

某铀尾矿库氡析出率调查研究

谭至宇 赵越 潘凯 叶凯萱 庞博

南华大学核科学技术学院 湖南 衡阳 421001

摘要: 目的 通过调查地表氡析出率的情况,了解土壤覆盖对尾矿库的治理效果。方法 采用南华大学研制的以 CR-39 固体径迹探片作为探测器电源式多功能快速测氡仪(PIMR-2)测量了尾矿库中四个不同区域的点位的氡析出率。结果 在所测量的 54 个点位中氡析出率的范围为 $0.0911 \sim 3.3951 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,平均值为 $0.4107 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,有个别点位的测量值偏高。结论 在没有考虑气温、气压、湿度及地表温度等因素对氡析出率影响的情况下,获得的氡析出率基本低于国家标准规定的限值,说明覆土对尾矿的治理具有明显的效果;对于偏高的点位应该长期不定期的进行监测,观察变化的趋势。

关键词: 尾矿库; 采样; 静电收集法; 氡析出率

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.06.005

Radon Exhalation Rate Survey In An Uranium Mill Tailing Impoundment. TAN Zhi-yu ZHAO Yue PAN Kai YE Kai-xuan PANG Bo. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001 China.

Corresponding Author: ZHAO Yue, Email: 13407342875@163.com

Abstract: **Objective** To understand the treatment effect of soil covering Mill Tailing Impoundment by the investigation of surface radon exhalation rate. **Methods** The Power multi-function fast radon monitor with CR-39 solid track sheet which designed by USC was used to measure the radon exhalation rate at four different regions in Uranium Mill Tailing Impoundment. **Results** In 54 points the range of radon exhalation rate is $(0.0911 \sim 3.3951) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, with an average of $0.4107 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Radon exhalation rate of some sampling point exceeds to a certain value. **Conclusion** In the absence of considering the effect of temperature, pressure, humidity, surface temperature and other factors on the radon exhalation rate, the radon exhalation rate substantially below the limits specified in the national standard. The testing results show treatment effect of soil covering is good. To some sampling point, radon exhalation rate should be monitored from time to time to observe the change trends.

Key words: Mill Tailing Impoundment; Sampling; Electrostatic Collection Method; Radon Exhalation Rate

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2016)06-0654-03

铀水冶设施退役以后,堆积于尾矿库的大量铀尾矿仍存在一定的放射性危害,其中,最主要的危害因素是 ^{222}Rn 及其一系列衰变子体。 ^{222}Rn 是 ^{226}Ra 的衰变产物,是一种易于扩散的惰性气体^[1]。氡是导致人体肺癌发生的主要因素之一,人类长期居留于低浓度的氡水平空间环境中对身体健康影响更大,并且许多研究表明土壤氡是室内氡(低层建筑)的主要来源之一^[2]。铀尾矿作为核燃料循环所产生的固体污染物之一,具有废物数量多、分布点广、堆积稳定性差、易于造成二次扩散污染、辐射危害影响重大等特点,通常需要进行治理。在我国,铀尾矿退役已有近三十年历史,积累了部分宝贵的经验,其中之一是用黏土覆盖尾矿库,以减少尾矿氡的析出量^[3]。氡析出率是尾矿治理的一个重要

指标,为了调查覆土治理的效果,我们对某退役尾矿的氡析出率进行了研究。

1 氡析出率测量原理

氡析出率研究利用静电收集法,选用仪器为南华大学核科学技术学院研制的电源式多功能快速测氡仪(PIMR-2),采用 CR-39 固体核径迹探测器(SSNTD)作探测器。在施加静电场提高测量灵敏度的测氡方法中,探测效率与测样室的大小和形状密切相关,电源式多功能快速测氡仪的采样室近似为圆柱体,截面直径 188 mm,高 125 mm,由乳白色 ABS 塑料注塑而成,其内表面镀铬,底部加带扩散窗的底盖可用于氡浓度的测量,加上 0.42 mm 铜网则可用于氡析出率的测量^[4]。测氡仪采样室如图 1 示。

将测氡仪采样室于被测介质表面并密封后,采样室

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201410555009)资助。
作者简介: 谭至宇(1995-),男,湖南衡阳人,在读本科生,核工程与核技术专业。
通讯作者: 赵越, Email: 13407342875@163.com

内由介质析出的氡及其子体的活度变化满足如下关系:

$$\begin{cases} \frac{dC}{dt} = qs - (\lambda_\gamma - \lambda_e) C \\ \frac{dC_A}{dt} = (C - C_A) \lambda_A \\ \frac{dC_B}{dt} = (C_A - C_B) \lambda_B \\ \frac{dC_C}{dt} = (C_B - C_C) \lambda_C \end{cases} \quad (1)$$

式中 C 、 C_A 、 C_B 、 C_C 为氡及其子体 A 、 B 、 C 的活度 (Bq) λ_γ 、 λ_A 、 λ_B 、 λ_C 为氡及其子体的衰变常数 (s^{-1}) , λ_e 是由反扩散和泄露确定的常数 (s^{-1}) q 为氡的析出率 ($Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) s 为倍密封介质的表面积 (m^2)。

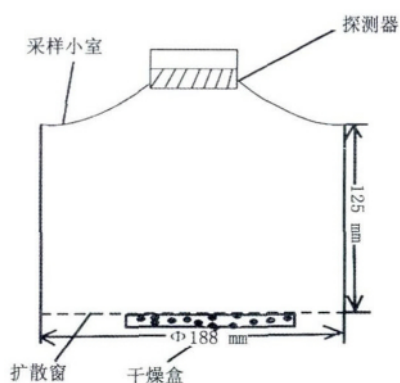


图1 测氡仪采样室示意图

随采样室内氡水平升高,氡向被测介质的反扩散将使采样室内氡浓度上升速度减缓,反扩散系数 λ_R 为:

$$\lambda_R = \frac{qs}{V \cdot C_M} \quad (2)$$

在多孔介质表面上测量时,测量室内的氡还通过介质近表面的孔隙向外泄露,泄露速率常数 λ_a 与反扩散系数成正比,则反扩散和泄露系数 λ_e 为:

$$\lambda_e = \lambda_R + \lambda_a = (1 + \beta) \frac{qs}{V \cdot C_M} \quad (3)$$

式中: β 为由材料孔隙度及其连通程度决定的常数。采用 CR-39 作为氡探测器,若 CR-39 上的径迹密度为 T (cm^{-2}) ,采样周期为 t (s) ,探测器的效率刻度因子为 R 时,氡析出率计算公式为:

$$q = \frac{2VT}{Rst^2} \quad (4)$$

径迹密度 T 可以通过读取蚀刻后径迹数得到,效率刻度因子 R 可以通过对探测器效率刻度获得。

2 研究方案及仪器

2.1 采样点的设计 尾矿于 1963 年建成位于典型南方丘陵地形的剥蚀堆积延伸凹地内,三十年来,经过不

断地更新改造,已发展成为占地约 170 万 m^2 ,由 9 个坝段与 3 个丘陵山头围拦而成的“平地型”尾矿库。为了使研究具有代表性,选取了四个不同特点的区域进行布点采样,尾矿中心区域集中大面积布点,在该区域将近 10 000 m^2 的范围内布设 22 个采样点位;在东南部尾矿边缘区域 2000 m^2 范围内和附近居民区 6000 m^2 范围内分别布设 11 和 13 个采样点位;在西部的丘陵区域 2000 m^2 范围内布设 8 个监测点位。布点均采用 10 m × 10 m 网格布设,共布设监测点位 54 个。

2.2 取样时间设计 氡析出率在一天 24 h 中不断发生变化,有研究表明白天氡析出率高,夜间氡析出率低,且上午 8 ~ 10 时测量结果可代表日平均值^[1]。因此,进行氡析出率测量每天取样时间段为上午 8 ~ 10 时,每个采样点取样时间为 1 h;取样尽量选在天气晴朗,土壤含水量相对较低的天气进行。

2.3 测量分析中仪器设备及材料 本次氡析出率研究采用的是静电收集法,从采样到得出氡析出率必须经过采样、径迹片刻蚀、显微镜读取径迹数再换算得到氡析出率的过程,整个过程中要用到较多的仪器设备及相应的材料。具体设备情况如表 1:

表1 实验仪器、试剂

序号	仪器、试剂名称	仪器、试剂用途
1	PIMR-2 电源式多功能快速测氡仪 ¹⁾	测量氡析出率
2	CR-39 固体核径迹 SSNTD 探测器	探测 α 粒子
3	6V 蓄电池直流电源	测氡仪提供电源
4	塑料薄膜(两种厚度)	密封采样室,固定径迹片
5	恒温水箱	提供 70 °C 恒温水浴
6	分析天平(精度为 0.01g)	称量 NaOH 固体质量
7	刻蚀槽	放置径迹片刻蚀
8	6.25mol/L 的 NaOH 溶液	刻蚀液
9	烧杯、玻璃棒、容量瓶等	制备 NaOH 溶液
10	小铲子	覆盖土壤密封采样室
11	显微镜	读取 α 粒子形成的径迹数

注:1) 南华大学研制。

3 结果及分析

3.1 效率刻度因子 效率刻度因子 R 是单位暴露量产生的径迹密度,是衡量灵敏度高低的主要指标。按照与采样一致的条件将探测器组装好,将由南华大学氡实验室产生的指定量的氡连续送入采样室内,经过一段时间后将径迹片取下;将径迹片在规定的条件进行刻蚀、读取径迹的数量,经过转换就得到探测器的效率刻度因子。本次所用径迹片的刻度因子为 2.7 $cm^{-2} Bq^{-1} m^3 h^{-1}$ 。

3.2 尾矿库各区域氡析出率 氡析出率研究中选取了尾矿库四个具有代表性的区域进行了布点采样,共

计布设点位 54 个,收集有效样品 54 个。各区域氡析出率情况见表 2。

表 2 各区域氡析出率情况

序号	区域	样品数	氡析出率范围($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	平均值($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	一工区	22	0.0911 ~ 2.235	0.4863
2	二工区跃进一号	13	0.1352 ~ 3.3951	0.5107
3	二工区	8	0.2035 ~ 0.7644	0.3927
4	四工区	11	0.1141 ~ 0.7199	0.2530

从表中数据发现,三个区域中有采样点氡析出率的数据超过了国家标准 EJ/T 977-95《铀矿地质辐射环境影响评价要求》规定的地表氡析出率不得超过

$0.74 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的限值^[5]。每个采样点氡析出率与国家标准规定限值的对照如图 2:

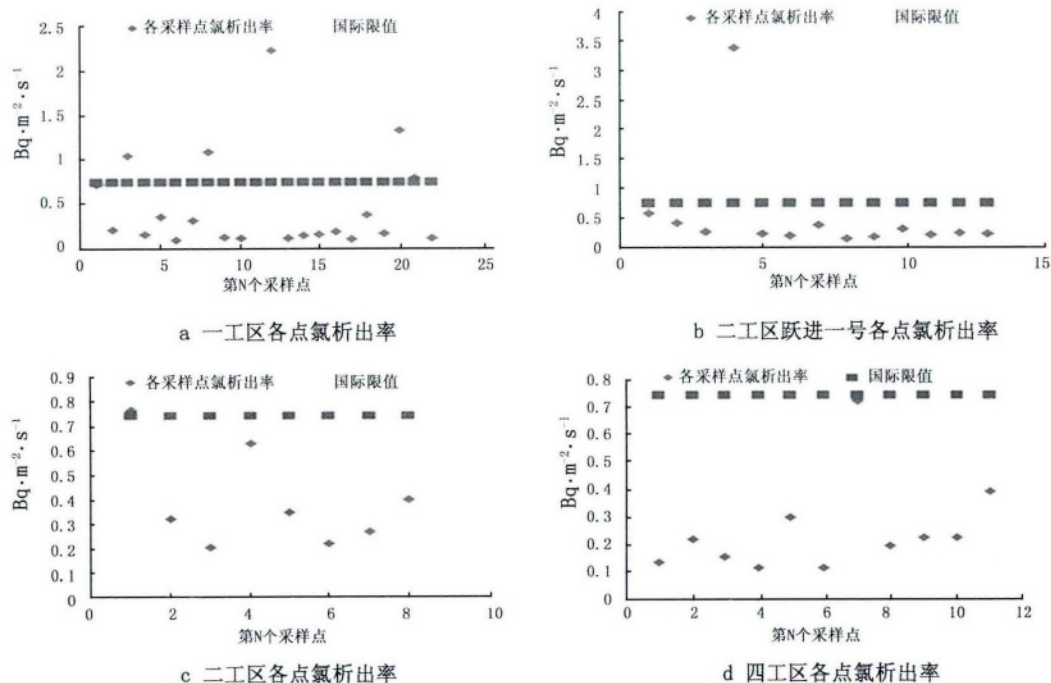


图 2 采样点氡析出率与国标限值对照图

从图中发现,布设的 54 个采样点氡析出率的整体水平较低,但也存在一些问题其中有 5 个点位的氡析出率偏高超出了国家标准定的限值,4 个点位氡析出率临近限值;偏高点位主要分布在铀尾矿中心区域的一工区。数据同时也显示,该尾矿库覆土法治理取得了较好的效果,达到了治理的目的。

4 小结

采用静电收集法对某尾矿库氡析出率进行了调查分析,得到了氡析出率的相关结果。研究过程中采用相对法得到实验结果,分析中没有考虑括气温、气压、湿度及地表温度等因素对氡析出率的影响,没有对结果做相关的修正。调查结果中有个别点位氡析出率的数据偏高,应该不定期的对这些点位进行跟踪

测量分析;结果可以为尾矿氡析出率长期监测和有针对性的治理工作提供参考。

参考文献

- [1] 董成兰. 铀尾矿库退役治理有关氡析出率问题的探讨[J]. 铀矿冶, 2001, 20(2): 93-102.
- [2] 申超, 肖德涛, 陈凌, 等. 土壤氡测量方法[J]. 衡阳师范学院学报, 2011, 32(3): 45-48.
- [3] 谢腾飞, 李君利, 王玲. 铀尾矿库覆盖降氡黏土参数优化[J]. 辐射防护, 2013, 33(4): 243-248.
- [4] 田志恒, 左富琪, 肖德涛, 等. 测量氡析出率的驻极体收集法[J]. 核电子学与探测技术, 1992, 12(1): 17-22.
- [5] 中国核工业总公司. EJ/T977-95 铀矿地质辐射环境影响评价要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.

收稿日期: 2016-05-15 修回日期: 2016-07-27