

快速高准确度的闪烁探测技术

鲁 智 孔令启 牛秀芝 夏凤琴

(黄河水利委员会水利科学研究所)

关键词: 闪烁探测技术 高精度 长期稳定性

一、前 言

闪烁探测器具有探测效率高和适于多种条件下应用等优点。但在高计数率测量时, 光电倍增管出现的疲劳现象难以克服, 其长期稳定性也较差。

本文提出一种措施, 使闪烁探测器在每秒 10^5 个计数脉冲下获得了高的精度和好的稳定性。这项技术已经应用于 FT-1 型核子低含沙量计中。经测试表明, 当每次测量历时为 100 秒时该仪器的计数精度和 8 小时长期稳定性都优于 $\pm 4 \times 10^{-4}$; 当测量历时为 500 秒时稳定性为 $\pm 1.6 \times 10^{-4}$ 。

FT-1 型测沙计已于 1981 年 3 月通过了技术鉴定, 现已小批量生产并在黄河上正式使用。

二、提高计数稳定性的措施和实验

光电倍增管是闪烁计数器的关键性器件。它的性能和应用条件与计数稳定性密切相关, 尤其是管子放大系数 M 的稳定性是获得稳定计数的前提。光电倍增管靠倍增级完成电子流的放大作用, 假定各级的传输系数为 1, 那么对于平均发射系数为 $\bar{\delta}$ 的 N 个相同倍增级的光电倍增管的增益 $M = \bar{\delta}^N$ 。 $\bar{\delta}$ 和 N 与电压、电流密度对 M 的关系在很多资料中已进行过详细的讨论^[1,2]。在高计数率下发射系数 $\bar{\delta}$ 发生衰退, 使计数逐渐降低即出现了疲劳现象。

在一个设计恰当的探测系统中, 一个单能谱曲线可以用高斯函数来描述^[3,4]。故可以写成密度函数的形式, 即:

$$f(x) = \frac{1}{M'\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x}{M'} - a_0\right)^2 / 2\sigma^2} \quad (1)$$

式中, x 为 γ 射线的能量; M' 为探测系统的增益; $M'a_0$ 为能谱峰位; σ 为 γ 射线能量值的分散性指标。对式 (1) 积分可得到 x 的累积分布函数 $F(x_0)$, 即:

$$F(x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{x_0}{M'\sigma}} e^{-\left(x' - \frac{a_0}{\sigma}\right)^2 / 2} dx' \quad (2)$$

式中, $x_0 = E_0/M'$, E_0 为探测系统的阈值所对应的射线能量; $x' = x/M'\sigma$ 。因为光电倍增管输出信号的幅度与所接收的射线能量基本上是线性关系, 因此式 (2) 是理想的坪曲线方程。利用闪烁计数器记录一强度不变的核辐射时, 其计数 N 与工作高压的关系可以绘出一坪曲线, 这条坪曲线不是光电倍增管的固有特性, 它仅仅是

GDB-44 光电倍增管计数稳定性实验结果

光电倍增管编号	100 秒 总 计 数	实验均方 差值(%)	理论均方 差值(%)
8E68	7302534	0.0402	0.037
6E232	6834779	0.0383	0.0382
7E203	8688200	0.038	0.034
5E327	7720643	0.036	0.036
5E327	7527500	0.036	0.036
3F477	9557150	0.035	0.032

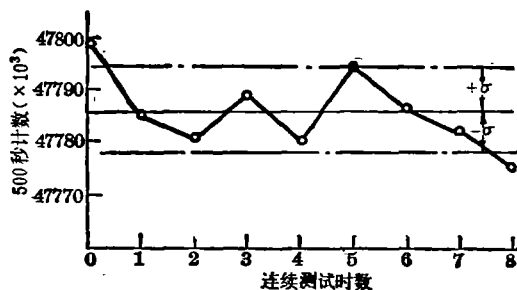


图1 高计数率下计数稳定性实验

探测器对 γ 射线能谱积分的结果。(2)式指出,保持计数稳定性的重要参数是探测系统的放大倍数 M' 。而降低倍增级间的电压和减少电子流的强度可以克服疲劳效应,从而提高 M 的稳定性。从以下的实验中可以看出电流密度和电压对计数稳定性的影响。实验中使用同一个光电倍增管,工作电压为1060V,先后在不同的辐射场强度下进行计数稳定性实验。使用 ^{241}Am 源,计数率分别为150cps和23000cps。结果表明计数率很低时稳定性良好,而计数率较高时,在2个多小时内计数就下漂了约4%。另一个实验仍然使用同一个光电倍增管,但高压降低到700V,计数率为95570cps,在8小时长稳实验中没发生计数下漂现象。计数随时间变化的关系见图1。每次测量历时为500秒,其计数统计涨落误差 $\sigma_c = \pm 1.6 \times 10^{-4}$,此值与理论值 $\sigma_c = \pm 1.45 \times 10^{-4}$ 非常接近。表中列出了不同的光电倍增管8小时以上的长稳实验结果(每次测量历时为100秒)。

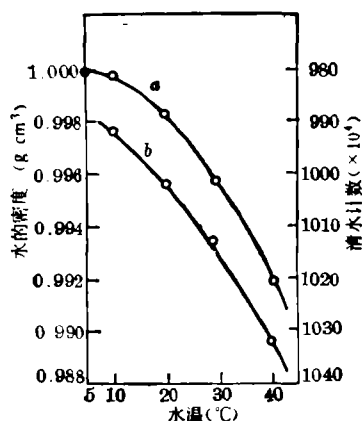


图2 水的密度和清水计数 N 随水温变化的关系曲线

- a. 水的密度随水温变化的曲线
b. 清水计数 N 随水温变化的曲线

为了确定温度对稳定性的影响,将闪烁探测器放入水池中并用电炉把水加热,同时不停地搅拌水使温度均匀分布。水池温度约有0.2℃的波动,在6℃、19℃、40℃等几个温度下各做8小时稳定性的实验。其长期稳定性在 $\pm 3.8 \times 10^{-4}$ 到 $\pm 3.82 \times 10^{-4}$ 之间。实验结果说明,这种闪烁探测系统具有良好的温度稳定性。

由于这一闪烁探测系统具有高的精度和好的温度稳定性,所以它可以测量出水的密度随温度变化的数值。图2中曲线a是水的密度随温度变化的曲线,这可以从物理手册中查到。曲线b是探测器所测出的清水计数 N 随水温变化的曲线。从图2可以看出,曲线a和b的变化规律吻合得很好。根据这一结果,我们在进行低含沙量测量时,提出用补偿水温变化的方法以提高测量准确度。

降低了光电倍增管的放大倍数 M ,从而减小了管子的散粒噪声电流^[1],改善了坪特性指标。在使用 ^{241}Am 源时所得到的坪特性指标为:坪长100V时,坪斜为0.5%;坪长取170V时,坪斜为2%,相对坪长^[5]为25%。而通常的闪烁探测器的坪长只有10%左右,最大不超过20%。坪特性的改善降低了光电倍增管对高压电源的稳定性要求,因此为推广应用提供了方便。

降低了光电倍增管的放大倍数 M ,从而减小了管子的散粒噪声电流^[1],改善了坪特性指标。在使用 ^{241}Am 源时所得到的坪特性指标为:坪长100V时,坪斜为0.5%;坪长取170V时,坪斜为2%,相对坪长^[5]为25%。而通常的闪烁探测器的坪长只有10%左右,最大不超过20%。坪特性的改善降低了光电倍增管对高压电源的稳定性要求,因此为推广应用提供了方便。

降低了光电倍增管的放大倍数 M ,从而减小了管子的散粒噪声电流^[1],改善了坪特性指标。在使用 ^{241}Am 源时所得到的坪特性指标为:坪长100V时,坪斜为0.5%;坪长取170V时,坪斜为2%,相对坪长^[5]为25%。而通常的闪烁探测器的坪长只有10%左右,最大不超过20%。坪特性的改善降低了光电倍增管对高压电源的稳定性要求,因此为推广应用提供了方便。

三、结 束 语

在快速高准确度的核辐射强度测量中,影响闪烁探测器稳定性的关键是光电倍增管的疲劳效应。适当地降低一次电子的能量对改善倍增级发射系数 δ 的稳定性是有效的。这项技术已成功地用于FT-1型测沙计等核子仪器中,并在长期使用中显示了良好的可靠性。同时操作简便,使用者可以摆脱过去那种在新仪器推广应用中所遇到的很多麻烦,因而深受使用者的欢迎。

参 考 文 献

- [1] 史玖德,光电管与光电倍增管,1981。
- [2] F. T. 阿雷克和 E. O. 舒尔茨—杜波依斯,激光技术,1981。
- [3] [美] C. E. 克劳塞梅尔原著, [比] F. 亚当斯和 R. 达姆斯修订,应用 γ 射线能谱学。
- [4] A. Ф. Чернявский и др., Статистические методы анализа случайных сигналов в ядернофизическом эксперименте.
- [5] 葛永诚,光电倍增管的应用条件对闪烁计数器坪特性的影响(第一次全国核探测器学术会议资料汇编),北京核仪器厂,1983年。

(上接54页)

η 为1.59%和0.77%,计算得到, $A=1.9 \times 10^{-11}\text{Ci/g}$,3) ^{40}K 的含量:由1460keV γ 射线全能峰 N 为4.39cpm, η 为0.2%,计算得到, $A=1.3 \times 10^{-11}\text{Ci/g}$ 。测量结果的总的不确定度估计小于30%。

对中国科学院海洋研究所秦蕴珊副所长提供太平洋海底的锰结核样品和中国科学院原子能研究所潘自强同志对本工作的支持表示感谢。

(1983年6月20日收到)

filtered onto a glass fiber filter disc (Type 79, manufactured in Shanghai), $0.01\mu\text{M}$ QNB was used to estimate the non-specific binding. Scatchard plot analysis of the data obtained from 4 experiments gave a K_D value of $0.0918 \pm 0.0136\text{nM}$. The maximum binding capacity, the QNB dose of 50% replacement, the association rate constant and dissociation rate constant and the $t_{1/2}$ of dissociation due to QNB were also estimated.

Keywords: M-muscarinic receptor radioligand binding assay of receptors

K_D ——equilibrium dissociation constant B_{max} ——maximum binding capacity

The properties of the thin window gas flow proportional counter used for detection of soft X-rays (0.1~2keV)

Xu Yinlin Gu Zhenghai Xie Ping

(The Purple Mountain Observatory)

The characteristic atomic fluorescent radiations from Be, B, C etc. with the energies covering the range of 0.1 to 2keV can be detected by the thin window gas flow proportional counter. The performance and the results measured are given with some discussion.

Keywords: soft X-ray thin window gas flow proportional counter

The scintillation detecting technique with high counting rate and high precision

Lu Zhi Kong Lingqi Niu Xiuzhi Xia Fengqin

(Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission)

This paper describes a scintillation detecting technique with high counting rate and without fatigue. With the counting rate being about 10^5 pulses per second and the measuring time being 100 seconds or 500 seconds, the long term stability of the measuring system is 3.2×10^{-4} and 1.6×10^{-4} respectively. This technique has been used in the FT-1 gauge for measuring sediment concentration and so on.

In practical application from 1978 to 1982, it is proved that the scintillation system has high counting rate, high precision and high stability in performance.

Keywords: scintillation detecting technique high precision long term stability

Measurements of the radioactivity in the manganese nodules

Song Shaoyi

Li Huantie

Lu Junguang

Tang Xiaowei

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

Radioactivity in the manganese nodules from bottom of Pacific Ocean was measured. uranium and thorium were found in those nodules.

Keywords: manganese nodule radioactivity NaI(Tl) gamma-ray scintillation spectrometer energy-spectrum analysis uranium thorium