

文章编号:1000-582x(1999)03-0085-07

⑮
85-91

室内氡的来源和特性*

TU834.61
X591.01

俞义樵¹, 任天山²

(1. 重庆大学 房地产及能源管理处, 重庆 400044; 2. 卫生部工业卫生实验所, 北京 100081)

摘要: 综述了室内氡的来源和特性, 讨论室内氡浓度的变化和预测模式, 表述氡浓度与换气率的关系、氡子体的粒度分布、沉积速率及其剂量特性等, 指出对室内外氡测量的要求。

关键词: 氡; 来源; 特性; 测量

中图分类号: O 571.1

室内空气, 卫生评价,
污染源
文献标识码: A

联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)在1993年报告中重新估计了各种辐射源对人的照射^[1]。UNSCEAR的新估计结果指出:天然本底辐射产生的人均年有效剂量为2.4 mSv, 其中:宇宙射线, 陆地辐射和体内放射性核素的年剂量分别为0.39 mSv、0.46 mSv和0.23 mSv;空气中氡及其子体产生的剂量为1.32 mSv, 而室内氡及其子体占所致剂量的90%。高浓度氡的长期照射导致受照人群肺癌发病率的增加已被世界卫生组织(WHO)、国际放射防护委员会(ICRP)等众多学术团体和机构所公认, 其估计的氡致肺癌的危险系数在150~600/10⁶ WLM之间。美国估计每年因氡致肺癌而死亡的人数有15 000~25 000例;英国的估计数为每年7 000例;中国室内外氡及其子体所致公众年有效剂量平均值约为0.84 mSv, 据此估计每年因氡致肺癌发生人数为50 000例。我国地域辽阔, 地质结构复杂, 土壤中²³⁸U和²³²Th的比活度高过世界均值, 潜在高氡地区多。因此, 探讨空气中氡的性质, 继续对室内外氡浓度进行科学的监测, 研究和实施补救措施, 开展可能的流行病学调查, 对于保护人民健康很有必要。

对室内氡进行卫生评价的第一步是估计氡及其子体所致剂量。根据氡剂量学的研究, 为了计算剂量必须要测量与空气中氡活度有关的三个重要参量:氡短寿命子体的浓度(J/m³或WL);氡短寿命子体的未结合态份额(%);放射性气溶胶的活度粒度分布(AMD或AMAD)。然而, 这些量都受低层大气层中发生的气象过程和室内微环境的影响, 例如:氡从地面或建筑材料表面释出的机制;氡短寿命子体气溶胶的形成过程;氡短寿命子体在地面和室内表面的沉积;氡在大气中的扩散和室内空气换气率。因此, 研究空气中氡及子体的行为特性很重要。

放射性元素氡有三个天然同位素:²³⁵U系的²¹⁹Rn(钍射气);²³²Th系的²²⁰Rn(钷射气);²³⁸U系的²²²Rn(氡)。由于²³⁵U的比活度低和²¹⁹Rn的半衰期短, 故²¹⁹Rn对人类照射的意义不大。

* 收稿日期:1999-01-19

作者简介:俞义樵(1949-),男,江苏南通人,重庆大学副教授,从事建筑空间辐射环境研究。

^{221}Rn 的半衰期短, 只有在 ^{223}Th 浓度高的地方才重要。笔者从对室内氡进行卫生评价的角度着重探讨室内空气中 ^{222}Rn 的来源和特性, 必要时提及 ^{221}Rn 。

1 室内氡的来源

室内空气中的氡主要来自于房基及其周围的土壤和岩石、建筑材料、室外空气、供水和天然气。下面依次讨论各类氡源对于室内的进氡率, 以分析其对于室内氡浓度的贡献。

1.1 房基土壤

房基及其周围土壤中的氡可以自由扩散和形成载氡气体渗流进入室内, 将单位时间内经由单位地面进入室内的氡的活度定义为面积析氡率 ($\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)。土壤中氡经未覆盖土壤进入室内的面积析氡率可以定量的表示为^[2]:

$$R = \lambda_{\text{Rn}} \cdot F_r \cdot C_{\text{soil, Ra}} \cdot \rho_{\text{soil}} \cdot L_{\text{Rn}} \quad (1)$$

式中: λ_{Rn} 是 ^{222}Rn 的衰变常数 ($2.1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$), F_r 是射氡能力 (%), $C_{\text{soil, Ra}}$ 是土壤中 ^{226}Ra 的比活度 (Bq/kg), ρ_{soil} 是土壤密度 (kg/m^3); L_{Rn} 是土壤中氡的扩散长度 (m)。UNSCEAR 1988 年报告给出的新参考数为 $F_r = 20\%$, $\rho_{\text{soil}} = 1.6 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$, $L_{\text{Rn}} \approx 10 \text{m}$ 。假定 $C_{\text{soil, Ra}} = 25 \text{Bq}/\text{kg}$, 则面积析氡率 $R = 1.7 \times 10^{-2} \text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 与直接实验测量结果 $1.6 \times 10^{-2} \text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 基本一致。

房基土壤中氡由于扩散而经由没有裂缝的混凝土板 (如地板) 进入室内的面积析氡率 R_i 可以表示为^[3,4]:

$$R_i = R / [\cosh(L_c/L_{\text{Rn, slab}}) + \sinh(L_c/L_{\text{Rn, slab}}) \cdot F_{\text{soil}} \cdot L_{\text{Rn, soil}} / (F_{\text{slab, ps}} \cdot L_{\text{Rn, slab}})] \quad (2)$$

代入适当参数可以计算 $R_i = 1.2 \times 10^{-3} \text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。可见只有一小部分土壤气体经由无裂缝的厚混凝土板 (厚度 0.2 m) 进入室内。

相应的进氡率 U_i ($\text{Bq}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$) 为: $U_i = R_i \cdot N \cdot S_i / V$, 其中: $N = 3600$ (1 小时的秒数), S_i 为地板面积, V 是房间体积, 代入适当参数, 计算出进氡率 U_i 为 $1.7 \text{Bq}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。

影响土壤中载氡气体由渗流进入室内的因素很多, 它取决于土壤密度、孔隙率、土壤的湿度、房子的设计结构和建造质量以及气象参数, 如气压、风向、风速等诸多因素^[4]。假定土壤气体中的氡浓度为 X_s (Bq/m^3), 渗流率 Q_s 为单位时间内由于渗流进入室内的土壤气体的体积 (m^3) 占房间体积 (m^3) 的份数为 (h^{-1}), 则渗流所致的进氡率 U_c 可以表示为:

$$U_c = X_s \cdot Q_s \quad (3)$$

假定土壤气体中氡的平均浓度为 $40 \text{kBq}/\text{m}^3$, 每小时进入室内的土壤气体体积为 0.25m^3 , 房子的体积为 250m^3 , 则渗流率 Q_s 为 0.001h^{-1} , 因此进氡率 U_c 为 $40 \text{Bq}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$, 按换气率 $1/\text{h}$ 计算, 则对室内氡浓度的贡献为 $40 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

1.2 建筑材料

建筑材料中的 ^{226}Ra 衰变产生的氡有一部分通过扩散进入室内。建筑材料的面积析氡率 R ($\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) 可以表示为^[1]:

$$R = \lambda_{\text{Rn}} \cdot \rho_{\text{build}} \cdot C_{\text{build, Ra}} \cdot F_r \cdot L_{\text{Rn}} \cdot \tanh(L_t/L_{\text{Rn}}) \quad (4)$$

式中 L_{Rn} 是氡在建材中的扩散长度 (m), L_t 是建材的半厚度 (m)。

实验室通常测量的质量析氡率 R_m ($\text{Bq}/\text{kg} \cdot \text{s}$) 与射氡能力 F_r 之间的关系可以表示为^[5]:

$$R_m = \lambda_{\text{Rn}} \cdot C_{\text{build, Ra}} \cdot F_r \quad (5)$$

由半厚度 L_t 、密度 ρ_{build} 的建材制成的墙和地板的面积析氡率 R , 可由质量析氡率 R_m 按

下式计算:

$$R = R_m \cdot \rho_{\text{solid}} \cdot L_{\text{eff}} \cdot \tanh(L_b/L_{\text{eff}}) \quad (6)$$

对于最常用的两种建材(混凝土和砖), UNSCEAR 给出的 F_r 分别是 0.2 和 0.02, 扩散长度均为 0.15 m, R_m 分别为 $10 \mu\text{Bq}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 和 $2 \mu\text{Bq}/(\text{kg}\cdot\text{h})$. 因此, 它们的面积析氡率 R 的参考值(厚度 0.2 m)分别为 $2 \text{mBq}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $0.3 \text{mBq}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$. 混凝土 R 值大的主要原因是其射氡能力 F_r 大。

建筑材料析氡所致的进氡率 U_{in} 可表示为^[6]: $U_{\text{in}} = N/V(2R_c \cdot S_f + R_w \cdot S_w)$ (7) 式中: $N=3600$, V 是房间体积(m^3), S_f 和 S_w 分别为地板和墙壁的表面积(m^2), R_c 和 R_w 分别为混凝土和砖的面积析氡率。按 UNSCEAR 参考房子估计的 U_{in} 为 $6.4 \text{Bq}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$, 其中天花板及地板和墙壁分别贡献 $6.0 \text{Bq}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$ 和 $0.4 \text{Bq}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$, 若换气率为 1/h, 则相应对室内氡浓度的贡献为 $6.4 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

1.3 室外空气

在开阔大气中, 放射性惰性气体元素氡产生以后, 通过分子扩散或渗流离开其母体所在的岩石或土壤进入大气环境并随大气物质在各种气象因素作用下运移和分布。室外空气进入室内的主要途径是室内外空气交换。室内外空气交换将一些室外环境空气中的氡带到室内。在某些情况下, 室外空气中的氡是室内氡的一个重要来源。

设室外空气中的氡浓度为 $X_{\text{out}}(\text{Bq}/\text{m}^3)$, 换气率为 $\lambda_v(\text{h}^{-1})$, 则由于室外空气中的氡进入室内而致的进氡率 U_{out} 为:

$$U_{\text{out}} = X_{\text{out}} \cdot \alpha \cdot \lambda_v \quad (8)$$

式中 α 是室内外空气交换中室外空气占的份额, 通常 $\alpha \approx 1$. 假定 $X_{\text{out}} = 5 \text{Bq}/\text{m}^3$, $\lambda_v = 1/\text{h}$, 则进氡率为 $5 \text{Bq}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$, 按换气率 1/h 计算, 对室内氡浓度的贡献为 $5 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

1.4 供水

在炊事、洗衣、洗澡、浇灌过程中, 水含的氡会部分释放到室内空气中。释放的份额与脱气系数 ϵ 的量有关。设水中氡浓度为 $X_w(\text{Bq}/\text{m}^3)$, 水的消耗量为 $Q_w(\text{m}^3/\text{h})$, 脱气系数为 ϵ , 房子体积为 V , 则由于水氡脱气所致的进氡率 U_w 为^[7]:

$$U_w = X_w \cdot Q_w \cdot \epsilon/V \quad (9)$$

水中氡浓度变化很大, 一般地表水中较低, 而地下水中则可以很高。例如: 假定水饱和的土壤密度为 $1.6 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$, ^{226}Ra 比活度为 $25 \text{Bq}/\text{kg}$, 空隙率为 20%, 射氡能力为 20%, 则地下水中平均氡浓度可高达 $40 \text{kBq}/\text{m}^3$. 据报道芬兰井水中氡浓度高达 $77 \text{MBq}/\text{m}^3$ ^[8]. 这里假定自来水中氡浓度为 $1 \text{kBq}/\text{m}^3$, $\epsilon=0.5$, $Q_w=0.07 \text{m}^3/\text{h}$, 则体积 V 为 350m^3 的参考房子中进氡率 U_w 约为 $0.1 \text{Bq}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$, 若换气率为 1/h, 氡浓度的贡献为 $0.1 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

1.5 天然气

天然气中的氡变化很大, 有的测不出, 有的高达 $50 \text{kBq}/\text{m}^3$ ^[9]. 在这种情况下, 如果燃用时的通风条件不好, 天然气可能是室内氡的重要来源。设天然气中的氡浓度为 $X_{\text{ng}}(\text{Bq}/\text{m}^3)$,

消耗率 $Q_{\text{ng}}(\text{m}^3/\text{h})$, 则天然气所致的进氡率为:

$$U_{\text{ng}} = X_{\text{ng}} \cdot Q_{\text{ng}}/V \quad (10)$$

设 $X_{\text{ng}}=1000 \text{Bq}/\text{m}^3$, $Q_{\text{ng}}=2 \text{m}^3/\text{d}$, 则参考房子的进氡率约为 $0.3 \text{Bq}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$, 若换气率为 1h^{-1} , 则相应对室内氡浓度的贡献为 $0.3 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

上述 UNSCEAR 公布的各种室内氡源以及估计的参考房子总计进氡率的算术平均值约为 $50 \text{Bq}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$, 典型范围值为 $2\sim 200 \text{Bq}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$. 一般情况下, 各种氡源的进氡率大小依次为: 房基及周围土壤 > 建材 > 室外空气 > 天然气 > 供水, 但是这个排列是相对的, 在某些情况下, 建材、供水或者天然气对室内氡浓度的贡献可能成为主要的。

2 室内氡的特性

2.1 室内氡浓度的影响因素和预测模式

室内氡的各种来源中,通常情况下通过供水和天然气进入室内的部分相对比较稳定,经建筑材料释放的次之,经房基土壤和岩石进入的再次之,最不稳定的是室外空气贡献的部分。在同一地区氡浓度除了随时间变化外,还随测量地点而变化,图1和图2分别表示在河谷平地或山坡地面上方 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 浓度的变化情况。

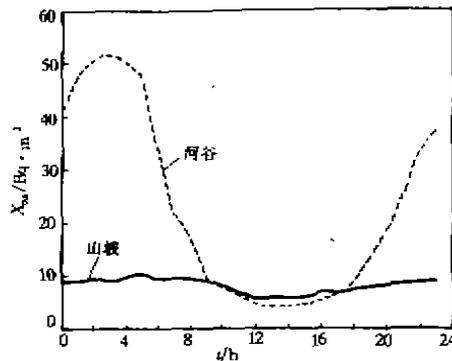


图1 河谷平地和山坡 ^{222}Rn 浓度平均昼夜变化

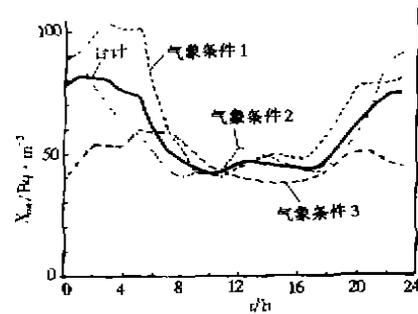


图2 河谷平地 ^{220}Rn 浓度平均昼夜变化

由于室内氡来源的不稳定,氡进入室内后又受室内微环境的影响,因此室内氡浓度必然表现出各种变化。尽管空气中氡浓度有种种变化,但是在适当的假定条件下,仍然可以推导出室内氡浓度的预测模式。氡进入室内以后,室内 ^{222}Rn 随着时间积累,同时由于放射性衰变和通风使之不断减少。假定室内氡浓度变化时总是保持均匀混合,则室内氡浓度的变化可用下式描述^[1,10,11]:

$$dX_{\text{Rn}}(t)/dt = U(t) - X_{\text{Rn}}(t) \cdot (\lambda_{\text{Rn}} + \lambda_{\text{v}}) \quad (11)$$

其中: $X_{\text{Rn}}(t)$ 是时刻 t 的氡浓度(Bq/m^3), $U(t)$ 是时刻 t 的进氡率 $[\text{Bq}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})]$, λ_{Rn} 是氡的衰变常数($7.6 \times 10^{-3} \text{h}^{-1}$), λ_{v} 是时刻 t 的换气率(h^{-1})。假定进氡率 $U(t)$ 和换气率 λ_{v} 是时间的常数,则微分方程的解为:

$$X_{\text{Rn}} = U/(\lambda_{\text{Rn}} + \lambda_{\text{v}}) \quad (12)$$

即室内氡浓度随换气率近似呈反比变化,这与实验结果(控制进氡率为常数)是一致的。但是式(12)仅仅是近似的,因为导出该式时,假定的室内条件在实际情况下并不总能成立,例如室内氡浓度的空间分布并不均匀,换气率诸多因素的影响并非时间的常数,而进氡率也可能会随时间有显著的变化。文献[12、13]报道室内实测氡浓度和换气率之间的关系,并未显示出式(12)的反比关系。

2.2 氡子体的粒度分布

^{222}Rn 衰变的产物 ^{218}Po 在刚形成时是自由离子,但是很快被水蒸气和其它气体分子所包围,形成直径 $2 \sim 20 \text{nm}$ 的分子团,通常称这些 ^{218}Po 离子和分子团是自由离子、未结合或未附着态子体产物。未结合态的 ^{218}Po 的活动性很大,经过大约 $10 \sim 100 \text{s}$ 它们便会附着在空气中的气溶胶粒子上成为结合态,或沉积在室内各种表面上,或衰变成未结合态的 ^{214}Po 。图3描绘了用丝网筛扩散组方法测量的封闭居室内氡子体的平均活度粒度 φ 的分布, R 表示相对

浓度。

可以看出室内 ^{218}Po 的平均活度粒度分布呈双态型,其未结合态的活度直径在 $0.5\sim 10\text{ nm}$ 范围,峰值在 1.5 nm ;其结合态分布在 $50\sim 600\text{ nm}$ 范围内,峰值在 $100\sim 150\text{ nm}$ 之间。然而子体 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 和 ^{214}Po 的活度粒度却仅有结合态的单态分布,其分布范围和峰值与 ^{218}Po 的一个峰类似。

2.3 未结合态份额

处于结合态和非结合态的氡子体的环境行为和沉积特性是不同的,对它们加以区分是必要的。由于 ^{218}Po 放出 α 射线,反冲能量可达 100 keV ,在固体中的射程约为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,对于中值直径 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 的粒子,反冲因子约 0.8 。因此处于结合态的 ^{218}Po 的子体可以是结合的,也可以是未结合的。 ^{214}Po 衰变时放出 β 射线,其反冲能量约几个 eV ,因此结合态的 ^{214}Po 的子体一般仍处于结合态^[14]。

未结合态氡子体很容易在室内各种物品表面上沉积,其沉积率常数 $\lambda(\text{h}^{-1})$ 可以表示成 $\lambda = v_k \cdot S/V$,这里 v_k 是沉积速率($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$), S 和 V 分别为房间的表面积和体积。对于静止空气,未结合态子体的沉积速率约为 2 m/h ,对于通风的房间 v_k 将随空气流通而增大。若 S/V 比值范围在 $3\sim 6$ 之间,沉积率常数 λ 可预计在 $10\sim 30\text{ h}^{-1}$ 之间。文献报道值在 $2\sim 200\text{ h}^{-1}$ 之间。对于结合态的子体沉积速率比未结合的低2个数量级^[15]。因此相对于衰变和通风,表面沉积的清除作用可以忽略。

一般情况下,未结合子体所占比例不大。未结合态份额 f_p 的定义在文献中有两种,即未结合态的平衡当量氡浓度与总平衡当量氡浓度之比或氡浓度之比,因此极易混淆。UNSCEAR将 f_p 的定义统一为前者,即:

$$f_p = (X_{\text{eq}, \text{fn}})_{\text{free}} / (X_{\text{eq}, \text{fn}}) \quad (13)$$

根据George的长期测量数据^[13],Bruno推出的室内未结合态份额为 $f_p = 0.07$ ^[16]。Porstendorfer在对 f_p 的影响因素作了理论分析后指出^[15],室外空气中子体浓度、反冲因子、析氡率、结合态的表面沉积率对 f_p 的影响并不大,而未结合态子体的表面沉积率和室内气溶胶粒子浓度对 f_p 和平衡因子 F 都有很大的影响,如图5所示^[15]。在大多数情况下 f_p 预计在 $0.05\sim 0.1$ 之间。最近的实验表明在室内气溶胶粒子浓度低时, f_p 可大于 0.1 。

2.4 平衡因子

氡与其短寿命衰变产物之间的平衡因子 F 定义为平衡当量氡浓度与氡浓度比值表示为:

$$F = (X_{\text{eq}, \text{fn}}) / X_{\text{fn}} \quad (14)$$

其中: $X_{\text{eq}, \text{fn}} = 0.105X_1 + 0.516X_2 + 0.379X_3$,这里 X_1 、 X_2 、 X_3 分别代表 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Po 的活度浓度。室内气溶胶粒子浓度在不同附着率 $\alpha(\text{h}^{-1})$ 时对 F 值的影响如图4所示,图4表明气

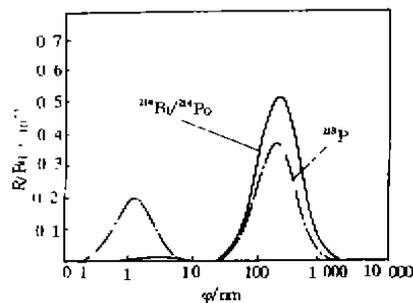


图3 封闭室内氡子体的平均活度粒度分布

溶胶粒子浓度提高时, F 值预期增大, 从图中同样可以看到室内换气率对 F 值的影响, λ_v 提高时, F 值下降。

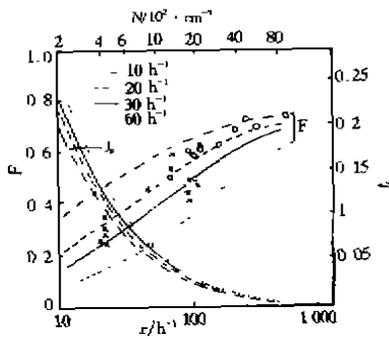


图4 未结合态份额 λ_v 、平衡因子 F 与气溶胶粒子浓度的关系

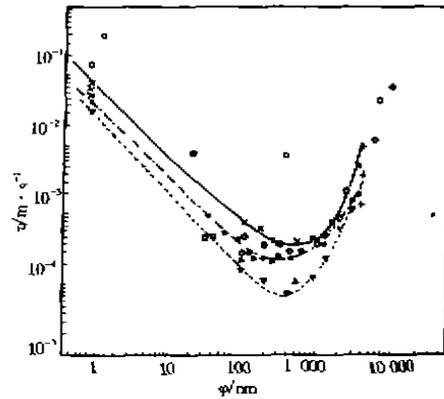


图5 氡子体归一化沉积速率与粒度的关系

2.5 氡子体的沉积速率

氡子体在物质表面的沉积速率是室内²²²Rn和²²⁰Rn子体清除的重要参数,也是决定氡子体呼吸道沉积份额的重要参数。因为氡子体的表面沉积份额正比于沉积速率与表面积的乘积。氡子体的表面沉积速率取决于其子体的粒度分布。图5描绘了氡子体在不同性质表面沉积时的沉积速率实验结果。可以看出,在粒度200~1000 nm范围内的沉积速率最低,在此范围外,粒度增加或减少时沉积速率都变大,特别在粒子直径小到毫微米量级时,氡子体的沉积速率增加很快,这一点应予以特别注意。

2.6 室内氡的剂量特性

室内氡的行为特性不同于室外氡,特别是不同于矿山氡。室内氡的剂量特性,即室内氡及其子体的暴露量与其所致剂量的关系,也不同于室外氡和矿山氡。鉴于篇幅原因,关于室内氡及子体所致剂量的特性将另文讨论。

3 结束语

通过以上对室内空气中氡的来源和特性的综述与分析,可以从室内空气中氡的性质和室内氡调查的目的出发,进一步研究室内外氡的测量技术和要求。笔者提出以下室内外氡的测量要求:

- 1) 探测器应有较高的灵敏度,以满足对室内外氡的低浓度测量。
- 2) 探测器应有良好的动态响应能力,以响应室内外氡浓度的昼夜和季节变化。
- 3) 测量过程中应考虑到环境变化(温度、湿度、风雨和气压等)对探测器刻度因子的影响和可以接受的变化范围。
- 4) 对室内外氡的测量应有良好的累积,方能较准确地给出积分浓度或累积暴露量,为剂量计算提供基础数据。
- 5) 对室内外氡的测量应做到项目配套和质量保证,方能为剂量计算提供必要的氡及其子体浓度等数据和基本参数。

参 考 文 献

- [1] UNSCEAR. 1993 report to the General Assembly[R]. New York: Annex A, United Nations, 1993

- [2] UNSCEAR. 1982 report to the General Assembly[R]. New York: No E 82 IX, United Nations, 1982
- [3] NERO A V. Characterizing the source of radon indoors[J]. Radiat Prot Dosim, 1984, 7:23
- [4] COLLE R. Radon transport through and exhalation from building materials[Z]. New York: NBS Technical Note 1139, 1981. 81
- [5] JONASSEN N. The determination of radon exhalation rates[J]. Health Physics, 1983, 45:369
- [6] JONASSEN N. Exhalation of radon - 222 from building materials and walls[C]. Vienna: NKE III, CCNF - 780422, 1980. 360
- [7] GESELL T F. Epidemiological implications of radon in public water supplies[A]. Proceedings of the Specialist Meeting on the Assessment of Radon and Daughter Exposure and Related Biological Effects[C]. Vienna: RD Press, 1982. 120
- [8] SALONEN E. Natural radionuclides in ground water in Finland[A]. Presented at the 4th International Symposium on the Natural Radiation Environment[C]. Vienna ICRP: 1987. 20
- [9] GESELL T F. Occupational radiation exposure due to radon - 222 in natural gas and natural gas products[J]. Health Physics, 1975, 29:881
- [10] KEN T. Measurements of indoors air exchange rate[A]. In Proc. on evaluations of Population doses[C]. Beijing: CRPA, 1985. 65
- [11] NAZZROFF W W. The use of mechanical ventilati with heat recovery for controlling radon and radon daughter concentrations in houses[J]. Atmos Environ, 1981, 15:263
- [12] DOYLE S M. Time averaged indoor radon concentration and infiltration rates sampled in four U. S. cities[J]. Health Physics, 1984, 47:579
- [13] GEORGE A C. The distribution of ambient radon and radon daughters in residential buildings in the New Jersey - New York area[A]. Natural Radiation Environ III [C]. New York: CCNF - 780422, 1980. 142
- [14] FORSTENDORFER J. The influence of exhalation, ventilation and deposition processes upon the concentration of radon, thoron and their decay products in room air[J]. Health Physics, 1978, 3:225
- [15] FORSTENDORFER J. Behaviour of radon daughter products in indoor air[J]. Radiat Prot Dosim, 1984, 7:107
- [16] BRUNO R C. Verifying and model of radon decay products behaviour indoors[J]. Health Physics, 1983, 45: 471

Sources and Characters of Indoor Radon

YU Yi-qiao¹, REN Tian-shan²

(1. Department of Real Estate and Energy Resource Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Health, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: It summarized the source and characters of indoor radon, discussed the variations of indoor radon's concentration and its calculating pattern, expounded the relation between indoor radon's concentration and rate of air - changing, the size distribution of radon progeny, the rate of deposit and the character of its dosage, etc and pointed out the requirement of measuring indoor radon.

KEYWORDS: indoor radon; source; character; measurement

(责任编辑 李胜春)