

中国高本底城市的土壤氡水平及分布

王南萍^{1,2}, 肖磊^{1,2}, 李灿苹^{1,2}

(1. 中国地质大学 地球物理与信息技术学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学 地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要:在广东珠海地区采用便携式半导体测氡仪进行了大比例尺土壤氡浓度调查, 测点数469个, 面积大于100 km²。珠海地区地下0.6 m处的平均土壤氡浓度为 55.94 ± 58.54 kBq/m³, 其中在珠海斗门的第四纪沉积物地区、沉积物和风化花岗岩混合地区, 以及风化花岗岩地区的土壤氡浓度分别是 7.14 ± 8.75 , 37.64 ± 25.92 和 151.25 ± 196.23 kBq/m³。高氡潜势区主要分布在黑云母花岗岩、风化花岗岩地区 and 新的工业开发区, 且表现出与当地岩性密切相关。城市化和工业化改变了原有的天然辐射背景。珠海市区的平均土壤氡浓度分别为广州、泉州和晋江市平均值的8.3倍和15倍。研究结果表明: 珠海是一个氡潜势较高的区域, 需要进一步开展辐射防护目的的氡测量。

关键词: 土壤气; 氡; 半导体测氡仪; 高本底; 珠海

中图分类号: P631.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2012)04-0646-05

世界上许多国家和广大公众对室内氡的问题极为关注, 长期受到较高氡浓度的照射, 会导致肺癌发病几率的增加。联合国原子能效应委员会2006年报告指出: 公众(居民)终生长期受到100 Bq/m³ 氡照射的超额危险为0.16^[1]。由于地面一层建筑的室内氡主要来自于土壤和建筑材料, 土壤氡浓度是环境氡评价的重要参数。土壤氡测量是采用氡测量方法直接在现场测定土壤气体中氡浓度的方法, 近年来德国和捷克先后开展了基于土壤氡浓度和土壤渗透率参数的氡填图工作^[2-3]。为了绘制显示室内氡浓度大于148 Bq/m³ 的区域所占比率的氡地质图, 美国在纽约州进行了大约51 000个地下室室内氡筛查测量和6 500个长期的室内氡测量, 并研究了室内氡浓度与地表地质背景的关系。纽约市各社区室内氡几何平均浓度和平均标准偏差都使用统计方法结合地表地质与测量数据的关系进行估计。在212个拥有30个以上室内氡测量数据的社区中, 有超过50%的房屋氡浓度大于148 Bq/m³。长期生活区域氡风险的估计结果与先前的随机调查结果比较, 误差在20%以内, 这说明氡地质图可以有效评价住宅区域的氡辐射水平^[4]。因此, 土壤氡浓度是国家尺度氡填图的一个重要参数, 对室内氡风险评价有重要意义。

珠海地区是中国的一个高本底地区, 室内外空

气伽马吸收剂量率的比值高达1.43^[5], 室内平衡氡浓度为 52.9 ± 39.1 Bq/m³^[6], 是世界平均值(平衡氡浓度为16 Bq/m³)的3倍^[7]。但有学者在珠海测到较高浓度的室内氡, 他们采用CR-39方法在珠海地区作了261个测点的室内氡调查, 变化范围为18~980 Bq/m³, 地下水中氡浓度达1 638 Bq/L^[8-9]。该地区土壤中的放射性核素比活度浓度较高, 用现场伽马能谱方法实测土壤或水泥路面的⁴⁰K、²³⁸U、²³²Th的放射性比活度分别为 655 ± 338 、 85.8 ± 31.6 和 159.8 ± 49.0 Bq/kg^[10]。近年来中国部分城市开展了小面积的土壤氡测量与评价工作^[11-17], 但结合地区特点和地质背景的氡评价工作做得很少。

2002~2003年, 我们采用便携式硅半导体测氡仪(α 谱仪)在中国的南方广东省珠海市进行了大比例尺土壤氡调查, 采样点469个, 测量面积约100 km²。该项目得到国家自然科学基金和中国地质调查局资助。

1 地质概况

珠江三角洲是晚第四纪形成的亚热带河潮混控多源复合的湾内充填三角洲。地貌特征是残丘—侵蚀台地—冲积平原。残丘从几十米到几百米。珠海测区地质结构相对比较简单, 出露的主要岩性有: 主要形成于燕山中、晚期的晚侏罗世黑云母花岗岩、早

白垩世黑云母花岗岩和第四纪沉积物(主要类型有粗砂、中细砂、细砂或粉砂质砂,以及粉砂质黏土—黏土),还零星分布着寒武世的长石石英砂岩、泥盆世和白垩世的砂岩和页岩等。断层不发育。珠海整个城市坐落于花岗岩岩体及其风化堆积产物之上。

珠海地处北回归线以南,属亚热带海洋性季风气候。年平均气温为 22.2℃,空气相对湿度较大,平均相对湿度为 79% RH。

2 仪器与方法

2.1 仪器

本次土壤氡浓度调查中采用的是上海生产的 FD-3017 镭 A 测氡仪。该仪器为静电式半导体测氡仪,由取气装置、手动抽气筒和一个硅半导体测氡仪组成。抽气筒为氡的衰变腔,体积为 1.5 L,抽气筒上有一加高压装置,直径为 35 mm 的采样铝片放入高压装置内,2 800 V 负高压加在铝片上。土壤气体通过取气装置、除湿硅胶管(体积 50 mL,充有粒径为 2 mm 的硅胶)后进入抽筒衰变腔。土壤气体中的氡在衰变腔内衰变为²¹⁸Po 粒子并沉积在铝片上。在铝片收集²¹⁸Po 粒子 3 min 后,铝片被插入测氡仪的 α 谱仪中测量²¹⁸Po 粒子放出的 α 射线,测量时间 3 min。土壤氡浓度依据积分计数计算。土壤测氡仪使用前(FD-3017)在南华大学氡室刻度^[18],其刻度因子用

$$J = A_{Rn}/n \tag{1}$$

计算,式中:J 是刻度因子,(Bq/m³)/(cp·3min)(每 3 min 的计数);A_{Rn}是氡室的氡浓度,Bq/L;n 是平均每 3 min 的计数。

2.2 土壤氡浓度测量

土壤氡调查中采用不规则测网,测量深度 0.6 m。在每一个测点上,采用手持式 GPS 定位,定位误差约 ±15 m,点距为 50~150 m,线距为 2 000 m。测点通常选择在放射性相对均匀且平坦的地方。在珠海市区,测点只能布置在沿大街的草坪上,剖面线的距离和点距不相等,一般而言,一个测点测量一次。土壤氡浓度用公式(1)计算,式中 J 已知,A_{Rn}则是测点处的土壤氡浓度。

3 调查结果与分析

3.1 土壤氡浓度测量

珠海土壤氡调查的面积大约为 100 km²,2002 年 10~12 月测量(测点数 154),2003 年重复测量(测点数 103)。表 1 为土壤氡浓度的统计结果。

表 1 统计结果表明:珠海和斗门地区的土壤氡浓度为对数正态分布,数学平均值与几何平均值有较大差异。珠海市区的平均土壤氡浓度为 55.94 ± 35.17 kBq/m³,为较高放射性水平地区。在斗门测区的风化花岗岩(WG)覆盖地区观测到土壤氡异常值,最高为 785.94 kBq/m³;在第四纪沉积物与风化花岗岩混合地区(MSD)观测到较高的土壤氡浓度,平均值达 37.64 kBq/m³。

表 1 珠海地区土壤氡浓度统计 kBq/m³

地区		样本数	平均值	几何平均值	标准偏差	最小值	最大值
DD	QS	120	7.14	4.22	8.75	0.53	64.52
	MSG	20	37.64	29.04	25.93	7.33	88.64
	WG	72	151.25	65.92	196.23	2.13	785.94
ZUA	ZUA-2002	154	60.97	41.21	54.02	2.93	265.00
	ZUA-2003	103	48.41	26.46	64.26	1.20	455.09
	ZUA	257	55.94	35.17	58.54	1.20	455.09

注:DD—斗门测区,ZUA—珠海市区,QS—第四纪沉积物,MSG—沉积物和花岗岩的混合物,WG—风化花岗岩。

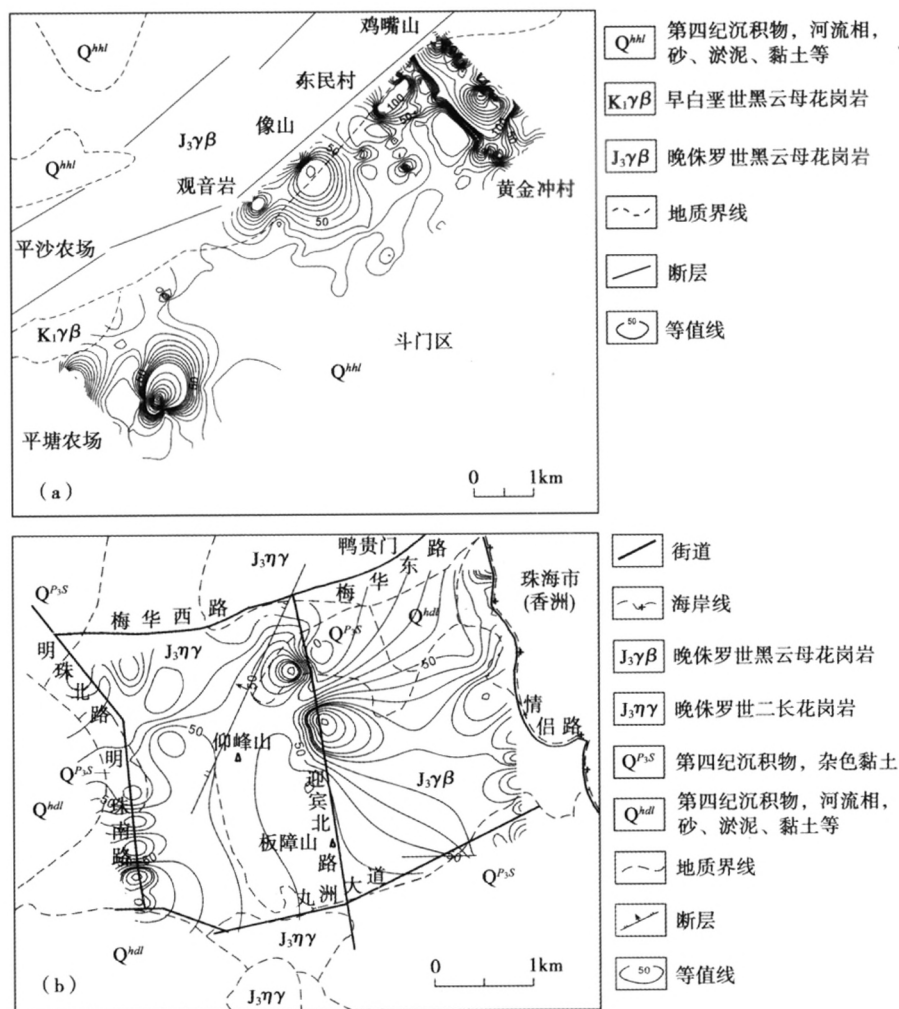
3.2 土壤氡浓度与岩性

图 1 为珠海和斗门测区的土壤氡浓度平面等值线,从中可以看出,土壤氡浓度的分布与岩性密切相关,其高值区的分布(等值线圈闭且密集区域)与晚侏罗世黑云母花岗岩的出露完全一致,如珠海市区的中部(板樟山岩体)、斗门测区第四纪沉积物与花岗岩接壤区域。

在斗门测区(图 1a),不同测点处土壤氡浓度急剧变化,在东西两端出现了很密集的高值圈。这两片地区主要是工业开发区,在原第四纪沉积物分布地区一般覆盖了 2 m 以上的采自风化花岗岩体的风

化砂。在一些风化花岗岩地段,观测到高达 785.94 kBq/m³ 的异常值,平均土壤氡浓度高达 151.25 kBq/m³。相反,在第四纪沉积物地区,土壤氡浓度变化幅度较小,变化范围为 4~7 kBq/m³,其主要原因是该地段地下潜水面很浅,有的测点几十厘米深处已达水饱和。斗门地区的工业化已经改变了部分地段的天然辐射背景。高氡浓度区域对应于地质图上的花岗岩山体及风化花岗岩露头,以及工业开发区。

珠海市区土壤氡分布表明与²³⁸U 的分布模式相同^[10](图 1b),在板樟山和 N—E 向断层附近是高氡



a—斗门地区;b—珠海城区;等值线距 10 kBq/m³

图1 珠海、斗门土壤氯浓度等值线平面

浓度区域。珠海市区实测的平均土壤氡浓度明显高于斗门区沉积物地区,其原因是珠海市区大街旁的花坛和草地均使用风化的花岗岩碎屑或风化的花岗岩砂。

3.3 珠海市土壤氡浓度水平与其他城市的比较

中国华南地区(广东和福建)大约有 70% 的地

面为燕山早期和燕山晚期的花岗岩覆盖,各种岩石和土壤中铀含量有明显差异,由此土壤氡浓度水平将有较大差异。广州市位于珠海市的北边,也处于珠江三角洲。2003年,在工程勘查中使用FD-3017测氡仪,采用10 m测量点距进行了6 154个点的土壤氡测量。尽管下伏基底岩石中花岗岩和混合岩的

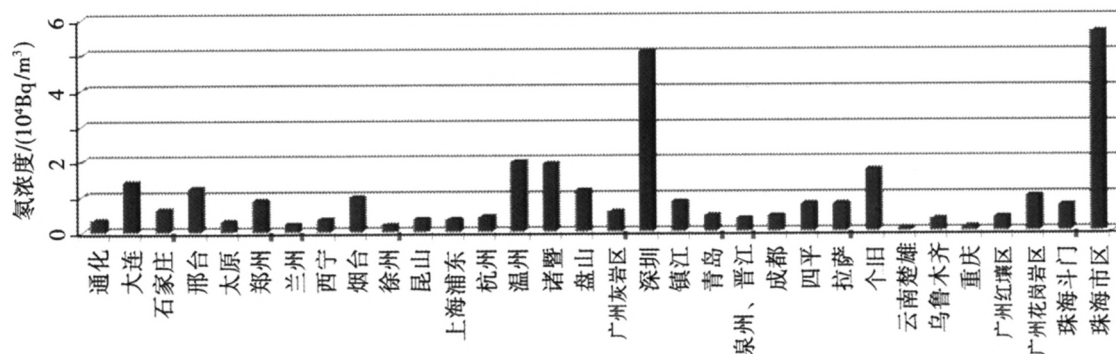


图2 中国部分城市土壤氡平均值

铀含量分别为 249.9 和 101.75 Bq/kg,但由于上部为第四纪沉积物,该区域的土壤氡浓度较低,其中花岗岩地区(含混合岩)共 1 995 个测点,土壤平均氡浓度为 6 775 Bq/m³,变化范围 1 232 ~ 32 664 Bq/m³;灰岩地区 2 130 个测点,平均值为 3 883 Bq/m³ (702 ~ 10 818 Bq/m³);红壤地区 2 029 个点,平均值为 3 200 Bq/m³ (156 ~ 12 355 Bq/m³)^[15]。泉州和晋江市出露的燕山期主要侵入岩和珠海一样,属于燕山早期第 3 期侵入岩,但岩性主要为二长花岗岩和钾长花岗岩,泉州和晋江市的各种土壤中平均土壤氡浓度一般不高于几千 Bq/m³,平均值为 3 622 Bq/m³^[16]。珠海市区的平均土壤氡浓度分别是广州市花岗岩地区土壤、泉州和晋江市土壤氡浓度的 8.3 倍和 15.4 倍(图 2)。从图 2 可以看出,除广东珠海、深圳平均土壤氡浓度大于 50 kBq/m³ 外,其他城市均小于 20 kBq/m³。

4 结论

本次调查采用瞬时土壤测氡仪在珠海实施了大约 100 km² 的土壤氡调查,该区处于珠江三角洲,由侏罗纪黑云母花岗岩和第四纪沉积物组成。土壤氡浓度的分布与水平与岩性显著相关,风化花岗岩地区平均土壤氡浓度明显高于第四纪沉积物地区,珠海市区的平均值是斗门测区第四纪地段的 7.8 倍。

基于我们的土壤氡调查数据,珠海市是中国氡潜势较高的地区之一。珠海市区平均土壤氡浓度为 55.94 ± 58.54 kBq/m³,斗门区第四纪沉积物、沉积物和花岗岩混合物,以及风化花岗岩地区的平均土壤氡浓度分别为 7.14 ± 8.75、37.64 ± 25.93、151.25 ± 196.23 kBq/m³。珠海地区的工业化和城镇化改变了当地的天然放射性背景,包括土壤氡浓度水平,应更详细地开展土壤氡调查及室内氡风险评价研究。

中国地质大学(北京)硕士研究生刘少敏、黄英、刘栋梁同学参加了本项目的野外测量,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] United nations scientific committee on the effects of atomic radiation, sources and effects of Ionizing radiation, United Nations 2006 [R]. UNSCEAR, New York, 2006.
- [2] Kemska J, Siehlb A, Stegemann R, et al. Mapping the geogenic radon potential in Germany[J]. Sci. Total Environ, 2001, 272(1-3): 217-230.
- [3] Barnet I, Miksova J, Prochazka J. Radon database and radon risk map 1:500.000 of the Czech Republic[R]//Barnet I, Neznal M. Radon investigations in Czech Republic VII and the fourth International Workshop on the Geological aspects of radon risk mapping. Prague CzechRep, 1998.
- [4] Kitto M E, Green J G. Mapping the indoor radon potential in New York at the township level[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(3-4): 8007-8014.
- [5] 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.
- [6] 郭秋菊, 程建平. 珠海市环境空气中²²²Rn/²²⁰Rn 子体水平及土壤氡析出率的测量[J]. 辐射防护, 2004, 24(2): 110-115.
- [7] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations 2000, UNSCEAR, New York, 2000.
- [8] Chen D Y, You X, Hu R. Indoor radon survey in indoor environments in Zhuhai city, China[J]. Radiat. Meas., 2005, 39(2): 205-207.
- [9] 陈迪云, 王湘云, 关晓丽等. 珠海市地下水中放射性元素及对室内氡的影响[J]. 环境化学, 2000, 19(4): 377-381.
- [10] Wang Nan-ping, Xiao Lei, Li Can-ping, et al. Determination of Radioactivity Level of ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K in Surface Medium in Zhuhai City by in-situ Gamma-ray Spectrometry[J]. Nucl. Sci. Technol., 2005, 42(10): 888-896.
- [11] 王喜元, 朱立, 吕磊, 等. 中国土壤氡概况[M]. 北京: 科学出版社, 2006, 24-157.
- [12] 郦伟, 郦挺, 戚志浩, 等. 浙江省诸暨市土壤氡浓度调查[J]. 辐射防护, 2010, 30(4): 242-247.
- [13] 苏君, 徐鸣, 李沫, 等. 乌鲁木齐市土壤中氡浓度水平及分布规律调查[J]. 辐射防护, 2009, 29(5): 327-333.
- [14] 姚德, 曲丽梅, 夏宁, 等. 青岛市区土壤中氡的测量与分析[J]. 核化学与放射化学, 2008, 30(3): 184-188.
- [15] 魏勇作, 张伯友, 宋刚. 广州土壤氡区域背景值及其应用[J]. 广东土木与建筑, 2006, 1: 49-52.
- [16] 陈华英. 泉州市、晋江市土壤中氡气浓度与地质背景的关系[J]. 物探与化探, 2009, 33(2): 186-189.
- [17] 方迎尧, 吴其反, 卢建忠, 等. 航空物探对华南某地区天然放射性辐射环境的调查[J]. 物探与化探, 2007, 31(6): 598-604.
- [18] 李先杰. RIUM 氡室十年回顾与展望[J]. 辐射防护通讯, 2001, 21(1): 33-37.

THE DISTRIBUTION AND LEVEL OF RADON GAS IN SOIL IN A HIGH RADIATION BACKGROUND CITY OF CHINA

WANG Nan-ping^{1,2}, XIAO Lei^{1,2}, LI Can-ping^{1,2}

(1. School of Geophysics and Geoinformation Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Geo-detection Laboratory, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: A soil gas radon survey was performed on a large scale to determine the distribution of radon in soil of Zhuhai City in Guangdong Province by means of a portable radon monitor of a semiconductor alpha spectroscopy. The survey sampled 469 sites covering an area of more than 100 km². The average of soil radon concentration in the soil depth of 0.6 m is 55.94 ± 58.54 kBq/m³ in Zhuhai urban area, whereas the concentration is 7.14 ± 8.75 , 37.64 ± 25.92 , and 151.25 ± 196.23 kBq/m³ in the Quaternary sediments, the mixtures of sediments and weathered grain of granite, and the weathered granite in Doumen District, respectively. The high radon potential areas are located within biotitic granites and new industrial districts, as indicated by the strong correlation between the radioactivity level and geological lithology. The mean value of soil gas radon concentration in Zhuhai urban area (ZUA) is about ten times as high as that in Guangzhou, Quanzhou and Jinjing City. The results show that Zhuhai area has higher radon potential, and hence protective measures against radon should be taken into account.

Key words: soil gas; radon; semiconductor radon monitor; high background; Zhuhai City

作者简介:王南萍(1957-),女,山东梁山人,教授,博士,现主要从事辐射与环境相关问题的研究。

~~~~~  
上接 645 页

**Abstract:** Researches on the soil data of ecological geochemical environment in Zhanhua winter jujube growing area show that some important factors such as distribution, transform rule and modes of occurrence of beneficial and harmful elements in soils affect Zhanhua winter jujube quality and food safety. The elements such as Mo, Cd, Co, Hg, S, N and Se have the great influence on the quality of the winter jujube, and high content of Mo, Cd, Co, Hg and S, especially Hg, S and Cd, will reduce the fruit quality. Where these elements reach a certain content, they will severely reduce the fruit quality. On the contrary, the elements N and Se can improve the fruit quality of the winter jujube. It is suggested that the increase of the effective state content of Fe, K and water-extracting Se or decrease of the effective state content of B, Cu, P and N is favorable for the improvement of the winter jujube quality. The results obtained by the authors indicate clearly the way forward for fertilizer application and field management in growing winter jujube.

**Key words:** Zhanhua; rock, soil and plant; element distribution; ecological environment; winter jujube quality

作者简介:王存龙(1962-),男,山东省滕州人,高级工程师,主要从事地球化学勘查及生态地球调查与评价工作。