

不同工作气体对 PPAC 性能的影响*

王猛 郭忠言 詹文龙 肖国青 徐珊珊 毛瑞士
胡正国 陈志强 孙志宇 李加兴 王武生 陈立新
李琛 白洁 张小安 张金霞 李存藩

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 描述了为 RIBLL 研制的一种双维位置灵敏 PPAC 在不同工作气体下的性能测试. 位置读出采用电荷分除法. 在 7mb 气压和 C_3F_8 工作气体时阳极在 +595V, 对于 3 组分 α 粒子, 位置分辨为 0.64mm. 使用异丁烷气体, 阳极在 +500V, 位置分辨为 0.76mm. PPAC 在两种气体中探测效率均为 99.1%. C_3F_8 气体质量厚度和能量损失较大, 信号幅度较高, 适合探测较高能量较轻粒子. 异丁烷气体能损较小, 适合探测较重粒子.

关键词 平行板雪崩计数器 异丁烷 位置分辨

1 引言

平行板雪崩计数器(PPAC)是一种传统的工作在雪崩区的气体探测器, 在核物理研究中, 主要被用作带电粒子的位置和时间探测. 早期的 PPAC 仅作为时间灵敏探测器使用; 为了使气体探测器能同时测量入射粒子的位置, 人们希望把多个单丝正比计数器放在同一个气体容器里, 进行大面积的位置探测, 但同时又担心多根丝上的信号会相互干扰, 无法确定入射粒子的位置. 1968 年 Charpak^[1] 指出, 在多丝结构的正比室中, 当由于雪崩放大过程在阳极产生一个负脉冲信号时, 在这根丝的邻近的阳极和阴极上会同时感应一正的脉冲, 这就补偿了由于电容耦合产生的负脉冲. 他的理论使 PPAC 得到快速发展, 目前已经成为各核物理和粒子物理实验室最常用的探测器之一^[2,3].

兰州重离子放射性束流线(RIBLL)是开展中能重离子放射性束物理研究的高性能设备^[4]. PF 型 RIBLL 与所有同类 RIB 装置一样, 都是采用磁刚度和降能器选择 RIB($B\rho-\Delta E$ 选择), 并联合反应运动学技术($\Delta E-TOF$ 粒子鉴别技术)鉴别粒子^[5]. 在 RIBLL 运行中, 束流诊断是非常重要的, 因此在初级靶室 T_0 , 散焦点 C_1, C_2 , 聚焦点 T_1, T_2 安装了各种诊断元

2001-12-27 收稿

* 国家杰出青年基金(19825115), 国家自然科学基金(10975059), 国家重点基础研究发展规划项目(G2000077401, G2000077404)资助

件^[6]. 为了改善 RIBLL 运行质量, 提高实验效率和精度, 节省实验时间, 我们设计研制了一种高性能的双维位置灵敏 PPAC^[7], 该 PPAC 由一个中心阳极、一个 x 位置灵敏阴极和一个 y 位置灵敏阴极构成, 位置读出采用电荷除法. 它们分别被安装在 RIBLL 的 C_1 , T_1 , C_2 , T_2 . PPAC 首先作为束流诊断元件, 用来跟踪测量 RIB 在这些位置的剖面, 指导束束. 另外, PPAC 联合实验中其他探测器可以提供入射粒子和反应产物的飞行时间、空间分布等信息测量.

2 结构和工作原理

该双维位置灵敏 PPAC 主要由入射窗、 x 位置灵敏阴极、中心阳极、 y 位置灵敏阴极和出射窗组成. 它的灵敏面积为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$. 入射窗和出射窗分别由 $6\mu\text{m}$ 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 $\phi 0.1\text{mm}$ 的不锈钢丝绷成的网格支撑窗膜. 窗膜在 10kPa 正压差 (内压大于外压) 测试时没有损坏.

PPAC 的阳极与阴极间距为 3mm . 阳极由 $1.5\mu\text{m}$ 厚的 Mylar 膜双面镀金制成, x 阴极和 y 阴极由直径为 $25\mu\text{m}$ 的镀金钨丝, 间隔 1mm 布成, 预加张力 200g . 两极上丝的方向相互垂直. 极板是 3mm 厚双面敷铜印刷电路板制成的框架, 边缘都经过分条镀金处理, 条的宽度为 0.5mm , 间隔 1mm . 阴极丝之间用 200Ω 高精密度电阻连接, 以便进行位置的电荷除法读出. 电阻链两端由 $2\text{k}\Omega$ 的电阻接地. 使用电荷除法读出位置, 相对延迟线来说, 更适合大面积的探测器. 电阻串的应用, 使探测器结构小巧灵活, 使用方便.

3 不同工作气体下性能测试

要使气体探测器能够稳定有效地工作, 工作气体的选择是很重要的, 气体分子, 尤其是有机气体分子, 结构十分复杂, 很难在理论上进行计算和分析, 所以人们主要通过实验进行选择. 对 PPAC, Binon^[8], Stelzer^[9], Hempel^[10] 等分别发现合适的工作气体为纯的碳氢化合物, 如丁烷、丁烯、戊烷、庚烷、异丁烷等. 而电离室常用的 $\text{P10}(90\% \text{Ar} + 10\% \text{CH}_4)$ 气体并不合适.

PPAC 性能测试如下进行: 在测试真空室中, PPAC 的正前方 30cm 处放置一个三组分 α 放射源 (5.155MeV ^{239}Pu , 5.486MeV ^{241}Am , 5.806MeV ^{244}Cm). 在 PPAC 的后面 5cm 处放置一个 Si 探测器 (灵敏面积为 $48\text{mm} \times 48\text{mm}$, 厚度 $300\mu\text{m}$). PPAC 工作于流气方式, 在自动稳压系统控制下实现自动动态稳压, 稳压系统气压的绝对变化在 10Pa 以内.

PPAC 信号电子学框图如图 1 所示, 阴极信号经电荷灵敏前置放大器 (Ortec 142PC) 积分放大后进入主放大器 (Ortec 572) 放大后, 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 的选通信号取自 Si 探测器和 PPAC 的阳极. 两个信号都经过前置放大器 (Ortec 142A) 后分出两路信号. 一路经时间放大器 (ORTEC 474) 放大, 脉冲形状甄别器 (ORTEC 473A) 甄别、成形、延迟 (ORTEC GG8000) 后, 经过 (Ortec CO4010) 为 CAMAC ADC 7116 开门. 另一路进入主放大器 (Ortec 572) 放大后, 送入 16 道 Phillips CAMAC PEAK ADC 7166.

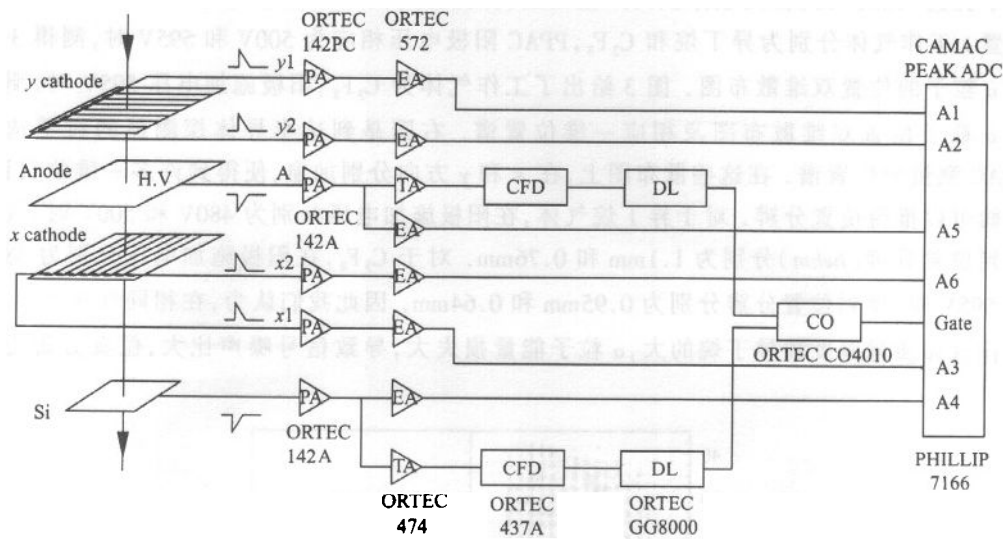


图 1 二维位置灵敏 PPAC 电荷分除法读出框图

3.1 最佳工作电压和阳极信号幅度

分别选取异丁烷(C_4H_{10})和 C_3F_8 作为工作气体,对研制的 PPAC 进行性能测试. 工作气体充气气压均为 7mb. 首先,PPAC 不充工作气体,并与测试室腔体连通,真空度好于 2×10^{-3} mb,由 Si 探测器测量 α 粒子在 PPAC 窗和阳极膜中的能量损失. 然后将 PPAC 与测试室真空隔离,PPAC 分别充工作气体异丁烷及 C_3F_8 ,改变阳极电压,我们发现对 C_3F_8 阳极电压 + 600V,对异丁烷阳极电压 + 500V,阳极信号幅度很大,位置分辨和时间响应较好,而且距离打火电压有明显距离. 对于两种气体,使用相同的电子学插件和参数,测量 α 粒子能谱如图 2 所示. 从而得到,5.155MeV α 粒子在 PPAC 的灵敏体积里,穿过 C_3F_8 的能量损失是 51keV,穿过异丁烷的能量损失为 25keV. C_3F_8 气体时阳极信号幅度是异丁烷气体约 2.3 倍.

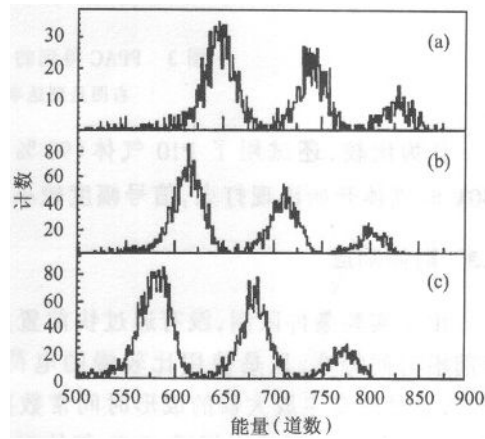


图 2 半导体得到的能量谱
(a) PPAC 未充气;(b) PPAC 充 7mb 异丁烷;
(c) PPAC 充 7mb C_3F_8 .

3.2 位置分辨

PPAC 的位置分辨是这样测量的,首先,在探测器窗前加一有 15×15 个小孔的 5mm 厚的铝板,小孔中心间隔是 5mm,小孔直径是 1mm. PPAC 前 30cm 处的 3 组分 α 源通过这

些小孔进入探测器,在灵敏体积内产生雪崩,探测器的两个阴极分别记录雪崩事件的 x, y 位置. 工作气体分别为异丁烷和 C_3F_8 , PPAC 阳极电压相应为 500V 和 595V 时,测得 3 组分 α 粒子的位置双维散布图. 图 3 给出了工作气体为 C_3F_8 、阳极施加电压 595V 时,测得的 α 粒子位置双维散布图及相应一维位置谱. 右图是到达半导体探测器的粒子选通 PPAC 测量的位置谱. 在这些散布图上,在 x 和 y 方向分别加窗,便得到许多一维位置谱,进而可以推得位置分辨. 对于异丁烷气体,在阳极施加电压分别为 480V 和 500V 时,我们得到位置分辨 ($fwhm$) 分别为 1.1mm 和 0.76mm. 对于 C_3F_8 ,在阳极施加电压分别为 580V 和 595V 时,得到位置分辨分别为 0.95mm 和 0.64mm. 因此我们认为,在相同气压下, C_3F_8 工作气体质量厚度较异丁烷的大, α 粒子能量损失大,导致信号噪声比大,位置分辨也较好.

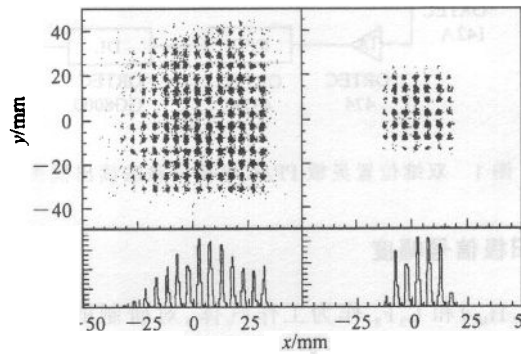


图 3 PPAC 得到的位置双维谱及相应一维谱
右图是到达半导体探测器的粒子.

作为比较,还试用了 P10 气体 (90% Ar + 10% CH_4). 充气压 7mb, 阳极电压加到 340V 时气体开始出现打火,信号幅度较小,并且信号成形时间较长.

3.3 时间响应

由于实验条件限制,没有通过快前置放大器直接观测 PPAC 在两种气体时的阳极信号前沿时间特性,只是使用比较慢的电荷灵敏前放 (ORTEC 142PC) 和主放大器 (ORTEC 572),通过改变主放大器的成形时间常数判断,因此结论比较粗糙. 但是,大体上可以判断出两种气体时间响应相近, C_3F_8 气体时间响应稍微慢些,对于异丁烷气体,主放大器成形时间 $1\mu s$ 时阳极信号幅度达到最大,对于 C_3F_8 气体,成形时间在 $1-2\mu s$ 之间阳极信号最大. 对于 P10 气体,成形时间要 $4-6\mu s$.

3.4 探测效率和计数率能力

探测效率测量是这样进行的,用 PPAC 后面的 Si 半导体探测器测量的能谱上加窗,积累 PPAC 双维位置谱,计数 PPAC 探测到的事件数,与半导体探测器的计数之比,得到 PPAC 的探测效率. 对于 3 组分 α 源,用 C_3F_8 气体和异丁烷气体,气压 7mb,阳极在最佳电压,探测效率均为 99.1%.

关于计数率能力,由于条件限制,没有进行实际检验.从前面测量的阳极信号幅度和时间响应判断,我们认为使用异丁烷气体的计数率能力较使用 C_3F_8 气体要高.因为异丁烷气体给出的阳极信号较小,时间响应较快.

4 简单讨论

如前所述,我们为兰州重离子加速器 RIBLL 设计研制的双维位置灵敏 PPAC,在异丁烷和 C_3F_8 两种工作气体下,进行了性能测试,在最佳阳极电压下,工作气压 7mb,对于 3 组分 α 粒子得到位置分辨分别为 0.76mm(异丁烷)和 0.64mm(C_3F_8).

从测试结果分析,异丁烷和 C_3F_8 对于该 PPAC 都是合适的工作气体.但是它们有明显差别,当 PPAC 工作于相同气压时,对于 C_3F_8 工作气体,质量厚度较大,粒子能量损失较大,因而,阳极和位置信号较大,信号噪声比和位置分辨较好.这种气体适合探测较高能量轻粒子使用.对比之下,异丁烷气体质量厚度较小,粒子能损较小,导致阳极和位置信号较小,位置分辨也较差一些.它比较适合探测较重粒子.

大,容易饱和,而异丁烷的时间响应较好,对于重离子及高计数场合,异丁烷更合适一些.

参考文献 (References)

- 1 Charpak G et al. Nucl. Instr. and Meth., 1968, **62**:262
- 2 Freeman C G, Herrick D M, Bryan D C et al. Nucl. Instr. and Meth., 1994, **A357**:450—457
- 3 Kumagai H, Tanihata I. RIKEN Accel. Prog. Rep., Wako-Shi, Saitama; The Institute of Physical and Chemical Research, 1998, 31
- 4 ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan, LIU Guan-Hua et al. Science in China (Series A), 1999, **42**(5):529—536
- 5 GUO Zhong-Yan, ZHAN Wen-Long, LIU Guan-Hua et al. Acta Physica Sinica (Overseas Edition), 1999, **8**(1):21—26
- 6 GUO Zhong-Yan, ZHAN Wen-Long, SUN Zhi-Yu et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, **23**(3):213—219 (in Chinese)
(郭忠言,詹文龙,孙志宇等.高能物理与核物理,1999,23(3):213—219)
- 7 WANG Meng, GUO Zhong-Yan, ZHAN Wen-Long et al. Nuclear Techniques, to be published (in Chinese)
(王猛,郭忠言,詹文龙等.核技术,待发表)
- 8 Binon F et al. Nucl. Instr. and Meth., 1971, **94**:27
- 9 Stelzer H. Nuclear Physics, 1981, **A354**:433c
- 10 Hempel G et al. Nucl. Instr. and Meth., 1975, **131**:445

Performance Test of PPAC in Different Gases^{*}

WANG Meng GUO Zhong-Yan ZHAN Wen-Long XIAO Guo-Qing XU Hu-Shan
MAO Rui-Shi HU Zheng-Guo CHEN Zhi-Qiang SUN Zhi-Yu LI Jia-Xing
WANG Wu-Sheng CHEN Li-Xin LI Chen BAI Jie ZHANG Xiao-An
ZHANG Jin-Xia LI Cun-Fan

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

Abstract A two-dimension position sensitive parallel-plate avalanche (PPAC) detector has been developed for RIBLL. The detector consists of one anode and two cathodes. In each cathode a resistance chain is used to readout position signals. The detector has been tested in different operating gases with an α source. When the detector is at 7mb flowing rate of isobutane and +500V on anode, the position resolution of 0.76mm is obtained. For 7mb C_3F_8 and +595V on anode, the position resolution is 0.64mm. The efficiencies are around 99.1% in the cases of C_3F_8 and isobutane.

Key words parallel-plate avalanche counter, isobutane, position resolution

Received 27 December 2001

^{*} Supported by National Natural Science Funds for Distinguished Young Scholar (19825115), National Natural Science Foundation of China (10975059), Major State Basic Research Development Program (G2000077401, G2000077404)