

文章编号: 1007-4627(2019) 03-0343-08

一种基于 SiPM 的新型起始时间探测器研制

程泽辉^{1,2}, 余玉洪^{2,3,†}, 孙志宇^{2,3}, 孙亚洲^{2,3}, 王世陶^{2,3}, 唐述文^{2,3}, 陈俊岭², 章学恒^{2,3}, 方芳²,
闫铎², 孙宇^{1,2,3}, 张永杰^{1,2,3}, 杨海波², 刘相满^{2,4}, 何志轩^{1,2}, 李公平¹

- (1. 兰州大学核科学与技术学院, 兰州 730000;
2. 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000;
3. 中国科学院大学核科学与技术学院, 北京 100049;
4. 河南工业大学, 郑州 450001)

摘要: 本文介绍了一种新型起始时间探测器的研制。该探测器的灵敏面积为 $60\text{ mm} \times 60\text{ mm}$, 利用 120 根直径为 1 mm 的塑料闪烁光纤分成两层错位紧致排布, 且上下相邻的 3 根光纤作为一个探测单元, 每个探测单元均采用硅光电倍增管从双端读出信号。采用 ^{90}Sr 放射源对单根光纤进行了性能测试, 结果表明, 闪烁光沿着光纤方向的有效传播速度约为 17 cm/ns , 对应的时间分辨率优于 600 ps 。此外, 利用中国科学院近代物理研究所第二条放射性束流线 (RIBLL2) 提供的 240 MeV/u 的 ^{15}N 次级束研究了该探测器的性能。束流测试结果表明: 该探测器的时间分辨为 $(150 \pm 15)\text{ ps}$, 纵向位置分辨为 $(1.8 \pm 0.2)\text{ cm}$, 并且结合该探测器以及 RIBLL2 束流线外靶实验终端上的其他探测器, 可以对实验中产生的 $5 \leq Z \leq 8$ 的各种同位素进行非常好的粒子鉴别。

关键词: 起始时间探测器; 塑料闪烁光纤; 硅光电倍增管; 时间分辨; 位置分辨

中图分类号: O571.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.36.03.343

1 引言

自 20 世纪 80 年代 Tanihata 等^[1]首次使用放射性束流 (RIB) 以来, 放射性束物理已成为当今核科学最具活力的前沿领域之一。对放射性束物理的探索极大地丰富了可研究的弹靶体系, 借助新的束线及实验装置的支持, 人们对核结构的研究向远离稳定线方向极大地扩展。为了开展远离稳定线的原子核结构性质、非对称核物质状态方程以及极端重子密度下物质性质等研究, 中国科学院近代物理研究所在兰州重离子冷却储存环工程 (HIRFL-CSR) 中的第二条放射性束流线 (RIBLL2) 引出处建立了外靶实验终端^[2]。该实验终端通过一系列探测器如起始时间探测器、多丝漂移室 (MWDC)、TOF 墙及二极磁铁等联合提供的 $B\rho\text{-}\Delta E\text{-TOF}$ 信息实现次级反应产物的粒子鉴别、能量及位置等的测量, 从而进行多种物理研究^[3]。其中, 作为外靶实验终端中重要的组成部分之一, 起始时间探测器的主要作用有两个: 一是用于提供次级靶后所有物理事件的起始时间信息; 二是提供次级靶前的终止时间信息, 因此对起始时

间探测器的时间分辨率有较高的要求。起始时间探测器的位置靠近二极磁铁, 该处具有较强的磁场, 这要求起始时间探测器具有能够在较强磁场下正常工作的能力。此外, 对于某些物理实验, 如进行非对称核物质状态方程的研究时, 从 RIBLL2 传输过来的是主束, 其流强特别高, 因此, 要求起始时间探测器还应能承受较高的计数率。当前, 外靶实验终端的起始时间探测器采用了大块塑料闪烁体结合抗磁光电倍增管 (PMT) 读出的方案, 该方案虽然简单易行, 却存在以下不足之处: (1) 不能承受较高流强; (2) 普通的 PMT 易受到磁场的影响^[4], 需要采用价格昂贵的抗磁 PMT 读出; (3) 不能提供位置信息。结合外靶实验终端的需求, 起始时间探测器在具有高的时间分辨的同时, 还需要能承受高计数率以及具有好的位置分辨, 原有的起始时间探测器已无法满足相应需求, 因此需要进行技术升级。综合考虑后, 拟采用的方案是利用塑料闪烁光纤阵列结合硅光电倍增管 (SiPM) 读出。该方案的主要优点是采用光纤阵列分单元读出, 将同样大灵敏面积内的计数分摊到多个探测器通道, 相当于极大程度地提升了整个探测器能承受的

收稿日期: 2019-01-07; 修改日期: 2019-03-18

基金项目: 中国科学院重大科技基础设施开放研究项目; 国家自然科学基金资助项目 (U1832122, U1732134 和 11405242); 中国科学院青年创新促进会项目 (2015342)

作者简介: 程泽辉 (1993-), 男, 山西陵川人, 硕士研究生, 从事粒子物理与原子核物理研究, E-mail: chengzh16@lzu.edu.cn

† 通信作者: 余玉洪, E-mail: yuyuhong@impcas.ac.cn.

计数率。因此,采用本方案可以在保持高时间分辨的同时,还可以通过测量粒子击中探测器的位置,从而对束斑大小进行监测。另外,读出器件 SiPM 具有很多突出优点,如快速的时间响应、体积小、工作电压低、可以工作在磁场环境中及易于制成密闭性好的探测器等^[5]。与文献[6-8]中介绍的光纤阵列探测器相比,采用此方案的探测器在具备高性能的同时更容易做到小型化,进一步拓展了探测器的应用范围。因此,新型起始时间探测器的技术升级,对现有外靶实验终端实验装置性能的提升具有重要的参考意义。

本文将介绍一种新型起始时间探测器的结构,并通过对单根光纤的时间性能测试及探测器整机的束流测试,得到其对应的时间分辨、位置分辨、束斑结构等信息,并结合外靶实验终端的其他探测器提供的信息,得到其粒子鉴别能力和探测器的初步性能指标。

2 起始时间探测器的结构

研制的起始时间探测器结构示意图如图 1 所示,该探测器外框尺寸为 400 mm×250 mm×54 mm,根据功能从结构上可以划分为三部分。中间部分为主体部分,是探测器的灵敏区域,共有 120 根塑料闪烁光纤,每根光纤长度为 340 mm,横截面直径为 1 mm。为了减少电子学的读出通道数目,闪烁光纤以 3 根一组作为一个探测单元,每个单元两端采用 SiPM 与之耦合,因此共有 40 组光纤 80 个读出器件。同时为了消除探测器死区并保证较好的位置分辨能力,120 根光纤分布在两层,且两层光纤呈图 2 所示的错位紧致排布设计,该方式可以使探测器在光纤排布方向上拥有好于 1 mm 的位置分辨。两端部分分别为光纤机械支撑区和信号读出区,用于保证光纤形状的固定及读出器件信号的引出与供电。为了方便信号的引出和电源供给,两端侧壁共设计了 84 个 LEMO 端子,其中 80 个用于 SiPM 的信号引

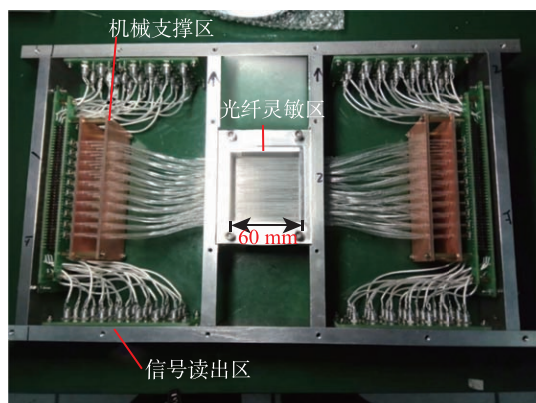


图 1 (在线彩图) 起始时间探测器实物图

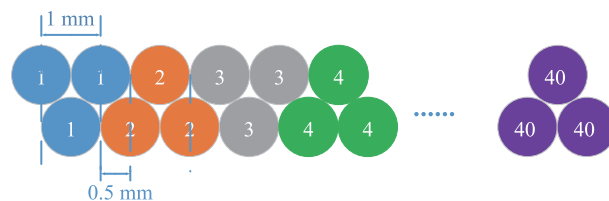


图 2 (在线彩图) 光纤排布方式示意图

出,另外四个用于 SiPM 的电源供给。此外,由于整个探测器是光敏的,需要进行避光。对于两端,通过在前设计机械面板即可,由于厚面板的存在,可以有效减少自然光及其他因素对结果的干扰;对于中间灵敏区域,其面积为 60 mm×60 mm,在避光的同时还需要尽量减少等效物质厚度,因此,采用了 10 μm 的铝膜粘接在中间的铝框边上以对灵敏区域进行避光。

3 塑料闪烁光纤时间特性研究

作为一种兼具射线探测和导光功能的材料,塑料闪烁光纤具有探测效率高、衰减长度长、响应时间快等特点。研制的起始时间探测器所采用的塑料闪烁光纤型号为 Kuraray SCSF-78J,该塑料闪烁光纤由两部分组成:核心部分(芯层)和表面涂层部分(包层)。其芯层部分材料为聚苯乙烯(polystyrene,简称 PS),折射率为 $n_1=1.59$,密度为 1.05 g/cm³;包层材料为聚甲基丙烯酸甲酯(polymethylmethacrylate,简称 PMMA),其折射率为 $n_2=1.49$,密度为 1.19 g/cm³,其余主要参数如表 1 所示^[9]。

表 1 塑料闪烁光纤参数

光纤直径	发射光子	发射光谱峰值	光子衰减时间	衰减长度
1 mm	蓝光	435 nm	2.8 ns	>4.0 m

对于起始时间探测器中关键的光电读出器 SiPM,所选择的型号为 Sensl MicroFC 30035,其灵敏区域面积为 3 mm×3 mm,主要特性见表 2^[10]。

表 2 SiPM 参数

像素点个数	光谱响应范围/nm	波长峰值/nm	典型增益	击穿电压/V
4 774	300~800	420	3.0×10^6	24.2~24.7

由于该起始时间探测器采用了模块化设计,即由多个相同的探测器单元组成,因此单根光纤性能的优劣直接影响了探测器的性能,需要对其主要性能参数,如光纤的时间分辨、位置分辨及传播速度等进行系统研究,该测试主要通过利用放射源完成。

3.1 实验测试方案

利用放射源对塑料闪烁光纤时间特性进行研究, 采取如下方案进行: 光纤的长度为 2 m, 放射源采用了 β 源 ^{90}Sr , 设计了准直铅块对其准直并固定使其成为直径 1 mm 的点源。为了保证在移动放射源时光纤的相对位置不变, 且不发生形变, 专门设计加工了专用测试模具。通过该定制模具专门设计的卡槽, 可以用于固定将放射源进行准直的铅块, 同时在光纤固定 V 型槽的槽底处每隔 5 cm 钻一个通孔, 这样便可以通过订制模具中的 V 型槽对被测光纤进行固定, 从而保证准直铅块在卡槽中来回移动时与测试光纤的相对位置不变。测试过程中, 将触发探测器固定在该通孔的下方, 并可以得到放射源在被测光纤的位置。触发探测器由塑料闪烁体耦合 PMT 组成, 其中塑料闪烁体的型号为 EJ-200, 几何尺寸为 1 cm×1 cm×1 cm, 由 ELJEN 公司提供。PMT 选用日本滨松公司的 R2248。此外, 为了提高光子在光纤端面与 SiPM 灵敏区域表面之间的传输效率, 光纤的端头需经过细致抛光并用硅脂进行光学耦合。塑料闪烁光纤测试装置示意图如图 3 所示。

塑料闪烁光纤时间特性研究的电子学框图如图 4 所示, 两个 SiPM 的原始信号经过前置放大器放大并反向

后, 送入恒比甄别器 (CFD), 甄别后的信号分别扇出成两路, 一路送入 CO4020 符合插件, 并与触发探测器甄别后的信号进行符合, 作为 TDC 的起始时间, 另一路经过延时送入 TDC 作为停止时间。出于起始时间探测器束流实验的考虑, 前放的放大倍数为 50 倍, 为中国科学院近代物理研究所核电子学课题组制作。同时, 采用示波器对信号进行监测, SiPM 输出信号经放大的信号波形谱图如图 5 所示。

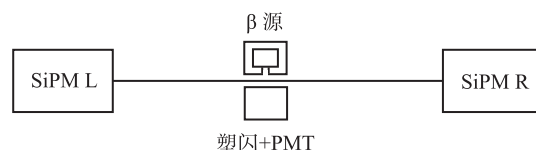


图 3 塑料闪烁光纤测试原理图

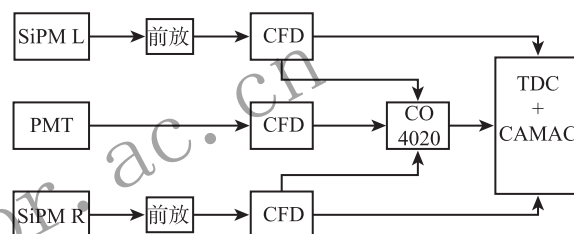


图 4 光纤时间特性研究的电子学框图

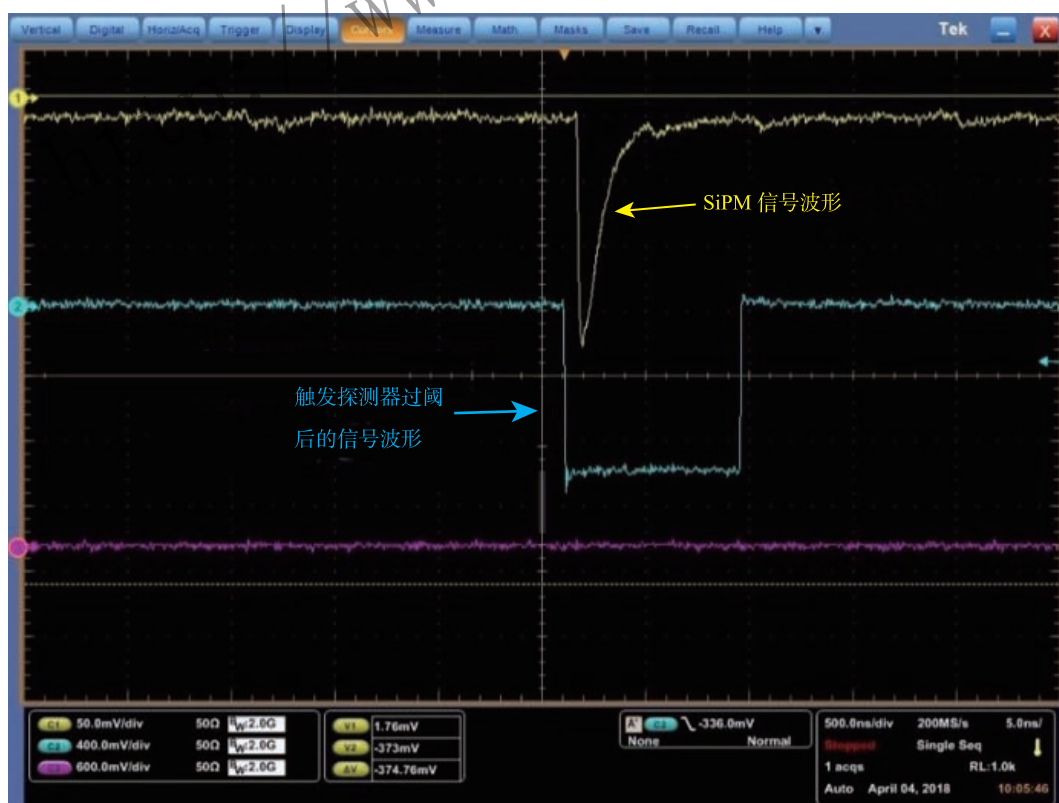


图 5 SiPM 信号波形谱

3.2 测试结果

3.2.1 测试方法介绍

设光纤的长度为 L ，带电粒子击中塑料闪烁光纤时，光的有效传播速度 v 可由粒子击中位置到达两端的距离差 ΔL 与产生的光子到达两端的时间差 ΔT 的比值来描述^[11]:

$$v = \frac{\Delta L}{\Delta T} \quad (1)$$

测试光纤的时间分辨时，为了减少偶然符合和噪声的影响，光纤采用双端读出。设 x 为 ^{90}Sr 放射源到光纤中点位置的距离，则 $\Delta L = 2x$ 。光子到达光纤两端的时间分别为 t_L 和 t_R 。则：

$$t_L = \frac{(L/2 - x)}{v} \quad (2)$$

$$t_R = \frac{(L/2 + x)}{v} \quad (3)$$

光子传输到光纤两端的时间差：

$$\Delta T = t_L - t_R = \frac{-2x}{v} \quad (4)$$

根据误差传递公式，光纤两端时间差的分辨：

$$\sigma_{\Delta T} = \frac{2\sigma_x}{v} \quad (5)$$

由两侧 SiPM 测得的时间分辨 σ_{t_L} 、 σ_{t_R} ，与光纤两端时间差的分辨 $\sigma_{\Delta T}$ 具有以下函数关系：

$$\sigma_{\Delta T}^2 = \sigma_{t_L}^2 + \sigma_{t_R}^2 \quad (6)$$

在理想状态下，左右两侧 SiPM 测得的时间分辨是相近的，对式 (6) 进行简化处理，可得光纤的时间分辨 σ_t ：

$$\sigma_t = \frac{\sigma_{\Delta T}}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

联立上述公式，可得光纤对应的位置分辨：

$$\sigma_x = \frac{\sigma_t \cdot v}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

3.2.2 测试结果与分析

在本次测试中，放射源沿单方向移动，对测得的时间差 ΔT 与距离差 ΔL 进行拟合，得到的结果如图 6 所示。根据拟合结果，光纤中光的传播速度约为 17 cm/ns。通过移动放射源的位置，得到不同放射源位置下光纤对应的时间分辨，如图 7 所示。根据放射源测试结果可以看出，单根光纤的时间分辨优于 600 ps，沿光纤方向对应的位置分辨优于 7.2 cm。且光纤的时间分辨随放射源位置的变化关系不明显。

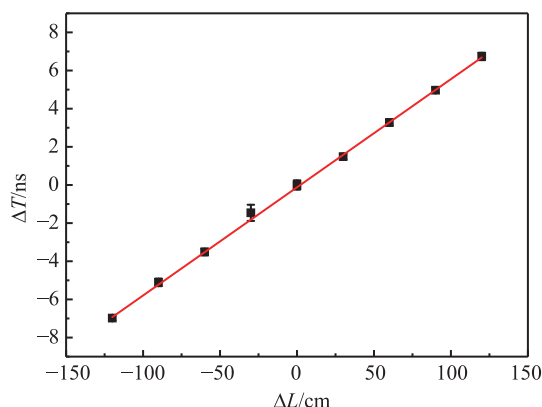


图 6 塑料闪烁光纤光的传播速度曲线

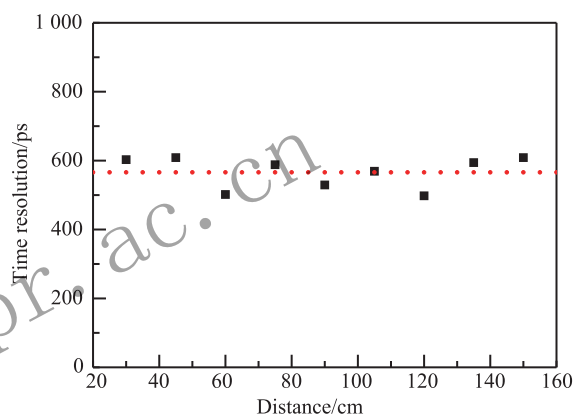


图 7 光纤时分辨与放射源位置的变化曲线

4 起始时间探测器在束测试

为了进一步研究起始时间探测器的性能，利用 RIBLL2 提供的 240 MeV/u 的 ^{15}N 次级束进行在束测试。起始时间探测器的放置位置如图 8 所示，将其置于次级靶前。实验中，将起始时间探测器的读出电子学及获取系统集成于外靶实验终端探测器原有的基于 PXI6U 标准开发的系统中^[12-13]，这样可以结合次级靶前及靶后的其余探测器进行性能综合评估。实验中起始时间探测器所采用的读出电子学是基于外靶中子墙探测器和 TOF 墙探测器的需求开发的，核心芯片为 CERN 提供的 HPTDC，能同时对时间和电荷进行测量，其中，时间测量是通过测量有效触发信号的击中时刻来实现，其分辨可以高达 25 ps，而电荷测量则通过采用过阈时间 (Timeover Threshold, TOT) 的方式实现，即探测器输出的原始信号经过阈值固定的前沿甄别器后，得到相应的输出脉冲，其对应的脉冲宽度就是过阈时间，该时间值与信号的幅度呈正相关。每个电子学模块可以进行 16 路输入信号的处理，因此实验中共采用了 5 个电子学测量模块^[13]。

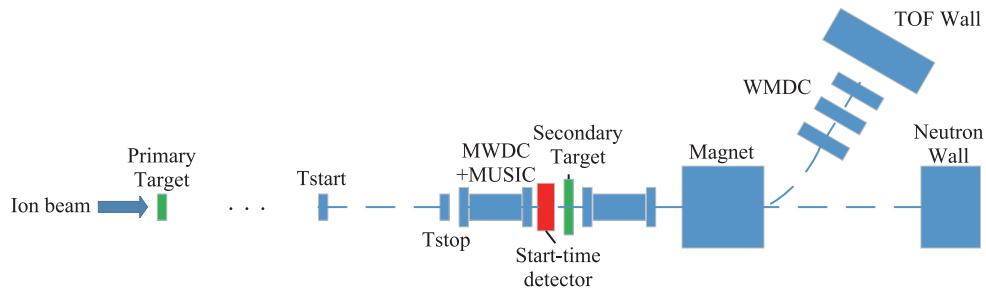


图8 在束测试示意图

为了进行次级靶前的粒子鉴别, 本文选用塑料闪烁体探测器(图8中的 Tstop) 提供的时间信息作为起始时间, 该原理样机的时间信息作为停止时间, 结合靶前的多次采样电离室(MUSIC) 提供靶前粒子的能损信息, 得到次级靶前的 ΔE -TOF 二维谱。粒子鉴别结果如图9所示。可以看出, 结合该原理样机提供的时间信息, 能很好地对次级靶前 $5 \leq Z \leq 8$ 的各种同位素进行鉴别。

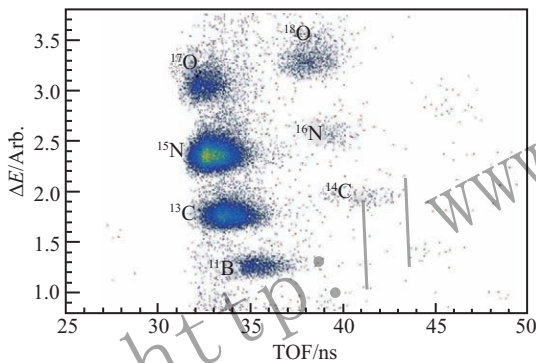


图9 靶前粒子鉴别谱

我们选择 ^{15}N 核素进行时间性能的分析。在进行粒子种类选择后, 为了得到起始时间探测器的时间性能, 需要对击中探测器的多重性进行分析, 这是因为探测器的单元呈错位排布, 因此对于同一种入射粒子, 有可能出现一个粒子击中一个、两个乃至多个单元条的情况, 造成探测器的多重性不为一, 多重性的测试分析结果如

图10所示。

根据图10可以得出, 入射粒子击中一组闪烁光纤和同时击中两组闪烁光纤所占的比例为99%以上。对多重性为2的事例进行进一步分析, 得到多重性为2的事例主要是入射粒子击中相邻的两组闪烁光纤, 原因是该起始时间探测器是采用3根光纤组成一组即一个探测单元, 而每根光纤与相邻光纤都是呈相切排列, 这样便使得两组相邻光纤间存在探测区域重叠, 从而导致粒子同时击中相邻的两个单元。在后续探测器的性能分析中, 选取探测器多重性为1的事例进行分析。由于读出电子学模块中所采用的甄别器为前沿甄别器, 其时间性能受信号的幅度影响, 可以通过得到的过阈时间 TOT 进行时幅修正, 采用的修正公式如下^[14]:

$$dt = \text{par}_0 + \frac{\text{par}_1}{\sqrt{\text{TOT}}} + \frac{\text{par}_2}{\text{TOT}} + \frac{\text{par}_3}{(\sqrt{\text{TOT}} \times \text{TOT})} + \frac{\text{par}_4}{\text{TOT}^2}, \quad (9)$$

式中: dt 为粒子到达起始时间探测器的时间; TOT 为探测器探测的信号过阈时间; par 为拟合参数。起始时间探测器单元条时幅修正前后的示意图及对于时幅修正前后粒子飞行时间谱的结果如图11所示。

从图11中可以看出, 入射粒子到达起始时间探测器的时间与过阈时间呈单调递减的关系, 这是因为 TOT 的大小与信号幅度正相关, 当入射粒子在探测器中产生的信号幅度较大时, 其信号前沿很快达到阈值

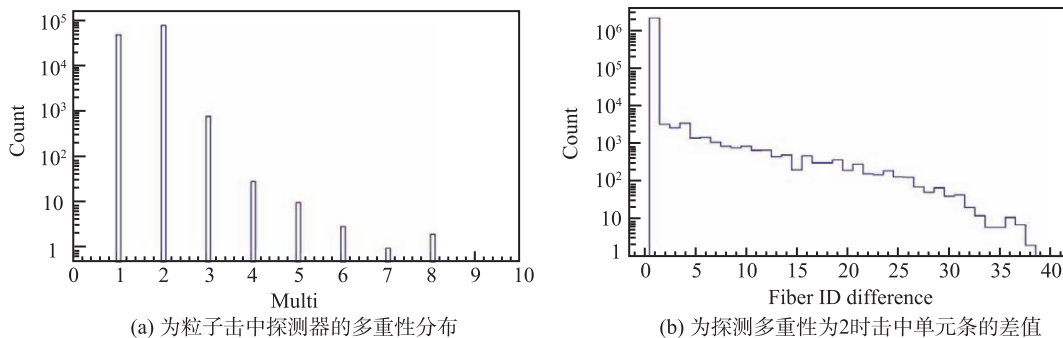


图10 起始时间探测器多重性测试图

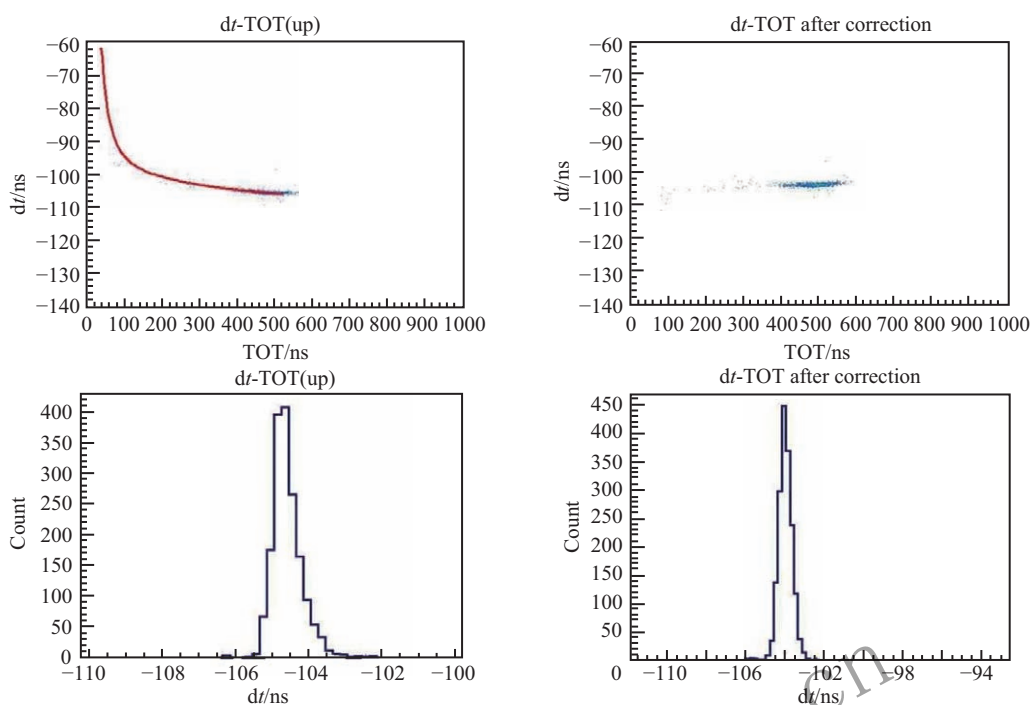


图 11 粒子飞行时间与过阈时间二维谱

大小, 即过阈时刻受幅度影响较小, 意味着对应到达的时间变小。通过将 dt -TOT 二维谱修正, 消除幅度对粒子飞行时间的影响后, 对修正前后的粒子飞行时间谱进行比较, 可以得到, 经过时幅修正后粒子飞行时间谱为高斯分布, 且飞行时间的分辨具有明显改善。

对起始时间探测器每一根单元条双端进行仔细的时幅修正, 得到单元条上下两端所记录的粒子飞行时间 dt_{up} 、 dt_{down} 。选取击中每一根单元条中心位置的粒子, 以消除束流击中单元条位置不同对其时间分辨的影响, 对每一根单元条上符合约束条件的事例作时间差谱, 得到的起始时间探测器时间分辨如图 12 所示。可以得到, 起始时间探测器的时间分辨为 (150 ± 15) ps, 根据式 (8) 可得, 沿着光纤方向上, 起始时间探测器对应的位置分辨为 (1.8 ± 0.2) cm。

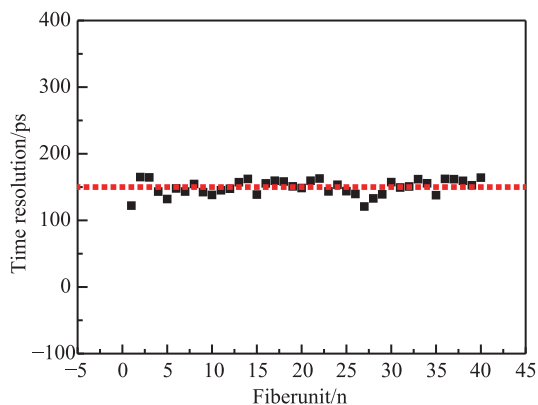


图 12 探测器时间分辨

与放射源 ^{90}Sr 的测试结果相比, ^{15}N 束流的测试结果要好很多, 造成两者差异的主要原因有以下几个方面: 首先, 由于束流采用 240 MeV/u 的 ^{15}N 次级束, 在光纤中产生的光子总数比放射源测试时要多很多, 这是导致 ^{15}N 束流测试结果明显好于放射源测试结果的主要原因; 其次, ^{15}N 次级束能量较为固定, 在光纤中产生的光子数统计涨落较小, 而 ^{90}Sr 由于发射电子的能量是连续的, 在光纤中的能损展宽较大, 产生的光子数统计涨落大, 从而影响了探测器的时间性能; 此外, 采用放射源对光纤进行时间性能测试时, 光纤的长度较长, 传播到 SiPM 灵敏区域表面的光子数较少, 这也是导致两者时间分辨差异的原因。

作为原有起始时间探测器的升级方案, 该探测器可以提供束流击中单元条的位置信息。根据探测器所有单元条两侧 SiPM 提供的时间信息、已确定的光纤中光的传播速度及探测器中光纤的总长度等参量值, 对位置信息进行重构, 可以得到束流击中探测器单元条上对应的纵向位置, 从而得到束斑的轮廓。将起始时间探测器位置重构的结果与放置于探测器前的 MWDC 测量结果进行比较, 结果见图 13。根据离线分析, 在沿着光纤的方向, 起始时间探测器重建的束斑发散程度要明显大于紧挨着的 MWDC 的重构结果, 这是因为起始时间沿该方向的位置分辨要比测试中采用的 MWDC 差, 且由于束斑较大, 起始时间探测器灵敏区域小于束斑面积, 束流击中探测器边框发生散射, 从而对探测器的位置分辨造

成影响。由于探测器灵敏区域尺寸原因, 仅能重构束斑部分结构, 但是, 粗略来看二者轮廓及束斑中心位置相符, 这证明了该起始时间探测器可以用于监测束斑的大小和结构, 在束流的调试过程中有一定的指导意义。另外, 其得到的位置信息也可以用于进一步的粒子径迹信息重构。

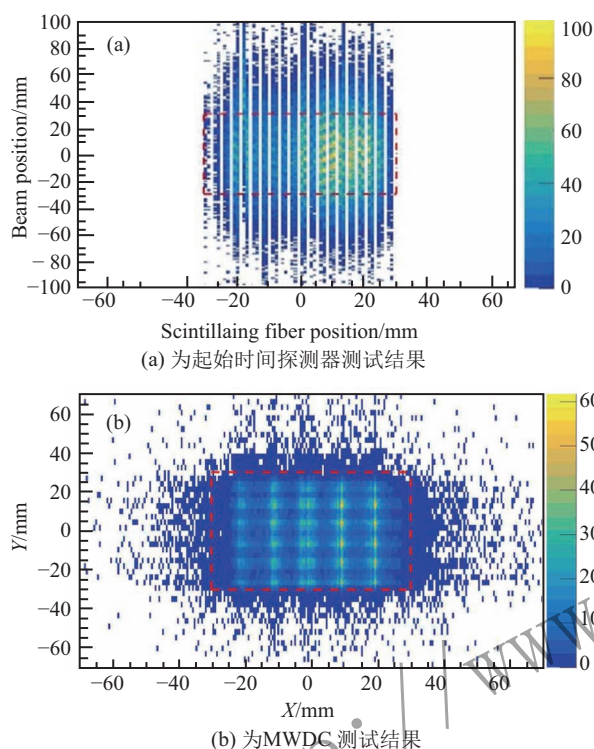


图 13 束斑位置实验测试示意图

5 结果讨论

本文研制了一种新型的起始时间探测器, 并采用放射源对单根光纤进行了时间性能的研究, 为了进一步验证该探测器的性能, 采用 RIBLL2 提供的 240 MeV/u 的 ^{15}N 次级束, 对研制的起始时间探测器进行束测试。利用 ^{90}Sr 放射源测得闪烁光沿光纤方向的传播速度约为 17 cm/ns, 时间分辨率优于 600 ps。束流测试中, 通过结合 MUSIC 获取的能量信息, 可以得到清晰的靶前粒子鉴别谱; 在经过对其多重性分析、时幅修正等步骤处理后, 得到起始时间探测器时间分辨为 (150 ± 15) ps, 沿光纤方向的位置分辨为 (1.8 ± 0.2) cm。另外, 采用该探测器对束流的束斑进行重构, 得到了较为清晰的束斑结构。对于研制的起始时间探测器原理样机, 其时间分辨 σ 的影响可以通过以下关系式进行分析:

$$\sigma^2 = \sigma_e^2 + \frac{\sigma_1^2}{N}, \quad (10)$$

其中: σ_e 为来自电子学的时间分辨; σ_1 为 SiPM 器件

的单光子时间分辨; N 为 SiPM 器件上接收到的光子数。根据实验中采用的 TDC 精度, 电子学的时间分辨率好于 50 ps, 对探测器时间性能的影响较小; SiPM 的单光子时间分辨率由 SiPM 器件本身以及其读出电路的时间响应速度决定, 一般可达 100 ps^[10]。对整个探测器的时间分辨影响最大的因素主要取决于 SiPM 上接受到的光子数目^[8]。考虑到 SiPM 上接受到的光子数目是由原初产生的光子数以及在闪烁光纤中的衰减程度共同决定的, 因此, 提高粒子在光纤中的能损、控制光纤的长度、选择更长衰减长度的光纤均可以有效增加探测器的时间分辨。此外, 选择更小接收角的光纤可以减小光传播时的时间涨落, 对其时间分辨也会有一定改善^[15]。

在后期的研究中, 可以选用快速响应的前放以提高探测器的时间分辨; 同时, 由于次级束流的束斑较大, 所研制的探测器灵敏面积需要进一步拓展, 使其更具通用性; 另外, 进行光纤逐条读出与采用横竖交叉二维构型设计, 都可以作为下一步外靶同类型探测器改进方案的参考。

参考文献:

- [1] TANIHATA I, HAMAGAKI H, HASHIMOTO O, *et al.* *Physical Review Letters*, 1985, **55**(24): 1.
- [2] XIA J W, ZHAN W L, WEI B W, *et al.* *Nucl Instr and Meth A*, 2002, **488**(1-2): 11.
- [3] YU Yuhong. Development of Construction Fast Plastic Scintillator Detector Array for External Target Experiment at CSRM[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2009: 8. (in Chinese)
(余玉洪. CSRM 外靶实验装置中快塑料闪烁体阵列型探测器研制[D]. 北京: 中国科学院大学, 2009: 8)
- [4] WU Xingjian, WU Jinhong. *International Electronic Elements*, 2001, **8**: 16. (in Chinese)
(武兴建, 吴金宏. 国外电子元器件, 2001, **8**: 16.)
- [5] RISIGO F, BULGHERONI A, CACCIA M, *et al.* *Nucl Instr and Meth A*, 2009, **607**(1): 75.
- [6] GAO Qi, GAO Hui, XIAO Guoqing, *et al.* *Atomic Energy Science and Technology*, 2007, **41**(6): 746. (in Chinese)
(高启, 高辉, 肖国青, 等. 原子能科学技术, 2007, **41**(6): 746)
- [7] LI Chen, ZHAN Wenlong, XIAO Guoqing, *et al.* *Nuclear Techniques*, 2005, **28**(10): 799. (in Chinese)
(李琛, 詹文龙, 肖国青, 等. 核技术, 2005, **28**(10): 799)
- [8] GAO Qi, XIAO Guoqing, WANG Jiansong, *et al.* *Atomic Energy Science and Technology*, 2009, **43**(1): 85. (in Chinese)
(高启, 肖国青, 王建松, 等. 原子能科学技术, 2009, **43**(1): 85)
- [9] <http://kuraraypsf.jp/psf/sf.html>.
- [10] <http://www.sensl.com>.
- [11] CHI Shaopeng, XIA Xiaomi, ZHOU Li, *et al.* *High Energy Physics and Nuclear Physics*. 2003, **27**(3): 260. (in Chinese)

- (迟少鹏, 夏小米, 周莉, 等. 高能物理与核物理, 2003, **27**(3): 260)
- [12] SUN Y Z, SUN Z Y, WANG S T, *et al.* *Nucl Instr and Meth A*, 2018, **894**: 73.
- [13] ZHOU Jiawen. The Research and Design on the Pre-research readout electronics system of the External experiment in CSR[D]. HeFei: University of Science and Technology of China, 2012: 15. (in Chinese)
- (周家稳. CSR 外靶实验读出电子学预研系统设计[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2012: 15)
- [14] RUAN Lijuan. Pion, Kaon, Proton and Antiproton Spectra in d+Au and p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV at the Relativistic Heavy Ion Collider[D]. HeFei: University of Science and Technology of China, 2005: 38.
- [15] KUHLEN M, MOSZYNSKI M, STROYNOWSKI R. *Nucl Instr and Meth A*. 1991, **301**: 223.

Development of a New-typed Start-time Detector Based on SiPM

CHENG Zehui^{1,2}, YU Yuhong^{2,3,†}, SUN Zhiyu^{2,3}, SUN Yazhou^{2,3}, WANG Shitao^{2,3}, TANG Shuwen^{2,3},
CHEN Junling², ZHANG Xueheng^{2,3}, FANG Fang², YAN Duo², SUN Yu^{1,2,3}, ZHANG Yongjie^{1,2,3},
YANG Haibo², LIU Xiangman^{2,4}, HE Zhixuan^{1,2}, LI Gongping¹

(1. School of Nuclear Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

3. School of Nuclear Science and Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In this paper, a new type of start-time detector is developed. The sensitive area of the detector is 60 mm×60 mm, which is divided into two layers of dislocation tightly arranged by 120 plastic scintillating fibers with a diameter of 1mm, and three adjacent fibers are used as one detecting unit that uses the silicon photomultiplier to read signals. The work uses ⁹⁰Sr radiation source to test the performance of a single scintillating fiber, the results show that the propagation speed of light in the fiber is about 17 cm/ns, and the corresponding time resolution is better than 600 ps. Besides the test using ⁹⁰Sr source, the detector's performance has also been inspected through the ¹⁵N secondary beam of 240 MeV/u provided by the second radioactive beam line at Lanzhou (RIBLL2) of Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences. The in-beam test results show that the time resolution and vertical position resolution of the detector are (150±15) ps and (1.8±0.2) cm respectively. Combined with the detector and other detectors on the RIBLL2 External Target Facility, various isotope particles of $5 \leq Z \leq 8$ generated in the experiment can be well identified.

Key words: start-time detector; plastic scintillating fiber; silicon photomultiplier; time resolution; position resolution

Received date: 7 Jan. 2019; **Revised date:** 18 Mar. 2019

Foundation item: Open Research Project of CAS Large Research Infrastructures; National Natural Science Foundation of China (11405242, U1832122 and U1732134); Youth Innovation Promotion Association of the Chinese Academy of Science(2015342)

† **Corresponding author:** YU Yuhong, E-mail: yuyuhong@impcas.ac.cn.