

光电倍增管固有脉冲幅度分辨率的测量

文 浩 古

(华东电子管厂)

一、测量的目的及意义

光电倍增管在高能物理和石油勘探等领域中被广泛地应用,脉冲幅度分辨率这一参数的优劣对测量至关重要。为了鉴别光电倍增管的分辨能力,我们开展了光电倍增管固有脉冲幅度分辨率的测量。

光电倍增管在入射脉冲光的光谱成分不变的情况下,将产生一个与入射于光电阴极的光子数成正比的电荷输出,因此,在光子转换成光电子的过程中,会呈现出固有的统计变化,且二次发射过程也具有统计性质。所以从一个脉冲到另一个脉冲,即使每个脉冲的入射光子数相等,信号输出电荷也会发生变化。由此而引起的脉冲幅度分布,限制了器件对光子的分辨能力。用以鉴别器件对于两个稍有不同的输入信号幅度的甄别能力称为脉冲幅度分辨率 $R(E)$,

$$R(E) = \frac{H-L}{P} \times 100\%$$

式中 H 和 L 分别是相应于脉冲幅度分布曲线上半幅度处较高点和较低点的道数, P 是峰值处的道数。

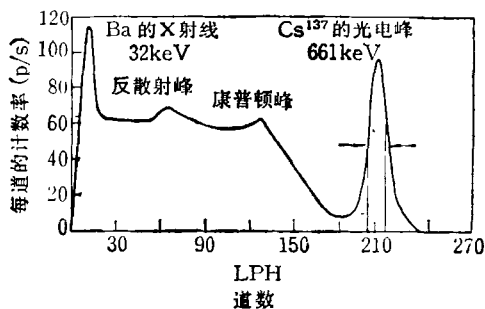


图1 放射源 $^{137}\text{Cs-NaI(Tl)}$ 的脉冲幅度分布曲线

光电倍增管脉冲幅度分辨率包括闪烁体 NaI(Tl) 的固有分辨率和光电倍增管的固有分辨率两部分。由于闪烁体质量的优劣对分辨率的影响很大,所以它不能真实地反映光电倍增管本身的分辨能力——固有分辨率。采用发光二极管(LED)模拟 $^{137}\text{Cs-NaI(Tl)}$ 的发光,这样测出的脉冲幅度分辨率就不包括闪烁体的因素。这一方法可用来检验光电倍增管的分辨率和闪烁体的分辨率,并能达到鉴别光电倍增管和闪烁体质量优劣的目的。

二、基本原理

利用发光二极管的脉冲性能,采用脉冲电源供电,并对该光源进行校正,使发光二极管的闪光所产生的脉冲幅度分布值与 $^{137}\text{Cs-NaI(Tl)}$ 的闪光产生的脉冲幅度分布值在同一幅度上,且发光二极管的光谱特性和闪光持续时间最好与 $^{137}\text{Cs-NaI(Tl)}$ 的闪光相近似。这样就可以用发光二极管代替 $^{137}\text{Cs-NaI(Tl)}$ 对光电倍增管的脉冲幅度分辨率进行测量。测量装置如图2所示。测量结果见表1。

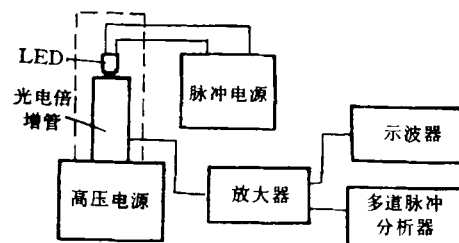


图2 光电倍增管固有脉冲幅度分辨率测量装置图

上述测试结果是否可靠,可用理论计算进行验证。如果第一倍增极发射的二次电子的几

表1 光电倍增管固有脉冲幅度分辨率

光电倍增管型号	阴极种类	管子外径 (mm)	倍增极结构	组合件幅度分辨率 (%)	固有分辨率 (%)
GDB-424	双碱	40	盒子	12	6.5
GDB-413	双碱	30	盒子	8.4	5.2
GDB-512	双碱	51	百叶窗	8.5	5.6
GDB-546	多碱	51	百叶窗	14.3	8.1
GDB-333	多碱	51	瓦片	17.4	8.0
GDB-223	双碱	14	瓦片	8.2	5.1

率服从泊松分布, 则可利用 Hartmann 的 W 公式计算出光电倍增管的固有脉冲幅度分辨率为

$$\frac{\overline{\Delta A}}{A^2} = \frac{1}{z_1} \left(1 + \frac{\beta \delta}{\delta - 1} \right), \quad (1)$$

式中 $\overline{\Delta A^2}$ 为幅度均方差, δ 为平均二次发射系数, A 为最可几幅度, z_1 为打在第一倍增极上的光子数, β 为倍增极的二次发射系数。并有

$$\beta = \frac{\bar{Z}^2 - \delta^2}{\delta^2}. \quad (2)$$

假设 $Z_1 = \delta$, 在元过程中发射 Z 个电子的几率服从泊松分布, 则 $Z^2 = \delta^2 + \delta$, 代入(2)式得到 $\beta = \frac{1}{\delta}$, 由此得

$$\frac{\overline{\Delta A^2}}{A^2} = \frac{1}{z_1} \left(1 + \frac{1}{\delta - 1} \right). \quad (3)$$

根据固有分辨率的定义,

$$R_p(E) = \frac{H - L}{A},$$

由 Morton 公式知 $(H - L)^2 = 5.58 \overline{\Delta A^2}$, 故得

$$R_p(E) = 2.36 \sqrt{\frac{1}{z_1} \left(1 + \frac{1}{\delta - 1} \right)}, \quad (4)$$

利用 NaKSb 阴极和盒栅式倍增极的 $\phi 34$ mm 光电倍增管, 当阳极电压为 6100V 时, $\delta = 5$, 阳极输出脉冲幅度为 2V, 增益 $M = 1.3 \times$

10^5 , $A = \frac{Q}{C} = \frac{e M Z_1}{C}$, 则 $Z_1 = \frac{A C}{e M}$. 当 $M = 1.3 \times 10^5$, $A = 2V$, $C = 17$ pF, $e = 1.6 \times 10^{-19}$, 代入 Z_1 表示式中, 可得 Z_1 , 将 Z_1 和 δ 值代入(4)式, 算出 $R_p(E) = 6.47\%$. 由实验测出该管的固有分辨率为 6.5%, 两者相符。

三、讨论

1. 测量方法的可靠性分析

根据光电倍增管固有分辨率 R_p 与闪烁体的分辨率 R_s 及两者组合分辨率 R 的关系式^[4]:

$$R(E) = \sqrt{R_p^2(E) + R_s^2(E)}, \quad (5)$$

可知, 总幅度分辨率由闪烁体的 $R_s(E)$ 和光电倍增管 $R_p(E)$ 各分辨率组成。表 2 中的 R 与 R_p 是实测数据。

表2 光电倍增管组合件分辨率及固有分辨率的测量数据

$R = 8\%$	$R_p = 5.1\%$	$R_s = 6.24\%$
$R = 7.9\%$	$R_p = 5.0\%$	$R_s = 6.22\%$
$R = 9.1\%$	$R_p = 6.6\%$	$R_s = 6.25\%$

上列数据是用同一晶体对几只不同型号的光电倍增管测出 $R(E)$, 然后用发光二极管测

出 $R_p(E)$, 按 (5) 式算出 $R_s(E)$, 可以看出 $R_s(E)$ 基本不变。

测量结果与理论计算相符, 证明实验方法是可行的。

2. 影响固有脉冲幅度分辨率测量的因素

(1) 辐射能量

根据公式^[1]:

$$R_p^{(E)} = \frac{5.56}{\bar{N}\eta\alpha} \left(1 + \frac{1}{\delta_1} + \frac{1}{\delta_1\delta_2} + \dots + \frac{1}{\delta_1 \dots \delta_n} \right), \quad (6)$$

式中 \bar{N} 是一次闪烁入射于光电阴极的平均光子数, η 是量子效率, δ_1 与 δ_n 是第一与第 n 倍增极的二次发射系数, α 是第一倍增极的收集效率。由 (6) 式可以看出, \bar{N} 正比于辐射能量 E , 所以 $R_p^{(E)}$ 与 \sqrt{E} 近似成反比。

当用 ^{60}Co (122keV) 时, $R \approx 10\%$, $R_p \approx 7\%$; 当用 ^{137}Cs (661 keV) 时, $R \approx 8\%$, $R_p \approx 5.1\%$; 当用发光二极管时, 光源脉冲电压越高,

即光强越强, 其分辨率也发生变化。实验结果也证明了这一点。

(2) 光电倍增管的工作电压和输出幅度
光电倍增管的输出幅度正比于辐射能 E 与倍增管的增益 M , 而 M 与光电倍增管的供给电压成比例。因此在固有脉冲幅度分辨率的测量中, 选择光电倍增管适当的工作电压亦很关键。

(3) 发光二极管的光谱特性

核辐射作用在晶体上产生荧光, 光子又入射到光电阴极上, 引起光电发射, 发射的光电子数与光电倍增管的光谱特性的匹配因素成正比, 当发光二极管的发射光谱与核辐射引起的荧光光谱相差较大时, 幅度分辨率发生变化。因此, 在固有分辨率的测量中, 要求发光二极管应尽量采用蓝色或绿色管, 以期获得较好的测量结果。

参 考 文 献

- [1] 林达朗, 映象情报, 9-2(1977).
[2] 史久德, 光电管和光电倍增管, 国防工业出版社, (1981), 11.

(上接第629页)

表 2

类别	K	DY ₁	DY ₂	DY ₃	DY ₄	DY ₅	DY ₆	DY ₇	DY ₈	DY ₉	DY ₁₀	A	用途
I	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	高增益
II	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	2R	R	大电流

和工作的地方切忌有氦气存在, 因为氦可能渗透玻壳而使管子损坏。

GDB-223 管由电源连接电阻分压器对各电极供电, 按不同用途推荐采用 I, II 两种类型的分压器, 如表 2 所列。

阻值 R 的大小要根据不同要求进行选择。通常分压器的电流不应小于最大使用阳极电流的 20 倍; 对线性要求很严时, 甚至不应小于该电流的 100 倍。在脉冲条件下使用时, 可在末几级并联旁路电容, 以稳定末几级的级间电压。

二、应用范围

GDB-223 管的结果与参数均类似于日本

浜松公司的 R 647 管。对于配备有 R 647 管的进口仪器以及选用 R 647 管的国产仪器, GDB-223 管是足以胜任的。

GDB-223 管从研制以来已在扫描电镜、光谱分析、光度测量、光子计数以及闪烁计数等方面获得广泛应用。可以预计, 将它应用于计算机 X 射线断层扫描装置、激光接收装置和高能物理实验领域, 也将得到满意的结果。

GDB-223 超小型光电倍增管与整机相配, 是对光电接收仪器小型化的一个贡献。

为方便用户, GDB-223 型光电倍增管可配备专用管座 GZS13-12。