

RIBLL 束流诊断的发展*

郭忠言 肖国青 詹文龙 徐瑚珊 孙志宇 李加兴 王猛
陈志强 毛瑞士 王武生 白洁 胡正国 陈立新 李琛

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 描述了重离子加速器放射性次级束流线束流诊断技术的新发展,它包括初级束流在线监测研制的非拦截式法拉第筒,监测低强度初级束流的塑料闪烁探测器,测量放射性次级束流剖面的大面积二维位置灵敏平行板雪崩室等. 这些新研制的束流诊断装置的运用,明显提高了设置、调整、确定重离子加速器放射性次级束流线运行参数的速度和准确性,改善了放射性次级束流纯度和质量,并使得重离子加速器放射性次级束流线的运行更简洁、迅速和有效.

关键词 束流诊断 塑料闪烁探测器 非拦截法拉第筒

1 引言

兰州重离子加速器放射性次级束流线(RIBLL)自 1997 年 12 月投入运行以来,已经为国内外多个放射性束物理研究组的数十个研究课题提供了数千小时的各种中能放射性次级束流(RIB),保证各个实验顺利完成. 如 I. Tanihata 实验组的 2 次 RIB 在 C 靶上引起次级反应的总反应截面测量提供了¹¹Be, ¹²Be, ¹⁴Be, ¹³B, ¹⁴B, ¹⁵B 等奇异核次级束流,实验取得圆满结果. 沈文庆实验组多次利用 RIBLL 提供的丰质子放射性次级束流研究质子晕核,确认²³Al 和²⁷P 具有质子晕结构. 詹文龙实验组利用 RIBLL 产生并鉴别了新核素²⁵P,同时在晕核研究中也取得了很好的结果,验证了⁸B 和⁶He 的质子晕结构,并在实验中确认⁹C 和¹²N 也有晕结构. 周小红实验组在 RIBLL 上研究奇异核结构,靳根明,江栋兴,叶沿林等人的 RIB 引起次级反应机制研究以及张焕乔等人丰质子奇异核引起反应截面测量也都取得了新结果.

在此期间,RIBLL 自身也在不断地改进和发展,重新研制了二极磁铁辅助开关电源和四极透镜开关电源,解决了原来开关电源中频泄漏对实验探测器及前端电子学的干扰. 提高了二极磁铁分离 RIB 的

能力和四极透镜约束束流的能力. 发展了一些新的束流诊断设备,如非拦截法拉第筒,双端 PMT 读出塑料闪烁探测器,大面积二维位置灵敏平行板雪崩气体探测器等,使得 RIBLL 运行效率和提供的 RIB 质量不断提高. 新研制的束流诊断元件弥补了原来束流诊断元件的不足,扩大了初级束流监测动态范围,使得对次级束流监测更准确、及时和便利.

2 RIBLL 及束流诊断

RIBLL 是弹核碎裂型放射性次级束流线,全长约 35m,主要由 4 台二极磁铁(D_{1-4})和 16 台四极透镜(Q_{1-16})组成^[1]. 初级靶前有 2 台四极磁铁 Q_{01} 和 Q_{02} 强聚焦初级束于初级靶 T_0 上. RIBLL 的结构模式为 $T_0-Q_1 Q_2 D_1 Q_3 Q_4-C_1-Q_5 Q_6 D_2 Q_7 Q_8-T_1-Q_9 Q_{10} D_3 Q_{11} Q_{12}-C_2-Q_{13} Q_{14} D_4 Q_{15} Q_{16}-T_2$. 其中 T_0 是初级靶, C_1 和 C_2 分别是第 1 和第 2 散焦点, T_1 和 T_2 分别是第 1 和第 2 聚焦点. RIBLL 粗略分为 2 段 4 节: $-Q_1 Q_2 D_1 Q_3 Q_4-C_1-Q_5 Q_6 D_2 Q_7 Q_8-$ 是第 1 段, C_1 两边分别为第 1 和第 2 节,它们以 C_1 为对称; $-Q_9 Q_{10} D_3 Q_{11} Q_{12}-C_2-Q_{13} Q_{14} D_4 Q_{15} Q_{16}-$ 是第 2 段,同样, C_2 前后分别为第

2002-03-14 收稿

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

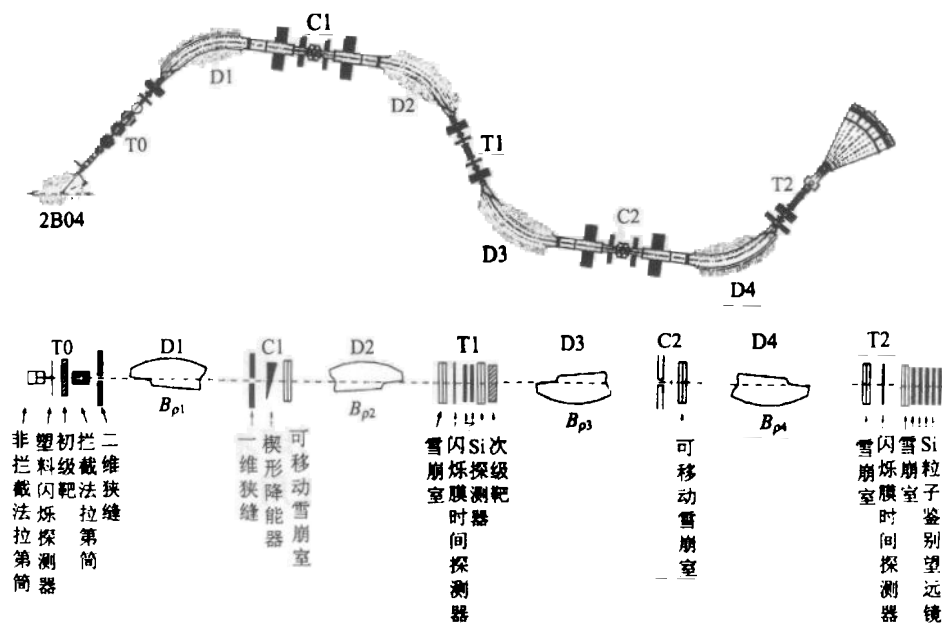


图 1 RIBLL 及其束流诊断元件布局

3 和第 4 节, 它们以 C_2 为对称. 前后两段以 T_1 为中心反对称. 图 1 为 RIBLL 及其一些束流诊断元件布局.

兰州重离子加速器(HIRFL)提供的中能重离子初级束流轰击位于 T_0 的初级靶, 弹核碎裂产生弹核以下各种质量碎片, 它们具有初级束流粒子的速度, 集中于很小锥角向前发射, 进入 RIBLL 的第 1 节, 设置 D_1 的磁刚度 ($B\rho$), 使得符合关系 $B\rho \propto A/Q$ 的一组 A/Q 碎片通过, 到达第 1 色散点 C_1 . 在这里, 通过楔形降能器实施电荷选择, 得到一种纯净的 RIB. 它们在第 2 节接受消色差补偿, 到达第 1 焦点 T_2 [2]. RIBLL 的第 2 段分析选择 RIB 原理与第 1 段相同, 按照不同运行模式, 第 2 段可以运行于 RIB 模式、简单束流运输模式或 0° 磁谱仪模式.

RIBLL 从初级弹核碎片中通过离子光学和反应动力学原理选择出较纯的 RIB. 在设置调整 RIBLL 参数过程中, 利用束流诊断元件跟踪监测束流, 观测调整的效果是至关重要的. 为此, 在 RIBLL 研建初期研制了多种束流诊断元件 [3-5]. 如监测初级束流位置的石英玻璃荧光靶, 光纤探测器, Si 雪崩二极管带电粒子探测器; 监测初级束流强度的阻止法拉第筒, BaF_2 晶体闪烁探测器等; 监测次级放射性束流位置的一维和二维光纤探测器, 双维位置灵敏 Si 探测器, 双维位置灵敏 Cs I (T_1) 闪烁探测器, 闪烁膜飞行时间(TOF)探测器, $SidE/dx$ 探测器和粒子鉴别探测器望远镜等. 它们有些还兼作物理实验探测

器. 但是, 在 RIBLL 的运行中也发现, 对于初级束流监测的诊断元件缺少连续监测束流绝对强度的仪器, 也缺少探测束流强度远小于 1enA 的探测元件. 因此, 我们研制了非拦截式法拉第筒, 准确连续测量 $1-500\text{enA}$ 初级束流强度. 研制了双端光电倍增管读出塑料闪烁探测器, 监测低于 1enA 强度初级束流. 对于次级束流监测, 缺少大面积位置灵敏探测器监测 RIB 在色散点的束流剖面. 为此, 研制了灵敏面积 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 平行板雪崩探测器.

3 最近研制的 RIBLL 束流诊断装置

3.1 非拦截式法拉第筒

非拦截式法拉第筒主要由筒体、入射窗、出射窗、绝缘片和电荷积分极组成(见图 2 所示). 筒体由黄铜材料加工, 长度 100mm , 直径 44mm . 入射和出射窗由 $4\mu\text{m}$ 铝箔制作, 电荷积分电极由 $4\mu\text{m}$ 铝箔附着在铜环上制成, 绝缘片则由聚四氟乙烯绝缘材料加工. 它被安装在初级靶室入口束流轴线上, 工作时筒体被加 -100V 电压, 电荷积分极通过高压电缆被连接到 RIBLL 控制室中电流积分器上, 积分器积分输入电荷, 并将它转变为脉冲, 可以直接输出到定标器, 显示积分计数, 也可以进入 CAMAC 定标器, 由数据获取计算机将它记录到磁盘上. 该法拉第筒的测量范围在 $1-1000\text{enA}$ 之间. 高于 1000enA 时, 热量累积可能引起绝缘材料熔融.

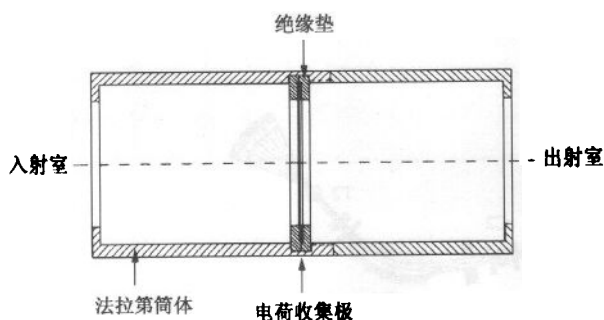


图 2 非拦截式法拉第筒结构示意图

经阻止法拉第筒校正,该非拦截式法拉第筒测量的初级束流绝对值与阻止法拉第筒测量值之间有 1/3 的比例关系。该穿透法拉第筒仅有 3 片 $4\mu\text{m}$ 铝箔,对中能重离子初级束流干扰很小,在 RIB 物理测量期间可以一直连续监测,还可以为物理实验提供累积积分束流数据。

3.2 双端光电倍增管读出塑料闪烁探测器

图 3 是双端光电倍增管读出塑料闪烁探测器。它主要包括 NE102A 塑料闪烁体、光导和光电倍增管等成分。NE102A 厚度 1mm,面积 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$,表面除与光导耦合面外,全用铝箔包裹。光导由航空有机玻璃制成,与光电倍增管耦合端为圆柱体,与 NE102A 耦合端为矩形,光电倍增管选用 Hamamatsu R5900U,它体积小,高增益 (2×10^6),有快的时间响应 (1.5ns)。R5900U 阳极信号直接进入甄别器、符合线路,最后由定标器给出束流强度指示。

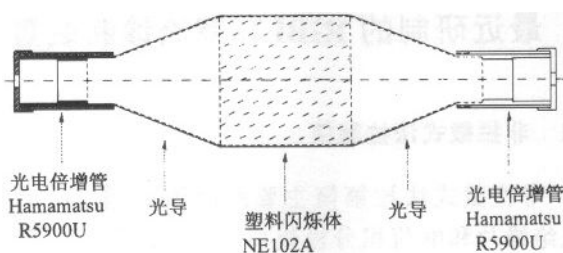


图 3 双端 PMT 读出塑料闪烁探测器

探测器动态范围很大,可以在高计数率下工作 ($> 10^6$ PPS),也可以探测强度很低的单粒子。因此,该探测器在 RIBLL 调束初期起着非常重要的作用。

3.3 大面积二维位置灵敏平行板雪崩探测器 (PPAC)

PPAC 核芯部分是阳极、 x 位置栅极和 y 位置栅极,此外还有人射窗和出射窗。阳极是厚度 $1.5\mu\text{m}$ 双面镀金 Mylar 膜,栅极由 $\phi 25\mu\text{m}$ 镀金钨丝平面构成,丝中心间距 1mm, x 、 y 栅极丝互相垂直,位置信

号由电阻串电荷除法读出。阳极平面与栅极平面距离 3mm。窗由单面镀金 6mm 厚 Mylar 膜附着在具有支撑丝的窗架上制成。PPAC 工作气体是异丁烷或 C_3F_8 ,流气式工作,气压由稳压系统控制。

PPAC 使用异丁烷气体,气压 7mb,阳极电压 500V 时,测量了 3 组分 α 粒子 2 维散点图。测量时,PPAC 之前设置一 15×15 矩阵分布、间隔 5mm,直径 1mm 光阑。由此数据推算出其位置分辨为 0.68mm ,探测效率约 99.1%^[6]。

4 新研制的束流诊断探测器在 RIBLL 中的应用

非拦截式法拉第筒的作用是显而易见的,它在 RIBLL 物理实验进行过程中连续监测束流,累计初级束流总量。

双端 PMT 读出塑料闪烁探测器和 PPAC 的使用大大地简化了 RIBLL 的参数设置和调整程序,使得 RIBLL 运行简便、快捷、安全、准确。现在,RIBLL 从任何一种初级束流碎片分离出放射性子级束流都要执行下面程序。首先,将初级束流聚焦到 RIBLL 初级靶室石英玻璃荧光靶中心,用穿透式法拉第筒测量初级束流强度,当强度满足实验要求指标后,用塑料闪烁探测器监测初级束流强度,指导 HIRFL 将初级束流强度降低,直到 RIBLL 后续探测器可以安全工作,通常 $10^2 - 10^4$ particles/s。然后,RIBLL 投入运行,对初级束流设定、调整参数,让初级束流通过 RIBLL。新研制的 PPAC 分别被安装在 RIBLL 的 C_1 (1套), T_1 (2套), C_2 (1套)和 T_2 (2套)处,利用它们测量初级束流在 C_1 , T_1 , C_2 , T_2 处束流剖面,再现 T_1 , T_2 区域束流轴线。从前至后逐段调整 RIBLL 参数,使束流剖面中心与本地几何中心一致。在 T_1 和 T_2 区域还要使得束流轴线与几何轴线一致。从而确认初级束流的磁刚度等参数。在此基础上,按照 RIBLL 选取指定的 RIB 的条件,包括初级靶、降能器、在线诊断元件、实验次级靶、穿透探测器等,用 LISE 程序计算出相应 RIB 的磁铁参数,设定微调,选择出 RIB。因此,塑料闪烁探测器主要承担在初级束流降低过程中监测束流,指示调整结果,保证 RIBLL 其他后续探测器的安全工作。为 RIBLL 投入运行准备了必要条件。PPAC 通过准确测量 RIBLL 各处束流剖面,指导 RIBLL 参数调整,观察调整效果,使得调整效果直观,目的明确,结果准确,手续简便快捷。

该 PPAC 在 I. Tanihata 次级束流 ^{11}Be , ^{12}Be , ^{14}Be , ^{13}B , ^{14}B , ^{15}B , 在 C 靶上引起反应截面测量实验中, 在沈文庆, 张焕乔实验中起到了重要作用. 图 4 是 RIBLL 利用 69MeV/u ^{36}Ar 初级束流产生次级束流, 轰击 C 靶实验中, 对初级束流 ^{36}Ar 调整确认磁铁参

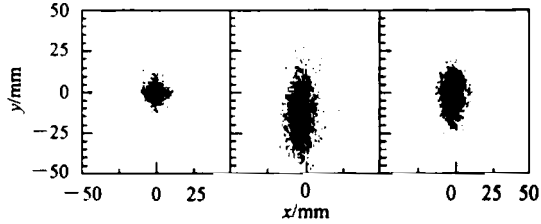


图 4 双维位置灵敏 PPAC 在 RIBLL 调整参数中测量的焦点 T_1 、散焦点 C_2 和焦点 T_2 测量的 RIB 剖面散布图

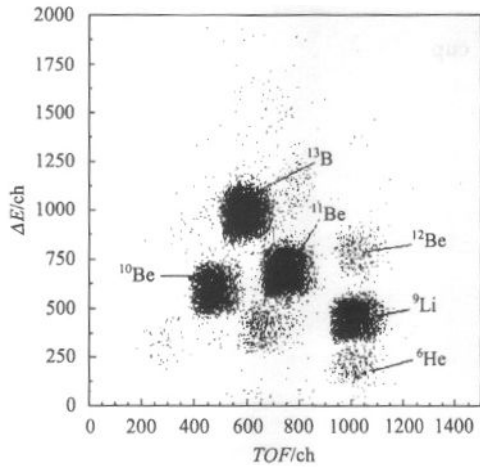


图 5 利用 65MeV/u ^{18}O 初级束流轰击 Be 靶, RIBLL 分离出的部分丰中子同位素

数过程中, PPAC 分别在 T_1, C_2, T_2 测量的束流剖面 2 维散布图. 图中 x, y 轴刻度单位为 mm, C_2 散焦点 PPAC 中心与 C_2 几何中心有一固定偏移, 是实验条件限制. 图 5 是 RIBLL 利用 65MeV/u ^{18}O 轰击 Be 靶, 为 RIEKN Tanihata 反应截面测量实验分离出的丰中子放射性次级束流, ΔE -TOF 散布图. RIBLL 对 ^{11}Be 设置运行参数, ^{11}Be 的强度与其他核素强度比约 60:40.

5 结束语

自 1997 年底 RIBLL 投入运行以来, RIBLL 已经为国际国内多个放射性束物理研究课题, 提供数十种、数千小时中能重离子放射性束流, 保证了这些实验顺利圆满完成, 取得了一些新结果. 同时, RIBLL 自身也在不断改进和发展, 本文报道的新的性能束流诊断元件的研制, 仅是其中的一部分. 它使得 RIBLL 运行参数的设置、调整更直观直接, 目标明确, 操作准确, 明显提高运行效率, 改善 RIBLL 纯度和质量. 好于 1mm 位置分辨到 PPAC 的使用, 使得 RIBLL 参数微调更精确, 使得被选择的 RIB 准确对正中心轨道, 获得最好的消色差结果, 从而提高了 RIBLL 运行质量.

本文叙述的 3 种探测器, 从不同的方面为 RIBLL 增添了束流诊断能力, 改进了束流诊断水平. 目前, 为了分析更重 ($A > 50$) 的放射性次级束流, 我们正在研制气体电离室, 厚度约 $1\mu\text{m}$ 塑料闪烁探测器, 微通道板 (MCP) 探测器等束流诊断和粒子探测装置, 新的步进电机控制系统和新的数据获取系统等, 届时, RIBLL 会提供种类更多、质量更高的 RIB.

参考文献 (References)

- ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan, LIU Guan-Hua et al. Science in China (Series A) 1999, 42(5):529—536
- GUO Zhong-Yan, ZHAN Wen-Long, LIU Guan-Hua et al. Acta Phys. Sinica (Overseas Edition) 1999, 8(1):21—26
- 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)
- SUN Zhi-Yu, ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan et al. Nucl. Tech., 1999, 22(8):482—487(in Chinese)
(孙志宇, 詹文龙, 郭忠言等. 核技术, 1999, 22(8):482—487)
- LI Jia-Xing, ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, 23(3):207—212(in Chinese)
(李加兴, 詹文龙, 郭忠言等. 高能物理与核物理, 1999, 23(3): 207—212)
- WANG Meng, GUO Zhong-Yan, ZHAN Wen-Long et al. Nucl. Tech., 2003, 26(3):(in Chinese)
(王猛, 郭忠言, 詹文龙等. 核技术, 2003, 26(3):)

Development of Beam Diagnosis at RIBLL

GUO Zhong-Yan XIAO Guo-Qing ZHAN Wen-Long XU Hu-Shan
SUN Zhi-Yu LI Jia-Xing WANG Meng CHEN Zhi-Qiang MAO Rui-Shi
WANG Wu-Sheng BAI Jie HU Zheng-Guo CHEN Li-Xin LI Chen
(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract The development of beam diagnosis at RIBLL has been carried out. There are three kinds of diagnosis devices, i. e. the transmittal Faraday cup, plastic scintillator and two dimensional position sensitive PPAC. The Faraday cup is usually used to measure primary beam in the experiments. The scintillator readout with photomultipliers is set to monitor the primary beam in low intensity during tuning RIBLL. The PPACs (C_1, T_1, C_2, T_2) with $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ of sensitive area are installed to measure the RIB profiles. So the performances of RIBLL are improved.

Key words beam diagnosis, plastic scintillator, transmittal Faraday cup

Received 14 March 2002

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19975059, 19825115), Major State Basic Research Development Program (G2000077401, G2000077404)