

香港室内氡水平及其与建筑物 表面氡析出率的关系*

关祖杰 余君岳 杨健明 M. J. Stokes 莫浩明

(中山大学物理学系)

(香港城市理工学院应用科学系)

摘 要

本文报导用活性炭盒吸附方法对香港室内氡浓度的测量结果及其浓度分布规律。对室内氡浓度与建筑物表面氡析出率的关系进行了分析研究。证实室内空气中的氡主要来源于建材中的镭,而氡浓度水平只决定于室内建筑物表面氡的析出率及通风状况。

关键词 氡浓度, 活性炭, 建筑材料, 氡的析出率

联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)1982年报告指出,氡及其子体对公众的年有效剂量当量占全部天然辐射源的50%,UNSCEAR1988年报告,又把原定的剂量当量值增加了 $300\mu\text{Sv}$ 。广大公众每天约有80%的时间是在室内环境中度过,因而有必要对室内环境中的氡及其子体进行深入研究。

1986年以来,逐步积累了香港地区的氡及其子体情况的数据和资料^[1~3]。本文是基于近年的工作,提供香港室内氡浓度的测量结果(以一般公众住宅为主),通过对室内氡浓度与建筑物表面氡析出率之关系的研究和分析,对室内氡的来源及其影响因素进行一些探讨。为制定香港的氡及其子体浓度水平调查方案和正确评价测量结果,客观估算它的健康效应提供依据。

1 室内氡浓度的测量

使用美国环境保护署(EPA)的4吋活性炭盒吸附室内空气中的氡^[4]。对香港岛、九龙、新界的民居、办公室和厂房等60多处进行了测量。装有70g活性炭的盒子开盖放在被测房间2~3d(离地板约1m),然后合盖封闭3h以上,待盒内吸附的氡与其子体平衡后,用NaI(Tl) γ 谱仪测量氡子体 ^{214}Pb 和 ^{214}Bi 的295keV, 352keV和609keV γ 射线的3个特征峰的面积。由Radon-Ⅱ程序¹⁾作衰变校正,吸收水份校正和计算室内氡浓度。系统的效率为 $8.6\text{cpm}\cdot\text{Bq}^{-1}$,本底为300cpm左右,测量10min,按 3σ 判别限计算的最小探测浓度约为 $15\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

本文1990年8月31日收到

●香港城市理工学院研究经费资助项目

1) Nucleus INC, Radon-Ⅱ counting system operating instructions, 1990

因为氡浓度随季度有明显变化,为便于比较,选取能代表其年平均值的6~7月进行测量,测量结果如表1所列。

表1 活性炭盒测量室内氡浓度的结果

Tab. 1 Results of indoor radon concentration measurements using activated charcoal conisters

地区	房间数	氡浓度 ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)		
		范围	均值	标准误差
香港岛	21	<MD*~276	54.4	68.2
九龙	25	<MD~123	30.7	37.0
新界	14	<MD~107	59.5	30.6
合计	60	<MD~276	45.4	48.2

• MD: 最小探测浓度

由表1可见:①香港岛、九龙和新界三地室内氡浓度平均值没有明显差异。九龙略低,新界略高,主要是九龙的旧房子较多,而新界的被测房子多数是新建楼宇之故。②香港岛和九龙两地室内氡浓度的离散程度较新界为大。这主要也是建筑物的结构、年龄等情况差别较大。③三地室内氡浓度的算术平均值为: $45.4 \pm 48.2 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。由于被测房间尚不足,离散较大,此平均值尚不能作为整个香港氡水平的代表值,但与一般认为香港的室内氡浓度较高这一看法

是一致的。测量结果比1938年同期用 α 射线径迹探测器测量的结果要低得多^[2]。

2 室内氡浓度的分布

香港室内氡浓度按不同地质结构、不同楼宇年龄及不同通风条件的分布情况,如表2所列。结果显示如下分布规律:

① 通常认为花岗岩地区的氡浓度较高,但表2显示花岗岩区与非花岗岩区楼宇

表2 室内氡浓度的分布

Tab. 2 The distribution of indoor radon concentration

分布	房间数	氡浓度 ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)			
		范围	均值	标准误差	
地质结构	花岗岩区	42	<MD~276	46.4	55.2
	非花岗岩区	18	<MD~75.5	42.1	30.1
楼宇年龄	1~5年	22	30.0~276	87.3	57.7
	6~10年	15	<MD~104	27.6	20.4
	>10年	23	<<MD~83.6	19.7	21.3
通风状况	自然通风	21	<<MD~75.5	18.6	19.9
	窗式空调	17	46.3~109	76.3	23.5

的室内氡浓度平均值没有显著差异。这表明香港室内氡的来源并非只是楼房基底的土壤或岩石,测量结果也未发现建筑物的底层或地库的氡浓度会特别高。例如,弥敦道一混凝土结构旧建筑物的地库其氡浓度远较平均值为低。而测得浓度最高的房间却在港岛一新建筑物的高层。

② 香港居民住宅装有窗式空调机，夏天通常只在下班或睡觉时才使用，其余时间既不开机，又把门窗关闭。这势必使房内空气交换不足，致使这类房间的氡浓度平均值较高。

③ 表2还显示，香港室内氡浓度的平均值有随楼宇年龄的增加而减少的趋向。其中1~5年与10年以上楼龄比较，其室内氡浓度平均值经显著性检验，有显著差异。测得氡浓度最高($276 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)的居室，其楼龄为4年，而楼龄为2年的某住宅储物室的氡浓度竟达 $1460 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。室内氡浓度随楼龄变化与建筑物表面氡的析出率随楼龄而变化具有同一规律^[3]。

3 室内氡浓度与建筑物表面氡析出率的关系

鉴于室内氡浓度和建筑物表面氡析出率与楼龄的关系有类似规律，为此，选取同为混凝土结构和大致相同装饰材料（墙壁外涂乳胶漆）的一些房子，测定其氡浓度和墙壁的氡析出率，结果在表3列出。

表3 不同年代建筑物室内氡浓度和墙壁氡析出率
Tab. 3 The indoor radon concentration and the radon exhalation rata from walls of buildings of different ages

座落	用途	通风	楼龄(年)	氡浓度 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)	墙壁氡析出率 ($\text{mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
薄扶林	实验室	中央空调	28	26 ± 1.5	< 0.80
油麻地	住宅	自然通风	20	< 15	8.2 ± 8.0
西营盘	住宅	自然通风	16	21 ± 2.6	7.6 ± 3.0
九龙塘	办公室	中央空调	3	45 ± 6.1	12 ± 7.2
金钟	办公室	中央空调	4	260 ± 18	69 ± 4.2
深井	储物室	不通风	2	1500 ± 300	56 ± 4.4

由表3看出，香港的新建筑物（1~5年），其墙壁的氡析出率也比旧建筑物高，因此，导致室内氡浓度亦较高。为探讨室内氡的来源及其影响因素，在香港城市理工学院新校舍大楼底层选取一个空房间，在换气率已知并恒定的情况下，用活性炭盒测量其墙壁、地板、天花板的氡析出率，从理论上推算出室内氡浓度；同时用多个活性炭盒直接测量室内氡浓度，把氡浓度的推算值与实测值进行比较。

考虑室内氡主要来自建筑物表面的析出，室内氡浓度随时间 t 的变化遵循如下微分方程^[5]

$$\frac{dC_{in}}{dt} = \frac{1}{V} \left(\sum_i \varepsilon_i S_i \right) + \lambda_v C_{out} - (\lambda_a + \lambda_v) C_{in} \quad (1)$$

式中 C_{in} 和 C_{out} 分别表示室内和室外氡浓度($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)； ε_i 是室内第 i 个表面氡的析出率($\text{mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)； S_i 是室内第 i 个表面的面积(m^2)； V 是房间的体积(m^3)； λ_v 是房间的换气率(h^{-1})； λ_a 是氡的放射性衰变常数($= 0.00756 \text{ h}^{-1}$)。在稳态条件下，方程(1)的解为

$$C_{in} = \left[\frac{1}{V} \left(\sum_i \varepsilon_i S_i \right) + \lambda_v C_{out} \right] / (\lambda_o + \lambda_v) \quad (2)$$

一般房间的换气率都在几小时一次至一小时几次这一范围内。所以, $\lambda_v \gg \lambda_o$ 。并考虑各个量的单位, 那么(2)式就可简化为

$$C_{in} = 3.6 \sum_i \varepsilon_i S_i / V \cdot \lambda_v + C_{out} \quad (3)$$

(3)式为推算室内氡浓度的公式。实验测量的氡析出率值列于表4。由(3)式计算的室内氡浓度值为 $65.7 \pm 28.3 \text{ Bq m}^{-3}$, 而由4个活性炭盒直接测量的平均值为 $65.5 \pm 13.6 \text{ Bq m}^{-3}$ 。

表4 室内氡析出率测量*

Tab. 4 Measurements of radon exhalation rate in a house

表面	装饰材料	面积 (m^2)	样品数	表面氡析出率($\text{mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		
				范围	均值	标准误差
墙壁	乳胶漆	35.0	9	3.17~27.3	12.2	7.24
地板	水磨石	14.0	6	0.80~37.1	8.26	13.6
天花板	泡沫塑料	11.6	3	2.13~2.27	2.20	0.10

* 房间体积 40.3 m^3 , 房间换气率 1.00 h^{-1} , 室外氡浓度(测量值) $15.0 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

由以上结果可见:

(1) 墙壁的氡析出量占全部表面氡析出量的75%, 是室内氡的主要来源。如采用墙纸之类的墙壁装饰材料, 可大大减少氡的析出, 从而降低室内氡浓度。

(2) 地板的氡析出仅占全部析出的20%, 这是由于采用密封较好的水磨石板之故。但地板氡析出率的离散性最大, 这主要是方块石板间的接缝及石板与墙壁间的接缝的析出情况差别较大。这与欧美国家常见的带有不加装修的地下室的小洋房或中国城乡许多泥土、三合土或简易地板平房所不同的, 在那里, 基底土壤和岩石可能是室内氡的主要来源^(6,7)。

(3) 只考虑建筑材料的氡析出的贡献而推算出的室内氡浓度值与实测值符合得很好, 这说明香港室内空气中的氡基本上来源于建筑材料中的镭, 而室内氡浓度水平及建筑物表面氡析出率随楼宇年龄减少而增加这一事实预示香港近年使用的建筑材料的天然放射性水平可能有增加的趋向。

4 结论

(1) 用活性炭盒对香港60个房间作室内氡浓度测量, 其平均值为 $45.4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。而且, 近5年的新楼宇的室内氡浓度明显高于10年以上的旧楼宇, 只部分时间启用窗式空调机, 而平日关闭门窗的房间的氡浓度水平也明显高于自然通风的房间。但是, 室内氡浓度与地区、地质条件及楼层高度的关系并不明显。这些因素在今后香港的氡水平调查中应予充分考虑。

(2) 只考虑建筑材料的氡析出而推算出的楼宇底层室内氡浓度值与实测值符合得很好, 说明了香港室内空气中的氡来源于建筑材料中的镭。而室内氡浓度水平和建筑物表面氡的析出率都随楼宇年龄的减少而增加, 可能意味着近年香港使用的建材放射性水平较高, 导致部分楼宇室内氡浓度偏高, 建议香港有关部门应根据辐射防护的最优化原则采取适当对策。

(3) 香港室内氡浓度水平明显高于世界典型值及邻近的广东省平均值。但现有资料差异较大, 尚需继续扩大调查范围和积累更多数据。建议香港有关部门组织力量进行全面、统一的调查测量才能作出更准确和更全面的水平及健康影响评价。

参 考 文 献

- 1 Tso M-y W, Li C C. Health Phys, 1987; 53: 175
- 2 H K EPP. Environment Hong Kong, 1989; 113
- 3 关祖杰、余君岳、杨健明等。中山大学学报(自然科学版), 1990; 29(3): 72
- 4 U S EPA. 52015-87-005, 1987
- 5 王恒德。辐射防护, 1985; 5: 44
- 6 Rundo J. 辐射防护, 1984; 4: 166
- 7 Tianshan R. Health Phys, 1987; 53: 219

Indoor Radon Levels and Their Relationship with Radon Exhalation Rates from Building Surface in Hong Kong

Guan Zujie* K. N. Yu E. G. M. Young M. J. Stokes H. M. Mok

Abstract

The indoor radon concentrations of more than 60 sites in Hong Kong is measured using activated charcoal canisters to identify the underlying distribution pattern. We have further investigated the probables strong relationship between the indoor radon concentrations and the radon exhalation rate from building surface. It has been found that the indoor radon comes mainly from radium in building materials, and that the radon concentration depends on the radon exhalation rate from indoor building surface and on the ventilation. It is also asserted that the radioactivity level of building materials used in Hong Kong is increasing.

Keywords radon concentration, activated charcoal, building materials, radon exhalation

* Department of Physics, Zhongshan University