

四输出闪烁描述仪的时间定位方法

郑志鹏 荣刚

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

利用四输出闪烁描述仪(50cm × 50cm × 0.5cm)输出信号的时间关系得到粒子的二维定位, 获得了140—360ps的时间分辨率(标准偏差), 相应于位置分辨率(标准偏差)为2—5cm.

一、引 言

塑料闪烁计数器具有上升时间快(几个毫微秒); 允许计数率高(10^7 /秒); 对带电粒子探测效率高(接近百分之百)等优点. 在利用这些优点的同时, 常需要一定的位置精度(例如几个厘米), 从而制成闪烁描述仪.

1975年, W. K. H. Schmidt 等人^[1] 在一米见方的闪烁计数器四个角上配置光电倍增管, 利用其输出脉冲幅度分析得到粒子的二维定位. 他们获得了对单个带电粒子位置分辨率(标准偏差)为7—14cm的结果.

我们于1981年用国产闪烁体(ST401)与光电倍增管(GDB-50)制备了一块50cm见方的闪烁描述仪, 利用四个光电倍增管输出脉冲幅度的信息, 获得了对单个带电粒子位置分辨率(标准偏差)为2—4cm^[2].

本文讨论了利用该块闪烁描述仪, 通过四个光电倍增管输出脉冲时间的关系来定位, 位置分辨率为2—5cm. 时间法与幅度法定位精度相近, 但时间与位置有较好的线性关系; 稳定性、对称性更好; 传输时间与带电粒子的电荷、能量无关; 数据处理也比较简单, 因而时间法比之幅度法有较大的优越性. 至今为止, 尚未见国外有报道在两维定位中使用时间法.

二、描述仪的结构和标定

描述仪的结构如图1所示, 面积为 $50 \times 50\text{cm}^2$ (厚0.5cm), 闪烁体为ST401型; 光导为扭曲条

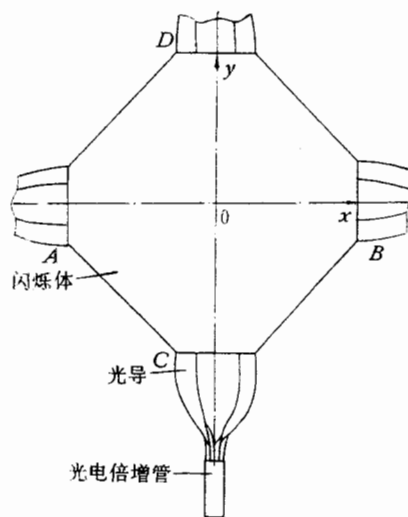


图1 描述仪的结构

形状；光电倍增管使用过两种型号：GDB-50 和 $xp2020$ ，后者有更好的时间特性。

为了得到传输时间和位置的关系，采用了如图 2 的装置。光电倍增管输出接恒比定时甄别器 CFD，以减少幅度对时间的影响，经甄别、成形后延迟一定时间（15ns 左右），作为时间-幅度变换器 TAC 的终止信号（CFD 及 TAC 都是高能所电子车间生产）。TAC 输出接 1024 道脉冲幅度分析器（FH451）。起始信号由一小闪烁计数器 M 给出，闪烁体（NE102A）尺寸为 $4 \times 8 \times 0.5 \text{cm}^3$ ，光电倍增管为 $xp2020$ 。其输出经恒比定时甄别器作 TAC 的起始信号。一个 100 微居的 $^{106}\text{Ru}\beta$ 源经准直后放在 M 的上面，一起移动，置于描述仪上方的不同位置上，每隔五厘米测量一次，分别测出自该位置光传输到 A 、 B 、 C 、 D 四端的时间（从多道时间谱的峰值得到）。这样就可以绘出每端的等时线图，如图 3。

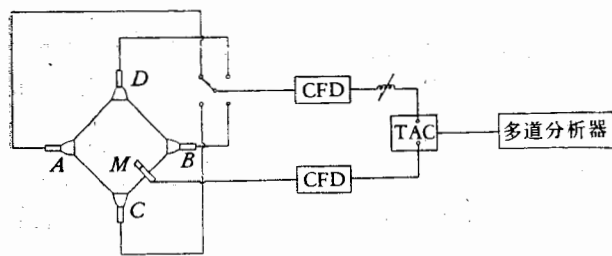


图 2 时间测量线路

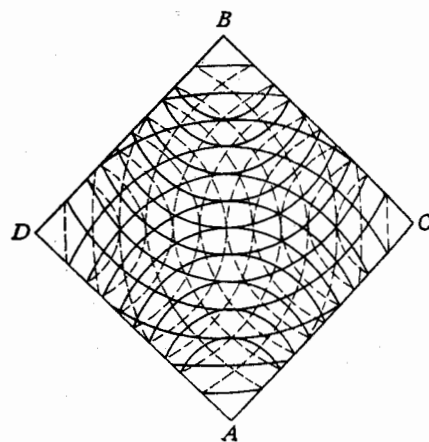


图 3 等时线分布（每相邻一组等时线的时间间隔相同）

等时线表示在线上任一点到该端（闪烁体、光导交界）的光传输时间相等。等时线不是一组理想的圆而呈椭圆形，这是由于两侧光反射次数增加而使观测到的光传播速度变慢的原因。从图 3 还可以看出，沿等时线的法线方向，时间与位置有较好的线性关系，这就使得在任一时刻的等时线很容易用插值法求到。 A 、 B 、 C 、 D 四端等时线十分对称，这是因为闪烁体、光导的光学性能均匀、对称。这些条件都给今后计算机在线实验提供了方便。

三、位置的确定与位置分辨

带电粒子击中描述仪，给出传输到四端的时间信息，可以按下列方法分析出粒子击中的位置：

1. 起始信号由加速器束流（如对撞机碰撞信号）或另一闪烁计数器给出，那么就可以直接利用描述仪等时线的交点而定出位置（等时线函数事先存入计算机中）。可以利用对角（ A 、 B 或 C 、 D ）等时线交点为主（一组等时线有两个交点），以侧面一端为辅（确定两个交点中的一个）。也可以用相邻一对等时线交点为主，对角的一端为辅。总之，用三

端的信号即可唯一确定出位置。

2. 起始信号由自己给出, 分别记下两对角端的时间差而由预先测定好的等差线交点来求出位置。图 4 给出等差线图(可由等时线图得到), 等差线表示其上任一点到相应对角两端光传输时间相等。如图所示, 等差线分布也是十分对称的。等差线近似于双曲线(若等时线为圆, 等差线才是理想的双曲线)。这种方法不需再用一闪烁计数器给出起始信号。

以上两种方法, 都可以得到时间-位置的一一对应关系, 解是唯一的。

位置的不确定性是由时间的不确定性造成的, 因此定位精度即位置分辨率是由时间分辨率决定的。考虑一维的位置分辨率 σ_L 与相应的时间分辨率 σ_t 有如下关系:

$$\sigma_L = \sigma_t \cdot v \tag{1}$$

其中 v 为光在描述仪中传播的速度。

σ_t 可由时间谱的半高宽 (FWHM) 给出:

$$\sigma_t = \frac{FWHM}{2.36}$$

图 5 绘出了 σ_t 沿 AB 对角线方向的分布(取闪烁体、光导交界处为位置零点), 下面的曲线相应于 xp2020 光电倍增管(高压 2200V, 甄别阈 200mV); 上面的曲线相应于

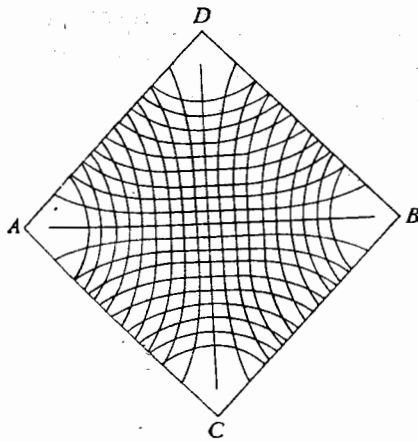


图 4 等差线分布

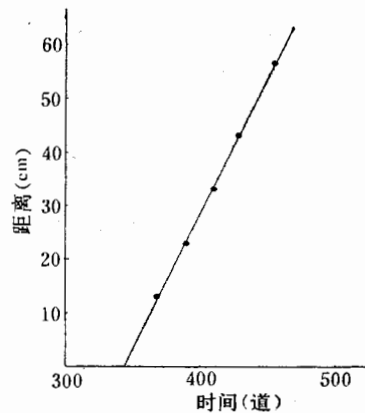


图 5 AB 对角线上时间分辨率(位置分辨率)随距离的变化。

GDB-50 (高压 1750V, 甄别阈 200mV)。对应 xp2020, 近端 $\sigma_t = 140\text{ps}$, 中间位置为 200ps 左右, 远端为 360ps。

时间分辨率随距离增加而变坏的原因一是光子数的衰减, 使统计涨落变大; 二是幅度分布变宽, 带来了更大的时间移动。在最端点 σ_t 反到变好, 是因界面光反射增强的原因。

除了边缘一、两个厘米地方以外, 对角线以外的面积的时间分辨率基本按等时线分布。

图 6 给出 A 端沿 AB 对角线距离与光传播时间的

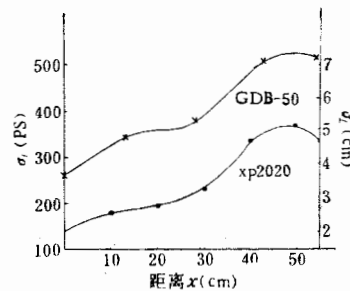


图 6 光传播时间与距离的关系

定), 闪别置 B、3.

1等

寸线不速度变, 这就, 这是供了方

子击中

就可以利用对辅(确定之, 用三

关系,这是一条很好的直线,直线的斜率就是光在闪烁体中的传播速度 $v = 14.0\text{cm/ns}$. 将此值代入(1)式,可得位置分辨率,列在图5右侧纵坐标上. 在0—30cm的范围内,位置分辨率为2—3cm,40cm以后为4—5cm.

在其它B、C、D三端,沿对角线方向光的传播速度分别为13.9cm/ns; 14.3cm/ns; 13.9cm/ns.

上述讨论的情况中, σ_t 表示描述仪本身的时间分辨率(已扣除M闪烁计数器的贡献). 因此在实际使用中,若起始信号由另一个闪烁计数器(或加速器束流)给出,其时间分辨率为 σ_{t_0} , 则系统的时间分辨率为:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_{t_0}^2} \quad (2)$$

为了得到好的时间分辨,应尽可能减小 σ_{t_0} .

当由对角时间差方法定位时,AB对角时间分辨率 σ_{TAB} 有如下关系:

$$\sigma_{TAB} = \sqrt{\sigma_{t_A}^2 + \sigma_{t_B}^2} \quad (3)$$

其中 σ_{t_A} 、 σ_{t_B} 分别相应于A、B端的时间分辨率. 同样对C、D对角有:

$$\sigma_{TCD} = \sqrt{\sigma_{t_C}^2 + \sigma_{t_D}^2}$$

上面讨论的皆指对单个带电粒子的时间分辨率情况,而对带电粒子束流,可以由多个粒子的时间谱峰值来定位,因而将有更好的定位精度. 定位精度取决于描述仪(包括电子学系统)的长期稳定性以及峰值能定多准? 我们测试了描述仪(包括全部电子学系统)在12小时内时间漂移小于一道(37ps); 在时间分辨率不太坏的情况下,不难把峰值定准,误差小于一或两道. 因此束流的位置分辨率可以达到几毫米到一厘米左右.

参 考 文 献

- [1] W. K. H. Schmidt et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **123**(1975), 333.
 [2] 郑志鹏等, *高能物理与核物理*, **6**(1982), 678.

THE TIME-METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE POSITION IN THE FOUR OUTPUTS SCINTILLATION HODOSCOPE

ZHENG ZHI-PENG RONG GANG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Using the relation of time of four outputs in the scintillation hodoscope ($50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 0.5\text{cm}$), the position of incident particles is determined.

The time resolution $\sigma_t = 140\text{—}360\text{ps}$ (correspondingly the position resolution $\sigma_x = 2\text{—}5\text{cm}$) has been obtained.

法
模
SSI
模
叠
La
型
场
可
同
Bac
Bré
比
论
中