

氡子体连续测量仪的研制

刘良军¹, 肖德涛¹, 雷家荣²

(1. 南华大学 氡实验室, 湖南 衡阳 421001; 2. 中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900)

摘要:本工作研制氡子体连续测量仪。仪器由泵主动采样, 滤膜收集氡子体, 采用半导体探测器测量 α 辐射, 二道能谱法测量 α 计数, 使用扣除算法计算氡子体潜能浓度, 通过测量 ^{212}Po 的 8.78 MeV α 计数消除 ^{220}Rn 对氡子体的测量干扰。仪器可在不更换滤膜情况下连续测量, 测量周期可选择 1、1.5、2 和 3 h。采用 MCS51 单片机控制自动采样、测量和计算。测量范围为 $0.0015 \sim 100 \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$, 测量值大于 $0.1 \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 时的测量不确定度小于 10%。

关键词:氡子体; 扣除算法; 连续测量

中图分类号: TL81

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2007)04-0509-04

Development of a Radon Progeny Continuous Monitor

LIU Liang-jun¹, XIAO De-tao¹, LEI Jia-rong²

(1. Radon Laboratory, Nanhua University, Hengyang 421001, China;

2. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: A radon progeny continuous monitor was developed. The pump was used for sampling, and radon progeny was collected by filter membrane. The alpha radiation was detected by semiconductor detector, and the pulse was measured by two-channel pulse-height analyzer. The potential energy concentration of radon progeny was calculated through deduction arithmetic, eliminating the effects of ^{220}Rn by measuring alpha counting of ^{212}Po (8.78 MeV). The monitor can continuously work without replacing filter membrane. The measurement cycles can be selected in four modes: 1, 1.5, 2 and 3 h. Microprocessor MCS51 was used for auto-sampling, measurement and calculation. The measurement range is $0.0015 \sim 100 \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$. The uncertainty is less than 10% when the measurement value is larger than $0.1 \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$.

Key words: radon progeny; deduction arithmetic; continuous measurement

空气中氡子体的浓度随气象条件变化而有很大不同, 欲准确评价氡子体的危害, 实时扣除氡子体对人工核素测量的干扰, 均必须连续可

靠测量氡子体的浓度。德国的 Feddersen 等^[1]、波兰的 Henschke 等^[2]研制的氡子体连续测量仪, 采用测量总 α 计数的方法和迭代扣

除算法测量氡子体浓度,具有不更换滤膜连续测量氡子体的能力,但不具备甄别 ^{220}Rn 子体影响的功能。日本的 Hattori 等、Furuta 等研制的氡子体连续测量仪^[3-5]采用 α 能谱测量技术,通过测量氡子体(^{218}Po 、 ^{214}Po)的能谱峰来计算氡子体及其潜能浓度。这种氡子体测量仪能够准确测定氡子体及其潜能浓度,且具有甄别 ^{220}Rn 子体影响的能力,它的连续测量是通过一可靠的机械装置拉动一长卷滤膜在每次测量结束后自动更换滤膜完成的,一卷滤膜的测量时间为1个月。我国至今尚未见该方面测量仪器研制的报道。

本工作拟研制氡子体连续测量装置。

1 测量原理

1.1 氡子体连续测量方法^[6]

当将 RaA、RaB、RaC 看作是 1 个子体时,其有效半衰期为 35 min。对于连续的周期采样测量,单个周期的 α 计数值是当前样品的氡子体衰变产生的 α 计数和前几个收集样品的氡子体衰变产生的 α 计数之和。当前测量周期的氡子体潜能浓度可由迭代扣除算法算出。具体方法是:设测量前 n 个样品(一般 5 个样品)的潜能浓度分别为 $C_1 \sim C_n \mu\text{J}/\text{m}^3$,前 n 个样品对当前样品的贡献因子分别为 $K_1 \sim K_n$,则当前样品的潜能浓度为:

$$C' = K(N - N_b) - \sum_{i=1}^n K_i C_i \quad (1)$$

式中: N 为当前样品的总计数; K 为刻度系数,即对应1个 α 计数时的潜能浓度, $\mu\text{J}/\text{m}^3$; N_b 为仪器的本底计数。

1.2 ^{220}Rn 和 ^{222}Rn 子体的甄别

在实际的环境空间中, ^{220}Rn 和 ^{222}Rn 同时存在, ^{220}Rn 和 ^{222}Rn 的辐射效应有差别,可在测量中加以区分。 ^{220}Rn 子体辐射的 α 粒子有6和8.78 MeV两种能量,氡子体辐射的 α 粒子也有6和7.87 MeV两种能量,通过能量分辨的办法可测出 ^{220}Rn 子体辐射的8.78 MeV特征 α 粒子,用计算的办法甄别 ^{220}Rn 子体对 ^{222}Rn 子体测量的干扰。当考虑到 ^{220}Rn 子体对氡子体样品的贡献时,采用二道能谱法去除 ^{220}Rn 子体的干扰,则实际氡子体潜能浓度为:

$$C = K(N - N_b - k_T N_T) - \sum_{i=1}^n K_i C_i \quad (2)$$

式中: N_T 为 ThC' (8.78 MeV)的 α 计数, k_T 为 ^{220}Rn 子体对氡子体测量的贡献因子。

$K_1 \sim K_n$ 可在标准氡室中通过实验确定,也可通过理论计算得到。 k_T 可通过实验测定。在实际测量中,有可能产生脉冲堆积,导致高估 ^{220}Rn 子体对氡子体的干扰,使氡子体测量值偏低。解决的办法是:1)从硬件上解决,即成型电路采用小的时间常数和双极性脉冲输出,以有效减少脉冲堆积;2)用实验的办法,在无 ^{220}Rn 子体的情况下,测量氡子体在 ThC' 能道的计数与低能道计数的比,通过计算将其扣除。

2 仪器系统的设计

2.1 氡子体取样器

氡子体主要以结合态悬浮在空气中,悬浮粒径分布在50~500 nm范围内,取样时,有可能出现取样气体中的氡子体在气道壁上附壁现象。因此,在设计中,尽量缩短气道和加大气体入孔。

对主动式取样方法,防止气体的短路和泄漏是保证测量精度的另一关键。为此,将取样器设计成固定和活动两部分。活动部分又称取样头,在其底部安装取样滤膜,中部开两道槽,槽中放置O型密封圈,用于气体密封和便于拔插和更换滤膜。滤膜正前方放置用于探测 α 射线的半导体探测器及其电荷灵敏前置放大器。所设计的氡子体取样器如图1所示。

2.2 仪器电路

仪器电路包括电源、主放大器、阈值电路、单片机控制电路和人机交互电路等。电源部分提供仪器工作所需的+5 V、±12 V、+100 V 3组电源,可提供交流和电池双供电模式。

电荷灵敏前置放大器输出的脉冲幅度较小,需进一步放大才能提供给计数电路。主放大电路由一阶CR微分电路、二阶RC滤波电路和一级放大电路构成。为使仪器有尽可能高的计数率,主放大器提供给阈值电路的信号为双极性脉冲。阈值电路由比较器与脉冲成形电路构成。

单片机控制电路包括MCS-51兼容的CPU、复位电路、实时时钟、计数电路、数据和

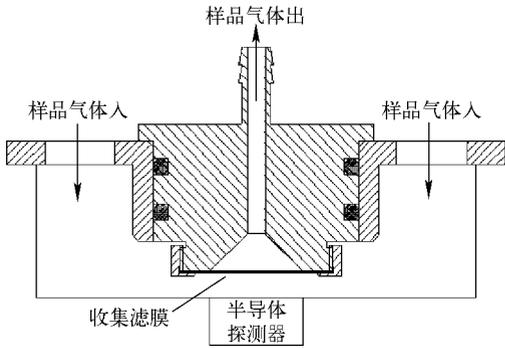


图 1 氡子体取样器示意图

Fig. 1 Sketch of radon progeny sampling device

程序存储器、RS-232 通讯接口、控制接口和人机接口。人机交互电路由键盘和 20×4 LCD 点阵字符液晶显示器构成。计数器采用 8253 可编程计数器。系统电路框图如图 2 所示。

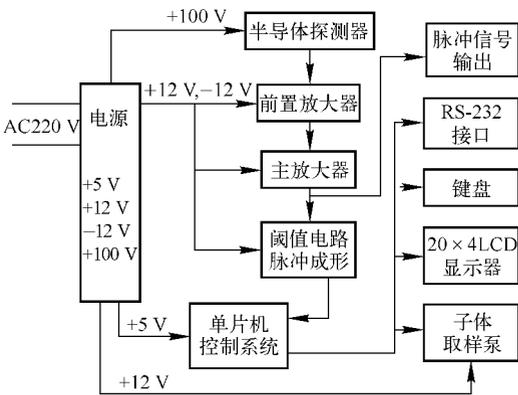


图 2 NR200A 氡子体连续测量仪电路系统框图

Fig. 2 Scheme of NR200A radon progeny continuous monitor

2.3 系统软件

软件分为上位机数据管理软件和仪器控制软件。仪器控制软件功能包括通讯模块、显示模块、控制模块和算法模块。设计软件中采用看门狗技术,使仪器在受到干扰出现死机时自动恢复运行,可保证自动测量不受复位的影响。

考虑到不同用户的需求,设置了 1、1.5、2 和 3 h 几个测量周期选项,并加入了三段法、定标器模式、 ^{220}Rn 干扰扣除关闭等功能。

上位机通过通讯口与测量仪器通讯,在仪器工作时,可随时读取测量数据。上位机的软件可实现数据的保存、打印、查询、显示子体浓度变化趋势图等。

3 实验与结果

3.1 仪器的主要技术指标

用标准 α 源在标准氡室内对仪器进行测试,仪器达到如下主要技术指标:测量范围, $1.5 \times 10^{-3} \sim 100 \mu\text{J}/\text{m}^3$; 仪器本底噪声,每分钟小于 0.1 个计数;内装泵取样流量, $3 \sim 6 \text{ L}/\text{min}$; 在环境温度 $0 \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ 、湿度小于 95% 时,仪器的环境稳定性优于 2%。

将仪器置于标准氡室中连续测量,用标准托马斯三段法同步测量氡子体潜能浓度,测得仪器 3 个测量周期的刻度系数分别为 3.8×10^{-4} 、 5.2×10^{-4} 和 $2.3 \times 10^{-4} \mu\text{J}/\text{m}^3$ 。标准氡室氡子体测量的合成不确定度为 4.4%。通过理论分析和计算,仪器测量值大于 $0.1 \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,测量不确定度优于 10%。

3.2 ^{220}Rn 干扰扣除系数的测量

^{220}Rn 对氡子体测量的干扰扣除通过两道能谱法予以实现。先在小氡室建立 1 个 ^{220}Rn 和 ^{222}Rn 混合的环境,将仪器置于小氡室中,开始自动采样。采样后取出仪器,将仪器的主放大器输出信号接到 ORTEC 公司的 8 道 α 能谱仪上,测量 α 能谱,测量结果示于图 3。从测量的能谱图上可看到 3 个能谱峰。所以,探测和放大部分输出的脉冲信号能够用于后续的能谱测量。

更换滤膜,在小氡室中建立纯 ^{220}Rn 和纯 ^{222}Rn 环境,分别采样和测量,调整两个能道的阈值。在纯 ^{220}Rn 环境下测量 ^{220}Rn 子体在两个能道计数的比值,多次测量后取平均值。

3.3 实验验证

用托马斯三段法和仪器在氡室中并行测

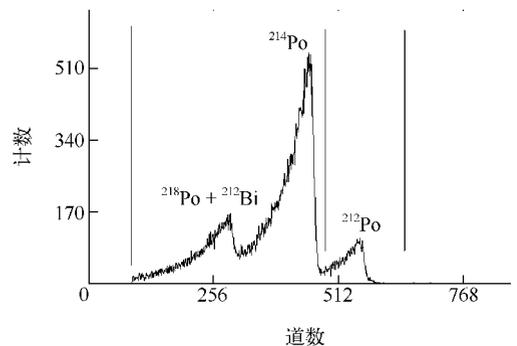


图 3 ^{220}Rn 和 ^{222}Rn 的 α 能谱图

Fig. 3 Alpha spectrum of ^{220}Rn and ^{222}Rn progeny

量,间隔一段时间调节氡室氡浓度,测量结果列于表1。在氡室环境下,该仪器与托马斯三段法的测量结果基本相符,表明该仪器可用于氡室的氡子体连续监测。

3.4 环境氡子体潜能浓度测量

将仪器置于24 h皆有一定通风的办公室环境中连续测量。测量从9时开始,到第3天8时结束,测量周期1 h,测量结果示于图4。由图4可见,在有人活动时,该房间氡子体潜能浓度开始变低,下班后浓度开始升高,第2天8时(开始上班)升到最高点。测量结果符合有人活动时氡子体浓度低于无人活动的规律。

表1 氡室中氡子体潜能浓度仪器测量值与托马斯三段法测量值比较

Table 1 Comparison of measurement results of radon progeny potential energy using two methods in radon chamber

氡子体潜能浓度测量值	
仪器测量值/ $(\mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3})$	托马斯三段法测量值/ $(\mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3})$
14.17	14.10
11.22	10.11
5.93	5.79
0.99	1.13
0.99	1.02
1.10	1.10
0.64	0.64
0.62	0.64
0.65	0.64
0.40	0.37

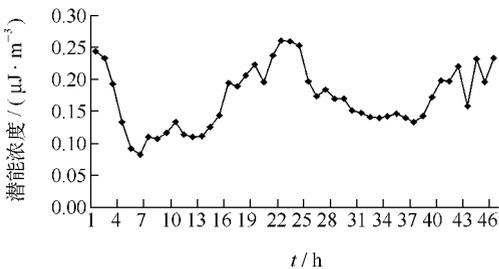


图4 室内氡子体潜能浓度测量结果

Fig. 4 Measurement result of radon progeny in a room

4 结论

基于氡子体扣除算法研制的NR-200A氡子体连续测量仪可设计为便携式结构,能够适用于室内和野外测量,测量范围 $0.0015 \sim 100 \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 。测量值大于 $0.1 \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,测量不确定度小于10%。该测量仪能够扣除 ^{220}Rn 子体对氡子体测量的干扰。仪器运行可靠,抗干扰能力强,一般的光、电、磁干扰环境对测量无影响。

参考文献:

- [1] FEDDERSEN C. Method of determining the variation of concentration of the potential alpha energy of radon daughters with time without changing the filter [J]. Kernenergie German Democratic Republic, 1979, 22(2): 58-61.
- [2] HENSCHKE J, GWIAZDOWSKI B, BIERNACHA M. A rapid measurement method of potential alpha-energy concentration of radon daughters in air [J]. Problemy Techniki w Medycynie (Poland), 1980, 11(4): 285-297.
- [3] FURUTA S, ITO K, ISHIMORI Y. Development of continuous monitor for radon progeny [J]. Donen Giho, 1995, 93: 62-67.
- [4] HATTORI T, ISHIDA K. A continuous monitor for radon progeny and its unattached fraction [J]. Denryoku Chuo Kenkyusho Hokoku Sogo, 1996, T44: 71-76.
- [5] FURUTA S, ITO K, ISHIMORI Y. A continuous radon progeny monitor with a vacuum vessel by alpha spectrometry [J]. Radiation Protection Dosimetry, 2000, 90(4): 429-436.
- [6] 刘良军, 周剑良. 氡子体潜能浓度连续测量的扣除算法 [J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26(1): 25-29.
LIU Liangjun, ZHOU Jianliang. Deduction arithmetic of continuous measurement the radon daughters potential energy [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2006, 26(1): 25-29 (in Chinese).