

# 闪烁室测氡仪采用微型氡室野外校准实验

黄仁桂<sup>1,2</sup>, 赵影<sup>1,2</sup>, 李雨泽<sup>1,2</sup>, 肖孟仁<sup>1,2</sup>, 谢斌<sup>2</sup>, 瞿金辉<sup>3</sup>, 罗齐兵<sup>3</sup>, 肖健<sup>2\*</sup>, 姚玉霞<sup>4</sup>

<sup>1</sup>江西九江扬子块体东部地球动力学野外科学观测研究站, 江西 九江

<sup>2</sup>江西省地震局, 江西 南昌

<sup>3</sup>东华理工大学, 江西 南昌

<sup>4</sup>甘肃省地震局, 甘肃 兰州

Email: 511419387@qq.com, \*594671990@qq.com

收稿日期: 2021年3月1日; 录用日期: 2021年8月19日; 发布日期: 2021年8月27日

## 摘要

根据目前地震系统测氡仪校准和校准周期内的期间核查的需要, 本文采用HD-min微型氡室对地震氡观测仪器检测平台在线比测的BG2015-R闪烁室测氡仪进行校准实验, 依据JJG825-2013《测氡仪检定规程》的相关技术要求, 选取浓度为3000 Bq/m<sup>3</sup>进行效能校准测试, 实验表明用该HD-min微型氡室校准在线比测的BG2015-R闪烁室测氡仪是可行的。该HD-min微型氡室系统可以摆脱镭源的监管限制, 能够应用于测氡仪的野外检测和响应实验, 服务于地震监测预报和科研。

## 关键词

测氡仪, 地震, 微型氡室, 校准

# The Scintillation Chamber Radon Meter Was Calibrated by a Miniature Radon Chamber

Rengui Huang<sup>1,2</sup>, Ying Zhao<sup>1,2</sup>, Yuze Li<sup>1,2</sup>, Mengren Xiao<sup>1,2</sup>, Bin Xie<sup>2</sup>, Jinhui Qu<sup>3</sup>, Qibing Luo<sup>3</sup>, Jian Xiao<sup>2\*</sup>, Yuxia Yao<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Observatory for Geodynamic of the East Yangtze Block in Jiujiang, Jiujiang Jiangxi

<sup>2</sup>Jiangxi Earthquake Agency, Nanchang Jiangxi

<sup>3</sup>East China Institute of Technology, Nanchang Jiangxi

<sup>4</sup>Gansu Earthquake Agency, Lanzhou Gansu

Email: 511419387@qq.com, \*594671990@qq.com

\*通讯作者。

文章引用: 黄仁桂, 赵影, 李雨泽, 肖孟仁, 谢斌, 瞿金辉, 罗齐兵, 肖健, 姚玉霞. 闪烁室测氡仪采用微型氡室野外校准实验[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(8): 1123-1129. DOI: 10.12677/ag.2021.118108

## Abstract

Industry to meet the current earthquake radon measurement instrument calibration and verification during the period of the need of verification, this paper USES the HD-min online than on micro radon chamber BG2015-R scintillation chamber radon measurement instrument calibration experiments, on the basis of JJG825-2013 the radon measurement instrument verification regulation of relevant technical requirements, selection of the concentration of 3000 Bq/m<sup>3</sup> efficiency calibration test, the experiment shows that with the HD-min micro radon chamber calibration online than BG2015-R scintillation chamber of measuring radon measurement instrument is feasible. The HD-min micro radon chamber system can get rid of the regulatory restrictions of radium source, and can be applied to the field detection and response experiments of radon measuring instruments, and serve for seismic monitoring and prediction and scientific research.

## Keywords

Radon Measurement Instrument, Earthquake, Miniature Radon Chamber, Calibration

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

地震氡监测是我国地震观测台网中最重要的测项，也是国际公认的地震监测手段，在地震趋势分析与短临震情研判中发挥着重要作用[1]-[6]。近年以来用于测量氡浓度的数字化测氡仪在地震监测预报中得到越来越广泛的应用，在国内外地震监测与预测领域备受重视。在测氡仪的工作监测过程中，仪器需要进行定期校准，仪器才能对深层地下水(泉)中的溶解气、逸出气等开展连续观测。目前地震行业大部分测氡仪器校准仍采用氡气固体源校准，但氡固体源还存在易损、辐射大，运输等问题，因此难以满足目前全国地震台站需要[7] [8] [9]。同时当前固体氡气源也出现严重老化和装置故障，很多装置也已报废停止使用；由于国家对高体积活度氡气固体源购买审批手续复杂，有潜在禁用的风险，即使购买后也要长期接受放射性监管，给氡气源的定期质检带来极大困难，使得测氡仪校准存在不准确，严重影响到地震氡监测资料的准确性与可靠性[10] [11]。为保证地震行业对深层地下水(或泉)等氡气浓度连续观测质量，2017年根据中国地震局地震地下流体学科组提出相关校准要求，东华理工大学已经成功研制出 HD-min 测氡仪校准器机(HD-min 微型氡室)，该型测氡仪校准器应该满足运输方便、适合对少量氡监测仪实现现场校准。

## 2. HD-min 微型氡室介绍

微型氡室主要由氡气浓度调控系统、氡气积累箱、氡气浓度监测系统及废气排放装置等构成[10] [11]，箱体内部装有气体均匀装置，可快速均匀箱体内部氡气。箱体内胆用进口 304#耐腐蚀不锈钢材料制成，氡室箱体实物如图 1 所示。



Figure 1. Physical picture of miniature radon chamber

图 1. 微型氡室箱体实物图

## 2.1. 工作原理

由中国计量科学研究院校准好的 AlphaGUARD PQ2000 PRO 作为标准测氡仪进行监控测量。如下图 2 所示, 微型氡室主要是提供一个相对持续稳定的氡浓度环境, 而实际上, 保证氡室氡浓度在一定误差范围内保持稳定, 即动态稳定, 氡浓度动态稳定采用如下补氡流程实现[10] [11] [12] [13] [14]。氡室内的氡气浓度由已检定好的测氡仪进行监控, 并通过控制系统进行调节控制, 在工作期间保持指标相对衡量的标准浓度值。采用间歇补充氡气和常量补充氡气的方式, 以获得校准工作所需的不同氡浓度和恒定的氡浓度。通过控制系统进行调节氡浓度的控制, 使氡室在校准工作期间保持相对衡量的标准氡浓度值[14] [15]。

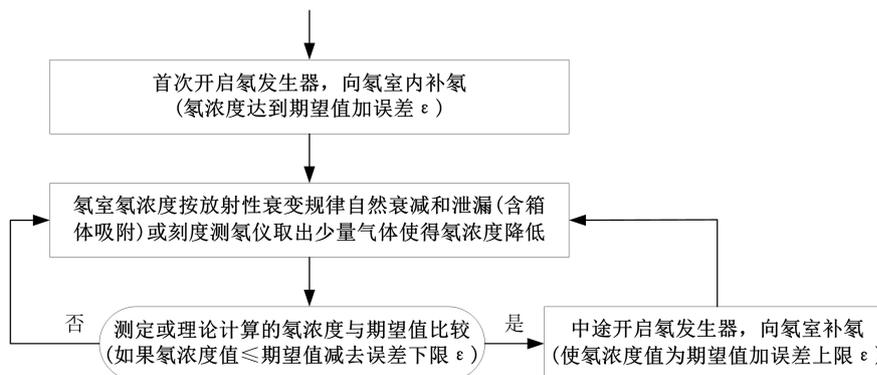


Figure 2. Flow chart of dynamic stability of miniature radon chamber

图 2. 微型氡室动态稳定流程图

## 2.2. 技术指标

微型氡室主要技术指标如下表 1 所示。

BG2015-R 闪烁室测氡仪是 2005 年贝谷科技股份有限公司与东华理工大学进行系列核辐射检测仪器的产业化合作研制, 该仪器采用可更换型闪烁室采样器, 可对空气(或土壤)氡进行快速采样和测量, 在采样筒受到氡子体污染时, 可现场更换采样器, 无需长时间等待[16] [17] [18]。

**Table 1.** Technical index of miniature radon chamber**表 1.** 微型氡室技术指标

序号	名称	指标
1	箱体体积	0.06 m <sup>3</sup>
2	氡气浓度范围	1000~100000 Bq/m <sup>3</sup>
3	稳定性	1000~5000 Bq/m <sup>3</sup> ± (3%~15%) 5000~100000 Bq/m <sup>3</sup> ± (3%~8%)
4		可快速升高或降低氡室氡浓度

氡气进入闪烁室后, 氡及其子体衰变发出的  $\alpha$  粒子使闪烁室采样器壁上的 ZnS 产生微弱的闪光, 仪器内部的光电倍增管收集到闪光, 并把这种光信号变成电脉冲, 经过电子学线路把电脉冲放大, 最后被处理器记录下来。依据单位时间内的脉冲数(脉冲计数率)与氡气浓度成正比的理论, 换算出被测空气(或土壤)中的氡浓度。BG2015-R 闪烁室测氡仪技术规范和特点如下表 2。

**Table 2.** Technical specification and characteristics of BG2015-R scintillation chamber radon measuring instrument**表 2.** BG2015-R 闪烁室测氡仪技术规范和特点

探测器	ZnS 闪烁型探测器
测量目标	<sup>222</sup> Rn (氡气); <sup>220</sup> Rn (钍射气)
测量范围	10~5 × 10 <sup>7</sup> Bq/m <sup>3</sup>
灵敏度	约为 6 CPM/Bq/m <sup>3</sup> 针对 Rn-222 测量
采样计数周期	用户自定义
采样器	ZnS 桶形采样器
采样器规格	110 ml (Φ 51.8 mm × 52 mm)、372 ml (Φ 51.8 mm × 128 mm)
操作与显示	LCD 中文显示, 菜单操作
电池类型	内置锂电池, 可连续工作 36 小时(不使用泵)或 18 小时(使用泵)
电池充电时间	5 小时
数据存储	999 组数据(即以每小时 1 组数据可以记录 42 天的数据)
数据下载	数据可下载至计算机进行分析处理(配测氡仪数据处理软件)
采样泵流量:	2 升/分钟

### 3. 野外校准实验

中国计量院标定好的 ALPHAGUARD PQ2000 PRO 测氡仪作为标准参考仪器, 按照 JJG825-2013《测氡仪检定规程》检测规程操作, 微型氡室箱体内初始浓度在补氡结束经 3 h 放射性平衡之后, 微型氡室稳定运行 12 h, 期间体内氡浓度在 5% 范围内波动, 满足规程中对氡室计量装置要求[13] [14]。

#### 3.1. 微型氡室校准

本次校准仪器为九江地震台在线比测 6 台 BG2015-R 测氡仪, 根据地震行业特点选在微型氡室校准氡浓度 3000 Bq/m<sup>3</sup> 稳定 3 小时后的氡浓度的校准数据进行实验检测。

微型氡室自动补氡到 3000 Bq/m<sup>3</sup>, ALPHAGUARD PQ2000 PRO 监测值为 3020 Bq/m<sup>3</sup> (一个小时的平均值), 6 台 BG2015-R 的采样筒串联, 同时监测用 AlphaGUARD PQ2000 PRO 也串联在一起, 采集微型

氦室氦气进入 BG2015-R 采样筒(利用仪器其中一台的内置泵抽气)。采样 10 min 后, 密闭采用筒, 然后立即测量采样筒所采样的氦气, 测量时间大于 5 小时。数据处理  $k = \frac{S_{\text{标}}}{C - B}$ , ( $k$ : 刻度系数,  $S_{\text{标}}$ : 标准浓度,  $B$ : 主要考虑为采样筒由于长时间在高浓度氦气环境下残留 210 Pb 引起的本底计数, 当前空气中的氦气本底计数一般为 1~2 cpm, 所以在计算刻度系数时候没考虑测量本底时候采用筒内的空气的影响,  $C$ : 标准浓度下测量得到的计数; 取密闭采样筒测量 3 小时后的数据做为当前标准浓度的测量计数(此处刻度选取 3~5 小时时间的 10 个数据, 每个数据测量时间为 10 min)。

### 3.2. 野外校准结果

本次校准仪器为九江地震台在线比测 6 台 BG2015-R 测氦仪, 在微型氦室校准氦浓度 3000 Bq/m<sup>3</sup> 稳定 3 小时后的氦浓度的校准数据记录, 及刻度系数  $K$  如下表 3 中所示。

Table 3. Scale data of 6 sets of BG2015-R

表 3. 6 台 BG2015-R 刻度数据

仪器编号	约定真值 Bq/m <sup>3</sup>	仪器测量数据(10 min 一个计数)					均值	刻度系数 $K$ Bq·m <sup>-3</sup> /cpm
		1	2	3	4	5		
#1 号	本底	32	39	25	41	32	3.38	28.4
	3020	913	999	1068	1164	1084	109.6	
		1083	1185	1153	1159	1153		
#2 号	本底	42	41	36	35	34	3.77	31.6
	3020	1040	1017	1008	965	1017	99.18	
		981	980	962	954	995		
#3 号	本底	38	35	46	39	42	4.00	29.4
	3020	1063	1088	1059	1013	1132	106.56	
		1099	1014	1060	1103	1025		
#4 号	本底	26	24	24	33	32	2.78	27.3
	3020	1188	1164	1165	1134	1095	113.54	
		1092	1138	1131	1171	1076		
#5 号	本底	47	34	39	37	33	3.80	36.5
	3020	894	812	909	827	880	86.49	
		871	871	864	889	832		
#6 号	本底	41	40	42	39	53	4.30	31.6
	3020	969	1052	1007	937	940	99.74	
		1043	1073	967	1016	970		

本次实验与 AlphaGUARD 测氦仪(PQ2000, Saphymo, 法国)串联在九江地震氦观测仪器检测平台进行在线比测, 用校准系数进行量值统一后, #5 号测氦仪连续出现工作一段时间后数据突变情况, 初步分析可能是 PMT 可能存在不稳定个体, 计划换一台新仪器送九江地震台再做监测。

由于地震台监测所采用的是扩散模式监测, 刻度采用的密闭式刻度, 监测结果和 ALPHAGUARD

PQ2000 PRO 对比偏小 10%左右, 初步分析可能是 BG2015-R 采样筒的结构在密闭刻度和扩散测量可能存在刻度系数的差别, 若采用流气刻度, 或许会存在气流大小的影响, 所以此次刻度还是采用密闭刻度。(实验测试: a. 微型氦室氦浓度补到  $3000 \text{ Bq/m}^3$ ; b. 采样筒抽气 10 min, 密度采样筒; c. BG2015-R 测量采用筒 10 小时; d. 采样筒重新接到微型氦室上, 微型氦室 ALPHAGUARD PQ2000 PRO 当前监测浓度稳定在  $3000 \text{ Bq/m}^3$  左右, 流气测量, 其结果如图 3 所示, 可以看到当流气测量时候数据偏低)。

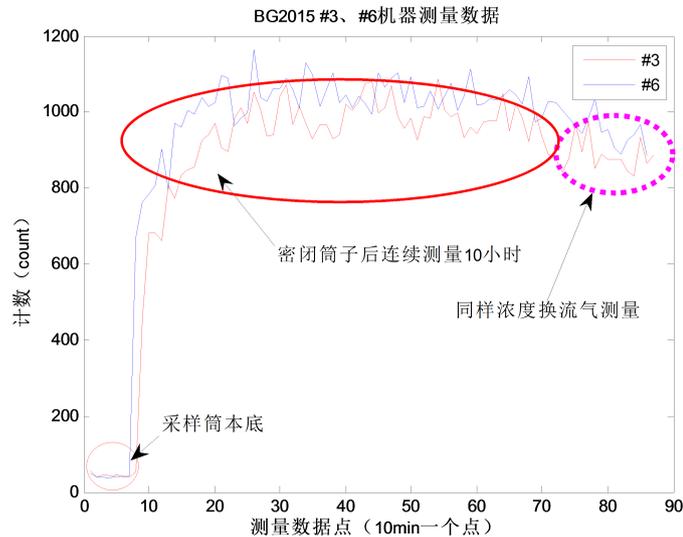


Figure 3. Measurement results of airtight monitoring and flow gas monitoring #3 and #6 on the micro radon chamber

图 3. 密闭监测和流气监测#3、#6号在微型氦室上的测量结果

#### 4. 结论与讨论

本文采用微型氦室对九江地震氦观测仪器检测平台在线比测的 6 台 BG2015-R 测氦仪进行校准, 选取校准氦气浓度为  $3000 \text{ Bq/m}^3$ , 实验结果表明微型氦室能满足部分地震行业测氦仪器的校准和期间核查。同时发现密闭刻度和扩散测量存在刻度系数的差别, 应该根据地震台站情况选择校准方式, 对提高地震氦监测质量方面有更大的现实意义。

#### 基金项目

地震科技星火计划项目(XH21017Y)和江西九江扬子块体东部地球动力学野外科学观测研究站开放基金资助项目(OGYB202005)共同支持。

#### 参考文献

- [1] Tom Kuo, M.C., Fan, K., Kuochen, H., *et al.* (2006) A Mechanism for Anomalous Decline in Radon Precursory to an Earthquake. *Ground Water*, **44**, 642-647.
- [2] 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): 307-318.
- [3] Ren, H.W., Liu, Y.W. and Yang, D.Y. (2012) A Preliminary Study of Post-Seismic Effects of Radon Following the Ms8.0 Wenchuan Earthquake. *Radiation Measurements*, **47**, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.10.005>
- [4] 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): 721-731.
- [5] Erees, F.S., Aytas, S., Sac, M.M., *et al.* (2007) Radon Concentrations in Thermal Waters Related to Seismic Events along Faults in the DenizliBasin, Western Turkey. *Radiation Measurements*, **42**, 80-86.

<https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2006.06.003>

- [6] 任宏微, 刘耀炜, 孙小龙, 等. 单孔同位素稀释示踪法测定地下水渗流速度、流向的技术发展[J]. 国际地震动态, 2013(2): 5-15.
- [7] 黄仁桂, 肖健, 李雨泽, 等. 地震氦观测仪检测平台的设计初探[J]. 地震工程学报, 2018, 40(S1): 163-169.
- [8] 黄仁桂, 赵影, 李雨泽, 等. 地震氦观测计量溯源初步探究[J]. 地震, 2019, 39(2): 183-190.
- [9] 盛云峰, 万骏. 用罐装氦气校准测氦仪的方法研究[J]. 辐射防护, 2017, 37(6): 472-475.
- [10] 黄仁桂, 罗齐彬, 李雨泽, 等. 微型氦室应用于地震测氦仪校准实验[J]. 大地测量与地球动力学, 2020, 40(8): 865-869.
- [11] 张雄杰, 张叶, 汤彬, 等. 密闭型氦室中放射性平衡变化规律的探讨[J]. 核电子学与探测技术, 2012, 32(2): 192-195.
- [12] 黄仁桂, 陈俊松, 周红艳, 等. 地震氦观测仪计量检定系统与实验分析[J]. 中国地震, 2019, 35(4): 666-675.
- [13] 杨志杰, 李则书, 侯胜利, 等. 氦子体体积活度的液体闪烁计数方法研究[J]. 计量学报, 2017, 38(2): 234-237.
- [14] 唐方东, 赵超, 何林锋. 氦-220 体积活度参考标准的建立[J]. 核技术, 2013, 36(11): 40-44.
- [15] 刘宏章, 张雄杰, 汤彬. 氦室平衡状态对监测曲线的影响及修正[J]. 核电子学与探测技术, 2009, 29(2): 429-431+435.
- [16] 黄仁桂, 赵影, 肖健, 等. 地震监测气氦仪响应能力实验[J]. 华北地震科学, 2019, 37(3): 31-37.
- [17] 肖健, 黄仁桂, 姚玉霞, 等. BG2015 闪烁室测氦仪器应用于地震气氦测试运行实验[J]. 防灾减灾学报, 2017, 33(1): 44-51.
- [18] 黄仁桂, 赵影, 肖健, 等. 新气氦观测方法实验研究[J]. 现代科学仪器, 2016(1): 103-107.