

# 智能化环境中子、 $\gamma$ 监测系统

李建平 汤月里 邵贝贝 刘曙东 张振刚 屈国英

(中国科学院高能物理研究所,北京)

## 摘 要

本文介绍了一种智能化环境中子、 $\gamma$  监测系统的结构和性能。它们的特点是:中子监测器的体积小、重量轻、灵敏度高; $\gamma$  监测器的测量电路采用电荷泵电路构成的  $I-F$  变换电路;本地数据采集器是由高速低功耗 CMOS 单片计算机为核心组成的;远端中心计算机采用了 FLEX 微计算机系统对数据进行处理,并以绘图的方式输出,给出直观、便于分析的结果。整个系统连续运行一年以上,工作稳定可靠。

## 一、引 言

在 高能加速器周围环境的杂散辐射剂量中主要贡献是中子,其次是  $\gamma$  射线。反应堆、核电站的情况与此相反,环境中主要贡献是  $\gamma$  射线,其次是中子。为了测定环境中子、 $\gamma$

的辐射水平,评价它们对环境的影响,必须建立高灵敏度的可靠的环境辐射监测系统。

本文介绍的智能化环境中子、 $\gamma$  监测系统的组成见图 1。中子监测器是一种非雷姆结构的中子注量仪,它的灵敏度比同一  $BF_3$  管构成的雷姆计数器明显高。虽然它的能量响应范围比雷姆计数器窄,但能满足宇宙辐射中子谱 (Hess 谱)、高能粒子加速器周围环境中子谱 (近似于 Hess 谱) 和核反应堆周围环境中子谱 (软于裂变谱) 的能量响应范围。 $\gamma$  监测器采用  $I-F$  转换后的输出,对数据采集,远距离传输和计算机处理都极为有利。设置低功耗的本地数据采集器,使远端中心机用于环境监测的时间非常有限,并在断电后,用电池供电可将采集的数据保存三昼夜。

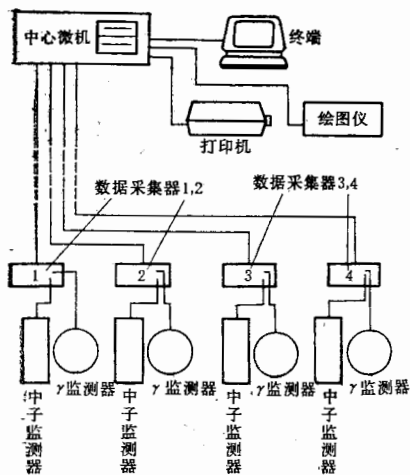


图 1 环境中子、 $\gamma$  监测系统方框图

## 二、环境中子监测器

### 1. 监测器

它是在文献[1]所描述的高灵敏度中子监测器的基础上,经过对探测器的结构和电路进一步改进而成的。BF<sub>3</sub> 正比计数管 ( $\phi 50 \times 350\text{mm}$ , 充气压 600mmHg), 置于 6.5cm

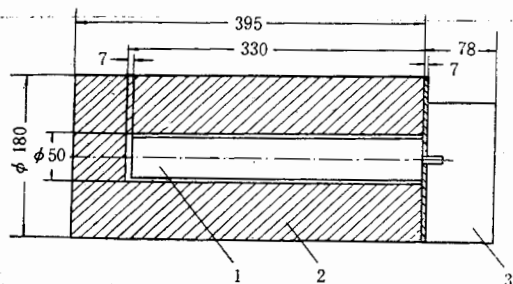


图 2 监测器结构(单位 mm)

1. BF<sub>3</sub> 计数管 2. 聚乙烯柱体 3. 电路

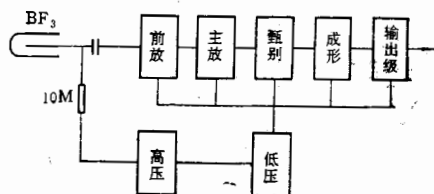


图 3 测量系统电路框图

厚的圆柱形聚乙烯慢化体中心,组成图 2 所示的监测器。在计数管工作电压为 2000 伏时,输出的脉冲幅度峰值约十几毫伏,经过前级放大器(10 倍)、主放大器(30 倍)、甄别器、成形电路和输出级,输出 20mA、1mS 宽的电流脉冲,通过光电耦合送入数据采集器,测量系统框图见图 3。整个监测器的重量为 10.8kg,外形尺寸为  $\phi 180 \times 473\text{mm}$ 。

### 2. 监测器性能

(1) 注量率灵敏度及能量响应 监测器的刻度是在露天空旷的条件下进行的,监测器和 Am-Bc 中子源离开地面  $H = 1.68\text{m}$ 。当改变源和监测器间的距离  $D$  值时,得到相应的计数率,按  $H/D$  值对地面散射的贡献<sup>[2]</sup>和漏计数进行修正,并经最小二乘法处理,给出监测器的注量率灵敏度为  $17.0 \pm 0.3\text{cps/n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 。与同体积同重量的 2 202D 型雷姆计数器(瑞典生产)相比,灵敏度高 33 倍。

监测器的中子注量率灵敏度,在 0.2eV—5MeV 之间,在  $\pm 18\%$  以内与中子能量无关。这是中村尚司利用 DOT3.5 程序计算的结果<sup>[3]</sup>。

(2) 方向性 Am-Bc 源的中子相对于监测器的轴线方向成不同角度( $\theta$ )入射时,分别测量了监测器的注量率灵敏度, $\theta = 90^\circ$  时最高, $\theta = 0^\circ$  时下降到最高值的 52%。

(3) 抗  $\gamma$  性能 BF<sub>3</sub> 管对中子产生的脉冲幅度较大,分辨率较高,约 10%。对  $\gamma$  射线产生的脉冲幅度较小,它与中子脉冲幅度分布之间有明显界限。甄别阈取 0.5V 时, $\gamma$  辐射在 65mR/h 以下,在  $\pm 3.4\%$  以内不影响中子注量率的测量。

(4) 稳定性 监测器长期稳定性的测量,是在宇宙辐射中子照射下进行的。从 1986 年 4 月 1 日开始到 30 日连续 30 天,天晴无雨,每天取一小时数据,每小时累积计数 228。相对标准偏差  $\pm 6.5\%$ ,标准偏差  $\sigma = 15$ 。

(5) 温度效应 中子监测器置于恒温箱中,在恒定的中子源照射下,温度在 $2^{\circ}\text{C}$ — $42^{\circ}\text{C}$ 之间变化时,计数率的最大涨落在5%以内。

(6) 总不确定度 用监测器测量宇宙辐射中子注量率时,各种误差的来源见表1。测量的总不确定度用各项误差的方和根来表示。监测器的总不确定度为11.2%。

表1 误差来源的估计

误差来源	误差 (%)
Am-Be 中子源强度	1.5
注量率灵敏度刻度	2
温度效应	5
稳定性	6.5
能谱效应	7
抗 $\gamma$ 性能	3.4
其他	2
总不确定度	11.2

### 3. 测量数据的处理

#### (1) 对宇宙辐射中子本底数据的处理

宇宙辐射中子以各向同性入射到地面<sup>[4]</sup>,而中子监测器具有明显的方向性,所以应根据监测器的方向性曲线,求出以不同角度入射的中子平均注量率灵敏度 $\varepsilon$ 。再求出中子注量率<sup>[4]</sup>

$$\phi(h) = \frac{C(h)}{\varepsilon(1-K)},$$

式中  $C(h)$  是在海拔高度  $h$  上测得的计数率;  $K = 0.16$  表示能量大于  $5\text{MeV}$  以上的中子在 Hess 谱中所占总中子注量率的百分数。采用文献[4]中宇宙辐射中子以各向同性入射到地面,并对人体两侧照射的模型,其换算系数  $K = 10.67 \times 10^{-9}\text{rem/n/cm}^2$ , 则剂量当量率是  $\dot{H} = \phi \times 10.67 \times 10^{-9}\text{rem/s}$ 。

(2) 如果将粒子加速器或反应堆周围环境的杂散中子辐射近似看成单向垂直入射到探测器,并且采用裂变中子谱的注量率-剂量当量率换算系数,这时得到的中子剂量当量率要偏高,是偏安全的做法。因为无论是高能加速器还是反应堆周围环境的中子能谱均较裂变中子谱软。

## 三、环境 $\gamma$ 监测器

### 1. 监测器

本系统采用球形高压电离室作为 $\gamma$ 监测器,其直径为 $260\text{mm}$ ,不锈钢壁厚 $2.5\text{mm}$ ,容积 $8.5$ 升,内充 $25$ 个大气压纯氩。保护环与收集电极之间采用人工宝石绝缘子,其绝缘电阻可达 $10^{15}\Omega$ 以上。电离室的灵敏度为 $2.65 \times 10^{-14}\text{A}/\mu\text{R/h}$ 。

## 2. $I-F$ 转换电路

测 高气压电离室在环境本底辐射情况下输出约  $10^{-13}A$  的弱电流, 本系统采用  $I-F$  转换的方法将输出电流转换成脉冲信号。与  $I-V$  转换方式相比, 它无需再经  $V-F$  转换就可直接与计算机配接, 并且处理简便。由于在  $I-F$  转换中采用电荷泵电路代替开关元件, 大大提高了  $I-F$  转换电路的灵敏度和稳定性, 并克服了零点漂移的问题。其原理简述如下。

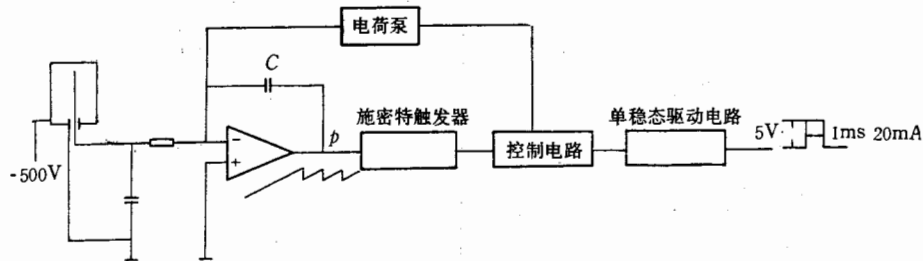


图 4 电荷泵电路方框图

立根 中子 电离室收集极输出的电流在电容  $C$  上充电, 当  $P$  点达到某一预定电位时, 触发施密特电路, 输出一个脉冲。同时通过控制电路输出一个窄脉冲, 打开电荷泵, 使电容  $C$  放电。窄脉冲过后, 电荷泵关闭。这时电容  $C$  上的电荷放掉了一小部分,  $P$  点电位降到预定值以下。电荷泵关闭后, 电容被继续充电,  $P$  点电位再次上升到预定值, 再次触发施密特电路, 重复以上过程, 于是输出一系列脉冲, 经单稳态驱动电路形成 5V、1ms 的标准脉冲, 以 20mA 电流环的形式输出。

勺中 司性 测剂 封到 当量 普均  $I-F$  转换电路的灵敏度大于 20cpm/ $10^{-12}A$ 。用恒流源测定该电路的非线性为 3% (图 5)。零点漂移造成的频率变化小于 0.3%。

## 3. $\gamma$ 监测器的主要性能

(1) 灵敏度 监测器的刻度采用标准  $Ra$  源。为了减少散射, 刻度是在空旷的露天场地进行的, 监测器离地面 1.8m。刻度因子按文献 [5, 6] 作了散射和空气吸收的修正, 并经最小二乘法处理, 得到灵敏度为  $0.03\mu R/Pulse$ 。刻度的非线性为 0.6%。

(2) 测量范围  $1\mu R/h-1mR/h$ 。

(3) 稳定性 监测器在  $^{226}Ra$   $\gamma$  辐射源照射下, 24 小时测量数据的相对误差为 1.1%。在环境天然辐射本底的情况下, 连续一月数据的相对标准偏差为 1.2%。方法同中子监测

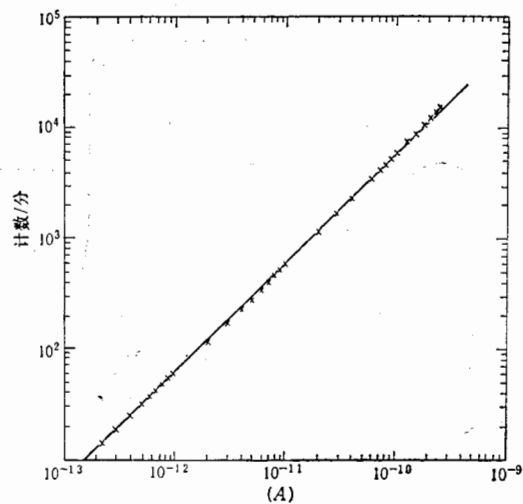


图 5 电荷泵电路输入电流与输出脉冲频率的关系曲线

器。

(4) 温度效应 当温度从  $0^{\circ}\text{C}$ — $42^{\circ}\text{C}$  之间变化时,监测器输出数据最大涨落在 2.5% 以内。

(5) 总不确定度 监测器测量环境  $\gamma$  辐射总照射量率时的总不确定度用各项误差的方和根来表示(见表 2)。由此确定的  $\gamma$  监测器的总不确定度为 6.3%。

表 2  $\gamma$  监测器误差来源估计

误差来源	误差(%)
标准镭源	2
I-F 转换电路非线性	3
灵敏度刻度非线性	0.6
温度效应	2.5
稳定性	1.2
零点漂移	0.3
镭源谱代替环境谱	3.8
其他	2
方和根	6.3

#### 四、数据采集器

从环境中子和  $\gamma$  监测器输出的脉冲由数据采集器采集,并保存起来。当远端中心计算机发出调用数据命令时,将数据传输给中心计算机。该采集器的硬件部份简述如下:

核心采用 MOTOROLA 公司的 146805E2 高速 CMOS 单片计算机。该集成电路除微处理器 (CPU) 外,还包括: 1 个可编程时钟, 2 个 8 位并行接口, 112 字节存储器 (RAM)。采用 4MHz 工作频率, 最小指令周期  $1.25\mu\text{s}$ , 工作时功耗 25mW, 等待状况功耗仅 1mW。

数据采集器存储空间设计为 6K 字节。其中 2K 用于存放程序, 4K 用于存放数据。对于两路探测器,每 10 分钟采集一次数据,数据为 16 位二进制数,足以保存一星期。

和中心计算机的接口采用异步串行式,有从 110 至 19200 的 16 种可供选择的波特率。以 20mA 电流环方式与中心计算机通讯,中间经光电耦合器件隔离。实验表明,在 4800 波特率下,传输距离 3 公里时,工作可靠。

数据采集器有两路计数器输入,输入脉冲电流 20mA、1mS。达不到功率及脉宽  $600\mu\text{s}$  以下的信号都被光电隔离器件以及后面的电路去掉,从而提高了抗干扰能力,保证仪器的可靠性。

采集器采用 220V 交流供电。此外还有四节二号可充电电池组组成的备用电源,平时工作在浮充电状态,当  $\sim 220\text{V}$  电源突然切断时,将由备用电源供电,可使采集器维持工作三昼夜。

该数据采集器的软件由 6805 的汇编语言写成。主要包括以下四部份:

(1) 日历和实时钟 软件中有年、月、日、时、分、秒的时标。每 10 分钟采集一次数

据。

(2) 和中心机的联络 受中心计算机控制, 解释并执行诸如修改时钟, 修改内部参数, 向计算机传送数据指令。

(3) 数据指针和缓冲区 软件中设定两个 1024 个双字节的缓冲区和环形的数据指针。新的数据总是将一周前的数据冲销。

(4) 监控程序 监控程序用于调试和检查仪器硬件故障, 它支持应用程序。

## 五、中心计算机系统

由于数据采集器已将采集的数据做了一些前处理, 因此任何一台有标准 RS-232 电流环接口的计算机都可以充当中心计算机。

我们采用的微计算机系统, 以 MC6809 为 CPU, 采用欧洲标准的 G-64 总线, 面向数据采集与工业控制。该机上主要工作语言是 PASCAL 和 6809 汇编语言。用在环境监测系统中的软件主要有:

(1) 与数据采集器通讯的软件 READRN。该软件用于从数据采集器读入数据并在软盘上建立数据文件。按时间顺序编排, 每月两个文件, 一个中子数据, 一个  $\gamma$  数据。

(2) 显示、打印、绘图软件 PRTRN 和 PLOTRN。该软件实现在计算机终端上或打印机上打印数据, 以及在绘图机上绘出彩色图形(图 6)。

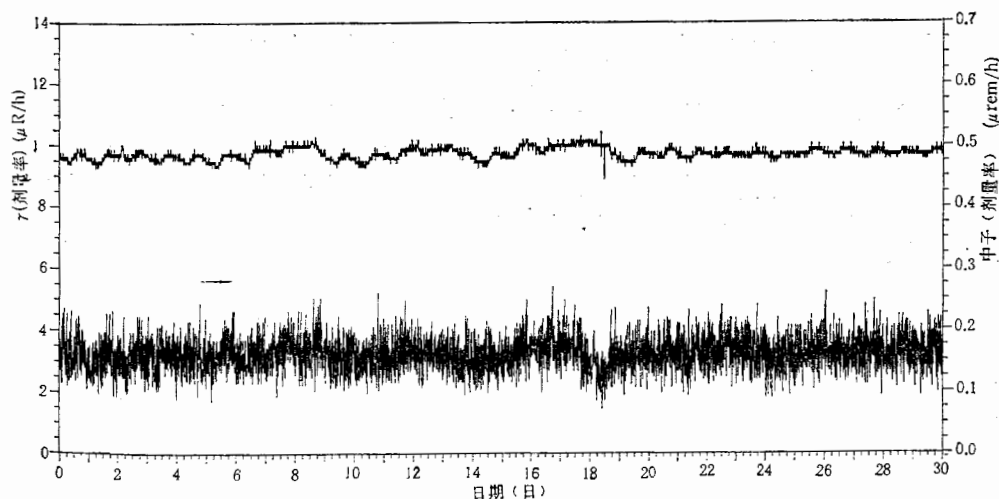


图 6 环境中子、 $\gamma$  监测数据随时间变化

(3) 用于修改运行参数的软件。当探测器灵敏度变化时, 即重新刻度以后, 可将修改的参数写成一个文件, 计算机处理数据时可自动调整运行参数。

(4) 通讯调试软件。用于调试和诊断传输线路可能出现的故障。以上软件由 PASCAL 语言写成。

这里要说明的是, 本中心微计算机的主要用途在于开发和生成新的数据采集系统。用于环境监测的时间是非常有限的, 每周大约仅占用 20 分钟。

本系统的研制成功,曾得到欧洲核子研究中心(CERN)的支持和帮助,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 李建平等,高能物理与核物理,6(1982),665.
- [2] F. H. 阿蒂斯等,辐射剂量学,第三卷(上),(1981),383.
- [3] Takashi Nakamura et al., *Nuclear Science and Engineering*, 77(1981), 182—191.
- [4] 刘桂林等,测定宇宙辐射中子剂量当量率,未发表,1982.
- [5] L. R. Read et al., *Application of Radiation Isotopes*, 29(1978) 21.
- [6] 朱国义等,核仪器与方法,3(1983),70.

## INTELLIGENT ENVIRONMENTAL NEUTRON AND GAMMA MONITORING SYSTEM

LI JIAN-PING TANG YUE-LI SHAO BEI-BEI LIU SHU-DONG

ZHANG ZHEN-GANG QU GUO-YING

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

### ABSTRACT

In this paper the construction and performance of an intelligent environmental neutron and gamma monitoring system are described.

The neutron monitor has high sensitivity, light weight and small size. A charge pump circuit is adopted for  $I-F$  converter of the gamma monitor. Local data acquirer consists of CMOS single piece processor with high speed and low power dissipation. A FLEX microcomputer is used as remote centre computer for data handling and graph plotting. The system has been operating continuously for more than one year with high stability and reliability.