

AlphaGUARD P2000 便携测氡仪在地震观测中的应用与实验研究^①

姜薇薇¹, 马城城², 王玲玲¹, 汪世仙², 刘川琴³

(1.安徽省地震局,安徽 合肥 230031; 2.安徽省地震局庐江地震台,安徽 合肥 230061;

3.安徽省地震局大蜀山地震台,安徽 合肥 230001)

摘要:目前用于地下水中氡浓度观测的仪器,特别是模拟氡观测仪器的更新换代相当缓慢,且普遍采用的 FD-105K 型静电计和 FD-125 型氡钍分析器均采用人工鼓泡、读数,存在一定的人为误差。经实验研究认为 AlphaGUARD P2000 便携测氡仪完全采用自动鼓泡和读数,可避免人工操作带来的误差,提高水氡观测质量,利于捕捉地震异常信息。同时,AlphaGUARD P2000 便携测氡仪携带方便、自带电源、操作简单,可用于野外观测、异常核实和土壤氡的测量,拓展地震地下流体中氡的观测范围。

关键词:氡; 实验; 测氡仪

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)03-0901-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2015.03.0901

Application of the AlphaGUARD P2000 Portable Radon Monitor in Earthquake Prediction

JIANG Wei-wei¹, MA Cheng-cheng², WANG Ling-ling¹, WANG Shi-xian², LIU Chuan-qin³

(1.Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, Anhui, China;

2.Lujiang Seismic Station, Hefei 230061, Anhui, China; 3. Dashushan Seismic Station, Hefei 230001, Anhui, China)

Abstract: The technique of monitoring radon concentrations in groundwater has been used for earthquake prediction for nearly half a century. However, the upgrading of radon-monitoring devices has been very slow. Currently, the FD-105K electrometer and FD-125 radon-thorium analyzer are the most commonly used devices for measuring radon concentrations in water, but measurement errors may occur because the bubbling process is artificially conducted and the measured data are read by visual observation. This study presents an experimental study of the AlphaGUARD P2000 portable radon monitor, a more advanced device that can automatically perform the bubbling process and read data, avoiding errors caused by manual operation. The improved accuracy of this radon monitor helps to better detect radon anomalies prior to earthquakes. The AlphaGUARD P2000 is portable, battery-powered, and easy to use. It can be used in field observations, verification of anomalies, and measurements of radon concentration in soil for the observation of seismic subsurface fluids.

Key words: radon; experiment; radon monitor

0 引言

地下流体观测是地震监测预报的重要手段,而氡的观测是地震监测预报中前兆观测的重要测项。国内外为数众多的水氡震例都证明水氡是映震效能较强的地下流体测项。地下水中氡浓度的观测在地震监测预报中的应用已近半个世纪,但其观测仪器特别是模拟氡观测仪器的更新换代却相当缓慢,多采用人工鼓泡和读数,存在一定的人为误差。

AlphaGUARD P2000 便携测氡仪基于经标定的脉冲电离室原理,具有高探测效率、快速浓度梯度反映以及长期使用免于维护的特点,特别适宜于野外观测和异常落实。

1 井泉概况

1.1 台站介绍

庐江地震台位于安徽省庐江县汤池镇,地处(山东)郯城—(安徽)庐江断裂带的南段西侧约 10 km。其北侧 10

① 收稿日期:2014-10-16

作者简介:姜薇薇(1982—),女,助理工程师,主要从事地震监测工作。E-mail:604557911@qq.com。

km 左右有梅山—龙河口深断裂(南港—龙门冲)、南侧 10 km 左右有青山—晓天深断裂(磨子潭—晓天),东面是扬子板块,北面是华北板块,西面是大别山造山带和扬子破碎带(图 1),是一个地质构造比较复杂的地区。

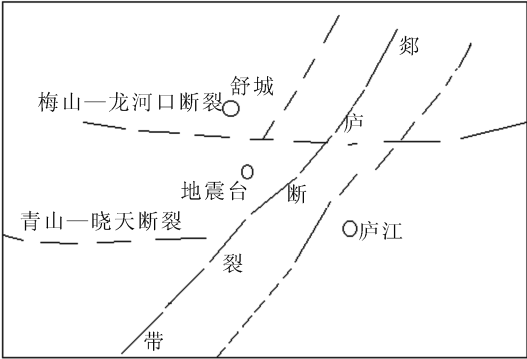


图 1 汤池一号井地质构造图

Fig.1 Geological structure map of No.1 well in Tangchi

1.2 氡观测介绍

庐江地震台 1 号井为自流井,氢氧同位素分析结果表明,井水系大气降水补给。庐江台从 1986 年 1 月使用 FD-105 K 仪器开始对水氡测项进行观测,1992 年 1 月开始换用 FD-125 氢钍分析器,现已积累了 26 年的观测资料。汤池 1 号井水氡值背景清晰,自开始观测以来一直较为平稳,为 (10.0 ± 0.5) Bq/L。根据观测经验总结,该井水氡值的变化对台湾等地区的远大地震有很强的指示意义,对山东、江苏等周边省份的中强震也有过明显的映震效应,与该台附近的小震活动也有一定的对应。从以往的震例来看,该台的水氡异常特征基本表现为上升型,幅度为 $(1\sim2)$ Bq/L,持续时间一般不超过 6 个月。

2 AlphaGUARD P2000 测氡仪介绍

2.1 产品介绍及工作原理

AlphaGUARD P2000 是简洁便携检测系统的中心组件,可用于连续测量氡及氡子体的浓度、环境参数和 α 剂量率。仪器基于经标定的脉冲电离室原理(α 能谱仪)(进入电离室的氡气衰变产生子体,气体和子体衰变时放出的 α 粒子在高压场内形成脉冲或电流),具有高探测效率、快速浓度梯度反映以及长期使用免于维护的特点,即使在极端大气湿度条件下也可传输可靠的测量值且不受振动冲击的影响。该仪器操作范围:氡浓度为 $2\sim2\,000\,000$ Bq/m³;温度为: $-10\sim+50$ °C ($+14\sim+122$ °F);气压为 $700\sim1\,100$ mbar;湿度(没有凝结)为 $0\%\sim95\%$ rH。

AlphaPUMP 是一个便携式的电子气泵,由电池供电,气流量可以从 0.03 L/min 调节到 1 L/min,用以进行采样(将气体抽进电离室)以及测量氡气扩散的桶或容器(盛放含有镭物质的容器、废物材料、挥发设备等)。

2.2 仪器组成

仪器包括主机、抽气泵、3 个取样瓶、便携式温度计、2 个充电器、硅胶管、氡子体过滤器、分子筛、水气分离过滤塞及

RS232 数据线等零配件(图 2)。



图 2 AlphaGUARD P2000 测氡仪

Fig.2 AlphaGUARD P2000 radon monitor

3 相关实验

3.1 观测条件选择试验

3.1.1 不同取样方式对测值的影响实验

取样方式对测量的正确性和精确性有很大影响,通过对三种不同的取样方式进行观测,结果表明,方式二容易进水损坏仪器,方式三会造成氡的损失过大,且操作繁琐,宜选取方式一作为取样方式。

(1) 方式一:由瓶口直接取样至 250 mL,用止水夹封闭取样瓶两端乳胶管。观测完立刻测量水温(表 1)。采样时间:08:27;本底: (48 ± 30) Bq/m³;水温:20 °C。

表 1 方式一取水

Table 1 Water sampling with method 1

读数时间	湿度/%	气压/mbar	读数/(Bq·m ⁻³)	平均值/(Bq·m ⁻³)
08:50	50	1 020	2 280±195	
09:00	50	1 020	2 360±203	2 263
09:10	50	1 020	2 150±205	

(2) 方式二:用取样瓶进气口一端直接接入井口取样管,再用止水夹封闭取样瓶两端乳胶管,取样体积为 250 mL。观测完立刻测量水温(表 2)。采样时间:15:10;本底: (61 ± 51) Bq/m³;水温:15 °C。

表 2 方式二取水

Table 2 Water sampling with method 2

读数时间	湿度/%	气压/mbar	读数/(Bq·m ⁻³)	平均值/(Bq·m ⁻³)
15:50	40	1 017	2 570±225	
16:00	41	1 017	2 600±242	2 503
16:10	40	1 017	2340±228	

方式一、方式二这两种取水方式对结果影响不大,但是方式二容易使水进入仪器,造成损坏,所以采用方式一取样。

(3) 方式三:仪器手册中描述的直接取样法,即使用 3 只 100 mL 注射器或 1 支 500 mL 注射器取样,用硅胶管连接,然后软管到底注入排气瓶里将 250 mL 液体从顶部连接嘴直接注入排气瓶,并开始测量。

根据观测经验和汤池 1 号井的实际情况,认为此方法会造成氡的损失过大,且操作繁琐。由于只有 1 只 100 mL 注射器,所以取样 100 mL 和方式一进行对比(表 3)。对比结果表明,宜选取方式一进行取样。

表 3 方式一与方式三取样结果对比
Table 3 Comparison of sampling results using method 1 and method 3

取样方式	本底/(Bq·m ⁻³)	水温/℃	P2000 读数/(Bq·m ⁻³)
方式一	<30	27	795
方式三	53±30	30	1113

3.1.2 取水静置时间实验

取 250 mL 水样,将取样瓶放入水中静置 0、5、10、15、20、25 及 30 min 后进行观测,试验结果见表 4 和图 3。结果显示,测值的相对偏差绝对值均不大于 10%,静置时间对观测数据的影响较低,但在运算过程中水样温度参与计算。由于汤池 1 号井温度较高(63℃),如不进行降温处理,容易在连接管中聚集水蒸气,长期测试水蒸气可能进入仪器,从而影响仪器的使用寿命。

表 4 静置不同时间水氡值
Table 4 Observation data of water radon after different standing time

静置时间/min	采样时间	本底/(Bq·m ⁻³)	水温/℃	P2000 读数/(Bq·m ⁻³)	P2000 处理后数据/(Bq·L ⁻¹)
0	08:31	<30	31	2 407	7.6
5	08:43	53±30	23	2 387	7.6
10	08:30	62±35	21	2 330	7.5
15	08:30	43±15	20	2 373	7.7
20	08:43	51±18	18	2 500	8.1
25	08:32	35±13	17	2 330	7.6
30	08:34	90±77	16	2 360	7.7

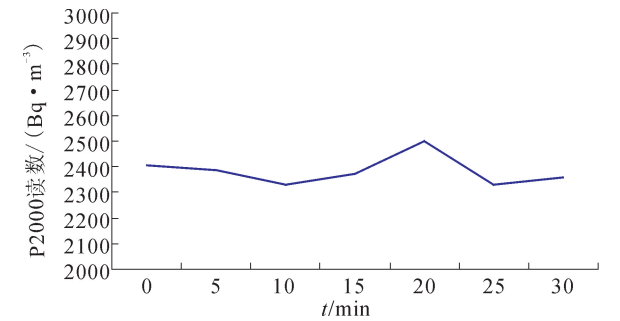


图 3 不同静置时间水氡测值曲线
Fig.3 Observation curve of water radon after different standing time

3.1.3 抽气流量的选择实验

AlphaGUARD P2000 便携测氡仪的抽气速率有 1、0.5、0.3、0.1、0.05 及 0.03 L/min 六个档,前三档为连续抽气,后三档为周期性抽气。采用不同档进行实验,并对比试验结果。

试验结果显示,抽气速率为 0.3、0.1、0.05 及 0.03 L/min 时,水中气体很难充分鼓出,从而使测值过低。使用 1 及 0.5 L/min 的抽气速率进行测试,结果如图 4。这表明抽气速率选在 1.0 L/min 能充分鼓出水中气体,测量时抽气速率应选在 1.0 L/min,但在开始测试水氡时,先开较小的抽气速率以

防连接错误使水进入仪器,从而损坏仪器,连接正确后立刻开到 1.0 L/min 档。

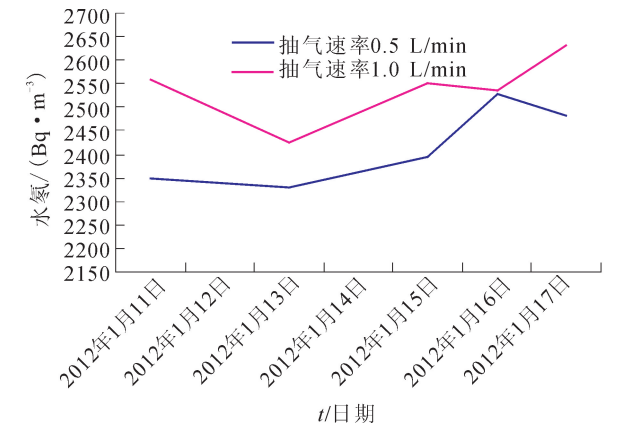


图 4 不同抽气速率水氡对比曲线图
Fig.4 Comparative observation curves of water radon with different gas extraction rates

3.1.4 水样测量时间的选取试验

按照 AlphaGUARD P2000 便携测氡仪手册要求,只需读取四个数,去掉第一个数,取后三个数的平均值。目前水氡的常规观测时间(从鼓泡开始时间到测数的间隔时间)为 1 h,本实验取水样 250 ml 进行连续 130 min 观测,看氡含量的升降趋势[图 5(a)]。2012 年 10 月 29 日检测黄山寨西井水样,同时用 AlphaGUARD P2000 便携测氡仪进行连续 180 min 观测[图 5(b)]。发现两次观测结果均是前 10 min 数值增加较快,20~30 min 达到最高,30 min 后数值缓慢下降,直至测试结束。表明按照手册要求取后三个数的平均值是科学、可行的。

3.1.5 不同取样体积的选择实验

分别取样 100、150、200 及 250 mL 作 1 个来回观测,对所取数据进行分析,见表 5 和图 6。发现随着体积的增加对应的观测数据也增加,水样体积和观测数据成一定正比关系,同时水样体积不参与氡含量计算,但对读数有影响。实验表明,严格按照要求进行定量取样观测,仪器的稳定性和准确度都非常高。

表 5 不同取样体积水氡数据
Table 5 Observation data of water radon with different sample volumes

体积/mL	采样时间	本底/(Bq·m ⁻³)	水温/℃	P2000 读数/(Bq·m ⁻³)	斜率
100	08:33	58±18	26	979	0.998
150	10:07	91±56	15	1 470	
200	08:30	59±18	18	1 956	
250	08:27	48±30	20	2 263	

3.2 平行对比观测试验

经平行对比观测发现,AlphaGUARD P2000 便携测氡仪和 FD-125 型氡钍分析器的观测结果只有少数同步变化(图 7),数值平均只有 FD-125 型氡钍分析器测量数值的 75%左右。

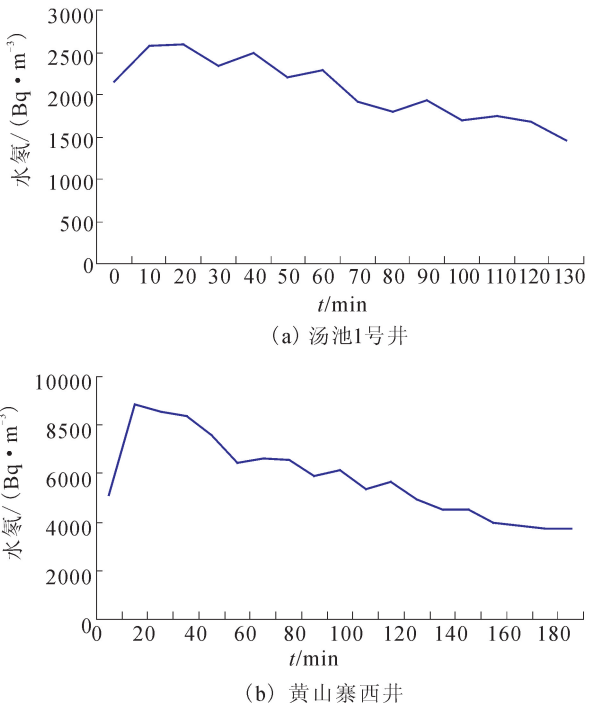


图 5 水氡超长测量时间曲线

Fig.5 Observation curves of water radon during a long time

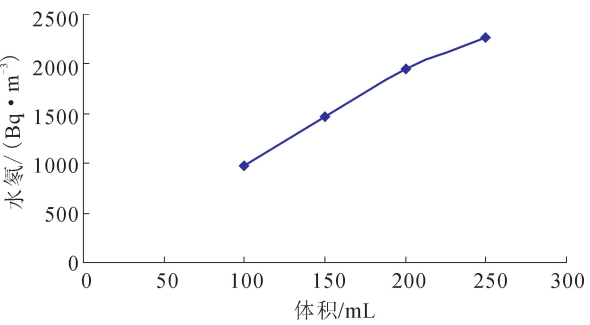


图 6 不同取样体积水氡数据曲线图

Fig.6 Observation curves of water radon with different sample volumes

3.3 其他拓展实验(如测量土壤氡)

当前利用 AlphaGUARD P2000 便携测氡仪测量断层氡气释放强度、范围等的变化来寻找覆盖区断裂(带)的空间分布位置及评价其相对活动性,已逐渐在国内外得到较广泛的应用。对断层活动性的讨论方法主要是以断层气测量结果或相对值的大小为依据。庐江地震台处于(山东)郯城—(安徽)庐江断裂带的南段西侧约 10 km,利用该测氡仪对其周边进行土壤氡的初步测量,把高于 5 000 Bq/m³ 的读数标注在地图上(图 8),可看出断裂(带)的空间分布位置。用 AlphaGUARD P2000 便携测氡仪测量土壤氡取得了良好效果,可以定点测量土壤氡的变化,和水氡进行平行对比。

4 结论

(1) 目前普遍采用 FD-105K 型静电计和 FD-125 型氡

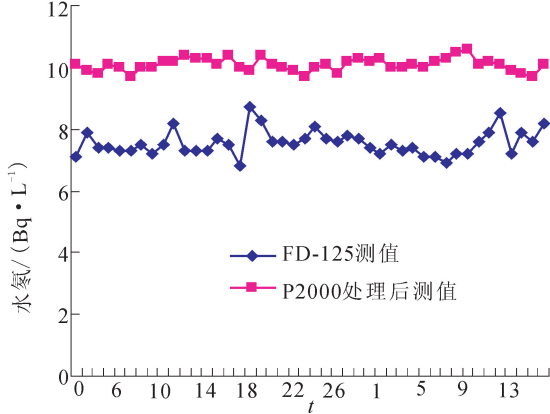


图 7 FD-125 型氡钍分析器和 AlphaGUARD P2000 便携测氡仪平行对比观测曲线图

Fig.7 Comparison of water radon observation curves recorded by FD-125 radon-thorium analyzer and AlphaGUARD P2000 radon monitor



图 8 土壤氡测值高于 5000 Bq/m³ 标注图

Fig.8 Labeled image of the observed soil radon over 5000 Bq/m³

钍分析器测量水中氡含量,二者均采用人工鼓泡、读数(有些新型 FD-125 型氡钍分析器已能自动读数),存在一定的人为误差。AlphaGUARD P2000 便携测氡仪完全采用自动鼓泡和读数,避免了人工操作带来的误差,提高了水氡观测质量,特别适宜于野外观测和异常落实。

(2) 每次使用 FD-125 仪器需提前开机预热 30 min,把氡气鼓入闪烁室中需静置 1 h 才能读数,且闪烁室本底难降,每个闪烁室一天只能测两次。而 AlphaGUARD P2000 便携测氡仪则具有高探测效率、快速浓度梯度反应以及长期使用免于维护的特点,能连续测量,对湿度不敏感,不用频繁更换干燥剂。

(3) 经试验分析认为 AlphaGUARD P2000 便携测氡仪量程宽,线性误差小,灵敏度高,携带方便,自带电源、操作简单,可自动存储 1 个月数据,且能连接电脑导出数据,适用于野外观测、异常落实和土壤氡的测量。特别是土壤氡的数值一般比较大,AlphaGUARD P2000 便携测氡仪能更好地反映土壤氡的变化,且可以对其进行定点测量,和水氡进行平

行对比,拓展地下流体氡的观测范围。但是作为日常观测还有待改进。

(4) AlphaGUARD P2000 便携测氡仪也有一定缺陷:首先,其对系统体积有严格要求,由于对整个观测系统进行了程式化设定,气路连接长短都有严格的限制,限制了仪器观测数据的可靠性(包括野外观测)。同时由于厂商对衰变函数的理解不同,其衰变函数的精度在百分之一,而地震观测要求的衰变函数精度在千分之一,造成在设计的计算过程中衰变函数对数据结果的影响较小。同时水样体积不参与氡含量计算,对读数也有影响。最后仪器的取样瓶开启时,需顺时针向上旋起,闭合时需逆时针向下旋压,必须严格按照此步骤,否则时间一长取样瓶的密闭性容易变差,影响测量。

参考文献(References)

[1] 张子广,张素欣,孙佩卿,等.水氡与气氡动态的对比分析[J]. 华北地震科学,2004,22(3):1-6.
ZHANG Zi-guang, ZHANG Su-xin, SUN Pei-qing, et al. Comparative Analysis on the Dynamic State of Water Radon and Gas Radon[J].North China Earthquake Sciences,2004,22(3):1-6. (in Chinese)

[2] 王亚男,刘建光,张维东,等.盘锦 1 号井的气氡与水氡观测[J]. 东北地震研究,2008,24(3):40-45.
WANG Ya-nan,LIU Jian-guang,ZHANG Wei-dong,et al.Observation of the Gas Radon and Radon in Groundwater at Pan-Jin 1 Well[J]. Seismological Research of Northeast China,

2008,24(3):40-45. (in Chinese)

[3] 曹玲玲,王宗礼,李春燕.岷县漳县 6.6 级地震前天水花牛水氡异常可靠性研究[J].地震工程学报,2013,35(4):800-807.
CAO Ling-ling,WANG Zong-li,LI Chun-yan.Reliability Study on Water Radon Concentration Anomaly of Huanu Spring in Tianshui before Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal,2013,35(4):800-807. (in Chinese)

[4] 姚慧敏,王志刚.蓟县山前土壤氡浓度与断裂和地热关系研究[J].地质调查与研究,2009,33(3):221-227.
YAO Hui-min,WANG Zhi-gang.Research on the Relationship between the Soil Radon Density and Fault and Geotherm at the Foreland of Jixian Mountain, Tianjing[J].Geological Survey and Research, 2009,33(3):221-227. (in Chinese)

[5] 李朝明,杨志坚,赵鹤翼,等.KJD-2000R 测氡仪测试分析[J].地震地磁观测与研究,2012,33(3/4):148-153.
LI Chao-ming, YANG Zhij-ian,ZHAO He-yi,et al.Preliminary Test for a New-style KJD-2000 R Water Radon Monitoring Analyzer[J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research,2012,33(3/4):148-153. (in Chinese)

[6] 赵振荣,张慧,苏鹤军.玛曲断裂带土壤气汞、氡地球化学特征[J].西北地震学报,2011,33(4):376—379.
ZHAO Zhen-shen,ZHANG Hui,SU He-jun.The Geochemical Features of Mercury and Radon on Maqu Active Fault[J]. Northwestern Seismological Journal,2011,33(4):376-379. (in Chinese)