

文章编号:1000-582x(2000)02-0079-04

② 79-82, 95

# 温度及湿度变化对<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn吸附的影响

X591

X837

俞义樵, 李正英, 柏本宣, 陈佳慎

(重庆大学 建筑工程学院, 重庆 400044)

**摘要:**通过实验测试在不同温度及湿度条件下活性炭对空气中<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn的吸附。实验结果显示:在低湿度条件下,随温度的升高,活性炭对<sup>222</sup>Rn的吸附量降低;而<sup>220</sup>Rn的半衰期较短,受温度变化的影响较小。随着湿度的提高,活性炭对<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn的吸附量均有不同程度的降低,尤其在较高温度和较高湿度条件下活性炭对<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn的吸附量降低较为显著。

**关键词:** 气; 吸附; 温度; 湿度

**中图分类号:** O 571.1

**文献标识码:** A

建筑空间

在天然放射源对人体的辐射剂量中氡<sup>222</sup>Rn(Radon)的“贡献”占50%以上,其次就是氡的同位素<sup>220</sup>Rn(Thoron,又称钍射气)的内照射,因而,室内外空气中<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn的放射性浓度测定方法的研究是建筑空间辐射环境研究的一项重要内容。一种具有对空气中<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn有着强烈吸附能力的活性炭被广泛应用于各种被动式或主动式的探测器中,活性炭吸附-γ谱法测定建筑物表面氡析出率的方法已被定为国家标准推荐方法(GB/T16143-95),被动式活性炭吸附空气中<sup>222</sup>Rn的收集杯常用于测定室内平均氡浓度。近年来,主动式活性炭收集器的研究和应用也取得了明显的进展<sup>[1,2]</sup>。然而,人们在研究和试验中发现在测量室内空气<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn的过程里,活性炭对<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn的吸附受到温度及湿度变化的影响,其具体影响程度,各家众说不一<sup>[3]</sup>。笔者在本文中就温度及湿度变化对活性炭吸附空气中<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn所产生的影响作出理论分析,通过实验得到活性炭收集器对温度及湿度变化的反应,并对实验结果作出一定分析和讨论。

## 1 理论分析

### 1.1 温度变化对活性炭吸附<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn的影响

在测量空气<sup>222</sup>Rn浓度的过程中,采用了一种安装有渗滤屏障的活性炭收集杯的探测系统,它能快速、均匀地吸附空气中的<sup>222</sup>Rn。设该系统在确定时间 $t$ 内质

量为 $m$ 的活性炭所吸附<sup>222</sup>Rn的总量为 $Q$ (Bq),<sup>222</sup>Rn放射性衰变常数为 $\lambda$ (s<sup>-1</sup>),探测器时间常数为 $\tau$ (s),空气中<sup>222</sup>Rn的浓度为 $C_0$ (Bq m<sup>-3</sup>),可得公式<sup>[4]</sup>:

$$Q = D_B A L^{-1} C_0 \tau [1 - \exp(-t\tau^{-1})] \quad (1)$$

$$\text{及 } 1/\tau = \lambda + D_B A (Lk\mu)^{-1} \quad (2)$$

其中: $D_B$ 为渗滤屏障对<sup>222</sup>Rn的渗滤系数; $A$ 、 $L$ 为渗滤屏障的跨区域面积和长度; $K$ 为活性炭的吸附系数。

公式(2)中,已假设所有的活性炭都均匀吸附<sup>222</sup>Rn,而实际过程中,当活性炭深度超过了<sup>222</sup>Rn的渗滤长度时,需采用吸附了<sup>222</sup>Rn的活性炭的有效质量 $m_{eff}$ ,于是有:

$$m_{eff} = \rho A \sqrt{(D\lambda^{-1})} \quad (3)$$

其中: $D$ 为活性炭对<sup>222</sup>Rn的渗滤系数; $\rho$ 为活性炭的密度。

将(3)代入(2),以 $m_{eff}$ 代替 $m$ ,得到:

$$1/\tau = \lambda + D_B \sqrt{(\lambda D^{-1})} (Lk\rho)^{-1} \quad (4)$$

在公式(1)及(4)中均未考虑温度及湿度对<sup>222</sup>Rn吸附的影响,且忽略了<sup>222</sup>Rn与其它气体在活性炭吸附中产生的“竞争”因素,因此,计算活性炭吸附<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn应采用有效渗滤系数 $D^{[5]}$ :

$$D = \gamma e' D_g / \rho k \quad (5)$$

其中: $\gamma$ 和 $e'$ 为描述活性炭特性的参数, $k$ 为吸附系数, $D_g$ 为渗滤系数, $K$ 和 $D_g$ 均依赖于温度 $T$ ,其值分别由下式确定<sup>[6,7]</sup>:

• 收稿日期:1999-06-06

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。

$$K \approx Be^{E_1/\tau T} \quad (6)$$

$$Dg \propto T^{3/2} P^{-1} \quad (7)$$

由上述公式(5)、(6)、(7)可知:随温度  $T$  升高,  $K$  减小,  $Dg$  增大,从而  $D$  值增大,代入公式(4),  $\tau$  值减小,由公式(1)得知,探测器内活性炭吸附的 $^{222}\text{Rn}$ 总量  $Q$  相应减小。后面的实验结果证实了这一理论分析计算的正确性。

由于 $^{220}\text{Rn}$ 的半衰期(55.4 s)较短,受温度变化的影响小,因而不在此作分析和讨论。

### 1.2 湿度变化对活性炭吸附 $^{222}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ 的影响

在活性炭吸附 $^{222}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ 的过程中,当湿度较高时,活性炭在吸附 $^{222}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ 的过程中也吸收了水份,水份占据了 $^{222}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ 的吸附点,以至活性炭吸附 $^{222}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ 的有效表面积减小,而且水份还会将已吸附的 $^{222}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ 从吸附点“挤压”出去,从而抑制了对 $^{222}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ 的吸附<sup>[8]</sup>。

湿度变化对活性炭吸附 $^{222}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ 影响的理论计算公式尚在探讨之中,但通过实验可以较方便地测试出影响结果。 $^{222}\text{Rn}$ 的半衰期为3.84 d,较易测量。而 $^{220}\text{Rn}$ 的半衰期仅为55.4 s, $^{220}\text{Rn}$ 衰变成半衰期为0.15 s的 $^{216}\text{Po}$ 后又衰变成 $^{212}\text{Pb}$ , $^{212}\text{Pb}$ 的半衰期为10.64 h,因而可以对 $^{212}\text{Pb}$ 进行测量,再根据二者之间的计算关系,由 $^{212}\text{Pb}$ 的测量结果计算出空气中 $^{220}\text{Rn}$ 的放射性浓度( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ),则可以得知湿度变化对活性炭吸附 $^{220}\text{Rn}$ 的影响。

## 2 实验方法

### 2.1 活性炭吸附空气中 $^{222}\text{Rn}$ 的探测实验方法

研究温度及湿度变化对 $^{222}\text{Rn}$ 吸附的影响,可以采用安装有渗滤屏障及内装25 g活性炭的收集杯,活性炭是用椰子壳在200℃温度下经过16 h干燥而制成,渗滤屏障为一个50 mm厚的聚氨基甲酸酯泡沫垫片,它在20℃时的有效渗滤系数为 $6.1 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。将多个相同的活性炭收集杯放进氡室吸附空气中的 $^{222}\text{Rn}$ 。该氡室是一个与放射性活度为 $4.8 \times 10^4 \text{ Bq}$ 的放射源 $^{226}\text{Ra}$ 相连接的大容器室,含有 $^{226}\text{Ra}$ 的子体 $^{222}\text{Rn}$ 的空气以1 L/min的流量流入。经过2 d后平衡,氡室内空气中的 $^{222}\text{Rn}$ 浓度将达到恒定, $^{222}\text{Rn}$ 的浓度通过其子体由一个静电沉淀设备进行监测。再通过对温度和湿度的人工调节,可以得不同的仿真环境条件,见表1<sup>[3]</sup>。

可用多组活性炭收集杯(每组4个),按不同的仿真环境条件放进氡室进行吸附收集。收集期结束后,将活性炭收集杯密封,重新称重,并用NaI(Tl)探测器对 $^{222}\text{Rn}$ 的子体 $^{214}\text{Bi}$ 和 $^{214}\text{Pb}$ 测量 $\gamma$ 能谱,得到242 keV、

295 keV、351 keV和609 keV处的峰值,计算出各自的峰面积,再由它们和 $^{222}\text{Rn}$ 的关系计算出活性炭对空气中 $^{222}\text{Rn}$ 的吸附量。用这一实验方法即可研究温度和湿度变化对活性炭吸附空气中 $^{222}\text{Rn}$ 的影响。

表1 氡室的仿真环境条件

温度(℃)	相对湿度(%)	空气中的含水量( $\text{g}/\text{m}^3$ )
13	20	2.3
13	75	8.5
20	20	3.5
20	50	8.6
20	85	14.7
35	15	5.9
35	90	35.7

### 2.2 活性炭吸附空气中 $^{220}\text{Rn}$ 的探测实验方法

作温度及湿度变化对 $^{220}\text{Rn}$ 吸附影响的实验,可采用澳大利亚国家辐射实验所(ARL)研制的以活性炭为吸附载体的 $^{220}\text{Rn}$ 小型收集器<sup>[1]</sup>,并按文献[1]所述实验系统进行探测实验。利用HP-Ge探测器对 $^{220}\text{Rn}$ 的子体 $^{212}\text{Pb}$ 进行测量,根据 $^{212}\text{Pb}$ 与 $^{220}\text{Rn}$ 之间的计算关系,由 $^{212}\text{Pb}$ 测量结果计算出活性炭所吸附空气中 $^{220}\text{Rn}$ 的放射性活度( $\text{Bq}$ ),进而可以分析温度及湿度变化对活性炭吸附空气中 $^{220}\text{Rn}$ 的影响。

## 3 实验结果分析与讨论

### 3.1 温度变化对 $^{222}\text{Rn}$ 吸附的影响

按照2.1实验方法得到活性炭收集杯在不同的收集实验时间(d)及温度和湿度条件下对空气中 $^{222}\text{Rn}$ 的吸附情况,并将活性炭所吸附 $^{222}\text{Rn}$ 的总量 $Q$ ( $\text{Bq}$ )与空气中 $^{222}\text{Rn}$ 放射性浓度 $C_0$ ( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )的比值 $Q/C_0$ 称为等效吸附体积 $V_{eq}$ ( $\text{m}^3$ ),以表示活性炭对 $^{222}\text{Rn}$ 的吸附状况,用于讨论水蒸气对于 $^{222}\text{Rn}$ 吸附造成的影响。作出不同温度及湿度条件下活性炭对 $^{222}\text{Rn}$ 的吸附状况如图1,列出在低湿度及不同温度条件下的对照结果如表2<sup>[3]</sup>。

由图1和表2可看出,吸附时间大约为4 d后, $^{222}\text{Rn}$ 的吸附与温度有较大关系(忽略湿度的影响)。随着温度的升高, $^{222}\text{Rn}$ 的吸附量降低,35℃时的吸附量比13℃时约低30%,20℃时的吸附量比13℃时约低10%。另一方面,从表2中可知在35℃时 $^{222}\text{Rn}$ 的吸附与吸附时间(3 d、7 d、10 d)无多大关系,可能的原因是在35℃时,系统遇到了3 d的“障碍”平衡值(等效吸附体积约为 $60 \times 10^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ),即使吸附时间延长也无多大影响。

表 2 低湿度条件下<sup>222</sup>Rn的吸附状况

时间 (d)	温度 (°C)	相对湿度 (%)	<sup>222</sup> Rn 吸附等效体积 (10 <sup>-1</sup> ·m <sup>3</sup> )	吸附水份 (g)
3	13	20	62.2	0.23
3	20	20	56.9	0.12
3	35	15	59.3	0.04
7	13	20	85.4	0.21
7	20	20	74.2	0.16
7	35	15	57.0	0.08
10	13	20	89.1	0.19
10	20	20	81.0	0.26
10	35	15	60.2	0.06

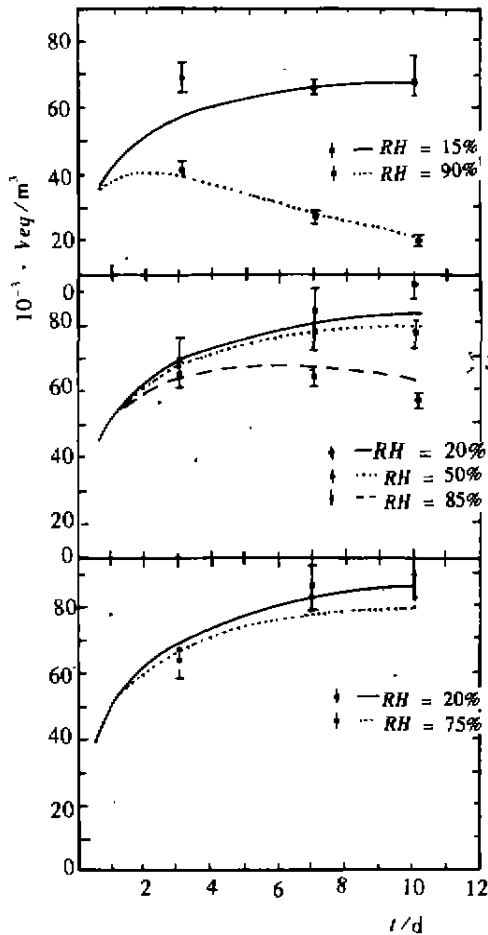


图 1 不同温度及湿度条件下活性炭吸附<sup>222</sup>Rn 的状况

3.2 湿度变化对<sup>222</sup>Rn 吸附的影响

图 2 给出了在温度 20°C 和相对湿度 50% RH 的条件下水份对活性炭吸附<sup>222</sup>Rn 的影响。

图 2 显示：在实验的前一段时间，水份的吸收在缓慢增长，对<sup>222</sup>Rn 的吸附影响不大，当时间超过 8 d 时（大约已吸收水份 1.8 g），活性炭收集器对<sup>222</sup>Rn 的吸附量并未继续增加，反而缓慢下降。

由图 1 可以在相同温度条件下对低湿度和高湿度的影响进行比较。在高湿度条件下，活性炭对<sup>222</sup>Rn 的

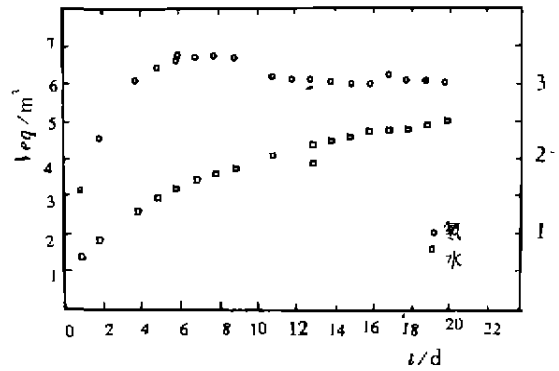


图 2 水份对活性炭吸附<sup>222</sup>Rn 的影响

吸附受到抑制，特别是 35°C、90% RH 条件下<sup>222</sup>Rn 的吸附量显著下降。而吸附时间超过 7 d 时，在 35°C、90% RH 条件下，<sup>222</sup>Rn 的吸附量大约是 35°C、15% RH 条件下的 1/3；大约是 13°C、20% RH 条件下的 1/5，可见，湿度增高对活性炭吸附<sup>222</sup>Rn 的影响较为显著。

3.3 湿度变化对<sup>220</sup>Rn 吸附的影响

利用活性炭吸附空气中<sup>220</sup>Rn 的实验系统<sup>[1]</sup>，可以在不同流量和湿度的情况下，选用活性炭塑料管作为收集器进行采样，采样后自塑料管入口处，按每 5 cm 为一段分别取出填充的活性炭作为测量样品，可以称出所吸收的水份，作出在不同流量及湿度状况下，塑料管各长度段内活性炭吸收水份的分布曲线<sup>[1]</sup>。选用美国 ORTEC 公司 HP-Ge 探测器分别测出各个样品所吸附<sup>220</sup>Rn 的子体<sup>212</sup>Pb 的放射性活度 (Bq)，进而可以计算出各段活性炭吸附<sup>220</sup>Rn 的放射性活度，作出塑料管各长度段内活性炭吸附<sup>220</sup>Rn 的放射性活度百分含量分布曲线<sup>[1]</sup>。这两组曲线已由笔者在文献[1]中发表，这里仅列出塑料管内径 φ 为 19 mm 的活性炭收集器在不同流量 (L/min) 及不同湿度的仿真环境条件下，对空气中<sup>220</sup>Rn 吸附的实验结果 (以<sup>212</sup>Pb 的放射性活度表示)，如表 3 ~ 表 6 所示 (表中编号为自气流入口处按每 5 cm 取段依次排定)。

表 3 仿真环境条件 1

(60% RH, 20°C、流量 17.3 L/min、收集时间 240 min)

编号	含水活性炭 (g)	含水量 (g)	<sup>212</sup> Pb (Bq)
1	9.13	3.13	68.49
2	8.39	2.39	46.10
3	6.58	0.58	27.90
4	6.43	0.43	12.73
5	6.40	0.40	8.25
6	6.38	0.38	4.10
7	6.37	0.37	1.79
8	6.35	0.35	1.17

## Parallel Operating the 13-Bit Lattice Gas Automata Model

SHI Wan-yuan<sup>1</sup>, ZHENG Zhong<sup>2</sup>, GAO Xiao-qiang<sup>2</sup>

(1. College of Thermal Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**ABSTRACT:** The parallel operation mechanism of 13-Bit lattice gas automata model, which can quickly compute and include more sites, is presented. Via coding and computing for particles of sites by bit, the parallel computing is achieved by transferring the particles propagation and collision into its backup and reloading. This mechanism can simulate correctly and validly some fluid motion with complex geometry boundary, such as flow through coke porous media.

**KEYWORDS:** fluid motion; numerical simulation / lattice gas automata

(责任编辑 刘道芬)

\* \* \* \* \*

(上接 82 页)

## Influence of Varying Humidity and Temperature Upon the Adsorption of Radon

YU Yi-qiao, LI Zheng-yin, BAI Ben-xuan, CHEN Jia-shen

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**ABSTRACT:** On the basis of theoretical analysis, this article describes the experiment of the absorption of Radon <sup>222</sup>Rn and Thoron <sup>220</sup>Rn in air on active charcoal under condition of varying humidity and temperature. The result of experiment shows that, under the condition of lower humidity, the absorption of <sup>222</sup>Rn reduce as the temperature raises. Since the half-life of <sup>220</sup>Rn is short, the influence of the temperature is small. But as the relative humidity raises, the absorption of <sup>222</sup>Rn and <sup>220</sup>Rn reduces significantly.

**KEYWORDS:** radon; absorption; temperature; humidity

(责任编辑 钟学恒)