

# 关于低压火花放电特性的一些研究\*

李 文 冲

## 提 要

本文从理论和实验两方面,对低压火花放电特性作一些探讨。采用 Laplace 变换法,分析了线路在引燃、充电和放电三个过程中的过渡过程;探讨了火花与电弧互相转换的条件,以及线路参数对谱线光强的影响。从而对低压火花放电特性有一个较全面的、概略的认识。

## 引 言

在光谱分析中应用低压火花放电已有十余年历史。最近几年,由于不断提高激发能力,在可见光区,成功地激发出钢中碳、磷、硫等非金属元素的谱线<sup>[1]</sup>。利用看谱镜分析钢材、机械零件的碳、硫、磷含量,在工业部门中受到日益广泛的重视。

目前存在的问题是,一方面,在燃弧迴路中,把电容加大、电感减小,可以提高激发能力,但会导致引燃困难、弧隙太小、不利于对光;另一方面,究竟选择哪些参数作为“放电规范”各不统一。因此,甲实验室的工作在乙实验室重现时,往往遇到困难。另外,对“火花放电”与“电弧放电”的转换条件也不清楚。

鉴于上述问题,我们采用 Laplace 变换法<sup>[2,3]</sup>,分析了低压火花放电的过渡过程;用示波器观察了相应的电流、电压图形;实验观察了某些放电参数对谱线光强的影响;并从理论和实验两方面,对线路的放电特性作了一些探讨。

## 线路的理论分析

我们研究的具体线路见图1<sup>[4]</sup>。其工作原理如下:引燃脉冲经过变压器耦合,向电容  $C_1$  充电。当  $u_{C1}$  到达某一定值时,  $G_1$  被击穿,  $C_1, G_1, L$  组成一个瞬间放电迴路,在  $L$  上产生电压  $u_L$ , 把  $G_2$  击穿,于是低压迴路  $R, C_2, L, G_2$  开始放电。为了讨论方便,把  $T_r, C_1, G_1, L$  称为引燃迴路;  $R, C_2, L, G_2$  称为燃弧迴路。下面讨论线路的引燃、充电和放电三个过程。

### 1. 引燃

引燃迴路见图2(a)。设引燃脉冲为矩形

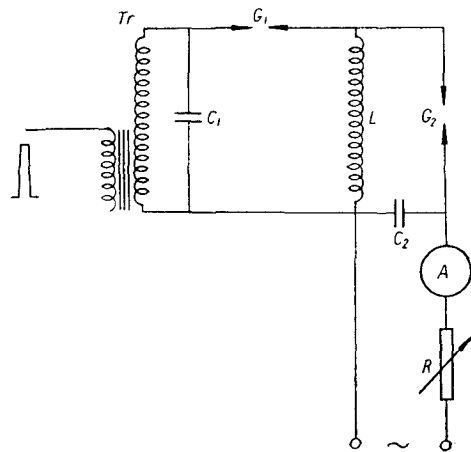


图1 低压火花线路

$T_r$ ——脉冲变压器;  $G_1$ ——辅助隙;  $G_2$ ——分析隙

\* 1964年5月16日收到;1964年12月14日收到修改稿。

脉冲,幅值为  $E'$ , 经  $T$ , 后为  $E$ . 为讨论方便,假定  $u_{C1} = E$  时,  $G_1$  被击穿. 击穿后  $G_1$  的等效电阻为  $r$  (线路的分布电阻也考虑在内), 则等效线路如图 2(b) 所示. 因  $L_M$  和  $L$  并联, 且  $L_M \gg L$ , 图 2(b) 可简化为图 2(c). 初始条件  $u_{C1}(0) = E$ , 求  $S_1$  合闸后线路的过渡过程.

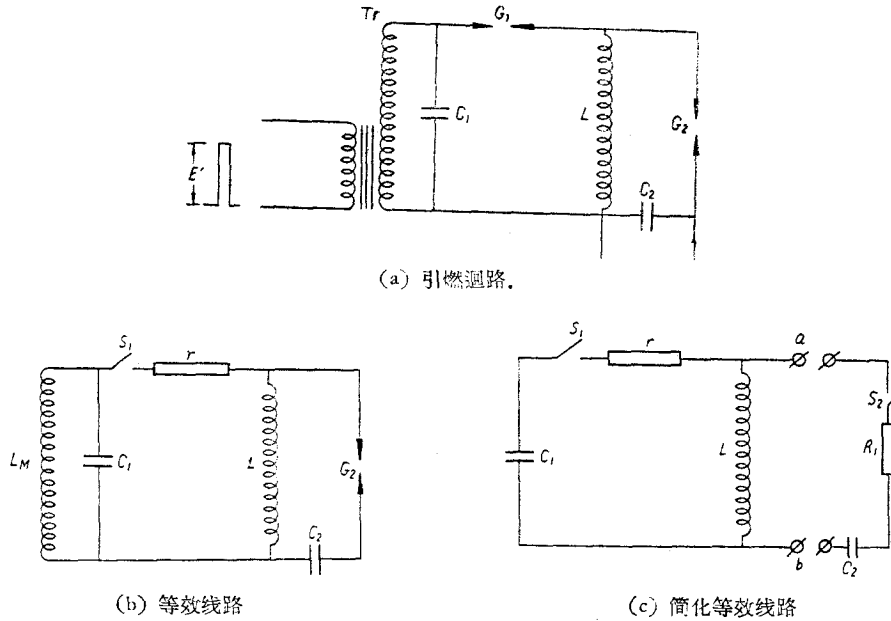


图 2

根据克希霍夫定律, 图 2(c) 的线路方程为

$$\frac{1}{C_1} \int_{-\infty}^t i dt + ir + L \frac{di}{dt} = 0. \quad (1)$$

代入初始条件, 并换成象函数, 整理后得

$$i(p) = \frac{E}{L} \frac{1}{p^2 + \frac{r}{L}p + \frac{1}{LC_1}}, \quad (2)$$

原函数[即方程(1)的解]为

$$i(t) = \frac{E}{\omega_1 L} e^{-\alpha t} \sin \omega_1 t, \quad (3)$$

式中

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{r}{L} \right), \quad \omega_1 = \sqrt{\left( \frac{1}{LC} - \alpha^2 \right)}.$$

由此

$$u_L(t) = L \frac{di}{dt} = \frac{E}{\omega_1} e^{-\alpha t} \sin(\omega_1 t - \varphi_1). \quad (4)$$

式(4)表明  $G_1$  击穿后, 引燃回路产生一个阻尼高频振荡, 从示波器观察到的图形见图 3.

实际上, 对  $G_2$  引燃起主要作用的是  $u_L$  的第一个峰值. 从(4)看到:  $u_{L\max} \approx E \sqrt{LC_1}$ .

通常,为了提高放电的火花性能,把  $L$  减小,  $u_{L\max}$  就会随之减小。假定一般在“电弧放电”时,  $L = 100\mu\text{H}$ ; 而“火花放电”时,减少到  $10\mu\text{H}$ , 那么,两者的  $u_{L\max}$  比较如下:

$$\frac{u_{L\max\text{火花}}}{u_{L\max\text{电弧}}} = \frac{\sqrt{10\mu\text{H}}}{\sqrt{100\mu\text{H}}} = \frac{3.16}{10}.$$

就是说,引燃电压降低到原来的  $\frac{1}{3}$ , 因而,引燃困难是可以理解的。如果  $L = 0$ , 就不可能引燃了。从下面讨论可知,单纯追求  $L$  减小对放电是不利的。

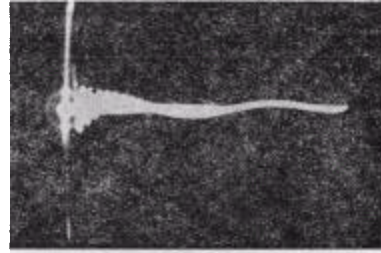


图3 高频引燃脉冲(扫描时间 1/100 秒)

## 2. 充电

在燃弧迴路击穿前,线路中的电过程,实际上是一个正弦振荡的电流(220V, 50周), 经过  $R$  向  $C_2$  充电(见图4)。

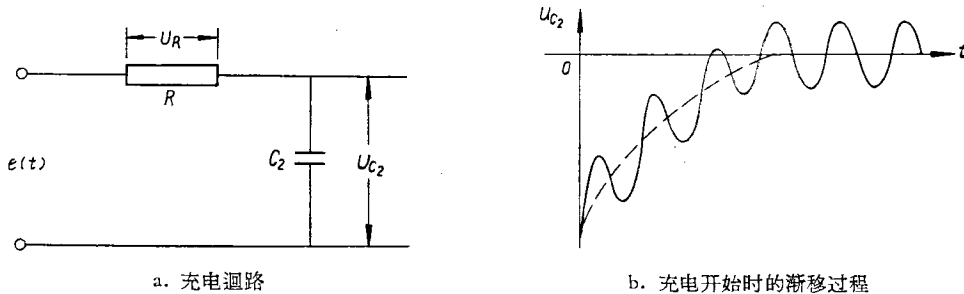


图 4

设  $e(t) = E_0 \sin \omega_0 t$ , 从图4(a)有

$$e(t) = u_R + u_{C_2}, \quad (5)$$

根据分压公式有

$$u_{C_2} = \frac{e(t)}{Z_R + Z_C} Z_C. \quad (6)$$

换成象函数

$$\hat{u}_{C_2}(p) = \frac{E_0}{RC_2} \frac{1}{\left(p + \frac{1}{RC_2}\right) p^2 + \omega_0^2}, \quad (7)$$

而原函数

$$u_{C_2}(t) = \frac{E_0 \gamma}{[\omega_0^2 + \gamma^2]^{1/2}} [\sin(\omega t - \varphi') - e^{-\gamma t} \sin \varphi'], \quad (8)$$

式中

$$\varphi' = \text{tg}^{-1} \frac{\omega_0}{\gamma}, \quad \gamma = \frac{1}{RC_2}.$$

式(8)中第二项表示一个渐移过程[图4(b)], 接通后经过若干周期可到稳态。实际上,影响放电较大的是稳态时  $u_{C_2}$  的幅值和  $\varphi'$ 。表1是根据(8)式计算的结果。从表中看到,当  $C_2 = 100\mu\text{f}$ ,  $R = 40\Omega$  时,  $u_{C_2}$  只有电源电压幅值的 48%; 而  $R = 20\Omega$  时,为 74%; 并且分别产生  $61^\circ$  和  $43^\circ$  的相位差。所以,放电的起始电压比原来的低得多。减小  $R$  可以

表 1

$C_2$	$R = 40\Omega$		$R = 20\Omega$	
	" $C_2$ "	$\varphi'$	" $C_2$ "	$\varphi'$
10 $\mu\text{f}$	0.98 $E_0$	10°30'	0.99 $E_0$	5°20'
20 $\mu\text{f}$	0.94 $E_0$	20°20'	0.98 $E_0$	10°30'
30 $\mu\text{f}$	0.88 $E_0$	28°	0.96 $E_0$	14°40'
40 $\mu\text{f}$	0.81 $E_0$	36°50'	0.94 $E_0$	20°20'
50 $\mu\text{f}$	0.78 $E_0$	43°50'	0.91 $E_0$	24°20'
100 $\mu\text{f}$	0.48 $E_0$	61°40'	0.74 $E_0$	43°

改善这种局面,但它不能小于某一临界值,否则转变成电弧工作状态,这是我们所不希望的。

### 3. 放电

燃弧迴路的等效线路如图 5. Абрамсон<sup>[2]</sup> 曾经用这线路讨论了小电流电弧工作情况,并用实验方法,测出  $G_2$  燃弧时等效电阻约在  $10\Omega$  以下. 我们将采用同样的线路进行计算。

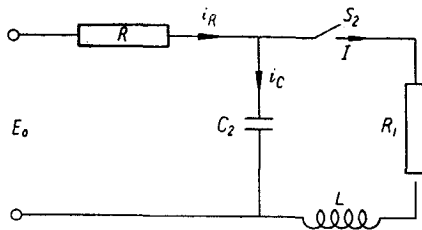


图 5 放电迴路的等效线路

(i) 计算

由于火花放电时间很短,假定外源电压瞬时值为  $E_0$ , 并且,在讨论过程中电压来不及变化. 从图 5 可列出方程

$$E_0 = i_R R + u_{C_2}, \quad (9a)$$

$$i_R = I + C_2 \frac{du_{C_2}}{dt}, \quad (9b)$$

$$I = \frac{u_{C_2}}{Z_{R_1 L}}. \quad (9c)$$

整理后,换成象函数

$$\hat{I}(p) = \frac{E_0}{L} \frac{p + \frac{1}{RC_2}}{p \left[ p^2 + \left( \frac{R_1}{L} + \frac{1}{RC_2} \right) p + \frac{1}{LC_2} \left( 1 + \frac{R_1}{R} \right) \right]}. \quad (10)$$

根据 Laplace 变换法公式,如果象函数具有如下形式:

$$\hat{I}(p) = \frac{u(p)}{pW(p)}, \quad (11)$$

则它的原函数为

$$I(t) = \frac{u(0)}{W(0)} + \sum_{(s)} \frac{u(p_s)}{p_s W(p_s)} e^{p_s t}, \quad (12)$$

式(12)中,  $p_s$  为  $W(p) = 0$  的代数根, 从(10)看到,  $W(p)$  为下列二次方程:

$$W(p) = p^2 + \left( \frac{R_1}{L} + \frac{1}{RC_2} \right) p + \frac{1}{LC_2} \left( 1 + \frac{R_1}{R} \right). \quad (13)$$

令  $\delta_1 = \frac{1}{RC_2}$ ,  $\delta_2 = \frac{R_1}{L}$ ,  $\omega_2^2 = \frac{1}{LC_2}$ ; 设  $a = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2)$ ,  $b = \sqrt{a^2 - \frac{1}{LC_2} \left( 1 + \frac{R_1}{R} \right)}$ ,

根据二次方程通解公式, (13) 应有  $p_{1,2} = -a \pm b$ . 由于线路参数配合条件不同,  $p_1, p_2$  可能是实根、重根和虚根. 相应于三种情况的解为

1) 当  $b > 0$ ,  $p_1, p_2$  为实根, 从(12)式有

$$I(t) = \frac{E_0}{R_1 + R} + \frac{E_0}{2bL} e^{-at} \text{Sh}(b + \psi); \quad (14a)$$

2) 当  $b = 0$ ,  $p_1, p_2$  为重根. 注意, 此时  $a^2 = \frac{1}{LC_2} \left( 1 + \frac{R_1}{R} \right)$ .

从式(12)有

$$I(t) = \frac{E_0}{R_1 + R} (1 - e^{-at}) + \frac{\delta_1/\delta_2 - 1}{\delta_1/\delta_2 + 1} t e^{-at}; \quad (14b)$$

3) 当  $b < 0$ ,  $p_1, p_2$  为虚根, 命  $b = i\omega$ , 从(12)有

$$I(t) = \frac{E_0}{R_1 + R} + \frac{E_0}{\omega L} e^{-at} \sin(\omega t + \varphi), \quad (14c)$$

式中

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC_2} \left( 1 + \frac{R_1}{R} \right) - \frac{1}{4} (\delta_1 + \delta_2)^2}, \quad \text{tg} \varphi = \frac{\delta_1 \omega_2}{\omega_2^2 \left( 1 + \frac{R_1}{R} \right) - \frac{1}{4} \delta_1 (\delta_1 + \delta_2)}.$$

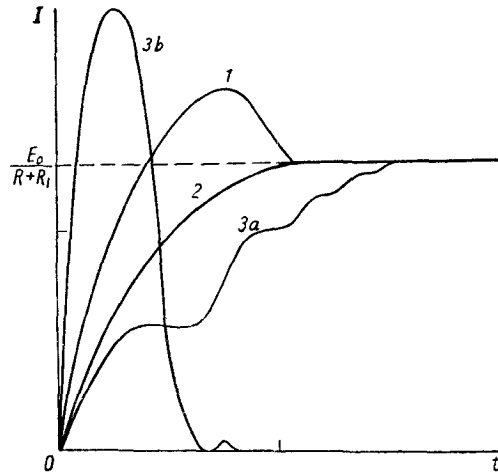


图6 不同参数下放电电流的过渡过程

1—超阻尼状态; 2—临界状态; 3a—有振荡状态(电弧);  
3b—有振荡状态(火花)

对应于(14a), (14b), (14c)各式的放电电流曲线见图6. 曲线1为超阻尼状态, 放电电流到达峰值后, 回到稳定值. 曲线2为临界状态, 电流以比指数上升稍快的速度平滑地到达稳定值. 曲线3为振荡状态. 由(14c)知, 此时电流分为直流及阻尼振荡两部分. 随着参数配合不同, 两者的比例也不同. 如果振荡成分较小, 当它到达第一个负半周时, 它的幅值比直流成分小, 总电流  $I(t) > 0$ , 继续下去, 可以到达稳定值, 称“电弧放电”. 反之, 如果它的幅值比直流成分大, 总电流  $I(t) < 0$ , 放电隙  $G_2$  在  $I(t) = 0$  时熄灭. 如果此时引燃脉冲已过去, 低压电不能使  $G_2$  击穿, 放电就到此为止. 称“火花放电”. 用示波器观察到的相应图形见图7.

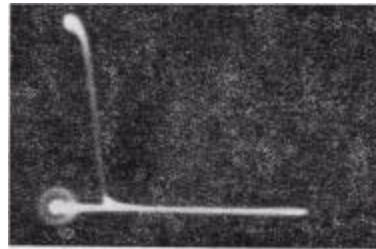
a. 电弧放电(扫描时间 250 $\mu$ sec)b. 火花放电(扫描时间 250 $\mu$ sec)

图 7

## (ii) 讨论

## 1) 放电瞬间弧隙的电流值.

在不同参数配合的情况下, 从(14c)计算的结果见表2.

表 2

$C_2$ ( $\mu$ f)	$L$ (mH)	$R$ ( $\Omega$ )	$R_1$ ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega$ )	$\omega$	$I_{max}$ (A)	$I_{min}$ (A)	$t_0$ ( $\mu$ sec)	
1	0.5	50	3	22.4	$4.3 \times 10^4$	12.45	2.5		电弧
10	0.5	50	3	7	$1.36 \times 10^4$	23.5	-5.8	115	火花
10	0.05	50	3	2.24	$3.3 \times 10^4$	80.4	-16.8	47	火花
20	0.5	50	3	5	$9.3 \times 10^4$	42.7	-7.4	170	火花
100	0.5	50	3	2.23	$2 \times 10^3$	227	-31	780	火花

从表中看到, 在“火花放电”工作状态下, 放电的峰值电流约为几十到几百安培, 持续时间  $t_0$  约为几十到几百微秒. 电感减小, 可以提高电流峰值、缩短持续时间. 电容加大可在提高电流同时增长持续时间. 此外, 放电的瞬变过程与参数的配合有很大关系. 例如, 表2中当电容为  $10\mu$ f,  $R$  及  $R_1$  不变,  $L$  分别为 0.5 和 0.05mH, 计算出放电的峰值电流及持续时间都有很大差别. 但是它的平均电流<sup>1)</sup>  $\bar{I}$  分别为 0.19 和 0.26A, 相差不大. 就是说, 习惯上用磁电式电流表测得的值, 是不说明问题的, 应该用示波器或峰值电流表加以测量.

## 1) 平均电流以下式估算:

$$\bar{I} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{max} \frac{t_0}{T_0}$$

式中  $T_0$  为 50 周电源的半周期,  $t_0$  为火花放电的持续时间, 并且假定放电曲线近似正弦波.

2) “电弧放电”与“火花放电”的转换条件.

上面已经指出,当交流成分到达第一个负半周时,如果  $I(t) \leq 0$ , 线路即处于火花放电工作状态. 这时从 (14c) 有

$$\frac{E_0}{R + R_1} \leq \frac{E_0}{\omega L \sqrt{R_1 + R}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{1}{RC_2} + \frac{R_1}{L} \right) \frac{1}{\omega} \left( \frac{3}{2} \pi - \varphi \right) \right], \quad (15)$$

在实际线路中,因为  $R_1 < 10 \Omega$ , 一般  $R \gg R_1$ , 此时  $\omega \approx \omega_2 = \sqrt{\frac{1}{LC_2}}$ , 波阻抗  $\rho = \sqrt{\frac{L}{C_2}}$ , (15)式可写成

$$\frac{\rho}{R} \leq \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\rho}{R} + \frac{R_1}{\rho} \right) \left( \frac{3}{2} \pi - \varphi \right) \right]. \quad (16)$$

式(16)就是电弧与火花放电转换的判据. 下面讨论两种情况.

第一种情况是当  $\rho \gg R_1$ , 即迴路的波阻抗比弧隙电阻大,式(16)可简化为

$$\frac{\rho}{R} \leq \exp \left( -\frac{1}{2} \frac{\rho}{R} \frac{3}{2} \pi \right). \quad (17)$$

计算表明,只要  $\frac{\rho}{R} \leq 0.4$ , 式(17)即可满足;亦即外电阻  $R$  比  $\rho$  大 2.5 倍, 线路处于火花工作状态,相当于图 8 曲线的平顶部分.

第二种情况是当  $\rho < R_1$ , 迴路波阻抗比燃弧等效电阻小,这在加大电容、减小电感后即会出现.

根据(16)有

$$\frac{\rho}{R} \leq e^{-\frac{3}{4} \pi \frac{R_1}{\rho}}, \quad (18)$$

见图 8 曲线下弯部分. 假设  $\frac{R_1}{\rho} = 2$ , 则

$\frac{\rho}{R} \leq 0.009$  才能满足(18). 就是说,当波阻抗为等效电阻的  $\frac{1}{2}$  时,外电阻  $R$  必须比  $\rho$  大 100 倍,才能保证火花放电稳定. 如果结合充电情况讨论,由于  $R$  增大,  $u_{c_2}$  显著减小,对火花放电不利,所以在交流供电的低压火花中,电容不能太大,并且在增加电容时,适当保持  $L$  值不致太小是必要的. 从表 2 看到  $\rho$  大约控制在  $2 \sim 10 \Omega$  左右较合适.

如果把电容增加到 1000 至 4000  $\mu\text{f}$  (所谓强脉冲放电),用交流充电就有困难,用直流充电可以消除电容  $C_2$  的分压效应. 但为了保证击穿后放电不发展为电弧,必须使  $R$  与  $L$  有较高的值. 不少文章所介绍的经验线路正是这样. 例如文献 [5] 所载的线路,  $C = 4000 \mu\text{f}$ ,  $R = 200 \Omega$ .

## 实 验

### 1. 用示波器观察放电图形

为了验证上述的讨论,我们用示波器(CI-1 型)观察了有关引燃、放电等过程的电压、

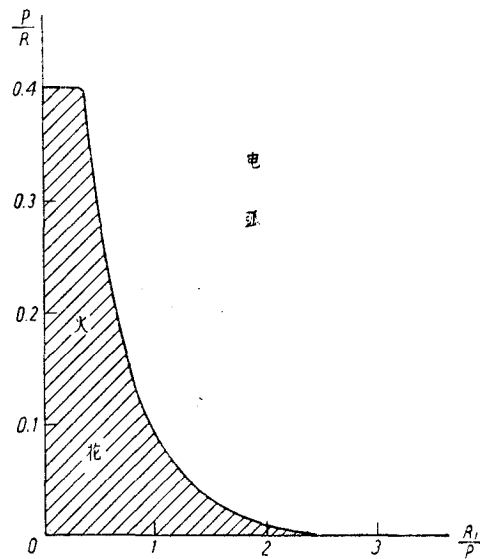
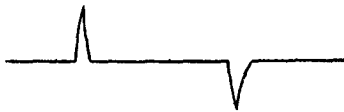


图 8 火花与电弧的转换区域

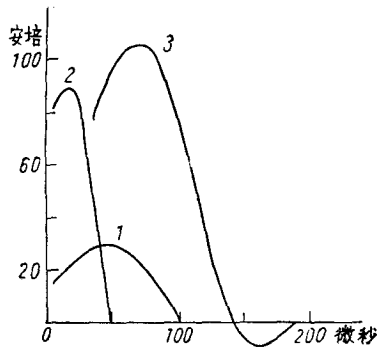
电流图形。在观察电流图形时，把一根  $0.8\Omega$  的电阻丝 ( $\phi 1.2\text{mm}$ ) 屈成U形，串接在放电隙上，从电阻两端可以取出放电电流变化的讯号。图 9 表示不同参数下所摄得的火花放电电流图形。

### 2. 关于提高引燃能力的实验

如上所述，减小  $L$ ，导致引燃能力的降低，但为了提高激发能力又必须减小  $L$ 。为了解决这个矛盾，在接线上可以采取一些措施。例如，使  $L$  尽量靠近放电隙，以减小寄生电感；利用电离针或紫外线辐照（来自辅助隙），以增加空气电离度；使  $G_2$  容易击穿等等。此外，从 (4a) 看到， $u_{L,\max} \propto E\sqrt{LC_1}$ ，



a. 火花放电电流 (扫描时间 1/50 秒)



b. 火花放电电流瞬时状态

- 1— $C=10\mu\text{f}$ ,  $L=0.5\text{mH}$ ,  $R=50\Omega$ ;
- 2— $C=10\mu\text{f}$ ,  $L=0.01\text{mH}$ ,  $R=50\Omega$ ;
- 3— $C=40\mu\text{f}$ ,  $L=0.01\text{mH}$ ,  $R=50\Omega$

图 9

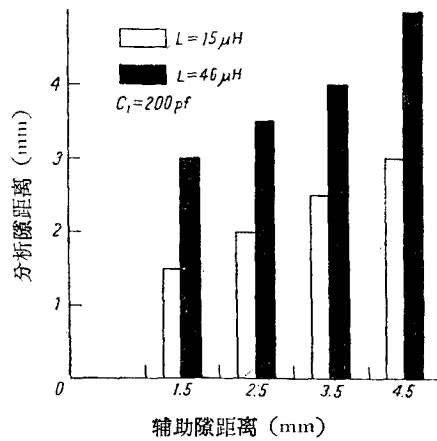


图 10 在不同辅助隙距离下分析隙稳定燃弧的范围

大幅度增加  $E$  有困难，但适当增加  $G_1$  的距离，就意味着  $G_1$  击穿前具有更高的电压，这样就可以在某种程度上增加引燃电压。图 10 是实验得到的不同辅助极距与分析隙稳定引燃之关系。（所用的光源见文献[4]，辅助隙为  $\phi 6\text{mm}$  的平头碳电极。）

### 3. 光谱实验

上面从放电特点定义了“火花放电”和“电弧放电”两种工作状态。问题是对应于这两种状态是否得到火花光谱与电弧光谱。我们用 Fe 电极作实验表明两者是一致的。当然，随着参数的变化，特别是  $L$  的变化，火花与电弧线的强度比是有变化的。

为了查明放电参数变化对谱线光强的影响，做了下列三个实验：

(i) 改变  $C_2$ ，固定  $L$  和  $R$ ，用 Al-Al 电极摄谱，分别测定表 3 所示的三根 Al 线黑度值，结果见表 4。

从表 4 看到：增加电容，谱线黑度值显著提高，但标志激发能力的  $\Delta S_{\text{I-II}}$  和  $\Delta S_{\text{II-III}}$  变化不大。

(ii) 改变  $L$ ，固定  $R$  和  $C_2$ 。用同样三条 Al 线测得的结果见表 5 和图 11。

表 3

谱 线	激发电位
Al I 2652.49	4.66
Al II 2631.55	15.30
Al III 3702.09	21.55



表 4

$C(\mu f)$	$L(mH)$	$R(\Omega)$	$\Delta S_{I-II}$	$\Delta S_{II-III}$
10	0 <sup>1)</sup>	35	0.47	-0.29
18	0	35	0.36	-0.31
26	0	35	0.31	-0.34
34	0	35	0.30	-0.39
42	0	35	0.20	-0.43

1)  $L = 0$  实际上是一根 50mm 长的导线。

表 5

$C_2$	$L$	$Al_I$	$Al_{II}$	$Al_{III}$	$\Delta S_{II-I}$	$\Delta S_{III-II}$
10 $\mu f$	0 $\mu H$	0.85	1.40	1.11	0.55	-0.29
	15 $\mu H$	0.92	1.32	0.72	0.40	-0.60
	45 $\mu H$	1.10	1.25	0.11	0.15	-1.14
42 $\mu f$	0 $\mu H$	0.88	1.23	1.43	0.35	0.20
	15 $\mu H$	0.92	1.22	1.27	0.30	0.07
	45 $\mu H$	1.02	1.21	1.03	0.19	-0.18

实验表明，随着  $L$  减小，I 线黑度减小，但 II 线黑度变大，III 线更为显著；减小电感有利于高激发电位的谱线激发。

(iii) 改变  $R$ ，固定  $L$  和  $C$ 。改变  $R$  直接影响到迴路的充电、放电过程，所以对谱线光强的影响也较大。为了证明这点，我们在  $C_2 = 40\mu f$ ， $L = 100\mu H$  的条件下，分别使  $R = 15\Omega$  和  $60\Omega$  摄谱并观察电容电压  $u_{C_2}$ 。结果见图 12。实验表明，电阻增加使谱线光强显著降低， $u_{C_2}$  减小约 1/4，位相变化达  $40^\circ$  以上。

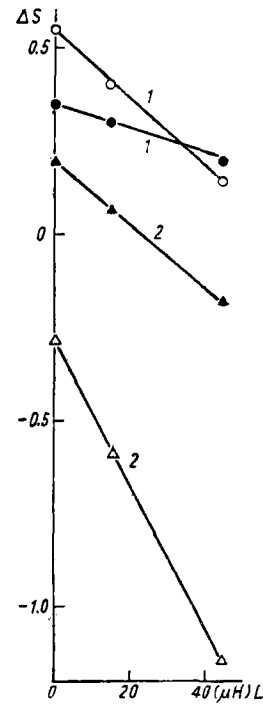
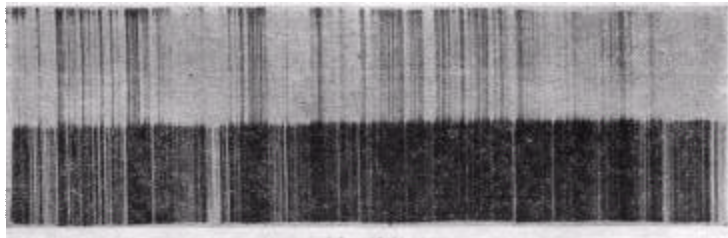


图 11  $L$  对  $\frac{Al_{II}}{Al_I}$  及  $\frac{Al_{III}}{Al_{II}}$  的影响

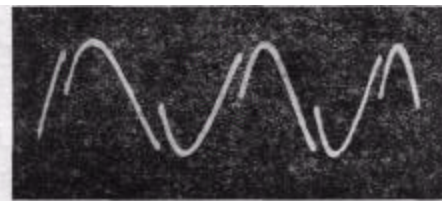
1 —  $\frac{Al_{II} 2631.55}{Al_I 2652.49}$ ;  
 2 —  $\frac{Al_{III} 3702.09}{Al_{II} 2631.55}$   
 ○ △ —  $C = 10\mu f$ ;  
 ● ▲ —  $C = 42\mu f$ .



a. 不同  $R$  值的铁谱



b.  $R = 15\Omega$



c.  $R = 60\Omega$

图 12

(iv) 放电次数的影响。我们用看谱镜和沈阳重型机械厂自制的低压火花光源,观察钢中碳、磷、硫的谱线。发现在合适的放电条件下,当线路每半周放电一次时视场暗淡,很难辨认谱线;每半周放电二次,视场变亮、谱线清晰;三次时更为有利,但较难维持长期间工作稳定;四次则线路很难稳定。

放电次数及其起始位相直接影响到放电能量、电极温度以及视觉反应,所以是一个极其重要的参数。图 13 是在光源激发碳、磷、硫较好的情况下,每半周放电两次和三次的电压图形。

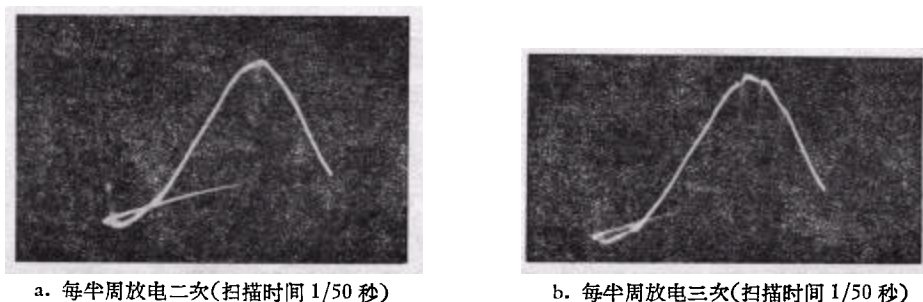


图 13

## 结 束 语

1. 通过上述的计算分析和实验观察,我们对火花放电的电学特性有一个较全面的、概略的认识。但是在计算中,忽略了线路的寄生参量,所以实验值只能在数量级上符合,因此本文某些计算结果只是半定量的。

2. 规范放电的参数应该是  $C_2$ ,  $R$ ,  $L$ , 极距, 电源电压, 以及引燃位相和放电次数。目前文献中只写出极距、 $C_2$  和平均电流值, 这是很不够的。因为  $\bar{I}$  不足以反映放电的真正动向。同时, 如果把  $R$  和  $L$  的真值忽略的话, 就很难控制放电的重复性, 至于放电次数和起始位相更需注意。这些在生产低压火花光源时均应注意。

3. 图 8 所示关于电弧与火花的转换区域, 对如何选择参数, 以实现火花放电工作状态是有帮助的。

4. 鉴于交流供电在充电过程中, 由于电容  $C_2$  与  $R$  分压, 影响到电能的有效利用。同时选择合适的  $R$  值, 以保证实现火花放电, 与充电的要求有矛盾。Bardóczy<sup>[6]</sup> 曾经试制过一种直流“宽频域”高压火花。参考这种做法, 作者认为制造一种直流“宽频域”低压火花将会是较理想的。它的低压回路用直流(200 或 300 伏)供电, 引燃回路用同步马达或电子控制, 放电频率可以适当改变(例如每秒 100 次, 200 次, 300 次等)。

**附记** 在全国第一届理化检验年会上, 许国敷同志认为用低压火花放电的电流幅值、持续时间和重复频率作为“规范”放电的基本参数, 对不同类型的光源来说更有通用性。作者认为这点意见非常宝贵。至于在实际光源中如何精确显示、调节这三个参量, 尚需进一步探讨。

## 参 考 文 献

- [1] Лишанский, Г. Я., *Изв. АН СССР*, **26** (1962), 865.
- [2] Абрамсон, И. С. и Могилевский, А. Н., З. Сборник памяти Г. С. Ландсберга, стр. 27.
- [3] Конторович, М. И., *СГИТЛ*, Москва (1953), Операционное исчисления и нестационарные явления в электрических цепях.
- [4] 李文冲, *科学仪器*, **2** (1964), 297.
- [5] Свентичкий, И. С., и др. *Материалы X совещания по спектроскопии*, Том 2 (1958), 225.
- [6] Bardócz, Á., *Applied Spectroscopy*, **10** (1956), 183.

## AN INVESTIGATION OF A LOW-VOLTAGE SPARK DISCHARGE

LEE WEN-CHONG

## ABSTRACT

The present paper gives the results of an analysis of the transient process of discharge by the Laplace transformation method. Observations of the discharge voltage and current were made with an oscillograph. From our study, a general knowledge of the characteristic of such a discharge circuit and the influence of the parameters on line intensities were obtained.