

·工作简报·

珠海市环境空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体 水平及土壤析出率测量*

郭秋菊**

程建平

(北京大学物理学院技术物理系,100871)

(清华大学工程物理系,北京,100084)

摘要 本文报告了于 2001 年 3~4 月采用固体径迹累积测量法在广东省珠海市进行的室内外环境空气中²²²Rn、²²⁰Rn 子体水平调查的结果,以及采用氡析出率仪同时在珠海市部分地区进行的土壤²²²Rn、²²⁰Rn析出率测量的结果。珠海市 54 处室内²²²Rn、²²⁰Rn 子体的平衡当量浓度平均值分别为 $52.9 \pm 39.1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $4.0 \pm 2.3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$;21 处室外空气中的平衡当量浓度平均值分别为 $7.5 \pm 3.6 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $0.6 \pm 0.2 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。珠海市 11 处土壤中²²²Rn 析出率最高为 $80.8 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,最低为 $0.44 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; ²²⁰Rn析出率最高为 $16.4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,最低为 $0.47 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

关键词 ²²²Rn 子体 ²²⁰Rn 子体 CR-39 析出率 珠海

1 前言

在联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)2000 年报告^[1]中,香港地区的天然辐射水平较高,室内外辐射水平的比值在世界也位居前列。与香港邻近的珠海市与香港的地质构成相似,同为燕山入侵期的花岗岩,这种花岗岩中的铀含量较高,对天然辐射水平有重要的贡献。近年来随着社会经济的发展,珠海市的城市建设发生了很大变化,人口急速增长。从地质结构出发,对珠海的天然辐射水平进行调查,以便在城市规划和建设中充分考虑天然辐射照射问题,是非常必要的。

在天然辐射照射所致公众剂量中,²²²Rn/²²⁰Rn及其子体的贡献约占 50%,因此对环境空气中²²²Rn/²²⁰Rn 及其子体水平的测量,是评价公众剂量必不可少的内容。至今,一些部门已经对珠海市的天然辐射水平进行了规模不等的调查^[2,3],这些调查结果初步表明,珠海地区的天然辐射本底较高,与我国广东省阳江市的高本底地区水平接近,但测量结果彼此相差较大。

为了进一步调查珠海地区²²²Rn/²²⁰Rn 及其子体浓度水平,准确评价其所致公众剂量,我们使用自行开发研制的²²²Rn/²²⁰Rn 子体累积探测器,于 2001 年春在珠海市进行了环境空气中²²²Rn/²²⁰Rn 子体浓度测量,同时使用氡析出率仪测量了不同环境土壤的²²²Rn/²²⁰Rn 析出率。本文介绍此次小型调查的结果,并与其他作者的测量结果进行了比较。

2 测量仪器和方法

2.1 ²²²Rn/²²⁰Rn 子体的累积测量方法

我们使用的是一种新型简便的、适用于环境调查的²²²Rn/²²⁰Rn 子体累积测量仪。此测量仪由日本名古屋大学开发,北京大学改进并制造。该测量仪使用固体径迹片 CR-39 为探测元件,用小型静音泵进行滤膜采集,累积连续采样时间为 24 小时,采样结束后放置 3 天,待滤膜上所有子体衰变后,取出 CR-39,在实验室蚀刻、读数,通过径迹密度分别求算²²²Rn、²²⁰Rn 平衡当量浓度 EEC_{Rn} 和 EEC_{Th} 。在累积采样 24

* 国家自然科学基金资助项目(10175007)。

** 第一作者简介:郭秋菊,女,1963 年出生,1995 年获日本名古屋大学工学博士学位,副教授。

小时,流速为0.8L/min时, EEC_{Rn} 和 EEC_{Tn} 的探测下限分别为 0.57Bq m^{-3} 和 0.07Bq m^{-3} 。该测量仪的原理、理论计算等在文献[4]中已有详细介绍。

为了对测量实施必要的质量控制,我们于2001年7月在原核工业部第六研究所国家氡室(湖南衡阳)对此测量仪进行了刻度^[4]。

2.2 ²²²Rn、²²⁰Rn析出率测量方法

使用 Saegusa 等开发研制的 In-situ 型析出率仪^[5],仪器由大面积(30 cm × 40 cm) ZnS(Ag) 闪烁室、光电倍增管等组成,如图1所示。对²²²Rn、²¹⁸Pb、²¹⁴Pb、²¹⁴Pb、²²⁰Rn和²¹⁶Pb衰变产生的粒子进行记录,累积取样的同时开始计数,每15s读数一次,总计数时间为30min,将所得计数与累积时间进行拟合分析、作图并计算。考虑到子体的污染有可能使本底增高,两次测量之间应有一定的时间间隔,特别是在²²⁰Rn析出率较高的地方,间隔时间应该延长。具体计算方法如下:

²²⁰Rn的析出率 E_T :

$$E_T = (N_{10} - N_b) \times CF_T \quad (1)$$

其中, N_{10} 为取样或计数时间为10min时的计数率,cpm; N_b 为累积取样前环境本底计数率,cpm; CF_T 为²²⁰Rn析出率与计数率换算系数, $18.1 \pm 3.2 (\text{mBq m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{cpm}^{-1})$ 。

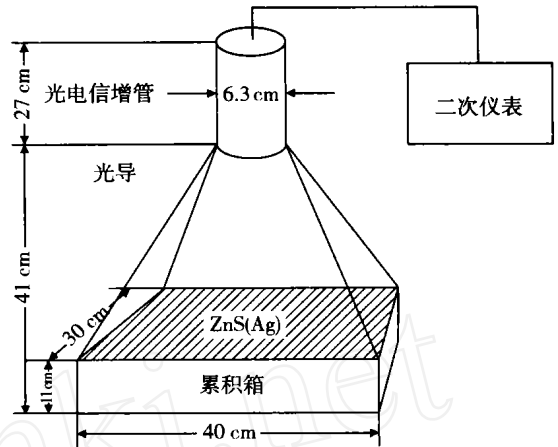


图1 土壤²²⁰Rn、²²²Rn析出率仪结构示意图

Fig. 1 Structural drawing of the exhalation rate meter for radon and thoron in soil

²²²Rn的析出率 E_R :

$$E_R = (N_{30} - N_{10} - N_b) \times CF_R \quad (2)$$

其中, N_{30} 为取样或计数时间为30min时的计数率,cpm; CF_R 为²²²Rn析出率与计数率换算系数, $0.521 \pm 0.041 (\text{mBq m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{cpm}^{-1})$ 。

图2是在珠海市大镜山水库坝上的测量实例。图2中横坐标(x)是取样累积时间,纵坐标(y)是计数率。右上方是拟合所得的公式, r 为相关系数。

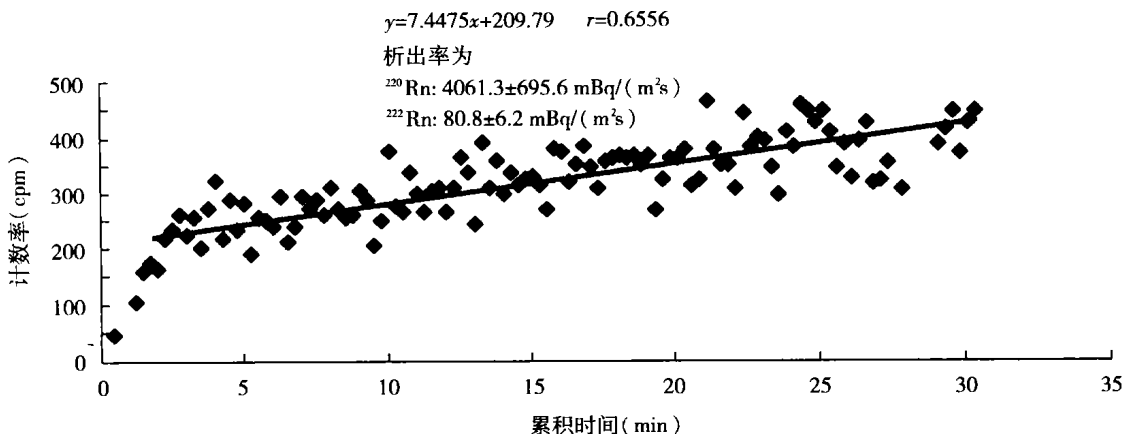


图2 土壤²²⁰Rn、²²²Rn析出率测量结果(大镜山水库坝上)

Fig. 2 Exhalation rates of ²²⁰Rn and ²²²Rn in soil (on the dam of Dajingshan reservoir)

3 测量结果与分析

3.1 ²²²Rn、²²⁰Rn 子体浓度测量^[4]

2001 年 3 月 26 日至 4 月 9 日,使用²²²Rn/²²⁰Rn子体累积探测器,在广东省珠海市进行了小规模试调查测量,布置测量地点共为 75 处,其中室内 54 处,室外 21 处。测量地点遍布珠海市各主要行政区(香洲、吉大、拱北、前山、新香洲),其中,在人口密度较大的香洲区布点较多,另外还包括郊区温泉一处。测点选择兼顾了地质、建材、楼层、人口密度及通风状况等因

素。在测量期间还对气候条件进行了记录(温度:最高气温 22~30,最低气温 18~20;湿度:75%~95%;风力:1~2 级)。

表 1 列出了此次小规模试调查的测量结果。从表 1 可以看出,珠海市室内²²²Rn/²²⁰Rn子体的平衡当量浓度平均值均较高,分别为 52.9 Bq·m⁻³和 4.0 Bq·m⁻³;同时,浓度分布范围大,不同地点、不同建筑类型导致浓度差异很大,部分室内的²²²Rn/²²⁰Rn子体浓度很高。室外²²²Rn/²²⁰Rn子体平衡当量浓度平均值分别为 7.5 Bq·m⁻³和 0.6 Bq·m⁻³。

表 1 珠海市室内外²²²Rn/²²⁰Rn子体的平衡当量浓度(Bq·m⁻³)^[4]

Tab. 1 Indoor and outdoor *EECR_{Rn}*/*EECT_{Rn}* in Zhuhai City (Bq·m⁻³)^[4]

测量项目	室 内				室 外			
	测点数	范围	平均值	标准差	测点数	范围	平均值	标准差
<i>EECR_{Rn}</i>	54	1.23~152.4	52.9	39.1	21	1.48~12.09	7.5	3.6
<i>EECT_{Rn}</i>	54	0.12~12.63	4.0	2.3	21	0.12~0.79	0.6	0.2

根据室内通风状况,我们进一步对²²²Rn/²²⁰Rn子体浓度进行了分析。将通风或半通风房间列为非密闭状况,完全不通风房间为密闭状况,则室内通风状况对子体浓度的影响如表 2 所示。可以看出密闭房间内的²²²Rn/²²⁰Rn子体浓度均显著高于非密闭的房间,特别是²²²Rn子体浓度,密闭房间的约为非密闭房间的 3 倍。

相比之下²²⁰Rn子体平衡当量浓度受通风状况的影响明显小于²²²Rn子体。这是因为²²²Rn的半衰期很长,使得²²²Rn及其子体易受通风影响,而²²⁰Rn及其子体半衰期相对于²²²Rn的半衰期很短,故受室内通风的影响程度小于²²²Rn及其子体。

表 2 不同通风状况下²²²Rn/²²⁰Rn子体的平衡当量浓度(Bq·m⁻³)^[4]

Tab. 2 *EECR_{Rn}*/*EECT_{Rn}* under different conditions of air ventilation (Bq·m⁻³)^[4]

测量项目	密 闭				非 密 闭			
	测点数	范围	平均值	标准差	测点数	范围	平均值	标准差
<i>EECR_{Rn}</i>	31	2.29~152.4	72.7	36.9	23	1.23~31.26	25.0	31.3
<i>EECT_{Rn}</i>	31	0.24~12.63	4.5	1.6	23	0.12~8.8	3.2	3.0

3.2 土壤中²²²Rn、²²⁰Rn 析出率测量

室外环境空气中²²²Rn、²²⁰Rn及其子体的水平是由来自地面土壤的析出和其在大气中的弥散决定的,为了更好地评价珠海地区的室外环境,我们进行了土壤表面²²²Rn和²²⁰Rn析出率的测量。

对 11 处土壤的表面进行了测量,测量地点有体育场、公园、学校、宾馆和温泉等公共场所,

以及农田、建设用地等,遍及市区和郊区。在测量的同时,由合作单位采集土壤样品,在实验室通过化学方法和谱仪测量分析放射性核素含量。测量期间的气候条件如前所述。

表 3 列出了土壤表面²²²Rn、²²⁰Rn析出率和土壤中²²⁶Ra、²³²Th核素比活度测量结果,其中核素比活度由谱仪测量分析得出。

表3 珠海市土壤中²²²Rn/²²⁰Rn析出率与²²⁶Ra/²³²Th核素比活度Tab. 3 Exhalation rates of ²²²Rn/²²⁰Rn in soil and specific activity of ²²⁶Ra/²³²Th nuclides in Zhuhai City

测量地点	析出率(mBq·m ⁻² ·s ⁻¹)		核素比活度(Bq·kg ⁻¹)	
	E _{Rn}	E _{Th}	²²⁶ Ra	²³² Th
珠海大学操场草坪	21.3	3.44 ×10 ³	—	—
拱北海关前广场草坪	2.7	2.36 ×10 ³	71.8	171.2
香洲体育馆附近广场	—	1.47 ×10 ³	18.0	21.7
农田	—	3.12 ×10 ³	—	—
平沙温泉香蕉林内 ¹⁾	51.3	16.4 ×10 ³	236.1	1234.1
香山公园山坡上1	0.44	1.51 ×10 ³	109.1	181.2
香山公园山坡上2	—	6.18 ×10 ³	—	—
某合资工厂内草坪	8.7	1.38 ×10 ³	—	—
大镜山水库堤坝上	80.8	4.06 ×10 ³	68.1	131.0
海湾酒店附近山坡	10.9	2.47 ×10 ³	152.6	191.1
某幼儿园院内	7.4	0.47 ×10 ³	97.5	263.0
平均值	22.9 ±26.6	(2.65 ±1.65) ×10 ³	107.6 ±64.9	159.9 ±73.2

1) 由于温泉水流经此处,土壤²³²Th含量及²²⁰Rn析出率远高于其它测点,所以计算平均值时除外。

从表3可以看出,部分测量点²²²Rn的析出率没有测出,原因主要是²²⁰Rn析出的干扰,因为在一般环境中,²²⁰Rn析出率远远大于²²²Rn析出率(约高2个数量级左右),²²²Rn的析出有可能掩盖在²²⁰Rn析出的波动中;其次也有可能是累积容器漏气等(虽然操作要求在取样开始的同时累积箱底部四周要用土掩埋、拍实防漏气)。

表3的结果表明,²²²Rn析出率因地点的不同,变化范围很大,平均值为22.9 mBq·m⁻²·s⁻¹,高于世界土壤的平均值(16 mBq·m⁻²·s⁻¹) (见文献[6]附件A,83段);²²⁰Rn析出率的变化范围也相当大,珠海地区土壤²²⁰Rn析出率平均值为2.6 Bq·m⁻²·s⁻¹,为世界均值(1 000 mBq·m⁻²·s⁻¹)^[6]的2倍以上。

值得一提的是平沙温泉香蕉林内的一点,由于温泉水长期流经此地,土壤中²³²Th高度富集,²³²Th含量达到1 234.1 Bq·kg⁻¹,此地²²⁰Rn析出率为16.4 Bq·m⁻²·s⁻¹,远远高于该地区的平均值。

另外,在表3右侧列出了合作单位所测土壤中²²⁶Ra、²³²Th核素含量结果,珠海市土壤中²²⁶Ra、²³²Th含量的平均值分别是107.6 Bq·kg⁻¹和159.9 Bq·kg⁻¹,分别为全国平均值的(36.5 Bq·kg⁻¹和49.1 Bq·kg⁻¹)^[7]的2倍和3倍以上。这些数据提供了珠海地区本底辐射水平较高的地质上的依据。

4 与本地区其它测量结果的比较

至今已经有一些单位使用不同的方法对珠海市的天然辐射水平进行了规模不等的调查,表4和表5对有代表性的结果分别进行了比较^[2,3]。由表4、表5可见:

(1) 不同的测量单位其测量结果虽有差异,但测量结果均表明珠海市室内外的²²²Rn、²²⁰Rn水平高于全国平均值,与高本底地区的阳江水平相近。本文结果与参考文献[2]的结果基本一致。

(2) 部分室内²²²Rn、²²⁰Rn浓度较高,值得关注。

(3) 各地点差异较大,分布不均造成各单位测量结果之间差异较大的主要原因,因此有必要增加测量点数,在对测量仪器进行比对的基础之上,细致深入地作进一步调查和评价。

5 剂量估算

根据UNSCEAR 2000年报告,采用²²²Rn、²²⁰Rn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) (附件B,153段和154段);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54处房间内,由²²²Rn、²²⁰Rn子体所致有效剂量平均值分别为3.3 mSv·a⁻¹和1.1 mSv·a⁻¹。

表 4 不同调查者所得室内²²²Rn、²²⁰Rn 及其子体浓度数据的比较(Bq·m⁻³)Tab. 4 Comparison of indoor concentrations of ²²²Rn, ²²⁰Rn and their daughters obtained by various investigators

不同调查者及 所用测量方法	²²² Rn 浓度		EECRn		²²⁰ Rn 浓度		EECTn	
	测点数	平均值 ± 标准差	测点数	平均值 ± 标准差	测点数	平均值 ± 标准差	测点数	平均值 ± 标准差
累积 3 个月的被动式 cup 法 ^[2] 1999 年 3~9 月测量	135	60.4 ±34.4	21	35.4 ±60.0	54	127.9 ±140.1 (距墙 20 cm)	8	2.7 ±1.9
累积 3 个月的被动式 cup 法 ^[3] 1999 年 3~6 月,1999 年 10 月 ~2000 年 1 月测量	35	164.2 (1 楼)						
24 h 累积测量法 本文 2001 年春测量			54	52.9 ±39.1			54	4.0 ±2.3

表 5 不同调查者所得室外²²²Rn、²²⁰Rn 及其子体浓度数据的比较(Bq·m⁻³)Tab. 5 Comparison of outdoor concentrations of ²²²Rn, ²²⁰Rn and their daughters obtained by various investigators with other measurements

不同调查者及 所用测量方法	²²² Rn 浓度		EECRn		²²⁰ Rn 浓度		EECTn	
	测点数	平均值 ± 标准差	测点数	平均值 ± 标准差	测点数	平均值 ± 标准差	测点数	平均值 ± 标准差
累积 3 个月的被动式 cup 法 ^[2] 1999 年 3~9 月测量			11	12.3 ±8.3			11	0.8 ±0.9
累积 3 个月的被动式 cup 法 ^[3] 1999 年 3~6 月,1999 年 10 月 ~2000 年 1 月测量	10	75.2						
24 h 累积测量法 本文 2001 年春测量			21	7.5 ±3.6			21	0.6 ±0.2

6 结论

我们于 2001 年春在珠海市进行了环境放射性水平调查,采用固体径迹累积测量法在 54 处室内测量的²²²Rn/²²⁰Rn 子体平衡当量浓度平均值分别为 52.9 ±39.1 Bq·m⁻³和 4.0 ±2.3 Bq·m⁻³;21 处室外空气中的测量结果分别为 7.5 ±3.6 Bq·m⁻³和 0.6 ±0.2 Bq·m⁻³,此结果与参考文献[2]的结果基本一致。²²²Rn/²²⁰Rn 子体测量的结果表明:珠海地区环境空气中²²²Rn 和²²⁰Rn 子体浓度水平较高,测量数据的分布范围大,部分室内的²²²Rn/²²⁰Rn 子体浓度很高,在城市建设和规划过程中,需要重视。考虑到季节、气候和测点数目少等因素,此结果尚不足以代表珠海市全年的²²²Rn/²²⁰Rn 子体浓度的平均水平,为准确地评价公众剂量,尚需在不同季节增加测量点数,进一步调查。

珠海市 11 处土壤析出率测量的结果表明:²²²Rn 析出率最高为 80.8 mBq·m⁻²·s⁻¹,最低为 0.44 mBq·m⁻²·s⁻¹;²²⁰Rn 析出率最高为 16.4 Bq·m⁻²·s⁻¹,最低为 0.47 Bq·m⁻²·s⁻¹,高于全国和世界平均值。珠海市土壤中较高的²²⁶Ra、²³²Th 含量和较高的²²²Rn/²²⁰Rn 析出率,是该地区本底辐射水平较高的原因。

此次珠海环境放射性水平调查得到了珠海市卫生防疫站、广东省环境辐射研究监测中心等单位的大力支持,同时前往测量调查的参加单位还有国家环保总局核安全中心、中国原子能科学研究院、国家地质实验测试中心、卫生部工业卫生实验所和中国地质大学等,在此一并致谢。

参考文献

- 1 UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation.

- UNSCEAR Report 2000. 2000
- 2 尚兵,张林,陈斌,等. 中国部分地区²²⁰Rn浓度的测量. 中国预防医学杂志,2000. 1(1):19
- 3 陈迪云,陈智营,胡瑞英. 珠海市大气环境中氡浓度的测定. 环境科学,1999. 20(6):94
- 4 陈勇,程建平,郭秋菊,等. 环境中²²⁰Rn子体的累积测量. 辐射防护,2002. 22(3):145
- 5 Saegusa J, Yamasaki K, Tsujimoto T, et al. Development of an Apparatus for Measuring Ground Exhalation Rates of ²²²Rn and ²²⁰Rn. Environment International, 1996. 22(1):S483
- 6 UNSCEAR. 电离辐射源与效应. UNSCEAR 1993年报告. 北京:原子能出版社,1995
- 7 全国环境天然放射性水平调查总结报告编写小组. 全国土壤中天然放射性核素含量调查. 辐射防护, 1992. 12(2):122
- (编辑部收稿日期 2002年10月22日)

MEASUREMENT OF ²²²Rn/²²⁰Rn PROGENY AND EXHALATION RATES FOR ²²²Rn/²²⁰Rn FROM SOIL IN ZHUHAI AREA

Guo Qiujun

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

Cheng Jianping

(Department of Engineer Physics, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract A local survey of integrating measurement of ²²²Rn and ²²⁰Rn progeny concentrations with a newly developed monitor was carried out in Zhuhai city, Guangdong province in the Spring of 2001. 54 dwellings and 21 points outdoors were measured totally around the city. The average EEC_{Rn} and EEC_{Tn} is $52.9 \pm 39.1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and $4.0 \pm 2.3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ for dwellings, $7.5 \pm 3.6 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and $0.6 \pm 0.2 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ for outdoor points, respectively. An apparatus for measuring ground exhalation rates of ²²²Rn and ²²⁰Rn was used simultaneously. The range of exhalation rates of ²²²Rn is from $80.8 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ to $0.44 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, and for ²²⁰Rn is from $16.4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ to $0.47 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

(Key Words: Radon Progeny, Thoron Progeny, CR-39, Exhalation Rate, Zhuhai)