

·论著·

阳江高本底辐射地区环境中氡及其子体的测量

袁镛龄 森岛弥重¹ 沈泓 古贺妙子¹ 魏履新² 管原努³

(湖南省劳动卫生职业病防治研究所,长沙 410007)

中图分类号: R145; X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2000)01-001-03

摘要: 测量了高本底辐射地区(HBRA)和相邻的“正常”本底地区(CA)空气中氡及其它们的子体浓度和氡的平衡因子 F。HBRA 室内、外空气中平均氡浓度分别为 42.6 和 17.3 Bq/m³, CA 分别为 13.2 和 11.7 Bq/m³。HBRA 室内、外氡子体 α 潜能值分别是 0.109 和 0.05 μJ/m³, CA 室内、外分别是 0.045 和 0.041 μJ/m³。氡子体 α 潜能浓度 HBRA 室内、外分别是 0.249 和 0.053 μJ/m³, CA 分别是 0.051 和 0.025 μJ/m³。HBRA 室内、外氡的平衡因子 F 分别是 0.46 和 0.53, CA 分别是 0.62 和 0.64。

关键词: 氡浓度; α 潜能值; 平衡因子 F

Measurement of ²²²Rn, ²²⁰Rn and their decay products in high background radiation area in Yangjiang. YUAN Yongling et al. (Hunan Provincial Research Institute for Labour Health and Occupational Diseases Changsha 410007)

Abstract: The investigators have measured concentrations of Rn-222, Rn-220 and their decay products in high background radiation area(HBRA) and the neighboring control area(CA), as well as the equilibrium factor F for Rn-222. The average concentrations of Rn-222 in the air indoors and outdoors in the HBRA are 42.6 and 17.3 Bq/m³ respectively, and CA, 13.2 and 11.7 Bq/m³, respectively. The average α-potential energy concentrations for daughters of Rn-222 indoors and outdoors in HBRA are 0.109 and 0.05 μJ/m³, CA, 0.045 and 0.041 μJ/m³, respectively. The average α-potential energy values for daughters of Rn-220 indoor and outdoor in HBRA are 0.249 and 0.053 μJ/m³, CA, 0.051 and 0.025 μJ/m³, respectively. With regard to equilibrium factor F for Rn-222, we have also measured 52 points of 10 hamlets in HBRA (indoor 31, outdoor 21), 9 points of 2 hamlets in CA (indoor 5, outdoor 4), respectively. These figures are 0.46, 0.53, 0.62 and 0.64, respectively.

Key words: concentrations of ²²²Rn, ²²⁰Rn; α-potential energy value; equilibrium factor F for ²²²Rn.

²²²Rn、²²⁰Rn 分别由镭的核素 ²²⁶Ra 和 ²²⁴Ra 衰变生成。因为它们产生于自然界,因此,人们不可避免地经常受到 ²²²Rn、²²⁰Rn 及其子体的照射。许多研究已证明:吸入过量的氡子体,可使肺癌发病率增加。人类接受的天然辐射源引起的世界人均年有效剂量约为 2.4 mSv,其中 1.1 mSv 是由天然外照射造成的,而 1.3 mSv 是由氡和它的子体的照射引起的^[1]。而美国的一些研究资料表明,一般公众接受更高的来自氡及其子体的辐射剂量^[2],因而,²²²Rn、²²⁰Rn 及其子体的浓度以及其对人的健康影响已愈来愈引起人们的关注。阳江高本底辐射地区(HBRA)的氡及其子体所致居民的有效剂量,大大高于“正常”天然本底地区居民所接受的剂量^[3]。因此,环境空气中氡及其子体浓度的测量是剂量调查中不可缺少的一项内容。

1 调查内容

由于生活在高本底辐射地区的居民必将吸入和摄入 α 辐射的放射性同位素,因此在内照射剂量方面应进行更多的研究,估算居民的内照射剂量。假若这些剂量足以引起健康效应,将对分析某些相关的癌的

危险是很有用的(肺癌、白血病、鼻咽癌)。对于研究确定效应还是不确定效应将是很重要的依据。

中、日合作前,高本底辐射研究组(HBRRG)曾根据氡及其它们的子体,土壤、食品、饮用水,人牙和一些人体组织及胎盘中的天然放射性核素的测量结果,估算了居民内照射剂量。由于这些调查在 15 到 20 年前进行的,目前测量方法已有很大改进,特别是在累积氡和子体方面的测量方法上的改进。因此,我们需要用新的资料进行重新估算。

在合作研究的第二阶段期间,在内照射剂量估算方面做了以下四方面的工作:①氡浓度的累积测量;②氡的平衡因子 F 和子体的 α 潜能浓度;③在氡浓度测量处的 γ 外照射辐射水平;④对于病例对照研究的特殊测量。这次调查的目的是为了估算氡及其它们的子体所致居民的年有效剂量和各个器官的年吸收剂量。表 1 详细地描述了现场测量的四个方面内容。

2 测量方法

为了能测得氡的平衡因子 F,用双滤膜法测量瞬时氡^[4],与此同时,用托马斯的三段法测量氡子体^[5]。用五段法测量子体。根据下列公式可计算出氡子体的 α 潜能浓度。

$$C_p(\text{Rn}) = 5.79C(\text{RaA}) + 28.6C(\text{RaB}) + 21.0C(\text{RaC})$$

1. 日本近畿大学原子力研究所, 2. 卫生部工业卫生实验所, 3. 日本体质研究会

作者简介:袁镛龄(1940~),男,研究员,主要从事放射剂量与防护研究。

$$C_p(\text{Th}) = 69.06C(\text{ThB}) + 6.55C(\text{ThC})$$

式中:

$C_p(\text{Rn})$ 为氡子体的 α 潜能值 $10^{-4}\mu\text{J}/\text{m}^3$

$C_p(\text{Th})$ 为 ^{232}Th 子体的 α 潜能值 $10^{-4}\mu\text{J}/\text{m}^3$

$C(\text{RaA}), C(\text{RaB}), C(\text{RaC}), C(\text{ThB})$ 和 $C(\text{ThC})$ 分别为空气中 $^{218}\text{Po}, ^{214}\text{Pb}, ^{214}\text{Bi}, ^{212}\text{Pb}$ 和 ^{212}Bi 的放射性浓度。

单位为 Bq/m^3

氡的平衡因子 F 可用下式计算

$$F = 181C_p/C$$

式中:

C_p 为氡子体 α 潜能浓度 $\mu\text{J}/\text{m}^3$

C 为氡浓度 Bq/m^3

表 1 氡、 ^{222}Rn 及其子体和相关的 γ 外照射辐射水平

测量	方法	说明
1. 氡、 ^{222}Rn 浓度的累积测量	径迹蚀刻法	测量从 1997 年 9 月开始, 调查时间为 1 年, 每 3 个月更换探测片。
2. 氡平衡因子 F ^{222}Rn 的 α 潜能值	氡及其子体同时瞬时取样。 ^{222}Rn 子体瞬时取样。	现场目前还不能用瞬时取样准确测得 ^{222}Rn 浓度。
3. γ 外照射辐射	用 TCS-166 辐射仪测量剂量率, TLD 测量累积剂量	累积剂量仅测量氡、 ^{222}Rn 探测器布放处。剂量率测量所有氡探测器处, 氡和子体采样处, 测量 γ 外照射辐射水平。
4. 对于病例对照研究的特殊测量, 累积氡测量从 1997 年 12 月到 1998 年 4 月	α 径迹探测器	仅布放用于肺癌和所有病例对照的患者生活环境。

氡、 ^{222}Rn 浓度的累积测量采用 $\text{Rn}-\text{Th}$ 杯监测器^[6]。对于肺癌病例对照研究的所有病例累积氡的测量, 采用 α 径迹探测器。由于高本底辐射地区空气中 ^{222}Rn 及其子体的浓度大大高于“正常”天然本底地区^[3]。因此, 在测量中必须注意 ^{222}Rn 对 α 径迹探测器测氡的影响, 否则将会过高地估计了氡浓度。 α 径迹探测器的滤膜必须具备: ①能有效地阻挡住氡、 ^{222}Rn 的子体②对氡的渗透率尽可能大, 对 ^{222}Rn 的渗透率应尽可能小, 以达到两者的分离。

3 采样和选点

选点时主要考虑了地表 γ 射线外照射辐射水平^[7], 不同类型建筑材料和结构的房屋, 居民人数和均匀布点的原则, 氡、 ^{222}Rn 累积测量选点列于表 2。

表 2 氡、 ^{222}Rn 测量点的选择

类别	选点原则	测点数
村庄	根据 γ 外照射辐射水平 (依据剂量分组)	8
家庭	每个村庄 6 户家庭	$8 \times 6 = 48$
测量点 (室内)	每个家庭 2 个点 (卧室和厅)	$8 \times 6 \times 2 = 96$
室外	每个村庄 5 个点 (巷道、院子、道路、稻田和旱地)	40
总共测量点		136

探测器通常布放在靠近墙壁的家具上或直接吊挂在墙壁上, 离墙的距离在 5~30cm 之间。已有资料表明: 氡浓度在室内分布是不均匀的, 靠近地面和墙壁的浓度较高。而 ^{222}Rn 及其子体浓度分布的不均匀性更大。根据日本的一些研究者对日本的一些传统的木加泥浆结构房屋调查结果表明, 离墙壁 8cm 和 80cm 处的 ^{222}Rn 浓度

的比值, 在 6~8 月时约为 8.4, 在 1~3 月时为 7.7^[8]。为此, 我们在高本底辐射地区选择当地三种不同建筑材料类型的房屋, 在离墙不同距离和距地面不同高度布放了探测器。将会得到高本底辐射地区室内氡、 ^{222}Rn 浓度的变化资料, 对正确估算氡、 ^{222}Rn 及其子体所致居民剂量会很有用的。

氡平衡因子 F 测量, 在 HBRA 选 10 个村庄, 对照地区 (CA) 选 2 个村庄。每个村庄室内选三户住房的卧室中; 室外选村口空旷处和巷道内。

本次调查取样时间为北京时间上午 8:00 左右开始, 现场调查时间为 1997 年 11 月。室内取样时的门窗启闭情况依照当地居民生活习惯。采样时, 一般门窗均已开启。取样高度为人的呼吸带高度, 离地面约 1.2 米高。在采样的同时, 测量并记录气温, 气压等气象参数。

调查资料表明: 室外氡平衡因子 F 值的变化和氡的变化趋势是一致的, 秋、冬季偏高, 春、夏季较低。室内 F 值季节变化不明显。平衡因子 F 昼夜变化, 最大值出现在凌晨与氡变化规律相吻合。测得的氡平衡因子 F , 其结果与全年平均值相比较, 可能有轻微的偏高。

表 3 瞬时取样氡浓度

取样地点	取样数	氡浓度 (Bq/m^3)	
		$\bar{x} \pm s$	范围
HBRA			
室内	31	$42.6 \pm 27.7 (31.8)^*$	9.7~15.2
室外	21	$17.3 \pm 12.4 (16.4)$	5.5~6.5
CA			
室内	5	$13.2 \pm 1.58 (11.1)$	15.5~11.7
室外	4	$11.7 \pm 0.63 (11.2)$	12.4~11.0

* 括号中数值为中、日合作前测量结果^[3]。

4 测量结果与讨论

由于氡、²²²Rn 累积测量的现场调查工作还未结束。现仅报告氡的平衡因子 F, 瞬时取样测氡的浓度和氡、²²²Rn 子体 α 潜能浓度, 它们的测量结果分别列于表 3~5。

表 4 氡、²²²Rn 子体 α 潜能浓度 ($\bar{x} \pm s$)

取样地点	取样数	α 子体浓度($\mu\text{J}/\text{m}^3$)	
		氡	²²² Rn
HBRA			
室内	31	0.109±0.097(0.100)*	0.249±0.264(0.255)
室外	21	0.051±0.041(0.097)	0.053±0.031(0.058)
CA			
室内	5	0.045±0.007(0.038)	0.051±0.033(0.069)
室外	4	0.041±0.004(0.044)	0.025±0.001(0.020)

* 括号中数值为中、日合作前测量结果^[3]。

表 5 氡的平衡因子 F 值

取样地点	取样数	$\bar{x} \pm s$	范围
HBRA			
室内	31	0.463±0.159	0.187~0.806
室外	21	0.534±0.176	0.268~0.782
CA			
室内	5	0.617±0.048	0.548~0.598
室外	4	0.634±0.146	0.497~0.845

40Bq/m³, 大陆地区的室外平均为 10Bq/m³, 而沿海地区则略低一些。由此可知: HBRA 的室内、外平均氡浓度略高于世界平均值。HBRA 室内、外氡子体 α 潜能值分别是 0.109 和 0.051 $\mu\text{J}/\text{m}^3$, CA 室内、外分别是 0.045 和 0.041 $\mu\text{J}/\text{m}^3$ 。氡子体 α 潜能浓度 HBRA 室内、外分别是 0.249 和 0.053 $\mu\text{J}/\text{m}^3$, CA 室内、外分别是 0.051 和 0.025 $\mu\text{J}/\text{m}^3$ 。表 4 中结果表明, HBRA 室内、外氡子体 α 潜能浓度均高于 CA 的平均值, 特别是 HBRA 室内氡子体 α 潜能值约是 CA 的 5 倍。这次调查的结果, 与中日合作前高本底辐射研究组所调查的结果比较一致。氡和它的子体致高本底地区居民的有效剂量是一个非常重要的组成部分。

UNSCEAR 1993 年报告推荐的氡平衡因子 F, 世界平均值室内、外分别是 0.4 和 0.8。这次调查, 在 HBRA 选了 10 个村庄, 52 个测量点, CA 是 2 个村庄, 9 个测量点, 表 5 结果表明, HBRA 室内、外氡平衡因子 F 分别是 0.46 和 0.53, CA 分别是 0.62 和 0.64。HBRA 和 CA 的室内氡平衡因子 F 略高于世界平均值, 而室外低于世界平均值。但它们均属于正常分布范围内。

由图 1 和图 2 显示, 调查地区室内、外氡的平衡因子 F 的频率分布趋向于“正态分布”。

参考文献:

- [1] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation[R]. UN, New York, 1993.
- [2] NCRP. Ionizing radiation exposure of the United States[R]. NCRP Report I. Washington, DC 1987.
- [3] Yuan Y L. Radiation doses to population research in Yangjiang China. Chapter 2 Chief Wei Luxin. Beijing: Atomic Energy Press 1996.
- [4] Thomas JW, Leclare PC. A study of two-filter method for radon-222[J]. Health Phys 1970; 18: 113.
- [5] Thomas JW. Measurement of radon daughters in air[J]. Health Phys 1972; 23: 783.
- [6] Doi M, Fujimoto K, Kobayashi S, et al. Spatial distribution of thoron and radon concentrations in the ambient air of a traditional Japanese wooden house[J]. Health Phys 1994; 66(1): 43.
- [7] Yuan Y L, Morishima H, Shen H, et al. Recent advances of dosimetry investigation in the high background radiation area in Yangjiang[C]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V. 1997; 223-233.
- [8] Doi M, Kobayashi S. Characterization of Japanese wooden house with enhanced radon and thoron concentrations[J]. Health Phys 1994; 66(3): 274.

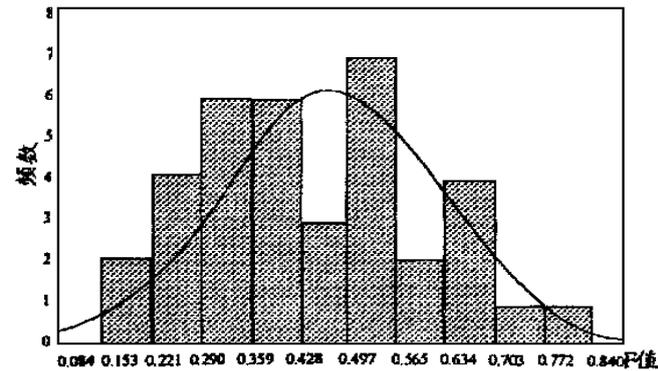


图 1 调查地区室内氡平衡因子 F 的频率分布

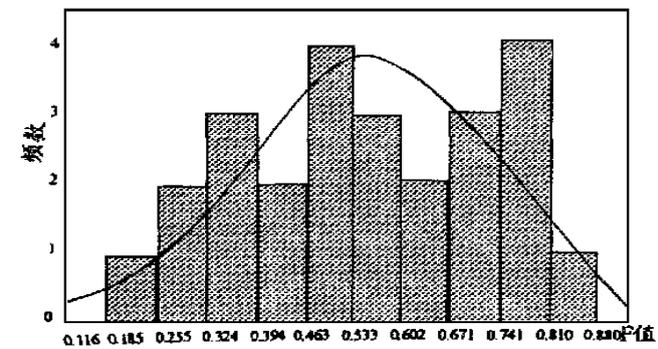


图 2 调查地区室外氡平衡因子 F 的频率分布

表 3 结果显示: HBRA 室内、外空气中平均氡浓度分别为 42.6 和 17.3Bq/m³, CA 分别为 13.2 和 11.7Bq/m³。两地区之比, 室内为 3.2:1.0, 室外为 1.5:1.0。据文献报道^[1], 全世界人口加权平均的室内氡浓度为

收稿日期: 1999-07-01