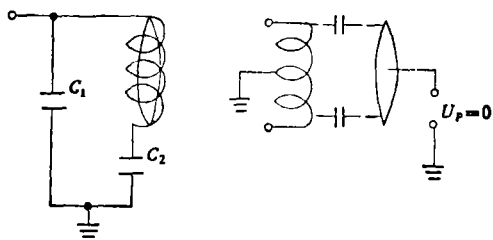


图 4

位相相反而数值相等,所以其中点电位为零;又由于感应线圈结构上下对称。通过分布电容耦合到等离子体上去的电位也接近于零。这时无论用纯氧还是纯氮作实验,无论从尾部还是从等离子体头部,用接地棒接触等离子体弧时,都不再发生放电现象,因而也不再会熄弧了。在一些带反应器的现场试验上,也取得了预期效果。

按同一道理,在采用 LC 并联振荡回路时,若稍加改变,不在其下端或上端接地,让感应线圈中点接地(图 4),或者根本不接地(高频不接地),那也可以使等离子体对地电位或者为零或者保持不定。这时尾焰接地也不会熄弧。

(上接第 77 页)

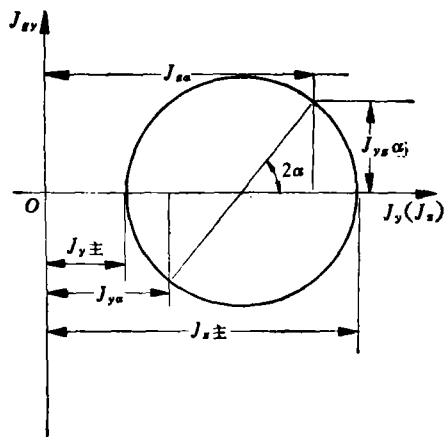


图 6

对此圆盘,由于对称性  $J_{y\pm} = 0$ ,  $J_{y\pm} = \frac{\pi}{4} R^4$ ,

$J_{x\pm} = \frac{\pi}{2} R^4$  即  $J_{y\pm}$ ,  $J_{x\pm}$ ,  $J_{y\pm\alpha}$  为已知,在图示坐标系中按作图 1 的方法作出图 6,便得出所求之  $J_{y\alpha}$ ,  $J_{x\alpha}$ ,  $J_{y\pm\alpha}$  的大小。

$$J_{y\alpha} = \frac{J_{x\pm} + J_{y\pm}}{2} - \frac{J_{x\pm} - J_{y\pm}}{2} \cos 2\alpha$$

$$J_{x\alpha} = \frac{J_{x\pm} + J_{y\pm}}{2} + \frac{J_{x\pm} - J_{y\pm}}{2} \cos 2\alpha$$

$$J_{y\pm\alpha} = \frac{J_{x\pm} - J_{y\pm}}{2} \sin 2\alpha$$

关于莫尔圆在其他方面的应用,需要大家共同努力,进一步探讨。