

BPS型TE-TE球形空腔电离室 在15 MeV中子场测量的修正因子

张仲纶 李凤章 郎淑玉

(中国科学院生物物理研究所)

摘要 我所研制了BPS型TE-TE球形空腔电离室。本工作测量了这些电离室的基本性能。饱和特性的测量结果表明,在 ^{60}Co 光子场中 Q_s/Q_v 与 V^{-1} 之间,关系是线性的,相关系数极接近于1,由此得出了饱和修正因子。对于15 MeV中子和 ^{60}Co 光子确定了自由空气比释动能的壁厚修正因子,各自为 $(0.6 \pm 0.9) \cdot 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 和 $(0.49 \pm 0.35) \cdot 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 当射线入射角度范围在 $0 \sim 120^\circ$ 范围时,室响应相对变化对于 ^{60}Co γ 射线不大于0.5%,而对于15 MeV中子大约为1%。还研究测定了自由空气照射电离室在光子场与中子场中柄散射的影响,测量和计算了用TE气体和空气分别作为工作气体时电离室读数之比值,结果相符。

关键词 球形电离室;中子场测量;修正因子;中子吸收剂量;组织等效电离室。

引言

到目前为止,对于生物医学应用,确定混合中子光子辐射场总吸收剂量最实用的方法,仍普遍认为使用刻度过的TE-TE电离室^[1,2]。在用电离室测定剂量时,必须将电离室的读数 R 转换为空腔内产生的总电荷 Q ,这就要乘以一系列修正因子 $k_i (i=1, 2, 3, \dots)$ 。对于光子刻度场有 k_{ic} ,对于中子场则有 k_{in} 。对不同类型的电离室这些因子是不同的,必须通过实验予以测定。有了空腔中总电荷 Q ,就可计算出空腔气体的吸收剂量 D_g ,再应用气体到壁材料吸收剂量转换因子 $r_{m,g}$,就可得到室壁材料的吸收剂量 D_m 。组织样品内的吸收剂量 D_t 与室壁材料内的吸收剂量 D_m 之比将是它们的比释动能因子之比,即^[3]

$$D_t = \frac{K_t}{K_m} \cdot D_m = \frac{K_t}{K_m} r_{m,g} \cdot D_g = \frac{K_t}{K_m} \cdot r_{m,g} \cdot \frac{\bar{w}}{e} \cdot \frac{1}{m} \cdot Q$$

其中 $\bar{w}$ 是在气体中产生一离子对所需的平均能量; e 是单位电荷; m 是空腔内气体质量。

在中子放射生物学与放射医学中所用中子电离室有着各种各样的结构。Rossi和Failla较早提出一种TE电离室的设计^[4],荷兰TNO放射生物研究所设计制造了一种球形TE电离室^[5],美国FWT公司发展的TE电离室^[6]已广泛用于生物医学中子剂量学。Schranbe^[7]给出了TNO与其它几种TE电离室的各种参数和特性,讨论了各种校正因子的数值。

本所研制了BPS型TE球形电离室。关于BPS电离室,在本工作中除高压绝缘体材料采用尼龙外,其余详见参考文献[8]。本工作是对它在15 MeV中子场中的各项修正因子进行研究和测定,并对 ^{60}Co 场中的因子一起进行了讨论。

实验程序

测量是在15 MeV未准直中子场自由空气中进行的。光子刻度场为未准直的 ^{60}Co γ 射线场,

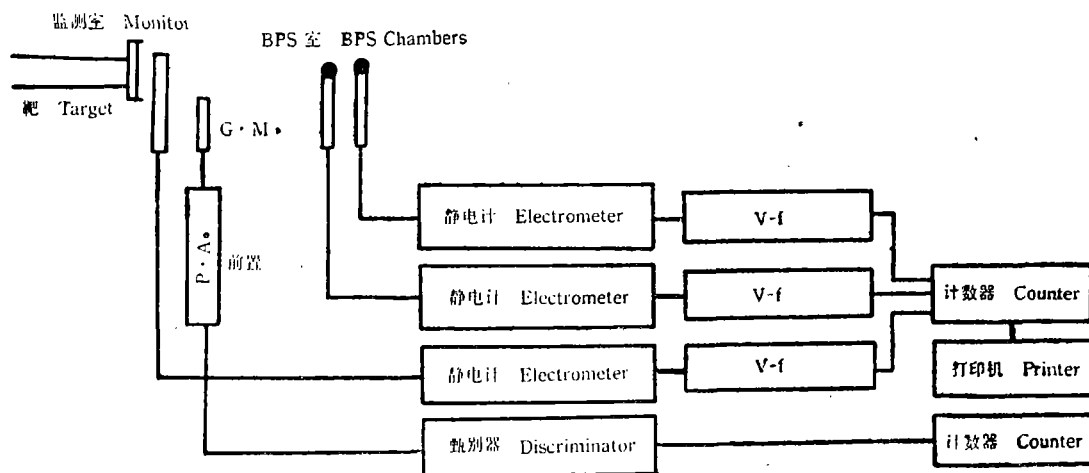


图 1 测量系统方块图

Fig. 1 Schematic diagram of the measurement system

BPS 电离室用次级标准电离室刻度。

一个圆盘形, 充空气的组织等效壁穿透电离室用来监测 D + T 靶前方一立体角内的中子与光子总辐射剂量。监测室位于靶前方 2 cm。一个 G-M 微型计数管置于束轴下方 10 cm 并距靶 12 cm 处, 来监测光子辐射而不干扰有用的辐射束, 整个测量系统的方块图示于图 1。为了以足够高的精度进行测量, 使用了高精度的静电计和 V-f 变换器。为了进行柄散射和方向响应的测量特制了一个电离室定心旋转装置。

BPS 电离室的饱和修正

在辐射场中随着电离室收集电位的增高, 电离电流增长, 最后趋于饱和。对于光子场一般复合占优势, 而对于中子场则初始复合占优势。对于一般复合 $Q_s/Q_v = 1 + v/V^2$, 而对于初始复合 $Q_s/Q_v = 1 + u/V$ 。公式中 Q_s 是饱和电荷, Q_v 是施用某电压 V 时的电离电荷, v 和 u 是常数。

BPS 型电离室在 ^{60}Co 光子场中的饱和特性已显示出 $Q_s/Q_v \propto V^{-2}$ [8], 而在 15 MeV 中子场中测得的饱和特性显示出 $Q_s/Q_v \propto V^{-1}$ (图 2), 根据这些特性得到的一些系数和修正因子列于表 1。从此表所列数据可以得出结论: 对 BPS 型电离室测得的饱和特性是符合 Boag 所给关系的。说明实验结果与所给分析表达式形式较为符合。由此导出的饱和修正因子 f-250 和 f-500 说明, 当电压在 250~500 V 区间时, 对于光子场, 修正因子很接近于 1, 而在中子场中的修正因子要比光子场中的大。对于 15 MeV

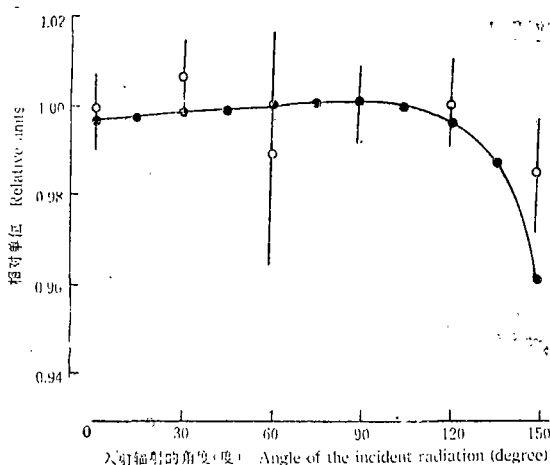


图 2 BPS TE-TE 电离室在 15 MeV 中子场中的饱和特性

Fig. 2 Saturation characteristics of BPS chamber for 15 MeV neutrons.

○ TE 气体 TE-gas ▲ 空气 Air

表 1 电离室的饱和特性
Table 1 Saturation characteristics of ionization chambers

辐 射 Radiation	γ 射线 Gamma ray					15 MeV 中子 Neutron		
电 离 室 Chamber	BPS-I		IC-17 A	BPS-II	IC-17	BPS-II	BPS-I	
气 体 Gas	TE	空气 Air	TE	TE	TE	TE	TE	空气 Air
相 关 系 数 correlation coefficient	0.9993	0.9988	0.9999	0.9992	0.9981	0.9968	0.9697	0.9885
R_s/Q_s^*	0.9995	1.0004	0.9992	0.9998	0.9998	0.9988	0.9959	0.9957
f-500	1.0005	1.0004	1.0005	1.0003	1.0003	1.0075	1.0070	1.0050
f-250	1.0019	1.0015	1.0018	1.0012	1.0016	1.015	1.014	1.010

* Q_s/Q_s^* 为直线的截距, 即电压极高时, 饱和电荷与收集电荷之比, 应接近 1。

中子, f-250 为 1.014 而 f-500 为 1.007, 这是对 TE 气体而言, 当工作气体是空气时则相应为 1.01 和 1.005。对于不同极性的工作电位则不论是中子还是光子, BPS 电离室都未呈现出饱和特性的明显差别, 其极性效应修正因子皆为 1.005

壁 厚 修 正

电离室壁必须厚到足以建立次级带电粒子平衡, 最小厚度是按照次级粒子的最大射程确定的。对于 15 MeV 中子, 在 TE 塑料中为 2 mm。然而室壁还将造成初级辐射的减弱。

另外, 在壁中遭到散射的初级粒子也会对电离室读数有所贡献, 这些散射在没有室壁时将不致进入电离室的灵敏体积, 因而总的效果是电离室响应的减少要比单纯的壁减弱要小。

电离室读数的相对变化为室壁厚度的函数用 $\ln[i(d)/i(o)]$ 与 d 的关系表示在图 3 中, 减弱曲线不论对光子还是中子都呈直线。图中 $i(d)$ 是壁厚为 $d(mm)$ 时测量的电流值, $i(o)$ 是按直线外推到零壁厚时的电流值。测定自由空气比释动能时的壁厚效应直线的斜率, 对 ^{60}Co 光子和 15 MeV 中子相应为 $(0.49 \pm 0.35) \cdot 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 和 $(0.60 \pm 0.88) \cdot 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ 。BPS 型电离室对于 ^{60}Co 光子的此项修正因子, 接近于 FWT 电离室对 ^{137}Cs 光子的因子。而对 15 MeV 中子的因子却较 FWT 电离室的大。这是由于 BPS 电离室测量此修正因子的中子场是未准直的。

室响应的角度依赖性修正

如果入射辐射不是各向均匀入射的, 那么电离室响应对射线入射角度的依赖性就是很重要的一个因子。空腔结构, 中心电极和柄的形状对此因子都有较大影响, 因为它们不可能做成为理想

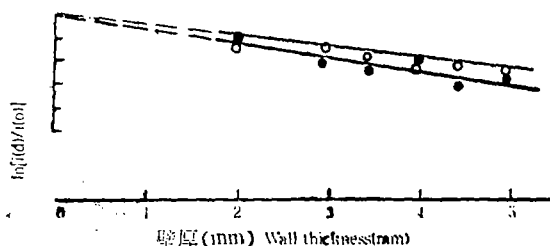


图 3 BPS 电离室对 ^{60}Co γ 射线和 15 MeV 中子的壁厚效应

Fig. 3 Effects of wall thickness on BPS chamber for ^{60}Co γ -rays and 15 MeV neutrons

• 中子 neutrons ○ γ 射线 -rays

的球对称形。

为了精密地测量 BPS 电离室响应的角度依赖性, 我们设计制造了一种电离室定心旋转装置。它保证旋转电离室使其纵向对称轴相对射线入射方向成各种角度时, 电离室中心不移动。并且此装置可在照射室外远距离控制。

BPS 电离室测量 ^{60}Co 光子与 15 MeV 中子时响应的角度依赖性以 90° 时读数为参考点, 给在图 4。当辐射入射角在 $0^\circ \sim 120^\circ$ 范围时, BPS 电离室响应的相对变化对 ^{60}Co γ 射线不大于 0.5%, 对于 15 MeV 中子大约为 1%。在较大角度时读数显著减小是由于电离室灵敏体积被室柄屏蔽造成的。在接近电离室灵敏体积处的室柄上装有较大的高压绝缘体使这种屏蔽作用比较明显。

柄的散射修正因子

由于电离室柄的存在, 散射辐射会使电离室读数增加, 为了研究柄散射的影响, 在 BPS 电离室的对面附加放置一个模拟柄, 其尺寸和材料与电离室上装的一样。测定有和无此模拟柄时的读数就可求出柄散射的修正因子。将这个模拟柄移开是在辐射束不变化的情况下进行的, 即使用远距离控制方法在室外自动操作完成。在表 2 中列出了 BPS 电离室的柄散射因子。第一行数值是用聚四氟乙烯高压绝缘体得到的。第二行则是有机玻璃材料。为了比较还将其他两种电离室的因子也列入。从此表所给数值也可见到, BPS

电离室的柄散射因子接近于 TNO 电离室, 而与 Zoetelief, J. 所给 FWT 电离室此因子数值有较大的差别。FWT 电离室较大的因子可能是由于它有一个直径较大的高压绝缘体的缘故。对于光子场和中子场各电离室此因子没有明显差别。

TE 气体组份与流速的影响

BPS 电离室使用 TE 气体为工作气体, 这种气体是可以购置来的。TE 气体不正确的组成对读数的影响已由 Williams^[9] 给予了讨论。我们^[8]也曾测量了七瓶配比不同的 TE 气体(在同一照射率条件下)与空气作为空腔气体时的电离电流比值。用 Williams 所给甲烷、 CO_2 、 N_2 的比值对

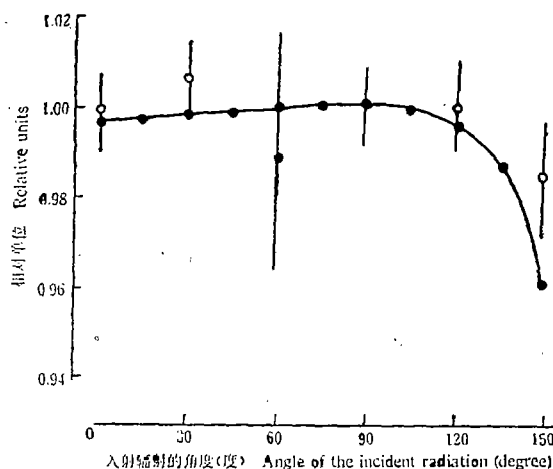


图 4 BPS 电离室对 ^{60}Co γ 射线和 15 MeV 中子响应的角度依赖性

Fig. 4 Angular dependence of the response (R_θ/R_{90}) of BPS chamber for ^{60}Co γ -rays and 15 MeV neutrons.
• γ 射线 γ -rays ○ 中子 neutrons

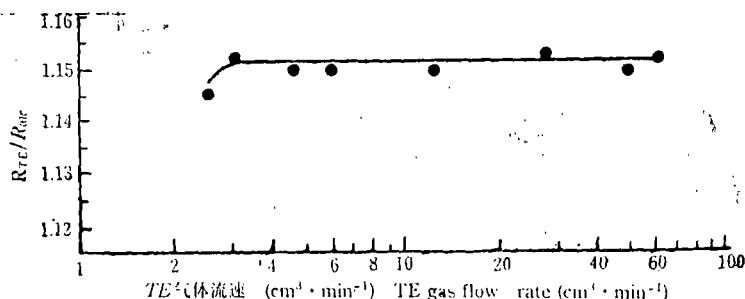


图 5 TE 气体流速对 BPS 电离室读数的影响

Fig. 5 The effect of TE gas flow rate on the reading of BPS chamber relative to the reading obtained with air in the cavity.

表 2 BPS 电离室柄散射因子

Table 2 The stem scatter correction factors of the BPS ionization chambers

电 离 室 chambers	柄 散 射 修 正 因 子 stem scatter correction factors	
	光 子 photons	中 子 neutrons
BPS-I	1.0025 ± 0.0002	1.0034 ± 0.018
BPS-I	1.0018 ± 0.0002	1.0027 ± 0.012
IC-17 A*	1.023 ± 0.007	1.019 ± 0.015
TNO*	1.002 ± 0.007	1.000 ± 0.010

* 取自文献[3] quoted from[3]

TE 气体进行了计算, 对于 ^{60}Co 光子测量值与计算值很好地符合, 对于 15 MeV 中子, 测量了某一瓶 TE 气体的比值, 也进行了计算, 在 5% 以内符合。因而, 不论对光子还是中子而言, 气体的组成成分都要求准确恒定, 对此项比值的测量计算结果列于表 3。

TE 气体流速对 BPS 电离室读数的影响也用 TE 气体与空气读数之比表示在图 5。实验是在 ^{60}Co 光子场做的。当流速在 $1\text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 到 $60\text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 范围时电离室读数稍有增加, 当流速为 $10\text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 时, 其增长率大约为 0.01% 每 $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 。

表 3 TE 气体成分对 BPS 电离室读数的影响

Table 3 Dependence of BPS chamber reading on composition of TE gas

辐 射 Radiation	TE 气 体 成 份 Composition of TE gas			归-电流 Normalized currents		测量-计算 计算
	$\text{CH}_4\%$	$\text{CO}_2\%$	$\text{N}_2\%$	测 量 值 Measured	计 算 值 Calculated	Meas. - cal. cal.
中 子 N	65.32	31.41	3.28	1.25	1.19	0.05
光 子 G	65.32	31.41	3.28	1.147	1.144	0.0026

注: 用于计算的 CH_4 , CO_2 , N_2 的归-电流取自文献[9]Note: Normalized currents used for calculation for CH_4 , CO_2 , N_2 are quoted from[9]

	中 子 Neutron beam	γ 射 线 Gamma ray
CH_4	1.051	0.952
CO_2	1.505	1.566
N_2	0.952	0.935

漏 电 流

电离室的漏电流必须较之辐射场中测量的最小电流还要小许多。在多数的实际放射生物学应用中, 当 1 cm^3 空腔体积的电离室用于测量每分钟 5 毫戈瑞的剂量率时, 对漏电流的校正是可忽略的。电泄漏是在将电离室加上高压而不照射以辐射的条件下测量的。BPS 电离室的漏电流大约

为 $3 \times 10^{-16} \text{ A}$ 。这与照射生物样品时所用剂量率下测量的电离电流比较是完全可以忽略的。

结 束 语

BPS 型 TE-TE 球形电离室对 15 MeV 中子的各项修正因子测定结果表明: 该电离室基本性能可满足放射生物中子吸收剂量测量的要求。修正因子的测定方法和实验装置能够达到所需精密度。各项主要因子数值与其他实验室制作的 TE 电离室相比皆在同一量级。对其他中子能量的修正因子还需进一步测定。

参 考 文 献

- [1] J. J. Broerse and B. J. Mijnheer In proc. Viiieme congres international de la societe francaise de radioprotection, pp. 641-659, Saclay, France. 1978.
- [2] ICRU, 1978. Report 27. ICRU, Washington.
- [3] J. Zoetelief, In: Dosimetry and biological effects of fast neutrons. Druk, Vadel, pp. 29~71. Den Haag, 1981.
- [4] H. H. Rossi, and G. Failla, Nucleonics, 14, 32 (1956).
- [5] J. Zoetelief, A. C. Engels, and J. J. Broerse, In: Ion chambers for neutron dosimetry (Ed. J. J. Broerse) EUR-6782. pp. 73~80. Commission of the European Communities, Brussels and Luxembourg, 1980.
- [6] A. D. Kantz, In: Ion chambers for neutron dosimetry. (Ed. J. J. Broerse) EUR-6782. pp. 61~68. Commission of the European Communities, Brussels and Luxembourg, 1980.
- [7] H., Schraube, H., Zoetelief, J. J. Broerse, and G. Burger In: Ion chambers for neutron dosimetry. (Ed. J. J. Broerse EUR-6782. pp. 131~169. Commission of the European Communities, Brussels and Luxembourg, 1980.
- [8] 张仲纶, 李凤章, 辐射研究与辐射工艺出报, 2(2), 52(1984).
- [9] J. R., Williams Phys. Med. Biol., 25, 501(1980).

(1985 年 1 月 7 日收到)

CORRECTION FACTORS OF THE BPS TE-TE SPHERICAL CAVITY IONIZATION CHAMBER IN 15 MeV NEUTRON FIELD

Zhang Zhonglun Li Fengzhang Lang Shuyu

(Institute of Biophysics, Academia Sinica, Beijing, China)

ABSTRACT The model BPS TE-TE spherical cavity ionization chambers have been constructed in Institute of Biophysics, Academia Sinica. The basic performances of the chambers have been measured. The results of measurement of the saturation characteristics show that the relation between Q_s/Q_v and V^{-2} is linear in ^{60}Co photon field and between I_s/I_v and V^{-1} is linear in D+T neutron photon mixed field. The correlation coefficients is extremely close to 1. The saturation correction factors were obtained.

The wall thickness correction factors for determination of free-in-air are $(0.60 \pm 0.88) \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ and $(0.49 \pm 0.35) \times 10^{-2} \text{mm}^{-1}$ for 15 MeV neutrons and ^{60}Co photons respectively. The relative change of the response with angle of irradiation is not larger than 0.5 per cent when incident degrees of the radiation is in the range of $0 \sim 120^\circ$ for the ^{60}Co gamma rays but is about one per cent for the 15 MeV neutrons. The influences of stem scatter and radiation sensitivity of stem were studied in photon and neutron fields for irradiation free-in-air. The ratios of readings with TE gas and air were measured for TE-gas and calculated with the ratios of CH_4 , CO_2 , N_2 given by Williams. The values measured and calculated are coincident. The effect of TE gas flow rate on the readings of the chamber was observed.

KEY WORDS Spherical ionization chamber; Measurement in neutron field; Correction factors; Neutron absorbed dose; Tissue equivalent ionization chamber.