

一种高性能双维位置灵敏平行板雪崩探测器

王猛 郭忠言 詹文龙 肖国青 徐瑚珊 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 本文描述了为兰州放射性离子束流线(RIBLL)研制的一种高性能平行板雪崩计数器(PPAC)。它由中心阳极和 X、Y 位置阴极构成,阳极—阴极间距 3mm。阳极为 1.5 mm 厚 Mylar 膜,双面镀金。阴极为 $\phi 25\mu\text{m}$ 镀金钨丝,丝距 1mm,位置读出采用电荷分除法。工作气体异丁烷。当工作气压为 700 Pa,阳极电压为 500 V 时,对 3 组分 α 粒子位置分辨 0.76 mm (FWHM),探测效率约 99.1%。

关键词 平行板雪崩计数器,兰州放射性离子束流线,电荷分除法

中图分类号 TL811

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,它主要被用作带电粒子的位置和时间探测。PPAC 具有许多优越的性能:很好的定时性能,时间分辨可达几百 ps 或更好;空间分辨可达 0.5 mm 或更好;允许较高的计数率,能达到 $10^3\text{—}10^5/\text{s}$;具有高的探测效率,对重离子可达到约 100%探测效率;探测器的人射窗可以做得很薄,这大大减少窗对入射粒子尤其是重离子的散射效应;探测器工作气压可调(因而厚度可调),适合探测不同类型、不同能量的粒子;可以在强磁场下工作而性能不受影响;具有成本低廉,使用方便等特点。因此,它一直被广泛应用于核物理实验研究中^[1-3]。

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]。RIBLL 由 4 块二极偏转磁铁 D_{1-4} ,1 台极化磁铁 D_0 ,16 台四极透镜 $Q_{i(i=1-16)}$,初级靶室 T_0 ,色散焦点 $C_{1,2}$,焦点 $T_{1,2}$ 和次级反应靶室构成。它们按 $D_0\text{—}T_0\text{—}Q_1\text{—}Q_2\text{—}D_1\text{—}Q_3\text{—}Q_4\text{—}C_1\text{—}Q_5\text{—}Q_6\text{—}D_2\text{—}Q_7\text{—}Q_8\text{—}T_1\text{—}Q_9\text{—}Q_{10}\text{—}D_3\text{—}Q_{11}\text{—}Q_{12}\text{—}C_2\text{—}Q_{13}\text{—}Q_{14}\text{—}D_4\text{—}Q_{15}\text{—}Q_{16}\text{—}T_2$ 模式以 S 形排列。在 T_0 中初级炮弹轰击初级靶,弹核碎裂成各种碎片,RIBLL 利用离子光学和反应运动学原理分析选择碎片,形成 RIB。在 RIBLL 运行中,束流诊断是非常重要的,因此在 T_0 、 C_1 、 T_1 、 C_2 、 T_2 安装了各种诊断元件^[5]。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气体探测器 PPAC,分别安装

在 RIBLL 的 C_1 、 T_1 、 C_2 、 T_2 。PPAC 作为束流诊断元件,首先用来跟踪测量 RIB 在这些位置的剖面,指导调束;另外,PPAC 联合实验中的其他探测器,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。

简单地讲,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,位置读出采用电荷分除法,工作气体是异丁烷(Isobutane)。

1 结构和工作原理

双维位置灵敏 PPAC 的壳体是一个大小为 56 mm $\times$ 189 mm $\times$ 170 mm 的铝合金盒,盒体与人射窗、出射窗共同组成真空隔离区域,结构如图 1 所示。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,窗的有效面积为 100 mm $\times$ 100 mm。为提高窗的抗内外正压差的能力(内压高于外压),窗框架上用 $\phi 0.1\text{mm}$ 的不锈钢丝绷成 5 $\times$ 5 单元的网格支撑窗膜。窗膜在 10kPa 正压差下测试时没有损坏。盒体和窗框架之间通过橡胶圈密封。窗体拆卸方便,破损时可以很方便地给予修复或更换。

探测器信号由盒体上的电子学插座引出。4 个 Lemo 插座,用于 4 个位置信号 x_1 、 x_2 、 y_1 、 y_2 的引出, x_1 、 x_2 取自 X 阴极, y_1 、 y_2 取自 Y 阴极;PPAC 高压通过 SHV 插座施加,阳极信号由一个 BNC 插座引出。

国家自然科学基金(19825115,19975059)、国家重点基础研究发展规划项目(G2000077401,G2000077404)资助

第一作者:王猛,男,1977 年出生,2002 年于中国科学院近代物理研究所获博士学位,实验核物理专业

收稿日期:2002-01-03,修回日期:2002-04-10

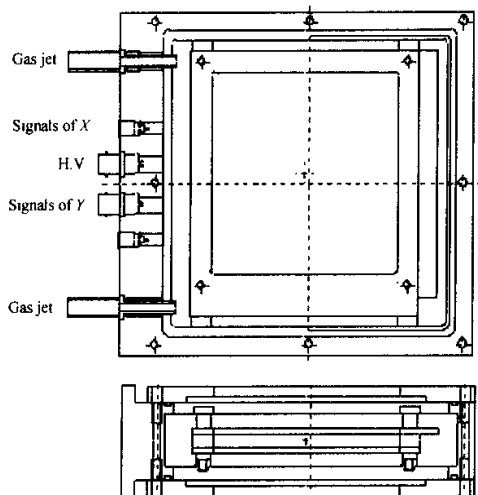


图 1 PPAC 结构图

Fig.1 The configuration of PPAC

该双维位置灵敏 PPAC 的芯体由阳极、X 阴极、Y 阴极构成。灵敏面积为 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 。中间为阳极，工作时加正电压。两个阴极（X 极和 Y 极）分别对称放置在阳极两边。阳极与阴极间距为 3 mm 。阳极由 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 厚的 Mylar 膜双面镀金制成，夹在两片 3 mm 厚的单面敷铜印刷线路板制成的框架之间，双面镀金 Mylar 膜用导电胶贴在其上。阳极信号可以用来测量入射粒子探测器气体内的能损，但它的主要作用是给出飞行时间信号、符合测量信号和数据获取系统的触发信号。X 极和 Y 极由直径为 $25\text{ }\mu\text{m}$ 的镀金钨丝间隔 1 mm 布成，两者布丝方向垂直。极板是 3 mm 厚的双面敷铜印刷线路板制成的框架，边缘都经过分条镀金处理，条的宽度和间隔均为 0.5 mm 。构成阴极丝面的镀金钨丝焊接在上面。阴极丝之间用 $200\text{ }\Omega$ 高精密电阻连接，以便进行位置的电荷分除法读出。电阻链两端由 $2\text{ k}\Omega$ 的电阻接地。这样，电荷相当于在无限长的分布式 RC 电路中传播，由理论分析可知，电阻链两端所收集的电荷量同粒子的雪崩位置密切相关。当粒子在灵敏体积内某点产生的次级电子向阳极漂移时会产生雪崩放大^[6]，同时正电荷向阴极漂移。假定阴极两端得到的电流脉冲幅度分别为 $A_{x1}(A_{y1})$ 和 $A_{x2}(A_{y2})$ ，取阳极中心为原点，可得粒子的入射位置

$$x = k (A_{x1} - A_{x2}) / (A_{x1} + A_{x2});$$

$$y = k (A_{y1} - A_{y2}) / (A_{y1} + A_{y2})$$

式中系数 k 由探测器本身属性及电子学电路参数共同决定。

2 测试结果与应用

2.1 用 α 源测试结果

PPAC 在流气方式下工作，在自动稳压系统控制下实现自动动态稳压。稳压系统如图 2 所示，由电磁阀、控制单元、绝对气压计、气压传感器、抽气针阀、真空泵等构成。工作气体（异丁烷）贮存罐由电磁阀与 PPAC 气体入口相连，气体的出口经针阀与真空泵相连。绝对气压计（Balzers APG-010）和气压传感器（Balzers APR-011）实时地测量 PPAC 的工作气压，并将测量结果传送给控制单元（Balzers RVG-040），控制单元将测量结果与预先设置的气压值比较，控制电磁阀（Balzers RME-040）开阀的孔径，实现流量动态控制，保证气压稳定。实验证明，这样的稳压系统气压的绝对变化在 10 Pa 以内。

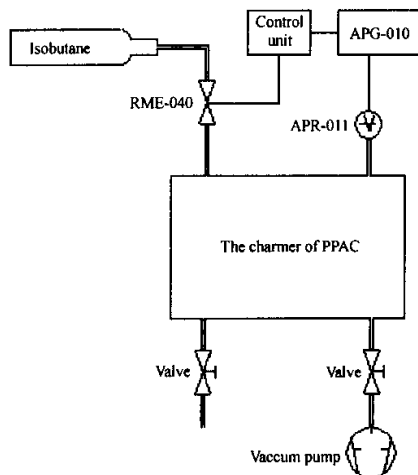


图 2 PPAC 气体稳压系统示意图

Fig.2 Automatic control system for stabilizing gas pressure in PPAC

PPAC 信号电子学电路框图如图 3 所示。由图 3 所示，阴极信号经电荷灵敏放大器(Ortec 142PC)积分放大后进入主放大器(Ortec 572)，主放大器的成形时间为 $1\text{ }\mu\text{s}$ 。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 的选通信号取自 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 开门信号。

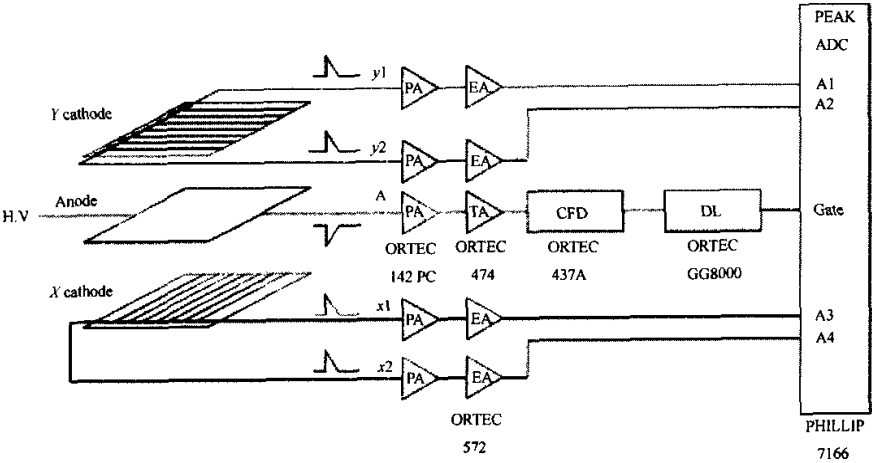


图 3 电荷分除法读出位置电子学示意图

Fig.3 Block diagram of electronics used in PPAC

PPAC 性能检验实验如下进行：在测试真空中，PPAC 的正前方 30 cm 处放置一个三组分 α 放射源（5.155MeV ^{239}Pu ，5.486MeV ^{241}Am ，5.806MeV ^{244}Cm ），辐照被测探测器。在 PPAC 的后面 5cm 处放置一个 Si 探测器，Si 探测器灵敏面积为 48 mm $\times$ 48 mm，厚度 300 μm 。

在探测器前加有 15 $\times$ 15 个小孔的 0.5mm 厚铝板以测试位置分辨。小孔间隔是 5 mm，孔径为 1 mm。选取异丁烷作为工作气体，充气气压为 700 Pa。

作为例子，图 4 给出了 PPAC 阳极电压为 500 V 时，测得的 3 组分 α 粒子位置二维散布图和 x、y 一维位置谱。对于该探测器，当阳极电压分别为 450、480、500V 时，我们测出位置分辨（FWHM）分别为 3.5、1.1、0.76 mm。在 PPAC 后面，放置的穿透型 Si 探测器同时测量 α 粒子剩余能谱。测量时用 PPAC 阳极信号触发记谱，离线分析数据时在 Si 探测器能谱上加窗选择，比较加窗与无窗的数据，得到 PPAC 的探测效率约 99.1%。

2.2 在实验中的应用

兰州放射性离子束流线（RIBLL）是我国第一条中能重离子核碎裂型（PF）放射性次级束流装置。自 1997 年 7 月成功建成并顺利投入运行以来，为我国放射性束物理研究提供了良好的物质和技术条件。到目前为止，RIBLL 已经为国内外核物理研究人员提供了数 10 种放射性束流，完成了许多 RIB 实验。

2001 年 5 月和 11 月，日本理化所 Tanihata 实验组、上海原子核所沈文庆实验组和兰州近代物理所詹文龙实验组，在 RIBLL 两次联合实验，测量 RIB 引起次级反应的反应总截面。实验充分利用 RIBLL 两级反对称结构的优点，使 RIBLL 运行于 RIB+0 $^\circ$ 磁谱仪模式。次级反应靶放置于 RIBLL 的中间焦点 T₁，利用 RIBLL 的后半段选择输运没有反应的粒子到 T₂，在 T₂ 探测。实验要求必须十分清楚地跟踪粒子，探测粒子在 C₂ 和 T₂ 的位置。RIBLL 的散焦面对位置的变化非常敏感，束流在聚焦面上

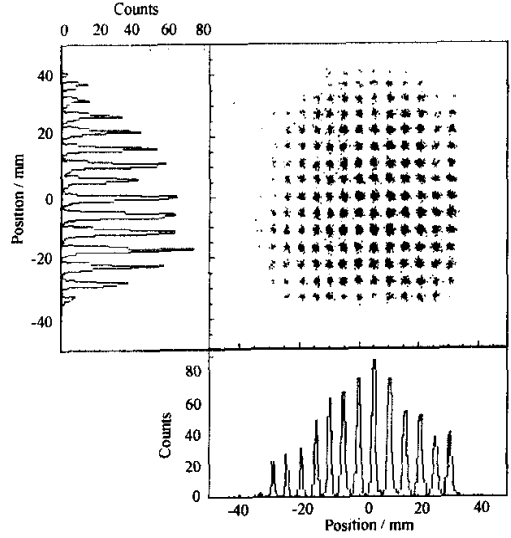


图 4 用源测出的双维位置谱及相应的单维谱

Fig.4 Two-dimension scatter and corresponding one-dimension spectra

对中心轨道的偏移量在这里可以有 10 倍左右的放大。为此,我们将该 PPAC 放在 RIBLL 第二散焦面 C_2 上,并由步进电机通过磁传动控制,可以精确定位并方便地放进和拔出。采取和图 3 相似电子学,并由精密水银脉冲发生器 Ortec448,分出 4 路信号同时进入 4 个位置前放进行刻度。通过改变束流位置得到位置系数 k 以得到绝对位置。图 5 为 Tanihata 实验中由该 PPAC 得到的 65 MeV/u 的 ^{18}O 束流在

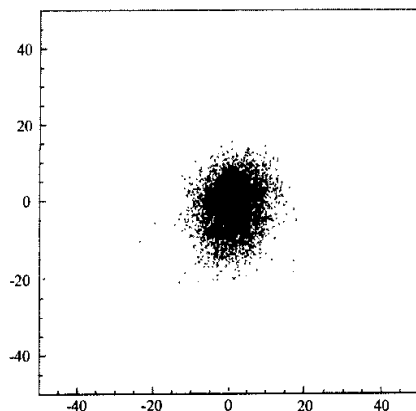


图 5 PPAC 得到的 C_2 束流剖面

Fig.5 The beam profile obtained at plane C_2

C_2 的剖面。当时的工作气压是 670Pa,工作气体为异丁烷,阳极的电压为 450 V。从图 5 可见,束流剖面非常清楚,为实验调整 RIBLL 参数和对实验数

据质量的分析提供了很好的依据。

通过设计研制使用 PPAC,我们认为,该 PPAC 探测器不但具有高位置分辨、高探测效率、大灵敏面积、可变厚度、抗辐射损伤等优点,而且性能稳定、使用方便、成本低廉。探测器的灵敏面积和灵敏体积乃至几何形状可以任意按要求设计。现在,它已成为 RIBLL 上重要的束流诊断元件和 RIB 实验的重要位置探测器。

参考文献

- 1 Freeman C G, Herrick D M, Bryan D C, *et al.* Nucl Instr Meth, 1994, **A357**:450—457
- 2 Bhattacharya P, Basu P, Chatterjee M I. Nucl Instr Meth, 1989, **A276**:583—587
- 3 Kumagai H, Ozawa A, Fukuda N, *et al.* Nucl Instr, Meth, 2001, **A470**:562—570
- 4 ZHAN Wenlong, GUO Zhongyan, LIU Guanhua, *et al.* Science in China (Series A), 1999, **42**(5):529—536
- 5 郭忠言, 詹文龙, 孙志宇, 等. 高能物理与核物理, 1999, **23**(3):213—219
GUO Zhongyan, ZHAN Wenlong, SUN Zhiyu, *et al.* High Energy Physics and Nuclear Physics, 1999, **23**(3):213—219
- 6 Charpak G, Rahm D, Steiner H. Nucl Instr Meth, 1970, **80**:13—34

A two dimension position sensitive PPAC

WANG Meng GUO Zhongyan ZHAN Wenlong XIAO Guoqing XU Hushan
MAO Ruishi HU Zhengguo CHEN Zhiqiang SUN Zhiyu LI Jiaxing
WANG Wusheng CHEN Lixin LI Chen BAI Jie ZHANG Xiaolan
ZHANG Jinxia LI Cunfan

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

Abstract A two-dimensional positional sensitive parallel-plate avalanche detector (PPAC) with 100mm×100mm active area has been developed for RIBLL. The detector consists of one anode and two cathodes. Each cathode position signal is readout with a resistance chain. The PPAC was tested at 700 Pa of flowing isobutane and +500 V at the anode, and an intrinsic position resolution of 0.76 mm (FWHM) was determined.

Key words PPAC, RIBLL, Charge division

CLC TL811