

一种多阳极电离室的性能测试及初步应用

孟宪芳¹, 曾心苗¹, 林敏²

(1. 北京市射线应用研究中心, 北京 100012;

2. 中国原子能科学研究院 放射性计量测试部, 北京 102413)

摘要: Bragg 峰表征了带电粒子在介质中的能量沉积特性, 通过分析带电粒子的分布和锐度可确定其在介质中的能量分布特征和单色性。本文介绍了一种能够快速探测带电粒子束在自由空气中形成的 Bragg 峰的多阳极电离室的设计原理、性能测试及初步应用。在⁹⁰Sr-⁹⁰Y 源形成的 β 射线场中初步测出了电离室在自由空气中的电压-电流饱和特性、测量的重复性和稳定性, 并测出²⁴¹Am 源产生的 α 粒子在自由空气中的射程。初步实验结果表明: 该电离室具有良好的饱和特性、测量稳定性和重复性, 用它测出的 α 粒子在空气中的射程与 SRIM 程序模拟结果能够很好地符合。

关键词: 多阳极电离室; 饱和特性; Bragg 峰; 射程

中图分类号: TL811.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2011)02-0240-04

Performance Testing and Primary Use of Multi-anode Gas Ionization Chamber

MENG Xian-fang¹, ZENG Xin-miao¹, LIN Min²

(1. Beijing Radiation Application Research Center, Beijing 100012, China;

2. China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-20, Beijing 102413, China)

Abstract: The Bragg peak indicates the energy deposition characteristics of the charged-particle in a medium. The energy contribution and the monochromaticity of the charged-particle beams can be determined by analyzing their distribution and sharpness. The article introduces the design principle, performance testing and pilot use of a multi-anode gas ionization chamber, which can detect the Bragg peak generated in free air quickly. The voltage-current characteristics, the measurement repeatability and stability were all measured in a ⁹⁰Sr-⁹⁰Y β reference field. The primary experiment results indicate that the chamber has good saturation characteristic, repeatability and stability, and the measured range of α particle generated by ²⁴¹Am source is well coincided with the simulated results made by SRIM code.

Key words: multi-anode gas ionization chamber; saturation characteristic; Bragg peak; range

随着核技术在工业、农业、医疗、科研等领域的广泛应用,表征带电粒子在介质中的能量沉积特性的 Bragg 峰的研究与探测越来越受到重视,且在生产和实验过程中有时需要随时探测和实时监测。目前,有几种常见的测量 Bragg 峰的方法:美国 PTW 公司推出的通过电离室在水模体中移动测量不同位置处的能量分布得到 Bragg 峰;中国原子能科学研究院利用丙氨酸剂量薄膜叠加照射^[1],然后用电子自旋共振谱仪(ESR)测量每片剂量薄膜上沉积的能量得到 Bragg 峰;兰州大学提出在两个电离室中加放不同厚度的 Mylar 膜的方法,通过计算两个电离室的读数之比得到 Bragg 峰的位置^[2]。这些方法的测量过程一般较繁杂,且测量仪器较昂贵。本工作研究一种多阳极电离室,用该多阳极电离室测量带电粒子在空气中形成的 Bragg 峰。

1 电离室设计

1.1 设计原理

当带电粒子穿过空气介质时,主要通过电子的碰撞引起原子的电离和激发而损失能量,同时在入射路径上的空气介质中产生电子离子对,电子在两极板间电场的作用下向阳极漂移并被阳极收集^[3-4]。与普通电离室不同的是,这里的阳极由大小相同的 24 块小阳极板组成,可使不同的阳极收集它们各自辖区的电子,然后,通过检测每块阳极上电流信号得到粒子束流在自由空气中形成的 Bragg 峰,测算带电粒子在不同区域的空气介质中所沉积的能量,进而求知空气的吸收剂量。

另外,通过阳极上的信号,还可得到带电粒子的其它信息。例如:通过观察阳极信号的变化监测束流的稳定性;根据 Bragg 峰的尖锐程度比较粒子束流的能量单色性等。

1.2 电离室结构

电离室总体上由 1 块阴极板、大小相同的 24 块阳极板和 2 块保护电极组成,阳极与阴极之间的间距为 20 mm,工作气体为自由空气,电离室结构如图 1 所示^[5]。

为使极板具有良好的导电性能且不易被氧化,极板由厚度为 0.1 mm 的镀金铜片制成。阴极尺寸为 60 mm×265 mm;每块阳极的尺寸

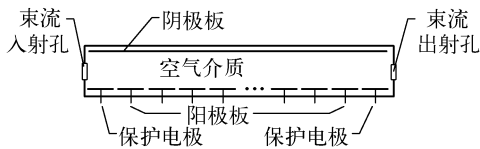


图 1 电离室结构

Fig. 1 Diagram of chamber structure

均为 10 mm×60 mm,它们之间的间隙为 0.2 mm,26 块阳极板的总面积(包括阳极之间的间隙)也为 60 mm×265 mm。其中,位于电离室两端的两块阳极为保护电极,使得灵敏体积内的电场更加均匀,另外的 24 块电极为信号输出电极(收集极)。极板的载体为绝缘性能良好的环氧树脂材料,厚度为 3 mm。电离室芯体由正、负极板及聚四氟乙烯绝缘柱构成,通过聚四氟乙烯绝缘体安装在横向内截面为 112 mm×80 mm、长度为 308 mm、壁厚为 3 mm 的长方体不锈钢筒内。筒的两端均设有厚度为 8 mm 的有机玻璃透明窗,中心开 $\phi 40$ mm 的圆孔,既可使电离室与外界自由空气连通,也可嵌放准直片。电离室外观总体长度为 324 mm。

2 饱和和特性测试

电离室的饱和和特性是表征电离室性能好坏的一重要指标,但由于时间关系,未能对电离室的 24 个阳极全部测试,故选取了电离室前、中、后部共 7 个具有代表性的阳极进行测试。

2.1 测试条件

中国原子能科学研究院活度为 0.55 GBq 的 ^{90}Sr - ^{90}Y β 源($\phi 20$ mm),FJ-356 型动电容静电计,ORTEC556 高压电源。电离室前窗到源的距离为 61 mm,温度为 13~20 °C,气压为 100~100.2 kPa,相对湿度为 33%~42%。

2.2 测试装置

测试装置示意图如图 2 所示。电离室放在入射窗外表面距离 β 源 61 mm 处的正前方,测量时将某一阳极的信号输入静电计,其它阳极及保护极均接地。

FJ-356 型动电容静电计的分辨率达 10^{-16} A,它的工作原理是:探测器上的电荷积累到静电计的电容上,通过读取静电计电容两端的变化电压计算平均电流 I 。原理公式为:

$$I = \frac{VC}{t} \quad (1)$$

式中: V 为测得的电容两端的电压; C 为静电计的电容; t 为测量时间。

电离室水平固定在 β 源正前方, 要求电离室中轴线与源面中心垂直。系统连接好后先预热约 15 min, 之后再开始测量。

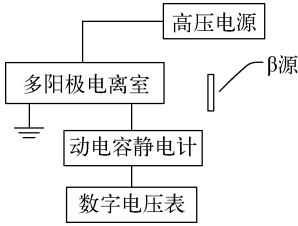


图2 β 场中的测试装置

Fig. 2 Measuring device in β field

2.3 饱和曲线

实验过程中, 对每个被测阳极均测量了 12 个以上的工作点, 每个点测量 5 次以上, 得到图 3 所示的工作电压饱和曲线。

由图 3 可见, 因 β 场的辐射强度随离源距离的增加而迅速减小, 本电离室第 1 阳极距离 β 源最近, 因此, 图 3 中曲线所指示的信号强度从第 1 阳极到第 21 阳极依次减小。然而, 单就每条曲线来看, 坪曲线上升得较快, 电压加到 100 V 时就基本上到达坪区; 坪区较长, 超过 700 V; 由文献[6]计算坪区信号的方法可知, 坪区信号每百伏变化约为 0.1%~0.8%, 坪斜较小, 说明电离室有较好的饱和特性。

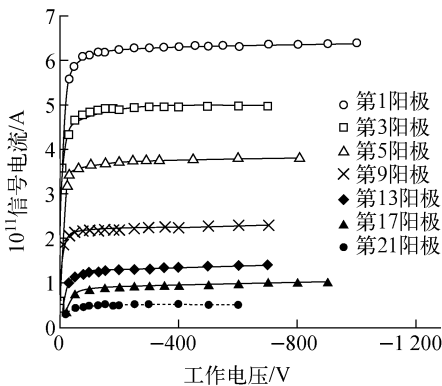


图3 电离室在 β 场中的饱和曲线

Fig. 3 Saturation curve of chamber in β field

3 α 粒子测试

3.1 实验条件

采用中国原子能科学研究院活度为 1×10^4 Bq 的 ^{241}Am α 面源, Keithley 6430 型亚飞安源表, 用 ORTEC556 高压电源加 -300 V 高压。室内温度为 22~23 $^{\circ}\text{C}$, 气压为 100.8~101.1 kPa, 相对湿度为 40%~43%。

测试装置示意图如图 4 所示。

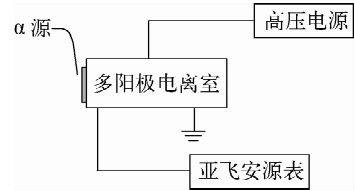


图4 信号测试装置示意图

Fig. 4 Scheme of signal measuring device

3.2 实验结果

因 α 粒子在空气中的射程很小, 在测量时应使面源紧贴到电离室前窗外表面, 测量得到的 α 粒子在空气中的信号-射程关系如图 5 所示。

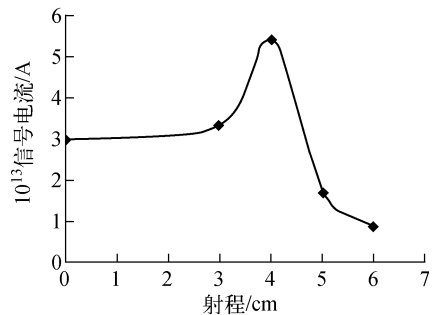


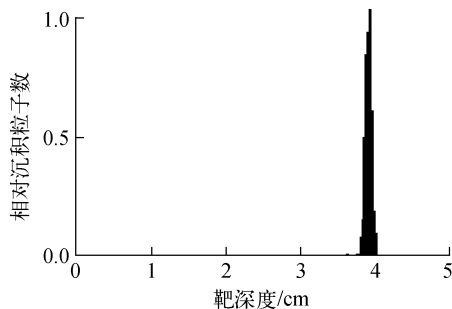
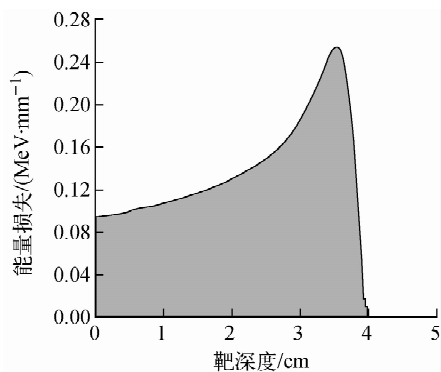
图5 α 粒子场中测量信号-射程关系曲线

Fig. 5 Measured signal-range relation in α particle field

3.3 SRIM 程序模拟

SRIM 程序是一种利用粒子与原子作用的量子机制模拟带电粒子在介质中的碰撞阻止本领和射程的模拟程序软件。为了检验实验结果, 利用 SRIM 对 ^{241}Am 产生的 α 粒子在空气中的入射情况进行了模拟, 模拟条件为: 入射 10^5 个能量为 5.48 MeV 的 α 粒子, 空气密度为 1.293 mg/cm^3 。模拟结果如图 6、7 所示。

由以上实验和模拟结果可知, 通过实验得到的 α 粒子在空气中的射程为 4 cm, 模拟射程

图6 α 粒子在空气中的射程Fig. 6 Range of α particle in air图7 α 粒子在空气中形成的 Bragg 峰Fig. 7 Bragg peak generated by α particle in air

为 3.9 cm, 实验相对于模拟结果的相对偏差为 2.6%。偏差产生的可能原因为: 实验条件与模拟条件的差异, 例如密度、湿度等; 电离室的阳极宽度为 1 cm, 在测量短射程时也会带来较大的偏差。

4 结论

本工作经过了模拟计算和实验验证, 表明本电离室具有很好的电压-电流饱和特性, 饱和曲线坪区较长、坪斜较小, 有较大的工作稳定区间。通过探测 α 粒子在空气中形成的 Bragg 峰得到的射程与 SRIM 程序模拟结果有很好的符合, 说明可利用本电离室较为方便地探测带

电粒子在自由空气中的射程和能量分布, 为监测束流的稳定性和研究带电粒子在介质中的剂量分布服务。由于是一种探索性的研究, 电离室的制造还不够精良, 个别阳极工作稳定性不够高, 希望通过改进制作工艺得到较大程度的提高。

感谢中国原子能科学研究院岳清宇研究员给予的悉心指导及放射性计量测试部所有人员给予的物质帮助和技术支持。

参考文献:

- [1] DOLO J M, FEAUGAS V. Analysis of parameters that influence the amplitude of the ESR/alanine signal after irradiation[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2005, 62: 273-279.
- [2] 卫增泉, 颀红梅, 李文建, 等. 采用电离室测定重粒子束的 Bragg 峰位[J]. 核技术, 1996, 19(1): 18-20.
WEI Zengquan, XIE Hongmei, LI Wenjian, et al. Determination of Bragg-peak location for heavy ion beam using ionization chambers[J]. Nucl Tech, 1996, 19(1): 18-20(in Chinese).
- [3] 安继刚, 卿上玉, 邬海峰. 充气电离室[M]. 北京: 原子能出版社, 1997.
- [4] 丁富荣, 班勇, 夏宗璜. 辐射物理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2004: 66-71.
- [5] 孟宪芳, 林敏, 叶宏生, 等. 一种新型多阳极电离室的研制[J]. 原子能科学技术, 2008, 42(增刊): 344-347.
MENG Xianfang, LIN Min, YE Hongsheng, et al. Design of a new current mode multi-anode gas ionization chamber[J]. Atomic Energy Science and Technology, 2008, 42 (Suppl.): 344-347(in Chinese).
- [6] Radiological health handbook[M]. USA: U. S. Department. of Health, Education & Welfare, 1970: 68-71.