

Feasibility Study of the Application of RAD7 Radon Meter in the Routine Observation of Water Radon

Yuxia Yao^{1*}, Kang Wang¹, Zaipeng Miao¹, Hui Xu²

¹Pingliang Central Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Pingliang Gansu

²Prediction Center of Gansu Seismological Bureau, Lanzhou Gansu

Email: ^{*}yaoyuxia999888@163.com

Received: Nov. 21st, 2018; accepted: Dec. 3rd, 2018; published: Dec. 10th, 2018

Abstract

A scintillation chamber method FD-125 for measuring radon has been used for a long time in the domestic seismic system. This method has many defects, such as the aging of scintillation chamber, the inaccuracy of instrument correction, the multiple experimental steps, and the reduction of detection efficiency. The U.S. made silicon semiconductor RAD7 Radon detector was first used for routine observation of water radon at Pingliang Central Seismic Station. By analyzing the working principles, main technical parameters and comparative observation data of two different radon measuring instruments, it is found that, although the two sets of instruments have some differences in performance, their observation results are basically identical. And summarizing the key factors affecting the observation effect, the result provides an experimental basis for analyzing the concentration of water radon from analog observation to digital intelligence observation.

Keywords

Radon, FD-125 Radon Thorium Analyzer, RAD7 Radon Meter, Contrast Observation

RAD7测氡仪应用于日常水氡观测的可行性研究

姚玉霞^{1*}, 王康¹, 苗在鹏¹, 徐辉²

¹甘肃省平凉中心地震台, 甘肃 平凉

²甘肃省地震局预报中心, 甘肃 兰州

Email: ^{*}yaoyuxia999888@163.com

收稿日期: 2018年11月21日; 录用日期: 2018年12月3日; 发布日期: 2018年12月10日

*通讯作者。

文章引用: 姚玉霞, 王康, 苗在鹏, 徐辉. RAD7 测氡仪应用于日常水氡观测的可行性研究[J]. 地球科学前沿, 2018, 8(8): 1259-1266. DOI: 10.12677/ag.2018.88137

摘要

针对国内地震系统长期使用自主生产的闪烁室法FD-125测氡仪自身存在观测环节多、氡长期积累本底难降、固体源活度失准、仪器校准不准确、计算过程繁琐等因素,平凉台首次将美国生产的硅半导体RAD7测氡仪用于日常水氡观测。通过对两套不同型号测氡仪的工作原理、主要技术指标和参数,以及对比观测数据一致性进行分析,认为两套仪器虽然观测原理不同,但是观测结果基本一致。并对影响观测效果的关键因素进行了总结,这次实验将为水氡模拟观测向数字化智能观测奠定一定实验基础。

关键词

氡, FD-125氡钍分析仪, RAD7测氡仪, 对比观测

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在中国地震监测台网中,水氡观测是开展最为广泛的前兆测项之一[1]。连续观测地下水中氡含量的变化,有可能捕捉到地震的孕育与发生信息[2]。目前,FD-125测氡仪在水氡观测中仍占主导地位,但在日常观测中发现,由于闪烁室法测氡仪自身存在观测环节多、氡长期积累导致降本底耗时、固体源活度失准、仪器校准不准确、计算过程繁琐等因素[3],已经影响到观测资料的内在质量。越来越不能适应当前互联网+、云计算与大数据时代。为了进一步提升观测资料质量,减少人为因素,更好的为地震预报提供高质量的数据,急需引入新仪器新技术。

在地震系统,平凉台首次将美国生产的硅半导体RAD7测氡仪用于日常水氡观测,与FD-125氡钍分析仪进行为期92天的同步观测实验。通过对两套不同型号测氡仪的工作原理、主要技术指标和参数,以及对比观测数据的一致性进行分析,认为两套仪器虽然观测原理有所不同,但是观测结果基本一致[4]。测量误差符合《地震水文地球化学观测技术规范》要求,能客观真实的反映地下水中氡含量变化,这次实验将会为水氡模拟观测向数字化观测的推进奠定一定基础。

2. 测氡仪工作原理

2.1. FD-125 测氡仪工作原理

FD-125测氡仪测量原理为闪烁法原理。当氡气进入闪烁室后,氡衰变过程中产生的 α 粒子轰击闪烁室内ZnS(Ag)晶体,引起ZnS(Ag)原子激发而放出光子,此光子被光电倍增管接收后,在其光电阴极上产生光电子,完成光电转换。闪烁室内, α 粒子的数目与氡气的浓度成正比,即与闪光的频率成正比,因此记录光电倍增管输出的脉冲频率也就可知闪烁室内的氡浓度[5][6][7]。

2.2. RAD7 测氡仪工作原理

美国DURRIDGE公司生产的RAD7测氡仪测量基于静电采集原理。RAD7测氡仪累积腔是一个0.7L的半球形腔体,半球的内表面涂有导电材料,累积腔的中心位置放置一个PIPS型半导体 α 探测器。半球

形腔体内表面加正电压, 探测器上加负电压, 压差在 2000 V 以上[8] [9] [10]。当 RAD7 测氡仪内置泵以 1.0 L/min 的流速经干燥、过滤后的 ^{222}Rn 气体进入到累积腔中, ^{222}Rn 放出的 α 粒子被探测器探测到, 通过 α 能谱分析甄别出 ^{222}Rn 衰变放出的 α 粒子, 测量完成仪器自动计算出氡浓度。

3. 测氡仪主要技术指标和参数对比

测氡仪的主要技术指标和参数能够反映该台仪器性能优劣[11]。两套仪器主要技术参数对比见表 1。由表 1 可以看出, RAD7 测氡仪和 FD-125 测氡仪出厂时的各项技术参数要求均执行中国地震局招标技术指标标准, 对于 FD-125 测氡仪, RAD7 测氡仪各技术参数更精准, 检测能力更强大。

Table 1. Comparison of main technical indicators and parameters of two sets of instruments

表 1. 两套仪器主要技术指标和参数对比表

参数	RAD7 测氡仪	FD-125 测氡仪
检测对象	气态, 液态或固态样品	气态样品
检测元素	氡或钍	氡
仪器本底	无	≤ 150 脉冲 $\cdot\text{min}^{-1}$
灵敏度	正常模式: 0.5 cpm/pCi/L 嗅探模式: 0.25 cpm/pCi/L	≥ 2.0 cpm/pCi/L
时间间隔	5 min, 30 min, 60 min 或自由设置	10 ± 1 min
泵	内置泵, 1 L/min	单独泵
湿度	$\leq 10\%$	$\leq 80\%$

4. 实验条件

4.1. 井点概况

选择平凉安国 1 号井为实验观测点。平凉地区位于甘肃省东部, 陕、甘、宁三省(区)交汇处, 处于六盘山地震带中东部, 南北地震带的中北段、鄂尔多斯块体的西南缘, 境内地质构造比较复杂。井水出露于泾河 I 级阶地, 其井深 1070.0 m, 无干扰。常年流量为 0.030~0.032 L/s, 年均温度 22.5 $^{\circ}\text{C}$, 水氡年均值为 17.5 Bq/L, 年变化为 2.0 Bq/L 左右, 水氡浓度日变化为 0.5~2.0 Bq/L, 观测数据稳定性、连续性及其可靠性均能满足地震预报分析和科学研究的要求。

4.2. 水样采集

水样由经过专业训练的固定人员采取。固定每天的取样时间, 前后不超过 30 min。FD-125 室内氡钍分析器所需水样用统一规格的玻璃扩散瓶负压于井口取水样。取样时, 水样匀速的进入扩散瓶中, 严格控制取水量为 100 ± 5 ml。RAD7 测氡仪所需样品用 RAD H₂O 水附件自带的 250 ml 玻璃瓶, 常压于井口取水样。采样前用被采水样清洗采样瓶 3 次, 采样瓶装满水样, 瓶内无气泡[11]。不管是负压采样还是常压采样, 每个水样至少采集 2 瓶, 作为平行样品进行分析。采取水样的同时, 测量水温、流量或水位、并记录气温、气压, 气象(大风, 降水等)要素。

4.3. 实验环境

RAD7 测氡仪和 FD-125 测氡仪在同一观测室进行对比观测。RAD7 测氡仪按照《RAD H₂O 水附件操作手册》要求操作, FD-125 测氡仪严格执行 2014 年修改的《地震水文地球化学观测技术规范》中的“水氡观测技术规范”要求。

5. 对比实验

5.1. RAD7 测氡仪测量水氡实验

RAD7 测氡仪测量水氡是在常压模式下进行的。仪器为主动式测量，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。

实验技术流程：开启电源，如图 1 所示连接气路对仪器进行净化操作。若 RAD7 长时间未使用，就需要对气路进行干燥处理环节，至少 30 分钟，见图 2。

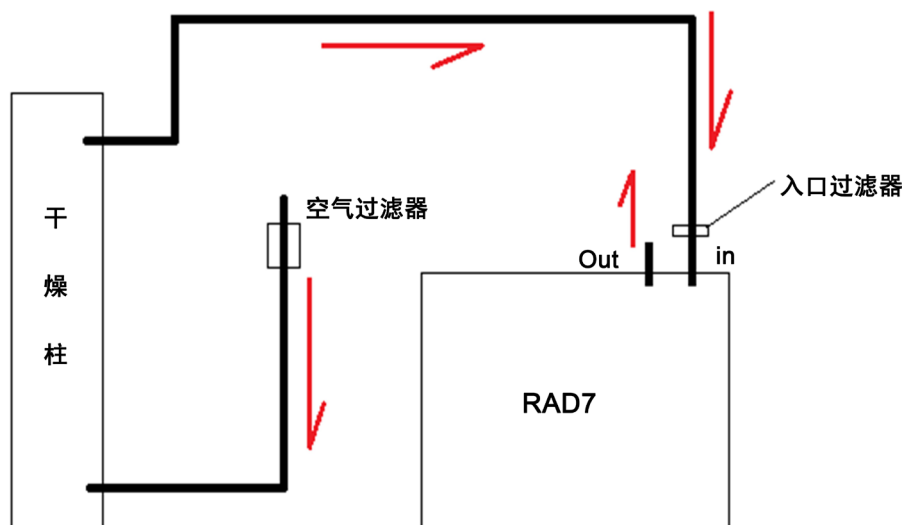


Figure 1. Schematic diagram of Purification link by RAD7 radon meter

图 1. RAD7 测氡仪净化环节示意图

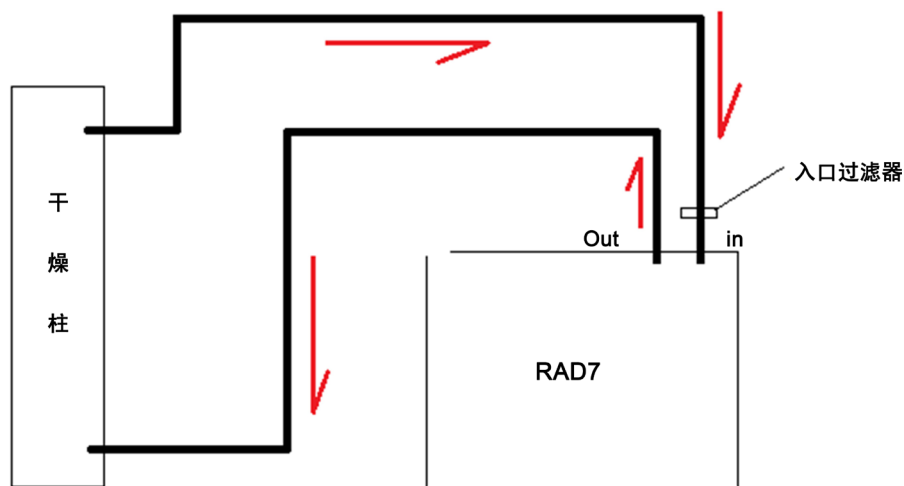


Figure 2. Schematic diagram of drying process by RAD7 radon meter

图 2. RAD7 测氡仪干燥环节示意图

依次键入[MENU]、[ENTER]、再按[→]4次，LCD显示：Test Purge。键入[ENTER]，泵启动。LCD显示变为“stop purge? NO”，在清洁干燥的空气中对 RAD7 气路清洗 10 min 后，键入[MENU]键，然后按 2 次[ENTER]后，并按 2 次[→]键后能察看到相对湿度的变化情况，湿度小于 6%就可以进行仪器设置环节，见图 3。

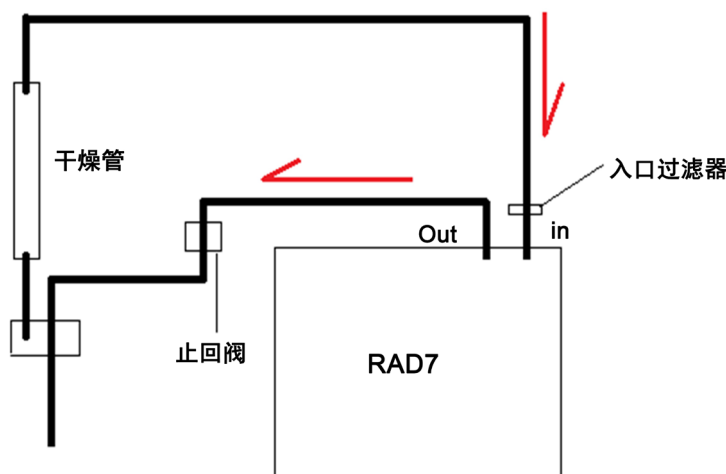


Figure 3. Schematic diagram of Settings link by RAD7 radon meter
图 3. RAD7 测氡仪设置环节示意图

如图 3 所示, 系统连接完毕后需先对气路清洗一段时间, 查看湿度小于 6%后, 对 RAD7 测氡仪中 setup Protocol Wat250 设置界面进行参数设置。具体设置方法是:

1) 键入[MENU], LCD 显示 “>Test”, 按[→]2 次, 出现 setup 设置, 键入[ENTER]2 次再按[→], 显示 Protocol 后键入[ENTER]进行选择修改。

2) 键入[MENU], LCD 显示 “>Test”, 按[→]2 次, 出现 setup 设置, 键入[ENTER]键, 然后按[→]七次, 显示 “setup format”。键入[ENTER]再按[→]选择 “Short”, 再键入[ENTER]。正确设置完毕, 把红外打印机放置在 RAD7 主机上, 确保打印机中有纸并连接了外接电源。打开打印机电源, 关闭 RAD7 主机电源, 然后再把其打开, 仪器将打印出识别信息和设置预览信息。当 RAD7 主机在打印表头时, 拧下采样瓶上的盖子, 并把玻璃粉放入水中, 在样品瓶上拧上专用瓶盖。如图 4 所示连接好水样准备测试。

3) 进入到 “>Test”, 键入[ENTER],再按[→]1 次, 出现 Test Start 后, 键入[ENTER], 泵启动, 开始鼓泡, 向 RAD7 主机输送气样, 5 min 后鼓泡结束。10 min 后, 系统将开始计数, 15 min 后, 系统将打印出一组测量报告, 20 min, 25 min, 30 min 分别各再打印一组, 共打印四组。测试完成后, RAD7 主机将打印出一份显示平均氡浓度读数, 标准差, 最大值, 最小值的总结报告, 四组读数的柱形图和累计频谱数据。其浓度读数就是当天水中氡浓度, 由 RAD7 主机自动进行计算。

5.2. FD-125 测氡仪测量水氡实验

FD-125 测氡仪采用闪烁法进行测量。在负压模式下通过人工将扩散瓶中的气体鼓入闪烁室后, 再进行氡浓度测定。

实验技术流程: 按仪器要求开机预热, 调准工作参数(高压和甄别阈); 将闪烁室卡在 FD-125 型氡钍分析器转盘上, 旋转到装有光电倍增管的探测位置测本底, 其本底值应小于 15 脉冲/min; 闪烁室抽真空, 开启真空泵不少于 2 min, 随即均匀鼓泡 11 ± 1 min。鼓泡结束后闪烁室静置 1 h, 前后时差为 ± 2 min。测量用定时计数法, 一次累积计数 10 min, 并换算成脉冲/min [12]。氡浓度计算见公式(1):

$$Rn = \frac{K(N - N_0)}{V \cdot e^{-\lambda t}} \quad (1)$$

式中 K 为闪烁室标定 K 值[Bq/(脉冲/min)]; N 为闪烁脉冲计数法的水样读数(脉冲/min); N_0 为本底读数(脉冲/min); V 为水样体积(L); $e^{-\lambda t}$ 为氡衰变函数值。

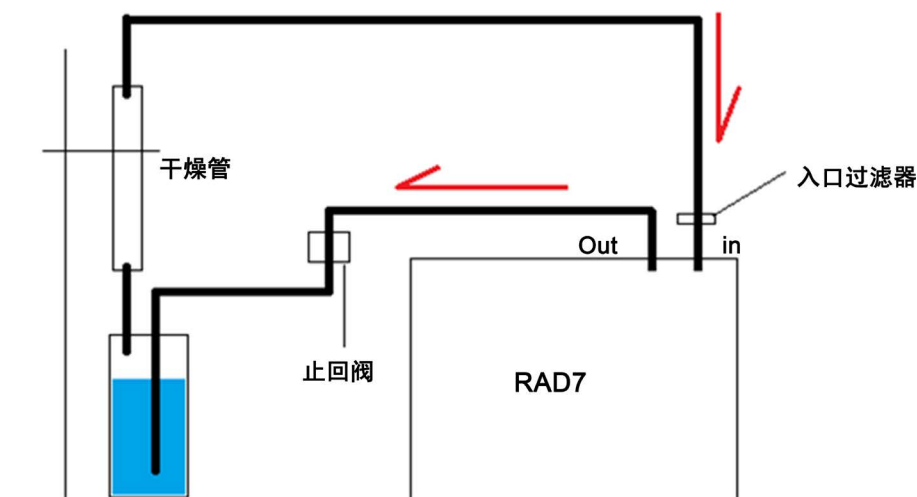


Figure 4. Connection diagram of water sample measured by RAD7 radon meter
图 4. RAD7 测氡仪测试水样连接图

6. 观测数据对比分析

FD-125 测氡仪和 RAD7 测氡仪每天各产生一个观测值，共观测 92 天。经过对比观测，观测曲线见图 5。从图 5 中可以看出 FD-125 测氡仪测量结果整体高于 RAD7 测氡仪测量值，但两套仪器对同一对气体的氡含量结果对比曲线变化形态基本一致，个别数据出现突跳。初步分析影响观测效果可能是气体被吸入 RAD7 测氡仪内需要达到平衡及 RAD7 测氡仪响应时间的问题[13]，湿度干扰问题和仪器测量结果的统计误差[14]，以及 FD-125 测氡仪由于校准氡源活度与样品浓度差距较大造成的等关键因素。

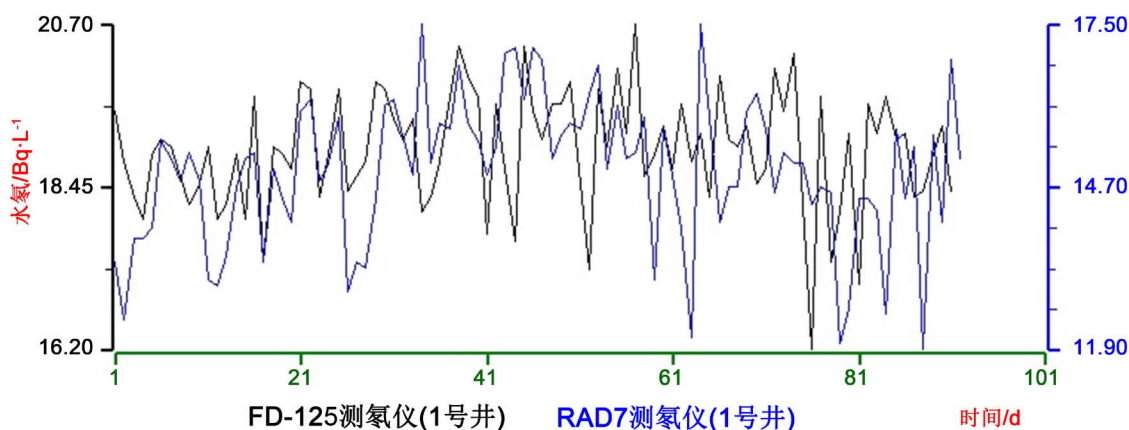


Figure 5. Comparative diagram of FD-125 radon meter and RAD7 radon meter
图 5. FD-125 测氡仪和 RAD7 测氡仪测值对比图

7. RAD7 测氡仪日常观测中需要注意的问题

RAD7 测氡仪在土壤气氡观测中广泛应用，但用于日常水氡观测尚属首次，有必要对其在观测中需要注意的问题进行归纳总结。

1) 通过连续观测证明 RAD7 测氡仪数据稳定性较好，但会受湿度影响。因此，每次测试样品时，测量气体首先要经过 RAD7 测氡仪专用再生干燥剂干燥，且达到相对湿度小于 6% 的要求，否则测量数据比

真实值偏低。

2) 打印机电池电压应该在 6.00 到 7.12 V 的范围内。未充电的电池(电压低于 6.00 V)应该立即及时充电。一节充满电的电池电压在 6.40 V 至 6.50 V。在充电的过程中,其电压会超过 7.00 V,但无论任何时候,电压都不该超过 7.20V。

3) 气泵正常工作电流在 00 mA(泵关闭)到 80 mA。正常测试时,内置泵电流显示为 40~70 mA,当气泵有阻力(过滤器阻塞或软管堵塞)时,其内置泵的工作电流会达到 100 mA 左右,就要逐一检查气路。

4) RAD-H₂O 中配置的聚乙烯管不能随意增减尺度,既定长度参与了测量结果计算。

5) 定期(15 天)对鼓泡玻璃粉头用 5%的盐酸浸泡一次,防止由于玻璃粉头堵塞造成数据变化。定期也要对采样瓶进行清洗。

8. 小结

通过对 FD-125 测氦仪和 RAD7 测氦仪的工作原理、主要技术指标,以及观测数据进行对比分析,认为两套仪器虽然在性能上存在一定差异,FD-125 测氦仪测量结果整体高于 RDA7 测氦仪测值,但两套仪器对同一对气体的氦含量结果对比曲线变化形态基本一致。初步分析可能是气体被吸入 RAD7 测氦仪内需要达到平衡及 RAD7 测氦仪响应时间的问题;湿度干扰问题和仪器测量结果的统计误差,以及 FD-125 测氦仪由于校准氦源活度与样品浓度差距较大造成的等关键因素。测量误差符合当前前兆观测技术规范要求,能客观反映地下氦含量真实变化。

相对于 FD-125 测氦仪,RAD7 测氦仪操作简便,智能化程度较高。能针对不同的观测目的给出最佳工作参数,整个观测过程不用太多的人工干预,大大降低了人为误差,产出更加实用、更加准确的观测数据;RAD7 测氦仪能直接把 α 放射线辐射转换成电子信号,但受湿度影响明显。相对于野外观测时除湿困难问题,RAD7 测氦仪更适合作为实验室的常规仪器来运行。

利用 RAD7 测氦仪开展水中氦气自动化观测,突破传统人工水氦观测模式,在国内水氦日常观测中尚属首次。如果能在地震台站推广使用,这将大大提高工作效率,加快业务体系转型升级,着力提升地震业务现代化水平,推进新时代防震减灾事业现代化建设。

基金项目

甘肃省地震局、中国地震局兰州地震研究所地震科技发展基金项目(2016Y04)和(2016Y03)。

参考文献

- [1] 刘耀炜,任宏微,张磊,等.鲁甸 6.5 级地震地下流体典型异常与前兆机理分析[J].地震地质,2015,37(1):1-12.
- [2] 姚玉霞,杨晓鹏,陈兰庆,等.模拟水氦仪与数字化水氦仪对比观测实验[J].地震地磁观测与研究,2014,35(3):182-186.
- [3] 任宏微,姚玉霞,黄仁桂,等.地震监测氦观测仪器校准新方法研究[J].地震,2016,36(3):46-54.
- [4] 杨志坚,李朝明.RGBS 智能数字测汞仪与 XG5Z 塞曼测汞仪同步观测对比分析[J].地震地磁观测与研究,2012,33(5/6):193-196.
- [5] 李志鹏,赵冬.SD-3A 型自动测氦仪故障检修[J].四川地震,2012,144(3):30-31.
- [6] 李国建.FD125 氦钍分析仪在建材监测中的意义及基本工作原理[J].医疗装备,1999(3):25-26.
- [7] 姚玉霞,李旭升,王军燕,等.FD-125 型氦钍分析仪最佳工作状态选择[J].内陆地震,2017,31(1):92-96.
- [8] 马若云,张磊,郭秋菊,等.基于 RAD7 测氦仪的 220Rn 气体准确测量研究[J].原子能科学技术,2012,46(11):1397-1401.
- [9] 欧阳琦.双室法土壤氦浓度测量仪的研制[D]:[硕士学位论文].衡阳:南华大学,2014.
- [10] 起卫罗,余庆昆,王杰.SD-3A 型智能数字测氦仪与 DDL-1 型智能数字测氦仪同步观测对比分析[J].华南地震,

2017, 37(S1): 88-93.

- [11] 张磊, 刘耀炜, 任宏微, 等. 氢氧稳定同位素在地下水异常核实中的应用[J]. 地震地质, 2016, 38(3): 721-730.
- [12] 中国地震局. 地震水文地球化学观测技术规范[M]. 北京: 地震出版社, 2014.
- [13] 殷晓梅, 宋建华, 左文才, 等. 连续测氦仪测定空气中氦浓度方法探讨[J]. 中国测试技术, 2007, 33(5): 32-34.
- [14] 殷晓梅, 宋建华, 韩静, 等. 浅谈 RAD-7 测氦仪的原理与应用[J]. 计量与测试技术, 2007, 34(7): 5-7.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ag@hanspub.org