

# 火花室时间特性的研究

徐振业 张希芝 林华兴 鲁祖惠 李友明

(郑州大学)

## 摘 要

本文以一台平板式光学火花室为例,估算和测量了它的灵敏时间  $t_s$  ( $\approx 1.82 \mu\text{s}$ )、恢复时间  $t_r$  (20ms) 和重复时间  $t_R$  (0.25s)。另外,又着重讨论了影响灵敏时间的各种因素,以及为减小它而采用的一般方法。

## 一、引 言

近二十多年来,由于火花室技术的不断发展,目前已有多种不同结构和不同性能的火花室出现<sup>[1]</sup>。一般可以分为两大类:光学火花室和丝火花室。本文仅讨论光学火花室的时间特性。

一台火花室的工作性能如何,主要视其效率特性、空间特性和时间特性的好坏。当火花室配合加速器工作时,其时间特性更为重要。为描述火花室的时间特性,一般规定三个特性时间:灵敏时间  $t_s$ 、恢复时间  $t_r$  和重复时间  $t_R$ 。

## 二、实验装置

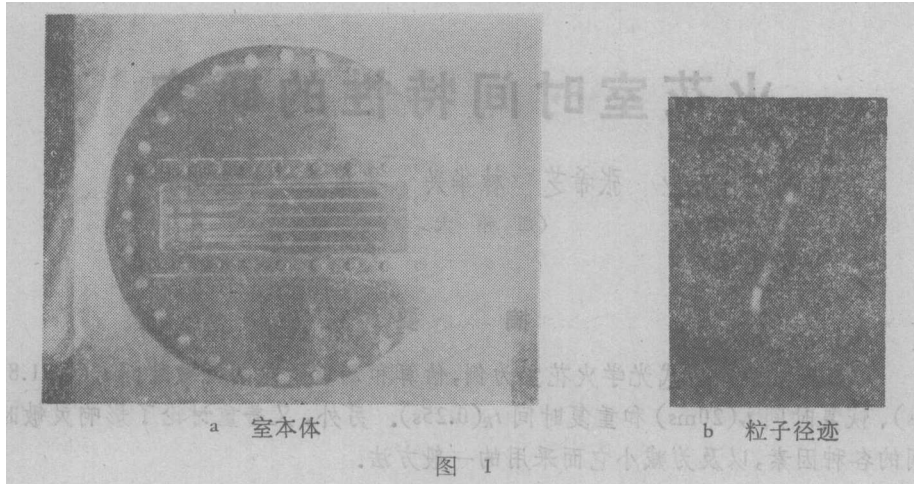
为研究火花室的时间特性,我们对一台自制的平板式火花室进行了测试和估算。现将实验装置介绍如下:

### 1. 室本体 (图1)

真空盒为圆筒形,内径为 43cm,深为 43cm,用法兰盘密封,照相面装有有机玻璃窗。电极  $35 \times 30 \times 0.5\text{cm}^3$  的铜板。五个间隙,间距为 1.55cm。工作气体为工业纯的 Ne,通常在大气压下工作。

### 2. 触发系统

室本身上、下各水平排列四只 J209r 计数管,组成计数管望远镜,用来选择触发事例。符合电路采用 FH1014A 插件。触发电路由 EFP60 构成。高压脉冲发生器由 ZQM1 325/16 型闸流管构成。触发系统的固有延迟时间约  $1\mu\text{s}$ ,高压触发脉冲前沿约 50ns,宽度约  $0.7\mu\text{s}$ 。整个测试是在脉冲幅度为 6kV 的条件下进行的。偶然符合约占总符合的 1.6%,在处理数据时已扣除。



### 3. 记录系统

用 SB408 型照象机记录事例的径迹。

## 三、结果和讨论

### 1. 重复时间 $t_R$ 的估算

火花室的重复时间  $t_R$ ，是指它能够正确记录两个相继事例的最小时间间隔。对于光学火花室， $t_R$  取决于相机的卷片速度。本装置所用 SB408 型相机的最大卷片速度为 10 cm/s，单片长度为 2.5 cm，所以，重复时间  $t_R = 0.25$  s。

### 2. 恢复时间 $t_r$ 的估算

火花室的恢复时间  $t_r$ ，是指它对相继两个事例都灵敏的最小时间间隔。在考虑  $t_r$  时，不涉及记录系统。 $t_r$  同触发系统的恢复时间和室本体的恢复时间(放电后，电子和正负离子以及处于激发态的原子和分子的消失时间)有关，取两者中的较大值。

理论计算和实验证明，室本体的恢复时间一般为  $10^{-6}$ — $10^{-5}$  s。而触发系统的恢复时间，对不同装置其差别甚大。对本装置来说，它取决于高压脉冲发生器的恢复时间。因为，高压脉冲发生器的储能电容的直流充电电源是由 50 c/s 的市电经整流获得，而滤波电容仅为储能电容的 20 倍，所以，在要求高压脉冲幅度涨落小于 5% 的情况下，触发系统的恢复时间为 20 ms，此值远大于室本体的恢复时间。所以，本装置的恢复时间为 20 ms。若用每秒几十 KC 的振荡器代替市电，并增大滤波电容，可望  $t_r$  接近  $\mu$ s 级。

### 3. 灵敏时间 $t_s$ 的测量

火花室的灵敏时间(又称记忆时间)  $t_s$ ，是指从荷电粒子通过室本体的灵敏体积产生电离，到对电极加上高压脉冲，并使火花室的效率  $\eta = 50\%$  的一段时间延迟。当火花室用于宇宙线实验时，勿需采取任何特殊措施，其灵敏时间都能满足要求。但是，当火花室配合加速器工作时。为了能从强的粒子束流中选择出特殊事例，一般要求  $t_s$  越小越好。 $t_s$  同极板间隙、工作气体、清扫电场以及高压触发脉冲的特性有关。目前为减小  $t_s$ ，主要是加清扫电场和充以适量的负电性气体，如  $O_2$  和  $CO_2$ <sup>[2-5]</sup> 等。

$$\text{平板式光学火花室的探测效率: } \eta = \frac{\sum_{j=1}^J jN_j}{J(N_0 + \sum_{j=1}^J N_j)}$$

$J$ : 总间隙数;  $j$ : 产生火花放电的间隙数;  $N_j$ :  $j$ 个间隙放电的总次数;  $N_0$ : 仅被触发而不产生放电的次数。

在测  $\eta$  时, 由径迹照片可定出  $\sum_{j=1}^J jN_j$ , 由计数器可定出  $J(N_0 + \sum_{j=1}^J N_j)$ 。

图 2 表示效率  $\eta$  随延迟时间  $t_d$  变化的测试曲线组, 参变量为清扫电压。

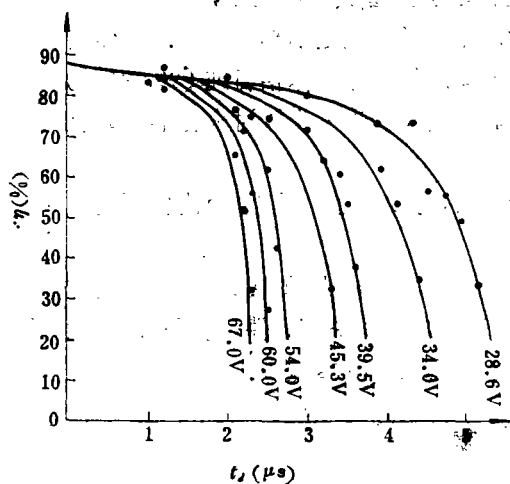


图 2 效率  $\eta$  随延迟的时间  $t_d$  的变化  
 $P_{Ne} = 755\text{mmHg}$   $d = 1.55\text{cm}$   $\sigma_e \leq 3.8\%$

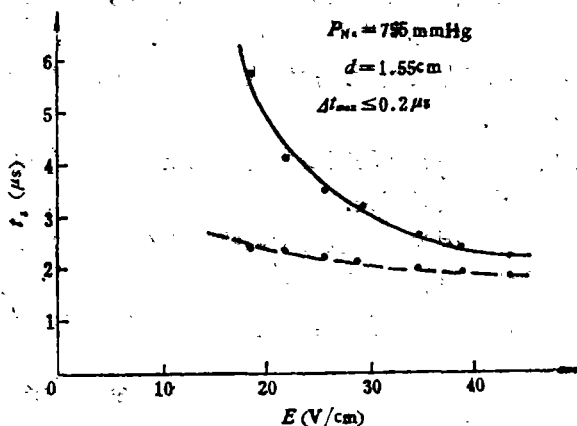


图 3 灵敏时间  $t_s$  随清扫电场的变化

由图 2 可求出不同清扫电压下的灵敏时间  $t_s$ 。图 3 的实线表示灵敏时间  $t_s$  随清扫电场强度  $E$  的变化情况。由此求出最小的灵敏时间约为  $2.18\mu\text{s}$ 。

为进一步减小  $t_s$ , 我们对室本体充以  $750\text{mmHg}$  的  $\text{Ne}$  和  $5\text{mmHg}$  的负电性气体  $\text{O}_2$ 。图 4 表示在此情况下效率  $\eta$  随延迟时间  $t_d$  的变化, 参变量为清扫电压。由图 4 可求出不同清扫电压下的灵敏时间  $t_s$ 。图 3 中的虚线表示在此情况下  $t_s$  随清扫电场强度  $E$  的变化, 并求出最小的灵敏时间约  $1.82\mu\text{s}$ 。

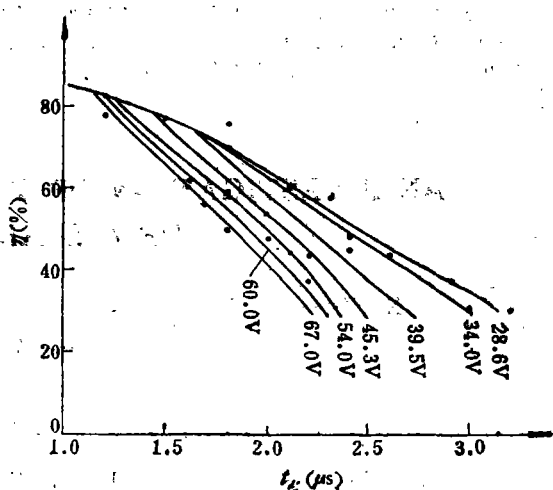


图 4 效率  $\eta$  随延迟时间  $t_d$  的变化  
 $P_{Ne} = 750\text{mmHg}$   $P_{O_2} = 5\text{mmHg}$   $d = 1.55\text{cm}$   $\sigma_e \leq 3.8\%$

由图 2 看出, 对一定的清扫电压, 效率  $\eta$  随延迟时间  $t_d$  的增大而减小, 并在  $\eta = 50\%$  处可相应求出一个灵敏时间  $t_s$ 。  $\eta-t_d$  的变化趋势, 可能是因为电离电子在清扫电场

作用下,向正电极漂移而消失,产生火花放电的几率减小的缘故。但是,由求出的  $t_s$  和极板间隙  $d$  算出的电子漂移速度  $W_e$  比由经典气体放电理论算出的  $W_e$  偏大。具体对比情况如下表:

$E/P$ (伏/厘米·大气压)	18.57	22.08	25.65	29.42	35.06	38.96	43.51
$W_e$ (厘米/秒) $\times 10^3$ (经典理论值)	3.0	3.3	3.5	3.8	4.1	4.4	4.6
$W_e$ (厘米/秒) $\times 10^3$ (火花室实验值)	2.6	3.7	4.5	4.9	6.0	6.5	7.1

注: 此处  $W_e$  的理论值由  $W_e \approx \mu_e \sqrt{E/P}$  算出, 对 Ne,  $\mu_e \approx 7 \times 10^4$  [厘米<sup>3/2</sup>·大气压<sup>1/2</sup>/伏<sup>1/2</sup>·秒]<sup>[5]</sup>。

文献[5]对上述差别的解释是: 工作气体中可能混有少量负电性气体, 一部分电子被吸附形成负离子, 而负离子, 在一般情况下对产生电子雪崩是不起作用的。这样会导致由  $t_s$  算出的漂移速度增大。但是, 文献[3]指出, 即使工作气体相当纯(99.99%), 仍有上述差别。我们认为, 要想确切解释上述差别, 主要应该进一步探讨火花形成的机理。

由图3的实线和虚线比较看出, 加负电性气体  $O_2$  后,  $t_s$  变小了, 而且, 吸附作用同电场强度  $E$  有关。

因为本装置触发系统的固有延迟约  $1\mu s$ , 故不能再增大清扫电压和改变负电性气体的含量, 而达到进一步减小灵敏时间的目的。若触发系统均采用快速元件, 高压脉冲发生器采用马克斯堆, 可望本装置的固有延迟和灵敏时间均可达到  $10^{-7}s$  量级。

### 参 考 文 献

- [1] O. C. Allkofer, "Spark chamber", 1969.
- [2] P. R. Evans, "Spark, Streamer, Proportional and Drift Chambers", 1974.
- [3] F. Schneider and K. H. Höhne, Influence of gas admixtures on the sensitive time of spark chambers, *N. I. M.* 20(1963), 152.
- [4] Oneill, G. K., *Rev. Sci. Instr.*, 32(1961), 528.
- [5] O. R. Frisch, O. B. E., R. R. S., "Progress in Nuclear Physics", Vol. 9(1964).
- [6] 于群等, 《原子核物理实验方法》, 1961.

## AN INVESTIGATION OF THE TIME CHARACTERISTICS OF A SPARK CHAMBER

XU ZHEN-YE ZHANG XI-ZHI LIN HUA-XING LU ZU-HUI LI YOU-MING  
(Zhengzhou University)

### ABSTRACT

We estimate and measure the sensitive time ( $\approx 1.82\mu s$ ), recovery time (20 ms) and repetition time (0.25s) of the parallel plate optical spark chamber. The various factors that influence sensitive time are discussed. The ordinary methods to reduce sensitive time are described.