

文章编号: 1673-0062(2010)02-0012-03

湿度对 CR-39 固体核径迹探测器测量 $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 水平的影响研究

肖 拥军, 周青芝, 汤凌志

(南华大学 核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 在可调控温度、湿度及氡浓度的南华大学氡实验室对不同的湿度条件下 CR-39 固体核径迹探测器测量 $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 的探测效率进行了测定, 分析了湿度对 CR-39 固体核径迹探测器测量 $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 探测效率的影响. 实验结果表明: 相对湿度在 35% - 95% 范围内, 当湿度为 50% 左右时, CR-39 固体核径迹探测器测 ^{222}Rn 探测效率最高, 标准偏差为 2.0%; 相对湿度在 30% - 100% 范围内, 当湿度为 75% 时, CR-39 固体核径迹探测器测 ^{220}Rn 的探测效率最低, 标准偏差达到 78.4%.

关键词: $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 累积测量; 固体径迹探测器; CR-39; 湿度效应; 探测效率

中图分类号: TL84 O613.16 **文献标识码:** A

The Humidity Effect in the $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ Concentration Measurement by CR-39 Solid State Nuclear Track Detectors

XIAO Yong-jun, ZHOU Qing-zhi, TANG Ling-zhi

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract The experiment was completed in the Laboratory of radon university which can regulate temperature, humidity and radon concentration in radon chamber. In the experiment we measured $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ by CR-39SSNTD in different humidity and analyzed the influence of humidity for the results. The results show that the detected efficiency of ^{222}Rn was biggest and the standard deviation is 2.0% when the humidity is 50% from 35% to 95%. the detected efficiency of ^{220}Rn reached the minimum and the standard deviation is 78.4% when the humidity is 75% from 30% to 100%.

Key words solid state nuclear track detector; $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ cumulation measurement; CR-39; humidity effect; detected effect

氡及其子体是矿山职业照射病的主要来源, 对于普通民众它产生的剂量当量是天然辐射的主要来源. 测量的方法主要分为三大类: 区域瞬时监测法、区域连续监测法、区域累积监测法. 由于环境中

氡的浓度较低, 对瞬时测氡仪和连续测氡仪精度要求高, 取样的体积也大, 会干扰所测环境的状况, 不能很好的体现环境中氡的状态. 累积监测法对氡进行一定时间的累积取样, 灵敏度可以用累积时间来

收稿日期: 2010-03-24

作者简介: 肖拥军 (1967-), 女, 湖南衡阳人, 南华大学核科学技术学院实验师, 主要研究方向: 辐射防护与环境保护.

弥补,不扰乱测量环境,可以进行环境水平氡浓度的累积测量,直接得到被测环境的年均照射量,从而避免了由于时间、季节、气象因素变化所带来的影响.固体核径迹(SSNTD)技术是一种累积的氡测量方法,用 CR-39(烯丙基二甘醇碳酸酯)作为累积测量的探测元件,具有灵敏度高,均匀性和光学性高于其他材料,可以记录能量为几十 MeV 的 α 粒子^[1],到目前为止 CR-39 是国际上公认的固体径迹累积测量最理想的测氡材料,所以研究 CR-39 固体径迹探测器对测量环境中的氡和民众的个人剂量有着很重要的意义.

1 固体径迹探测器测量原理方法

带电粒子穿过绝缘固体时,沿着它们的轨迹造成原子尺度上的辐射损伤,如果损伤的密度足够高,经过适当的处理之后,就会形成便于观察的径迹,根据这一原理发展起来的带电粒子探测器,称之为固体径迹探测器(Solid state nuclear track detectors),简称 SSNTD.当 α 粒子照射产生潜径迹,对潜径迹进行蚀刻产生径迹,对径迹进行记数得到径迹密度.探测器上单位面积的径迹数目与空气中氡的累计浓度成正比.由密度得到平均浓度计测 SSNTD 上的径迹密度计算氡的浓度,其关系如下:

$$C_{\text{Rn}} = 1/T \int_0^T (N/A - Nb/Ab) 1/K dt \tag{1}$$

式中的 C_{Rn} 为累积氡的平均浓度, Bq/m^3 ; K 为刻度因子,径迹密度 $\text{Bq}/\text{m}^3 \text{hr}$; N/A 为径迹密度, N 为计测面积 $A \text{ m}^2$ 内的径迹数; Nb/Ab 为本底径迹密度, Nb 为计测面积 $Ab \text{ cm}^2$ 内的本底径迹数.由式(1)可以得出

$$C_{\text{Rn}} = N/KT \tag{2}$$

式中: N 为净记数密度; K 为刻度因子; T 为照射时间.

2 CR-39 固体径迹探测器测量 $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 的影响因素的研究

影响 SSNTD 测量 $^{230}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 的因素很多,主要有:记录效率、探测器的刻度、蚀刻效率、灵敏体积、湿度效应、静电效应以及 CR-39 的老化效率等多种因素,有些因素在文献[1]及原核工业第六研究所杨明理的《固体核径迹测氡方法科学研究报告》中已做过详细描述,但湿度效应对 CR-39 SSNTD 测量的影响还不明确.为此对湿度效应影响 CR-39 SSNTD 测量 $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 分别进行了如下实验,以探明不同湿度对 $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 测量的影响程度.

2.1 湿度对 CR-39 SSNTD 测量 ^{220}Rn 的影响

氡在空气中扩散时水蒸气会对其运动产生阻碍,空气的湿度会对氡的收集效率产生影响,同时由于重带电粒子的穿透率也会因为空气中水的阻挡而降低,所以湿度效应是影响氡的记录效率降低的一个重要因素,并且一定湿度的存在会降低静电效应对测量结果的影响.

实验方法如下:在 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的小氡室中放入硅胶使其湿度降至 35%,再依次升至 55%, 75%, 95%,在不同的湿度情况下放入 $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$ 被动式累积^[2]探测器进行测量.探测器的过滤窗采用的是 PE 滤膜,刻度系数是 $4.11 \text{ Tracks} \cdot \text{cm}^{-2} (\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h})^{-1}$,每次放 10 个样品,将氡室浓度维持在一定的水平,利用闪烁室测量装置对小氡室进行取样测量,监测小氡室内 ^{222}Rn 浓度的变化.以便与 CR-39 SSNTD 累积探测器测量结果的进行比照.蚀刻液浓度为 6.25 mol/L NaOH ,温度 70°C ,蚀刻时间为 22 h 采用相同的读方法在光学显微镜下进行测读,实验结果见表 1.

表 1 不同湿度下固体径迹探测器测量氡浓度测量结果
Table 1 The results of radon concentration under different humidity

湿度 /%	照射时间 /h	平均净径迹密度 /(个·cm ⁻²)	测量浓度 /(Bq·m ⁻³)	参考浓度 /(Bq/m ⁻³)	标准偏差
35	79	2183±532	6.715	5.569	13.2%
55	70	1645±32	5.719	5.881	2.0%
75	48	936±146	4.743	5.596	11.7%
95	48	844±127	4.279	4.611	5.3%

从表 1 的实验结果显示,随着相对湿度的逐渐升高,CR-39 SSNTD 测量 ^{222}Rn 浓度的偏差表现为高→降低→升高→降低.这是因为当湿度过低时,放置在氡室内的累积剂量计盒带有静电,而

刚刚产生的氦子体也会带有电,因此会对 CR-39 SSNTD 测量结果产生一定的影响,使 CR-39 记录 α 粒子的离散度增大.当空气中的湿度达到 55% 时,水分子中和了探测器内的静电,使得 CR

- 39记录 α 粒子的效率增加. 当湿度增加到 75% 时, 探测器内壁和 CR - 39片上同时凝聚水的微滴时, 凝结后在探测器上的小水滴将阻挡来自氦及其子体释放的, 因为 α 粒子在水中的射程只有 66×10^{-6} m, 比水滴的一般厚度要小得多, 所以 α 粒子很难穿透水滴, CR - 39 记录得径迹数偏低. 而当湿度达 90% 以上时, 空气中的水达到饱和状态, α 粒子可以在水分子中运移, 从而使测量相对标准偏差下降. 可以看出在湿度为 50% 左右时候的测量结果是最理想的, 且在湿度为 50% 时 CR - 39径迹片的离散度是最小的.

2 2 湿度效应对 CR- 39SSNTD 测量 ^{220}Rn 测量的影响

建立了一个体积为 2.7 m^3 的 ^{220}Rn 室, 它基本上实现了 ^{220}Rn 室内风流、 ^{220}Rn 浓度及其子体浓度的稳定和均匀控制^[3-4]. 实验中所使用的探测器盒与上一个实验所使用的相同, 只是探测器的过滤窗采用的是纤维滤膜, 刻度系数是 2 56

$\text{Tracks} \cdot \text{cm}^{-2} (\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h})^{-1}$.
当 ^{220}Rn 室里面均匀布满的 ^{220}Rn 射气时, 用加湿机将空气的湿度加到 95%, 并维持在 95% 左右的湿度水平. 放入 CR - 39SSNTD 探测器, 照射一定时间的照射后将其取出. 再用硅胶将湿度降低到 75% 左右并维持该湿度水平, 放入第二批探测器进行照射, 照射一定时间的照射后将其取出. 由于大钍室的体积过大利用硅胶和除湿机无法将其降低底到 35% 的湿度水平, 所以在氦实验室的小氦室里放入钍源将小氦室改装成为一个临时的小钍室, 放入探测器进行照射. ^{220}Rn 室内 ^{220}Rn 浓度的监测是利用闪烁室采用流气法监测. 根据渗透方程理论^[5] 及 ^{220}Rn 子体的特性, 所有探测器照射完以后取出, 在自然环境中放置 48 h 进行补偿, 蚀刻液浓度为 6.25 mol/L NaOH , 温度 70°C , 蚀刻时间为 22 h, 采用相同的读方法在光学显微镜下进行测读, 实验结果见表 2

表 2 不同湿度下 ^{220}Rn 浓度测量结果
Table 2 The results of thorium concentration under different humidity

湿度 /%	照射时间 /h	净径迹密度	测量浓度 /($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)	参考浓度 /($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)	标准偏差 /%
30~ 35	40 6	2400 ± 432	23 089	29 368	16 9
40~ 45	41	2080 ± 562	10 700	14 200	20 0
50~ 55	40	1760 ± 325	7 200	13 900	44 9
70~ 75	40 6	417 ± 52	4 015	14 014	78 4
95~ 100	31	712 ± 132	8 974	13 007	26 0

从实验结果可以看出, 湿度效应对 CR - 39SSNTD测 ^{220}Rn 的影响非常大, 当湿度在 75% 时, CR - 39SSNTD 测量 ^{220}R 的探测效率最低, 测量标准偏差达 78 4%. 这是由于 ^{220}R 半衰期较短, 当空气中的湿度增大时, 水分子阻塞膜孔, 影响了 ^{220}R 的扩散速率, 使得探测效率降低. 而当湿度达 90% 以上时, 空气中的水达到饱和状态, 粒子可以在水分子中运移, 从而使得探测效率有所增加. 从实验数据显示湿度为 75% 时, CR - 39径迹片的离散度最小.

3 结论

湿度效应对 CR - 39SSNTD 测量 ^{222}Rn ^{220}Rn 探测效率影响较大, 从实验结果可以看出湿度湿度为 50% 时 CR - 39SSNTD 测量 ^{222}Rn 的探测效率比较好, CR - 39径迹片的离散度较小. 湿度为

75% 时 CR - 39SSNTD 测量 ^{220}Rn 的探测效率只有 28%. 因此, CR - 39SSNTD 测量 ^{222}Rn ^{220}Rn 时在湿度较大的环境应考虑适湿度的影响, 可采取在探测盒内装入适量的干燥剂来解决湿度对测量的影响.

参考文献:

[1] 朱润生. 固体核径迹探测器的原理和应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
[2] 肖德涛. ^{220}Rn 的被动积分测量和剂量估算 [M]. 北京: 原子能出版社, 2002 87.
[3] 谢菊英, 余金夫. ^{220}Rn 浓度调节方法的改进 [J]. 核电子学与探测技术, 2007, 27(3): 592- 593
[4] 刘良军. ^{220}Rn 室中 ^{220}Rn 浓度的调控研究 [J]. 南华大学学报 (自然科学版), 2007, 21(2): 16- 19
[5] 张智慧. 空气中氦及其子体的测量方法 [M]. 北京: 原子能出版社, 1994