

密闭空间氡浓度垂直分布规律的实验研究

张凯 杨翊方 王海军 王震涛 任鑫 王川

(海军医学研究所 上海 200433)

摘要 为了验证氡浓度可能存在垂直分布规律,通过被动式测氡法——活性炭盒测氡法开展了氡浓度垂直分布规律的验证性研究。结果表明,在该实验场所的0.04 m至3.01 m处氡浓度从73.12 Bq/m³降至51.89 Bq/m³,初步验证了氡浓度上低下高的垂直分布规律。之后,在同一场所又进行了一次实验,实验结果再次验证了之前的结论。该规律对地下建筑内的工作人员的剂量评价工作开展具有一定的指导意义。

关键词 密闭空间, 氡浓度, 垂直分布

中图分类号 X125, X591, TL75+1

氡及其子体作为天然辐射源,被人体吸入后可引发肺癌和其它病变,它在对人类所致电离辐射剂量的贡献中的比例已超过50%,受到了各国的关注。氡及子体是民用建筑工程室内环境污染控制规范中必测的五大污染物之一。我国相继颁布了氡浓度控制标准及标准监测方法等相关标准。对标准监测方法进行的描述中包括监测高度的要求,即检测点的高度原则上与人的呼吸带(0.5–1.5 m)高度一致^[1]。而实际工作中,可能存在部分场所内部高度大且人员驻留时有高度差别,使用标准规定的高度测量来评价相关人员年有效剂量可能误差较大,为验证该观点,同时考虑到实验的可行性,特开展密闭空间氡浓度垂直分布的规律的研究。

1 实验设备和方法

1.1 方法选择

目前,测定空气中氡浓度的方法有瞬时测量法(双滤膜法、闪烁法、气球法等)、累积测量法(活性炭盒法和径迹蚀刻法)和连续测量法(静电收集连续氡监测仪)。但很多方法只能测定瞬时氡浓度,而一个测量点的氡浓度是一个长期的在一定范围内波动的值,瞬时氡浓度没有代表性;而径迹蚀刻法虽然具有测量准确、灵敏度高的优点,但采样时间需达90 d以上,在实际工作中应用太耗时,不予采用。相对而言,活性炭盒法一般取样时间为2–7 d,它给出的是短期平均氡浓度,而且具有操作简便、便于布放、测量结果准确等优点,很适合本次实验,

特予以采用。

1.2 实验设备

活性炭盒是由中国计量科学研究院生产的圆柱形活性炭盒,尺寸为 $\phi 9\text{ cm} \times 4\text{ cm}$,装有8–16目的椰壳炭(80 $\pm$ 1) g,探测下限为6 Bq/m³,密封条使用3M特种胶布。

实验测量用的 γ 谱仪系统为ORTEC公司生产的N型GMX40探测器和DSPEC Pro多道谱仪系统。该系统对⁶⁰Co的1332 keV γ 射线的能量分辨率为2.0 keV,相对效率为42%。样品和探头用10 cm厚铅室屏蔽,铅室内壁依次为镉、铜、有机玻璃吸收层。

1.3 布放场所

布放场所的选择主要考虑以下因素:一是密闭条件好,避免外界因素影响场所内的空气被动运动;二是建筑空间大,布放在中央可最大限度减少四壁氡的析出对其分布的影响;三是内部高度大,保证垂直方向上可大距离布放炭盒。因此选择了一间无窗、有迷宫走廊的建筑,其内部空间为12 m $\times$ 12 m $\times$ 4.5 m,该房间的屋顶及四周墙壁上部为水泥,涂敷油漆,墙壁下部为釉面瓷砖,地面材料为水磨石。

2 实验研究过程

2.1 氡浓度分布规律

将20个活性炭盒解封后放入电热恒温干燥箱

第一作者:张凯,男,1984年10月出生,2009年于海军工程大学获得硕士学位,现为海军医学研究所防护医学研究室研究实习生,主要从事核技术及应用研究

通讯作者:杨翊方, Email: emailyfy@163.com

收稿日期:初稿 2010-12-13, 修回 2011-04-11

内,以120℃烘烤8 h,去除残存的氡气和水分^[2]。待冷却后取出,用胶布重新封好,整个过程操作迅速,尽量减少活性炭的暴露时间。然后将这些活性炭盒称重后待用。

现场布放前,房间密闭3 d,布放位置设在房间中央,布放时房间内温度为16℃、湿度为65%。分8个高度依次垂直布放,间隔30–50 cm,每个高度布放2个炭盒,剩余4个活性炭盒密封放置在现场,作为本底。采样72 h后,将炭盒取下重新封好,实验室称重,且放置3 h待衰变平衡后用 γ 谱仪系统进行测量。测量完毕后得到不同活性炭盒的氡子体特征 γ 射线峰群总计数。再用北京睿思厚德公司生产的氡气检测软件分析氡浓度,标准源为镭活度为428.4 Bq的活性炭盒,可得到各个炭盒布放位置的氡浓度。在相同温湿度条件下,在该场所又进行了一次实验,利用前述方法得到第二次实验的氡浓度数据。

实验结果显示,在相同离地高度下布放的活性炭盒两次实验所测得的氡浓度较为接近,两者取平均后作为该位置的实际氡浓度,这样便可绘出氡浓度关于离地高度的变化(见图1)。由图1可知,离地高度从0.04 m增大到3.01 m而氡浓度从73.12 Bq/m³下降到51.89 Bq/m³。

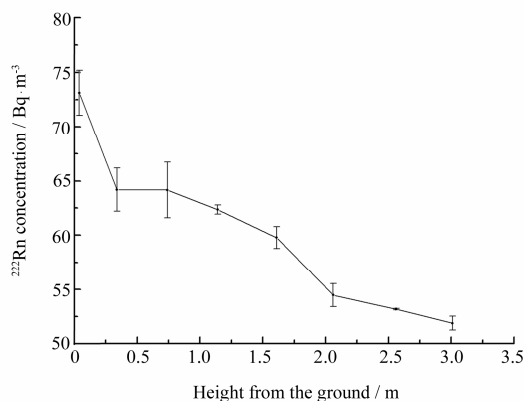


Fig.1 The vertical distribution of the ²²²Rn concentration in the room

2.2 温度对氡浓度分布规律的影响

为了研究温度对氡浓度垂直分布的影响,在温度为11℃、湿度为65%的条件下,在该房间内进行了同类实验后测得了一组不同高度下氡浓度数据,根据数据绘出氡浓度关于离地高度的变化(见图2)。由图2可见,离地高度从0.04 m增大到3.60 m而氡浓度从47.27 Bq/m³下降到37.06 Bq/m³。

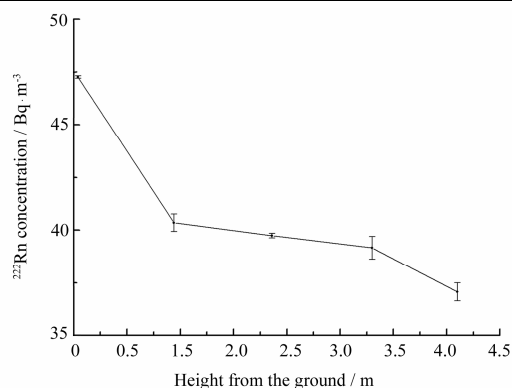


Fig.2 The vertical distribution of the ²²²Rn concentration in the room

2.3 氡浓度分布规律的成因

根据上述情况可得:氡浓度随着离地高度的增加而逐渐降低;随着房间温度的升高,氡浓度的净值变大,同时变化趋势也更为明显。由于室内氡气来源于建筑材料的贡献占60%–70%^[3,4]。建筑材料氡析出率是影响现代居室内氡浓度的直接因素^[5],而建筑材料氡析出不仅与放射性核素镭的活度浓度有关,还与孔隙度、粒径、微观亚微观结构等因素有关,如果原材料以及加工工艺明显不同,即使放射性核素含量相近的同类建筑材料,氡析出率也可相差1–2个量级。考虑到实验布放场所地面和屋顶的建筑材料差异较大,可能对本研究中的氡浓度垂直分布规律产生较大影响,为分析其影响,通过活性炭盒法测量了同一场所地面和屋顶的氡析出率^[6],结果是屋顶和地面的氡析出率均值分别为2.72 mBq·m⁻²·s⁻¹和1.76 mBq·m⁻²·s⁻¹,由此可看出该场所屋顶的氡析出率比地面大,排除了地面氡析出率高于屋顶氡析出率可能造成实验场所氡浓度垂直分布上低下高的假相。因此可证明在密封空间内,氡的自然分布具有上低下高的规律。另外,当房间内温度升高时,建筑材料氡析出率会相对变大,这样便造成了氡浓度净值的变大。

分析其原因,氡是惰性气体,从建筑物内部析出后,不易发生化学反应,也不易吸附于气溶胶,氡的半衰期为3.825 d,所以氡析出后并不会马上衰变完,在未衰变为子体前,以气态形式存在,会类似其它气体一样,受到分压和重力作用在布放场所内部发生运移。但有研究发现^[7],氡及其子体在理想条件下的空气中,其纵向运移能力远大于横向运移能力,前者>90%,后者<10%;氡及其子体比重很大,但其向上运移的贡献>45%,向下运移的贡献<45%;氡及其子体和母体衰变放出的 α 粒子减速后之⁴He核可与它们形成团簇,当其比重小于空气时,能自行上升。照此推论,密闭空间氡浓度将以上高

下低的规律分布,正好与本实验结果相反。分析该研究,关键是氡团簇形成所需的 ^4He 核数量巨大,仅仅通过氡及子体衰变产生的 ^4He 核是远远不够的,研究人员在此问题上并未明确阐述;另外,如果该理论成立,对氡测量的传统方法——双滤膜法、闪烁法都需要采用滤膜滤除氡子体,如果氡以氡团簇的形式在空气中运移,则双滤膜法、闪烁法测量氡浓度应该将会严重偏低,但一直没有相关文献及实验发现该问题。由此,前述研究结果并不成立。相关研究人员对前述研究结果也提出过质疑,并证明其不成立^[8]。由此推断,从氡的基本物理特性考虑,它的比重比空气大,在地球引力的作用下,会向下沉降,造成密闭空间中氡浓度上低下高的规律。

3 结论

以往对室内氡浓度测量通常测定的是距地面0.5~1.5 m高度的氡浓度,用在评价场所环境和工作人员年有效剂量。本文利用活性炭盒测氡法开展了氡浓度垂直分布规律研究,初步证明氡的自然垂直分布规律为上低下高。因此在涉及评价地下建筑内工作人员年有效剂量时,应根据该场所内工作人员工作位置的垂直高度来选择检测点。这样检测出的氡浓度水平才更加逼近真值,对于工作人员剂量评价更具指导意义。另外,房间内湿度对氡浓度分布规律的影响将作为后续工作进行开展。

参考文献

- 1 GBZ. 室内氡及其衰变产物测量规范. GBZ/T182-2006. 北京: 人民卫生出版社, 2006
- GBZ. Specifications for monitoring of indoor radon and

its decay products. GBZ/T182-2006. Beijing: People Sanitation Press, 2006

- 2 马文彦, 周春林, 陈桂英, 等. 核电子学与探测技术, 2002, **22**(1): 84
MA Wenyan, ZHOU Chunlin, CHEN Guiying, *et al.* Nucl Elec & Detec Tech, 2002, **22**(1): 84
- 3 Vander P M, Te H G. Radon transport in autoclaved aerated concrete[R]. Netherlands: Eindhoven University of Technology, 2004: 96
- 4 De J P, Van D W, Vander G, *et al.* National survey on the natural radioactivity and ^{222}Rn exhalation rate of building materials in the Netherlands[J]. Health Physics, 2006, **91**(3): 200-210
- 5 刘福东, 潘自强, 刘森林, 等. 原子能科学技术, 2009, **43**(3): 272
LIU Fudong, PAN Ziqiang, LIU Senlin, *et al.* Atom Ener Sci and Tech, 2009, **43**(3): 272
- 6 GB. 建筑物表面氡析出率的活性炭测量方法. GB/T 16143-1995. 北京: 中国标准出版社, 1995
GB. Charcoal canister method for measuring ^{222}Rn exhalation rate from building surface. GB/T 16143-1995. Beijing: Standards Press of China, 1995
- 7 贾文懿, 方方, 周蓉生, 等. 核技术, 2000, **23**(3): 169-174
JIA Wenyi, FANG Fang, ZHOU Rongsheng, *et al.* Nucl Tech, 2000, **23**(3): 169-174
- 8 谭延亮, 肖德涛, 赵桂芝. 物理学报, 2008, **57**(9): 5452-5457
TAN Yanliang, XIAO Detao, ZHAO Guizhi. Acta Physica Sinica, 2008, **57**(9): 5452-5457

Experimental study on vertical distribution of ^{222}Rn concentration in confined space

ZHANG Kai YANG Yifang WANG Haijun WANG Zhentao REN Xin WANG Chuan

(The Naval Medical Research Institute, Shanghai 200433, China)

ABSTRACT In order to verify the ^{222}Rn concentration in the vertical distribution of possible, the validation study was carried out using the method of passive measurement of ^{222}Rn , active carbon box method. Experimental results indicate that the ^{222}Rn concentration decreases from 73.12 Bq/m^3 to 51.89 Bq/m^3 when the height above the ground increases from 0.04 m to 3.01 m. The vertical distribution, ^{222}Rn concentration decreases with increasing height, was preliminarily verified. Subsequently, another experiment was taken in the same room, and the result identified the conclusion. This study could supply the dose assessment of people working in the underground construction with some guidance.

KEYWORDS Confined space, ^{222}Rn concentration, Vertical distribution

CLC X125, X591, TL75+1