

北京地区室外氡浓度变化规律的研究*

张亮** 黄林 郭秋菊

(北京大学物理学院技术物理系,北京,100871)

摘要 为观察研究室外大气氡浓度的变化规律,本文对北京地区 2003 年 1 月~2007 年 12 月 5 年间通过连续测量装置获取的室外大气氡浓度的 36 731 个数据进行了分析研究,对日变化规律,年变化规律及 5 年间的变化趋势等进行了详细分析。5 年内室外氡浓度平均值为 $12.1 \pm 4.9 \text{ Bq/m}^3$,5 年的年平均值略有不同,变化范围为 $11.24 \sim 13.01 \text{ Bq/m}^3$ 。日变化中,最大值出现于 6~8 时、最小值出现于 16~18 时的频率最高。年变化规律中,最大值出现在 10、11 月,最小值出现在 4、5 月。

关键词 室外氡 连续测量 北京

1 引言

氡(^{222}Rn)是铀(^{238}U)衰变链中镭(^{226}Ra)的衰变产物,是从大地土壤表面释放到大气中的放射性惰性气体。氡在人类受到的天然辐射照射中占有重要地位,过去的半个多世纪里,世界各国开展了对这种放射性气体的广泛研究。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^[1~6],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。

近 20 年来,氡被作为示踪剂在研究大气运移和污染物扩散方面有广泛应用^[7~9]。在此科研需求下,对大气氡浓度的长期、连续和灵敏测量成为必需。

北京大学物理学院技术物理系辐射防护实验室从 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,开始了对北京地区大气氡浓度的连续测量,也曾就 2003 年的测量数据进行了分析和总结^[10]。本文在此工作基础上对 2003~2007 年 5 年的测

量数据进行了处理分析和讨论。

2 测量仪器

大气氡浓度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,其原理图见图 1。仪器的刻度系数为 $8.26 \times 10^{-3} (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})/\text{cph}$ 。在规定的计数时间间隔(1 h)和控制采样流量(1 L/min)的条件下,探测下限为 0.48 Bq/m^3 。将该仪器串联在 1.5 L 电离室、氡源瓶、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[8]。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空气经过滤膜(0.8 μm)和干燥盒后进入半球形的测量腔,氡衰变产生的子体 ^{218}Pb 大部分带正电荷,在电场作用下被吸附在镀铝聚酯薄膜电极上,电极上涂有

* 国家自然科学基金资助项目(项目编号:10775007);国家基础科学人才培养基金(北京大学核物理基地)资助(理科基地基金号:J0730316)。

** 第一作者简介:张亮,男,1986 年 3 月出生,北京大学物理学院,本科生。

厚度为 10 mg/cm^2 的 ZnS(Ag) 闪烁晶体。 ^{218}Po 和由它衰变产生的 ^{214}Pb 二者所放出的 α 粒子入射到闪烁体内,产生荧光,荧光信号经光电倍增管转换成电信号,输入计算机计数。该装置长时间进行连续测量,稳定性良好,不受电磁干扰等影响。

测量地点位于北京市海淀区北京大学某建筑物的四层(39.59 N, 116.19 E),距地面高度约 15 m。采气管延伸到窗外的树上,管口约距离墙面 1 m。该建筑物四周空旷,可以忽略在近

处产生大气涡流的可能性。北京市坐落在华北平原上,属于典型的温带大陆性季风气候,冬季寒冷干旱,夏季高温多雨,春季干燥多风,秋季短促晴朗。西北方有山脉围绕(燕山山脉),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 2003 年 1 月起开始运行至今,在计算机控制下对室外空气中的氡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 。

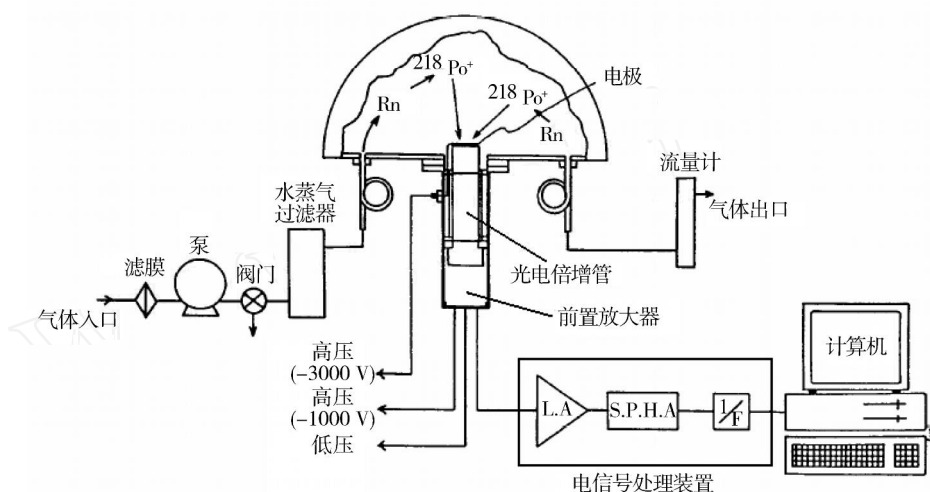


图 1 ERM-B1 的原理图

Fig. 1 Schematics of ERM-B1 device

3 结果与分析

3.1 数据概况

本论文的研究对象是对 2003 年 1 月至 2007 年 12 月的五年间的大气氡浓度测量数据。由于断电或仪器故障等原因,部分数据发生缺失,各年度的数据缺失率依次分别为 14.95%、41.78%、4.92%、7.37%、11.84%,其中 2004 年因计算机故障缺失数据较多。五年数据的总缺失率为 16.19%,即总有效数据约占 83.8%,可以认为能够较好地反映此期间内大气中氡浓度的变化规律和趋势。

3.2 北京地区大气氡浓度水平及 5 年间的变化趋势

五年间连续监测得到的总有效数据是 36 731 个,其中大气氡浓度最大值为 49.81 Bq/m^3

,最小值为 1.06 Bq/m^3 。所有测量数据的算术平均值,即北京地区室外大气氡浓度的平均值为 $12.1 \pm 4.9 \text{ Bq/m}^3$ 。各年的年平均浓度又略有不同,但相差不大,如图 2 所示。其中,2006 年平均浓度最高 ($13.0 \pm 5.8 \text{ Bq/m}^3$),2004 年最低 ($11.2 \pm 4.9 \text{ Bq/m}^3$),5 年间没有观察到逐年上升或逐年下降的趋势。

可以看出,本研究得到的北京地区室外氡浓度平均值为 12.1 Bq/m^3 ,略高于世界平均值的 10 Bq/m^3 ^[11],但略低于我国室外氡浓度平均值 (14 Bq/m^3)^[12]。

3.3 日变化规律

将一年中每日同一时刻测得的氡浓度做算术平均来观察日变化规律,结果示于图 3。一天内大气氡浓度呈现类似正弦规律的变化曲

线;与此同时,为观察最低值和最高值在每一时刻出现的频率,对五年内(有效测量天数为 1 518 天,约占 85%)每日最大值和最小值出现的时刻及次数进行统计,结果如图 4 所示。

图 3 和图 4 的分析结果表面,在每日清晨 6~8 时,大气中氡浓度达到最高值,这一时段出现最高值的比例占 30.2%;在每日下午 16~18 时,大气氡浓度达到最低值,这一时段出现最低值的比例 25.6%。上述日变化规律与国外报道的连续测量观察结果基本一致^[13]。

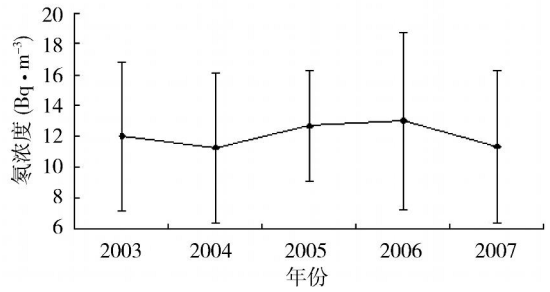


图 2 室外氡年平均浓度

Fig. 2 Annual average concentration of outdoor radon in five years

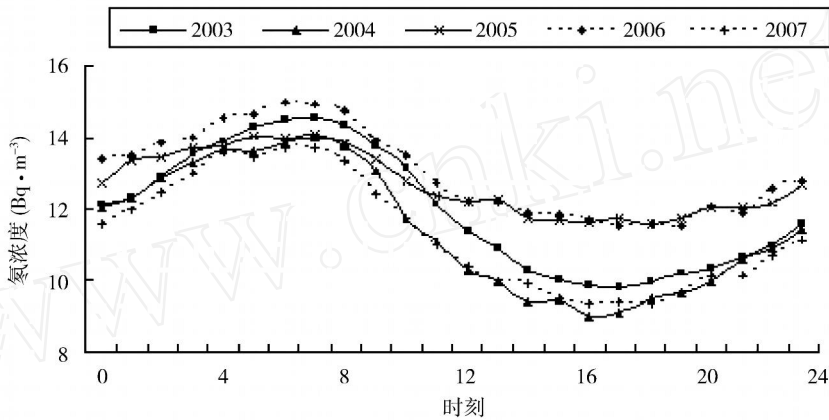


图 3 2003~2007 年全年平均的室外氡浓度日变化

Fig. 3 Diurnal variations of the whole year from 2003 to 2007

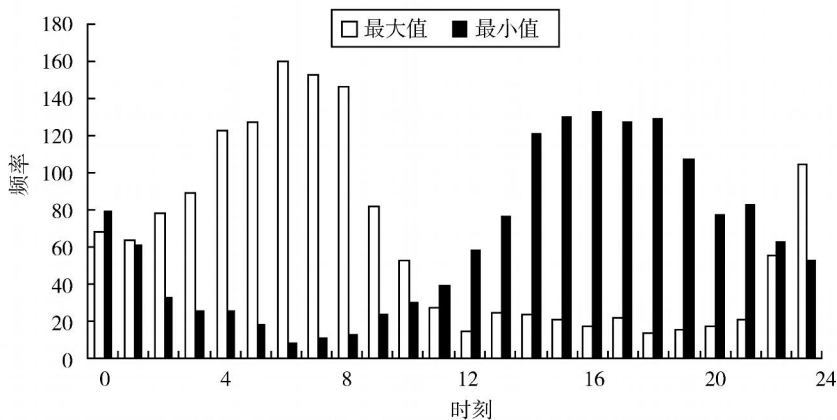


图 4 五年中日最大值与日最小值出现的频率分布

Fig. 4 Frequency distribution of diurnal maximum and minimum appearances in five years

一般认为日变化的这种类似正弦曲线的变化规律,与地面大气温度的垂直分布状况有

关^[14]。地面大气温度影响着大气的混合深度,白天垂直温差大,大气混合深度增大,地表大气

氡浓度易于扩散,垂直温差至黄昏时达最大,此时大气氡浓度最低;夜间垂直温差变小,大气混合深度减小,地表大气不易扩散,氡浓度累积,至凌晨时达最大值。

为了更仔细地观察日变化规律,又将各月

每天同一时刻测得的浓度作算术平均,作为该月这一时刻的代表浓度,将每年 12 个月的大气氡浓度日变化做图分析,图 5 是对 2005 和 2007 年的统计结果。

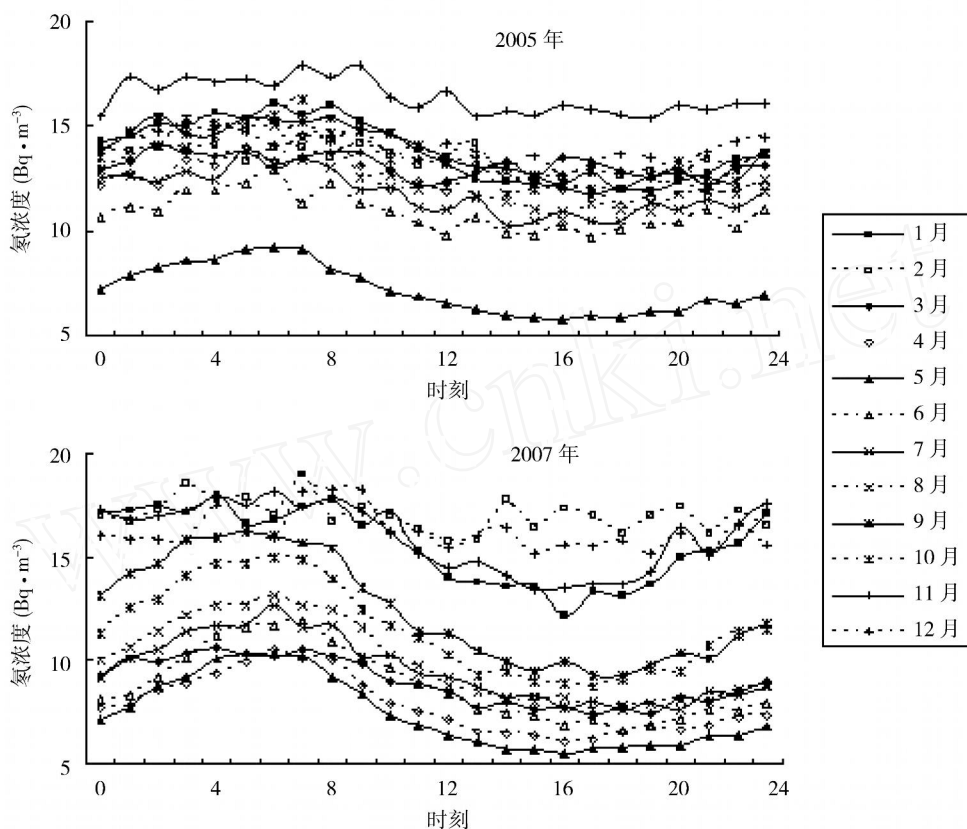


图 5 2005 年和 2007 年大气氡浓度每月的日变化图

Fig. 5 Diurnal variation in each month in 2005 and 2007

从图 5 中可以看出,大气氡浓度日变化因月份不同,气象条件不同而相差较大,有些月份的日变化比较剧烈,有些月份的日浓度变化则比较平缓。另外,有些月份日变化的正弦曲线并不是很明显,最大值和最小值出现的时间段也会有所移动,这些现象应该与当时的气象条件紧密相关。

我们还注意到,大气氡浓度在最大值处可以看出较明显的峰,而在最小值处则峰形较为平缓,这一点在图 3 中也可以观察到。另外,氡浓度在 23 时出现最大值的次数也比较多,达

10%左右。

为了给瞬时测量时段的选择提供参考,还对日平均浓度出现的时段进行了分析。日平均氡浓度出现在上午 10~12 时的概率最大,出现在夜里 11 时至次日 2 时的概率次之。

3.4 季节变化规律

图 6 给出了每年各月氡浓度的算术平均值,并以误差线的形式给出了该月的标准差。从五年的逐月变化图像来看,最低月平均浓度出现在 4~5 月份,最高月浓度出现在 10~11 月份(2007 年除外,最高月浓度出现在 2 月),

其中月平均浓度最大值为 $20.72 \pm 5.40 \text{ Bq/m}^3$ (出现在 2006 年 10 月), 最小值为 $7.22 \pm 2.82 \text{ Bq/m}^3$ (出现在 2005 年 5 月)。

从逐月变化中我们可以观察到季节变化规律。在北京地区春季大气氡浓度最低, 秋季最高。究其原因, 一方面在于春季大气稳定性差, 大气混合深度增加, 大气氡浓度减小; 秋季则大

气稳定性好, 大气氡浓度不易扩散; 另一方面主导风向的影响也不能排除。

有文献^[13]报道了在意大利米兰进行的大气氡浓度连续 4 年的观测结果, 其季节变化趋势是夏低冬高。各地区大气氡浓度的季节变化趋势不尽相同, 应该取决于该地区的地理位置和气象条件。

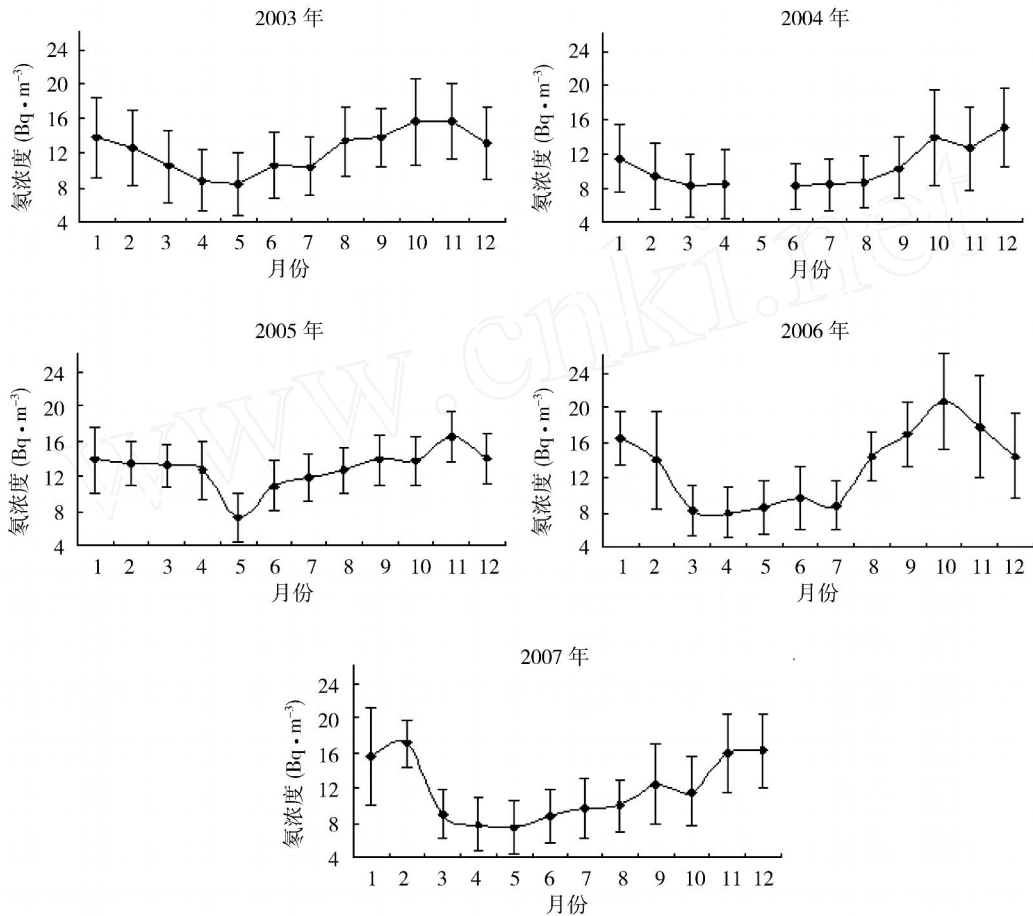


图 6 五年中室外氡的月平均浓度变化

Fig. 6 Monthly average concentration of outdoor radon in five years

4 结论

本文对北京地区 2003~2007 5 年间的大气氡浓度的连续测量数据进行了分析研究。该 5 年间室外氡浓度的平均值为 $12.1 \pm 4.9 \text{ Bq/m}^3$, 略高于世界平均值的 10 Bq/m^3 ;

北京地区氡浓度日变化规律总体上与国内、外报道的研究结果相类似, 最大值一般出现在清晨, 最小值一般出现在黄昏。但是就测值分

布范围的宽度而言, 满足这样典型变化规律的天数最多不超过全年的 1/3, 可见室外氡浓度变化的复杂性, 它更多地取决于该日的气象因素。

季度变化规律相对较清晰, 各年的逐月平均氡浓度分布呈现较一致的规律, 即春季 (4, 5 月份) 大气氡浓度较低, 深秋初冬 (10, 11 月份) 时氡浓度水平较高。

大气氡浓度变化规律的研究可以为室内氡

研究提供背景数据。大气氡浓度与气象数据关系的深入探讨是下一阶段的研究内容。

参考文献

- 1 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. 辐射防护, 1992. 12(4): 251
- 2 Cheng J P, Guo Q J, Ren T S, et al. Radon levels in China. J. Nucl. Sci. Technol., 2002. 9: 695
- 3 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. Radiation Protection Dosimetry, 1990. 30(1): 37
- 4 Man C K, Yeung H S. Variations of outdoor radon concentrations in Hong Kong. J. Environ. Radioactivity, 1998. 40(2): 137
- 5 Zhuo W, Iida T, Yang X. Environmental radon and thoron progeny concentrations in Fujian Province of China. Radiation Protection Dosimetry, 2000. 87(2): 137
- 6 戈立新,汪名侠,李传琛. 上海地区空气中氡水平调查. 辐射防护, 2002. 22(4): 246
- 7 Taguchi S, Iida T, Morizumi J, et al. Evaluation of the atmospheric transport model NIRE-CIM-96 by using measured radon-222 concentrations. Tellus, 2002. 54B: 250
- 8 Iida T, Ikebe Y, Suzuki K, et al. Continuous measurements of outdoor radon concentrations at various locations in East Asia. Environ. Int., 1996. 22(Sup. 1): 139
- 9 腾海云,郭秋菊,马丁. ^{222}Rn 在大气输运研究中的示踪应用. 辐射防护, 2008. 28(1): 18
- 10 Zhang Liguo, Guo Qiuju, Iida T. Atmospheric radon levels in Beijing, China. Radiation Protection Dosimetry, 2004. 112(3): 449
- 11 UNSCEAR. 电离辐射源与效应. 卷 . 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
- 12 潘自强. 辐射防护的现状与未来. 北京: 原子能出版社, 1997
- 13 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. Journal of Environmental Radioactivity, 2003. 65(2): 147
- 14 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. Radioactivity in the Environment, 2004. 7(1): 222

(编辑部收稿日期 2008 年 3 月 4 日)

VARIATIONS AND LEVELS OF OUTDOOR RADON CONCENTRATION IN BEIJING AREA

Zhang Liang Huang Lin Guo Qiuju

(Department of Technical Physics, School of Physics, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract To study the variations and levels of outdoor radon concentration in Beijing area, continuous measurement was performed hourly over a five-year period from January 2003 to December 2007. With 36731 measured data, the levels and variations were analyzed, the trend of diurnal and annual variations were studied. The range of average concentration of outdoor radon each year was from $11.2 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ to $13.0 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, while the average concentration of the five years was $12.1 \pm 4.9 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. The average diurnal pattern of radon concentration showed that diurnal maximum appears between 6:00 and 8:00 am, and the minimum appears between 16:00 and 18:00 pm. The annual pattern features a maximum in October and November and a minimum in April and May.

(Key Words: Outdoor Radon, Continuous Measurement, Beijing Area)