

# 兰州重离子加速器放射性次级束流线的改进与发展

郭忠言, 詹文龙, 肖国青, 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, 甘肃兰州 730000)

**摘要:**介绍了兰州重离子加速器放射性次级束流线(RIBLL)投入运行以来的若干改进和发展。改进后的RIBLL的整体性能明显改善,提高了RIBLL分析放射性次级束流(RIB)的能力和精度,并使得RIBLL运行操作简便快捷、安全可靠。

**关键词:**兰州重离子加速器放射性次级束流线;磁铁电源;二次曲面形降能器;平行板雪崩室

**中图分类号:** O571.32; TL501.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2003)03-0259-05

## Improvements and Developments on Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou

GUO Zhong-yan, ZHAN Wen-long, XIAO Guo-qing, 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 improvements and the developments on radioactive ion beam line in Lanzhou (RIBLL) were carried out. So the performances of RIBLL are toned up evidently. It makes operating and setting RIBLL convenient and reliable.

**Key words:** radioactive ion beam line in Lanzhou; power supply; conicoid degrader; parallel plate avalanche counter

兰州重离子加速器放射性次级束流线(RIBLL)1997年12月投入运行以来,利用兰州重离子加速器(HIRFL)提供的75 MeV/u  $^{12}\text{C}$ 、65 MeV/u  $^{13}\text{C}$ 、75 MeV/u  $^{18}\text{O}$ 、80 MeV/u  $^{20}\text{Ne}$ 、75 MeV/u  $^{22}\text{Ne}$ 、69 MeV/u  $^{36}\text{Ar}$ 、55 MeV/u  $^{40}\text{Ar}$ 等初级束流,成功地为国内外不同实验组

提供了数千小时 $^6\text{He}$ 、 $^8\text{He}$ 、 $^{11}\text{Li}$ 、 $^{11}\text{Be}$ 、 $^{12}\text{Be}$ 、 $^{14}\text{Be}$ 、 $^8\text{B}$ 、 $^{13-15}\text{B}$ 、 $^{9,15-17}\text{C}$ 、 $^{12}\text{N}$ 、 $^{17,18}\text{N}$ 、 $^{17}\text{F}$ 、 $^{17}\text{Ne}$ 、 $^{23}\text{Al}$ 、 $^{27-29}\text{P}$ 、 $^{28-30}\text{S}$ 、 $^{31}\text{Cl}$ 等放射性次级束流。

在此期间,RIBLL在许多方面不断地得到改进和提高。

### 1 RIBLL 简述

收稿日期:2002-03-19;修回日期:2002-06-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(19975059,19825115,G2000077401,G2000077404)

作者简介:郭忠言(1940—),男,辽宁辽阳人,研究员,博士生导师,原子核物理专业

RIBLL 属于弹核碎裂型放射性束装置<sup>[1]</sup>, 图 1 示出 RIBLL 的结构。

RIBLL 主要包括 4 个二极磁铁 ( $D_{1-4}$ ) 和 16 支四极透镜 ( $Q_{1-16}$ ), 构成以 RIBLL 第 1 焦点  $T_1$  为中心反对称 2 段 4 小节模式:

第 1、2 小节分别为  $Q_1 Q_2 D_1 Q_3 Q_4$ 、 $Q_5 Q_6 D_2 Q_7 Q_8$ , 它们以第 1 色散点  $C_1$  为对称, 构成 RIBLL 的第 1 段, 长度 17 m;

第 3、4 小节分别为  $Q_9 Q_{10} D_3 Q_{11} Q_{12}$ 、 $Q_{13} Q_{14} D_4 Q_{15} Q_{16}$ , 它们以第 2 色散点  $C_2$  为对称, 构成 RIBLL 的第 2 段,  $T_2$  是 RIBLL 的第 2 聚焦点。

RIBLL 全长约 35 m。

二极磁铁中心半径 3 000 mm, 最大磁刚度 4.2 Tm。

$D_1$  和  $D_2$  共用一主电源  $D_{12}$ ,  $D_3$  和  $D_4$  共用另一主电源  $D_{34}$ 。每个二极磁铁各自配备一辅助开关电源  $D_{11}$ 、 $D_{22}$ 、 $D_{33}$ 、 $D_{44}$ 。 $D_{11}$ 、 $D_{33}$  极性与主电源相同,  $D_{22}$ 、 $D_{44}$  极性与主电源相反。

四极磁铁  $Q_1$ 、 $Q_8$ 、 $Q_9$ 、 $Q_{16}$  的极头空间为  $\phi 70$  mm,  $Q_2$ 、 $Q_7$ 、 $Q_{10}$ 、 $Q_{15}$  极头空间  $\phi 140$  mm,  $Q_4$ 、 $Q_5$ 、 $Q_{12}$ 、 $Q_{13}$  极头空间  $\phi 230$  mm,  $Q_3$ 、 $Q_6$ 、 $Q_{11}$ 、 $Q_{14}$  极头空间  $\phi 360$  mm。

初级靶室  $T_0$  内径 45.4 cm, 高 49.5 cm。

### 2 RIBLL 的改进

几年来, RIBLL 在不断改进和发展自身的软硬件环境。

### 2.1 磁铁、电源与其计算机控制系统<sup>[2,3]</sup>

#### 1) 二极磁铁辅助电源

初始二极磁铁辅助电源  $D_{11}$ 、 $D_{22}$ 、 $D_{33}$ 、 $D_{44}$  为输出电压 28 V、电流 170 A 的开关电源。实际运行中发现, 在较高能量下, 为较好分离放射性次级束流 (RIB), 常需要选取较厚楔形降能器, 这要求  $D_1$  和  $D_2$  的磁刚度偏离较大, 这一偏离由  $D_{11}$  和  $D_{22}$  提供。

原始的辅助电源功率较低, 调整范围明显不足。为此, 用 4 台新的开关电源代替最初的 4 台辅助电源。新电源的输出电压仍为 28 V、输出电流 300 A, 功率增大, 改善了 RIBLL 分析 RIB 的能力。

此外, 新研制的开关电源的中频泄漏得到有效抑制, 降低了对探测器、电子学仪器的中频干扰。

#### 2) 四极磁铁 $Q_1$ 、 $Q_8$ 、 $Q_9$ 的更新

RIBLL 最初研制的四极透镜  $Q_1$ 、 $Q_8$ 、 $Q_9$  磁轭尺寸较小, 磁场强度最大 0.76 T, 磁铁内部有效尺寸为  $\phi 76$  mm  $\times$  150 mm。

新的四极透镜磁轭尺寸加大 40%,  $Q_1$ 、 $Q_8$ 、 $Q_9$  内部有效尺寸加大, 增强了约束束流的能力。

#### 3) 四极透镜 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_7$ 、 $Q_8$ 、 $Q_9$ 、 $Q_{10}$ 、 $Q_{15}$ 、 $Q_{16}$ 开关电源的更新

在使用中, 开关电源中频泄漏较严重, 对探测器和前端电子学仪器有较大干扰。为此, 在研制新开关电源时, 借鉴国外开关电源制备技术, 开关电源中频泄漏得到有效屏蔽。

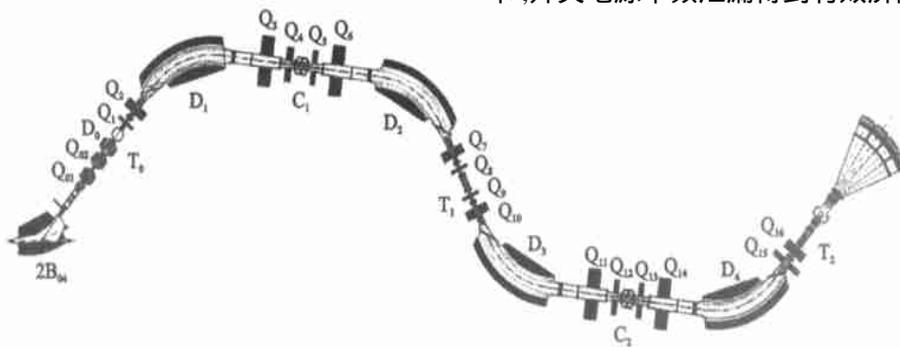


图 1 兰州重离子加速器放射性次级束流线

Fig. 1 Radioactive ion beam line in Lanzhou

2B<sub>04</sub> ——初级束流 50° 偏转磁铁; T<sub>0</sub> ——初级靶室; D<sub>0</sub> ——校正磁铁; C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub> ——散焦点;

D<sub>1</sub> ~ D<sub>4</sub> ——分析磁铁; T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> ——聚焦点; Q<sub>1</sub> ~ Q<sub>16</sub> ——四级透镜; Q<sub>01</sub>、Q<sub>02</sub> ——初级靶前四极透镜

#### 4) RIBLL 磁铁电源控制计算机联网

在 RIBLL 研制的初始阶段, RIBLL 磁铁电源被连接到特定计算机上, 各个磁铁电源参数只能由该计算机设置和调整。现在, 在 RIBLL 电源所在区域设置 2 台本地计算机, 实现磁铁电源参数的本地设置和调整, 为电源的检修提供了方便。

这 2 台计算机被联入局域网, 该网络中的任何计算机均可与之通讯, 实现对 RIBLL 磁铁电源的监测和控制。

#### 2.2 $C_1$ 、 $T_1$ 、 $C_2$ 、 $T_2$ 真空室<sup>[4]</sup>

RIBLL 最初的  $C_1$ 、 $T_1$ 、 $C_2$ 、 $T_2$  真空室基本上呈圆筒形结构, 便于步进电机控制束流诊断元件的安装连接, 但对探测器安装、调整和观察不便。

在与 RIKEN 合作实验中, 重新设计加工了  $T_1$ 、 $T_2$  的真空测量室, 将筒型结构改为方型结构, 便于探测设备安装、调试。真空室上设置多个观察窗, 能清楚观察到真空室内部探测器的位置和状态。

现在, RIBLL 2 个散焦点  $C_1$ 、 $C_2$  的真空室已被设计成方型结构, 方便实验探测器、束流诊断部件、降能器和狭缝等设备的安装, 提高了几何位置的精度, 也便于观察步进电机遥控装置效果和监视设备状态。

#### 2.3 步进电机控制系统<sup>[5]</sup>

RIBLL 上初始步进电机-驱动电源-计算机控制系统基本上满足了 RIB 诊断元件的设置、监测、调整和探测器控制的要求。但该系统不具备本地控制和联网等功能, 控制具有明显排它性。

新研制的控制系统在每个驱动电源中设置 1 台单片计算机, 它与局域网中主控计算机连接, 实现主机遥控, 而单片计算机完成本地控制功能, 这为实验初期 RIB 和探测器调试提供便利。

新系统具备主控计算机同时遥控多个步进电机动作的功能, 节约时间, 提高了效率。

#### 2.4 初级靶架、狭缝和降能器

在 RIBLL 初级靶室中, 初级靶架安装 1 个反应靶、1 片石英玻璃和 1 只阻止型法拉第筒。为实验方便, 在初级靶室中增加 1 套靶架及其控制装置, 这样, 靶室中的 1 个靶架上安装石英

玻璃, 穿透法拉第筒和阻止法拉第筒, 另一靶架安装 3 片初级反应靶。

现在, 已将靶室中的 1 个靶架设计为空心 12 棱柱型, 可同时容纳 18 片靶。靶架可在步进电机传动机构驱动下升降和旋转, 以选择实验需要的初级靶。

在初级靶室  $T_0$  和第 1 台二极磁铁  $D_1$  之间增设了 1 套可遥控调节的二维狭缝, 设定进入 RIBLL 的碎片的动量范围。图 2 是该光阑装置的结构图。二维狭缝由 4 片独立的狭缝体构成, 每个狭缝体被 1 套步进电机和真空传动机构控制, 通过计算机设置狭缝的大小和狭缝中心的位置。 $x$  方向狭缝设定范围 200 mm,  $y$  方向狭缝范围 100 mm。

实际使用证实, 该装置性能稳定, 调节准确, 有利于提高 RIBLL 分析分离 RIB 的能力, 也明显降低了  $C_1$ 、 $T_1$ 、 $C_2$ 、 $T_2$  区域的实验本底。

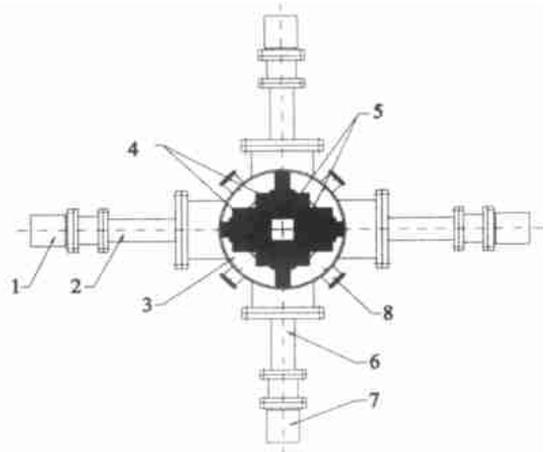


图 2 二维计算机遥控设置狭缝图

Fig. 2 Plot of the two dimensional slits remote controlled by computer

- 1—— $x$  狭缝控制步进电机; 2—— $x$  狭缝真空传动机构;  
3——狭缝真空室; 4—— $x$  狭缝体;  
5—— $y$  狭缝体; 6—— $y$  狭缝真空传动机构;  
7—— $y$  狭缝控制步进电机; 8——观察窗

RIBLL 在分离较高能量、较轻 RIB 时, 通常选择使用中心厚度 1 mm 以上楔形降能器。这种规格的降能器可机械加工。RIBLL 已准备了多个中心厚度为 1、1.5 和 2 mm 的降能器, 供实验选择。

对于质量较重、能量较低的碎片, 必须使用较薄的降能器。这种楔形降能器机械加工困

难,厚度不均匀性大,为此,设计加工了具有二次曲面型降能器架,只要将厚度均匀的薄膜仔细安装在降能器架上就可形成楔形降能器,厚度以薄膜而定。

### 2.5 束流跟踪监测<sup>[6]</sup>

RIBLL 上有许多类型束流跟踪监测和诊断元件<sup>[7,8]</sup>。近年来,成功研制了监测初级束流的穿透法拉第筒和双端光电倍增管读出闪烁探测器,以及监测 RIB 剖面的平行板雪崩探测器 (PPAC)。

穿透法拉第筒主要由次级电子发射器、电子抑制器和电流积分器组成。初级束流粒子通过穿透法拉第筒时,引起次级电子发射器发射次级电子,发射器周围电子抑制器加 -100 V 电压,抑制电子逃逸。发射器与电流积分器连接,积分次级电子。用阻止法拉第筒校正,作出积分电荷-束流强度曲线,可实现束流不间断监测。

法拉第筒(阻止型或穿透型)对测量强度大于 1 nA 的初级束流非常灵敏、直观有效,对于强度低于 1 nA 的初级束流不能监测。

双端光电倍增管读出闪烁探测器对中能重离子非常灵敏,耐辐射,是监测初级束流 (<1 nA) 降低过程的理想探测器。图 3 是双端光电倍增管读出闪烁探测器结构示意图。该探测器结构简单,性能稳定,反应灵敏,动态范围  $1 \sim 10^8 \text{ s}^{-1}$ ,抗辐射,价格便宜。

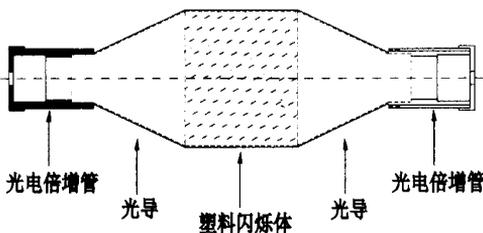


图 3 双端 PMT 读出塑料闪烁探测器

Fig. 3 Scintillator readout with PMTs

在 RIBLL 中,准确跟踪 RIB 和再现 RIB 空间分布不仅是 RIBLL 设定调整参数的需要,也常是物理实验测量的要求。为此,研制了二维位置灵敏平行板雪崩气体探测器 (PPAC)<sup>[9]</sup>。

在  $T_1$  次级反应靶前,设置 2 套 PPAC,测量相距一定距离的 2 点的束流剖面,确定束流

轴向和投射到次级靶上的位置。调整 RIBLL 第 1 段磁铁参数,使 RIB 轴线与  $T_1$  几何轴线重合。同时,在  $C_2$  安装 1 套和在  $T_2$  处安放 2 套 PPAC,测量 RIB 剖面,指导调整 RIBLL 参数,使 RIB 轴线与几何轴线一致。

PPAC 的有效灵敏面积为  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ ,其结构主要包括阳极、 $x$  位置栅极和  $y$  位置栅极。阳极是  $1.5 \mu\text{m}$  厚双面镀金 Mylar 膜,栅极由  $\phi 25 \mu\text{m}$  镀金钨丝构成,丝间距 1 mm,预张力 98 N,位置信息由电荷除法读出。 $x$ - $y$  栅极平面丝相互垂直。阳极与栅极间距 3 mm。PPAC 工作气体是异丁烷或  $\text{C}_3\text{F}_8$ 。异丁烷适合探测较重的 RIB, $\text{C}_3\text{F}_8$  适合探测较轻的 RIB。PPAC 为流气式工作,由 Balzers 稳压系统控制。

图 4 示出 670 Pa 异丁烷、阳极电压 450 V 时 PPAC 测量的  $65 \text{ MeV/u } ^{18}\text{O}$  束流在  $C_2$  处的剖面图。

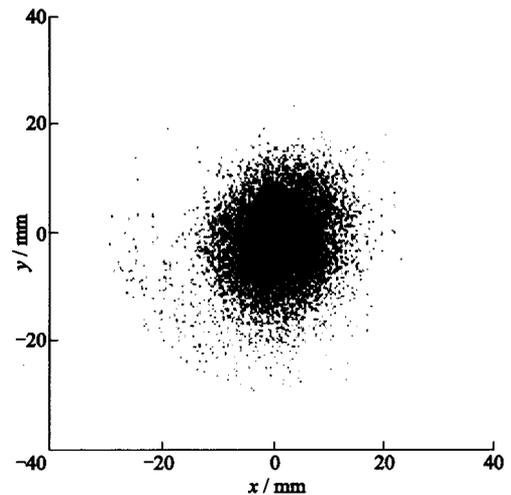


图 4 PPAC 测量的  $65 \text{ MeV/u } ^{18}\text{O}$  散布图

Fig. 4 Profile of  $65 \text{ MeV/u } ^{18}\text{O}$  measured with the PPAC in  $C_2$  of RIBLL

0 对应束流中心

### 3 结语

RIBLL 投入运行以来,成功地为几十项放射性束物理实验提供了数千小时的放射性次级束流,RIBLL 同时得到不断地改进和发展。束流光学系统的改进增强了 RIBLL 分析分离

RIB 的能力;束流诊断技术的改进不仅为 RIBLL 参数精细调整、改进 RIB 质量提供准确数据,指导调整方向,显示调整效果,节省调整时间,提高供束质量,而且,次级靶前 2 套 PPAC 测量的入射粒子位置分布数据,也是 RIB 物理实验准确确定 RIB 入射到次级靶的位置的重要数据。

在今后的运行中,RIBLL 还将不断改进和发展,如研制横向场气体电离室和多次取样电离室,提供  $A > 50$  放射性束流,研制  $T_2$  通用反应靶室,进行中重质量放射性束物理研究等。

#### 参考文献:

- [1] Zhan Wenlong, Guo Zhongyan, Liu Guanhua, et al. Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou[J]. Science in China (Series A), 1999, 42(5):529 ~ 536.
- [2] 詹文龙,郭忠言,刘冠华,等. RIBLL 的磁铁与电源[J]. 原子能科学技术,2000,34(1):1~7.
- [3] 孙志宇,詹文龙,郭忠言,等. 兰州放射性束流线(RIBLL)的控制系统[J]. 高能物理与核物理,1999,23(3):274~277.
- [4] 郭忠言,詹文龙,刘冠华,等. RIBLL 真空系统[J]. 真空,1988,161(3):22.
- [5] 江山红,詹文龙,郭忠言,等. 计算机控制在 RIBLL 束流诊断中的应用[J]. 核电子学与探测技术,1999,19(5):366~369.
- [6] 郭忠言,詹文龙,孙志宇,等. RIBLL 束流诊断[J]. 高能物理与核物理,1999,23(3):213~219.
- [7] 孙志宇,詹文龙,郭忠言,等. 光纤在 RIBLL 束流诊断中的应用[J]. 核技术,1999,22(8):482~487.
- [8] 秦礼军,詹文龙,郭忠言,等. 位置灵敏光电倍增管读出的 CsI(Tl) 探测器[J]. 高能物理与核物理,1999,23(7):629~635.
- [9] 王猛,郭忠言,詹文龙,等. 一个高性能平行板雪崩探测器[J]. 核技术(待发表).

## 催化空气污染控制

### Catalytic Air Pollution Control

著者 Tonald M. Heck 等。2002 年 John Wiley 出版社出版。

本书是一本有关商用催化系统的教科书兼参考书。这一系统当今正被用于减少由移动源和固定源排放的有害物质。与其它同类书不同的是,本书从实用的观点出发,介绍了现代催化空气污染控制技术,并简明扼要地讨论了各有关主题。

全书分 4 部分。第 1 部分介绍了催化剂、催化剂制备、表征、动力学和去活化的基本原理,意在使读者熟悉某些影响到工业与环境污染控制的催化作用的重要原理。第 2 部分讨论了催化系统在移动源排放控制中的应用,以及柴油氧化催化剂和高空飞行中飞机内臭氧的分解等。第 3 部分介绍了催化剂(其中包括挥发性有机化合物)的固定应用、氧化氮的还原、一氧化碳气体与碳氢化合物的氧化。最后一部分讨论了研究催化空气污染控制的方法,这些方法将极大地改变现有的用于环境控制的催化技术。

目次如下:

1. 基本原理 包括催化表征和催化剂去活化等内容;
2. 移动源 包括自动催化柴油机排放等内容;
3. 固定源 包括 NO 还原和挥发性有机化合物等内容;
4. 新兴技术 包括燃料电池和环境空气的洁净等内容。

摘自中国原子能科学研究院《科技信息》