

# 天然中子本底剂量水平的测定

李建平 常崑克 解延风 唐锦华 唐鄂生

(中国科学院高能物理研究所)

## 摘 要

本文介绍了一种高灵敏度中子监测器,它对天然中子本底的计数率约每分钟20次计数。实验测定了几个基本特性:脉冲幅度分辨率、灵敏度和方向性。用该监测器在一年的时间内连续测量了北京玉泉路地区的天然中子本底的剂量水平,给出了年平均剂量当量值。与日本KEK和CERN测得的数据进行了比较。

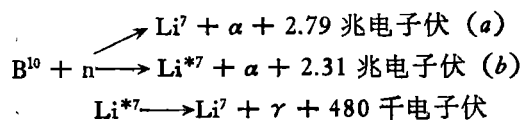
## 一、引 言

在质子或电子加速器周围环境的杂散辐射剂量中,主要贡献来自中子<sup>[1]</sup>。这是由于天空反照效应把加速器产生的中子散射到远离加速器的地方。为了确定杂散中子的辐射剂量水平,评价它对环境的影响,在加速器投入运行前,必须获得足够的天然中子本底剂量水平的数据,并了解它的变化规律。

本工作采用了与KEK<sup>[2]</sup>同类型的高灵敏度中子监测器,对玉泉路地区的天然中子本底的注量率及剂量水平,进行了一年的连续监测,测得的年平均剂量当量值,1980年为 $2.2 \pm 0.4$ 毫雷姆,1981年为 $2.0 \pm 0.4$ 毫雷姆。并与日本KEK和CERN测得的天然中子本底数据进行了比较,按地磁纬度变化规律给出了合理结果。

## 二、测量仪器及性能

**1. 监测器** 是由三支空间物理实验用的大BF<sub>3</sub>正比计数管并联后,置于6.5厘米厚的圆柱形石蜡慢化体中组成,其结构示于图1。入射中子经过石蜡慢化,与BF<sub>3</sub>管中的B<sup>10</sup>发生如下反应:



反应(a)占6%,反应(b)占94%。反应生成的带电粒子 $\alpha$ 和Li<sup>7</sup>使BF<sub>3</sub>气体电离产生

表1 监测器的技术性能

计数管	总长	直径	有效长	$B^{10}$ 浓缩度	充气压	分辨率	慢化体厚
$BF_3$	1100 毫米	35.2 毫米	941 ± 1 毫米	95%	400 毫米 Hg	6%	6.5 厘米

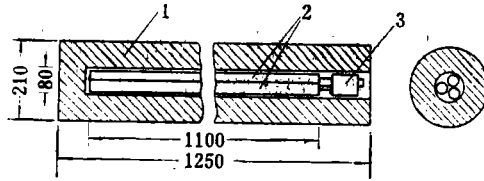


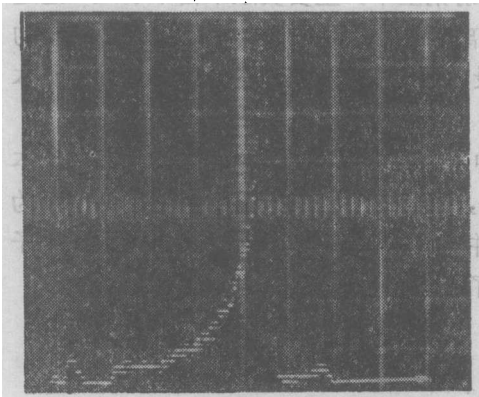
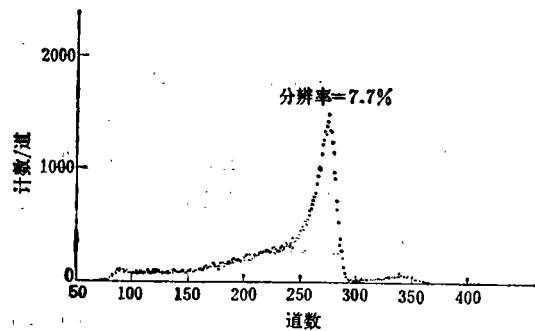
图1 高灵敏度中子监测器结构(图中以毫米为单位)

1 石蜡柱体 2 三支并联的  $BF_3$  计数管 3 前级放大器

脉冲输出。

$BF_3$  计数管是上海电子管厂为空间物理测量宇宙射线中子而生产的，其技术性能见表1。计数管输出的脉冲幅度峰值~5毫伏，经过1000倍放大后送入甄别器和定标器，同时也送入多道脉冲幅度分析器。主放大器采用了FH1002A，有可调的RC成形时间常数。

**2.  $BF_3$  计数管的脉冲幅度分辨率及  $\gamma$  本底的甄别** 用512道脉冲幅度分析器测量了监测器在Am-Be中子源照射下，由中子产生的脉冲幅度分布，见图2及图3。

图2 单支  $BF_3$  计数管的脉冲幅度分辨率图3 三支  $BF_3$  计数管并联的脉冲幅度分布  
(甄别阈选择为50道,道宽20毫伏)

图中主峰是反应(b)产生的，比主峰能量更高的峰是由反应(a)产生的。单管的最佳分辨率为5.9%。三支并联时的脉冲幅度分辨率为7.7%。

显然， $\gamma$ 射线在计数管中所形成的脉冲幅度很小，它与中子脉冲幅度分布之间有明显界限。因此选择适当的甄别阈很容易将 $\gamma$ 本底甄别掉，本工作中甄别阈为420千电子伏。当监测器在100毫伦/时的 $\gamma$ 剂量率照射下，甄别阈以上的积分计数并无增加。

**3. 灵敏度及其能量响应** 对监测器的刻度是在四楼顶平台上露天空旷的条件下进行的。监测器和源离开平台地面1.5米，刻度用的Am-Be中子源的强度为 $5.59 \times 10^5$ 中子/秒，结果见图4。监测器的计数率与中子注量率的关系为一直线，在测量范围内，计数率

与源间距遵守  $R$  反平方律关系 ( $R$  为源距)，最大偏离不超过 5%，重复性较好。由刻度曲线可定出监测器的灵敏度 (计数/中子/厘米<sup>2</sup>) 是 101 计数/中子/厘米<sup>2</sup>。它与同类型的中子监测器的比较见表 2。

这种以  $\text{BF}_3$  正比计数管为中心，外面包有 ~6.5 厘米厚的慢化体的中子监测器，广泛用于中子本底的注量率的测量。中子能量在 0.2 电子伏到 5 兆电子伏之间，监测器灵敏度在  $\pm 18\%$  以内与中子能量无关<sup>[1,5,2]</sup>。

**4. 方向性** 图 5 表示出，在给定的距离上，Am-Be 中子源相对于监测器的轴线方向成不同角度入射时，分别测量了监测器的灵敏度。实验表明，它具有明显的方向性， $\theta = 90^\circ$  时计数率最高，角度  $\theta$  接近  $0^\circ$  时计数率下降至  $\theta = 90^\circ$  时的 40%。

宇宙射线中子入射到地面的角分布，可近似表示为  $\cos^2 \phi$ ， $\phi$  是入射中子与地面垂直方向所成的角度，对于中子  $n = 3-5$ <sup>[6]</sup>，即

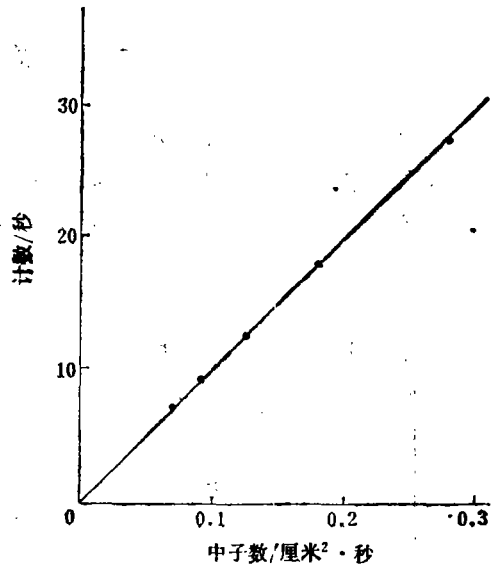


图 4 刻度曲线

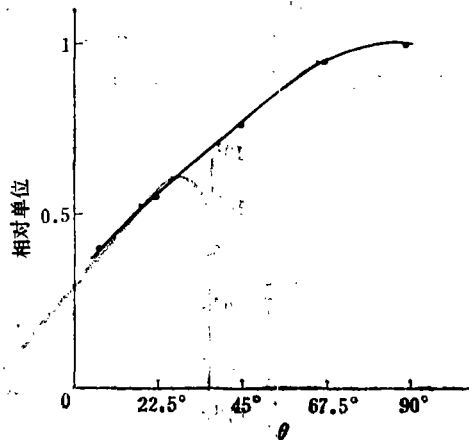
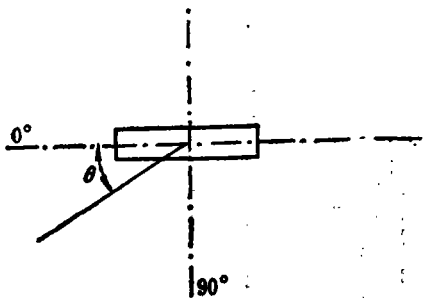


图 5 方向性曲线

表 2 中子监测器的灵敏度比较

监测器	BF <sub>3</sub> 管	直径 35 毫米长 1100 毫米 (三支并联)	直径 50.8 毫米长 311 毫米	直径 147.3 毫米长 1908 毫米	直径 28 毫米长 140 毫米
	慢化体厚	6.5 厘米	6.5 厘米	6.5 厘米	6.2 厘米
灵敏度 (计数/中子/厘米 <sup>2</sup> )		101	32.5	370	2.03
实验室		本工作	KEK <sup>[2]</sup>	KEK <sup>[2]</sup>	401 <sup>[4]</sup>

宇宙射线中子基本上是垂直入射到地面。因而,对于水平放置的监测器,其方向性所引起的灵敏度差别,在测量中可以不予考虑。

### 三、测量结果和讨论

自1980年9月开始,在我所主楼顶平台上的固定中子监测站,连续一年测量了天然中子本底水平。每600秒由定标器取一次数据或长时间累积计数,进行了大量重复性测量。图6为1981年5月份测得的平均计数率。测量中用多道脉冲幅度分析器监测中子脉冲幅度的分布,并记录主峰的位置,从而确认测得数据的可靠性。

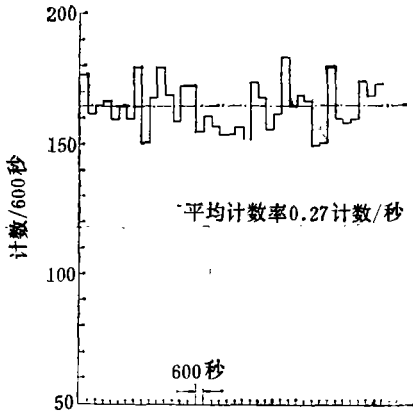


图6 天然中子本底 (1981年5月)

天然中子本底是来自宇宙射线,其能谱为Hess谱所描述见图7<sup>[7]</sup>。为了估计天然中子本底对人体组织构成的剂量影响,须要将测得的中子注量率转换成相应的剂量当量率。根据Hess谱和单能中子注量率—剂量当量率换算系数(取自ICRP第21号出版物表4)可计算出Hess谱中子的平均注量率—剂量当量率换算系数 $\bar{f}_h$ :

$$\bar{f}_h = \frac{\int_{E_m}^{E_M} f_h(E)N(E)dE}{\int_{E_m}^{E_M} N(E)dE} \quad (1)$$

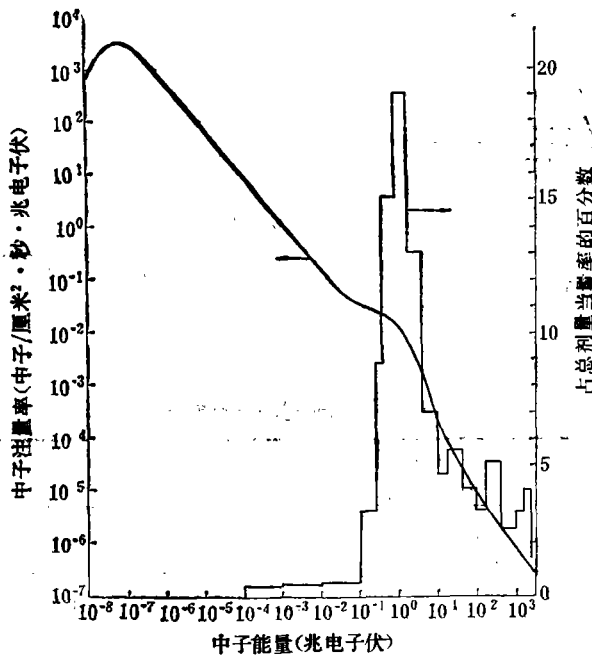


图7 海平面宇宙射线中子能谱 (Hess谱)和不同中子能组在总的剂量当量率中贡献的百分数

式中  $N(E)$ ——宇宙射线中子注量率谱 (Hess 谱),  $f_h(E)$ ——单能中子的注量率—剂量当量率换算系数,  $E_m$ ——最小中子能量 (0.025 电子伏),  $E_M$ ——最大中子能量, 由此算得  $\bar{f}_h$  值为 0.072 毫雷姆/时/中子/厘米<sup>2</sup>·秒。该值是指单向宽束中子垂直入射到圆柱形体模内最大剂量当量率。

同理,可算出不同中子能组对总剂量当量率贡献的百分数,示于图 7。计算表明:中子能量大于 5 兆电子伏以上的占总注量率的 16%,但在总剂量当量率中的贡献占 39%。

用监测器估计天然中子本底的剂量当量率时,由监测器的读数  $C$  (计数/秒) 和灵敏度  $\varepsilon = 101$  计数/中子/厘米<sup>2</sup>,并考虑到对中子能量大于 5 兆电子伏和小于 0.2 电子伏的注量率的修正,即可给出总注量率。再利用平均注量率—剂量当量率换算系数  $\bar{f}_h = 0.072$  毫雷姆/时/中子/厘米<sup>2</sup>·秒,求出剂量当量率  $\dot{H}$ :

$$\dot{H} = \frac{C}{\varepsilon} \frac{1}{(1-K)} \bar{f}_h \quad (2)$$

式中  $K = 0.16$  表示能量大于 5 兆电子伏的中子占总注量率的百分数。能量小于 0.2 电子伏的中子占总注量率的百分之一点四。

图 8 给出连续一年测得的月平均剂量当量率。并根据 1980 年后四个月的月平均值计算出年剂量当量值为  $2.2 \pm 0.4$  毫雷姆。1981 年为  $2.0 \pm 0.4$  毫雷姆。

与国外数据的比较。日本 KEK 1977 年 8 月在低温物理实验室附近测量了天然中子本底的剂量水平<sup>[2]</sup>。CERN 1974 年在高能加速器周围测量了天然中子本底<sup>[6]</sup>。这些数据列入表 3 内。

表 3 天然中子本底数据 (圆柱体模内最大剂量当量)

测量时间地点	地理纬度(地磁纬度)	中子剂量(毫雷姆/年)
KEK 1977 年	36° (26°)	1.9—2.8
北京 1980 年(本工作)	40.5° (28°)	2.2±0.4
CERN 1974 年	46° (47°)	8.8

从表可以看出北京地区的天然中子本底的剂量当量值与日本 KEK (地磁纬度相近)测得值一致。天然中子本底随地磁纬度的增加而增加。

在测量期间 1981 年 4 月和 5 月曾发生太阳跃斑,但在我们的测量中未曾发现天然中子本底有明显变化。

宇宙射线的高能初级带电粒子通过大气层与大气中的氧或氮的原子核发生作用产生中子,基本垂直入射到地面。它们在空气和地面的交界面处,由于地球对入射中子的反散射会使地面上的近热中子注量率增加<sup>[6]</sup>。但是由于监测器对这部分中子的灵敏度低,对

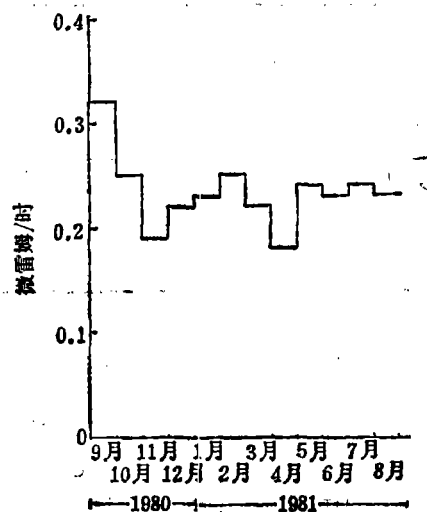


图 8 1980 年和 1981 年的天然中子本底

散射中子的修正可不予考虑。实验证明了这一点,在水平放置的监测器慢化体的底部和周围包有0.8毫米厚的镅片与不包镅片对天然中子本底测得的数据相同。

我们于1981年下半年开始采用了两套独立的监测系统,同时进行测量,比较测得的数据,以便确保测得数据的可靠性。监测器的参数及测量结果列入表4。

表4 几种监测器的参数及测量结果比较

监测器 (BF <sub>3</sub> )	长度 (毫米)	直径 (毫米)	B <sup>10</sup> 浓度	充气压 (毫米Hg)	分辨率	计数管 支数	慢化体	灵敏度 (计数/中子/ 厘米 <sup>2</sup> )	计数率 (次/秒)	注量率 (中子/厘米 <sup>2</sup> · 秒)
φ50毫米	1200	φ50	95%	900	28%	1支	聚乙烯 (6.5厘米)	143	0.37	3.08×10 <sup>-3</sup>
φ35毫米	1100	φ35.2	95%	400	7.7%	2支并联	石蜡 (6.5厘米)	62	0.17	3.26×10 <sup>-3</sup>
φ35毫米	1100	φ35.2	95%	400	7.7%	3支并联	石蜡 (6.5厘米)	101	0.27	3.18×10 <sup>-3</sup>

科学院空间物理所的李立民和张守贵同志参加BF<sub>3</sub>正比计数管的性能测定。本工作得到刘桂林、姜文贵和朱育诚同志的支持和帮助,在此一并表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] Takashi Nakamura and Toshiso Kosako, Nuclear Science and Engineering 77(1981), 182—191; 中村尚司 保健物理, 16(1981), 343—354.
- [2] Mitsuhiro MIYALIMA et al., Measurement of Stray Neutron Doses Around KEK-PS-Facility (1) KEK-77-17(1977).
- [3] Ferenc Hajnal et al., 1970 Sea-Level Cosmic-ray Neutron Measurements HASL-241 Physics (TID-4500).
- [4] 陈常茂等, 原子能科学技术, 5(1980), 606.
- [5] NASA TMX-3329.
- [6] NCRP Report No. 45.
- [7] R. H. Thomas et al., Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, Vol. 1, IAEA346, 330(1972).
- [8] G. Rau and D. Schwenke, Environmental Radiation Measurements Around the 300 GeV Accelerator Area, SPS/RA/Note/76-6.15 March 1976.

## MEASUREMENT OF NATURAL BACKGROUND NEUTRON

LI JIAN-PING CHANG WUI-KE XIE YAN-FONG

TANG JIN-HUA TANG E-SHENG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

#### ABSTRACT

A high sensitive neutron monitor is described in this paper. It has an approximate counting rate of 20 cpm for natural background neutrons. The pulse amplitude resolution, sensitivity and directional dependence of the monitor were determined. This monitor has been used for natural background measurement in Beijing area during passed year. The yearly average dose is given and compared with the results of KEK and CERN.