

我国东南沿海城市地下建筑氡浓度分布

李晓燕^{1,2}, 王燕^{1,2}, 郑宝山¹, 王学¹

(1. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 为了解东南沿海城市地下建筑氡浓度的分布, 用固体核径迹法(SSNTD's), 分别在春、夏、冬3季对沿海7城市地下建筑室内氡浓度进行调查。结果表明, 福州具有最高的平均氡浓度, 上海的平均氡浓度最低。季节的变化对地下建筑室内氡浓度有影响, 各城市氡浓度平均值夏季最高、冬季最低。各城市夏季氡浓度与该城市的年均值的比值与城市中各测点氡浓度之间的离散度有一定的相关性。夏季地下建筑室内氡浓度高的城市, 它的平均氡浓度受某些具有高氡水平测点的影响大。

关键词: 氡; 地下建筑; 固体核径迹法; 标准偏差; 沿海城市

中图分类号: X125; X508

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2006)05-0635-06

Distribution of Radon Concentrations in Underground Buildings in Coastal Cities in China

LI Xiao-yan^{1,2}, WANG Yan^{1,2}, ZHENG Bao-shan¹, WANG Xue¹

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: The radon concentrations in underground buildings in some coastal cities were surveyed by using solid state nuclear track detector (SSNTD's) CR-39. The results show that Fuzhou has the highest radon concentration and Shanghai has the lowest. The radon concentration has seasonal variation, and the highest radon concentration appears in summer and the lowest appears in winter. In summer, the ratio of the radon concentration to that in a whole year has better relation with its relative standard deviation, so the higher the radon concentration of a city is, the more influence by the higher radon concentration cities it gets.

Key words: radon; underground buildings; SSNTD's; standard deviation; coastal cities

氡(²²²Rn)是一种放射性气体, 由放射性核素镭衰变形成。在人类受到的整个天然本底辐射剂量中, 有50%以上来自氡及其子体的照射^[1]。在长期高浓度暴露下, 氡及其子体的照

射可诱发肺癌^[2], 氡的暴露量越大, 肺癌的发病率就越高^[3]。在人类生活环境中, 氡主要源于地下土壤和室内建筑材料, 而与土壤相连的地下室和地下空间氡水平最高^[4]。在我国, 随着

人口的增长和经济的发展,越来越多的地下建筑用作生活、工作场所,因而,地下建筑内氡及其子体对人的照射引起广泛的关注,各地区地下空间氡浓度调查及人受照射评价屡有报道^[5-7]。

我国东南沿海分布着大量的富铀花岗岩,土壤中放射性核素浓度偏高^[8],装修石材又以花岗岩为主,因此,这些城市空气中氡浓度早已引起人们的广泛关注^[9-11]。同时,这些城市经济相对发达,外来人口相对密集,从而对地下建筑的利用比其它城市更为广泛。因此,调查这些城市地下建筑内的氡浓度分布并弄清其季节分布特点,可为制定降氡防氡措施提供理论依据。

1 选点原则

结合城市辐射本底高及地下建筑使用量大两个特点,选取汕头、厦门、泉州、福州、温州、宁波、上海7城市作为调查城市。

地下建筑类型很多,在调查中,将地下建筑分为如下4类。

- 1) 建在山体里的坑道,包括过去挖的防空洞和现在开发的山体娱乐场所。使用中的坑道,通风状况良好,未使用的坑道常年关闭,通风差。
- 2) 掘进式干道,一般未使用,关闭,通风差。
- 3) 高层建筑地下室及掘开式工程,使用情况有两类:一类作为办公室使用,通风状况良好,而另一类闲置,通风差。掘开式工程主要指地下超市。
- 4) 地下停车场,通风状况均较好。

根据建筑类型及其用途的不同,在每个城市选取约10个点进行氡浓度测量,并保证在各种类型的测点均放有平行样。

2 测量方法

本工作采用固体核径迹法(SSNTD's)测量氡。此方法是目前国内外最先进的环境累积测氡法,它克服了氡浓度因气象、昼夜等因素带来的影响,使所测结果能较真实地代表所测点测量期间氡浓度平均水平。测量时,将探测片固定在探测杯底部,杯面覆盖一层塑料薄膜以

滤掉氦子体,用齿状压环固定,盖上杯盖,悬挂在地下建筑内选定的地点。氡气扩散到杯内,衰变产生的 α 粒子打在探测片上,产生亚微观径迹。悬挂一段时间后,将此探测片取出,在一定条件下进行化学蚀刻,扩大损伤径迹,用显微镜进行计数。单位面积上的径迹数与氡浓度和暴露时间的乘积成正比。利用刻度系数可将径迹密度换算成氡浓度。

探测片采用国产CR-39片(烯丙基二甘醇碳酸酯)。规格为 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$,由南华大学核科学技术学院氡研究室刻度,刻度系数为 $4.218\text{ cm}^{-2} \cdot \text{kBq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。

测量时间为2003—2004年。每季测量期间,探测杯均在测点悬挂约3个月,其中,春季3—5月,夏季6—8月,冬季12—次年2月。样本片取回后用 7 mol/L KOH 在 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 下蚀刻6h(蚀刻条件预先确定),之后,取出CR-39片,洗净晾干,用光学显微镜读数。

探测片本底较高,取置信度 $\alpha=5.0\%$,本底径迹数为 107 cm^{-2} 。以3个月挂片时间计算,探测下限为 $8.7\text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,略微偏高,但尚能满足本次调查的要求。

3季共做36个平行样,变异系数小于20%。

3 结果与分析

3.1 各城市氡浓度分布

调查初始,每个城市选取约10个地下建筑工程进行监测。因测量时间较长,部分探测片丢失,所以,部分城市某些点的3季数据不全。为便于比较,剔除数据不全的点,只选取春、夏、冬3季数据齐全的点进行分析。

表1所列各城市数据齐全的测点总数及建筑类型分布。可见,上海、宁波两城市所测地下建筑以地下室居多,而福州、厦门、温州以坑道居多,其中,福州所有测点均为花岗岩山体坑道。表1中未使用的测点是指各城市未投入使用而常年关闭、通风较差的地下建筑的个数。福州通风较差的地下建筑最多,占测点总数的30%。

表2所列各城市春、夏、冬3季的氡浓度分布状况。

表 1 城市各类型地下建筑测点数

Table 1 Number of sites of different type underground buildings in cities

城市	坑道	地下室等	停车场	干道	总测点	未使用的测点
上海		6	2		8	1
宁波	1	7	1	1	10	1
温州	5	3	1		9	
福州	16				16	5
泉州	1	1		1	3	
厦门	10			1	11	1
汕头	4	6	1	1	12	1

表 2 氡浓度范围、平均值及标准偏差

Table 2 Average radon concentration, range and standard deviation

城市	氡浓度/(Bq·m ⁻³)					
	春季		夏季		冬季	
	范围	平均值及标准差	范围	平均值及标准差	范围	平均值及标准差
上海	75.0~198	110±47.2	17.4~142	59.6±59.2	21.5~78.9	49.7±23.0
宁波	44.0~303	100±83.0	20.2~1 431	203±435	19.4~123	56.6±32.9
温州	61.4~534	166±154	27.6~1 035	261±329	29.0~349	109±110
福州	94.2~2 704	728±751	16.5~2 992	924±1 106	76.6~1 750	492±555
泉州	70.5~140	100±35.6	39.3~378	157±191	77.1~86.8	83.3±5.4
厦门	35.0~699	174±191	23.8~533	147±154	35.4~263	125±77.4
汕头	32.8~372	187±160	47.4~700	255±245	39.3~776	143±204

从表 2 可看出,多数城市地下建筑各测点氡浓度变化很大。这是因为,测点建筑虽位于同一城市,但建筑物之间的具体情况相差很大。首先,各城市的地下建筑有多种建筑类型,如坑道、地下室等,即各不相同的地质背景是影响地下建筑室内氡浓度的主要因素。另外,具有相同地质背景的建筑也因室内被覆程度和被覆材料以及通风状况的不同而引起室内氡浓度相差很大^[12]。如福州的 16 个测点,虽然都建在花岗岩山体里,但有些工程装修被覆很好,且常年机械通风,另外一些工程则处在花岗岩裸露地段,且不经常通风,与外界空气流动很少,这就形成了一高一低两个数据群。所以,这个城市的地下建筑氡浓度标准偏差最大。

福州的 16 个测点均为山体坑道。在春、夏、氡 3 季,福州的地下建筑氡浓度明显高于其它城市。以夏季为例,在 16 个测点中,大于 800 Bq·m⁻³ 的有 6 个,最高的为 2 992 Bq·m⁻³,

如果平衡因子取为 0.5,则这 6 个工程的室内氡浓度均超过了国家规定的有关标准^[13]。除福州外,氡浓度相对较高的城市还有温州、厦门、汕头,且这几个城市的测点中属于坑道的地下建筑均较多。因此,城市的测点中坑道越多,或关闭、不通风的坑道越多,该城市的地下建筑氡浓度越高。

另外,春、夏、冬 3 季,上海地区地下建筑氡浓度及其标准偏差均相对较低。原因是,上海属于长江中下游冲击平原,本不具备氡高的地理因素^[14],加上大部分测点为人员频繁活动地带,通风较好,所以,氡浓度相对较低。上海的测点建筑类型较为单一,8 个测点中有 6 个地下室,2 个停车场。从建筑类型来看,停车场也可划为地下室,只不过因其用途单一、通风状况良好而单独列出。因此,该城市地下建筑的氡浓度标准偏差也相对较低。

3.2 氡浓度季节分布特点

将各城市 3 季的氡浓度值平均作为其年均值,然后将 3 季的氡浓度值除该城市的年均值,得到春、夏、冬 3 季氡浓度与年均值的比值 R_1 、 R_2 、 R_3 (表 3)。各城市 3 季的 R 比值和相对标准偏差的相关性示于图 1。

从各城市 3 季的 R 值和相对标准偏差来

看,除上海春季外,其它城市春季氡浓度与年均值的比值 R_1 接近 1,冬季氡浓度与年均值的比值 R_3 小于 1,3 季中夏季的氡浓度与年均值的比值最高。这说明,从现有数据来看,所测城市的地下建筑平均氡浓度具有夏季高、冬季低、春季接近年均值的特点。

表 3 氡浓度比值及相对标准偏差

Table 3 Radon concentration ratio and its relative standard deviation

城市	春季		夏季		冬季	
	R_1	RSD	R_2	RSD	R_3	RSD
上海	1.5	0.4	0.8	1.0	0.7	0.5
宁波	0.8	0.8	1.7	2.1	0.5	0.6
温州	0.9	0.9	1.5	1.3	0.6	1.0
福州	1.0	1.1	1.3	1.2	0.7	1.1
泉州	0.9	0.3	1.4	1.2	0.7	0.1
厦门	1.2	1.1	1.0	1.1	0.8	0.6
汕头	1.0	0.9	1.3	1.0	0.7	1.4
	(1.0)	(0.8)	(1.3)	(1.3)	(0.7)	(0.8)

注:表中括号内为其平均值

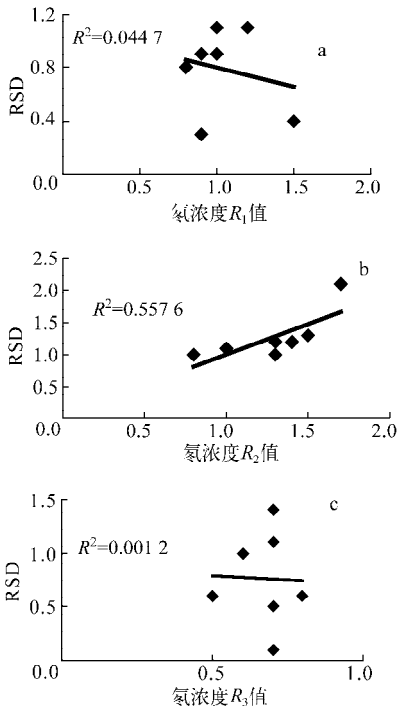


图 1 春、夏、冬 3 季的氡浓度 R 值与 RSD 的相关性

Fig. 1 Relativity of R values and RSD

in spring, summer, winter

a— R_1 ; b— R_2 ; c— R_3

对于某一特定的城市,城市中各测点经历着同样的季节变化,从理论上讲,各测点春、夏、冬 3 季氡浓度的离散度应趋于一致,即相对标准偏差变化不大。但从表 2 可知,各城市都具有夏天氡浓度相对标准偏差最高的特点。这说明,在某一城市中,各测点夏季氡浓度之间的离散度大于其它两季氡浓度的离散度。从图 1b 可见,RSD 与 R_2 之间具有一定的相关性($N=7$,95%置信区间, ρ 临界值为 0.66),即城市平均氡浓度值越高,氡浓度之间的离散度越大。这说明,夏季氡浓度越高的城市受个别具有高氡浓度的测点的影响越大。从各城市各个测点 3 季的氡浓度数据来看,尽管各城市的大多数测点夏季氡浓度均高于春季和冬季,但也有某些测点因人员来往频繁、通风状况好,其夏季氡浓度低于春季或冬季,只是低的幅度小,高的幅度大,因而各城市夏季平均氡浓度高于其它两季。

从图 1a 和 c 可看到,RSD 与 R_1 和 RSD 与 R_3 之间的相关性极低,这表明,在春、冬两季,特别是在冬季,尽管各城市氡浓度的相对标准

偏差在 0.1~1.4 之间变动,但氡浓度与年均值的比值却趋于稳定,基本接近 0.7。

通过对春、夏、冬 3 季 R 和 RSD 的比较可推断,即使在同一城市,不同测点的氡浓度受季节变化的影响皆不同。但对某一城市来说,各测点氡浓度的变化以冬季最小,春季次之,夏季最大。

3.3 气候对季节分布特点的影响

所测城市气候特点为亚热带海洋性气候,气温的年变化和日变化小,冬暖夏凉;降水日数多、强度小,降水量的季节分布比较均匀;多云雾天气,湿度大。为确定是否由这种气候引起氡的季节性分布,本工作在测量期间同时选取内陆城市南昌作为对比城市。该城市 9 个测点三季的氡浓度平均值春季为 $119 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,夏季为 $161 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,冬季为 $89.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,与上述 7 城市具有同样的季节分布。另外,同期对贵阳、济南等内陆城市夏冬两季的地下建筑氡浓度调查的数据也明显反映出夏季城市平均地下建筑氡浓度高于冬季(贵阳、济南夏冬季氡浓度分别为 $397, 588, 65.5, 99.7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)。这说明,地下建筑氡浓度的季节性分布并非为海洋性气候城市所独有。

地下建筑氡浓度的这种季节分布特征主要是由不同季节室内外温差和压差的不同所引起。根据李彬等^[15]的研究,冬季气压压差小,洞内气温高于洞外,洞外冷空气进入洞内,对洞内氡及其子体产生了稀释效应,故氡浓度水平低;而夏季则相反,气压压差大,洞内空气相对停滞,利于氡及其子体的聚集,故氡浓度水平高。上海市被测工程基本上是地下室和掘开式广场,其间人员来往频繁,夏季通风比其它两季更好,因而其氡浓度水平不高。

4 结论

1) 在所调查的 7 城市中,福州市具有最高的地下建筑平均氡浓度,上海地下建筑平均氡浓度最低。

2) 季节的变化对测点氡浓度有影响,其中,夏季影响最大。各城市平均地下建筑氡浓度以夏季最高,冬季最低。

3) 各城市夏季氡浓度与年均值的比值和该城市氡浓度的相对标准偏差呈现良好的相关

性,即城市的平均氡浓度越高,城市各测点之间氡浓度的离散性越大。夏季地下建筑氡浓度越高的城市,它的平均氡浓度受某些具有高氡水平测点的影响越大。

参考文献:

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Ionizing radiation: Sources, effects and risks of ionizing radiation [R]. New York: General Assembly With Annexes, 1988.
- [2] MILES J. Development of maps of radon-prone areas using radon measurements in houses [J]. Journal of Hazardous Materials, 1988, 61: 53-58.
- [3] 杨文塔, 杨磊, 卢玉峰, 等. 用固体核径迹法测定地下场所²²²Rn 水平 [J]. 中国辐射卫生, 1999, 8 (2): 93.
YANG Wenjie, YANG Lei, LU Yufeng, et al. Measuring ²²²Rn level in underground space by SSNTD's [J]. Chin J Health, 1999, 8(2): 93 (in Chinese).
- [4] ANASTASIOU T, TSERTOSA H, CHRISTOFIDES S, et al. Indoor radon(²²²Rn) concentration measurements in Cyprus using high-sensitivity portable detectors [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2003, 68: 159-169.
- [5] 孟繁卿, 丁华光, 阳顺勤, 等. 河南省地下建筑内氡及其子体浓度与内剂量评价 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 1991, 11(2): 113-115.
MENG Fanqing, DING Huaguang, YANG Shunqin, et al. Measuring radon and its daughters and evaluating effective dose by radon in underground buildings in Henan Province [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 1991, 11(2): 113-115 (in Chinese).
- [6] 于水, 王功鹏, 骆亿生, 等. 部分住宅和地下空间氡浓度的监测及防护措施研究 [J]. 辐射防护, 1999, 19(3): 195-199.
YU Shui, WANG Gongpeng, LUO Yisheng et al. Survey of radon concentration and mitigation techniques in some dwellings and galleries [J]. Radiation Protection, 1999, 19(3): 195-199 (in Chinese).
- [7] 杜杰, 李蓉, 高淑萍. 17 条坑道氡水平监测与分析 [J]. 解放军预防医学杂志. 2004, 22(2): 143.
DU Jie, LI Rong, GAO Shuping. Monitoring and analysis of radon in 17 tunnels [J]. Journal of

- Preventive Medicine of Chinese People's Liberation Army, 2004, 22(2): 143 (in Chinese).
- [8] 张淑蓉, 潘京全, 李允兴, 等. 我国土壤中放射性核素水平及分布[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1988, 8(增刊): 11-15.
ZHANG Shurong, PAN Jingquan, LI Yunxing, et al. Levels and distribution of radionuclides in soil in China[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 1988, 8 (Suppl): 11-15 (in Chinese).
- [9] 林丹, 赵时敏, 陈文瑛, 等. 福州市部分住房室内放射性水平检测结果[J]. 海峡预防医学杂志, 2001, 7(2): 52.
LIN Dan, ZHAO Shimin, CHEN Wenyong, et al. The monitor result of radioactive level in parts of dwellings in Fuzhou city[J]. Strait J Prev Med, 2001, 7(2): 52 (in Chinese).
- [10] 陈爱书, 邢宗祥. 汕头市环境中氡钍水平及所致居民剂量的分析[J]. 职业医学, 1999, 26(2): 20-22.
CHEN Aishu, XIN Zhongxiang. Level of radon and thoron and their population dose in environment of Shantou city[J]. Occupational Medicine, 1999, 26(2): 20-22 (in Chinese).
- [11] 戈立新, 汪名侠, 李传琛. 上海地区空气中氡水平的调查[J]. 辐射防护, 2002, 22(4): 246-252.
GE Lixin, WANG Mingxia, LI Chuancheng. Investigation of radon level in air of Shanghai[J]. Radiation Protection, 2002, 22(4): 246-252 (in Chinese).
- [12] 李晓燕, 王燕, 郑宝山, 等. 我国东南四省人防工程内氡的调查[J]. 地球与环境, 2004, 32(3-4): 67-71.
LI Xiaoyan, WANG Yan, ZHENG Baoshan, et al. A survey on air radon level in underground spaces in four provinces of southeast China[J]. Earth and Environment, 2004, 32(3-4): 67-71 (in Chinese).
- [13] GB/T 17216—1998, 人防工程平时使用环境卫生标准[S].
- [14] 吴水龙, 张玉庆, 朱永康, 等. 上海地区土壤中天然放射性核素含量及其所致居民剂量[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1988, 8(增刊): 46-50.
WU Shuilong, ZHANG Yuqing, ZHU Yongkang, et al. The concentration and distribution of radionuclides in soil in Shanghai area[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 1988, 8(Suppl): 46-50 (in Chinese).
- [15] 李彬, 林玉石, 徐胜友. 桂、湘某些岩溶洞穴氡及其子体分布特征的初步研究[J]. 中国岩溶, 1995, (4): 345-351.
LI Bin, LIN Yushui, XU Shengyou. A preliminary study of radon in the caves of Guangxi and Hunan, China[J]. Carsologica Sinica, 1995, (4): 345-351 (in Chinese).