

文章编号:0253-9950(2008)03-0184-05

青岛市土壤氡的测量与分析

姚德^{1, 2, 3}, 曲丽梅^{1, 2, 4, *}, 夏宁⁵, 丛丕福⁴

1. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 山东理工大学, 山东淄博 255049; 4. 国家海洋环境监测中心, 辽宁大连 116023;
5. 青岛海洋地质研究所, 山东青岛 266071

摘要:用 0.2 km×0.2 km 的网格布点, 采用 FD-3017 型 RaA 测氡仪测量了青岛地区岩石、土壤共 2 401 个样点中的氡活度浓度, 对本区土壤氡的分布规律进行了分析。结果表明, 青岛土壤氡活度浓度点位平均值为 4 483.50 Bq/m³, 属于土壤氡活度浓度正常地区; 本区地下土层中土壤氡活度浓度与岩性酸性强弱有一定的关系, 一般情况岩性酸性偏强地区的土壤氡活度浓度也偏高; 另外在构造的断裂地带有四处氡活度浓度偏高点出现, 这进一步证实了土壤氡的析出与地质岩性和构造裂隙之间存在一定关系。

关键词:氡; FD-3017 型 RaA 测氡仪; 岩性; 青岛

中图分类号: X820.3; X591 文献标志码: A

Survey and Analyses of Radon in Soil of Qingdao Area

YAO De^{1, 2, 3}, QU Li-mei^{1, 2, 4, *}, XIA Ning⁵, CONG Pi-fu⁴

1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Shandong University of Technology, Zibo 255049, China;
4. National Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116023, China;
5. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China

Abstract: Radon and its progeny contribute significantly to total inhalation dose. When inhaled in large quantity it can cause lung disorder. Radon in rocks and soils contributes to the radioactivity concentration of radon in atmosphere. On the basis of the sampling grid of 0.2 km×0.2 km, we measured radon radioactivity concentrations of 2 401 sampling sites in rocks and soils in Qingdao area using FD-3017 RaA radonmeter. The mean radon radioactivity concentration in Qingdao is 4 483.50 Bq/m³. It is normal in radon in Qingdao. It is concluded that there is definite relationship between the radioactivity concentration of underground radon and rocky acidity. The stronger of acidity in rock, the higher of the radon radioactivity concentration in common. Furthermore, several higher radioactivity concentrations of radon appear in the rupture belt of the structure. It is validated that the radon release from the soil is related to the lithology and structural fractures.

Key words: radon; FD-3017 RaA radonmeter; lithology; Qingdao

收稿日期: 2007-09-13; 修订日期: 2008-05-23

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(205089); 国家自然科学基金资助项目(40076015); 中国地质环境调查项目(2003-20-04)

作者简介: 姚德(1963—), 男, 内蒙古察右中旗人, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事应用地球化学与环境评价教学与研究

* 通讯联系人: 曲丽梅(1973—), 女, 博士, 主要从事海洋开发的环境影响评价与人居辐射环境质量研究

氡及其子体在生物体内产生内照射剂量,增大了肺癌产生的危险^[1]。氡及其短寿命子体已成为仅次于香烟导致肺癌的第二大因素^[2]。据联合国原子辐射效应委员会估计,世界范围的平均年有效剂量中外照射占 0.9 mSv,内照射占 1.5 mSv,而内照射中氡约占 1.3 mSv,即人类所受到的天然辐射的 53% 来自环境中的氡^[3]。可见氡及其子体对人体的危害主要是通过内照射进行的。对人体构成危害的环境中的氡主要是空气中的氡,它可以通过呼吸进入人体。空气中的氡主要来自岩石、土壤中天然放射性元素铀、钍的衰变^[4],因此研究岩石、土壤中氡的分布规律关系是保证天然辐射环境质量的关键,也是为保护人类健康、提高其生存环境的质量、以减少和防止放射性物质进入体内的有效方法。

自 20 世纪 70 年代开始,美国、英国、加拿大、前苏联、欧共体等一些国家分别根据标准化的平衡当量铀值与土壤气体中氡的平均含量的相关关系^[5]、 γ 能谱测量与地质测量相结合、放射性地球化学填图与实地测量结合等方法分别对本国的室内外氡浓度进行了估算,并按照浓度高低加以分区,有的国家甚至根据本国实际将有些氡浓度过高地区列为建筑禁区^[6]。

二十世纪八十年代到九十年代初,我国国家环保总局开展了全国环境天然放射性水平调查,对我国部分城市的室内外空气中的氡及其子体潜能浓度进行了调查,但是由于调查面积大,采样点密度小,仅编制了一些除氡、钍以外的小比例尺全国性地球化学元素图。另外核工业部、原地矿部、卫生部、军队等其他部门也根据各自的目的开展了与氡浓度有关的地球化学调查工作^[7],但是由于基本采用大于 5 km \times 5 km 的网格布点,因此不能对某个具体区域提供十分详细的氡活度浓度资料。本工作主要针对青岛市区,采用 0.2 km \times 0.2 km 的网格布点,整个市区共计 2 401 个点,在此基础上计算氡活度浓度的点位平均值,并进行分析与讨论。

1 研究区介绍

研究区青岛位于山东半岛南部,东经 119°30'~121°00'、北纬 35°35'~37°09',东、南濒临黄海,属于温带海洋性气候,地势东高西低,地形起伏平缓,南北两侧隆起,中间低陷。其构造发展受板块运动和造山活动的控制,因此区内断裂

构造发育,以 NE-NNE 向为主,本区属新华夏系巨型构造的第二隆起带,位于山东山字型构造体系与郯城-庐江断裂构造带复合部位的东侧,形成一系列北东向构造。由于长期隆起,古老的变质岩大片裸露,燕山期岩浆活动频繁,形成规模巨大的侵入岩体,岩石类型均为中酸性岩类,为中生代燕山晚期所形成,主要是钾长花岗岩和二长花岗岩。

2 测量方法和质量保证

根据青岛市 1:50 000 的地形图选择所测量的陆域 160 km² 范围内,选取 2 条剖面(尽可能包括所有的岩性、岩相、主要构造带)进行测定。根据剖面测试结果,网格点的布设为 0.2 km \times 0.2 km。根据核行业标准 EJ/T605-1991^[8]进行现场测定土壤中氡的活度浓度。测点上采用 GPS 手持卫星定位仪确定测点坐标;取气深度 \geq 0.4 m;抽气体积选定 1.5 L,抽气时间不少于 30 s。测量时,高压加电时间为 2 min;测量读数时间为 2 min;每测点测量 1 次。野外定期进行检査,抽气筒密封良好,导线接触正常,定期更换防尘滤膜。

氡的测量方法有瞬时采样测量、连续采样测量和累积采样测量^[9]。测出土壤中的氡子体就可以换算出氡活度浓度,土壤中的氡迁移到空气中以后,仍以扩散和对流方式运动,空气中的氡活度浓度受气象因素以及大气的稀释作用、温度变化、日变以及季节变化等明显影响。本次测量的目的是研究土壤中氡的分布规律。采用上海仁日信息科技有限公司的 FD-3017 型 RaA 测氡仪测量研究区内土壤中氡的活度浓度。项目开工前,对调查中使用的仪器设备,按要求进行计量检定和校准的检査,保证所有使用的仪器设备均在检定的有效使用期内。并且在每日出工前,检查仪器校验系数和阈值旋钮的刻度位置;工作前后用工作标准源(²³⁹Pu α 源)对仪器进行检测,检测计数的相对误差应小于 10%,作为仪器稳定性检查。从检查结果所绘制的长期稳定性曲线来看,整个工作期间,仪器的读数稳定性良好,相对误差基本上达到规范要求。

3 结果和讨论

3.1 青岛市区土壤中氡的分布规律

本区的统计数据如下:土壤氡活度浓度的测量范围为 173~18 839 Bq/m³;平均变异系数为

54.78%，数据离散性较大；点位平均值为 4 483.50 Bq/m³，与全球土壤氡活度浓度的平均值 7 400 Bq/m³^[10]相比，研究区属于土壤氡活度浓度正常地区。

各类岩性背景上土壤中氡活度浓度差异较大，不同地质单元中土壤氡活度浓度数据列入表 1。由表 1 可知，二长花岗岩的土壤中氡活度浓度最高，测量值为 345~19 508 Bq/m³，平均值为 5 753 Bq/m³，平均变异系数 54.89%，数据离散

性较大；松散堆积物的土壤中氡活度浓度很低，测量值为 518~14 664 Bq/m³，平均值仅为 4 265 Bq/m³，平均变异系数 23.30%，数据离散性不大；土壤中氡活度浓度最低的岩性是火山岩，测量值为 518~7 935 Bq/m³，平均值为 2 529 Bq/m³，平均变异系数为 42.90%，数据离散性偏大。各类岩性土壤中氡活度浓度分布规律为：二长花岗岩 > 正长花岗岩 > 火山岩。

表 1 不同地质单元中土壤氡活度浓度

Table 1 The radioactivity concentration of radon in different geology cell

样品 (Samples)	样本数 (Sampling number)	C/(Bq·m ⁻³)	\bar{C} /(Bq·m ⁻³)	平均变异系数 (The mean of vaviation coefficient)/%
二长花岗岩 (Adamellite)	1 800	345~19 508	5 753	54.89
正长花岗岩 (Syenogranite)	381	173~17 295	5 387	40.12
火山岩 (Volcanic rock)	47	518~7 935	2 529	42.90
松散堆积物 (Loose sediment)	173	518~14 664	4 265	23.30
	(2 401)	(173~19 508)	(4 483.50)	(40.30)

注 (Note): 括号内的数值为总计 (Data in parentheses are total values)

3.2 土壤中氡的分析

3.2.1 土壤中氡的分布与岩性的关系 从岩性角度分析，中酸性岩石的 U, Ra, Th 的平均含量均高于基性岩和沉积岩，因而从理论上推断以中酸性岩石发育的土壤中的氡活度浓度应该较高。研究表明，不同的岩石中的氡射气系数明显不同^[11-12]，一般以花岗岩和花岗闪长岩为主和以泥岩为主的沉积岩的地区放射性核素含量较高，以砂岩和灰岩为主的则相对较低。

本区自晚更新世以来已形成了大面积的 Q₃-Q₄ 松散沉积，主要发育中生代地层及新生代第四纪松散堆积物，区内中生代燕山晚期侵入岩极为发育，位于沧口断裂以东的广大地区，构成崂山岩体的主体。岩石类型从基性、中酸性、酸性、偏碱性均有，但是以中酸性岩类为主，其形成时代为中生代燕山晚期。第四纪地层主要分布于李村河一带，总面积约 27.45 km²。表 1 数据表明二长花岗岩土壤中氡活度浓度最高，其次为正长花岗岩，最低为火山岩。因此本地区酸性偏强的岩石释放的土壤氡活度浓度相对较高。

3.2.2 土壤中氡的分布与构造的关系 根据氡迁移、扩散的理论，一般在构造发育地段，氡有良好的运移通道。即使岩石土壤中的铀、镭含量不变，相对周围的岩石和土壤，在构造地段上的氡活

度浓度也比较高。青岛地区本身属于花岗岩地区，同时又有 4 条较大的北东向断裂带，因此极易形成土壤高氡区域。但是由于青岛市区土壤覆盖层很薄，平均只有 20 cm 左右，一般小于 1.0 m，虽然区内花岗岩体放射性核素²³²Th 和⁴⁰K 的浓度偏高，但是地表储气条件较差，造成土壤氡的逸散。因此除区内地表覆盖较厚 (大于 1 m) 的断裂构造上，形成了几处土壤氡活度浓度偏高区以外，断裂带上其他区域的土壤氡活度浓度普遍偏低。另外在地表屏蔽条件较好的草坪和绿地上也出现了几处氡活度浓度偏高区。土壤中氡活度浓度在不同的岩性和断裂中的具体分布示于图 1。

3.3 讨论

如果从岩性角度分析，那么中酸性岩石的 U, Ra, Th 的平均含量均高于基性岩和沉积岩，从调查数据可以看出，在本区酸性偏强的岩石相应的土壤中氡活度浓度也出现普遍的偏高现象。但是由于土壤氡的运移与扩散还受到其他如孔隙度、构造裂隙、温度、湿度等一系列的因素所影响，因此本区虽然大面积露出富含放射性物质的花岗岩，由花岗岩风化形成的土壤中放射性核素 (钍、钾) 含量也较高，但是铀含量不高，另外本区受大风和海洋气候影响也比较大。

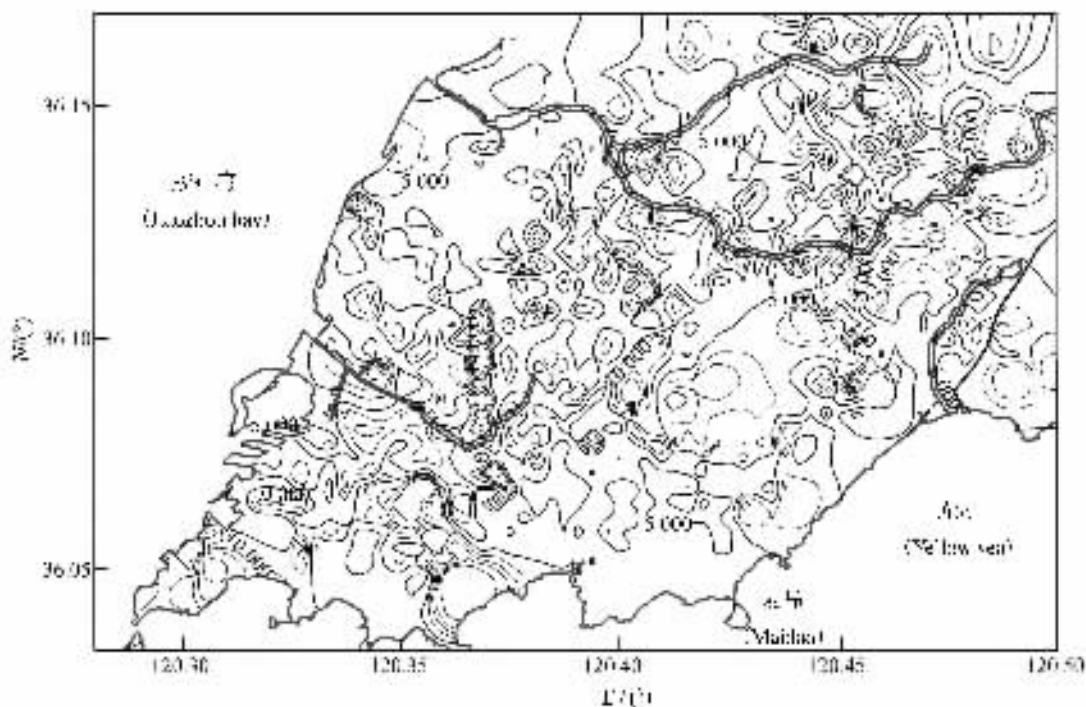


图1 青岛市区土壤中的氡活度浓度等值线分布

Fig.1 The radioactivity concentration isoline map of radon in soil, Qingdao

图上数值为氡活度浓度(Data in the figure are radioactivity concentrations of radon), Bq/m³

青岛地处北温带季风区域,属温带季风气候,同时受来自洋面上的东南季风及海流、水团的影响,故又具有显著的海洋性气候特点。空气湿润,雨量充沛,温度适中,夏季多云,7,8月份常有台风出现,平均每年1,2次;秋季天高气爽,降水少,蒸发强;冬季风大温低,持续时间较长。这些因素会明显影响氡的对流和扩散,因此本地区土壤中氡的活度浓度不高。

研究区的土壤中氡活度浓度普遍偏低,大多数地区土壤氡的活度浓度为170~10 000 Bq/m³,属于土壤氡活度浓度较低地区。但是也有几处氡偏高点(土壤氡的活度浓度为10 000~22 500 Bq/m³),大多出现在青岛-李村断裂构造及其影响带上。如青岛山与太平山之间的中山公园及其周边区域、四方泓诚体育场及其周边区域,这表明断裂构造为氡的运移提供了通道,在地表形成了土壤中氡的富集。

石老人一带的火山岩地层上,由于岩石本身放射性核素活度浓度较低,加上覆盖较薄,土壤氡活度浓度呈现低值场。张村东部地区为花岗岩体的风化残坡积层,土层薄且颗粒松散,土壤中的氡活度浓度明显被大气稀释,因此形成了一片土壤

氡活度浓度低值区。

4 结 论

根据本次统计分析可以看出:研究区尽管属于以酸性偏强的花岗岩为主的地区,但是由于土壤中的氡活度浓度还受到土壤的孔隙度、构造裂隙、温度、湿度以及气候等一系列因素的影响,因此研究区内的大多数地区土壤中氡活度浓度为170~10 000 Bq/m³,属于土壤氡活度浓度较低地区。

致谢:本论文得到了青岛海洋地质研究所许多工作人员的大力支持,另外核工业部248地质调查队的张士军、孙传林、邢峰等均提出了宝贵的意见,在此一并表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Abumurad K M, Al-Tamimi M H. Natural Radioactivity due to Radon in Soum Region, Jordan [J]. Radiat Meas, 2005, 39: 77-80.
- [2] 章 晔,程业勋,刘庆成,等. 环境氡的来源与防治对策[J]. 物探与化探,1999, 23(2): 81-83.

- [3] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Volume I: Sources and Effects of Ionizing Radiation [M]. New York: United Nations Publication, Report to the General Assembly With Annexes, 2000: 46-53.
- [4] 刘庆成,程业勋,章 晔. 地质环境与空气中的氡浓度的关系[J]. 现代地质,1996, 10 (1): 125-128.
- [5] 何振芸,朱兴胜,黄乃明,等. 世界室外 γ 辐射剂量率水平数据的变化及在环境监测中应予以注意的问题[J]. 辐射防护通讯,2001, 21(4): 3-12.
- [6] Swedjemark G A. Swedish Perspective on Radon [C]//Proc Fifth Int Conf on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, 1990, 5: 297-305.
- [7] 刘庆成,陈昌礼,程业勋,等. 青岛市环境氡浓度分布规律与预测方法研究[J]. 现代地质,1998, 12 (1): 134-137.
- [8] 核工业标准化研究所. EJ/T 605-1991 氡及其子体测量规范[S]. 北京:中国核工业总公司,1991.
- [9] 苟全录. 氡及其子体测量方法简介[J]. 辐射防护通讯,1994, 14(6): 37-38.
- [10] 卢 伟. 居室氡气致癌与防治[M]. 北京:地质出版社,1995: 4-10.
- [11] 张 哲. 氡的析出与排氧通风[M]. 北京:原子能出版社,1982: 20-44.
- [12] 霍霖沛. 放射性物探在环境勘查中的应用[J]. 国外地质勘探技术,1993, 8(4): 1-12.