

基于小闪烁室测氡仪快速定值方法研究

王政霞, 李志强, 李彦秋, 张书燕, 徐 勇, 李 磊

(衡阳师范学院, 衡阳 421002)

摘 要: 高探测效率的闪烁室测氡是氡测量的主要方法,但其取样结束后需静置 3 h 才开始测量. 为实现闪烁室快速测氡的需要,在 Rn-222、Po-218 和 Bi-214 的探测效率相同的条件下,依据氡及其子体的衰变关系,本文建立了一种闪烁室测氡仪快速定值的方法. 此法基于积分计数法,利用测量周期为 60 min 时的刻度因子 K_0 ,计算测量周期为 30 min 和 15 min 的理论刻度因子. 本文选取对氡及其子体探测效率近似 100% 的 54 mL 小闪烁室,在氡浓度为 20 Bq/mL 的条件下开展快速定值实验. 实验结果表明,本文测量的实验值与理论值误差在 5% 以内,能够实现闪烁室快速测氡.

关键词: 小闪烁室; 刻度因子; 快速定值

中图分类号: TL84 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19907/j.0490-6756.2022.024004

Study on rapid radon determination method based on small scintillation chamber

WANG Zheng-Xia, LI Zhi-Qiang, LI Yan-Qiu, ZHANG Shu-Yan, XU Yong, LI Lei

(Hengyang Normal University, Hengyang 421002, China)

Abstract: The scintillation chamber with high detection efficiency is the main method for radon measurement, but it needs to stand for 3 h after sampling before starting measurement. In order to meet the needs of rapid measurement of radon in scintillators, a rapid measurement method for radon in scintillators was established according to the decay relationship of radon and its progeny under the same efficiency condition of Rn-222, Po-218 and Bi-214. Based on the integral counting method, the calibration factor K_0 at the measurement period of 60 min was used to calculate the theoretical calibration factors at the measurement period of 30 min and 15 min. A 54 mL scintillation chamber with a detection efficiency of approximately 100% for radon and its daughters was selected to carry out rapid calibration experiments at a radon concentration of 20 Bq/mL. The experimental results show that the error between the experimental value and the theoretical value is within 5%, which can realize the rapid measurement of radon in scintillation chamber.

Keywords: Small scintillation chamber; Calibration factors; Rapid determination

1 引 言

氡是公众所受天然辐射最主要的来源之一,约占总剂量的 55%^[1]. 氡浓度的可靠测量可为辐射

防护和环境保护提供参考依据^[2]. 高探测效率且受湿度影响小的闪烁室测氡法是氡测量的主要方法^[3]. 此方法为了保证氡的总活度变化不超过 1%,取样结束后需要静置 3 h 使氡及其子体达到

收稿日期: 2021-10-13

基金项目: 湖南省自然科学基金(2018JJ2007); 湖南省研究生科研创新项目(CX20211233)

作者简介: 王政霞(1997-),女,湖南娄底人,硕士研究生,主要从事核电子学和探测技术的研究.

通讯作者: 李志强. E-mail: hysylzq@126.com

平衡才可测量^[4-7]. 这不利于快速跟踪氡浓度变化的测量^[8]. 为了缩短测量时间, 可在氡及其子体建立平衡前计数. 本文通过积分计数法根据氡及其子体原子数的衰变关系, 建立了不同测量周期的氡浓度刻度因子计算方法, 实现闪烁室氡浓度的快速定值; 在 Rn-222、Po-218 和 Bi-214 的探测效率相同的条件下, 利用 54 mL 的小闪烁室在氡浓度为 20 Bq/mL 的条件下对闪烁室测氡仪开展快速定值研究.

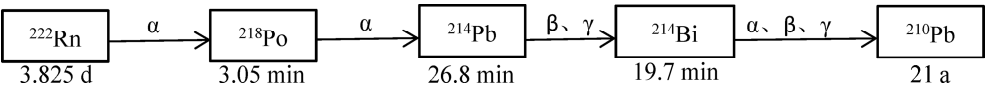


图 1 氡及其子体简化衰变链
Fig. 1 Simplified decay chains of radon and its daughters

设在时刻 T 内 Rn-222、Po-218 和 Bi-214 的原子核数分别为 N_R 、 N_P 和 N_B , 在初始时刻 $T=0$ 时测量腔内无子体, 即取样完成后只有氡. 设测量周期为 T , 取样时间为 T_s , 依据被收集的 α 粒子数与不同测量周期的刻度因子关系式来确定氡浓度. 小闪烁室测氡仪 Rn-222 浓度测量公式为^[7]

$$C_R=K\Delta N_A(T)$$

(1)

式中 C_R 为被测环境氡浓度; K 为小闪烁室刻度因子; $\Delta N_A(T)$ 为不同测量周期的 Rn-222、Po-218 和 Bi-214 进一步衰变产生的总 α 粒子计数. 小闪烁室收集到的 α 粒子数与 Rn-222、Po-218 和 Bi-214 的关系如下.

$$N_A=N_R+N_P+N_B$$

(2)

式中 N_A 为小闪烁室的净计数率, N_R 、 N_P 、 N_B 分别代表 Rn-222、Po-218 和 Bi-214 衰变产生的 α 粒子数. Rn-222、Po-218 和 Bi-214 的放射性活度 A_R 、 A_P 、 A_B 随时间的变化满足下列方程^[9].

$$A_R(t)=C_RV e^{-\lambda_R t}$$

(3)

$$A_P(t)=\frac{\lambda_P C_R V}{\lambda_P-\lambda_R} [e^{-\lambda_R t}-e^{-\lambda_P t}]$$

(4)

2 快速定值原理

闪烁室内氡及其子体的原子数变化满足递次衰减规律. 根据氡及其子体简化衰变链规律, 可依次得到 Rn-222、Po-218 和 Bi-214 的放射性活度. Po-218、Bi-214 的半衰期远远短于 Rn-222 的半衰期, 在取样过程中视闪烁室内氡浓度不变, 且在 $T=0$ 时闪烁室内氡气是均匀分布的. 图 1 为氡及其子体简化衰变链.

$$A_B(t)=C_RV [h_1 e^{-\lambda_R t}+h_2 e^{-\lambda_P t}+h_3 e^{-\lambda_B t}+h_4 e^{-\lambda_{B'} t}]$$

(5)

其中

$$h_1=\frac{\lambda_P \lambda_B \lambda_{B'}}{(\lambda_P-\lambda_R)(\lambda_B-\lambda_R)(\lambda_{B'}-\lambda_R)},$$

$$h_2=\frac{\lambda_P \lambda_B \lambda_{B'}}{(\lambda_R-\lambda_P)(\lambda_B-\lambda_P)(\lambda_{B'}-\lambda_P)},$$

$$h_3=\frac{\lambda_P \lambda_B \lambda_{B'}}{(\lambda_R-\lambda_B)(\lambda_P-\lambda_B)(\lambda_{B'}-\lambda_B)},$$

$$h_4=\frac{\lambda_P \lambda_B \lambda_{B'}}{(\lambda_R-\lambda_{B'})(\lambda_P-\lambda_{B'})(\lambda_{B'}-\lambda_{B'})},$$

式中 λ_R 、 λ_P 、 λ_B 、 $\lambda_{B'}$ 是 Rn-222、Po-218、Pb-214 和 Bi-214 的放射性半衰期 (min^{-1}); C_R 是闪烁室中初始氡浓度 (Bq/m^3); V 是闪烁室体积 (L). 在 $T_s \sim T+T_s$ 时间段内小闪烁室测得的 α 粒子数为

$$N_A(T)=\int_{T_s}^{T+T_s} \eta_R A_R(t) dt + \int_{T_s}^{T+T_s} \eta_P A_P(t) dt + \int_{T_s}^{T+T_s} \eta_B A_B(t) dt$$

(6)

式中 $\eta_R=\eta_P=\eta_B$ ^[10]; T_s 为采样时间. 将上式简化并积分为

$$N_A(T)=60C_RV \left[-\left(\frac{1}{\lambda_R} + \frac{\lambda_P}{\lambda_R(\lambda_P-\lambda_R)} + \frac{h_1}{\lambda_R} \right) (e^{-\lambda_R(T+T_s)} - e^{-\lambda_R T_s}) + \left(\frac{1}{\lambda_P-\lambda_R} - \frac{h_2}{\lambda_P} \right) (e^{-\lambda_P(T+T_s)} - e^{-\lambda_P T_s}) - \frac{h_3}{\lambda_B} (e^{-\lambda_B(T+T_s)} - e^{-\lambda_B T_s}) - \frac{h_4}{\lambda_{B'}} (e^{-\lambda_{B'}(T+T_s)} - e^{-\lambda_{B'} T_s}) \right]$$

(7)

令

$$K=\frac{1}{60V \left[-\left(\frac{1}{\lambda_R} + \frac{\lambda_P}{\lambda_R(\lambda_P-\lambda_R)} + \frac{h_1}{\lambda_R} \right) (e^{-\lambda_R(T+T_s)} - e^{-\lambda_R T_s}) + \left(\frac{1}{\lambda_P-\lambda_R} - \frac{h_2}{\lambda_P} \right) (e^{-\lambda_P(T+T_s)} - e^{-\lambda_P T_s}) - \frac{h_3}{\lambda_B} (e^{-\lambda_B(T+T_s)} - e^{-\lambda_B T_s}) - \frac{h_4}{\lambda_{B'}} (e^{-\lambda_{B'}(T+T_s)} - e^{-\lambda_{B'} T_s}) \right]}$$

(8)

已知 T_0 时刻与不同测量周期 T_x 的氡浓度相等, K_0 与 K_x 关系式应满足如下关系

$$C_R = K_0 N_A(T_0) = K_x N_A(T_x) \quad (9)$$

式中 T_x 为不同周期的测量时间; K_x 为不同测量周

期 T_x 的刻度因子; K_0 为 60 min 的测量周期刻度因子. 将式(9)转换则得到不同测量周期的刻度因子与 60 min 的测量周期刻度因子的关系为

$$K_x = \frac{-\left(\frac{1}{\lambda_R} + \frac{\lambda_P}{\lambda_R(\lambda_P - \lambda_R)} + \frac{h_1}{\lambda_R}\right)(e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) + \left(\frac{1}{\lambda_P - \lambda_R} - \frac{h_2}{\lambda_P}\right)(e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) - \frac{h_3}{\lambda_B}(e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) - \frac{h_4}{\lambda_B}(e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x})}{-\left(\frac{1}{\lambda_R} + \frac{\lambda_P}{\lambda_R(\lambda_P - \lambda_R)} + \frac{h_1}{\lambda_R}\right)(e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) + \left(\frac{1}{\lambda_P - \lambda_R} - \frac{h_2}{\lambda_P}\right)(e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) - \frac{h_3}{\lambda_B}(e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) - \frac{h_4}{\lambda_B}(e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x})} K_0 \quad (10)$$

根据图 1 已知 $\lambda_R = 0.000\ 126$, $\lambda_P = 0.227\ 261$, $\lambda_B = 0.025\ 864$, $\lambda_B = 0.035\ 185^{[3]}$, 将其代入式(10)中, 得到不同测量周期的刻度因子公式.

$$K_x = \frac{-2.39 \times 10^4 (e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) + 4.51 (e^{-\lambda_P(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_P T_x}) + 165.49 (e^{-\lambda_B(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_B T_x}) - 93.65 (e^{-\lambda_B(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_B T_x})}{-2.39 \times 10^4 (e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) + 4.51 (e^{-\lambda_P(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_P T_x}) + 165.49 (e^{-\lambda_B(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_B T_x}) - 93.65 (e^{-\lambda_B(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_B T_x})} K_0 \quad (11)$$

将 K_x 代入式(1)中即可得到氡浓度计算公式为

$$C_R = \frac{-2.39 \times 10^4 (e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) + 4.51 (e^{-\lambda_P(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_P T_x}) + 165.49 (e^{-\lambda_B(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_B T_x}) - 93.65 (e^{-\lambda_B(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_B T_x})}{-2.39 \times 10^4 (e^{-\lambda_R(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_R T_x}) + 4.51 (e^{-\lambda_P(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_P T_x}) + 165.49 (e^{-\lambda_B(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_B T_x}) - 93.65 (e^{-\lambda_B(T_0 + T_x)} - e^{-\lambda_B T_x})} K_0 N(T_x) \quad (12)$$

式(12)为不同测量周期对应平衡时的氡浓度计算公式. 由不同测量周期的总 α 粒子数和刻度因子的乘积即可得到平衡时的氡浓度. 为了确定刻度因子公式的正确性, 采用固定氡浓度对 60 min、30 min 和 15 min 的刻度因子进行计算, 再利用小闪烁室对其进行验证.

3 定值实验方案

实验装置主要由小闪烁室、FD125 氡钍分析仪和定标器组成, 实验验证装置如图 2 所示.

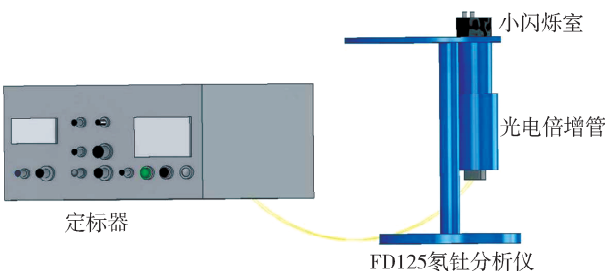


图 2 实验验证装置图

Fig. 2 Experimental verification device diagram

根据氡及其子体的衰变关系, 运用积分计数法计算不同测量周期的刻度因子时必须满足两个条件: (1) 用给定样品在给定计数瓶中进行实验时, 效率必须保持恒定; (2) 样品在进入计数室时必须不含子代^[11]. 为减少计数误差, 满足小闪烁室对氡及其子体衰变产生的 α 粒子的探测效率近似达到 100%, 即“ $\eta_R = \eta_P = \eta_B$ ”, 将容积为 54 mL 的

小闪烁室分为八等分圆柱体, 且满足两个条件: (1) 小闪烁室内任意两点间的距离小于 Rn-222 及其子体衰变释放的 α 粒子的射程; (2) 小闪烁室内表面及有机玻璃隔板需全部均匀涂上 ZnS(Ag)^[9,12].

本文选取浓度为 20 Bq/mL 的氡源作为标准氡浓度, 小闪烁室的体积为 54 mL, 实验环境温度 12~21 °C, 标准大气压. 为减少计数误差, 需保证氡及其子体衰变释放的 α 粒子产生的光电信号均能被记录. FD125 氡钍分析仪工作高压设置为 -539 V. 首先用泵抽取真空清洗小闪烁室内上次测量残留的氡及其子体, 使室内本底降低后再利用 FD125 氡钍分析仪测得其值. 然后选用容积为 1 mL 的针管抽取 1 mL 氡源过滤完再注入真空小闪烁室中. 松开橡皮管上的夹子使小闪烁室内的氡在空间内平衡再夹住, 此时小闪烁室内氡浓度变为 3.7×10^5 Bq/m³.

$$C_R = \frac{20 \text{ Bq/mL} \times 1 \text{ mL}}{54 \text{ mL} \times 10^{-6}} = 3.7 \times 10^5 \text{ Bq/m}^3$$

采样结束后将小闪烁室放入 FD125 氡钍分析仪中, 设置定标器的采集时间和次数, 测量不同周期的氡及其子体衰变产生的总 α 粒子数 N_A . 将 $T_0 = 60$ min 时的总 α 粒子数代入式(1)即可计算得到刻度因子 K_0 值. 根据 K_0 值和式(11)可计算得到不同周期的刻度因子.

4 结果与讨论

用 FD125 氡钍分析仪测量 $T_0 = 60$ min 时小

闪烁室内氦及其子体衰变产生的总 α 粒子数,重复测量 10 次再求平均值. 将氦源标准浓度代入式(1)得到刻度因子 K_0 值,再依据式(11)得到 K_{30} 和 K_{15} 的值. 将用定标器得到的 N_A 值代入式(12),验证快速定值的结果.

4.1 测定 K_0

小闪烁室标准浓度为 $3.7\times10^5\text{ Bq/m}^3$. 为了满足积分计数法的两个必要条件,利用真空泵清洗小闪烁室后测量其本底,以免对实验结果产生影响. 氦源经过滤后再注入测量腔中,将小闪烁室对准 FD125 氦钍分析仪的光电倍增管上端,记录氦及氦子体衰变产生的总 α 粒子计数,连续测量 10 次周期为 60 min 的总 α 粒子计数^[13]. 将氦标准浓度作为参考浓度,代入式(1)得到刻度因子 K_0 值,结果如表 1 所示.

表 1 K_0 的测试结果
Tab.1 Test results of K_0

序号	小闪烁室计数值	$K_0/(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cpm}^{-1})$
1	314 694	1.180
2	323 914	1.146
3	326 839	1.136
4	311 635	1.191
5	332 444	1.116
6	330 357	1.123
7	338 621	1.096
8	309 315	1.200
9	315 409	1.177
10	337 091	1.101
平均值	324 032	1.147

10 次测量的数据存在差异,这是因为闪烁室内本底波动、人工采样的不准确性、温度波动较大和 α 衰变的随机性导致的. 但是总的来看波动较小,这是统计涨落的结果,表明数据符合放射性规律. 为减少温度等因素带来的计数误差,采取平均值计算结果. 在计算时需要修正上一次测量残留的氦子体衰变产生的计数,其本底平均计数为 17 cpm. 由表 1 可知,在周期为 60 min 的条件下,10 次的总 α 粒子计数平均值为 324 032,小闪烁室修正后的相对标准误差 RSD 为 3.3%. 由式(1)计算可得平均 K_0 值为 $1.147\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cpm}^{-1}$.

设置测量周期为 30 min 和 15 min,根据上述

得到的 K_0 值和式(11)即可计算不同周期的刻度因子,分别为 $K_{30}=2.481\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cpm}^{-1}$, $K_{15}=5.226\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cpm}^{-1}$.

4.2 快速定值结果的测试

将 20 Bq/mL 标准氦源抽样 1 mL 至小闪烁室中,用 FD125 氦钍分析仪记录氦及其子体衰变产生的总 α 粒子计数,连续测量 10 次周期为 30 和 15 min 的计数. 利用式(12)计算不同测量周期的氦浓度值. 表 2 和表 3 是周期为 30 和 15 min 的测量结果. 其中 $K_{30\text{ex}}$ 和 $K_{15\text{ex}}$ 为实验所得刻度因子,将 α 粒子计数代入式(1)即可得到 $K_{30\text{ex}}$ 和 $K_{15\text{ex}}$.

表 2 30 min 周期的测量结果
Tab.2 Measurement results of 30 min period

序号	小闪烁室计数值	$K_{30\text{ex}}/(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cpm}^{-1})$	$\delta=\frac{K_{30\text{ex}}-K_{30}}{K_{30}}\times100\%$
1	146 879	2.523	1.70
2	148 822	2.490	0.37
3	152 622	2.428	-2.13
4	146 350	2.533	2.07
5	154 435	2.400	-3.28
6	152 687	2.427	-2.17
7	153 903	2.408	-2.95
8	147 225	2.518	1.46
9	146 770	2.525	1.78
10	155 533	2.383	-3.97
平均值	150 523	2.464	
RSD/%	2.42	2.42	

由表 2 可知,在测量周期为 30 min 时经过修正后小闪烁室的总 α 粒子计数平均值为 150 523,其相对标准误差 RSD 为 2.42%. 依据式(1)得到其平均刻度因子 $K_{30\text{ex}}$ 为 $2.464\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cpm}^{-1}$,相对标准误差为 2.42%,且与理论刻度因子 K_{30} 的误差在 4% 以内,表明在 30 min 时理论刻度因子计算公式是可行的.

由表 3 可知,测量周期为 15 min 时经过修正后小闪烁室的总 α 粒子计数平均值为 71 193,由式(1)得到其平均刻度因子 $K_{15\text{ex}}$ 为 $5.217\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{cpm}^{-1}$. 由于环境温度、气压和人为等因素引起计数落差,但总 α 粒子计数相对标准误差 RSD 为 1.84%,实验刻度因子 $K_{15\text{ex}}$ 的 RSD 也为 1.84%.

表 3 15 min 周期的测量结果
Tab.3 Measurement results of 15 min period

序号	小闪烁室 计数值	$K_{15ex}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{cpm}^{-1})$	$\delta = \frac{K_{15ex} - K_{15}}{K_{15}} \times 100\%$
1	705 84	5.261	0.67
2	69 748	5.324	1.88
3	73 337	5.063	-3.13
4	72 601	5.114	-2.14
5	70 920	5.236	0.19
6	71 422	5.199	-0.52
7	70 117	5.296	1.34
8	71 347	5.205	-0.42
9	69 351	5.355	2.46
10	72 498	5.122	-2.00
平均值	71 193	5.217	
RSD/%	1.84	1.84	

从上述实验数据来看,对于氡浓度为 3.7×10^5 Bq/m³时理论 K 值与实验 K 值误差在 4%以内,证明在高氡浓度条件下利用快速定值方案缩短测量时间是可行的.

5 结 论

本文用积分计数法研究小闪烁室的快速定值方法对氡浓度进行快速测量,理论刻度因子 K_{30} 和 K_{15} 的值分别为 2.481 和 5.226 Bq · m⁻³ · cpm⁻¹;利用小闪烁室对浓度为 3.7×10^5 Bq/m³ 的氡源进行探测,根据测得的 α 粒子计算实验刻度因子,理论计算值与实验验证值误差在 5%以内,表明小闪烁室快速定值方法是可行的. 上述定值方法对于容积为 500 mL 的大闪烁室,在确定其探测效率后也同样适用.

参考文献:

[1] Nazir S, Simnani S, Mishra R, *et al.* Simultaneous

measurements of radon, thoron and their progeny for inhalation dose assessment in indoors of Srinagar, J&K, India [J]. J Radioanal Nucl Ch, 2020, 325: 315.

[2] 余钟波, 李敏娟, 刘芸辰, 等. 基于氡同位素的河水与地下水水力交换研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2020, 48: 8.

[3] 张智慧. 空气中氡及其子体的测量方法[M]. 北京: 原子能出版社, 1994.

[4] Müllerová M, HolýK, Blahušiak P, *et al.* Study of radon exhalation from the soil [J]. J Radioanal Nucl Ch, 2018, 315: 237.

[5] 丁玉祥, 朱光有, 张怀顺, 等. 天然气中氡的研究进展[J]. 天然气地球科学, 2021, 32: 754.

[6] 周红艳, 任宏微, 宁洪涛, 等. 采样方式对地震监测闪烁室法测氡仪校准结果的影响研究[J]. 地震, 2020, 40: 191.

[7] 张雄杰, 张叶, 瞿金辉, 等. 闪烁室测氡仪采样方式对刻度系数的影响研究[J]. 东华理工大学学报:自然科学版, 2014, 37: 429.

[8] 李志强, 肖德涛, 赵桂芝, 等. 铀尾矿库氡析出率多点快速测量方法研究与应用[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2018, 55: 1270.

[9] 雷龙. 单小闪烁室²²²Rn/²²⁰Rn 绝对测量仪研制[D]. 衡阳: 南华大学, 2015.

[10] 周剑波, 赵修良, 俞红, 等. 基于单小闪烁室延时法绝对测量²²²Rn/²²⁰Rn 方案验证[J]. 核电子学与探测技术, 2009, 29: 340.

[11] Niels J, William E C. Determination of radon-222 concentrations by an integrated count method [J]. Health Phys, 1974, 27: 347.

[12] 贺三军. 小闪烁室²²²Rn/²²⁰Rn 绝对测量方法相关问题研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2012.

[13] 国家质量监督检验检疫总局. 测氡仪检定规程: JJG 825-2013[S]. 北京: 中国质检出版社, 2013.

引用本文格式:

中 文: 王政霞, 李志强, 李彦秋, 等. 基于小闪烁室测氡仪快速定值方法研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2022, 59: 024004.

英 文: Wang Z X, Li Z Q, Li Y Q, *et al.* Study on rapid radon determination method based on small scintillation chamber [J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2022, 59: 024004.