

文章编号: 0253-9950(2010)04-0252-05

# 珠海高钍地区建筑物室内钍射气研究

陈迪云<sup>1</sup>, 朱文萍<sup>2</sup>, 谢文彪<sup>1</sup>, 宋 刚<sup>1</sup>, 汤泽平<sup>1</sup>

1. 广州大学 环境科学与工程学院, 广东 广州 510006; 2. 甘肃省环境监测中心站, 甘肃 兰州 730003

**摘要:** 采用固体径迹探测器对珠海居民室内的钍射气浓度进行了测定。对每一个测定点在一年内分 4 个季度分别进行了测定, 共获得 96 户居室测定结果, 结果表明, 钍射气浓度的变化范围为 3~243 Bq/m<sup>3</sup>, 几何平均值为 43 Bq/m<sup>3</sup>, 钍射气导致年有效剂量达 0.37 mSv; 其中砖瓦结构、土面平房的室内钍射气浓度最高, 导致浓度升高的原因是土壤中钍含量高; 房间的通风对流可以将地面释放出来的钍射气带上来, 从而导致室内钍射气浓度偏高。

**关键词:** 钍射气; 固体径迹探测器; 建筑物室内

**中图分类号:** TL815.7 **文献标志码:** A

## Thoron Levels in the Dwellings of High Thorium Radiation Area Located in Zhuhai City

CHEN Di-yun<sup>1</sup>, ZHU Wen-ping<sup>2</sup>, XIE Wen-biao<sup>1</sup>, SONG Gang<sup>1</sup>, TANG Ze-ping<sup>1</sup>

1. School of Environmental Science & Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

2. Gansu Environmental monitoring Center, Lanzhou 730003, China

**Abstract:** Thoron concentration levels were measured in the high background radiation area located in Zhuhai city using solid-state nuclear track detectors. Measurements were carried out quarterly at each location throughout a year. Totally 96 dwellings were selected for the study. Thoron concentration is vary between 3-243 Bq/m<sup>3</sup>, with the geometric mean value being 43 Bq/m<sup>3</sup>. The dwellings with tile configuration and earth floor have highest thoron concentration. Existence of high thorium content in the soil leads the high thoron values. Increasing ventilation rate inside the dwellings enhances inversion currents and lifts more thoron from the ground, which make the higher concentration of thoron in dwellings.

**Key words:** thoron; solid-state nuclear track detector; dwellings

由于 Tn 的半衰期只有 55.6 s, 在空气中迁移的距离短 (<1 m), 环境中的 Tn 浓度一般较低, 所以过去一般认为公众吸入 Tn 所致的辐射剂量可以忽略不计<sup>[1-3]</sup>, 再加上 Tn 的测定与刻

度存在一定困难, 因此以往对其研究很少。但最近的研究表明这种认识未必完全正确, 在一些国家和地区, 如印度、巴西等地的土壤中富集钍含量高的独居石等副矿物, 在这些地区有相

收稿日期: 2008-01-07; 修订日期: 2009-04-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40872201)

作者简介: 陈迪云 (1964—), 男, 湖北大冶人, 博士, 教授, 主要研究方向为环境辐射化学

当一部分的吸入辐射剂量是来自于  $\text{Th}$ <sup>[4-6]</sup>。放射性调查显示我国土壤中  $\text{Th}$  的浓度偏高,平均值为 54.6 Bq/kg,是世界均值的 2.3 倍<sup>[7]</sup>,同时抓样研究还发现不少地区的环境中  $\text{Tn}$  含量高<sup>[8]</sup>。因此从我国具体情况看应当重视高  $\text{Th}$  地区的  $\text{Tn}$  研究,而我国居室环境中  $\text{Tn}$  浓度的研究还刚起步。珠海土壤的  $\text{Th}$  放射性含量平均值为 193 Bq/kg(11~645 Bq/kg),居全国之首,是世界的 6 倍<sup>[9]</sup>,珠海公众吸入  $\text{Tn}$  及其子体的浓度水平以及所致的辐射剂量应当引起足够的重视,为此拟选择珠海  $\text{Th}$  异常区内不同类型建筑物的  $\text{Tn}$  进行研究,从而揭示高  $\text{Th}$  辐射区环境中  $\text{Tn}$  的特征,并评价辐射剂量。

1 实验方法

1.1  $\text{Tn}$  测定装置

采用的  $\text{Tn}$  测量装置是由一个双测量杯圆柱系统组成(A、B),是在前人的设计基础上改进而成<sup>[3,10-11]</sup>,图 1 是该测量装置的示意图。每一测试室长 4.1 cm,半径为 3.1 cm。固体径迹探测器 SSNTD-1 放置在 A 测量杯,它测定从周围空气中通过半透膜(25  $\mu\text{m}$ ,扩散系数为  $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ <sup>[12-13]</sup>)扩散进入其中的  $\text{Rn}$ 。这一隔间可以收集到 90% 的  $\text{Rn}$ ,而阻止 99% 以上的  $\text{Tn}$  进入。另外一隔间 B 放置 0.56 mm 厚的玻璃纤维滤纸,它同时允许  $\text{Rn}$  和  $\text{Tn}$  透过进入隔间,因此放置在 B 测量杯的固体径迹探测器 SSNTD-2 能同时获得  $\text{Rn}$  和  $\text{Tn}$  的总浓度。通过比较 SSNTD-2 和 SSNTD-1 的结果,就可以获得  $\text{Tn}$  的浓度。选择 LR-115(法国 Kodak 公司)为探测器,之所以选择该型号的探测器,是因为只有  $\text{Rn}$  和  $\text{Tn}$  产生的  $\alpha$  粒子在它的上面形成径迹,而它们的子体产生的  $\alpha$  粒子则在其上不形成径迹,非常适合空气中的  $\text{Rn}$ 、 $\text{Tn}$  浓度测定<sup>[10]</sup>。放置了滤膜和 LR-115 薄片的放射性测定器悬挂在被测房间中央的天花板,大约离地面 2 m。探测器放置 90 d 后取回,用 10% 的 NaOH 溶液在 60  $^{\circ}\text{C}$  条件下蚀刻 1 h,扩大径迹,然后用火花计数器对蚀刻后的 LR-115 探测器的径迹进行统计。根据统计结果就可以计算出 LR-115 薄片上的径迹密度。经过中国科学院高能物理研究所标定,SSNTD-1 和 SSNTD-2 刻度系数分别为 0.019、0.016 T/(Bq  $\cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{d}$ )。氡气和钍射气的最低检出限分别为 5、1 Bq/ $\text{m}^3$ 。

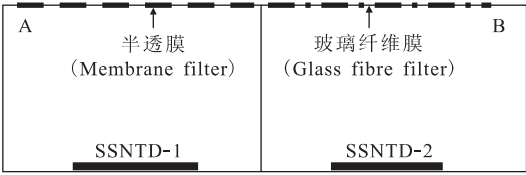


图 1 双杯固体径迹探测器示意图

Fig.1 Schematic representation of the twin-cup dosimeter

1.2 建筑物的选择

在广东地质调查研究院对珠江三角洲经济区 U、Th、K 地球化学调查资料的基础上,选择珠海香州的唐家湾高钍辐射地区进行研究。在该地区随机选择了 108 户建筑物,主要选择家庭的居室进行测定,房间面积一般为 15~20  $\text{m}^2$ ,所有的测定点都布置在一楼。研究工作为期 1 年,分春、夏、秋、冬 4 个季节对室内的  $\text{Tn}$  进行了测定研究,每一批探测器都累积测定 3 个月,一批探测器收回后立即布置下一批探测器。所选择的房屋主要是钢筋混凝土楼房,部分为砖瓦平房,地板有水泥、大理石、瓷砖、泥土等 4 种,但以瓷砖为主。墙体基本上都是用红砖砌成,并都用水泥抹灰。最后有效收回探测器 96 户。

2 结果和讨论

2.1 钍射气的浓度

将 96 个数据进行统计,计算出 4 个季节获得的平均值,这个值代表每个建筑物室内 1 年  $\text{Tn}$  的平均浓度值。世界不同国家和地区室内  $\text{Th}$  浓度比较结果列入表 1。由表 1 可知,所研究地区  $\text{Tn}$  的放射性浓度变化范围宽,为 3~243 Bq/ $\text{m}^3$ ,几何平均值为 43 Bq/ $\text{m}^3$ , $\text{Tn}$  放射性浓度变化的幅度大,可能与本区土壤的  $\text{Th}$  浓度变化大有关(11~645 Bq/kg);另外,珠海高钍辐射区的  $\text{Tn}$  放射性浓度明显高于世界其它地区所报道的结果, $\text{Tn}$  放射性浓度最高值为 243 Bq/ $\text{m}^3$ ,与印度 Hyderabad 高本底辐射区获得的结果相当<sup>[14]</sup>。 $\text{Tn}$  放射性浓度的频率分布图示于图 2。由图 2 可以看出,96 个房间的  $\text{Tn}$  放射性浓度成近似的对数正态分布;其中 70 间的  $\text{Tn}$  放射性浓度小于 50 Bq/ $\text{m}^3$ ;50~100 Bq/ $\text{m}^3$  的有 18 间; $\text{Tn}$  放射性浓度高于 100 Bq/ $\text{m}^3$  的有 8 间,其中有 2 间的  $\text{Tn}$  放射性浓度高于 200 Bq/ $\text{m}^3$ 。

表 1 世界不同国家和地区室内 Tn 浓度比较

Table 1 Comparison of thoron levels

| 国家、地区 (Country, area)                 | C(Tn)/(Bq·m <sup>-3</sup> ) | 来源 (Resource)                           |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| 珠海 (Zhuhai)                           | 3~243                       | 本工作 (This work)                         |
| 澳大利亚 (Australia)                      | 3.7~41                      | Steinhausler et al(1994) <sup>[6]</sup> |
| 巴西 (Bassy)                            | 0.4~19                      | Steinhausler et al(1994) <sup>[6]</sup> |
| 德国 (German)                           | 0.7~19.1                    | Steinhausler et al(1994) <sup>[6]</sup> |
| 日本 (Japan)                            | 160±10                      | Guo et al(1992) <sup>[15]</sup>         |
| 印度 (India) Himachal Pradesh 地区 (Area) | 5.2~92.4                    | Virk et al(2002) <sup>[16]</sup>        |
| 印度 (India) Hyderabad 地区 (Area)        | 8~330                       | Sreenath et al(2004) <sup>[14]</sup>    |
| 印度 (India) Agastheeswaram 地区 (Area)   | 4.6~143.5                   | Malathi et al(2008) <sup>[17]</sup>     |

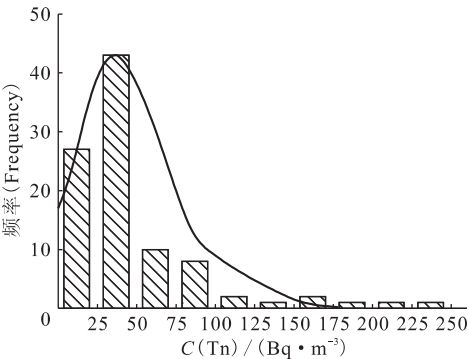


图 2 Tn 放射性浓度频率分布图

Fig.2 Frequency distribution graph of measured thoron concentration

2.2 不同类型建筑物室内 Tn 放射性浓度特征

将 Tn 放射性浓度与建筑物的类型进行相关分析发现(表 2),最高的 Tn 放射性浓度值出现在砖瓦结构、地面为土的平房中。这些平房主要是农村的老宅子,一般房龄都在 40 年以上,一般

都采用本地的泥土、沙石建设。这些材料和房屋地面土壤含有较高的钍等放射性元素,可以释放比较多的 Tn。

同时由于屋顶的砖瓦结构通风性好,并容易形成倒转气流。根据 Doi<sup>[18]</sup> 的研究结果,由于 Tn 的半衰期很短,所以室内 Tn 放射性浓度分布随着离释放源距离的增加成指数减少。如果室内空气不流通,Tn 扩散的距离(L)可用下式表示:

$$L = (K/\lambda_T)^{1/2} \tag{1}$$

其中,K 是 Tn 的涡流扩散系数; $\lambda_T$  是 Tn 的衰变常数。因此由于通风作用,Tn 除了扩散外,增加了 Tn 的对流传送和 Tn 的传送距离(L),从而导致室内 Tn 的放射性浓度升高。因此决定室内环境 Tn 放射性浓度的因素除了来源以外,是否有对流输送起到十分关键的作用。与增加室内通风可降低室内 Rn 浓度相反,增加通风反而可能会导致室内 Tn 放射性浓度的增加。

表 2 不同类型的建筑物室内 Tn 的浓度

Table 2 Thoron concentration in dwellings with different building type

| 房间类型<br>(Type of room)                            | 房间数量<br>(Number of room) | C(Tn)/<br>(Bq·m <sup>-3</sup> ) | C(Tn)几何平均值<br>(Geometric mean)/<br>(Bq·m <sup>-3</sup> ) | C(Tn)算术平均值<br>(Arithmetic mean)/<br>(Bq·m <sup>-3</sup> ) |
|---------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 水泥地面的楼房<br>(Storied building with cement floor)   | 9                        | 7~109                           | 47±29                                                    | 51±32                                                     |
| 花岗石地面的楼房<br>(Storied building with granite floor) | 12                       | 11~121                          | 57±19                                                    | 60±21                                                     |
| 瓷砖地面的楼房<br>(Storied building with tile floor)     | 68                       | 3~60                            | 24±18                                                    | 25±22                                                     |
| 泥土地面的砖瓦平房<br>(Bungalow with earth floor)          | 7                        | 40~243                          | 75±39                                                    | 80±47                                                     |

用花岗石、大理石铺设地面的室内  $T_n$  浓度也较高。这些建筑物一般都在最近 10 年建成,铺设的花岗石和大理石都购自当地的建筑材料市场,高的  $T_n$  浓度可能是由于本地生产的花岗石和大理石中钍的含量高。不过因为室内  $T_n$  的浓度取决于多种因素,如地基土壤的钍含量、居室通风情况、建筑材料的天然放射性水平以及  $T_n$  的析出速率等,这些情况还需进一步研究。

### 2.3 室内 $T_n$ 放射性浓度的季节性变化

春夏秋冬 4 个季节  $T_n$  的平均放射性浓度分别为 62、39、36 和 56 Bq/m<sup>3</sup>。夏、秋两季室内  $T_n$  浓度较低,而春季和冬季的浓度较高,其变化情况与室内  $R_n$  的研究结果相反。珠海夏季  $R_n$  浓度高于冬季<sup>[12]</sup>,室内  $R_n$  和  $T_n$  不同的季节变化规律可能与室内空气对流有关。由于 4~10 月份珠海的气温已经较高,许多家庭已开始使用空调,使得室内的封闭性增加,有利于氡在室内聚集,而封闭的环境不利于  $T_n$  的运移,所以室内  $T_n$  放射性浓度较低。在春季和秋冬季当地的气温温和,各户的门窗经常打开通风,增加空气对流强度,因而导致室内氡放射性浓度降低,而通风增强  $T_n$  扩散作用,使室内  $T_n$  放射性浓度增加,春季也是该地区的台风季节,对流作用最强,所以室内  $T_n$  的平均放射性浓度最高。

### 2.4 $T_n$ 的有效剂量

因  $T_n$  导致公众所受的年有效剂量( $H_{\text{eff}}$ )可采用下式计算<sup>[2]</sup>:

$$H_{\text{eff}} = C(T_n)FTD \quad (2)$$

其中, $H_{\text{eff}}$ ,年有效剂量,mSv/a; $C(T_n)$ 是  $T_n$  的放射性浓度; $T$ 是居住者在室内生活的时间( $T=0.8 \times 24 \text{ h} \times 365.25 \text{ d}=7\,010 \text{ h/a}$ ); $D$ 是剂量转换系数, $D=40 \times 10^{-6} \text{ mSv/(Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h)}$ ;  $F$ 是平衡系数。准确确定研究对象的  $F$  值是一件复杂的事情,因为对于  $T_n$  及其子体之间的平衡关系不能用单一的平均平衡因数来描述,它取决于不同通风状态、含尘状况的变化以及离墙的远近等因素<sup>[19]</sup>。研究显示,通风状况越好, $F$  越小;室内粉尘浓度越高, $F$  越大;房间越大, $F$  越小; $F$  基本不随  $E_T$ (墙面  $T_n$  析出率)的变化而变化。尚兵等<sup>[20]</sup>获得珠海市距墙 20 cm 处的  $F=0.021$ ;屈争真等<sup>[21]</sup>通过模型计算出通风较好时距墙 20 cm 处的  $F=0.025$ 。综合考虑本次研究的房间大小、通风情况以及探测器的放置等因素,参考前人的研究结果,本工作取  $F=0.03$ 。采用测定  $T_n$

的放射性浓度几何平均值计算( $43 \text{ Bq/m}^3$ ),年平均剂量为  $0.37 \text{ mSv}$ 。

## 3 结 论

本工作研究结果表明,本地区  $T_n$  放射性浓度高,最高达  $243 \text{ Bq/m}^3$ ,年有效剂量达  $0.37 \text{ mSv}$ ,说明  $T_n$  对研究区居民辐射暴露有明显贡献。这一剂量对于辐射防护来说是不能忽视的,因此必须加强高钍辐射区  $T_n$  的研究工作。导致  $T_n$  浓度升高的原因是土壤中高的钍含量以及对流传输作用。砖瓦结构、土面的平房室内  $T_n$  浓度最高,主要是由于房间通风好、对流作用强,将地面释放出来的  $T_n$  带上来。增加通风可降低室内空气中氡浓度,这也是治理室内氡污染有效的措施,但增加通风可能导致室内  $T_n$  浓度的升高,这给防治室内  $R_n$  和  $T_n$  的污染提出了挑战。

### 参考文献:

- [1] Doi M, Kobayashi S. The Passive Radon-Thoron Discriminative Dosimeters for Practical Use [J]. Hoken Butsuri, 1994, 29: 155-166.
- [2] Doi M, Fujimoto K, Kobayashi S, et al. Spatial Distribution of Thoron and Radon Concentrations in the Indoor Air of a Traditional Japanese Wooden House[J]. Health Physics, 1994, 66: 43-49.
- [3] Mayya Y S, Eaapen K P, Nambi K S V. Methodology for Mixed Field Inhalation Dosimetry in Monazite Areas Using a Twin-Cup Dosimeter With Three Track Detectors[J]. Radia Prot Dosim, 1998, 77 (3): 177-184.
- [4] Kavasi N, Nemeth Cs, Kovacs T, et al. Radon and Thoron Parallel Measurements in Hungary[J]. Radia Prot Dosim, 2007, 123(2): 250-253.
- [5] Mohamed A, El-Hussein A. Comparison of Outdoor Activity Size Distributions of <sup>220</sup>Rn and <sup>222</sup>Rn Progeny[J]. Appl Radia Isotopes, 2005, 62 (6): 955-959.
- [6] Steinhausler F, Hofman W, Lettner H. Thoron Exposure to Man: A Negligible Issue? [J]. Radia Prot Dosim, 1994, 56: 1-44.
- [7] 张淑蓉,潘金全,李永兴,等.中国土壤放射性核素水平及分布[J].中华放射医学与防护杂志,1998(增刊):1-9.
- [8] Shang Bing, Chen Bin, Gao Yun, et al. Thoron Levels in Traditional Chinese Residential Dwellings[J]. Radia Environ Biophysics, 2005, 44(3): 193-199.

- [9] 潘自强. 我国天然辐射水平和控制中一些问题的讨论[J]. 辐射防护, 2001, 21(5): 257-268.
- [10] Eappen K P, Mayya Y S. Calibration Factors for LR-115 (Type- II ) Based Radon Thoron Discriminating Dosimeter[J]. Radia Meas, 2004, 38: 5-17.
- [11] Ramola R C, Kandari M S, Rawat R B S, et al. A Study of Seasonal Variation of Radon Levels in Different Types of Houses[J]. J Environ Radioact, 1998, 39(1): 1-7.
- [12] Abdel F H, Somogy G. Determination of Radon and Thoron Permeability Through Some Plastics by Track Technique[J]. Nuclear Tracks, 1986, 12: 697-700.
- [13] Wafaa A. Permeability of Radon-222 Through Some Material[J]. Radia Meas, 2002, 35: 207-211.
- [14] Sreenath R M, Yadagiri R P, Rama R K, et al. Thoron Levels in the Dwellings or Hyderabad City, Andhra Pradesh, India[J]. J Environ Radioact, 2004, 73: 21-28.
- [15] Guo A, Shimo M, Ikebe Y, et al. The Study of Thoron and Radon Progeny Concentrations in Dwellings in Japan[J]. Radia Prot Dosim, 1992, 45 (1/4): 357-359.
- [16] Virk H S, Sharma N. Indoor Radon/Thoron Levels and Inhalation Doses to Some Populations in Himachal Pradesh, India[J]. J Environ Monit, 2002, 4 (1): 162-165.
- [17] Malathi J, Selvasekarapandian S, Brahmennadhan G M, et al. Thoron Levels in the Dwellings of High Background Radiation Area Located Around Kudanlulam Nuclear Power Plant[J]. Atmos Environ, 2008, 42: 5 494-5 498.
- [18] Doi M, Kobayashi S, Fujimoto K. A Passive Measurement Technique for Characterization of High-Risk Houses in Japan due to Enhanced Levels of Indoor Radon and Thoron Concentration[J]. Radia Prot Dosim, 1992, 45: 425-430.
- [19] 肖德涛, 赵桂芝, 林祖滨, 等. 由  $^{220}\text{Rn}$  的暴露量估算  $^{220}\text{Rn}$  子体有效剂量方法的初步研究[J]. 辐射防护, 2004, 24(2): 100-109.
- [20] 尚 兵, 张 林, 陈 斌, 等. 中国部分地区  $^{220}\text{Rn}$  浓度的测量[J]. 中华预防医学杂志, 2000, 1(1): 19-24.
- [21] 屈争真, 郭秋菊, 孙全富. 关于室内  $^{220}\text{Rn}$  及其子体浓度的讨论[J]. 辐射防护, 2006, 26(6): 332-339.