

青岛地区室外氡浓度变化规律研究

张 亮¹, 徐婷婷², 郭秋菊¹

(1. 北京大学物理学院核物理与核技术国家重点实验室, 北京 100871;
2. 青岛海洋地质研究所实验测试中心, 山东 青岛 266071)

摘 要: 为观察研究沿海地区室外大气氡浓度的水平和变化规律, 以青岛地区 2006 年 9 月—2009 年 8 月 3 年间采用连续测量装置获取的室外大气氡浓度的 16 817 个数据为研究对象, 对日变化规律、季节变化规律及其成因进行了统计分析。青岛地区室外大气氡浓度的年平均值为 $(5.0 \pm 3.0) \text{ Bq/m}^3$ 。日变化规律中, 最高值一般出现于清晨, 最低值一般出现于傍晚。季节变化规律中, 最高值出现在 12 月, 最低值出现在 6 月, 统计分析表明此变化规律与青岛典型的海洋性季风气候密切相关。

关键词: 室外氡浓度; 青岛; 连续测量; 季风

中图分类号: R144

文献标识码: A

1 引言

氡(^{222}Rn) 是 ^{238}U 衰变链中 ^{226}Ra 的衰变产物, 是一种放射性惰性气体, 半衰期为 3.82 d。由于 ^{226}Ra 广泛存在于岩石、土壤等各种地质环境中, 所以 ^{222}Rn 广泛存在于大气中。室外大气中 ^{222}Rn 气体浓度不仅与地表析出率有关, 也与该地区气象条件有密切关系。

近年来, 氡因其稳定的化学性质和便于放射性灵敏测量的内在物理特性, 以及时间长度合适的放射性半衰期被作为示踪剂, 在研究大气运移和污染物扩散方面有着日益广泛的应用^[1-3]。在我国也进行过全国性的环境氡调查, 室外大气氡浓度的水平亦有报道^[4-9], 但测量数据多为短期或瞬时抓取采样的测量结果。鉴于大气氡浓度随气象条件等的实时变化, 连续采样测量更具有代表性, 更能反映大气氡浓度变化的规律, 因此对大气氡浓度的长期、连续

和灵敏测量成为必需。

北京大学物理学院核物理与核技术国家重点实验室从 2002 年起参加东亚及西北太平洋地区大气氡浓度和大气悬浮物联合测量项目, 开始了对北京和青岛两地大气氡浓度的连续测量, 并曾对北京地区 2003—2007 年 5 年的测量数据进行了分析和总结^[10-12], 本文将对青岛地区 2006 年 9 月—2009 年 8 月的测量数据进行分析与讨论, 希望能为沿海城市的大气扩散研究提供背景数据, 同时也为核设施周围的环境监测评价提供参考。

2 测量方法

2.1 测量仪器

室外大气氡浓度的连续测量采用的仪器是由日本名古屋大学制造的 ERM-B1 静电式氡监测仪, 图 1 是其工作原理图。仪器的刻度系

收稿日期: 2010-04-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11075009); 国家基础学科人才培养基金(北京大学核物理基地: J0730316)。

作者简介: 张亮(1986—), 男, 2009 年毕业于北京大学物理学院, 现为北京大学物理学院粒子物理与核物理专业硕士研究生。

通讯作者: 郭秋菊。E-mail: qjguo@pku.edu.cn

数为 $8.26 \times 10^{-3} (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) / \text{cph}$, 探测下限为 0.48 Bq/m^3 。将该仪器串联在 1.5 L 电离室、氢源瓶、108.7 L 缓冲容器(内底部放置有 P_2O_5 干燥剂)以及流量计和循环气泵的系统上,在流量为 1.0 L/min 循环条件下对连续测量仪进行了刻度,有关该仪器的更为详细信息请参阅参考文献[2]。考虑到刻度系数会受大气湿度影响,故有必要在采样测量过程中进行除湿,一般气候条件下用 P_2O_5 即可,但在湿度较大的夏季还附加了电子除湿器。

该装置的测量原理是室外空气在隔膜式泵的作用下,经过滤膜(0.8 μm)和干燥盒去除空

气中的气溶胶、氡子体和水蒸气后进入半球形的测量腔,在半径 200 mm 的铝制半球中氡发生衰变,其衰变子体 ^{218}Po 大部分带正电荷,在高压电场的作用下被吸附在镀铝聚酯薄膜电极上,电极上涂有厚度为 10 mg/cm^2 的 $\text{ZnS}(\text{Ag})$ 闪烁晶体。 ^{218}Po 和由它衰变产生的 ^{214}Po 二者所放出的 α 粒子入射到闪烁体内,产生荧光,荧光信号经过光电倍增管放大成电信号,输入计算机计数。该装置可进行长时间连续测量,具有较高的灵敏度和精度,稳定性良好,且不受电磁干扰等影响。

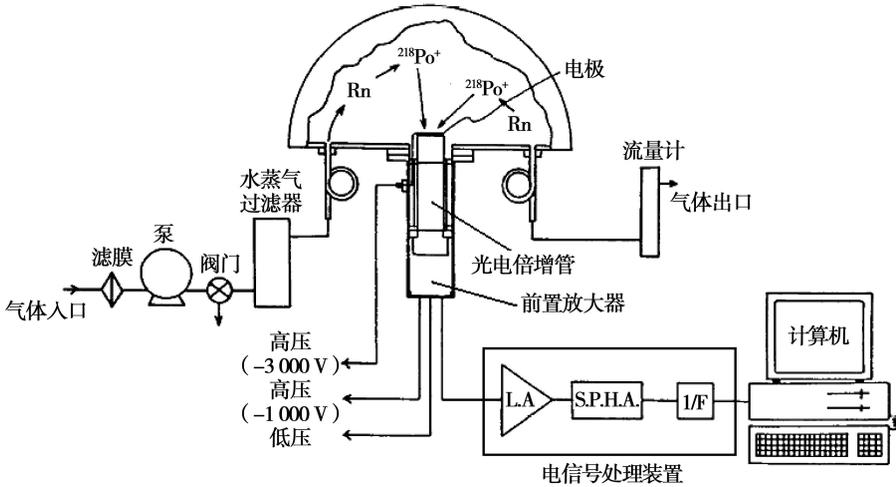


图 1 ERM- B1 的原理图

Fig. 1 Schematic diagram of ERM- B1

2.2 取样方法

测量地点位于青岛市海洋地质研究所(36.43°N, 120.23°E),距地面高度约 15 m。采气管延伸到窗外的树上,管口距离墙面约 1 m,远离墙面源。青岛市地处山东半岛南部,主城区三面环海,具有明显的海洋性季风气候特征。东北方向有山脉围绕(崂山),其他方向均没有高大山脉阻隔。可以认为采样点有较好的地区性大气环境代表性。

测量仪器自 2006 年 9 月运行至 2009 年 8 月,在计算机控制下对室外空气中的空气进行连续采样测量,每小时记录一个浓度值。采样流量控制在 1 L/min。

3 结果及分析

3.1 数据概况

本文对 2006 年 9 月至 2009 年 8 月 3 年间的测量数据进行统计分析。期间由于断电或仪器故障等原因,部分数据发生缺失,有效数据共 16 817 个,数据有效率为 62.2%,可以认为能够反映青岛地区大气氡浓度的变化规律。

在 3 年的连续测量中,大气氡浓度的最高值为 28.35 Bq/m^3 ,最低值为 0 Bq/m^3 (即低于探测下限)。所有测量结果的算术平均值,即青岛地区室外大气的氡浓度的算术平均值为 $(5.0 \pm 3.0) \text{ Bq/m}^3$ 。这一结果比世界室外平均氡浓度 $(10 \text{ Bq/m}^3)^{[13]}$ 与我国室外平均氡浓度 $(14 \text{ Bq/}$

m^3)^[14]都要低很多,这是由青岛典型的海洋性气候决定的,并且这一浓度与世界其他海洋性气候的地区是一致的^[15]。

从全年数据来看,三月和九月可以做为年平均的代表月份,而 10~11 时则代表了日平均浓度的典型值,这可以为今后对大气氡浓度的瞬时取样提供一定的参考。

3.2 日变化规律及其原因

对每日同一时刻测得的大气氡浓度求算术平均值,以此来观察其日变化规律,结果参见图 2。由图 2 可以看出,大气氡浓度在每日清晨 6 时左右达到最高值,在每日下午 17 时左右达到最低值,而且最高值处可以看出较明显的峰。最低值处的变化则较为平缓。这一变化规律与国外报道的结果^[15, 16]和本实验室之前在北京的观察结果^[10-12]基本一致。

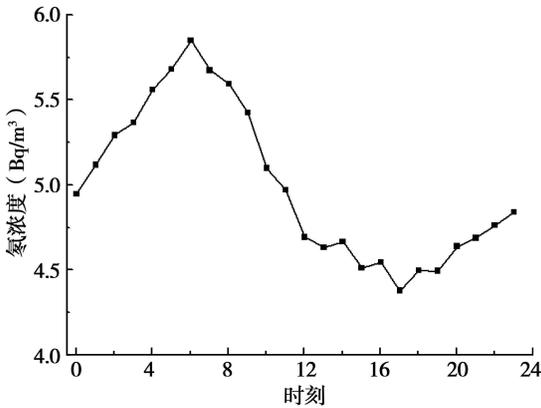


图 2 青岛地区大气氡浓度的日变化规律

Fig. 2 Diurnal variation of atmospheric radon concentration in Qingdao

通常认为这种日变化规律反映了大气的垂直运输规律^[17]: 夜间地表温度低于空气温度,形成逆温层,这时的大气是稳定的,垂直对流减弱,地表析出的²²²Rn 在近地大气积累,大气氡浓度逐渐升高,清晨达到最大值;日出后地面被加热,地表大气层的稳定性逐渐被破坏,垂直对流不断加强,带有高浓度²²²Rn 的气团随垂直扩散向上运动,地表大气氡浓度逐渐减小。

为了更细致地观察日变化规律,利用相同的方法,得出每个季节的日变化规律如图 3 所示。从图 3 中可以看出,室外大气中的氡浓度

各季节的变化规律与全年的变化规律基本一致,但各季节的变化范围和变化幅度有所不同,这与各季节具体的气象条件密切相关。

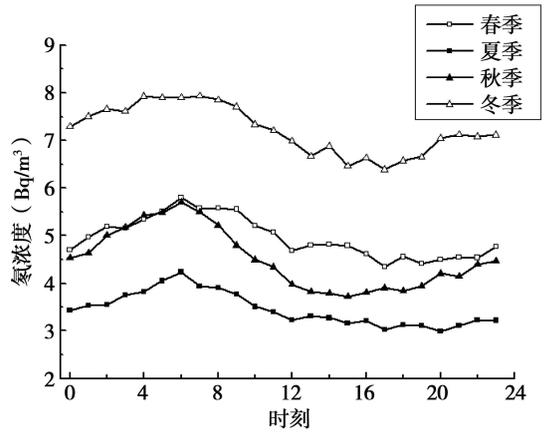


图 3 青岛地区各季节的日变化规律

Fig. 3 Diurnal variation of every season in Qingdao

3.3 季节变化规律及原因

图 4 给出了青岛地区大气氡浓度各月的算术平均值,并以误差棒的形式给出了各月的标准差。从图 4 中可以看出,大气氡浓度最高值出现在十二月($8.21 \pm 4.09 \text{ Bq/m}^3$),最低值出现在六月($3.17 \pm 1.65 \text{ Bq/m}^3$),这与之前报道的北京地区的变化规律基本一致。

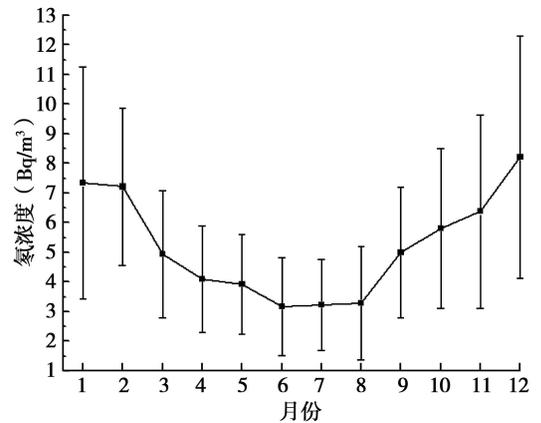


图 4 青岛地区大气氡的月平均浓度变化

Fig. 4 Monthly average concentration of atmospheric radon in Qingdao

青岛地区的这种季节变化规律,与当地典型的海洋性季风气候密切相关。利用美国国家海洋和大气管理局(NOAA)提供的 HYSPLIT 轨

迹模式的在线版本,对青岛地区六月和十二月分别作为期 7 天的溯源分析,如图 5 所示。从图中可以看出,夏季受海洋季风影响,气团以海

洋性气团为主,因此带来了较低的大气氡浓度;冬季受陆地季风的影响,气团以陆地性气团为主,因此带来了较高的大气氡浓度。

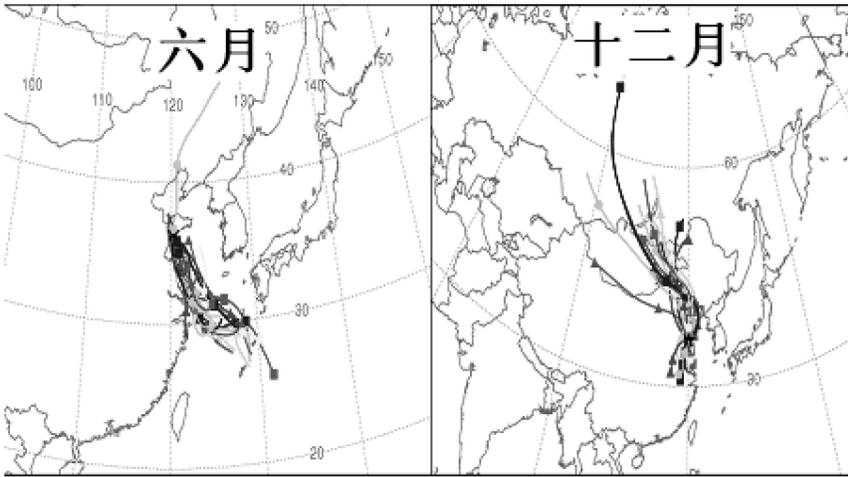


图 5 青岛地区六月与十二月的 7 日溯源轨迹图像

Fig. 5 Seven day backward trajectories in June and December in Qingdao

与此同时,综合考虑各种地理因素和氡可能的来源,将青岛地区的风向分成了 5 个方向,如图 6 所示。并在六月和十二月分别对 5 个方

向的风频与相应的氡浓度区间进行统计,统计结果见图 7。从图中可以看出,夏季风主要从南方海洋吹来,因此氡浓度较低;冬季风主要从西北方向陆地吹来,氡浓度相应较高。

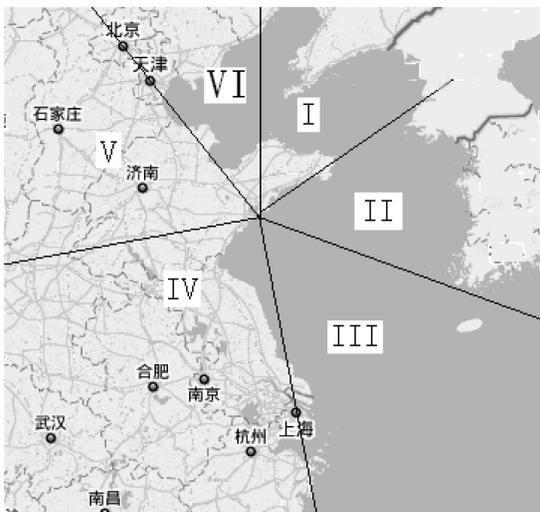


图 6 青岛的地理位置及风向的区域划分

Fig. 6 Geographical position of Qingdao and division of wind direction

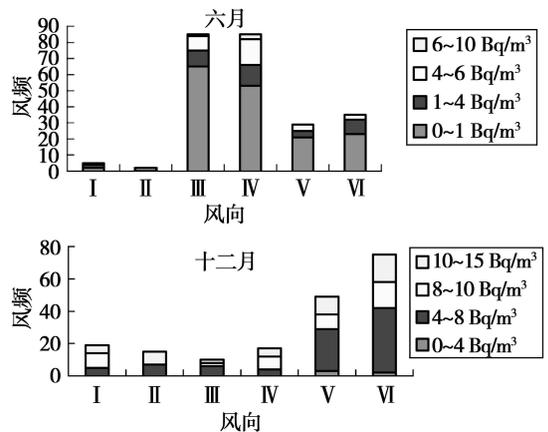


图 7 青岛地区六月与十二月的风频、氡浓度与风向的关系

Fig. 7 Relationship between wind frequency, radon concentration and wind direction in June and December in Qingdao

上述两种分析方法均显示,青岛地区大气

氡浓度的季节变化,是由当地的海洋性季风气候决定的,这与世界上其它海洋性气候的地区相类似^[15]。

4 结论

本文对青岛地区 2006 年 9 月—2009 年 8 月 3 年间室外大气氡浓度的连续测量数据进行了分析,得出室外氡浓度的算术平均值为 $(5.0 \pm 3.0) \text{ Bq/m}^3$ 。

青岛地区大气氡浓度的日变化规律与国内外的观察结果基本一致,最高值一般出现在清晨,最低值一般出现在黄昏,这是由大气的垂直扩散规律决定的。季节变化规律比较清晰,夏季海洋季风盛行,氡浓度低,冬季陆地季风盛行,氡浓度高。

大气氡浓度变化规律的研究不仅可以为室内氡研究提供背景数据,同时还能核设施周围的大气环境监测提供参考。大气氡浓度与气象数据关系的深入探讨,并在此基础上建立北京、青岛两地的水平输运模式是下一阶段的研究内容。

参考文献:

- [1] Taguchi S, Iida T, Moriizumi J, et al. Evaluation of the atmospheric transport model NIRE-CTM-96 by using measured radon 222 concentrations[J]. *Tellus*, 2002, 54B: 250—268.
- [2] Iida T, Ikebe Y, Suzuki K, et al. Continuous measurements of outdoor radon concentrations at various locations in East Asia[J]. *Environ Int*, 1996, 22 (Supplement 1): 139—147.
- [3] 腾海云,郭秋菊,马丁. ^{222}Rn 在大气输运研究中的示踪应用[J]. *辐射防护*, 2008, 28(1): 18—23.
- [4] 潘自强,郭明强,崔广志,等. 中国天然辐射本底水平和居民剂量的估算[J]. *辐射防护*, 1992, 12(4): 251—259.
- [5] Cheng JP, Guo QJ, Ren TS, et al. Radon levels in China[J]. *J Nucl Sci Technol*, 2002, 9: 695—699.
- [6] Wenbin M, Yan J, Chanzhu Q, et al. Investigation of indoor and outdoor radon and its daughters in the region of Liaoning, People's Republic of China[J]. *Radiation Protection Dosimetry*, 1990, 30(1): 37—40.
- [7] Man CK, Yeung HS. Variations of outdoor radon concentrations in HongKong[J]. *J Environ Radioactivity*, 1998, 40(2): 137—145.
- [8] Zhuo W, Iida T, Yang X. Environmental radon and thoron progeny concentrations in Fujian Province of China[J]. *Radiation Protection Dosimetry*, 2000, 87(2): 137—140.
- [9] 戈立新,汪名侠,李传琛. 上海地区空气中氡水平调查[J]. *辐射防护*, 2002, 22(4): 246—251.
- [10] Zhang L, Zhang L, Guo Q. A long term investigation of the atmospheric radon concentration in Beijing, China[J]. *Journal of Radiological Protection*, 2009, 29: 263—268.
- [11] Zhang L, Guo Q, Iida T. Atmospheric Radon Levels in Beijing, China[J]. *Radiation Protection Dosimetry*, 2004, 112(3): 449—453.
- [12] 张亮,黄林,郭秋菊. 北京地区室外氡浓度变化规律的研究[J]. *辐射防护*, 2008, 28(5): 273—278.
- [13] UNSCEAR. 电离辐射源与效应[M]//卷 I. 辐射源. 中国核学会辐射防护学会译. 太原: 山西科学技术出版社, 2000: 99—102.
- [14] 潘自强. 辐射防护的现状与未来[M]. 北京: 原子能出版社, 1997.
- [15] Zahorowski W, Chambers S, Wang T, et al. Radon-222 in boundary layer and free tropospheric continental outflow events at three ACE-Asia sites[J]. *Tellus*, 2005, 57B(2): 124—140.
- [16] Sesana L, Caprioli E, Marazzan G. Long period study of outdoor radon concentration in Milan and Correlation between its temporal variations and dispersion properties of atmosphere[J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2003, 65(2): 147—160.
- [17] Yoshioka K, Iida T. The diurnal change in the vertical distribution of atmospheric ^{222}Rn due to growth and rise of the stable stratification height in the atmospheric boundary layer[J]. *Radioactivity in the Environment*, 2005, 7(1): 486—496.

Variation and Levels of Atmospheric Radon Concentration in Qingdao

Zhang Liang¹, Xu Tingting², Guo Qiuju¹

(1. State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, School of Physics, Peking University, Beijing 100871;

2. Qingdao Institute of Marine Geology, Shandong Qingdao 266071)

Abstract: To study the variation and levels of atmospheric radon concentration in Qingdao area, continuous measurements were performed hourly over a three-year period from September 2006 to August 2009. With 16 817 measured data, levels and variations were analyzed, and the trend in diurnal and annual variations was studied. The average concentration of atmospheric radon in Qingdao area is (5.0 ± 3.0) Bq/m³. The average diurnal pattern of radon concentration showed that diurnal maximum appears in the early morning, and the minimum appears in late afternoon. The annual pattern features a maximum in December and a minimum in June, which is closely related to the maritime monsoon climate in Qingdao.

Key words: Atmospheric Radon; Continuous Measurement; Variation; Monsoon

(上接第 16 页, Continued from page 16)

Comparison of Closed Chamber Methods for Accurate Measurements of Radon Exhalation Rates from Building Materials

Lei Xing, Zhang Lei, Guo Qiuju

(State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract: Closed Chamber Methods have been widely used to measure radon exhalation rate from building material. It is found, however, that different sealing methods of treatments on building materials before measurements were used in different laboratories worldwide. Taking a brick as an example, as treatment on building materials, sealing up 4 sides, 5 sides or totally baring were reported. To understand and confirm the differences between different treatments on building materials, theoretical analysis were carried out on basis of the definition and measuring model of radon exhalation rate from building materials in this study. The real meaning and the matter of each different sealing method were analyzed in detail, and experimental study was also performed. In summary, the two methods of sealing up 4 sides and sealing up 5 sides were regarded as appropriate methods to measuring exhalation rate but reasonable correction was necessary.

Key words: Building Material; Radon Exhalation Rate; Closed Chamber Method; RAD7