

Mark-J 探测装置的计数器监测系统

郑志鹏

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

我们建立了一组氙闪光管-光导纤维装置,作为 Mark-J 探测装置的计数器监测系统,监测 208 个光电倍增管的输出,可以随时校正计数器的脉冲输出幅度,并给出计数器系统间的时间关系。

由于引入了参考管系统,改善了系统的稳定性,提高了测量精度 ($\pm 1\%$),经过长期的运转,证明性能良好,稳定可靠。

一、引 言

在高能物理实验中,通常采用大量的闪烁计数器。在长期运转中要了解它们的工作状况,监测其脉冲输出幅度是一项十分重要的任务,这就要由一监测系统来完成。发光二极管是一种普遍使用的监测光源之一,其优点是结构简单,价格便宜。但缺点是温度效应大;本身的变化无从监视。而氙闪光管-光导纤维装置则克服了这些缺点。它的温度效应较小,本身变化可监视(当引入参考管系统后),工作稳定可靠。在 Mark-J 探测装置使用过程中充分显示了这些优点。

Mark-J 是在 PETRA 正负电子对撞机上工作的大型谱仪。两年来在其上做的主要

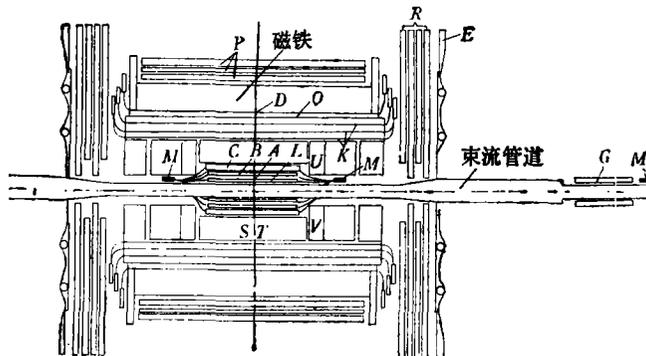


图1 Mark-J 谱仪剖视图

M: 计数器监测系统 L: 有机玻璃契伦科夫计数器 A, B, C: 电磁量能器 G: 铅玻璃计数器 D, E: 能发计数器 K: 强子量能器 S, T, U, V, Q, P, R: 漂移室

物理工作为：发现三喷注事例，找到胶子存在的实验证据；测定强相互作用耦合常数 α_s ；测量强子终态产生截面与 μ 对产生截面之比值 R ；检验量子电动力学等。图 1 给出了 Mark-J 谱仪的剖视图。其内探测器是由 36 个有机玻璃契伦科夫计数器（图中标注 L ，1979 年下半年换为漂移管）；20 个 A 计数器；24 个 B 计数器及 16 个 C 计数器组成（ A 、 B 、 C 皆为电磁量能器）。它们的两端都有光电倍增管。 G 为铅玻璃计数器，每侧各有 28 个^[1]。在数据获取过程中，必须随时了解它们的工作状况，校正脉冲输出幅度，这就需要一套计数器监测系统。我们设计的监测系统较好地完成了上述任务。

二、监测系统装置

建立了四套氙闪光灯-光导纤维装置(其中三套如图 1 中 M 所示), 总共提供 208 道输出, 监测 L 、 A 、 B 、 C 、 G 计数器的 208 个光电倍增管。

每套装置如图 2 所示。

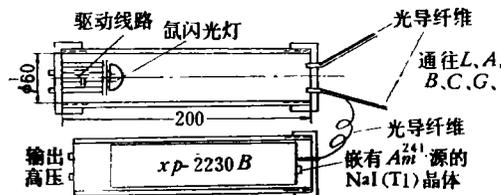


图 2 氙闪光灯-光导纤维装置

氙闪光灯发出光脉冲信号, 沿玻璃光导纤维, 分别传输到各计数器中。其中有一根纤维通往参考管(图 2 下方), 光信号打在光电倍增管光阴极上, 在阳极给出一电压脉冲输出。在光电倍增管窗上同时粘上一嵌有 Am^{241} α 放射源的 $NaI(Tl)$ 晶体。由于 α 粒子的能量是一定的, 打在 $NaI(Tl)$ 晶体上产生的荧光幅度有很窄的分布。将此信号与来自光导纤维的光脉冲信号进行比较, 即可监视、校正闪光灯光脉冲的幅度, 从而提高了整个系统的稳定性。

L 、 A 、 B 、 C 、 G 计数器接受到来自光导纤维的光脉冲信号, 将幅度谱存入计算机 (PDP11/55) 并与参考管的标准信号进行比较就了解了计数器的工作状况。若幅度变化超过一定值, 则需要调节光电倍增管高压使输出幅度恢复到原来状态。

由于几何位置的考虑, 我们将监测系统分为四套(每套如图 2 所示):

顺 序 号	负 责 的 计 数 器	输 出 道 数
1	(L 、 A 、 B 、 C) 前端	76
2	(L 、 A 、 B 、 C) 后端	76
3	G 前 端	28
4	G 后 端	28

1. 氙闪光灯

我们采用的是 FX210 型氙闪光灯。脉冲驱动线路如图 3。



图 3 氙闪光管的脉冲驱动线路

10M 的电阻和电容 C 组成一充电回路, 时间常数为 $10 \times 10^6 \times 470 \times 10^{-12} = 4.7$ 毫秒, 因此脉冲重复频率约为 200 赫芝。

C 、 R 、 r 和闪光管组成放电回路, 放电电流, 从而闪光光强, 可通过 C 及 R 值的变化来调节。

工作电压可在较大范围内使用, 自 1600 到 2400 伏。极性可正可负, 但必须接对氙闪光管的阴极和阳极。FX210 型有几组阳极, 我们只使用最靠近阴极的一组。

工作电压变化不影响氙闪光管输出光脉冲幅度影响不大。温度效应不大, 当温度变化 20°C , 输出光脉冲幅度变化小于 1% (在同样温度变化情况下, 发光二极管幅度变化大于 5%)。

氙闪光管发光谱在紫色波段。当氙闪光管发出的光脉冲信号沿光导纤维进入参考管 (xp-2230B), 其输出电压脉冲信号如图 4。脉冲上升时间为 10 毫微秒, 包括氙闪光管发光上升时间及 xp-2230B 光电倍增管的上升时间 (1.6 毫微秒), 以及分压器输出 RC 时间常数。

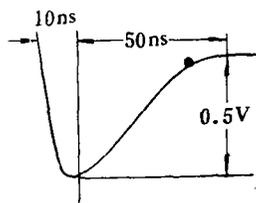


图 4 参考管输出的电压脉冲波形

参考管输出接一 512 道脉冲分析器, 可得光脉冲幅度谱。若定义氙闪光管脉冲幅度分辨率 $R = \frac{\Gamma}{A} \%$, 其中 Γ 为幅度谱半高宽度; A 为峰值相应的道数。我们测量到 FX210 型氙闪光管的分辨率为 3—5%。

在我们使用的 FX210 型氙闪光管中, 有许多其脉冲幅度谱呈双峰状 (如图 5(b))。这样的闪光管往往不稳定: 有时两个峰同时出现; 有时只有一个峰, 而又无法确定相应于两峰中的哪一个, 因此带来了幅度峰值的不确定性。我们从大量 FX210 中选取脉冲幅度谱呈稳定单峰状的 (如图 5(a))。挑选测量时间需连续 200 小时以上。经过严格挑选后, 我们得到长期稳定性优于 $\pm 3\%$ 的氙闪光管, 而且都是稳定单峰的。

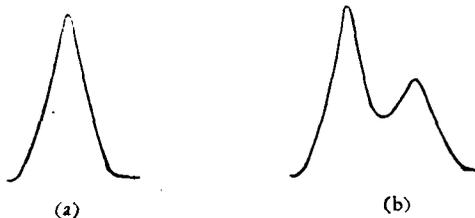


图 5

(a) 脉冲幅度谱为单峰结构 (b) 脉冲幅度谱为双峰结构

2. 光导纤维

选择合适的光导纤维, 是计数器监测系统成败的另一个关键问题。在经过多次比较

实验以后,我们选取了日本藤仓公司生产的硅玻璃型光导纤维. 纤维直径 200 微米,加上尼龙衬套直径为 0.9 毫米. 每一束由 15—20 根纤维组成,纤维两端都包以不锈钢衬套.

第一、二套纤维长度为 5 米,第三、四套纤维长度为 4 米.

光在纤维中损失 < 15 分贝/公里(波长 = 0.83 微米);

光在纤维中分配偏差 $< 3\%$;

纤维形状变化不影响光输出强度,纤维可绕铅笔旋进而光强不变.

相对于光导纤维,光的入射方向对光的输出强度非常灵敏. 当光的入射方向与纤维平行时,输出最大. 因此在设计、装配时应使光导纤维束对准闪光管发光点.

第一、二套系统,每套有六束光导纤维,均匀地分布在直径为 1.8cm 的圆周上,每束有 15—20 根. 为了使每一束光导纤维皆对准发光点,要求每一光导纤维束不是垂直于盖子,而与盖子法线成一角度 α ($\alpha = 5^\circ$), 如图 6.

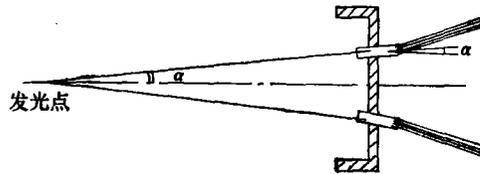


图 6 光导纤维束的取向

我们设计了 $\alpha = 0^\circ$ 及 $\alpha = 5^\circ$ 的两种方案并进行了比较. 后者有较好的稳定性.

第三、四套,每套有两束光导纤维,配置如第一、二套相似.

3. 参考管

正如前面所述,氙闪光管长期稳定性为 $\pm 3\%$,就是说监测系统监测到的变化量不会小于 $\pm 3\%$. 为了获得更高的测量精度,我们引入了参考管. 它由 *xp-2230B* 型光电倍增管,带有 $\text{Am}^{241}\alpha$ 源的 $\text{NaI}(\text{Tl})$ 晶体,一根输入光导纤维(来自氙闪光管)及管套等组成. 嵌有 α 源的 $\text{NaI}(\text{Tl})$ 小块晶体用透明胶粘在光电倍增管窗口中央,光导纤维插销牢固地固定在管盖上,垂直指向光电倍增管光阴极中央附近(如图 2). 光电倍增管外有一层高绝缘材料(Mylar 膜),再往外是一层高导磁率合金,最外层是铁壳(厚 2mm),这样有较好的防磁性. $\text{Am}^{241}\alpha$ 源的放射性强度为 0.02 微居.

光电倍增管的输出脉冲到 512 道脉冲分析器或经过 *ADC* (幅度数字转换器) 到计算机进行分析. 计算机可随时将氙闪光管信号与放射源信号进行比较,从而了解闪光管输出幅度的微小变化,因此可对闪光管其它输出道进行校准,这样大大改进了系统的稳定性,提高了测量精度.

调节光导纤维插销到光电倍增管窗的距离就可以改变其输出幅度大小,以较好匹配放射源相应的输出幅度,使二者既能区分开而又不相差太远. 我们选择二者峰值比为 1.2—2 左右.

4. 光导纤维与计数器的连接

光导纤维不是直接与每一个光电倍增管相接,而是通过一特制的连接头与计数器光

导相连,使光通过光导进入光电倍增管。

考虑到计数器的维修、调换原因,不将光导纤维插销固定于计数器光导中,而采用了如图 7 的连接头。它粘在计数器光导上,纤维插销插入其中,并可自由出入。这是一个圆柱状结构,最上端是硬橡皮,其孔径略小于纤维插销的外径,以维持一定的压力。中端是黄铜,底端是有机玻璃,三者用胶粘接。然后再将连接头的底端用光学性能好的胶(如 Stycast 1264)与计数器光导粘牢。

在光导纤维插销与连接头上都标上记号,使得每次都插入同一位置,这样当拔出再插入时,输出脉冲幅度的变化小于 1%。

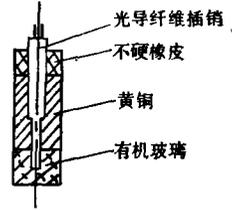


图 7 光导纤维与计数器光导的连接头结构

三、监测稳定性的测量与数据处理

正如前面所述,参考管的放射源信号提供了一个标准,通过氡闪光管信号与之比较而修正氡闪光管本身的漂移。数据处理的过程如下:

例如,对于某一套氡闪光管系统,首次测量各道的脉冲输出幅度测量值分别为:

$$A_s, A_z, A_1, A_2 \cdots A_n$$

其中 A_s 为放射源, A_z 为氡闪光管输入到参考管的输出幅度; $A_1, A_2 \cdots A_n$ 分别为第一、第二、……第 n 道计数器相应的输出幅度。

经过时间 T 以后,作第二次测量,得到的输出幅度值为:

$$A'_s, A'_z, A'_1, A'_2 \cdots A'_n$$

比值 $\frac{A'_1}{A_1}, \frac{A'_2}{A_2} \cdots \frac{A'_n}{A_n}$ 既包括了计数器的漂移,也包括了氡闪光管在时间 T 后的变化。我们可以通过 A_s, A_z 及 A'_s, A'_z 的比值而消除后者:

令

$$\frac{A_s}{A_z} = C, \quad B_1 = CA_1, \quad B_2 = CA_2 \cdots B_n = CA_n \quad (1)$$

$$\frac{A'_s}{A'_z} = C', \quad B'_1 = C'A'_1, \quad B'_2 = C'A'_2 \cdots B'_n = C'A'_n \quad (2)$$

则: $\frac{B'_1}{B_1}, \frac{B'_2}{B_2} \cdots \frac{B'_n}{B_n}$ 只反映了计数器的漂移。从(1)和(2)式可得:

$$\frac{B'_1}{B_1} = \frac{A'_1 \frac{A'_s}{A'_z}}{A_1 \frac{A_s}{A_z}} = \frac{A_z A'_s A'_1}{A'_z A_s A_1}$$

令:

$$\alpha = \frac{A_z A'_s}{A'_z A_s}$$

则:

$$\frac{B'_1}{B_1} = \alpha \frac{A'_1}{A_1}, \quad \frac{B'_2}{B_2} = \alpha \frac{A'_2}{A_2}, \quad \cdots \quad \frac{B'_n}{B_n} = \alpha \frac{A'_n}{A_n} \quad (3)$$

即：每道计数器输出幅度的相对变化乘上修正因子 α 就消除了氙闪光管本身的漂移。在这种意义上说来，我们改善了系统的稳定性。从 α 值的定义还可看出，参考系统光电倍增管的漂移也被消除了。

图8(a)给出了经过如上修正处理后，系统的一根光导纤维光输出的八小时漂移情况（八小时内脉冲幅度漂移值为 $\pm 0.78\% < \pm 1\%$ ），而图8(b)给出无参考系统修正氙闪光管本身的八小时幅度漂移值（ $\pm 2.6\%$ ）。可见经修正处理后大大改善了系统的长期稳定性。在实际监测过程中，一次测量只需二、三十分钟，其漂移要比 $\pm 0.78\%$ 还要小。因此该系统完全可以监视 $\pm 1\%$ 的变化（即测量精度为 $\pm 1\%$ ）。

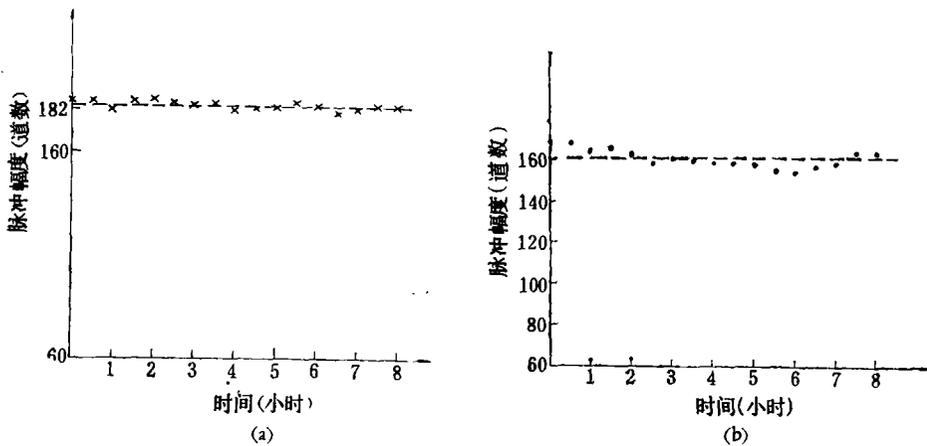


图 8

四、结 论

该系统在长期使用过程中证明稳定、可靠，为保证各计数器的正常工作起了一定作用。由于光源本身的变化可监视，比起发光二极管的分立系统显示出很大的优越性。因为加了参考管系统，改善了系统的稳定性，提高了测量精度（ $\pm 1\%$ ）。测量精度受 NaI(Tl) 晶体发光效率随温度变化而限制。可以考虑使用温度效应小的闪烁体。

该系统的时间分辨为 0.5 毫微秒，时间关系校正不在本文讨论。

福岛正已先生参加了部分工作，在此表示感谢。本工作自始至终得到了肇中先生的指导和帮助；得到唐孝威同志的支持和帮助；M. Rohde 先生提出了许多的有益的建议，在此表示深切的谢意！

参 考 文 献

- [1] Mark-J 合作组，1980年《中国科学》专辑“光子、轻子、层子和胶子”。

THE MONITOR SYSTEM OF COUNTERS OF MARK-J DETECTOR

ZHENG ZHI-PENG

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

A xenon lamp-fibre glass apparatus as a monitor system of counters of Mark-J detector has been built. There are 208 channels of fibre to photomultipliers of counters. The calibration of pulse amplitude of counters and the relation of time between counters has been given.

Due to the reference tube system, the stability of the apparatus has been improved and the accuracy of measurement has approached to $\pm 1\%$.

After long time operation, we found that the apparatus are stable and reliable desirable.