

# 球形石墨电离室 $\gamma$ 剂量仪

师德周 陈 勤

本文简要介绍了一台球形石墨电离室 $\gamma$ 剂量仪的整体结构、电离室的结构及材料、主要技术性能的测量方法及指标。该仪器对 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 照射量率测量值的标准误差为 $\pm 0.4\%$ ，准确度为 $\pm 3.5\%$ 。

**关键词** 石墨电离室，汤姆逊补偿测量电路，准确度。

## 一、前 言

$\gamma$ 射线剂量仪器的常规刻度通常使用 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 作辐射标准源。这些源的辐射场(离源不同距离处的照射量率)可以采用次级标准空腔电离室仪器进行测量。由于我们缺少这种仪器，因此，我们参照美国国家标准局(NBS)的空腔电离室<sup>[1]</sup>制作了一台球形石墨电离室的 $\gamma$ 剂量仪，用于测定本所 $\gamma$ 刻度室内的几个 $^{60}\text{Co}$ 源(10 mCi—15 Ci)和 $^{137}\text{Cs}$ 源(几十 mCi)的辐射场。剂量仪的量程范围为3 mR—10 R，准确度为 $\pm 3.5\%$ (包括仪器校准因子的误差 $\pm 2\%$ )。

## 二、仪器的结构

仪器的示意图见图1，由电离室和电流测量电路两部份组成。电路采用汤姆逊补偿测量电路<sup>[2]</sup>。选用FJ-356型动电容静电计<sup>[3]</sup>(国营西安262厂生产)作测量电路中的指零计。改装后的静电计可作为剂量仪的测量装置。电离室与装置之间用15 m双屏蔽低噪声电缆(STY-VP4型)相连接，电缆的外屏蔽层接电离室用的高压。

电离室的结构示于图2。球形电离室的标称体积为 $50\text{ cm}^3$ (外径50.8 mm)；室壁材料是高纯度石墨(纯度99.99%)，壁的厚度2.5 mm；收集极材料用纯铝(99.99%)，直径3 mm；支撑杆内的内外绝缘体用聚四氟乙烯；收集极与电离室壁之间加铝保护环(接地电位)，用来减少漏电流和极化效应。

汤姆逊补偿电路用于弱电流测量时，具有输入回路分布电容影响较小、漏电流较小、稳定性较好和灵敏度高等优点。这对提高剂量仪的性能是很有利的。本仪器采用FJ-356型静电计做电路的指零计，把补偿电容器、补偿电压可调电位器、补偿电压分压器和低压-高压变换器等都装入静电计内部。补偿电容器的漏电阻值的大小和容量值的稳定性、补偿电压的稳定性，都对仪器的性能有较大的影响。为此，本仪器选用CB1型聚苯乙烯电容器，其漏电阻的标称值大于 $10^{14}\ \Omega$ ，实测值大于 $10^{16}\ \Omega$ (实验电压300 V)，此电容器的容量值长期稳定性也较好。为了提高补偿电压的稳定性，把原静电计内的-12 V电压引出，经2 DW 7 C稳压管稳压、滤波，再由精密线绕电阻器(RX-11型)和线绕螺旋电位器分压后，用作补偿电压。改变补偿电容器 $C_0$ 的量值和相应的补偿电压 $V_0$ 的量值，可以变换

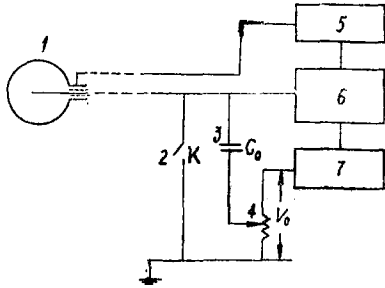


图 1 仪器示意图

1—电离室；2—短路开关；3—补偿电容器  $C_0$ ；4—补偿电压可调电位器；5—低压-高压变换器；6—FJ 356 型动电容静电计；7—补偿电压分压器。

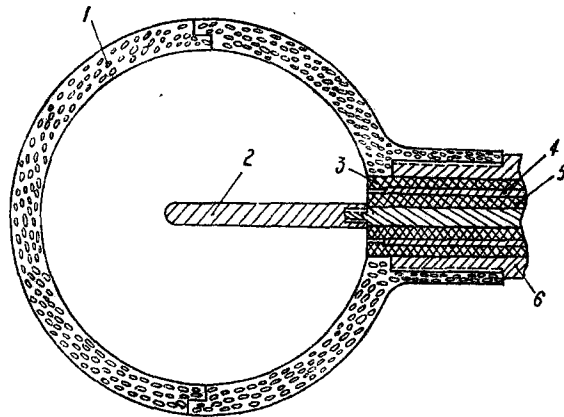


图 2 电离室结构

1—石墨室壁；2—铝收集极；3—聚四氟乙烯外绝缘体；4—铝保护环；5—聚四氟乙烯内绝缘体；6—铝支撑杆外套。

仪器的量程。表 1 给出了本仪器的各量程的  $C_0$  和  $V_0$  的计算值。 $V_0$  的实际值是仪器在国家计量院校准时，对着照射量基准调整后的实测值。

表 1 各量程的补偿电容和补偿电压值

量 程	3 mR	10 mR	30 mR	100 mR	300 mR	1 R	10 R
$C_0$ , pF	98.8	98.8	98.8	1046.6	1046.6	1972.2	33034
$V_0$ , mV	506.08	1686.90	5060.80	1592.50	4777.50	8450.90	5045.40

### 三、主要技术性能的测定

本仪器可以测量照射量，若以计时器(秒表等)记录测量时的补偿时间也可以测量照射量率。下面所述仪器的性能系指测量照射量率时的性能。

1. 测量值的标准误差 仪器的电离室放置在一个  $^{60}\text{Co}$  源的辐射场中，依次进行  $n$  次(10次)照射量率的测量。表 2 列出了各量程进行测量的平均测值和它的相对标准误差以及单次测值的相对标准误差。

取最灵敏量程(3 mR)的标准误差作为仪器单次测量值的相对标准误差，其值为  $\pm 0.4\%$ 。

2. 稳定性 选定一个  $^{60}\text{Co}$  源作仪器的稳定性检查源。在每次测量中，电离室与源之间的距离和其它几何条件都严格保持一样。试验结果表明：8 h 之内，仪器测量值的涨落在标准误差范围之内，长期稳定性的试验结果列于表 3。表中照射量率标准值  $\dot{X}_0$  是以 1978 年 7 月 28 日的测量值为初始标准值，其它时间的标准值都以 7 月 28 日测值经过  $^{60}\text{Co}$  的衰减计算而得到。可以看出，九个月来，对仪器的检验结果表明，若以测量值与标准值

表 2 各量程测量值的相对标准误差

量 程	照射量率平均测值, mR/h	平均测值的标准误差, %	单次测值的标准误差, %
10 R	610170.0	±0.06	±0.2
1 R	147540.0	±0.06	±0.2
300 mR	27340.0	±0.06	±0.2
100 mR	7886.0	±0.03	±0.1
30 mR	2506.0	±0.09	±0.3
10 mR	668.9	±0.09	±0.3
3 mR	424.0	±0.13	±0.4

表 3 长期稳定性试验结果

测量日期	照射量率标准值 $X_0$ , mR/min	照射量率测量值 $X$ , mR/min	稳定性 $\frac{X-X_0}{X_0}, \%$	环 境 条 件			
				温度, °C	气 压	相对湿度, %	天 气
1978年7月28日	16.15	16.15	0	29.0	751毫米汞柱	90	阴 雨
1978年7月29日	16.15	16.09	-0.37	28.9	754毫米汞柱	85	多 云
1978年7月31日	16.15	16.20	+0.31	28.0	747.8毫米汞柱	85	阴 雨
1978年9月7日	15.98	16.01	+0.19	23.0	756毫米汞柱	50	晴
1978年11月10日	15.51	15.48	-0.19	11.5	1032.5毫巴	80	阴
1978年11月14日	15.51	15.53	+0.13	11.5	1019.6毫巴	60	多 云
1979年2月23日	15.02	15.06	+0.26	10.0	1008.4毫巴	40	晴
1979年4月19日	14.76	14.77	+0.10	15.0	1010.5毫巴	65	阴, 多云

的相对偏差作为仪器的稳定性, 则仪器的长期稳定性好于±0.4%(温度、气压和湿度的影响已作修正)。

**3. 线性误差** 仪器的一个分量程内的线性误差是比较小的, 影响整个测量范围线性的主要因素是分量程之间的线性误差或称量程变换的误差。这一误差的测定应在准确度较高的辐射场内进行, 因缺少这样的辐射场, 故采用两个相邻的量程去测量同一照射量率; 试验结果列于表 4, 表明量程变换误差在±0.5%以内。

**4. 方向性** 仪器的方向性表示  $\gamma$  射线以不同的入射角度照射电离室时, 测量值的偏差。把电离室放置在准直的  $\gamma$  射线( $^{60}\text{Co}$ )的辐射场中, 电离室围绕自己的几何中心先作水平转动, 再作垂直平面上的转动, 分别测量出射线与支撑杆轴线成不同角度  $\theta$  时的照射量率值。以 180°的测量值作为标准值进行归一。试验结果表示于图 3。可看出, 球形电离室方向性是比较好的。0°—45°相对指示在 0.6—0.98。靠近 0°测值偏低是支撑杆对射线的吸收而引起的。

**5. 能量响应** 本仪器的设计主要用来测量  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{226}\text{Ra}$  等较高能量的  $\gamma$  核素源的辐射场, 因此, 电离室的壁较厚(2.5 mm)。对低能光子的能量响应只作参考。图 4

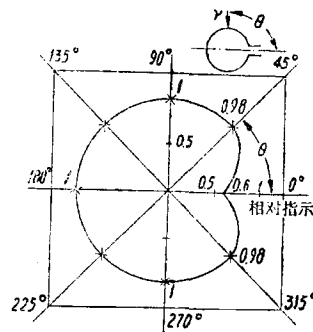


图 3 电离室的方向性  
 $\theta$ ——射线入射方向与电离室轴线间的夹角;  
 相对指示 =  $\frac{\text{仪器在射线入射夹角 } \theta \text{ 时的测量值}}{\text{仪器在射线入射夹角 } 180^\circ \text{ 时的测量值}}$

表 4 量程变换的线性误差试验结果

量 程	3 mR	10mR	10mR	30mR	30mR	100mR	100mR	300mR	300mR	1 R	1 R	10 R
电离室与源间 距离, cm	450		300		230		100		50		25	
测 量 值, mR/h	668.2	669.0	1466.3	1465.2	2506.3	2506.7	13403	13393	53202	52941	211760	212260
线性误差, %	+0.1		-0.1		+0.0		-0.1		-0.5		+0.2	

给出了仪器的能量响应特性。试验用的  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{226}\text{Ra}$  标准源均由国家计量院校准(准确度 $\pm 3\%$ )，低能光子由北京计量管理处提供。结果表明，本仪器对  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{226}\text{Ra}$  的响应值接近 1，即三种核素源测值进行归一后，其偏差在标准误差范围之内。因此，测量这些核素源的辐射场时，能量响应带来的误差可以忽略。测量 28—119 keV 射线时，其响应比  $^{60}\text{Co}$  的响应低 6—24%，主要原因是电离室壁对射线的吸收。如 2.5 mm 的石墨室壁对 119 keV 的 X 射线的吸收约占 6%。

**6. 饱和特性** 电离室选用的工作电压值由它的饱和特性决定，用计算或试验的方法都可以得到此值。我们采用试验的方法，把电离室置于 1500 R/h(仪器测量的最大极限值)的  $^{60}\text{Co}$  辐射场中，电离室与收集极之间的电压逐渐升高，由 100 V 开始，每升高 50 V，测量一次。结果表明，电离室电压从 200 V 开始趋于饱和。本仪器电离室的工作电压选为 300 V。试验饱和和特性曲线示于图 5。

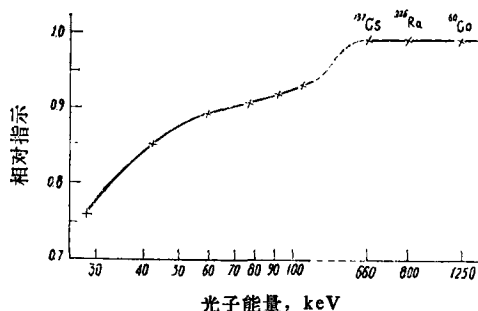


图 4 能量响应特性

$$\text{相对指示} = \frac{\text{照射量率测量值}}{\text{照射量率标准值}}$$

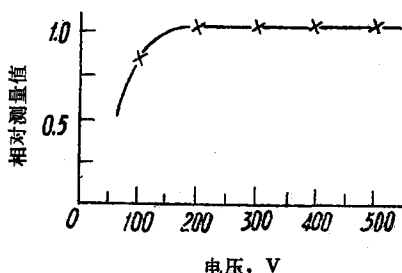


图 5 电离室的饱和特性

照射量率 1500 R/h( $^{60}\text{Co}$ )。

**7. 零点漂移和本底电流** 仪器在输入端“短路”的情况下，预热 0.5 h 后，4 h 内的零点漂移近似为零。在“测量”的情况下，最灵敏量程 (3 mR) 在 3 min 内漂移近似为零。上述两项，在测量中带来的误差可忽略不计。

**8. 准确度** 从各项试验可知，对影响测量值的主要因素有：标准误差，稳定性和测值在进行温度、气压、湿度修正时带来的误差 (约 $\pm 0.2\%$ )。如果把仪器在国家计量院进行校准时得到的校准因子的误差 ( $\pm 2\%$ ) 计入本仪器的误差，则本仪器的准确度(以各项误差绝对值相加的方式表示)，其值为 $\pm 3.5\%$ ，以平方和的方根值表示，其值为 $\pm 2.1\%$ 。各项误差的量值列于表 5。

用本仪器测定了本所  $\gamma$  刻度室内，具有铅准直器的  $^{60}\text{Co}$  和  $^{137}\text{Cs}$  辐射源 100 cm 处的

表 5 各项误差的量值表

误差因素	标准误差	稳定性	线性误差	温度、气压、 湿度 修正误差	校 准 因子误差	准 确 度	
						算 术 和	均 方 根
量 值, %	$\pm 0.4$	$\pm 0.4$	$\pm 0.5$	$\pm 0.2$	$\pm 2$	$\pm 3.5$	$\pm 2.1$

照射量率, 距源 30—400 cm 之间的照射量率随距离变化与反平方定律的偏差, 还测定了准直束的均匀性等。半年多的使用表明, 仪器的性能较稳定可靠, 灵敏度也较高。但它还不能测量剂量限值水平的照射量率, 低能响应也较差, 因此它的使用范围还有较大的局限性。仪器的工艺也需进一步改进。

## 参 考 文 献

- [1] T. P. Loftus & T. T. Weaver, *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, 4, 785(1974).  
 [2] 阿格林采夫著, 潘自强等译, 致电离辐射剂量学, 科学出版社, 1963年, 430页。  
 [3] FJ-356型电动电容静电计说明书, 西安262厂。

(编辑部收到日期: 1980年4月30日)

\*\*\*\*\*

(上接第726页)

## 参 考 文 献

- [1] J. M. Lafferty, *J. Appl. Phys.*, 22, 799(1951).  
 [2] Ю. В. Григорьев и Л. П. Шантурин, *ИТЭ*, 3, 32(1977).  
 [3] G. A. Naas, AD 266039(1961).  
 [4] H. Ahned et al., *Rev. Sci. Instrum.*, 43, 1048(1972).  
 [5] 饭田修一等著, 物理学常用数表, 科学出版社, 1981年。  
 [6] 四川大学化学系编, 稀有元素物理化学及热力学性能手册, 四川人民出版社, 1960年。

(编辑部收到日期: 1980年12月2日)