

李朝明, 杨志坚, 褚金学, 吴谋, 2018. RN-FD 型固体氦气源的稳定性及应用分析. 震灾防御技术, 13 (1): 114—124.
doi: 10.11899/zzfy20180110

RN-FD 型固体氦气源的 稳定性及应用分析¹

李朝明¹⁾ 杨志坚¹⁾ 褚金学²⁾ 吴 谋¹⁾

1) 中国地震局滇西地震预报实验场, 云南大理 671000

2) 云南省地震局弥渡地震台, 云南弥渡 675600

摘要 对测氦仪器进行精确校准是氦测量工作中的重要环节, 固体氦气源的稳定性、可靠性在校准中则显得至关重要。本文通过分析 RN-FD 型固体氦气源对闪烁室 K 值的稳定性实验结果, 认为: RN-FD 型固体氦气源标称的浓度值与实际浓度值不一致, 标称浓度值只是理论浓度值而不是实际浓度值, 需重新刻度才能使用; RN-FD 型固体氦气源抽气循环时间不同则浓度不同, 但抽气循环时间固定, 观测结果比较稳定; 对于没有 α 检查源的台站, RN-FD 型固体氦气源可用于氦观测仪器坪区检查。

关键词: 氦观测 固体氦气源 测氦仪校准 标称浓度 稳定性

引言

氦是可以揭示岩石受力以及破裂过程的放射性元素, 作为探索地震监测研究的地球化学观测项目, 在国内外地震科学研究领域内受到高度重视, 也是我国地震地下流体的重要测项。经过大量观测实践检验表明, 氦观测具有较好的映震效能 (刘菁华等, 2007; 中国地震局监测预报司, 2007; 崔勇等, 2008; 刘学领等, 2008; 张昱等, 2010; 李朝明等, 2012; 陈永花等, 2014; 刘耀炜等, 2015; 姚玉霞等, 2016)。

在氦观测中, 无论是安装仪器、更换仪器主要部件, 还是使用过程中的定期检查, 都需要对使用仪器进行校准。我国地震台站水氦观测仪器校准早期采用传统的液体镭源, 液体源校准周期长、效率低, 校准质量受环境条件和人为操作的影响。因此, 从 20 世纪 80 年代末至今, 广泛使用加拿大 Pylon 公司生产的 RN-150 型固体氦气源和国产的 FD-3024 型固体氦气源。固体氦气源校准操作简便, 周期短、效率高, 不受人为和环境条件变化的影响, 校准精度高, 准确可靠。但目前存在的问题是, 由于长时间使用, 部分固体氦气源上的阀门损坏, 还有的内部管道渗漏等, 使得其无法正常使用。由于高体积活度的固体氦气源购买审批手续复杂, 购买后不但要长期接受放射性监管, 而且国家放射性物质运输管理制度日趋严格, 给固体氦气源的定期质检也带来极大困难。

1 基金项目 地震行业科研专项 (201308006)

[收稿日期] 2017-05-26

[作者简介] 李朝明, 男, 生于 1971 年。高级工程师。主要从事地震监测研究工作。E-mail: lzm598@sina.com

为解决固体氦气源短缺的问题及保障测氦仪器的正常运行, 2009—2010 年, 南华大学氦室曾为宁夏、福建等地台站实验制作了 GD-L2 小型流通式氦源(张清秀等, 2012; 杜文勇等, 2013), 但由于该氦源氦气平衡仓体积较小, 需要控制气体流速保证氦浓度相对稳定, 影响因素较多, 因而没有广泛推广; 2011—2012 年, 中国地震局监测预报司组织安排地下流体学科技术管理组对故障固体氦气源进行实验研究, 将报废的加拿大 RN-150 型与 FD-3024 型固体氦气源改造成 RN-FD 型固体氦气源(任宏微等, 2016)。

对测氦仪器进行精确校准是氦测量工作中的重要环节, 固体氦气源的稳定性、可靠性至关重要。虽然 RN-FD 型固体氦气源已在一部分台站使用, 但氦气源的稳定性、可靠性缺乏有效验证, 氦气源标称的浓度值缺乏有效检定, 标称浓度值跟实际浓度值是否一致需要验证。为了检验 RN-FD 型固体氦气源的稳定性、可靠性以及用于氦观测仪器检查与校准的可行性, 本文测试了云南下关地震台新改造完成的 RN-FD 型固体氦气源的主要技术指标, 评价了各项指标的合理性, 提出了规范使用 RN-FD 型固体氦气源的建议, 旨在使这批改造的氦气源发挥应有的作用。

1 RN-FD 型固体氦气源工作原理

RN-FD 型固体氦气源装置是通过密闭严封在大体积容器(120L)里的固体 ^{226}Ra 自发地不断发生衰变, 其衰变产物氦射气封存在储气罐中, 储气罐中的氦射气在大约 40 天以后达到放射性平衡。所以在常压封闭的容器中, 封闭 40 天后氦的活度浓度 C_{Rn} 就已经基本恒定(李彤起等, 1997; 吴永信等, 2006; 柯璟等, 2015)。

近年来, 国内外研制了许多标准氦室, 并且大多由固体镭源、氦气箱体、氦体积活度监测与控制装置等组成(唐方东等, 2009), 氦气箱体的体积从 1—30m³ 不等。氦气在密闭容器内可以向上、向下及水平运移, 还包括重力沉降运移和氦团簇运移机制, 水平方向的运移能力明显低于纵向运移能力。RN-FD 型固体氦气源容积为 120 L, 用于校准时, 氦气是否混合均匀平衡, 每次校准分配到闪烁室的浓度是否稳定有待验证。

2 观测实验

2.1 实验条件

下关温泉水氦于 1970 年 4 月开始观测, 观测人员稳定, 熟悉水氦观测技术, 1996 年至今一直使用 FD-125 型室内氦钍分析器观测水氦, 仪器性能稳定, 并按时对仪器进行检查、校准, 可以充分保证氦观测工作的顺利开展。

观测室条件严格按照地震水文地球化学观测技术规范要求, 室温控制在 20℃—30℃, 湿度 ≤ 80% (国家地震局, 1985; 中国地震局, 2014), 并有空调控温。

2.2 实验方法

RN-FD 型固体氦气源是用报废的加拿大 RN-150 型固体氦气源或国产 FD-3024 型固体氦气源改造而来, 校准时将固体氦气源的进气口与气泵的出气口相连, 固体氦气源的出气口与闪烁室(或电离室)一端连接, 将气泵的进气口与闪烁室(或电离室)的另一端相连, 连接形成一个密闭的气路循环系统(图 1), 抽气循环 20 分钟使闪烁室(或电离室)里的空气与固体氦气源容器里的氦气达到充分混合均匀平衡, 以停止气泵的时间作为氦气静置的起始时间(吸源开始时间), 静置 60 分钟(与日常观测条件相同)后测值 10 分钟。

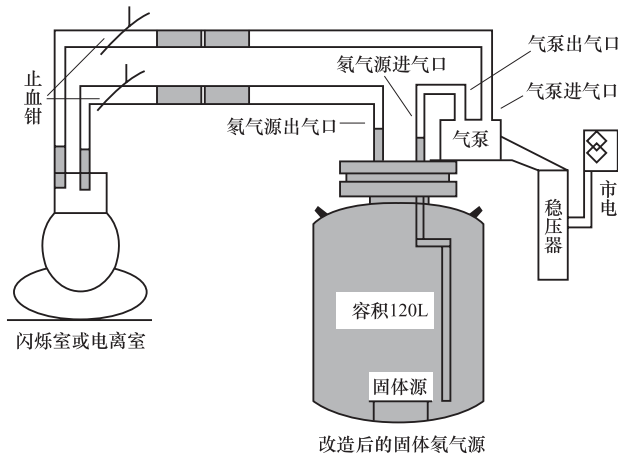


图1 固体氡气源、气泵和闪烁室的连接示意图

Fig. 1 Connection of the solid radon source, the pump and the scintillation chamber

3 结果及分析

3.1 浓度验证

RN-FD 型固体氡气源标称的放射性活度 (A_{Rn}) 为 162.4 kBq, 按 120 L 容积计算出固体氡气源标称的浓度 (C_{Rn}) 为 1353.33 Bq/L。对于标称浓度值是否只是理论浓度值, 跟实际浓度值是否一致, 每次校准分配到闪烁室的浓度是否稳定等问题, 我们用校准闪烁室的方法进行了验证, 即用 RN-FD 型固体氡气源校准闪烁室 K 值, 根据 K 值结果判断标称浓度是否准确、可靠, 再用已知含量的加拿大 RN-150 型固体氡气源校准相同的闪烁室 K 值, 用已知正常 K 值的闪烁室来测定 RN-FD 型固体氡气源中氡的浓度 C_{Rn} 值, 来验证 RN-FD 型固体氡气源的实际浓度。

3.1.1 用 RN-FD 型固体氡气源校准闪烁室 K 值

用 RN-FD 型固体氡气源对 FD-125 型测氡仪新闪烁室 1 号和 2 号的 K 值进行了校准 (表 1), 按要求把固体氡气源与闪烁室连接形成一个密闭的气路循环系统, 每个闪烁室抽气循环 20 分钟, 静置时间 60 分钟, 测值时间 10 分钟。根据已知氡气源的氡气浓度和闪烁室的体积可用 (1) 式计算闪烁室 K 值:

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

式中, K 为仪器校准 K 值 ($Bq/脉冲 \cdot 分钟^{-1}$), C_{Rn} 为氡气源的氡气浓度 (Bq/L); V 为标准氡气的体积即闪烁室的体积 (0.5L); N 为校准测量读数的计数率 (脉冲/分钟); N_0 为闪烁室本底的计数率 (脉冲/分钟); $e^{-\lambda t}$ 为氡衰变函数值。

从计算结果来看, 两个闪烁室两组 K 值相对误差都很小, 均小于等于 0.7%, 比规范要求的 5% 小得多, 说明 RN-FD 型固体氡气源每次分配到闪烁室的浓度比较稳定。但是 1 号闪烁室的 K 值为 $0.05622 Bq/脉冲 \cdot 分钟^{-1}$, 2 号闪烁室的 K 值为 $0.05891 Bq/脉冲 \cdot 分钟^{-1}$, 两个闪烁室的 K 值都很大, 是规范要求的 $0.00700-0.00900 Bq/脉冲 \cdot 分钟^{-1}$ 的 8 倍左右。综合分析认为有两种可能: 一是源上标称的浓度 (C_{Rn}) $1353.33 Bq/L$ 不是实际浓度值, 导致 K 值变

大;二是闪烁室闪烁性能下降,也可导致 K 值变大。总体来看两个新闪烁室的 K 值比较接近,新闪烁室刚启用就报废的可能性小,极有可能是 RN-FD 型固体氡气源标称的浓度 (C_{Rn}) 1353.33Bq/L 只是理论浓度值而不是实际浓度值。

相对误差用 (2) 式计算:

$$S = \frac{K_i - \bar{K}}{\bar{K}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, S 为相对误差 (%), K_i 为每次校准 K 值 ($\text{Bq}/\text{脉冲} \cdot \text{分钟}^{-1}$), \bar{K} 为 3 次 K_i 的算术平均值 ($\text{Bq}/\text{脉冲} \cdot \text{分钟}^{-1}$)。

表 1 RN-FD 型固体氡气源校准闪烁室 K 值

Table 1 Calibrated K value of scintillation chambers using RN-FD solid radon source

日期	7月31日	8月2日	8月4日	8月1日	8月3日	8月5日
闪烁室	1号			2号		
$C_{Rn}/\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	1353.33					
$N-N_0/\text{脉冲} \cdot \text{分钟}^{-1}$	11983	12117	12005	11458	11557	11445
$K/\text{Bq} \cdot (\text{脉冲} \cdot \text{分钟}^{-1})^{-1}$	0.05647	0.05584	0.05636	0.05906	0.05855	0.05912
$\bar{K}/\text{Bq} \cdot (\text{脉冲} \cdot \text{分钟}^{-1})^{-1}$	0.05622			0.05891		
相对误差/%	0.4	-0.7	0.2	0.3	-0.6	0.4

3.1.2 用 RN-150 型固体氡气源校准闪烁室 K 值

用加拿大 Pylon 公司生产的 RN-150 型固体氡气源对新闪烁室 1 号、2 号和新增 3 号进行了校准 (表 2), 新增 3 号新闪烁室是考虑到 1 号和 2 号闪烁室用 RN-FD 型固体氡气源校准值不正常, 以排除同批新闪烁室本身的问题。静置时间 60 分钟, 测值时间 10 分钟 (和 RN-FD 源校准相同), RN-150 型固体氡气源的检定分配活度为 19.24Bq。校准结果: 1 号、2 号和 3 号闪烁室 K 值分别为 0.00748Bq/(脉冲·分钟⁻¹)、0.00739 Bq/(脉冲·分钟⁻¹) 和 0.00718Bq/(脉冲·分钟⁻¹), 3 个闪烁室 K 值全部正常, 且每个闪烁室的 K 值相对误差均 $\leq 1.2\%$, 远远小于规范要求的 5%。原来用 RN-FD 型固体氡气源校准的 1 号和 2 号新闪烁室 K 值也恢复正常, 说明闪烁室没有问题, 可能 RN-FD 型固体氡气源标称的浓度值只是理论浓度值而不是实际浓度值。

表 2 RN-150 型固体氡气源校准闪烁室 K 值 (单位: $\text{Bq} \cdot (\text{脉冲} \cdot \text{分钟}^{-1})^{-1}$)

Table 2 Calibrated K value of scintillation chamber using RN-150 solid radon source

(unit: $\text{Bq} \cdot (\text{pulse} \cdot \text{min}^{-1})^{-1}$)

日期	9月25日	9月26日	9月27日	9月25日	9月26日	9月27日	9月25日	9月26日	9月27日
闪烁室	1号			2号			3号		
分配活度/Bq	19.24								
K	0.00756	0.00740	0.00747	0.00744	0.00733	0.00740	0.00722	0.00710	0.00723
\bar{K}	0.00748			0.00739			0.00718		
相对误差/%	1.1	-1.0	-0.1	0.7	-0.8	0.1	0.5	-1.2	0.7

3.1.3 RN-FD 型固体氡气源的浓度测量

用已知正常 K 值的闪烁室 1 号、2 号和 3 号对 RN-FD 型固体氡气源中氡的浓度 C_{Rn} 进行了测定 (表 3), 按要求把固体氡气源与闪烁室连接形成一个密闭的气路循环系统, 每个闪烁室抽气循环 20 分钟, 静置时间 60 分钟, 测值时间 10 分钟。测定结果: 用公式 (3) 分别计算出 1 号、2 号和 3 号闪烁室测得 RN-FD 型固体氡气源中氡的浓度 C_{Rn} 为 180.24Bq/L、173.06Bq/L 和 177.94Bq/L, 每个闪烁室每组数据的 C_{Rn} 值的相对误差均小于等于 1.0%, 3 个闪烁室测得 RN-FD 型固体氡气源中氡的浓度 C_{Rn} 值的相对误差分别为 1.8%、-2.3% 和 0.5%, 均小于规范要求的 5%, 说明 RN-FD 型固体氡气源每次校准分配到闪烁室的浓度比较稳定。因此, 用 3 个闪烁室测定的 C_{Rn} 值的算术平均值 177.08Bq/L 作为 RN-FD 型固体氡气源中氡的浓度, 由此验证了 RN-FD 型固体氡气源标称的浓度 (C_{Rn}) 1353.33Bq/L 只是理论浓度值而不是实际浓度值的判断。

$$C_{Rn} = \frac{K(N - N_0)}{V e^{-\lambda t}} \quad (3)$$

式中, C_{Rn} 为氡气源的氡气浓度 (Bq/L); K 为仪器校准 K 值 (Bq/(脉冲·分钟⁻¹)); N 为校准测量读数的计数率 (脉冲/分钟); N_0 为闪烁室本底的计数率 (脉冲/分钟); V 为标准氡气的体积即闪烁室的体积 (0.5L); $e^{-\lambda t}$ 为氡衰变函数值。

表 3 RN-FD 型固体氡气源中氡的浓度 C_{Rn}

Table 3 C_{Rn} concentration of RN-FD solid radon source

日期	9月28日	9月30日	10月2日	9月28日	9月30日	10月2日	9月28日	9月30日	10月2日
闪烁室	1号			2号			3号		
K 值/Bq·(脉冲·分钟 ⁻¹) ⁻¹	0.00748			0.00739			0.00718		
$N - N_0$ /脉冲·分钟 ⁻¹	12156	11947	12041	11711	11661	11755	12279	12385	12510
C_{Rn} /Bq·L ⁻¹	181.85	178.73	180.13	173.09	172.35	173.74	176.33	177.85	179.64
\bar{C}_{Rn} /Bq·L ⁻¹	180.24			173.06			177.94		
相对误差/%	0.9	-0.8	-0.1	0.0	-0.4	0.4	-0.9	-0.1	1.0
\bar{C}_{Rn} /Bq·L ⁻¹	177.08								
相对误差/%	1.8			-2.3			0.5		
用 C_{Rn} 值计算 K 值/ Bq·(脉冲·分钟 ⁻¹) ⁻¹	0.00728	0.00741	0.00735	0.00756	0.00759	0.00753	0.00721	0.00715	0.00708
\bar{K} /Bq·(脉冲·分钟 ⁻¹) ⁻¹	0.00735			0.00756			0.00715		
相对误差/%	-1.0	0.8	0.0	0.0	0.4	-0.4	0.8	0.0	-1.0
两个源校准 K 值误差/%	-1.8			2.3			-0.4		

根据每个闪烁室每次测得脉冲值 ($N - N_0$) 和 RN-FD 型固体氡气源中氡的浓度 C_{Rn} 值为 177.08Bq/L, 通过 RN-FD 型固体氡气源 K 值计算公式 (1) 可算得 1 号、2 号和 3 号闪烁室用 RN-FD 型固体氡气源校准的 K 值分别为 0.00735Bq/(脉冲·分钟⁻¹)、0.00756Bq/(脉冲·分钟⁻¹) 和 0.00715Bq/(脉冲·分钟⁻¹), 3 个闪烁室 K 值完全正常, 而且每个闪烁室的

K 值相对误差均小于等于 1.0%, 小于规范要求的 5.0%。1 号、2 号和 3 号闪烁室分别用 RN-150 型和 RN-FD 型固体氦气源校准, K 值的相对误差分别为 -1.8%、2.3% 和 -0.4%。即用已知浓度的 RN-150 型固体氦气源间接测定 RN-FD 型固体氦气源的浓度 C_{Rn} , 再用 RN-FD 型固体氦气源的浓度 C_{Rn} 校准 1 号、2 号和 3 号闪烁室的 K 值时, 将多产生 -1.8%、2.3% 和 -0.4% 的相对误差。

由于目前缺乏直接对 RN-FD 型固体氦气源浓度 C_{Rn} 值的有效检定, 用已知源校准闪烁室 K 值, 再用已知正常 K 值的闪烁室测定未知源的浓度, 用得到的浓度校准闪烁室 K 值的方法会产生更大误差, 造成不可靠因素。因此这种方法只能作为尝试。

3.2 RN-FD 型固体氦气源的稳定性测试

在用 RN-FD 型固体氦气源校准闪烁室时发现, 每次相对误差基本都小于 1%, 说明稳定性尚可。RN-150 型 (或 FD-3024 型) 固体氦气源闪烁室取源在 1 分钟内完成, 改造成 RN-FD 型固体氦气源后, 取源时要与闪烁室连接形成一个密闭的气路循环系统, 要求抽气循环 20 分钟才可使闪烁室里的空气与固体标准源容器里的氦气充分混合均匀平衡。抽气循环 20 分钟是否能得到最佳测量结果? 抽气循环多长时间测量结果最稳定? 不同抽气循环时间下不同静置时间的测值又是多少? 为研究以上问题, 我们对 RN-FD 型固体氦气源在不同抽气循环时间、不同静置时间下测值的稳定性进行了实验。

对于同一个闪烁室分别进行 3 组试验, 每 1 组的抽气循环时间分别为 10 分钟、20 分钟和 30 分钟, 每组试验进行 3 次。按要求把 RN-FD 型固体氦气源与闪烁室连接形成一个密闭的气路循环系统, 进源后每隔 10 分钟测一次值, 测值时间 10 分钟 (校准时相同), 据此计算出每分钟脉冲值, 静置时间从 0 分开始, 以 10 分钟依次递增, 直到 90 分钟结束 (见表 4、图 2)。

表 4 11 月不同抽气循环时间、不同静置时间的 1 号闪烁室脉冲值 (单位: 脉冲·分钟⁻¹)

	pumping cycle time in November (unit: pulse·min ⁻¹)								
日期	12 日	13 日	14 日	15 日	16 日	17 日	18 日	19 日	20 日
循环时间/分钟	10	10	10	20	20	20	30	30	30
静置 0 分钟	8866	8725	8752	9231	9715	9618	9942	9850	9838
相对误差/%	1.0	-0.6	-0.3	-3.1	2.0	1.0	0.7	-0.3	-0.4
静置 10 分钟	9387	9327	9301	9933	10196	10096	10492	10456	10473
相对误差/%	0.5	-0.1	-0.4	-1.4	1.2	0.2	0.2	-0.2	0.0
静置 20 分钟	9880	9883	9796	10399	10698	10609	10918	10980	10933
相对误差/%	0.3	0.3	-0.6	-1.6	1.2	0.4	-0.2	0.3	-0.1
静置 30 分钟	10415	10373	10343	10925	11063	11021	11393	11410	11336
相对误差/%	0.4	0.0	-0.3	-0.7	0.5	0.2	0.1	0.3	-0.4
静置 40 分钟	10880	10731	10779	11332	11381	11446	11717	11751	11797
相对误差/%	0.8	-0.6	-0.2	-0.5	0.0	0.5	-0.3	0.0	0.4
静置 50 分钟	11281	11205	11118	11705	11786	11672	12084	12138	12134

续表

日期	12 日	13 日	14 日	15 日	16 日	17 日	18 日	19 日	20 日
相对误差/%	0.7	0.0	-0.7	-0.1	0.6	-0.4	-0.3	0.2	0.1
静置 60 分钟	11648	11554	11528	11983	12117	12005	12293	12449	12398
相对误差/%	0.6	-0.2	-0.4	-0.4	0.7	-0.2	-0.7	0.6	0.1
静置 70 分钟	11921	11905	11839	12227	12387	12265	12518	12700	12583
相对误差/%	0.3	0.1	-0.4	-0.5	0.8	-0.2	-0.7	0.8	-0.1
静置 80 分钟	12134	12101	12091	12473	12492	12404	12596	12741	12635
相对误差/%	0.2	-0.1	-0.1	0.1	0.3	-0.4	-0.5	0.7	-0.2
静置 90 分钟	12387	12304	12295	12641	12666	12600	12809	12946	12880
相对误差/%	0.5	-0.2	-0.3	0.0	0.2	-0.3	-0.5	0.5	0.0

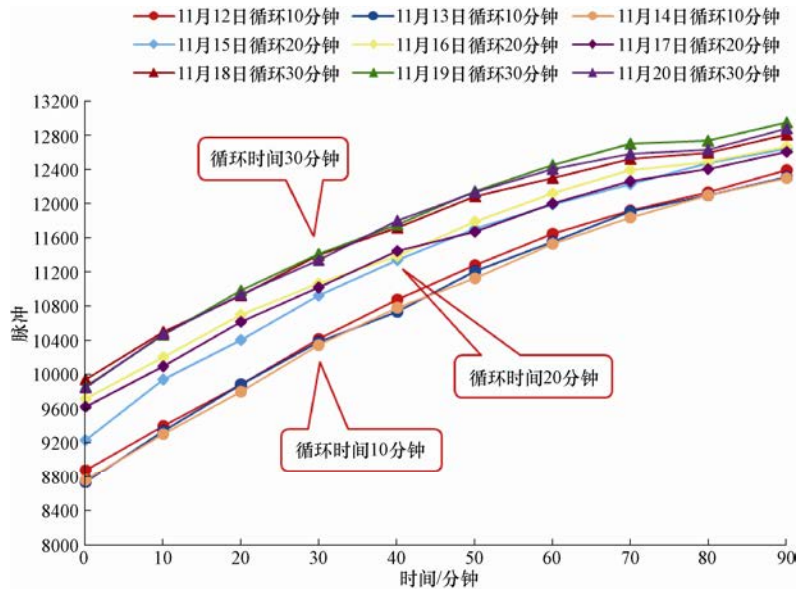


图2 RN-FD 型固体氡气源在不同抽气循环时间、不同静置时间的 1 号闪烁室脉冲值

Fig. 2 Impulses number of No. 1 scintillation chamber in different pumping time and different standing time by using RN-FD solid radon source

本文开展了 10 分钟、20 分钟和 30 分钟 3 组抽气循环试验，每组试验进行 3 次。无论是抽气循环时间还是静置时间逐步增加，闪烁室脉冲测值都呈逐步上升趋势，静置时间 90 分钟内抽气循环 10 分钟、20 分钟和 30 分钟，3 组闪烁室脉冲测值最大相对误差分别为 1.0%、3.1% 和 0.8%，其中抽气循环 30 分钟闪烁室脉冲测值相对误差最小，在 0.8% 以内，抽气循环 20 分钟闪烁室脉冲测值最大相对误差 3.1% 来自于静置时间 0 分钟的一组，但在静置 30 分钟后相对误差也在 0.8% 以内，总体都小于规范要求的 5%。

静置 90 分钟内，抽气循环 10 分钟、20 分钟和 30 分钟这 3 组 9 次试验表明：使用 RN-FD 型固体氡气源，抽气循环 10 分钟、20 分钟和 30 分钟都能足以使闪烁室里的空气与 RN-FD

型固体氡气源容器里的氡气达到充分混合均匀平衡, 最大相对误差为 3.1%, 说明 RN-FD 型固体氡气源每次分配到闪烁室的浓度比较稳定。只要合理选取固定循环时间、静置时间, 都能取得稳定的观测结果。

3.3 RN-FD 型固体氡气源应用分析

由于进行 FD-125 测氡仪坪检查时, 只需要有一个稳定的源, 不需要考虑绝对值。目前用于检查的源较为紧缺, 且高体积活度固体氡气源购买审批手续复杂, 购买后要长期接受放射性监管, 那么 RN-FD 型固体氡气源目前虽然不能用于校准, 是否可以用于坪检查?

根据氡衰变理论: 当氡射气鼓入电离室后, 氡衰变产生 α 粒子和 RaA 气子体, 使电离电流得以积累。3 小时后, 氡、RaA 的衰变速度与 RaC' 的增长速度相当, 电离电流值趋于并达最大值。而后, 便按氡的半衰期衰减。因此, 氡进入电离室静置 3 小时再读数, 从理论上分析最为理想 (国家地震局, 1985; 国家地震局科技监测司, 1995; 中国地震局监测预报司, 2007)。因此, 没有固体 α 检查源的氡观测台站, 用氡源代替 α 检查源进行检查, 就是把氡源吸入闪烁室静置 3 小时后测高压计数率, 绘出高压与计数率坪曲线, 根据坪区确定工作高压。那么, 静置多长时间开始做高压与计数率坪曲线最好? 不同静置时间下的测值又是多少? 为研究这些问题, 我们对 RN-FD 型固体氡气源在不同静置时间下的测值进行了测试。

使用 RN-FD 型固体氡气源, 按要求把固体氡气源与闪烁室连接形成一个密闭的气路循环系统, 每个闪烁室抽气循环 20 分钟, 进源后每隔 10 分钟测 1 次数, 测值时间 10 分钟 (与校准时相同), 结果换算为每分钟脉冲值, 静置时间最长 300 分钟 (图 3), 用 1 号和 2 号两个闪烁室共进行了两组 6 次试验。

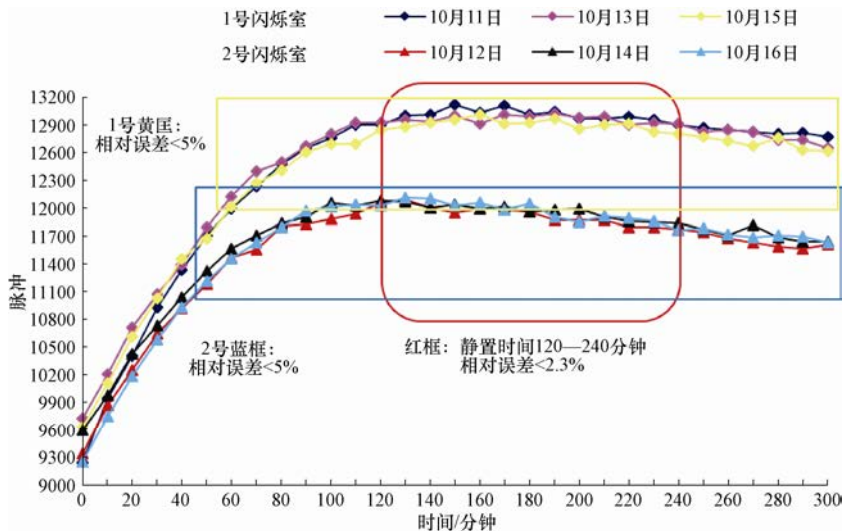


图 3 RN-FD 型固体氡气源在不同静置时间的脉冲值

Fig. 3 Pulse number of RN-FD solid radon source in different standing periods

1 号闪烁室于 2015 年 10 月 11 日、13 日和 15 日进行了 3 次试验, 2 号闪烁室于 2015 年 10 月 12 日、14 日和 16 日也分别进行了 3 次试验。根据每组脉冲测值计算相对误差, 1 号闪烁室从静置 60 分钟开始直到 300 分钟结束, 相对误差都在 $\pm 5\%$ 内 (黄框); 2 号闪烁室从静置 50 分钟开始直到 300 分钟结束, 相对误差也都在 $\pm 5\%$ 内 (蓝框); 即两个闪烁室从静置时

间 60 分钟开始到 300 分钟结束, 相对误差都在 $\pm 5\%$ 内, 而且静置时间从 120 分钟至 240 分钟, 1、2 号闪烁室相对误差都在 $\pm 2.3\%$ 内(红框)。

两个闪烁室两组 6 次试验结果表明: 1 号闪烁室的 3 次试验结果更符合理论值, 衰变形态更理想。虽然两组试验衰变形态不尽相同, 可能是由于两个闪烁室的闪烁性能差异所引起的, 但是每组曲线衰变形态基本相同, 趋势基本一致, 稳定性、重复性都比较好。实验结果充分说明, 氦源吸入闪烁室, 静置时间 120 分钟至 240 分钟测值稳定, 相对误差小于等于 2.3%, 静置 120 分钟可以开始绘制高压与计数率坪曲线, RN-FD 型固体氦气源完全可以用于地震台站氦观测仪器坪区检查工作。

4 结论与讨论

本文用 FD-125 型测氦仪分别对 RN-FD 型固体氦气源的浓度、稳定性和用于坪区检查的可能性进行了实验, 结果表明: RN-FD 型固体氦气源的浓度(C_{Rn})值为 177.08 Bq/L, 标称的浓度值与实际浓度值不一致, 标称的浓度值只是理论浓度值而不是实际浓度值, 需重新标刻浓度才能使用; RN-FD 型固体氦气源抽气循环时间不同则浓度不同, 但抽气循环时间固定, 观测结果也很稳定; 对于没有 α 检查源的台站, RN-FD 型固体氦气源浓度高、稳定性好, 可用于氦观测仪器坪区检查。

由于目前缺乏直接对 RN-FD 型固体氦气源浓度 C_{Rn} 值的有效检定, 用已知源校准闪烁室的 K 值, 再用已知正常 K 值的闪烁室测定未知源的浓度, 以校准闪烁室 K 值的方法会产生更大误差, 造成不可靠因素。另外, 不少实验研究表明, 无论闪烁法还是电离法测氦, 都会受温度和气压的影响。因此, 在进行水中溶解氦与固体氦气源校准对比实验时, 均须对测试结果进行气压与温度修正, 这样才能保证校准结果的真实性和准确性。RN-FD 型固体氦气源容积为 120 L, 更容易受气压与温度变化的影响, 但由于所处环境不具备对 RN-FD 型固体氦气源进行气压与温度修正的条件, 所以, RN-FD 型固体氦气源目前还不能用于氦观测仪器校准, 更不能代替 RN-150 型固体氦气源。

RN-FD 型固体氦气源体积为 120L, 是 RN-150 型固体氦气源体积 18.9L 的 6 倍左右, 体积大不易运输, 比较适合单台(片区)使用。

随着国家对放射源移动运输的监管力度加强, 放射源移动所需“手续”繁琐费时, 多数“送检”台站路途较远, “送检”运输过程中也存在着安全隐患。固体氦气源每 2 年要到兰州地震研究所进行定期检定, 运输不便也为这项工作带来极大困难。针对源短缺和定期检定困难, 地下流体学科技术管理组使用国际刻度装置 AlphaGUARD 测氦仪, 对目前地震地下流体水氦观测普遍使用的 FD-125 型测氦仪和 FD-105K 型测氦仪进行无源校准测试工作取得了积极进展, 任宏微等(2016)用 AlphaGUARD 测氦仪及水氦测量组件进行了水中溶解氦校准实验, 认为水中溶解氦校准可以代替目前固体氦气源校准, 有效解决目前氦气源校准中存在的运输困难、维修技术要求高等问题, 氦观测仪器如何校准仍需要进行积极探索和尝试。

致谢: 感谢中国地震局地壳应力研究所刘耀炜研究员对本实验数据分析过程中给予的技术指导和帮助。

参考文献

陈永花, 李延京, 张超美等, 2014. 水氦观测中 K 值标定探讨. 地震研究, 37(S): 72—75.

- 崔勇, 许秋龙, 张学敏等, 2008. CD-L1 型流气式固体氦源替换 RN-150 型氦源的研究. 地震地磁观测与研究, **29** (2): 80—85.
- 杜文勇, 贺永忠, 2013. GD-L2 型流气式固体氦源标定 SD-3A 数字化气氦仪的经验探讨. 防灾减灾学报, **29** (2): 40—44.
- 国家地震局, 1985. 地震水文地球化学观测技术规范. 北京: 地震出版社.
- 国家地震局科技监测司, 1995. 地震地下流体观测技术. 北京: 地震出版社.
- 柯璟, 柯玉龙, 庄映辉等, 2015. 对几种固体氦源在标定测氦仪器中性能的探析. 华南地震, **35** (2): 43—49.
- 李朝明, 杨志坚, 朱培耀等, 2012. KJD-2000R 测氦仪 (α 谱仪) 观测结果分析. 地震研究, **35** (3): 399—405.
- 李彤起, 李正蒙, 陈兰庆等, 1997. 测氦仪器固体氦气源标定新技术推广应用进展与效益. 西北地震学报, **19** (4): 71—77.
- 刘菁华, 王祝文, 田钢等, 2007. 均匀覆盖层中氦迁移的数值模拟. 地球物理学报, **50** (3): 921—925.
- 刘学领, 马建英, 程立康等, 2008. 水氦观测样品脱气温度及观测时间的选取. 地震地磁观测与研究, **29** (2): 55—58.
- 刘耀炜, 任宏微, 张磊等, 2015. 鲁甸 6.5 级地震地下流体典型异常与前兆机理分析. 地震地质, **37** (1): 307—318.
- 任宏微, 姚玉霞, 黄仁桂等, 2016. 地震监测氦观测仪器校准新方法研究. 地震, **36** (3): 46—54.
- 唐方东, 何林锋, 王振基等, 2009. 氦体积活度模型与验证. 核电子学与探测技术, **29** (2): 285—287, 343.
- 吴永信, 钟心, 陈兰庆, 2006. 氦气固体源的准确度、稳定性和重复性及其影响因素研究. 西北地震学报, **28** (2): 184—188.
- 姚玉霞, 任宏微, 郭丽爽等, 2016. AlphaGUARD 与 FD-125 测氦仪的对比观测研究. 震灾防御技术, **11** (3): 641—646.
- 张清秀, 孔令昌, 江劲军等, 2012. 新型流气式固体氦源用于氦仪器标定的实验研究. 华南地震, **32** (2): 60—67.
- 张昱, 刘小凤, 常千军等, 2010. 大震前水氦同步异常变化及其预测意义探讨. 地震研究, **33** (3): 253—258.
- 中国地震局, 2014. 地震水文地球化学观测技术规范. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局监测预报司, 2007. 地震地下流体理论基础与观测技术 (试用本). 北京: 地震出版社.

Stability and Practicability Analysis of RN-FD Type Solid Radon Source

Li Zhaoming¹⁾, Yang Zhijian¹⁾, Chu Jinxue²⁾ and Wu Mou¹⁾

1) Western Yunnan Earthquake Prediction Study Area, China Earthquake Administration, Dali 671000, Yunnan, China

2) Midu Seismic Station, Yunnan Earthquake Agency, Midu 675600, Yunnan, China

Abstract The precise calibration of observing instruments plays an important part in the measurement of radon. The stability and reliability of the solid radon source are very crucial in the calibration. In this paper, through the analysis of the stability of the scintillation chamber K value derived from the RN-FD solid radon source, we found that the nominal value of the concentration of RN-FD solid radon source was not consistent with the actual value. The actual concentration value needs to rescale before to use. The concentration difference was caused by different pumping cycle time. When the pumping cycle time is fixed the observed results are stable. For a station without the α -check-source, the RN-FD solid radon source can be applied as the plateau area check of the radon detector.

Key words: Radon observation; Solid radon source; Calibration of radon detector; Nominal concentration; Stability