

文章编号: 1007-4627(2004)01-0017-04

## 用于重离子治癌的大面积平行板雪崩计数器\*

胡正国, 郭忠言, 詹文龙, 肖国青, 徐瑚珊, 王 猛, 毛瑞士, 李加兴,  
孙志宇, 陈志强, 陈立新, 白 洁, 李 琛, 张金霞, 李存藩

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 简单介绍了重离子治癌的原理, 叙述了一种用于重离子治癌的大面积平行板雪崩计数器, 它主要由入射窗、 $x$  位置栅极、中心阳极、 $y$  位置栅极和出射窗组成. 使用  $C_3F_8$  气体, 气压 700 Pa, 阳极电压为 700 V, 两阴极接地, 电子学成形时间常数为  $2 \mu s$ , 测试得到的位置分辨修正后为 0.54 mm(FWHM). 通过与国内外同类装置比较, 认为这一分辨已经满足了重离子治癌装置的要求.

**关键词:** 重离子治癌; 大面积平行板雪崩计数器; 位置分辨

**中图分类号:** O572.21+2 **文献标识码:** A

### 1 引言

1946 年, Wilson 首次提出将带电粒子应用于放射疗法中. 在难于采取外科手术的肿瘤部位, 最有效的方法就是重离子治疗. 重离子在高速运动时只损失较小能量, 而将大部分能量损失在其射程末端, 即出现一个 Bragg 峰. 这样就使得在 Bragg 峰的位置上的组织损伤很强, 而对 Bragg 峰前后的组织损伤比较小. 图 1 给出了传统的放射性疗法中所使用的光子以及重离子( $^{12}C$ )在水中的剂量分布曲线. 从图中可以清楚地看到各种粒子的能量沉积分布, 也正好验证了重离子治疗癌症的优点. 通过调整, 使得 Bragg 峰的位置正好落在肿瘤组织处, 从而就可以有效地杀死肿瘤细胞, 而且对其它的健康组织损伤最小. 这样就发挥了重离子治疗的优势, 同时也达到了治癌的目的.

由于重离子治癌的这一独特优势, 近年来, 重离子疗法发展较快. 日本的 HIMAC<sup>[1]</sup> 和德国的 GSI<sup>[2, 3]</sup> 均投入了大量的人力物力开展这方面的研究. 我国一些科研单位与高校也开始进行这方面的研究, 中国科学院近代物理研究所也开始着手建设重离子治癌装置.

在重离子治癌的过程中, 最为重要的就是使束流能够准确安全地到达肿瘤所在的位置. 本文所论

述的大面积平行板雪崩计数器(PPAC)是为中国科学院近代物理研究所的重离子治癌装置所研制的, 它的作用就是精确地定位束流的位置和对束流进行准直测量, 以便使束流很精确地到达需要照射的肿瘤的位置.

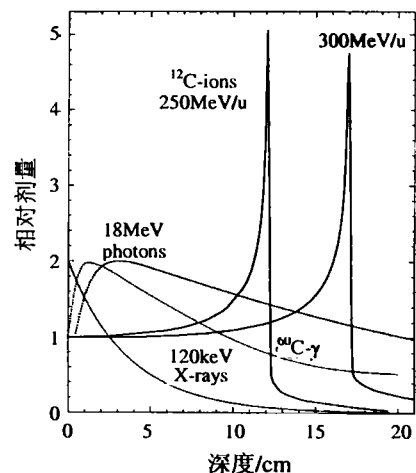


图 1 不同射线在水中的剂量深度曲线

### 2 大面积 PPAC 的结构

该大面积二维位置灵敏 PPAC 的实物照片如图 2 所示. 探测器的灵敏面积为  $250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ . 该 PPAC 由入射窗、 $x$ -位置灵敏阴极、中心阳

收稿日期: 2003 - 07 - 08; 修改日期: 2003 - 09 - 26

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10205019, 19825115, 19735051); 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000077400, G2000077401, G2000077404)

作者简介: 胡正国(1979—), 男(汉族), 安徽庐江人, 博士生, 从事实验核物理研究.

极、y-位置灵敏阴极和出射窗组成。入射窗和出射窗分别由 6 μm 厚的单面镀金 Mylar 膜用合成树脂粘在窗框架上构成，窗框架上用 φ 0.1 mm 的不锈钢丝绷成的网格支撑窗膜。窗膜在 10 kPa 正压差（内压大于外压）测试时没有损坏。阳极由 1.5 μm 厚的 Mylar 膜双面镀金制成，x 阴极和 y 阴极由直径为 25 μm 的镀金钨丝布成，间隔 1 mm，阳极与阴极间距为 5 mm。镀金钨丝被焊接在 3 mm 厚的敷铜印刷线路板制成的框架上。阴极丝之间用 200 Ω 高精电阻连接，两端由 2 kΩ 电阻接地。x 和 y 两阴极上布丝的方向相互垂直。两端同时直接耦合到电荷灵敏放大器，通过电荷除法计算位置。

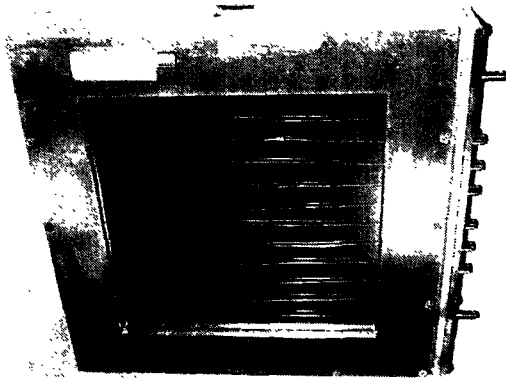


图 2 大面积 PPAC 的实物照片

### 3 大面积 PPAC 的测试

大面积二维位置灵敏 PPAC 在流气方式下工作，在自动稳压控制下实现自动动态稳压，稳压系统详细描述如文献[4]所述。

#### 3.1 测试的电子学系统

在面积 PPAC 测试中，阴极信号（位置信号）经电荷灵敏放大器（ORTEC 142PC）积分后进入主放大器（ORTEC 572）。该信号送入 16 道 Phillips CAMAC PEAK ADC 7166，由 RIBLL 在线数据获取系统进行数据采集。7166 选通信号取自 PPAC 阳极信号，经电荷灵敏前置放大器、时间放大器（ORTEC 474）放大、脉冲形状甄别器（ORTEC 473A）甄别、成形以及（ORTEC GG8000）延迟后，作为 CAMAC ADC 7116 的开门信号。最后，将这些信号导入计算机获取系统进行数据获取。

#### 3.2 最佳阳极工作电压的选取

最佳阳极工作电压选取的条件为：要有足够大

的阳极输出信号幅度，以保证位置信号具有较好信号噪声比，同时也要使工作区远离连续放电区。测试时，工作气体为 C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>，气压为 700 Pa。改变阳极电压，测量阳极信号幅度随阳极电压的变化，得到一条 PPAC 从复合区到正比区再到连续放电区域的演变曲线，如图 3 所示，从而我们选择最佳阳极电压 +700 V。

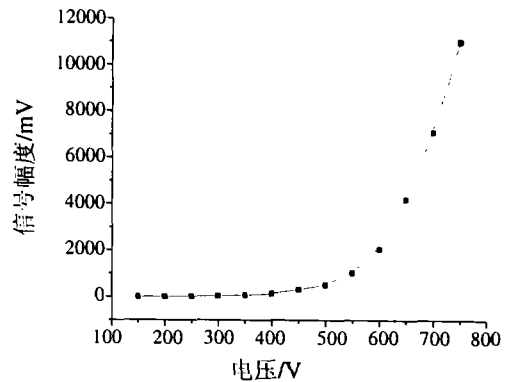


图 3 阳极输出信号幅度与阳极电压的关系

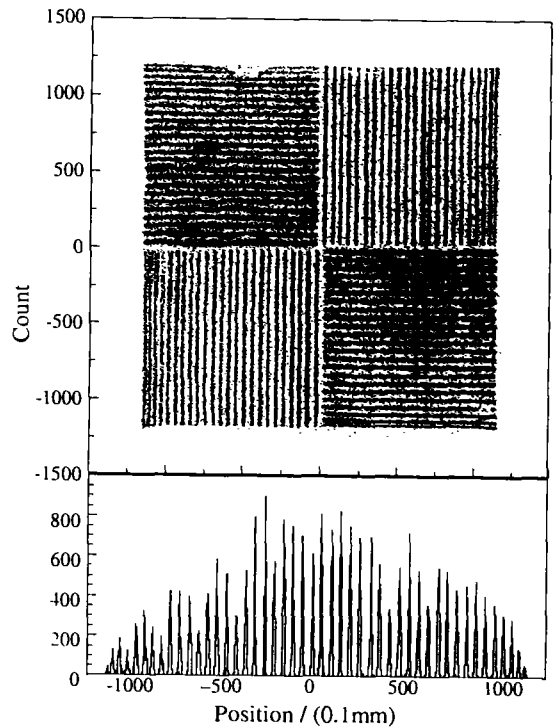


图 4 3 组分 α 源穿过光栅的双维位置图

#### 3.3 测试结果

利用 3 组分 α 源测试其位置分辨和位置线性。为了测量位置分辨，首先在 PPAC 之前放置一个特

别设计的光栅,光栅分为 4 个象限,1 和 3 象限按  $y$  方向分布,2 和 4 象限按  $x$  方向分布,光栅狭缝宽 1 mm,中心距离 5 mm,光栅厚度为 8 mm. 测试时使用  $C_3F_8$  气体,气压为 700 Pa,阳极电压为 700 V,两阴极接地. 电子学成形时间常数为  $2 \mu s$ . 3 组分  $\alpha$  源穿过光栅测试得到的双维位置谱图如图 4 上半部分所示. 我们在双维位置图上分别设窗投影到  $y$  方向,得到的一维位置图如图 4 下半部分所示(每道对应 0.1 mm). 我们用高斯函数拟合其中的任意一条狭缝的位置谱图,得到的高斯拟合的半高宽约为 0.35 mm,计算得到的位置分辨为 0.82 mm (FWHM). 对狭缝进行修正后<sup>[5]</sup>,得到的位置分辨为 0.54 mm(FWHM).

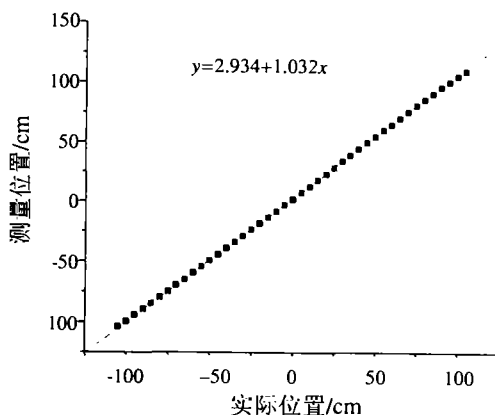


图 5 位置线性

我们从用光栅测量的位置分辨双维图上提取位置线性. 具体做法是,先将  $x$  方向或者  $y$  方向的位置谱图进行拟合,得到实验测量的孔位置,然后将实际的孔位置和测量得到的位置拟合成一条直线,如图 5 所示,得到的直线斜率为  $1.032 \pm 0.002$ .

## 参 考 文 献:

- [1] Fuminori Soga. Progress of Heavy Ion Therapy[R]. Submitted to World Scientific, 2001, Chiba, Japan.
- [2] Stelzer H. Tumor Therapy with Heavy Ions at GSI[J]. Nucl Phys (Proc Suppl), 1998, B61: 650.
- [3] Brusasco C, Voss B, Schardt D, et al. A Dosimetry System for Fast Measurement of 3D Depth-dose Profiles in Charged-particle Tumor Therapy with Scanning Techniques[J]. Nucl Instr and Meth, 2000, B168: 578.
- [4] 王 猛, 郭忠言, 詹文龙等. 不同工作气体对 PPAC 性能的影响[J]. 高能物理与核物理, 2002, 26(12): 1 285.
- [5] 胡正国. 用于 RIBLL 和 CSR 的气体探测器的研制[D]. 兰州: 中国科学院近代物理研究所, 2003, 23.
- [6] de Moura M M, Suaide A A P, Souza F A, et al. A Large Area Two-dimensional Position Sensitive Multiwire Proportional Detector[J]. Nucl Instr and Meth, 1999, A433: 623.
- [7] Assamagan K, Baker K, Bayatyan G, et al. Time-zero Fission-fragment Detector Based on Low-pressure Multiwire Proportional Chambers[J]. Nucl Instr and Meth, 1999, A426: 405.

## 4 讨论与结论

巴西 de Moura 等<sup>[6]</sup>研制了一种阳极和阴极均由丝平面构成的三极板 PPAC, 室隙为 3 mm, 灵敏面积  $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ , 采用  $100 \Omega$  电阻串读出位置. 工作气体为异丁烷, 气压为 650 Pa, 阳极电压为 650 V 时, 对 55 MeV 的  $^{16}\text{O}$  而言分辨为 1.4 mm (FWHM)(未考虑孔修正).

美国的 Assamagan 等<sup>[7]</sup>研制了一种灵敏面积为  $210 \text{ mm} \times 210 \text{ mm}$  的五极板 PPAC, 采用延迟线读出. 工作气体为异丁烷, 气压 266 Pa 时, 对于  $^{252}\text{Cf}$  源的分辨为 0.80 mm(FWHM).

我们研制的大面积 PPAC, 灵敏面积达到  $250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ , 阳极为膜状电极, 阴极为丝平面, 室隙 5 mm, 采用  $200 \Omega$  电阻串读出位置. 在 700 Pa  $C_3F_8$  气体下, 阳极电压为 700 V, 对 3 组分  $\alpha$  源的分辨为 0.82 mm(FWHM)(未考虑孔修正).

通过比较可以看出, 我们研制的大面积 PPAC 的性能指标相当好, 该探测器完全能够满足重离子治癌装置的需要. 由于治癌过程必须在常压的情况下进行, 但是受目前的条件限制, 我们没有给出该探测器在常压下的一些性能指标. 中科院近代物理研究所的质子加速器将于近期建成, 届时将在 10 MeV 质子束和一个大气压下测量 PPAC 的性能, 我们将会及时报道测试结果.

在未来的重离子治癌装置中, 该大面积 PPAC 将联合电离室将构成重离子治癌中重离子辐照剂量的三维监测. 它是重离子治癌中监测重离子束辐照位置、深度和测量辐照剂量的关键设备.

## A Large Area PPAC for Using in Tumor Therapy with Heavy Ions\*

HU Zheng-guo, GUO Zhong-yan, ZHAN Wen-long, XIAO Guo-qing, XU Hu-shan, WANG Meng,

MAO Rui-shi, Li Jia-xing, SUN Zhi-yu, CHEN Zhi-qiang, CHEN Li-xin,

BAI Jie, LI Chen, ZHANG Jin-xia, LI Cun-fan

(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** The principle of the heavy-ion therapy is introduced in this article. In order to precisely determine the irradiation profiles and positions of scanned heavy-ion beams, we developed a large area parallel plate avalanche counter(PPAC). The detector consists of one anode, two cathodes and two windows with 250 mm×250 mm active area. It was measured at an anode voltage of 700 V and with flowing C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> gas at the pressure of 700 Pa. A position resolution of 0.54 mm by correction was obtained with an  $\alpha$ -source. As compared with the similar devices, we consider the position resolution of the PPAC can satisfy the requirement of the facility of heavy-ion therapy.

**Key words:** heavy-ion therapy; large area parallel plate avalanche counter; position resolution

---

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(10205019, 19825115, 19735051); Major State Basic Research Development Program (G2000077400, G2000077401, G2000077404)