

阳江高本底地区室内空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体水平的一些调查和分析*

陈波** 郭秋菊

(北京大学物理学院技术物理系, 100871)

孙全富

邹剑明

(中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所, 北京, 100088)

(广东省职业病防治研究院, 广州, 510300)

摘要 本文主要介绍了 2004 年 3 月在广东省阳江市高本底辐射地区采用固体径迹法累积测量室内空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体水平的结果。高本底地区调查了 5 个自然村, 对照地区 1 个自然村, 有效测量点数共计 64 个点, 其中高本底地区 55 个, 对照地区 9 个。高本底地区 26 处土房室内空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体平衡当量浓度平均值分别为 57.1 Bq m⁻³和 12.6 Bq m⁻³, 29 处砖房室内空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体平衡当量浓度平均值分别为 41.8 Bq m⁻³和 4.7 Bq m⁻³。同时, 还对²²²Rn、²²⁰Rn 析出率及室内²²²Rn、²²⁰Rn 浓度进行了测量。从调查结果看出, 房间通风条件对室内²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度有明显的影 响, 对²²⁰Rn 子体浓度的影响尤为显著, 对²²²Rn 子体浓度的影响相对较小。

关键词 ²²⁰Rn 子体 ²²²Rn 子体 测量 高本底辐射地区 阳江

1 前言

根据联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 2000 年报告^[1], 在人类受到的天然辐射源照射中, ²²²Rn、²²⁰Rn 及其子体的剂量贡献约占天然辐射源总剂量的 50%, 故对于²²²Rn、²²⁰Rn 及其子体水平的可靠测量和正确评价是准确估算公众剂量的基础。以往的调查资料表明^[2,3]: 阳江高本底地区属于丘陵地带, 地质上属火成岩, 土壤中²³²Th 含量较高 (总平均值为 206 ± 92 Bq · kg⁻¹), 是该地区天然放射性水平较高的主要原因。自 1972 年起, 诸多部门已经在阳江高本底地区进行了规模不等的调查, 结果表明, 该高本底辐射地区环境空气中²²²Rn、²²⁰Rn 及其子体浓度水平高于对照地区 and 我国平均值。但由于测量条件的客观限制, 前人对子体的测量多是大流量瞬时采样测量, 同

时, 与²²²Rn、²²⁰Rn 浓度测量相比, 子体的测量数据非常有限。

随着人们对²²⁰Rn 及其子体在环境空气中浓度水平、空间分布特点及其所致剂量水平认识的深入, 有关研究日益增多, 测量方法也不断进步, 出现了可应用于小规模调查的²²²Rn、²²⁰Rn 子体 24 小时累积测量方法。鉴于室内²²⁰Rn 子体浓度受诸多环境等因素影响而时时变化, 一般认为累积测量更具有代表性。同时, 考虑到²²⁰Rn 与其子体的空间分布特点不同, 以评价公众剂量为目的的调查应直接对子体进行测量^[4]。为此, 我们使用²²²Rn、²²⁰Rn 子体累积探测器于 2004 年 3 月在阳江高本底地区进行了环境空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度的小规模调查。本文简要介绍这次调查的结果。

* 国家自然科学基金资助项目 (10475006)。

** 第一作者简介: 陈波, 男, 1982 年出生, 2004 年 7 月毕业于北京大学物理学院, 现为该校在读硕士生。

2 测量仪器和方法

2.1 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体的累积测量方法

我们使用由日本名古屋大学开发,北京大学改进并制造的 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体累积测量仪。此测量仪以固体径迹片 CR-39 为探测元件,使用小型静音泵进行连续的滤膜采集,累积采样 24 小时。采样结束后放置 3 天,待滤膜上所有短寿命子体衰变后取出 CR-39。在实验室将 CR-39 在 NaOH 溶液中蚀刻后,在显微镜下读数,通过径迹密度计算 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体的平衡当量浓度 EEC_{Rn} 和 EEC_{Tn} 。在累积时间为 24 小时,流量为 0.8 L/min 时, EEC_{Tn} 和 EEC_{Rn} 的探测下限分别为 $0.57 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $0.07 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。对测量仪器、原理和计算 EEC_{Rn} 、 EEC_{Tn} 的方法的较详细介绍参见文献 [5]。

为了保证测量结果的质量,我们于 2001 年 7 月和 2004 年 1 月先后两次在南华大学国家氡实验室(湖南衡阳)对 ^{222}Rn 子体测量仪进行了刻度。

2.2 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 浓度和析出率的测量

我们使用 ERS-2 (Electrostatic Radon Sampler, TRACERLAB GmbH 公司,德国)型静电收集式氡采样器对 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 浓度和析出率进行了测量。这是集衰变计数室、PIPS 探测器、256 道谱仪和微机控制系统于一身的静电式氡、 ^{222}Rn 采样器,是该公司系列测氡仪器中主要为测量土壤或建材表面氡、 ^{222}Rn 析出率而设计的仪器,同时也具有测量氡、 ^{222}Rn 浓度的功能。仪器自带流量为 10~75 L/h 的采样抽气泵,可连续测量 ^{222}Rn 或 ^{220}Rn 浓度。用于析出率测量时,只需把底部密封盖去掉,仪器放置在待测表面即可。

为保证测量结果的质量,这台仪器于 2004 年 1 月在南华大学国家氡实验室只进行了氡浓度的刻度。

3 测量结果与分析

3.1 室内空气中 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体浓度测量

2004 年 3 月上旬,在广东省阳江市高本底地区及恩平对照地区,使用 ^{222}Rn / ^{220}Rn 子体累积探测器进行了小规模测量。高本底地区调查了 5 个自然村,对照地区 1 个自然村。有效测量点数共计 64 个,其中高本底地区占 55 个,测量点包括了阳西的桐油地区和阳东的东岸岭区,另外在恩平对照地区布设测量点 9 处。测量点的选择考虑了当地农村典型的房屋结构(绝大多数为平房)和建筑材料,还考虑了天然辐射外照射剂量水平和房间通风状况等因素。测量期间为当地典型的春季气候:日最高气温 18~23℃、日最低气温 9~13℃;日最高相对湿度 65%~90%、日最低相对湿度 35%~60%,风力 1~2 级。

测量结果列于表 1。从表 1 可以看出,高本底地区(HBRA)室内 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体平衡当量浓度(EEC_{Rn} 、 EEC_{Tn})均较高,其中 26 处土房平均值分别为 $57.1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $12.6 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$; 29 处砖房室内平均值分别为 $41.8 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $4.7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。此结果表明,土房室内 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体平衡当量浓度高于砖房室内浓度,特别是 ^{220}Rn 子体浓度,土房内的约为砖房的 2.7 倍。分析其原因,除通风条件外,可能主要是砖房建筑材料比土房更加致密,影响了 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 从材料表面的析出,而这种影响对于半衰期很短的 ^{220}Rn 更加明显,进而导致了 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体浓度的这种差异。测量结果还显示了 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体浓度的分布范围较大,不同地区、不同建筑材料和建筑结构、不同通风状况下浓度差异很大。

对照地区仅在一个自然村进行了测量,所选的 9 间房屋全部为泥砂灌注的干打垒结构。

表 1 高本底地区与对照地区室内²²²Rn、²²⁰Rn 子体的平衡当量浓度

Tab. 1 Indoor EEC_{Tn} and EEC_{Rn} in HBRA and Control Area

测量地点	测量点数	$EEC_{Rn}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			$EEC_{Tn}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$		
		范围	平均值	标准差	范围	平均值	标准差
高本底地区							
土房	26	1.18 ~ 128.2	57.1	33.3	1.24 ~ 37.0	12.6	9.5
砖房	29	3.55 ~ 88.8	41.8	26.0	0.56 ~ 29.6	4.7	5.5
对照地区 ¹⁾	9	2.80 ~ 124.1	39.2	33.6	0.51 ~ 3.92	2.2	1.3

1) 对照地区大部分测量点选取了当地典型的泥沙灌注的干打垒建筑。

3.2 通风状况对室内空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度的影响

根据当地建筑的特点,我们将所调查的房屋按通风状况分为通风好的大厅(其中包括四面有墙的天井、一面没有墙的门厅)、通风较好的房间(主要是门窗常开的卧室)、通风较差的房间(主要是较封闭的卧室和储物间),进而对于不同通风状况下房屋的²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度进行比较,分析结果如图 1 所示。

从图 1 可以看到,通风条件对室内²²²Rn、²²⁰Rn子体浓度有明显的影响,其中通风状况对²²⁰Rn子体浓度影响尤为显著,对²²²Rn子体浓度影响相对较小。以砖房为例,通风较差的房间室内²²⁰Rn子体浓度约为通风较好的房间的 2.9 倍,而通风较差的房间室内²²²Rn子体浓度约为通风较好的房间的 1.2 倍。这或许可以从高本底地区室内外²²²Rn子体浓度差远小于室内外²²⁰Rn子体浓度差的现象(见文献[3]表 4)

中得到解释。这一现象在以前的调查中也发现过^[2,3]。

3.3 室内空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度与室外辐射水平的相关性分析

根据以前测得的室外辐射水平结果,我们以自然村为单位,比较了各自然村室内²²²Rn、²²⁰Rn子体平衡当量浓度平均值与室外辐射水平的关系,结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,室内²²²Rn、²²⁰Rn子体水平与室外辐射水平有较好的正相关性趋势,室外辐射水平高的村庄,室内²²²Rn、²²⁰Rn子体的浓度也相对较高。可以看出村庄之间²²²Rn、²²⁰Rn子体浓度差距较大,个别村庄室内²²⁰Rn子体浓度很高,这与自然村的房屋结构、建材类型及建材的取材地点等因素有关。目前仅是对各村子体浓度平均值与室外辐射水平相关性的粗略分析,如果具体到某家或某个房间,又会因房屋结构、建材类型及通风状况等而不同。

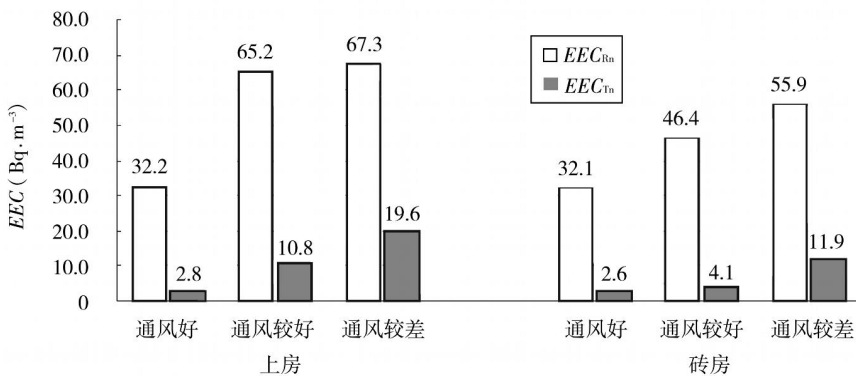


图 1 不同通风状况下土房和砖房室内²²²Rn、²²⁰Rn 子体平衡当量浓度

Fig. 1 EEC_{Rn}/EEC_{Tn} under different conditions of air ventilation

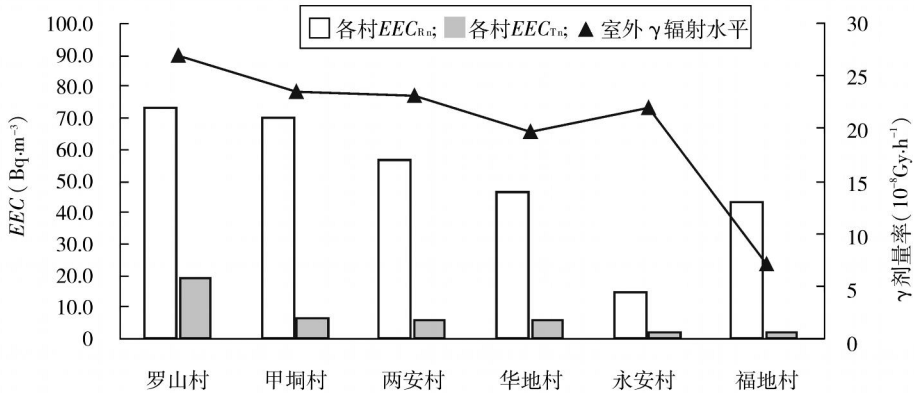


图 2 室内²²²Rn、²²⁰Rn子体平衡当量浓度与室外 辐射水平

Fig. 2 Indoor EEC_{Tn} / EEC_{Rn} and outdoor natural γ -radiation levels

值得一提的是处于高本底地区的永安村,虽然个别土房内²²⁰Rn子体水平及土墙表面析出率很高,由于该村经济条件较好,较多家庭使用瓷砖、涂料等进行了室内装修,使得该村室内²²²Rn、²²⁰Rn子体平均水平明显地低于高本底地区的其他村庄。可以预见,随着经济条件和生活水平的提高,室内²²²Rn、²²⁰Rn子体导致的照射会发生变化。

3.4 土壤及建材表面²²²Rn、²²⁰Rn析出率的测量

使用 ERS-2 型静电收集式氡采样器测量了部分房间墙壁表面和室外路面及农田土壤表面

的²²²Rn、²²⁰Rn析出率,结果列于表 2。由表 2 可见,农田土壤表面及土墙表面的²²⁰Rn析出率很高,这是室内较高²²⁰Rn子体浓度的直接来源,也是高本底地区²²⁰Rn及其子体的剂量贡献不容忽视的佐证。同时还可以看出土墙表面的²²⁰Rn析出率远高于砖墙表面的析出率。这是对土房室内²²⁰Rn子体水平远高于砖房室内²²⁰Rn子体水平的直接说明。表 2 中华地村的测量结果说明了在同一自然村,使用不同建材的房屋其室内墙壁²²²Rn、²²⁰Rn析出率的差别,土墙表面的²²²Rn、²²⁰Rn析出率远高于砖墙表面。

表 2 高本底地区²²²Rn和²²⁰Rn析出率测量结果¹⁾

Tab. 2 Exhalation rates of Rn and Tn in HBRA

测量地点	²²² Rn析出率[mBq/(m ² s)]	²²⁰ Rn析出率[mBq/(m ² s)]
室外土地表面	阳东永安(砂土路)	5.65
	阳西罗山(农田)	49.4
土墙表面	阳东永安	22.5
	阳东华地(裸露土墙)	42.9
	阳西罗山	27.5
砖墙(地)表面	阳东两安(红砖地面)	26.4
	阳东两安(青砖墙面)	17.0
	阳东华地(石灰饰面)	11.1

1) 测点数均为 1。

3.5 室内²²²Rn、²²⁰Rn浓度测量

在五个自然村各选一个房间,使用 ERS-2 型静电收集式氡采样器连续测量室内²²²Rn、

²²⁰Rn浓度,每小时给出 1 个读数,得到各测量条件下相应测量时间内的平均值,结果列于表 3。

表 3 五处室内²²²Rn、²²⁰Rn 浓度连续测量结果Tab. 3 Continuing measuring results of ²²²Rn、²²⁰Rn concentrations in 5 rooms

测量地点	测量条件	测量时间	²²² Rn 浓度(Bq/m ³)		²²⁰ Rn 浓度(Bq/m ³)	
			平均值	标准差	平均值	标准差
阳东永安	2面砖墙、1面土墙,水泥地面,客厅,通风较好,仪器放置在50cm高小桌上;仪器距离土墙约5cm	3月2日17:00~ 3月3日5:00	152	4	100	6
阳东两安	砖房卧室,通风差,水泥地,裸露砖墙壁,仪器离墙面和地面均为5cm	3月3日17:00~ 3月5日10:00	284	3	267	6
阳东华地	土房卧室,通风差,土质地面,仪器离地面10cm,放置在房间中央	3月5日13:00~ 3月6日9:00	412	5	403	9
阳西罗山	土房储物间,通风差,水泥地,墙壁白灰饰面。仪器离地面5cm,在房间中央	3月7日18:30~ 3月8日9:30	311	5	182	7
恩平福地	土房卧室,不通风,水泥地,墙壁白灰饰面。仪器离地面5cm,在房间中央	3月8日16:00~ 3月9日9:00	158	3	82	5
平均			263		207	

3.6 室内²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度测量结果的比较

阳江高本底辐射地区的²²²Rn、²²⁰Rn 测量工作已经开展了多年,累积了大量的测量数据。在此我们仅对室内²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度进行了粗略的比较和分析,结果列于表 4。

表 4 室内²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度测量结果的比较(Bq m⁻³)Tab. 4 Comparison of indoor ²²²Rn、²²⁰Rn progeny concentrations

	<i>EEC_{Rn}</i>	<i>EEC_{Tn}</i>
文献[2,3]	17.83	3.04
本文	57.1(土房)	41.8(砖房)
	12.6(土房)	4.7(砖房)

表 4 的数据表明本次现场测量调查结果明显高于既往结果,²²²Rn、²²⁰Rn 子体平衡当量浓度,本文结果约为文献[2,3]结果的 2.8 倍。其原因可以考虑到的有测量季节不同,选择的测量点不同、测量手段不同以及测量条件不同等诸多因素。显然,准确的测量尚需作大量工作。

4 剂量估算

根据 UNSCEAR 2000 年报告,采用²²²Rn、²²⁰Rn 子体的平衡当量浓度与有效剂量的换算系

数分别为 9 和 40 nSv/(Bq h m⁻³);室内平均居留因子为 0.8,年室内停留时间约为 7 000 h。在本次测量的高本底地区 26 处土房中,由²²²Rn、²²⁰Rn 子体所致的年有效剂量分别为 3.6 mSv 和 3.5 mSv,即二者剂量贡献大致相等;在 29 处所测砖房中,由²²²Rn、²²⁰Rn 子体所致的年有效剂量分别为 2.6 mSv 和 1.3 mSv。

在此我们忽略了²²²Rn、²²⁰Rn 射气本身的剂量贡献。但如果在土房的卧室内,当床靠近墙壁时,²²⁰Rn 射气浓度很高,其剂量贡献亦应考虑。

5 讨论

我们于 2004 年 3 月在阳江高本底地区采用固体径迹法 24 小时累积测量室内空气²²²Rn、²²⁰Rn 子体水平,测量结果表明,26 处土房室内空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体的平衡当量浓度平均值分别为 57.1 Bq m⁻³和 12.6 Bq m⁻³;29 处砖房的测量结果分别为 41.8 Bq m⁻³和 4.7 Bq m⁻³。阳江高本底地区室内空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度较高,其中个别村庄²²⁰Rn 子体浓度很高,需要重视。在土房房间内²²⁰Rn 子体的剂量贡献与²²²Rn 子体贡献水平相当。

房间通风状况对²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度有明

显的影响,对室内 ^{220}Rn 子体浓度的影响尤为显著,对 ^{222}Rn 子体浓度的影响相对较小。

考虑到季节、气候和测量点数有限等因素,此结果尚不足以代表阳江高本底地区全年的 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体浓度的平均水平。为准确地评价该地区 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 子体所致的公众剂量,有待进一步的调查。

广东省职业病防治研究院的查永如主任医师亲自深入现场,对本工作进行了热心和有意义的指导;使用ERS-2进行 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 析出率和浓度测量的现场工作是由清华大学工程物理系研究生孙凯男完成的;中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所的魏履新教授对本工作给予了大力支持并对本论文进行了细致的批注,在此一并致谢。

参考文献

- 1 UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report 2000. 2000
- 2 袁镛龄. 空气中 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 及其子体致居民内照射剂量. 见:魏履新等编著. 中国阳江高本底辐射研究. 北京:原子能出版社,1996
- 3 袁镛龄,森岛弥重,沈泓,等. 阳江高本底辐射地区环境中氡、 ^{222}Rn 及其子体的测量. 中国辐射卫生,2000. 9(1):1
- 4 Guo Qiuju, Sun Jianyong, Zhuo Weihai. Potential of High Thoron Exposure in China. J. of Nuclear Science and Technology, 2000. 37(8):715
- 5 陈勇,程建平,郭秋菊,等. 环境中 ^{220}Rn 子体的累积测量. 辐射防护,2002. 22(3):145

(编辑部收稿日期 2004年6月25日)

SURVEY ON INDOOR ^{222}Rn , ^{220}Rn PROGENY IN AIR IN HIGH BACKGROUND RADIATION AREA OF YANGJIANG, CHINA

Chen Bo Guo Qiuju

(Department of Technical Physics, School of Physics, Peking University, Beijing, 100871)

Sun Quanfu

(National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing, 100088)

Zhou Jianming

(Institute for Occupational Disease Control and Prevention of Guangdong Province, Guangzhou, 510300)

Abstract A pilot survey of indoor radon and thoron progeny concentration was carried out in 5 villages in high background radiation area (HBRA) of Yangjiang, China. Totally 26 mud houses and 29 brick houses in HBRA were investigated. The average EEC_{Rn} and EEC_{Tn} were $57.1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and $12.6 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ for mud houses, while $41.8 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and $4.7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ for brick houses. Both radon and thoron exhalation rate from mud wall and brick wall surface were also measured.

(Key Words: Radon Progeny, Thoron Progeny, Field Measurements, High Background Radiation Area, Yangjiang)