

周红艳, 任宏微, 余 思. P2000 与 RAD7 测氡仪对比观测实验研究[J]. 华南地震, 2015, 35 (3):54-58. [ZHOU Hongyan, REN Hongwei, YU Si. The Comparison Experiment of Two Instruments Measuring Radon -P2000 and RAD7[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(3):54-58.]

P2000 与 RAD7 测氡仪对比观测实验研究

周红艳¹, 任宏微², 余 思¹

(1. 江西省地震局, 南昌 330039; 2. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要: 氡观测方法与技术发展的重要标志是观测仪器的日臻完善, 对于仪器的使用者来说, 掌握仪器的探测原理、了解仪器性能和熟练操作仪器一样重要。在介绍 P2000 与 RAD7 两种测氡仪的基础上, 通过对比实验, 分析、判断产生观测差异的可能原因, 为今后的仪器使用、数据应用提供依据。

关键词: 氡; 测氡仪; 对比观测

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2015) 03-0054-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.03.008

The Comparison Experiment of Two Instruments Measuring Radon -P2000 and RAD7

ZHOU Hongyan¹, REN Hongwei², YU Si¹

(1. *Earthquake Administration of Jiangxi Province, Nanchang 330039, China;*

2. *Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China*)

Abstract: The important indicator of the development of radon measurement methods and techniques is the improvement of observation instruments. For the instruments users, mastering the observation method and knowing the functions of the instruments are as same important as operating the instruments proficiently. Based on the introduction of two radon observation instruments -P2000 and RAD7, this article analyzes and judges the possible reasons of the differences of the two observation methods through comparative experiments, which will provide the basis for future usage of the instruments and data.

Keywords: Radon; Radon counter; Comparative observation

收稿日期: 2015-05-29

基金项目: 中国地震局星火计划课题 (XH12014) 资助

作者简介: 周红艳 (1979-), 女, 工程师, 主要从事地下流体观测与数据分析研究.

E-mail: zhouhy_5258@163.com.

0 引言

自发现放射性以来,对放射性探测方法及核仪器的开发、应用已经历了一百余年的时间。应该说,放射性检测方法与仪器已日臻完备,开发新的检测方法和研制新的检测仪器难度越来越大,尤其是对于 α 粒子测量更是如此。进入20世纪90年代,随着电子技术和计算机的飞速发展,用于 α 粒子探测的核仪器性能也达到了迅速提升,在国内外也形成了多家专业仪器生产厂家^[1]。P2000是德国SAPHYMO GMBH公司ALPHAGUARD系列测氡仪,在全球多个国家和地区广泛使用,以其较高的灵敏度和稳定性著称,作为二次计量传递的标准仪器被指定为各氡室统一使用;RAD7型 α 能谱仪是美国DURRIDGE公司生产的便携式测氡仪,也是很多行业辐射监测的首选仪器,是我国各种进口仪器中使用最多的测氡仪。这两种仪器都具备观测速度快、准确度高、稳定性强等特点,但又有其各自的特点。

氡作为地下流体的敏感组份,经过中长期观测,能为地震预报提供依据已经为世界认可。在仪器选择和使用上,地震系统长期使用国内自主生产的闪烁室法测氡仪(FD-125型氡钍分析仪、SD-3A自动测氡仪),积累了大量的观测资料,为监测预报地震提供过有用信息。但闪烁室法测氡仪自身存在难以克服的缺点,例如:闪烁室长期观测老化、探测效率降低,仪器标定(检查)周期短,测量时间长、可获得信息量小,数字化观测仪器稳定性差等。为了研究提高观测资料的数量和质量的方法,更好的为地震预报提供可靠的数据,近几年,我们逐步引进了少量的P2000和RAD7测氡仪,为了深入了解仪器性能,进一步在地震系统使用,作者在实验室对两套仪器进行了短期的对比观测,并对观测数据差异产生的可能原因做初步分析,为仪器的今后使用提供依据。

1 观测原理

AlphaGUARD系列P2000测氡仪为典型的脉冲电离室测氡法,其工作原理^[2]为:含氡气体进入电离室,氡释放的 α 粒子使空气电离,产生大量的电子和正离子,在电离室内壁与收集极之间的电场作用下,带负电的电子与正离子向相反方向的电极漂移,在收集电极上形成电脉冲,由于正离子质量大于电子,运动速度相对较慢,收集电

极主要是正离子产生的慢脉冲,这些脉冲经电子学测量单元放大后,由计数电路记录。

RAD7测氡仪为半导体探测器,受湿度影响明显,其工作原理^[3]是:经干燥、过滤的氡气体进入探测室,探测室内壁涂有导电材料,探测室内有半导体探测器,氡衰变产生的子体(固体)在静电场中被收集在半导体探测器表面,释放出的 α 粒子进入半导体探测器后,产生空穴-电子对,这些空穴-电子对被探测器内电场两电极分开,并分别被阴极和阳极收集,产生同 α 粒子损失的能量成正比的输出脉冲信号,从而可探测射线的强度。即入射粒子在灵敏区内损失能量转变为与其能量成正比的电脉冲信号,经放大并由多道分析器测出幅度的分布,从而给出带电粒子的能谱。

2 观测仪器

2.1 AlphaGUARD系列P2000测氡仪

基于最优化脉冲电离室设计的AlphaGUARD系列测氡仪是目前国内外最稳定、准确的商用氡探测器,其作为氡测量标准传递装置广泛应用于国内外各个氡室中。在通常氡浓度水平下,该仪器只记录 α 粒子电离产生的脉冲计数,不能甄别能谱^[4]。

AlphaGUARD测氡仪可以快速测量空气、土壤和水中氡浓度,并同时显示样品测量时的温度、湿度和大气压。其电离室为一0.6 L圆柱形,中间为中心(收集)电极,通过保护环固定在圆柱中央,保护环都由高性能聚四氟乙烯绝缘体隔开。该仪器针对不同的工作模式、不同浓度样本可选择的计数时间不同,气流模式(Flow)可选择1 min、10 min计数,扩散模式可选择10 min、60 min计数,仪器参数设置完成即可进行测量。该仪器无湿度效应、无累积效应,探测效率高、高低动态变化响应速度快;仪器轻便、操作简单,适合现场使用;稳定性极佳,刻度因子5年内无须改变;用内置电池可自动工作10 d(40 d备选)、自动存储4 800个数据。该仪器灵敏度50 CPM/1 KBq/m³(0.55 pCi/l),测量误差小于3%,系统线性误差小于3%,测量量程为2~2 000 000 Bq/m³。

值得注意的是:气体进入探测腔前经子体过滤,该仪器测量对象为纯氡释放的 α 粒子产生的脉冲计数,不能分辨²²²Rn、²²⁰Rn。Ishikawa最早发现AlphaGUARD对²²⁰Rn有响应,并测量了扩散模式下的²²⁰Rn响应因子。而事实上,气流模式下

^{220}Rn 更易进入。

2.2 RAD7 型 α 能谱测氡仪

RAD7 型 α 能谱测氡仪是典型的应用半导体探测器的快速测氡仪, 在国内氡观测的各应用领域应用较为广泛。该仪器的显著特点是采用干燥管控制进入探测腔内气体的湿度, 避免湿度对测量的影响, 提高观测精度^[5]。

该仪器内部样品腔是一个 0.7 L 的半球, 半球的内壁涂层为电导体, 在球的中心是固态离子植入硅 α 探测器, 仪器为主动式采样, 内置流量率标准值 1 L/min 的气泵(在进气口), 和腔体及气管组成一个密封性能良好的进出气系统。样本测量完给出观测氡浓度及 α 能谱, 仪器主要通过 ^{218}Po 、 ^{214}Po 信号来确定 ^{222}Rn 浓度。该仪器功能强大, 操作简便, 针对不同的观测目的给出最佳工作参数, 还可以根据个人需要自定义工作参数; 自配小型打印机、能谱直接打印。其嗅探模式灵敏度为 0.25 pCi/l, 正常模式灵敏度为 0.5 pCi/l, 测量量程或动态范围: 4~750 000 Bq/m³。

值得注意的是: 为避免湿度对测量精度的影响, 需要经常更换干燥剂, 且不同体积的干燥管对观测值的影响不同, 计算时采用的修正系数不同; 理论上, 氡子体衰变的 α 粒子 50% 进入半导体探测器内部的, 探测效率低; 为了避免长时间观测导致的峰值偏移, 厂家建议每年对仪器进行刻度。

3 实验内容

3.1 实验条件

选用地质所改造氡源, 标称浓度为 195.8 KBq/m³, 因实验前一周氡室误与空气联通, 导致浓度下降, 实验前一天 P2000 测氡仪 3 h 测得氡源平均浓度 165.7 KBq/m³, 后标定 5 个 0.5 L 闪烁室, 氡浓度再次降低。两天实验的气路与连接方式相同(见图 1), 选择工作模式相同, 观测时间段相近(9:00~16:00), 仪器显示的工作温度、气压和湿度情况相当。实验第一天测量连续 6 h, 第二天连续测量 5.5 h, P2000 观测第一个测值因循环时间不足舍弃, RAD7 观测的前 2~3 个测值不稳舍弃。

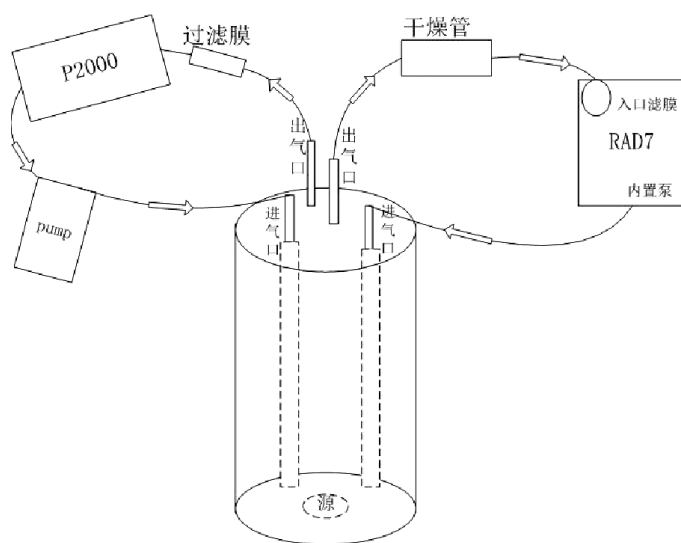


图 1 P2000 与 RAD7 测氡仪同步测源连接图

Fig.1 The connection figure of P2000 and RAD7 measuring radon at the same time

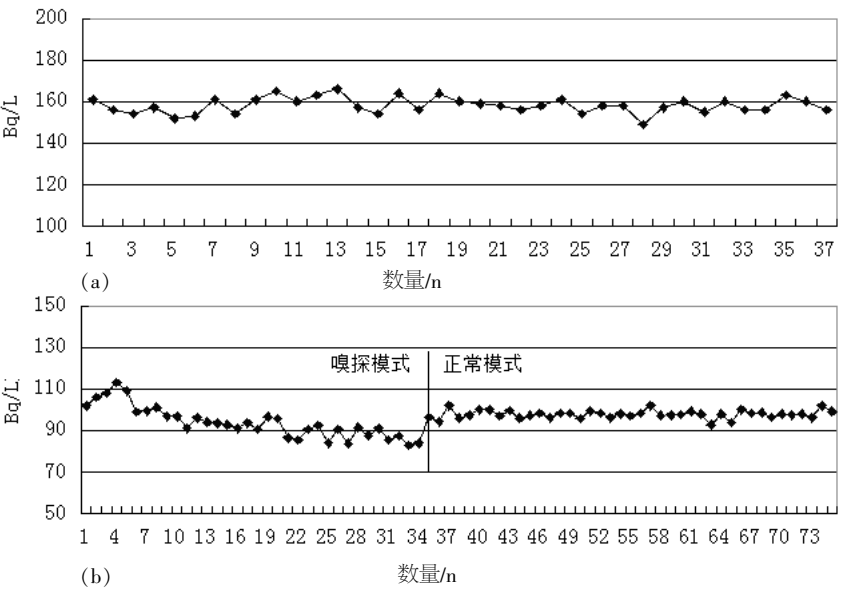
实验过程: 两套仪器同时接氡源, 都采用封闭气路循环观测方式, 应用各自携带的气泵, 选择相同的采样流速 1 L/min, 两套仪器进气口均接子体过滤器。由于湿度对 RAD7 测氡仪影响明显, 氡气在进气口前端经干燥管 (0.032 L) 干燥, 并串联灰尘过滤器。P2000 测氡仪选择 Flow 模式 10 min 计数; RAD7 选择 AUTO 模式, 前 3 h 为嗅探

(Sniff) 模式, 后自动转换为正常 (Normal) 模式, 每 5 min 计数一次, 在嗅探 (Sniff) 模式下氡浓度由 ^{218}Po 确定, 正常 (Normal) 模式根据 ^{218}Po 和 ^{214}Po 计数计算氡浓度, 达到更高的统计精度。

3.2 观测结果

两天实验的观测结果如下, 第一天: P2000 测

值均值为 158.16 KBq/m^3 , RAD7 测值均值为 95.96 KBq/m^3 , 相差 64.82% ; 第二天: P2000 测值均值为 155.65 KBq/m^3 , RAD7 测值均值为 102.38 KBq/m^3 , 相差 52.03% 。P2000 测氡仪两天的观测数据均值误差小于 2% , RAD7 测氡仪两天的观测数据均值误差约为 6% (见图 2)。



(a) P2000 测氡仪 10 min 计数曲线; (b) RAD7 测氡仪 5 min 计数曲线。

图 2 2014 年 5 月 15 日实验测量曲线对比图

Fig.2 The comparative figure of experimental measurement curves on May 15th, 2014

通过两天的对比观测, 可以很明显的看出 P2000 测氡仪的测值较高, 比 RAD7 测值高大于 50% , 两套仪器稳定性都很好: P2000 第一天观测数据的相对误差小于 6% , 第二天观测数据的相对误差小于 7% ; RAD 在前 3 h 的嗅探模式下离散度稍高, 转为正常模式后测值升高、稳定性更好, 第一天观测数据的相对误差小于 18% , 第二天观测数据的相对误差小于 10% , 而在正常模式下, 通过 ^{218}Po 和 ^{214}Po 计数计算氡浓度的两天相对误差均小于 6% (见图 3)。

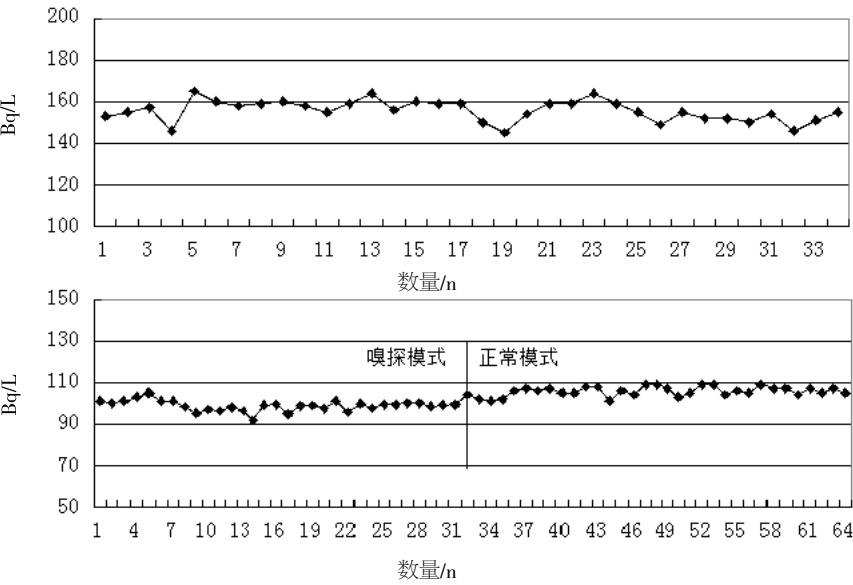


图 3 2014 年 5 月 16 日实验测量曲线对比图

Fig.3 The comparative figure of experimental measurement curves on May 16th, 2014

4 结语

由测量结果可以看出,两种型号的测氦仪都具有较好的稳定性,RAD7 在国内测量与标定时,氦浓度很少大于 100 kBq/m_3 ,所以该仪器在高浓度氦测量时的线性度不确定,而 P2000 的量程更大,作为国际各种浓度氦室比测仪器,在高浓度氦水平表现出更好的准确性。

针对 RAD7 两天的观测数据,第一天测值低、且相对误差较大的主要原因可能是:第一天 RAD7 自带电池电压偏低(小于 6 V),正常工作的电压应在 $6\sim 7 \text{ V}$,对观测数据的稳定性和准确度影响较大。

针对两套仪器观测数值相差较大的可能原因有:① 氦仪器的校准在测量误差计算中有最大的权重,主要是引起实测结果与理论值的系统偏差,可导致正误差也可导致负误差^[9]。即不同氦室校准的仪器刻度因子是观测差值产生的主要原因之一,本次实验的两套仪器在同源测量前的刻度因子均为厂家在不同国家标定产生的;② 仪器观测原理差异,P2000 的探测效率更高,氦气在探测腔内释放的 α 粒子使空气充分电离,并最大限度的在收集极收集到脉冲电压,而半导体 α 能谱探测器存在低能拖尾影响测量准确度,产生这种拖尾的主要因素有探测器收集氦子体的吸收层的存在和灵敏前置放大器的噪声影响等;③ 采样泵流速和气路的影响,RAD7 自带泵标称采样流速为 1 L/min ,观测中发现实际采样流速要稍小,约为 $0.6\sim 0.7 \text{ L/min}$,且该仪器测量气路长,子体过滤器直接接在进气口,高浓度氦衰变子体容易堵塞滤膜,影响观测准确度;④ 氦室的因素,由于氦源封闭在较小(120 L)的空间内,形成小型氦室,氦气浓度的均匀性在观测过程中很难保证,所以,两套仪器同时观测可能存在一定得相互影响,16 日 RAD7 观测 3 h 后测值升高,P2000 测值小幅下降,且稳定性变差,说明了相互影响的存在,且氦室体积越小影响越明显。

由于本次实验时间较短,取得的认识是初步的,今后可以通过增加实验时长、改变观测对象(水氦、断层土壤氦)来进一步加强对两套仪器观测的认识。

致谢:对中国地震局地壳应力研究所刘耀炜研究员在本次实验及数据分析过程中给予的指导和帮助致以衷心感谢!

参考文献:

- [1] 杨明太. α 粒子测量仪器现状与发展趋势[J]. 核电子学与探测技术, 2011, 31 (11): 1 198-1 201.
- [2] 潘自强. 电离辐射环境监测与评价[M]. 北京: 原子能出版社, 2007.
- [3] 李丽. 基于 SSB 便携式 α 谱仪能谱分析技术研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2012: 17.
- [4] 刘翠红, 张磊. AlphaGUARD 测氦仪的 ^{220}Rn 响应研究[J]. 辐射防护, 2010, 30 (3): 135-140.
- [5] 马若云, 张磊, 郭秋菊, 等. 基于 RAD7 测氦仪的 ^{220}Rn 气体准确测量的研究[J]. 原子能科学技术, 2012, 46 (11): 1397-1401.
- [6] 王南萍, 肖磊. 土壤氦测量国际比对及几个重要问题[J]. 现代地质, 2012, 26 (6): 1 294-1 299.