

香港建筑物表面氡析出率的现场测量*

关祖杰

余君岳 杨健明 M.J.Stokes

(中山大学物理学系)

(香港城市理工学院)

摘 要

用EPA标准活性炭盒,现场收集建筑物表面析出的氡,并用 γ 谱测量氡的析出率。测定了香港不同地区不同年代10座建筑物100多个测量点的表面氡析出率。研究了不同楼层及装饰材料,裂缝等对析出的影响。

关键词 活性炭,室内氡浓度,氡的析出率,建筑物表面,建筑材料

1 引 言

由于氡及其子体可能诱发肺癌,近年来,环境氡(尤其是室内氡)的来源及其浓度水平的影响因素越来越受到关注。香港地区环境氡水平曾进行过调查,其平均水平明显高于全球平均值^[1]。香港环保署近期的进一步调查结果表明:香港室内氡浓度超过4 pCi/l的有近60%,而超过8 pCi/l的有近30%,其最大浓度接近50 pCi/l^[2]。根据相对危险度模型估算,1986年因吸入氡及其子体致肺癌死亡人数约为300人,占肺癌死亡总数的13%^[3]。因此,弄清香港地区室内氡的来源,降低室内氡的水平显得十分必要:

一般来说,室内的氡主要是由建筑物基底及其周围土壤和建筑材料所析出。对于地处花岗岩和火成岩为主要地质结构的香港,室外氡浓度较高亦会使室内氡水平增加,但是高层建筑物林立的香港市区,其建筑材料析出的氡就变得较为重要,因此,我们对香港建筑物的主体构件、混凝土地板、墙壁、天花板等表面氡的析出率进行了现场测定,并对混凝土上复盖各种敷层(装饰材料,如水磨石、锦砖、薄瓷片、马赛克、塑料、地毯等),其表面氡的析出的变化进行了测量研究。对砖结构的建筑物表面亦作了一些类似测定。

2 原理及方法

含²²⁶Ra的物质,由于 α 衰变而产生的反冲²²²Rn原子,在物质内扩散和渗流,并由物质表面析出的过程称为氡的析出,单位时间内由该物质单位面积表面析出的

本文1990年2月1日收到

•香港城市理工学院研究经费资助项目。实验工作得到香港城市理工学院中央实验室的大力帮助,应用科学系莫浩明先生参加了部分实验工作

^{222}Rn 原子数叫做该物质表面氡的析出率 ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。氡析出过程的机理甚为复杂，它除与物质的镭含量有关外，还与物质的性质及其结构以及环境条件有关，而建筑物室内表面氡的析出，基本上可分两种情况，一种是由建筑材料本身的镭含量和结构特点所决定的析出，可以进行采样测量^[4]；另一种是除了建筑材料本身之外，与该材料接触的土壤或其它介质中的氡也可能穿透建筑材料对析出有贡献，它只能进行现场测量^[5,6]，我们采用后一种方法测量实际建筑物表面氡的析出率。

用一个收集器来收集从建筑物表面析出的氡原子。在所有氡原子完全被收集的理想情况下，即在可以忽略氡原子的反扩散及泄漏时，收集器内氡的活性 A 随时间 t 的变化应遵循如下微分方程

$$dA/dt = \varepsilon s - \lambda_0 A \tag{1}$$

方程右边第一项是氡的析出使活性增加，第二项是氡的衰变而使活性减少。式中的 ε 为建筑物表面氡的析出率， s 为被测表面的面积， λ_0 是 ^{222}Rn 的物理衰变常数。如果收集器的收集时间为 T ，并认为 $t=0$ 时， $A_0 \approx 0$ ，则方程(1)的解为

$$A = \left(\frac{\varepsilon s}{\lambda_0} \right) (1 - e^{-\lambda_0 T}) \tag{2}$$

由(2)式可得建筑物表面氡的析出率

$$\varepsilon = \lambda_0 A / s (1 - e^{-\lambda_0 T}) \tag{3}$$

我们采用活性炭盒吸附氡，然后把它放在 NaI γ 谱仪上测量氡子体 RaB 及 RaC 放出的 295keV 、 352keV 和 609keV 的 γ 射线，以确定氡的活性。这种由 Cohen 等人^[7] 发展起来的方法原是美国环保署 (EPA) 推荐的环境氡浓度标准测量方法之一^[8]。我们采用 EPA 标准活性炭盒，直径 4 吋内装 70g 活性炭。测量时把它反盖在待测建筑物的表面上，接口周围用硅胶密封并固定，使不致漏气，如图 1(a) 所示。收集氡气 2~3 天，加盖密封 3 小时待氡衰变平衡后，放在如图 1(b) 的测氡系统^[9]，测量 10~30 分钟。由文献^[7] 的测量方法，可推出盒内收集的氡活性可由下式表示

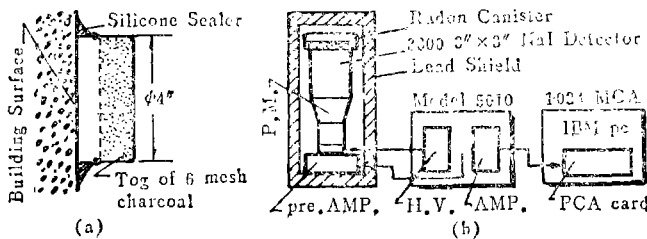


图1 活性炭盒及氡测量系统

Fig. 1 Charcoal canister and radon counting system

$$A = (NET) / E(DF) \tag{4}$$

式中的 NET 为所测活性炭盒氡子体 3 个 γ 射线特征峰的净面积 (cpm)， E 为系统的探测效率，由含镭的标准盒进行标定，本装置约为 $7.3(\text{cpm}\cdot\text{Bq}^{-1})$ ； DF 是衰变修正因子，由文献^[8] 给出

$$DF = e^{-\lambda_0((\tau/2)+t)} \tag{5}$$

上式的 t 是收集结束至开始测量的时间间隔。把(4)、(5)两式代入(3)式, 可得计算建筑材料表面氡析出率的公式

$$\varepsilon = \lambda_0(NE\tau)e^{\lambda_0((\tau/2)+t)} / SE(1 - e^{-\lambda_0\tau}) 3600 \tag{6}$$

上式的 ε 以 $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 为单位, $\lambda_0 = 0.00756h^{-1}$, 3600是小时转换为秒的因子。

系统的灵敏度, 主要由本底及探测效率决定, 所用活性炭盒的本底约为170cpm, 按 3σ 判别限计算的最小可探测计数率约为7cpm(计数30分钟), 最小可探测表面氡析出率约为 $0.8mBq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ (收集3天, 3小时后测量)。由于活性炭的吸氡能力特别强, 盒的密封特性也很好, 以收集2天计, 活性炭吸附的空气有效体积是其盒本身体积的3个数量级以上, 所以用活性炭盒方法作忽略反扩散及泄漏近似是完全允许的, 不会使测量结果产生太大误差。

3 结果与讨论

从1989年11月至1990年1月, 对香港城市理工学院新校舍大楼, 及香港其他10处建筑物表面的氡析出率进行了现场测量, 共取得100多个样品数据, 图2是从混凝土地板收集氡的一个活性炭盒 γ 谱图, 测量时间为10分钟, 3个 γ 特征峰明显可见。图3画出了该样品停止收集后等待不同时间进行测量时, 根据(6)式计算所得混凝土表面氡析出率的结果($mBq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)及 2σ 的标准误差。

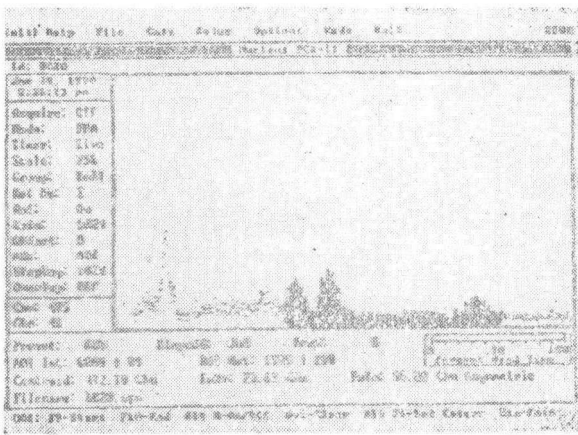


图2 混凝土地板析出氡的 γ 谱图
Fig.2 Gamma spectrum of radon exhaled from a concrete floor

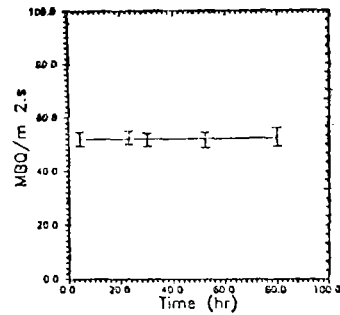


图3 混凝土地板氡的析出率
Fig.3 Radon exhalation rate from a concrete floor

3.1 不同楼层混凝土地板氡析出率的比较

表1是在香港城市理工学院新校舍大楼所测得的结果, 地板不加任何装饰材料。测量结果显示底层的析出率明显高于其他楼层, 而其他楼层每层之间的数值相差不大, 故列在同一项中。这一结果与其他学者所得的是一致的, 因为底层的析出除混凝土地板本

身之外，还有地基及周围土壤析出的贡献。

表1 不同混凝土楼层氡的析出率($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Tab.1 Radon exhalation rate ($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
from concrete floors on different levels of a building

混凝土地板	样品数	范围值	均值	标准差
底层	4	19~52	35	16
高层	10	2.1~34	13	10

3.2 装饰材料对氡析出率的影响

混凝土地板或墙壁敷上不同的装饰材料于表面，其氡的析出率有不同程度的减少，测量结果如表2所示。可以看出这些表面敷层对阻止氡析出到室内有良好作用，它们不但有装饰作用，亦是减少室内氡浓度的经济和实用的方法。测量还表明在敷层脱落或小块装饰材料的接缝处，氡析出率明显比完整和无接缝处为高。塑料地板和打腊水磨石对地板的析出和墙纸与油漆，对墙壁表面的析出都有显著的阻止作用。

表2 混凝土表面敷上装饰材料的氡析出率($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

Tab.2 Radon exhalation rate ($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) from concrete surface
with different covering materials

混凝土底层	装饰材料	样品数	范围	均值	标准差
地板	裸露	10	2.1~34	13	10
	马赛克	4	1.9~8.4	4.9	3.0
	条形木地板	2	6.1~10	8.1	2.0
	毛地毯	4	3.7~4.6	4.3	0.4
	水磨石	4	<MD*~ 0.9	<MD	/
	塑料地板	5	all<MD	<MD	/
墙壁	裸露	9	15~35	22	6.1
	乳胶漆灰沙墙	10	11~26	19	4.3
	瓷油漆灰沙墙	3	all<MD	<MD	/
	锦砖	3	<MD~1.5	0.8	0.6
	薄瓷片(有缝)	3	4.2~7.4	5.8	1.6
	薄瓷片(无缝)	3	all<MD	<MD	/
	墙纸	2	all<MD	<MD	/

* MD: 最小可探测水平

3.3 不同年代建筑物表面氡析出率的比较

混凝土是香港建筑物的主要构件，连墙壁也很少使用红砖和青砖建造。一般的居屋或办公室地板都使用不同的装饰材料，但是墙壁和天花板大多数仍然是灰沙批荡和外擦涂墙料（如乳胶漆等）。我们选择不同年代建造的这类墙壁及天花板的建筑物多处。进行表面氡析出率的测量，结果如表3所列。

表3 不同年代建筑物混凝土墙壁*氡的析出率($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
 Tab.3 Radon exhalation rate ($\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) from concrete walls
 in buildings with different years of construction

建造年代	座落	建筑物类型	样品数	范围	均值	标准差
1989	深水埗	住宅	2	52~60	56	4.4
1988	九龙塘	办公室	7	11~26	19	4.3
1974	西环	住宅	4	4.6~11	7.6	3.0
1960	油麻地	住宅	4	<MD~22	8.2	8.0
1952	薄扶林	实验室	3	全部<MD	<MD	/

● 灰沙批荡外擦乳胶漆, 包括天花板

表3的结果显示出新建筑物比旧建筑物表面氡的析出率明显高。虽然由于表面敷层的厚度各有不同, 样品量和测量建筑物数量仍不够多, 尚待进一步调查测量才能作出定论。但近年来大量使用含镭量高的工业废渣或副产品制造水泥等建筑材料, 有可能导致新建筑物表面的氡析出率较高。

4 结 论

(1)用活性炭盒现场测定建筑物表面氡析出率的方法简单、实用, 所测结果实际上是多种建材混合体氡析出的总效果, 该方法的灵敏度亦基本上能符合需要。

(2)建筑物底层与上层地板析出率的差别以及裂缝对析出的影响与其他学者所得的结论是一致的。表面装饰材料对减少析出率具有重大意义, 亦是降低室内氡浓度的一种有效和经济的方法。

(3)香港最普遍的混凝土墙(加批荡及涂墙料)的氡析出粗略情况如表3所示。按样品数加权平均值为 $16\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。此值比北京水泥楼板的氡析出率平均值 $3.3\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [6]高出近5倍, 比UNSCEAR-1982年报告的典型值 $2\text{mBq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [10]大8倍之多。这也许是香港地区室内氡浓度较高的主要原因。由于样品量尚不足, 有待进一步调研。

(4)表3还显示近年香港的新建筑物表面的氡析出率比旧建筑物高。这可能与香港近年生产的水泥等建材的填料有关, 必须对这些建材作放射性含量分析, 及对建筑物结构等问题作综合分析。

参 考 文 献

- [1] Man-yin W Tso et al., *Health Physics*, 53(1987), 175
- [2] Epp H K, *Environment Hong Kong*. 1989, 113
- [3] Yn K N et al., *Proceedings of POLMET* 88, 2 (1988), 265
- [4] Jonassen N, *Health Physics*, 45(1983), 369
- [5] Culot M V J et al., *Health Physics*, 30 (1976), 263

- [6] 林蓬卿等, 辐射防护, 8 (1988), 166
[7] Cohen B L et al., *Health Physics*, 45 (1983), 501
[8] U S EPA 52015-87-005 (1987)
[9] Nucleus INC., *Radon Counting system Operating Instructions*, 1988
[10] *UNSCEAR Report* 1982, 142

In-situ Measurements of Radon Exhalation Rate from Building Surfaces in Hong Kong

Guan Zujie* K.N.Yu E.C.M.Young M.J.Stokes

Abstract

The radon exhaled from some building surfaces in Hong Kong is collected by means of the EPA-standardised activated charcoal canisters. The radon exhalation rates are obtained by analyzing the canisters using α -spectroscopy. Over 100 samples in 10 buildings of different years of history in different areas in Hong Kong are measured. The effect of floor levels, covering materials and cracks in walls of the buildings on the exhalation rates is studied.

keywords charcoal, indoor radon concentration, radon exhalation rate, building surface, building materials

*Department of Physics