

乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 及子体辐射影响研究韩芹芹¹, 吕爱华¹, 苏君¹, 王灵¹, 李建辉²中图分类号: TL75⁺1 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2012)01-0064-02

【摘要】目的 为掌握乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 及子体对居民的辐射影响状况,为本地地区居室内²²²Rn 污染防治提供科学依据。方法 2008 年 8 月至 2009 年 8 月 在全市范围内进行了居室内²²²Rn 浓度累积测量 根据测量结果估算出其所致居民年均有效剂量和部分关键人体器官与组织的吸收剂量。结果 乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 年均浓度为 $57\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, 居室内²²²Rn 及子体致居民的年均有效剂量为 1.87mSv , 其所致人体支气管上皮组织、肺、性腺、骨髓及骨表面细胞的年吸收剂量分别为 2426.36 、 485.26 、 39.90 、 40.90 和 $40.90\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$, 达到了世界平均水平的 1.42 倍和《全国土壤氡-室内氡关联性研究》课题组 10 城市平均水平的 1.63 倍。结论 乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 与全国相比处于较高水平,应引起高度重视。

【关键词】室内²²²Rn; 剂量估算; 有效剂量; 吸收剂量; 乌鲁木齐

据 WHO 最新的估算数据,室内氡是目前仅次于吸烟引起人类肺癌的第二大要因,在全世界范围内,室内氡导致肺癌的比例约占总肺癌发病率的 3%~14%^[1]。一般而言,室内氡及子体对人体产生的危害程度与时间和吸入剂量成正比,致肺癌的危险度与室内氡浓度的高低、受照射时间长短和初始受照射年龄等因素有关,室内氡浓度越高、受照射时间越长,初始受照射年龄越小,危险度越高^[2]。

在氡越来越受到世界各国的广泛关注的同时,我国政府也十分重视民用建筑工程内放射性致癌物质氡的危害问题,自 2011 年 6 月 1 日起正式启用的《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325-2010(以下简称《规范》)对民用建筑工程室内氡的释放量继续保持了严格的规定^[3]:居室等 I 类民用建筑工程室内氡最高允许浓度 $200\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,公共场所等 II 类民用建筑工程室内氡最高允许浓度 $400\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,氡浓度超标的房屋不允许交付使用。在氡的 4 个放射性同位素中,²²²Rn 及其子体对人体的危害最大^[3],通常应根据室内²²²Rn 累积测量所获得的年均浓度水平估算出²²²Rn 及子体所致人体的有效剂量,从而评价出室内²²²Rn 及子体致人体的辐射影响。

乌鲁木齐是《全国土壤氡-室内氡关联性研究》课题参与城市之一,作为新疆维吾尔自治区的首府,近年来城区规模不断扩大,房地产业发展迅速,掌握本地区居室内²²²Rn 污染水平,了解本地区居室内²²²Rn 及子体对居民辐射影响水平具有重要的现实意义。乌鲁木齐市环境监测中心站于 2008 年 8 月至 2009 年 8 月间,对全市范围内的民用建筑工程居室内的²²²Rn 浓度水平展开了调查。

1 样品采集与监测方法

按《全国土壤氡-室内氡关联性研究》课题方案的要求,采用固体径迹累积测量法,利用课题组统一提供的固体径迹探测器,在全市范围内均匀布设监测点位,每个点位布放 1 个探测器,在正常居住条件下,以 3 个月为一个周期,共布放了 4 批固体径迹探测器,回收率为 98.8%,完成了连续一年的居室内²²²Rn 浓度累积测量。每批测量结束后,回收的探测器立即被密封并寄至上海放射医学研究所进行处理和读数。

2 乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 监测结果

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划(编号:2006BAJ02A11)。
作者单位:1 乌鲁木齐市环境监测中心站,新疆 乌鲁木齐 830000;2 环境保护部华北核与辐射安全监管站,北京 100191
作者简介:韩芹芹(1981~),女,河南项城人,硕士,工程师,主要从事环境监测工作。E-mail: flybaby_2010@sohu.com

2.1 监测数据处理 本次调查共获得 77 个室内²²²Rn 浓度有效数据,数据的归纳和整理采用 Microsoft Excel 2007,数据的统计学分析使用 SPSS19.0 软件,首先采用 Kolmogorov-Smirnov (K-S)方法进行数据的正态分布检验,经 SPSS 19.0 对室内²²²Rn 浓度频数统计分析,乌鲁木齐居室内²²²Rn 浓度呈正偏态分布,对数转换后接近正态分布,能够代表乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 含量的分布状况。

2.2 累积监测结果 乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 含量其统计参数如表 1 所示。

表 1 乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 含量及特征值统计(单位: $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)

监测时间	监测 点位	有效 样品数	均值±标准差	最大值	最小值	中位数
2008.08.15~2008.11.20	20	19	57.2 ± 10	105	23	52
2008.11.20~2009.02.20	20	18	84.8 ± 13	170	39	73
2009.02.20~2009.05.20	20	20	53.9 ± 11	90	24	55
2009.05.20~2009.08.20	20	20	36.8 ± 8	73	19	33
全年	20	77	57.0 ± 10	98.3	28.7	58

从表 1 可以看出,乌鲁木齐地区居室内²²²Rn 调查结果介于 $19 \sim 170\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间,其年均浓度为 $57\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,低于《规范》GB50325-2010 中 I 类民用建筑工程室内氡浓度限值($200\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)和我国北方部分地区居室内²²²Rn 浓度水平均值($114.1\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)^[4];高于 UNSCEAR2000 年报告的室内²²²Rn 典型值 $40\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[5],并高于徐东群^[6]给出的我国主要城市本世纪初的住宅氡浓度平均值 $43.8\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,以及同期参与课题的全国 10 个城市的均值 $34.9\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[7]。

3 乌鲁木齐室内²²²Rn 及子体辐射影响分析

²²²Rn 对人体的危害主要是²²²Rn 在衰变过程中产生的半衰期比较短、具有 α 、 β 放射性的子体产物,如²¹⁸Po、²¹⁴Pb、²¹⁴Bi 和²¹⁴Po^[1],其中 90% 以上的子体粒子被空气中的气溶胶粒子所吸附,呈游离状态,能被多种物质吸附且能在空气中存留较长时间,当通过呼吸作用进入人体后,²²²Rn 及子体衰变产生的 α 、 β 粒子能对人体产生内照射辐射,通常称为²²²Rn 及子体暴露^[6]。室内²²²Rn 及子体对人体辐射影响程度与人体所接受的有效剂量有关。

3.1 乌鲁木齐室内²²²Rn 及子体暴露所致居民有效剂量估算

目前在对室内²²²Rn 及子体的暴露进行剂量评价时,把暴露量换算为有效剂量的方法分为两类,即剂量学评价方法和流行病学评价方法^[6],目前国内文献报道多采用剂量学评价方法,剂量估算多采用 2000 年 UNSCEAR 提供的有效剂量转换因子^[5]进行室内²²²Rn 及子体的有效剂量估算,笔者采用 GBZ/

T182-2006《室内氡及其衰变产物测量规范》中给定的公式估算²²²Rn 及子体对人体产生有效剂量:

$$E_{Rn} = C_{Rn} \cdot t \cdot D_{gas} \times 10^{-6} + C_{Rn} \cdot F \cdot t \cdot D_{Progeny} \times 10^{-6} \quad (1)$$

式中: E_{Rn} —年均有效剂量(mSv); C_{Rn} —实测室内²²²Rn 浓度($Bq \cdot m^{-3}$); t —一年暴露时间,城市居民室内停留因子取 $0.8 \text{ t} = 24h/d \times 365d \times 0.8 \approx 7000h/a$; D_{gas} —²²²Rn 的剂量转换因子,取^[5]值 $0.17nSv/(Bq \cdot h \cdot m^{-3})$; $D_{Progeny}$ —²²²Rn 子体的剂量转换因子,取^[5]值 $9nSv/(Bq \cdot h \cdot m^{-3})$; F —平衡因子,我国室内典型值为 0.5 ; 10^{-6} —nSv—mSv 转换系数。

因²²²Rn 及子体对人体产生的年均有效剂量来自于²²²Rn 气体和²²²Rn 子体两部分,²²²Rn 计算得 $0.07mSv$,经计算²²²Rn 子体为 $1.80mSv$ 。综合两部分计算出乌鲁木齐市居室内²²²Rn 气体及子体致居民的年均有效剂量为 $1.87mSv$,高于世界平均年有效剂量值 $1.008mSv$ ^[5]和中国平均年有效剂量值 $0.916mSv$ ^[5]。监测点位中,高于世界平均年有效剂量的点位数约占 85% ,是世界均值的 $0.75 \sim 2.57$ 倍;高于中国平均年有效剂量的点位数约占 90% ,是中国均值的 $0.83 \sim 2.83$ 倍,应引起高度重视。

3.2 对居民关键组织的吸收剂量估算 ²²²Rn 能够溶解于水、脂肪和各种有机溶剂中,尤其在脂肪中的溶解度是水中的 125 倍,因此,随呼吸进入人体内的²²²Rn 可遍布人体的各个组织^[8]。当人们吸入²²²Rn 及子体,将会对某些组织或器官产生较大的吸收剂量。采用 UNSCEAR 报告所推荐的方法,进一步估算出吸入²²²Rn 及其衰变子体致人体的支气管上皮组织、肺、性腺、骨髓及骨表面细胞的年吸收剂量。估算公式如下:

$$D_i = EEC \cdot q_i \cdot f \times 8760 \quad (2)$$

式中: D_i —组织或器官 i 的年吸收剂量($\mu Gy \cdot a^{-1}$); EEC —室内²²²Rn 的平衡当量浓度($Bq \cdot m^{-3}$); $EEC = C_{Rn} \times F$; C_{Rn} —实测室内²²²Rn 浓度($Bq \cdot m^{-3}$); F —平衡因子,我国室内典型值为 0.5 ; f —人员的居留因子,室内取 0.8 ; 8760 —全年的小时数; q_i —组织或器官 i 的吸收剂量与平衡当量氡浓度的时间积分比值($\mu Gy: Bq \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$),见表2。

表2 吸入²²²Rn 及其衰变子体所致各组织的吸收剂量与氡的平衡当量浓度的时间积分比(单位: $\mu Gy: Bq \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$)

组织	支气管上皮组织	肺	性腺	骨髓	骨表面细胞
q_i	0.0121622	0.0024324	0.0002	0.000205	0.000205

将数值带入式(2) 结果见表3。

表3 吸入²²²Rn 及子体所致调查地区居民身体各关键组织的年吸收剂量

地区	室内氡 年均值 ($Bq \cdot m^{-3}$)	EEC ($Bq \cdot m^{-3}$)	支气管上 皮组织 ($\mu Gy \cdot a^{-1}$)	肺 (μGy $\cdot a^{-1}$)	性腺 (μGy $\cdot a^{-1}$)	骨表面 细胞 ($\mu Gy \cdot a^{-1}$)	骨髓 (μGy $\cdot a^{-1}$)
乌鲁木齐	57.0	28.5	2 426.36	485.26	39.90	40.90	40.90
广州市 ^[7]	32.7	16.35	1 391.96	278.39	22.89	23.46	23.46
课题组 ^[10]							
城市均值 ^[7]	34.9	17.45	1 485.61	297.12	24.43	25.04	25.04
重庆 ^[10]	10.8	5.4	459.73	91.94	7.56	7.75	7.75
苏州 ^[11]	29.9	14.95	1 272.77	254.55	20.93	21.45	21.45
世界 ^[5]	40	20	1 702.71	340.54	28.00	28.70	28.70

由上表可见,室内²²²Rn 及子体进入人体后,对于体内各器官的辐射剂量是不同的,在支气管上皮组织所产生的吸收剂量最大,其次是肺,再次是骨髓和骨表面细胞,最后是性腺。经估算发现乌鲁木齐市居室内²²²Rn 及子体致人体关键组织的吸收剂量是世界平均水平的 1.42 倍,也是参与本次课题组 10 城市平均水平的 1.63 倍,并高于同期进行室内氡调查的广州、苏州和重庆等城市。

4 讨论

人类每年所受到的天然放射性的照射剂量大约 $2 \sim 3mSv$,其中氡的内照射危害约占 50% ^[3]。降低室内²²²Rn 及子体对人的危害对于控制天然放射性照射具有重要的现实意义。通过本次为期一年的乌鲁木齐居室内²²²Rn 浓度累积调查,发现乌鲁木齐市居室内²²²Rn 浓度水平总体符合国家标准要求,居室内²²²Rn 及子体致居民的年均有效剂量和各关键组织的年吸收剂量均高于世界平均水平和中国平均水平,因此,乌鲁木齐市居室内²²²Rn 的评价和防护应引起高度重视。值得注意的是,由于肺器官的质量、呼吸速率随着年龄而变化,相同暴露条件下,肺吸收有效剂量在不同年龄表现出不同的差异。对于同一人群,环境中氡的暴露浓度越高、滞留于肺中的氡量越多,肺的吸收剂量就越大;当环境中氡的暴露浓度及滞留于肺中氡的气溶胶量一定时,肺的容量、重量越小,肺对氡及子体的吸收剂量越大^[2]。耿世彬^[12]等调查发现,对于空气中给定的氡及子体浓度,在 6 岁左右时有效剂量当量达到最大值,该值约比 30 岁时的有效剂量当量高 2.5 倍。平均来说,相同氡暴露浓度对 10 岁前儿童所产生的有效剂量当量约为成年人的 $1.5 \sim 2$ 倍。据《乌鲁木齐市2010年第六次全国人口普查主要数据公报》,本市 $0 \sim 14$ 岁的人口占全市常住人口的 13.75% ,应针对这一人群重点做好减少室内²²²Rn 暴露的防护工作。

另外,此次乌鲁木齐市室内²²²Rn 累积调查,主要以居室为主,而民用建筑工程还包括一些职业场所和公共场所,2002年颁布的《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002中对职业场所的氡及子体照射也做出了要求,今后还需进一步对职业场所及公共场所内的²²²Rn 浓度水平展开调查,以便本地区的建设部门和环保部门全面掌握乌鲁木齐市民用建筑工程室内²²²Rn 的污染状况,从而为今后防氡、降氡措施的制定与完善做好准备。

参考文献:

- [1] 张辉,卓维海.室内氡对人体健康影响的现状研究[A].第九届全国环境与职业医学研究生学术研讨会论文集[C].270-274.
- [2] 卢新卫,李贵斌.室内氡致肺组织剂量与危害研究进展[J].癌变·畸变·突变2004 3(2):117-120.
- [3] GB50325-2010,民用建筑工程室内环境污染控制规范[S].北京:中国计划出版社2011.
- [4] 周义新,于水.沈阳部队部分营区室内氡浓度水平[J].解放军预防医学杂志2000 18(2):115-116.
- [5] UNSCEAR.2000年报告:电离辐射源与效应[M].卷I.太原:山西科学技术出版社2002:99-105.
- [6] 徐东群,尚兵.中国部分城市居室室内空气中重要污染物的调查与研究[J].卫生研究2007 36(4):473.
- [7] 蓝学威,梅爱华,盘文坚,等.广州市室内氡浓度调查报告[J].广州建筑2010 6:23-26.
- [8] 李哲民,王迎春.大连地区室内氡的来源与防治[J].环境保护与循环经济2010 9:48-50.
- [9] 袁锦岭,森岛弥重,沈泓,等.阳江天然高本底辐射地区空气中²²²Rn~²²⁰Rn及其子体致居民的剂量估算[J].中国辐射卫生2002 11(2):65-68.
- [10] 潘纯真,刘嘉烈,杜恒彦,等.重庆市氡浓度水平调查[J].辐射防护2009 3(2):111-114.
- [11] 涂贱,卢志娟,俞荣生,等.苏州市室内氡浓度水平及其影响因素研究[J].江苏预防医学2010 9(5):8-11.
- [12] 耿世彬,连慧亮.氡与室内空气质量[J].建筑热能通风空调2001 6:49-51.

(收稿日期:2012-05-03)