

文章编号: 1007-4627(2005)01-0084-04

RIBLL 终端 LASCAR 闪烁体阵列探测器研制进展*

王金川¹, 肖国青¹, 郭忠言¹, 詹文龙¹, 徐治国¹, 祁辉荣¹, 陈志强²,
武丽杰¹, 丁先利¹, 徐珊珊¹, 孙志宇¹, 李加兴¹, 李琛¹,
高辉¹, 张力², 王猛¹, 胡正国¹, 陈立新¹

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 北京大学物理学院, 北京 100871)

摘要: 介绍了 RIBLL 终端 LASCAR 闪烁体阵列探测器的工作原理和结构特点. 描述了为满足放射性核束实验的要求而对阵列所作的重要改进. 给出了 LASCAR 构型优化改造的工作设想和实施步骤.

关键词: 闪烁体阵列探测器; 中子和带电粒子鉴别; 性能测试; PMT 阵列高压控制技术

中图分类号: O571.42; TL812 **文献标识码:** A

1 引言

自 1985 年 Tanihata 等^[1]在美国劳伦斯伯克利实验室(LBL)使用放射性次级束流实验以来, 放射性核物理已成为核科学最具活力的前沿研究领域之一. 目前, 世界上许多主要的核物理实验室先后都建立了各具特色的放射性束流装置, 核物理研究的重点逐渐由稳定核素向丰中子核和丰质子核乃至滴线核素转移. 在中子滴线核方面, 多中子结团的探测以及弱束缚中子结团系统的内在形成机制的研究近年来取得了令人瞩目的进展^[2, 3], 如法国 F. M. Marques 小组在束流强度为 100 particles/s 和 35 MeV/u ¹⁴Be 轰击 C 靶的实验中^[3], 通过和碎裂产物 ¹⁰Be 的符合测量, 成功地测到了 6 个 ⁴n 事件, 粗略推断 ⁴n 的反应截面 $\sigma(^4n) \approx 1$ mb. 这个实验结果尚待其它实验室独立实验的证实和检验.

为了满足中子滴线核多中子结团实验研究以及其它放射性束反应机制的研究要求, 我们对原 RIBLL 终端 LASCAR 闪烁体阵列探测器开展了硬件结构的改建和性能测试工作, 本文给出了此工作的一些重要进展以及今后的计划和展望.

2 RIBLL 终端 LASCAR 闪烁体探测器阵列

兰州重离子加速器放射性次级束流线(RIBLL)是弹核碎裂型(PF)中能重离子放射性束流装置^[4], 主要由 4 台二极磁铁(D₁₋₄)、16 台四极透镜(Q₁₋₁₆)及其它实验终端设备组成, 全长约 35 m. 为了在 RIBLL 终端尽可能全面地获得核反应的各种信息, 为 RIBLL 配套研制了 LASCAR 大面积带电粒子和中子闪烁体阵列探测器, 它位于 RIBLL T₂ 处. 设计目标是具有较大的立体角、好的时间分辨、一定的能量分辨和位置分辨能力, 为 RIB 次级反应机制深层次研究提供有效的探测手段. 如图 1 所示, 该阵列探测器是一个长为 3 m 的锥形腔体, 其一端(430 mm×200 mm)与 RIBLL 终端相接, 另一端(2 300 mm×1 200 mm)为 8 个闪烁体的单元阵列, 每单元之间的张角 11.4°, 整个闪烁体阵列覆盖 45° 夹角. 每个闪烁体探测单元(580 mm×580 mm)中, 紧靠腔体的内壁放置了一块厚 80 mm 的有机玻璃作为光导, BC-400 塑料闪烁体(500 mm×

收稿日期: 2004 - 08 - 31; 修改日期: 2004 - 08 - 16

* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(TG2000077401, TG2000077404); 国家自然科学基金资助项目(10221003); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目([2004]527)

作者简介: 王金川(1965-), 男(汉族), 河南禹州人, 副研究员, 硕士生导师, 从事放射性束物理研究;
E-mail: jinchuan.wang@impcas.ac.cn

500 mm×80 mm)和有机玻璃(光导)之间有一定的间隙,塑料闪烁体和光导的四周用黑色胶带包裹,保证光子尽可能全部被光电倍增管(PMT)收集.腔体外侧 100 mm 厚的光电倍增管光磁屏蔽低碳钢板上 7×7 个、直径为 64 mm 的圆孔,49 个 EMI 9214B PMT 就放在这些孔里. PMT 阵列工作电压的控制与监测由专用的计算机控制系统来完成^[5].

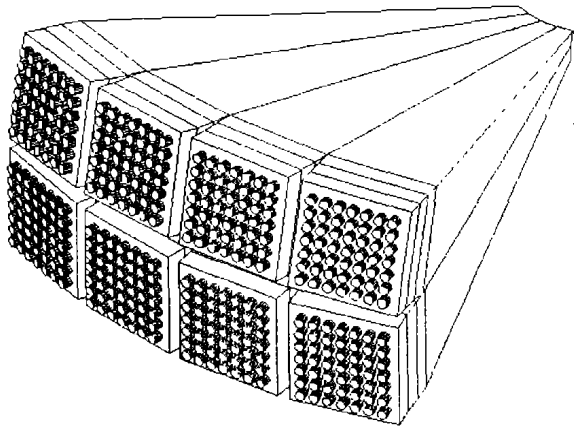


图 1 RIBLL 终端 LASCAR 大面积带电粒子和中子闪烁体阵列探测器示意图

3 研制进展及后续工作

3.1 RIBLL 终端 LASCAR 存在的问题

原 RIBLL 终端 LASCAR 阵列探测器存在的第一个问题主要集中在分立元件 PMT Base 和高压供电线路系统上. 闪烁体探测器的 PMT 阵列散热性不好, PMT 输出信号抗干扰能力差, 长期工作时信号不稳定, 产生畸变, 易打火, PMT 阵列高压供电系统无反馈控制, 掉电后无法恢复. 第二个问题是阵列闪烁体单元构型没有优化. 每一整块闪烁体(500 mm×500 mm×80 mm)由 49 个 PMT 按 7×7 的排列形式读出闪烁体中粒子激发产生的信号, 这种构型结构导致闪烁体阵列探测器的位置分辨降低, Cross-Talk 较严重. 有必要将整块 BC400 闪烁体切割成阵列形式, 让每一块切割后的晶体与 PMT 一一对应, 通过模拟计算找出优化的晶体阵列排列构型, 将 Cross-talk 降低到误差容许范围之内, 开展 LASCAR 多单元闪烁体阵列探测器硬件结构的优化改造和性能测试工作.

3.2 计算机控制多路高压控制系统的研制及 PMT 性能测试

针对 RIBLL 终端 LASCAR 阵列探测器存在的

分立元件 PMT Base 和高压供电线路系统的问题, 我们采用了北京滨松公司新型的 CC123 小型高压电源模块组件包来代替原分立元件的 PMT Base, 和专门研制的 PMT 阵列计算机多路高压控制系统结合起来解决这一问题.

CC123 小型高压电源模块组件将高压电源模块与分压器信号输出端子集成为一体, 外有屏蔽功能的筒状圆柱体金属外壳; +12 V 供电, 外接电压 0—+5 V 控制负高压的输出用于给 PMT 供电, 低漂移、低纹波, 典型值 0.01%; 低功耗; 和分压器合成一体化的结构使高压的干扰降到最小. 提高了器件的整体抗干扰性、可靠性、降低故障率、安装及维修方便.

PMT 阵列计算机多路高压控制系统的研制分两个阶段. 第一阶段计算机多路高压控制系统^[5]包括控制模块、接口模块、16 路 D/A 变换模块以及一个 LED 态显示控制模块等. 控制系统的软件包括基于单片机的本地控制单元软件和基于 PC 机的远程控制单元软件, 前者用汇编语言编写, 后者是在 Windows 2000 操作系统下, 基于 Visual C++ 6.0 平台开发的多线程程序. 软件程序结构清晰、实现容易、通信稳定、容错能力强. 此控制系统具有一些基本功能且运行状态稳定良好, 可以完成高压的平稳升降、长时间稳定保持的功能. 软件设计功能简单可靠. 所安装的 6 块 BC-408 闪烁体 294 路读出的 PMT 阵列探测器宇宙射线性能测试实验表明, PMT 输出信号的稳定性、信噪比、时间特性等比采用分立元件 PMT Base 时有显著改善. 信号的一致性良好、无畸变. 阵列原来存在的易打火、抗干扰能力差的缺陷基本消失. 72 h 无故障的实验测试表明, 阵列的长期工作稳定性良好. 第一阶段多路 PMT 高压控制系统的设计取得了初步成功.

但是此系统也存在一些不足, 硬件设计中未考虑对 CC123 高压监控端反馈信号的处理, 无其它高级功能, 如本地、远程监测控制; 灵敏有效的自我调节系统等, 电压控制的精度还可大幅度提高. 软件设计未达到友好的人机对话界面, 操作麻烦、单调, 功能简单. 因此有必要在此工作积累的基础上研制出低漂移、低纹波、低功耗和高精度的第二阶段高压控制系统.

第二阶段高压控制系统设计包括以下 4 个部分: 高压电源模块组件、高精度多路电压控制系统、

现场实时控制计算机系统及远程监测控制计算机系统。高精度多路电压控制系统由控制板、转接板、端子板和附件等组成，其中系统中每一块 16 路控制板单元由多路模拟开关、反相/滤波电路、ADC 电路、DAC 电路、LED 显示电路、单片机和 RS-485/TTL 转换电路等组成，有 16 路控制通道。现场实时控制计算机和远程监测控制计算机系统通过接口板和多个 16 路 AD/DA 控制器通信，从而通过对 16 路 AD/DA 控制器的控制实现对光电倍增管阵列高压的远程设置和监控。系统的软件设计包括控制单元的软件设计和远程控制的软件设计两大部分。这里限于篇幅不再一一赘述。

3.3 RIBLL 终端 LASCAR 闪烁体阵列探测器构型优化改造

针对阵列闪烁体单元构型优化问题，我们利用 GEANT4^[6] 对 LASCAR 8 块 BC400 闪烁体 (500 mm × 500 mm) 切隔成不同阵列单元排列构型的中子阵列探测器进行了初步的优化定型计算^[7]。计算结果显示，中子探测效率随着探测器闪烁体 BC400 厚度的增加而增加。闪烁体厚度的增加会导致时间分辨的变差，如图 2 所示，在闪烁体的厚度为 8 cm， $E_n = 15$ MeV 条件下，BC400 的时间分辨 (FWHM) 约为 1 ns 左右，中子探测效率为 32% 左右 (探测阈为 150 keV，电子等效能量)，基本满足实验需要。

对于探测器模块单元的中子位置分辨，我们考虑了几种不同的阵列 (1 × 1, 2 × 2, ..., 7 × 7)，发现随着阵列分的越细，位置分布越窄，就越能够给出更为精确的位置信息。因此有必要将整块 BC400 闪烁体 (500 mm × 500 mm) 切隔成阵列形式。

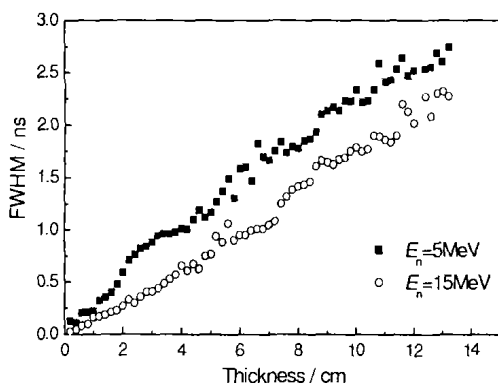


图 2 BC400 的时间分辨随厚度的变化

但是阵列式探测器不可避免的会遇到 cross-talk 问题，因此有必要对探测器阵列进行优化设计。图 3 给出了不同探测器阵列布局下 (阵列之间间距分别为 0, 0.6 和 1.0 cm)，中子以不同方式入射探测器阵列引起的 Cross-talk 情况：(a) 垂直入射到 (4, 4) 矩阵中心；(b) 以一定角度入射于 (4, 4) 矩阵的顶角；(c) 垂直入射于 (4, 4) 矩阵的顶角。可以看出，(a) 中 Cross-talk 的影响很小，而且各种布局形式差别不是很大；(b) 和 (c) 中阵列之间间距为 0 cm 时，Cross-talk 影响很大，随着间距变大，Cross-talk 影响逐渐变小，在间距为 1.0 cm 时，Cross-talk 事件是真实事件的 6% (b) 和 10% (c)，Cross-talk 的影响很小。

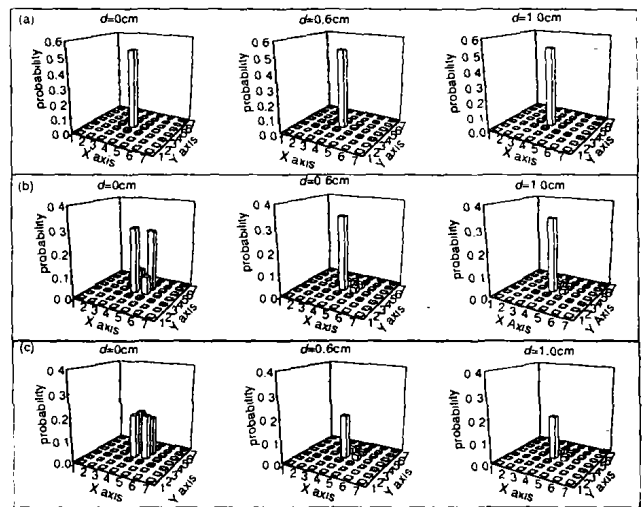


图 3 不同阵列式的 Cross-talk 情况

下一步我们将对上面初步的模拟计算结果进行更细致的讨论，改进程序后进一步计算出对闪烁体阵列探测器构型优化改造有指导意义的模拟结果。在此基础上完成 LASCAR 多单元中子闪烁体阵列探测器优化改造的设计方案，将 Cross-talk 降到误差容许范围以下，选择优化的探测器闪烁体单元构型，实施完成 LASCAR 多单元中子闪烁体阵列探测器优化改造。

4 总结和展望

随着 RIBLL 终端 LASCAR 闪烁体阵列探测器优化改造工作的陆续开展，LASCAR 闪烁体阵列探测器即将建成，将为放射性束物理的深层次反应机制和核结构的研究提供有效的实验探测手段。该阵列将具有较好的时间分辨、能量分辨和相应的位

置分辨能力, 可对带电粒子和出射的中子产物给出精确测量. 可为诸如中子滴线核多中子结团探测等

放射性束物理实验提供良好的实验平台.

参 考 文 献:

- [1] Tanihata I, Hamagaki H, Hashimoto O, *et al.* Phys Rev Lett, 1985, **55**: 2 676.
- [2] Steven C Pieper, Phys Rev Lett, 2003, **90**: 252501; Timofeyuk N. J Phys, 2003, **G29**: L9.
- [3] Orr N, Marqués F M, C R Physique, 2003, **4**: 451; Marqués F M, Labiche M, Orr N A, *et al.* Phys Rev, 2002, **C65**: 044006.
- [4] Zhan Wenlong, Guo Zhongyan, LIU Guanhua, *et al.* Science in China (Series A), 1999, **42**: 528.
- [5] 武丽杰, 王金川, 肖国青等. 核电子学与探测技术, 2004, 待发表.
- [6] Agostinelli S, Allison J, Amako k, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2003, **A506**: 250.
- [7] 陈志强, 叶沿林, 王金川等. 高能物理与物理, 2005, **29**(1): 72.

Progress for Development of LASCAR Scintillator Array Detector at RIBLL Terminal*

WANG Jin-chuan¹, XIAO Guo-qing¹, GUO Zhong-yan¹, ZHAN Wen-long¹, XU Zhi-guo¹,
 QI Hui-rong¹, CHEN Zhi-qiang², WU Li-jie¹, DING Xian-li¹, XU Hu-shan¹,
 SUN Zhi-yu¹, LI Jia-xing¹, LI Chen¹, GAO Hui¹, ZHANG Li²,
 WANG Meng¹, HU Zheng-guo¹, CHEN Li-xin¹

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

2 *School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: The principles and structure characteristics of LASCAR scintillator array detector at RIBLL terminal are described. Special emphases are laid upon the latest progress for the development of LASCAR array detector to meet the requirements of the RIB experiments. The working plan and steps for optimizing configuration of the LASCAR multi-unit neutron scintillator array detector are also presented.

Key words: scintillator array detector; neutron and charged particle identification; performance test; high voltage control technique

* **Foundation item:** Major State Basic Research Development Program(TG2000077401, TG2000077404); Science Fund for Creative Research Groups by Natural Science Foundation of China(10221003); Scientific Research Startup Fund for Returned Overseas Chinese Scholar by the Education Administration of China([2004]527)