

【论著】

# $^{220}\text{Rn}$ 浓度的测量及剂量学评价

郭秋菊

**【摘要】** 目的 了解环境中 $^{220}\text{Rn}$ 浓度的水平,对由于吸入 $^{220}\text{Rn}$ 子体所致剂量进行评价。方法 作者介绍了自行开发研制的被动式杯型 Rn-Tn 探测器及其主要特性,并利用这种探测器在日本中部地区进行了 3 年小规模室内氡-氡浓度等调查。结果 木质土墙房屋内 $^{220}\text{Rn}$ 浓度显著高于其他类型房屋,平均值为  $(160 \pm 12) \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。结论 在特定条件下,高氡环境的存在值得注意。

**【关键词】** 氡; 氡; 被动式杯型累积探测器; CN 径迹片; 建材; 剂量

Measurements of Thoron Concentration and Dose Assessment GUO Qiu-ju. Department of Technical Physics, Peking University, Beijing, 100871, China

**【Abstract】** **Objective** To probe the levels of thoron and radon concentrations in dwellings, and to evaluate the effective dose caused by the inhalation of thoron progeny. **Methods** A new type of passive integrating cup monitors was developed by using a 50 mm radius stainless steel hemisphere to measure indoor radon and thoron concentrations. **Results** The thoron concentrations are rather high in the dwellings with soil wall, and the mean thoron concentration was  $160 \pm 12 \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ . **Conclusions** The public exposure from the inhalation of thoron progeny may be high enough to pay attention for human health.

**【Key words】** Thoron; Radon; Passive Cup Monitor; Cellulose Nitrate Film; Building Materials; Dose

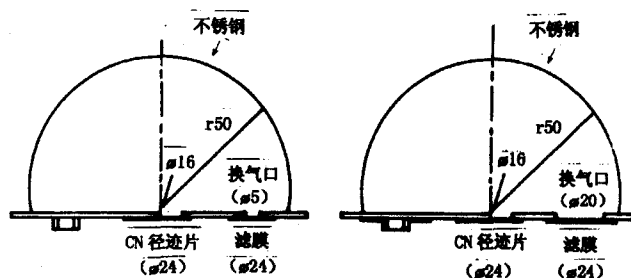
在人类所受天然辐射中, $^{222}\text{Rn}$  (氡) 及其子体所致剂量最大,约为  $1.2 \text{mSv/a}$ ,如表 1 所示,这一点已在联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 1993 年报告<sup>[1]</sup>中指出。表 1 中氡的同位素 $^{220}\text{Rn}$  (氡) 及其子体所致的剂量是  $0.07 \text{mSv/a}$ ,仅为氡的七分之一。与氡相比,氡的半衰期仅有  $55.6 \text{s}$ ,在环境中扩散或迁移的距离非常有限。因此,人们一般认为 $^{220}\text{Rn}$ 及其子体在环境中的水平较低,在剂量评价上意义不大。

表 1 天然辐射所致的年平均有效剂量 (UNSCEAR 1993)<sup>[1]</sup>

照射成分	年有效剂量 ( $\text{mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ )	
	正常本底地区	高本底地区
宇宙射线	0.38	2.0
宇生放射性核素	0.01	0.01
陆地辐射: 外照射	0.46	4.3
陆地辐射: 内照射 (氡除外)	0.23	0.6
陆地辐射: 氡及其子体内照射		
$^{222}\text{Rn}$ 的吸收	1.2	10.0
$^{220}\text{Rn}$ 的吸收	0.07	0.1
$^{222}\text{Rn}$ 的经口摄取	0.005	0.1
合计	2.4	-

## 1 材料和方法

在环境氡水平测量中,被动式固体径迹法 (solid state nuclear track detectors, SSNTD) 被广泛应用<sup>[2-4]</sup>。图 1 是我们开发的被动式累积型氡-氡探测器的结构示意图,其原理是:半圆形杯的底部开有空气换气口,杯外环境中的氡、氡射气通过滤膜扩散进入到杯内。在杯内,氡、氡及其子体衰变时放出的  $\alpha$  粒子被在杯底部内侧中心设置的硝酸纤维径迹片 (CN film, Kodak-pathe, LR115 type2) 收集,暴露完毕后对 CN 径迹片进行化学蚀刻处理,读取径迹密度。



(左: 氡探测器; 右: 氡探测器)

图 1 被动式累积型氡-氡探测器

如图所示,我们选择氡探测器的换气口直径为

作者单位: 北京大学技术物理系, 北京 100871

5.0 mm, 氡探测器为开有直径为 20 mm 的换气口 4 个。表 2 列出了探测器的基本特性。

表 2 探测器内外的氡-氡浓度比

探测器种类	换气口直径 (mm)	氡交换率 (h <sup>-1</sup> )	氡浓度比	氡浓度比
氡探测器	5.0×1	0.1566	0.954	0.0035
氡探测器	20×4	10.024	0.999	0.1822

从表 2 可以看出, 换气口直径为 5mm 的氡探测器不仅对杯外环境中氡浓度可以进行充分地测量, 同时只有 0.35% 的环境中的氡可以扩散进入杯内, 故可以认为氡对氡测量没有影响。而对于氡探测器, 18% 的环境中的氡能够扩散进入测量杯内。将这一组探测器同时放置于同一场所, 通过下式即可从测得的径迹密度分别求出暴露期间氡、氡的平均浓度。

$$Q_{Rn} = \frac{N_{Rn} - N_B}{CF_{RnA} \times T} \quad (1)$$

$$Q_{Tn} = \frac{N_{Tn} - N_{TnB}}{CF_{TnB} \times T} \quad (2)$$

表 3 不同建材房屋内的 Rn, Tn 浓度 (Bq·m<sup>-3</sup>)

次数	月份	氡			氡		
		木质土墙	钢筋水泥	新型建材	木质土墙	钢筋水泥	新型建材
1	2~5	12.9±2.4	18.2±3.7		124.0±36.2	25.8±5.9	
2	5~10	17.3±2.9	8.0±0.7		90.0±40.2	38.3±23.3	
3	10~1	30.2±5.1	20.5±2.5	18.4±2.1	257.2±87.1	61.4±17.7	15.4±5.9
4	2~5	41.0±4.9	35.2±5.9	35.0±2.6	210.4±37.7	37.0±12.1	25.5±7.3
5	6~9	19.1±3.4	15.4±5.6	9.2±1.5	169.7±32.0	65.3±13.6	17.1±6.1
6	9~12	26.0±1.9	18.9±7.2	14.2±4.7	231.4±54.6	34.4±9.1	8.7±3.0
7	12~3	31.8±6.8	33.5±8.3	20.9±4.0	122.0±51.0	26.0±13.1	38.9±12.5
8	3~6	14.1±1.6	26.9±2.1	16.3±2.6	102.4±69.4	34.0±4.2	13.6±11.2
9	6~9	8.1±1.8	19.0±7.7	13.3±3.7	142.0±39.0	33.7±18.0	12.0±5.2
10	10~1	16.6±3.2	11.7±0.6	19.5±9.5	169.6±48.6	17.0±12.0	37.4±26.5
平均		19.1±0.9	23.3±1.5	17.5±1.2	159.7±12.4	41.9±3.3	22.9±3.0

表 3 所示的测量结果表明, 本调查中室内氡浓度受所用建材类型的影响不大, 而氡浓度却与建材类型密切相关, 在三类建材中, 木质土墙的房屋内氡浓度最高, 其次是钢筋水泥和新建材的房屋。这是由于氡射气的半衰期很短, 仅有 55.6s, 墙壁内产生的氡射气散发到室内空气中的量与墙壁的空隙率, 即疏松程度有密切关系, 即墙壁的空隙率越大, 氡射气越容易从墙壁散发至室内。与之相比, 氡的半衰期较长, 为 3.82d, 散发到室内空气中的量受建材类型的影响较弱。

式 (1) 及 (2) 中,  $Q_{Rn}$ 、 $Q_{Tn}$  分别为环境中平均氡浓度和氡浓度 (Bq·m<sup>-3</sup>);  $N_{Rn}$ 、 $N_{Tn}$  分别为氡探测器和氡探测器径迹片的径迹密度 (tracks·cm<sup>-2</sup>);  $N_B$  为 CN 径迹片的本底径迹密度;  $CF_{RnA}$ 、 $CF_{TnB}$  分别是氡探测器对氡浓度的刻度系数和氡探测器对氡浓度的刻度系数 [tracks·cm<sup>-2</sup> (Bq·m<sup>-3</sup>·h<sup>-1</sup>)];  $T$  是暴露时间 (h)。实验得出氡探测器的刻度系数为  $CF_{RnA} = (2.15 \pm 0.119) \times 10^{-3} \text{ tracks} \cdot \text{cm}^{-2} (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h})^{-1}$ ; 氡的刻度系数为  $CF_{TnB} = 4.19 \times 10^{-4} \text{ tracks} \cdot \text{cm}^{-2} (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h})^{-1}$ 。

## 2 室内环境测量及结果

### 2.1 室内氡、氡浓度的测量

我们利用上述 Rn-Tn 探测器在日本中部地区进行了小规模的室内氡、氡浓度水平的调查。调查的房屋因建材不同分为木质土墙 (12 处)、钢筋水泥 (7 处) 和新建材 (如石棉材料, 防火材料等) 及其他 (7 处) 三大类, 共 26 处房屋。探测器放置位置统一为距离墙壁 20cm 的地方。表 3 列出了 1991 年 2 月~1994 年 1 月共 10 次测量的平均结果。

此外还可以从表 3 的测量结果中看出季节对氡浓度的影响。除了新建材的房屋以外, 可看出夏低、冬高的倾向。这可以解释为与冬季相比, 夏季湿度较大, 建材中含水率高, 从而导致氡散发率降低的结果。新建材的房屋从整体上讲氡浓度较低, 而且不少房屋的氡浓度在测量下限以下, 测量结果的高散度较大, 故没有观察到冬高夏低的倾向。

### 2.2 室内氡浓度的分布

鉴于氡的半衰期很短, 可以推测其室内分布会与氡的分布大不相同。为证实这一推测, 我们在氡浓度

较高的木质土墙的房屋 A 内对室内氡、氡浓度的分布进行了调查。将 Rn - Tn 探测器分别放置于距离土墙 10、20、40、60、80、100cm 的地方, 暴露时间为 3 个月。同时还用滤膜法对氡子体的室内分布进行了测量, 测量结果如图 2 所示。

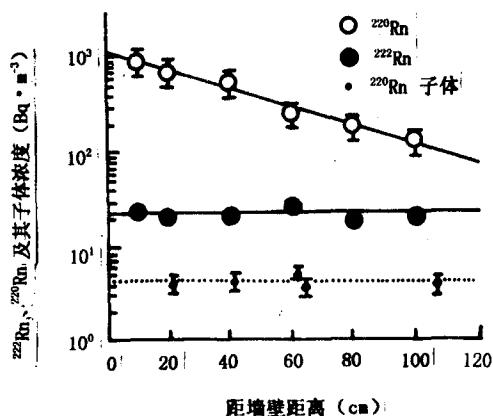


图 2 氡、氡及其子体浓度的室内分布

从图 2 中可以看出, 氡浓度及氡子体浓度不随距

离墙壁的距离变化而变化, 在室内呈均匀分布, 而氡浓度随距墙壁距离的增加呈指数系数形式递减。图 2 的结果与文献<sup>[5,6]</sup>相吻合, 这可以解释为氡的半衰期只有 55.6s, 在从墙壁向室内中央扩散的过程中很快地衰变、减少。这一结果提示我们, 在对室内氡浓度进行测量或比较时, 统一确定探测器距墙壁的放置距离是非常重要的。

### 2.3 剂量估算

根据前后 10 次测量结果, 按建材类别分类, 我们对氡、氡及其子体所致的剂量当量进行了估算, 结果列于表 4。根据文献<sup>[7]</sup>, 氡及氡浓度的换算系数分别为  $1.6\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3})$  和  $0.96\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3})$ ; 氡子体浓度(平衡当量氡浓度)及氡子体浓度(平衡当量氡浓度)的换算系数, 在呼吸率为  $0.8\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , 居留因子为 0.8 的假设条件下分别为  $70\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3})$  和  $280\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3})$ 。另外, 平衡当量氡浓度是实测氡浓度与平衡系数 0.4 的乘积; 平衡当量氡浓度则是通过回归分析所得  $C_{\text{TP}} = 0.015 \times Q_{(0.2)\text{m}}$  的相关系数计算求得的。式中  $C_{\text{TP}}$  和  $Q_{(0.2)\text{m}}$  分别为氡子体浓度和距墙壁 20cm 处的氡浓度。

表 4 氡、氡及其子体的年剂量评价

建筑材料	氡		氡子体		氡*		氡子体	
	浓度 ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )	年有效剂量 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )	浓度 ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )	年有效剂量 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )	浓度 ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )	年有效剂量 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )	浓度 ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )	年有效剂量 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ )
木质土墙	$19.1 \pm 0.9$	$34.4 \pm 1.6$	$7.64 \pm 0.36$	$530 \pm 30$	$159.7 \pm 12.4$	$153.3 \pm 11.3$	$2.42 \pm 0.19$	$670 \pm 50$
钢筋水泥	$23.3 \pm 1.5$	$41.9 \pm 2.7$	$9.32 \pm 0.06$	$650 \pm 40$	$41.9 \pm 3.3$	$40.2 \pm 3.2$	$0.63 \pm 0.05$	$180 \pm 10$
新型建材	$17.5 \pm 1.2$	$31.5 \pm 2.1$	$7.00 \pm 0.48$	$490 \pm 30$	$22.9 \pm 3.0$	$22.0 \pm 2.9$	$0.36 \pm 0.05$	$100 \pm 10$

注:\* 此处是距墙壁 20cm 处的氡浓度

我们的测量和推算表明, 在钢筋水泥和新建材的房屋内, 氡子体所致的年有效剂量很低, 分别为  $180$  和  $100\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ , 与 UNSCEAR 报告的数值相近; 但是, 木质土墙房屋内的氡子体所致的年有效剂量为  $0.67\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ , 高于 UNSCEAR 报告的数值, 接近氡子体所致的剂量。

上述研究虽然尚属小范围内的室内氡浓度调查, 但测量和推算结果表明, 氡及其子体所致剂量不仅是值得注意的, 而且在某些特定条件下, 还可能是相当高的。我们的研究还表明, 与氡相比, 氡与住宅类型有着更为密切的关系。

### 参 考 文 献

[1] 联合国原子辐射效应科学委员会. 电离辐射源与效应. 1993 年

报告书. 北京: 原子能出版社, 1993, 74.

[2] Alter HW, Fleischer RL. Passive integrating radon monitor for environmental monitoring. Health Phys, 1981, 40:693 - 702.  
 [3] Urban M, Piesch E. Low level environmental radon dosimetry with a passive track etch detector device. Radiat Prot Dosim, 1981, 1:97 - 109.  
 [4] Bartlett, DT. The performance of the NRPB radon personal dosimeter. Radiat Prot Dosim, 1986, 17:139 - 142.  
 [5] Iida T, Guo Q, Ikebe Y. Some problems on the measurement of  $^{222}\text{Rn}$  concentrations by passive cup method. Health Phys, 1995, 69: 508 - 511.  
 [6] Guo Q, Shimo M, Ikebe Y, et al. Study on Tn and Rn progeny concentrations of dwellings in Japan. Radiat Prot Dosim, 1992, 45:357 - 359.  
 [7] UNSCEAR. Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR Report 1988. New York, 1988.95.

(收稿日期: 2001 - 01 - 09)