

## 固体径迹探测器测定 Ra-Be 中子源的氡气泄漏

史永谦 陈凌

(中国原子能科学研究院反应堆工程技术研究所, 北京, 102413)

文章描述了利用固体径迹探测器测定中国原子能科学研究院 45<sup>#</sup> 建筑物内外氡的浓度。测定结果表明, 存放在建筑物大厅内的 Ra-Be 中子源有氡气泄漏。将测得的氡浓度与国内其他地区的结果进行比较, 并就氡泄漏对环境影响予以评价。

**关键词** Rn-泄漏 Ra-Be 中子源 固体径迹探测器

氡及其子体对人类健康影响愈来愈引起人们的关注。据美国环境保护局估计, 在美国, 每年有 1 万人的死因与室内氡气有关。氡辐射是引起肺癌的第二位原因, 每年造成 7000—30000 人死于肺癌。联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)1982 年估计, 每年由于吸入氡及其短寿命子体产生的辐射剂量约占人类遭受放射性内照射剂量的 40% 以上<sup>[1]</sup>。国际原子能机构和联合国教科文组织 1989 年召开 1 次国际性氡监测讨论会, 我国先后于 1990 年和 1991 年召开过 2 次全国测氡研讨会, 就氡对人体的辐射危害及对环境的影响予以研讨。中国原子能科学研究院 45<sup>#</sup> 建筑物大厅内存放着一活度约  $3.7 \times 10^9$  Bq 的 Ra-Be 中子源, 60 年代该源发生过泄漏, 曾进行过消漏处理。为再次检测其是否仍有氡泄漏, 利用固体径迹探测器对 45<sup>#</sup> 建筑物内外的氡浓度进行测量。将测量结果与国内氡抽样结果予以比较, 并就该源对环境的影响给予评价。

### 1 测量原理

环境氡的测量方法很多, 归纳起来大致分为两大类: 一类为瞬时监测法, 如双滤膜法、闪烁法、气球法、活性炭吸附解析法等; 另一类为累积监测法, 如活性炭能谱法、固体径迹法、热释光法等。

在估算空气中氡及子体对人群的辐射剂量时, 通常要求测量空气中氡及子体的平均浓度, 这就需要进行氡的累积测量。在累积测量中, 采用固体径迹探测器被公认优于其他方法。

本文采用 2 种系列的固体径迹探测器: 1 种为圆柱型, 由  $\phi 75$  mm、高 50 mm、厚 5 mm 有机玻璃扩散腔, 过滤膜和探测片组成(图 1), 扩散腔上部开口, 下部封死。开口用玻璃纤维材料封住作为过滤膜, 以防止氡的子体进入扩散腔, 影响探测结果; 另 1 类为意大利产的有准确刻度系数的塑料袋渗透取样器。2 种探测器的探测片均采用法国柯达公司生产的 LR-115 薄

收稿日期: 1993-08-02 收到修改稿日期: 1994-04-25

膜。在探测片的前面加1层20 μm厚的镀铝聚脂膜作为吸收体,以提高探测灵敏度。

一般说来,扩散腔或渗透取样器内氡浓度  $C_{Rn}$  通常由式(1)表示

$$C_{Rn} = C_{Rn}^{\circ} [1 - \exp(-t/\tau_m)] \quad (1)$$

式中:  $C_{Rn}^{\circ}$  为扩散腔(或取样器)外的氡浓度;  $\tau_m$  为扩散时间;  $t$  为探测时间。当  $t$  足够长时,  $C_{Rn} = C_{Rn}^{\circ}$ , 即扩散腔内外氡浓度相等。通常,  $t$  约为几十天,  $\tau_m$  约2 h, 与  $t$  相比,  $\tau_m$  对测量的影响可忽略。滤膜和聚乙烯塑料袋厚度不同, 氡的平均渗透时间则不尽相同。采用不同的探测片和蚀刻时间等条件, 探测器的探测效率也将各异。为此, 通常应用标准氡室对探测器进行校准, 以获得校准系数。

氡的平均浓度采用下式计算:

$$\bar{C}_{Rn} = \frac{N/A - B}{K \cdot t} \times 100 \quad (2)$$

其中:  $\bar{C}_{Rn}$  为氡的平均浓度,  $Bq \cdot m^{-3}$ ;  $N$  为探测片上的径迹计数;  $B$  为本底径迹密度,  $cm^{-2}$ ;  $A$  为径迹探测器的计数面积,  $cm^2$ ;  $K$  为校准系数,  $cm^{-2}/(kBq \cdot h \cdot m^{-3})$ ;  $t$  为监测时间, h。

## 2 测点布置及测量结果

Ra-Be 中子源存放在 45<sup>#</sup> 大厅内的一个孔洞内, 洞口与大厅二楼地面处于同 1 个水平面, 孔深约 2.5 m。源装在 1 根铝管的下端。在孔口及周围布置若干个测点, 测量氡浓度分布。在大厅所在建筑物的一楼、二楼实验室和办公室中布置 9 个测点, 在建筑物外面 2 棵树上布置 2 个测点。大厅中测点布置示于图 2。

监测时间长至 221 d, 短至 56 d。布放在洞口的探测器因外包皮损坏, 给测量结果带来了不确定性, 随后又将 Ra-Be 源放在大厅地面上的支架上, 在离源 10 cm 处放置 1 个探测器, 同时将另 1 个探测器吊入原孔洞中。这 2 种情况下的氡浓度均较高, 监测时间  $t$  缩短为 29 h。

探测器经辐照后, 将探测片在 60℃ 水浴锅内, 用  $2.5 \text{ mol} \cdot l^{-1}$  的 NaOH 溶液蚀刻, 蚀刻 110 min 后, 取出冲洗、晾干, 在火花计数器上计数。从测得的总径迹数中扣除本底径迹数, 按式(2)计算出各测点的氡浓度。计算中所用圆柱形探测器和塑料袋探测器的校准系数分别为 88% 和 61%<sup>[5]</sup>。

测得的大厅内氡浓度分布列于表 1。

大厅所在建筑物内、外各测点的浓度分布列于表 2。各测点位置分别为: 1<sup>#</sup>——大厅北二楼实验室; 2<sup>#</sup>——大厅东南二楼实验室; 3<sup>#</sup>——大厅中吊放物件窗口下; 4<sup>#</sup>——大厅西北一楼办公室; 5<sup>#</sup>——大厅东一楼办公室; 6<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>——分别为建筑大楼外的柏树、杨树上。

作为对比, 国内部分城市氡浓度的测量结果列于表 3。

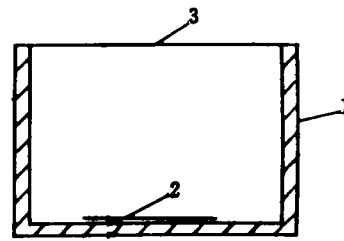


图1 圆柱型探测器

Fig. 1 Detector of cylinder type  
1——扩散腔; 2——探测片; 3——过滤膜。

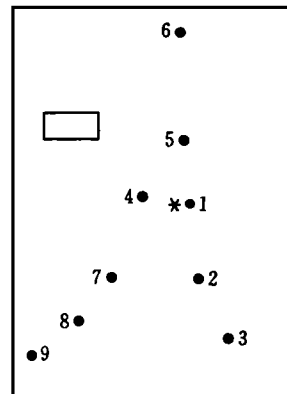


图2 大厅内测点布置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of disposition measured position in the hall

□——吊放物件窗口; \*——Ra-Be源; •——测量点。

表1 45#大厅内的氡浓度

Table 1 Rn concentration of measured position in the hall

测点序号	水平距离 <sup>1)</sup> /m	高度 <sup>2)</sup> /m	$\bar{C}_{Rn}/Bq \cdot m^{-3}$
1	0	0	1300—4000
2	3.1	1.4	181
3	9.8	2.9	122
4	0.4	0	117
5	4	1.5	90
6	18	3.5	61
7	4	0	86
8	7	0	56
9	11	0	120

1)源与孔洞口间的水平距离

2)测点与大厅地面间的垂直距离

表2 建筑物内外氡浓度

Table 2 Rn concentration inside and outside of the building

测点号	$\bar{C}_{Rn}/Bq \cdot m^{-3}$	测点号	$\bar{C}_{Rn}/Bq \cdot m^{-3}$
1	33	5	30
2	53	6	10
3	23	7	11
4	60		

表3 国内部分地区的氡浓度

Table 3 Rn concentration in some areas of our country

地区	$\bar{C}_{Rn}/Bq \cdot m^{-3}$
上海 <sup>[2]</sup>	17.2 ± 3.3(一般实验室)      5.7 ± 1.4(公园)
哈尔滨 <sup>[3]</sup>	73.1 ± 37.1(室内)      20.0 ± 4.2(室外)
延安 <sup>[3]</sup>	34.8 ± 20.4(室内)      12.5 ± 2.1(室外)
湖南 <sup>[4]</sup>	17.2 ± 4.4(用煤厨房)      8.3 ± 3.7(室外)

Ra-Be 源放在大厅地面支架上,距源 10 cm 处,测得氡浓度  $\bar{C}_{Rn}$  为  $6000 Bq \cdot m^{-3}$ ,吊入放源的孔洞内为  $1000 Bq \cdot m^{-3}$ 。可见这 2 个测点处氡浓度显著增高。

### 3 讨论

本文所用圆柱形固体径迹探测器的校准系数采用衡阳核工业六院的标准氡室。将此种探测器与意大利产探测器和国内累积方法测得的氡浓度进行比对。比对结果表明,测量结果的一致性和准确性均较好<sup>[5]</sup>。可见本工作的测量结果是可靠的。在距源 10 cm 处测量的结果显著偏高,由此证实此源有氡泄漏,以源为中心,氡浓度呈递减梯度分布。

2#、3# 测点氡浓度较高,这可能是由于 3# 点位于大厅排风口处。9# 点位于大厅西南墙角处,该点氡浓度比它所在方向上的其他测点均高。大厅内氡浓度的上述分布是合乎规律的。大厅 2 楼北的 1# 测点布于一般实验室,与大厅内 6# 测点只一墙之隔,其氡浓度应低于 6# 测

点。2<sup>#</sup>点位于放射性实验室内,氡浓度较高。4<sup>#</sup>位氡浓度相对较高,可能是由于通风不好造成的。其他测点氡浓度与表3给出的国内部分城市室内外环境氡浓度相符合。综上所述,Ra-Be源的泄漏对周围环境的影响不大。另外,根据GB-4792-84规定,当长期持续受到电离辐射时,个人在其一生中遭受的全身照射,年剂量当量限值应不高于1 mSv,对应于氡辐射,建筑物内平均氡浓度限值应不高于33 Bq·m<sup>-3</sup>。本文结果表明,除一个办公室和实验室外,建筑物内其他各处氡浓度均低于此值。若将Ra-Be中子源移走或将其泄漏消除掉,环境氡浓度将会降低。

### 参 考 文 献

- 1 UNSCEAR. Ionising Radiation: Source and Biological Effects: Report to the General Assembly With Annexes. New York: United Nations, 1982. 141—210.
- 2 庞德聆,马国才,周智新. CSR环境氡监测器. 第四届全国固体径迹探测器论文集. 上海, 1990, 10.
- 3 施锦华,陈昌华. CSR氡探测器在我国部分城市氡气测量中的应用. 核技术, 1991, 14(7):400.
- 4 张政国,张亮,李纯秀. 采用CSR氡探测器测量环境和不同类型建筑物内氡水平的调查研究. 第四届全国固体径迹探测器论文集. 上海, 1990, 10.
- 5 陈凌,张怀钦,朱天成. 固体径迹探测器和火花计数器在氡监测上的应用. 原子能科学技术, 1993, (1): 66.

## DETERMINATION OF Rn GAS LEAK OF Ra-Be NEUTRON SOURCE BY SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTOR (SSNTD)

SHI YONGQIAN CHEN LING

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing, 102413)

### ABSTRACT

The Rn concentration is measured by SSNTD inside and outside of the hall of 45<sup>#</sup> building in China Institute of Atomic Energy. The results of determination show that Rn gas of Ra-Be neutron source has been leaked into the hall. The paper gives environment evaluation and comparison with Rn concentration of other areas in our country.

**Key words** Rn-leak Ra-Be neutron source SSNTD