

活性炭局部降氡效率理论模型研究

周青芝, 赵桂芝*, 肖德涛

(南华大学 氡湖南省重点实验室, 湖南 衡阳 421001)

摘要: 活性炭具有较强的吸氡能力, 利用该特性可实现局部空间降氡的目的。本文研究了活性炭局部降氡实际应用中最大降氡效率与活性炭吸附系数、活性炭质量、空间体积、环境温度及湿度等的关系, 建立了计算活性炭局部降氡效率的理论模型, 并通过菲律宾产 4×8 目和 12×20 目两种粒径的活性炭对理论模型进行了实验验证。结果表明, 理论值和实测值的一致性较好, 相对偏差均在 $\pm 4.7\%$ 以内。

关键词: 活性炭; 降氡; 理论模型

中图分类号: O613.16; X51

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2012)08-1005-04

Study on Theoretical Model for Decreasing Radon Efficiency of Active Carbon

ZHOU Qing-zhi, ZHAO Gui-zhi*, XIAO De-tao

(Radon Key Lab of Hunan Province, University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: Active carbon can decrease radon in local room because of its good capability with absorbing radon. The relations of the biggest decreasing radon efficiency with absorb coefficient, mass, volume of room, temperature, and humidity were studied. A theoretical model of decreasing radon efficiency by active carbon was established and verified with two sizes (4×8 mesh and 12×20 mesh) Philippine active carbon by the experiments. The result shows that the relative difference between theoretical value and measuring value is in $\pm 4.7\%$.

Key words: active carbon; decreasing radon; theoretical model

室内氡及其子体占居民天然辐射剂量的一半以上, 是导致肺癌的主要原因, 尤其在通风效果较差且含有高浓度氡的地下建筑内, 氡及其子体的危害更大^[1]。由于活性炭具有较强的吸氡能力, 利用活性炭可实现局部空间降氡的目的, 但以往降氡效率主要通过实验测得, 并未建

立理论计算模型。因此, 本文拟开展活性炭局部降氡效率的理论模型研究。

1 理论模型

1.1 理想条件下降氡效率理论模型

活性炭的吸氡能力常用吸附系数来衡量,

收稿日期: 2011-03-06; 修回日期: 2011-05-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11005060); 教育部博士点基金资助项目(31320114324110003)

作者简介: 周青芝(1981—), 男, 湖南邵阳人, 博士研究生, 辐射防护与环境保护专业

* 通信作者: 赵桂芝, E-mail: 13307478601@189.cn

图 1 为测量活性炭吸附系数的实验装置示意图。图中,氩室是提供含稳定氩浓度空气的箱体,含氩空气穿过装满活性炭的管,活性炭将吸附气流中的氩,用美国产 RAD7 测氩仪监测管出口空气的氩浓度,随着活性炭吸附能力的逐步下降,出口氩浓度将逐渐升高(图 2)。当该浓度达到氩室空气中氩浓度的 1/2 时,通过活性炭管的流气体积为半穿透体积 $V_{1/2}$,该活性炭的吸附系数 K 为:

$$K = V_{1/2} / m \quad (1)$$

式中, m 为活性炭质量, g 。

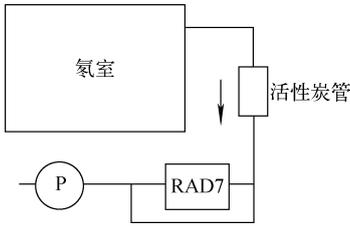


图 1 吸氩穿透实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of absorbing radon penetration experiment

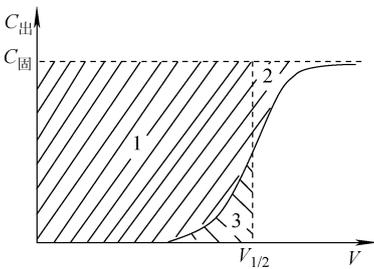


图 2 吸氩穿透实验模拟结果

Fig. 2 Simulant result of absorbing radon penetration experiment

在活性炭局部降氩的实际应用中,常用最大降氩效率来衡量活性炭的降氩效果。图 3 为活性炭局部降氩实验装置示意图。用 RAD7 测氩仪监测密封空间空气中的氩浓度,使含氩空气通过活性炭管,氩被不断吸附,氩浓度逐渐降低,由于活性炭吸附能力有限,经一定时间后,活性炭吸附的氩将达到饱和,密封空间的空气氩浓度将达到某一平衡值而不再降低,氩浓度随时间的变化如图 4 所示。此时,最大降氩效率为:

$$\eta = \frac{C_0 - C_{\text{平}}}{C_0} \quad (2)$$

式中: C_0 为密封空间中初始氩浓度; $C_{\text{平}}$ 为达到最大降氩效率时的平衡氩浓度。

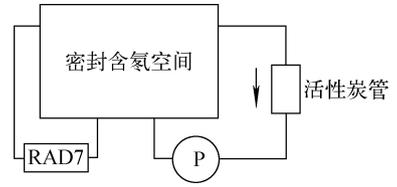


图 3 局部降氩实验装置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of decreasing radon experiment in room

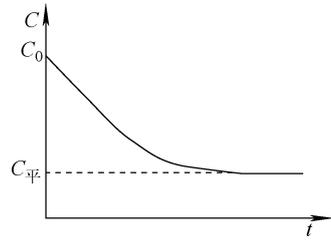


图 4 局部降氩实验模拟结果

Fig. 4 Simulant result of decreasing radon experiment in room

活性炭吸氩穿透实验中,由于取样空气体积所占氩室总空气体积的比例很小,假定氩吸附效率为 100%,活性炭所吸附的氩量对氩室内空气氩浓度影响也很小,因此,整个实验过程中氩室内空气氩浓度近似不变,为 $C_{\text{固}}$ 。当出口浓度为 $C_{\text{固}}/2$ 时,对应的吸附体积为 $V_{1/2}$,其饱和和吸氩量 Q_2 为图 2 中 1 区和 2 区的积分,因 2 区和 3 区近似相等,故:

$$Q_2 = C_{\text{固}} \times V_{1/2} \quad (3)$$

图 3 中密封空间体积为 $V_{\text{空}}$,其氩浓度由 C_0 降低至 $C_{\text{平}}$ 达平衡,其饱和吸氩量为:

$$Q_1 = (C_0 - C_{\text{平}}) \times V_{\text{空}} \quad (4)$$

若 $C_{\text{平}} = C_{\text{固}}$,且环境条件相同,则图 1 和 3 中活性炭处于同一平衡状态,故有 $Q_1 = Q_2$ 。由式(3)、(4)推得:

$$C_{\text{固}} \times V_{1/2} = (C_0 - C_{\text{平}}) \times V_{\text{空}} \quad (5)$$

将式(5)中 $C_{\text{固}}$ 用 $C_{\text{平}}$ 代入,得到:

$$C_{\text{平}} \times V_{1/2} = (C_0 - C_{\text{平}}) \times V_{\text{空}} \quad (6)$$

由式(6)整理可得:

$$1 - \frac{C_{\text{平}}}{C_0} = \frac{V_{1/2}}{V_{1/2} + V_{\text{空}}} \quad (7)$$

由式(1)和(7)推出:

$$1 - \frac{C_p}{C_0} = \frac{Km}{Km + V_{\text{空}}} \quad (8)$$

在不同氡浓度对 K 影响不明显的前提下,最大降氡效率为:

$$\eta = \frac{Km}{Km + V_{\text{空}}} \quad (9)$$

1.2 吸附系数的温、湿度修正

研究表明,活性炭的吸附性能受活性炭的类型、环境温度、环境湿度、取样流率及系统压力等因素的影响^[2]。局部降氡通常在常压下进行,此时,对于同一活性炭,影响其吸附性能的主要因素是环境温、湿度,因此,本文主要考虑不同温、湿度对活性炭的吸附系数的影响。郭亮天等^[3]的放射性惰性气体(如¹³³Xe、⁸⁵Kr、²²²Rn)活性炭滞留床的研究表明,在20~40℃之间,温度每升高1℃,吸附系数下降1.9%;湿度在20%~50%之间,湿度每升高1%,吸附系数下降1.7%。本实验中使用的菲律宾产椰壳炭和文献^[3]中使用的活性炭相近,并假设相对湿度在20%~75%范围也遵循上述规律,因此,本实验中吸附系数按式(10)修正,可得到不同环境温、湿度下吸附系数的转换关系式:

$$f(T_0 \rightarrow T, S_0 \rightarrow S) = \frac{K(T, S)}{K(T_0, S_0)} = (1 - 0.019)^{T-T_0} \times (1 - 0.017)^{S-S_0} \quad (10)$$

经温、湿度修正后得到的最大降氡效率为:

$$\eta = \frac{Kf(T_0 \rightarrow T, S_0 \rightarrow S)m}{Kf(T_0 \rightarrow T, S_0 \rightarrow S)m + V_{\text{空}}} \quad (11)$$

2 实验检验

通过活性炭吸氡穿透实验和活性炭局部降氡实验来检验理论模型(式(11))是否正确。首先,在不同环境条件(温、湿度)下,用不同类型活性炭做吸氡穿透实验,测得不同条件下不同活性炭的吸附系数 K 。然后,在相应的环境条件下,

用相应的活性炭做局部降氡实验,得到不同条件下不同活性炭的最大降氡效率。最后,通过分析比较实验值和理论值检验式(11)的准确性。

2.1 活性炭吸氡穿透实验

使用活性炭进行活性炭吸氡穿透实验。图5为吸氡穿透曲线,包括氡室浓度为2 040 Bq/m³、温度为26.6℃、湿度为65%及取样流量为3 L/min条件下用41.0 g 菲律宾产12×20目活性炭的曲线和氡室浓度为760 Bq/m³、温度为21.7℃、湿度为67.3%及取样流量为2 L/min条件下用38.52 g 菲律宾产4×8目活性炭的曲线。

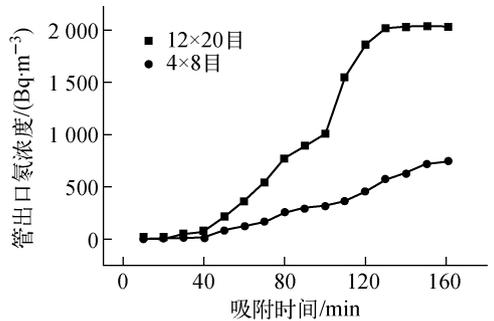


图5 活性炭的吸氡穿透曲线
Fig.5 Curves of absorbing radon penetration experiment

2.2 活性炭局部降氡实验

使用活性炭进行活性炭局部降氡实验。图6、7分别示出了菲律宾产4×8目、12×20目活性炭的局部降氡曲线。

2.3 结果分析

利用式(1)计算得到的图5中4×8目和12×20目活性炭的吸附系数列于表1。利用式(2)计算得到图6、7中在不同条件下活性炭的实际降氡效率,使用式(11)计算得到图6、7中活性炭的理论降氡效率,并将实验结果列于表2。

表1 活性炭的吸附系数
Table 1 Absorbing coefficient of active carbon

活性炭	氡浓度/ (kBq·m ⁻³)	温度/℃	湿度/%	流量/ (L·min ⁻¹)	质量/g	半穿透 累计流量/L	吸附系数/ (L·g ⁻¹)
4×8目	0.76	21.7	67.3	2	38.52	222.60	5.78
12×20目	2.04	24.8	73.3	3	63.50	300.57	7.33

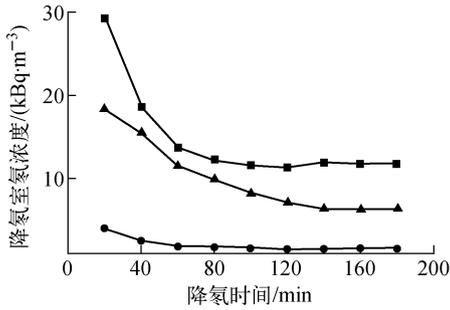


图6 4×8目活性炭的局部降氡曲线

Fig. 6 Curves of decreasing radon experiment of 4×8 mesh active carbon in room

- 起始氡浓度为 4 710 Bq/m³、温度为 22.3 ℃、湿度为 63.7%、取样流量为 3 L/min、活性炭质量为 40.537 g;
- ▲——起始氡浓度为 18 600 Bq/m³、温度为 21.4 ℃、湿度为 59.5%、取样流量为 1 L/min、活性炭质量为 39.396 g;
- 起始氡浓度为 30 800 Bq/m³、温度为 21.8 ℃、湿度为 71.5%、取样流量为 3 L/min、活性炭质量为 40.511 g

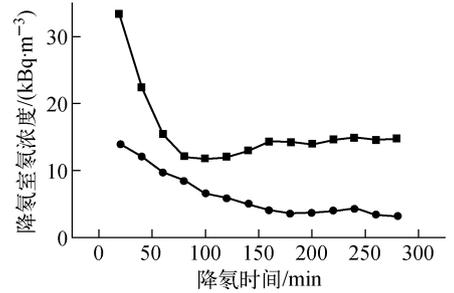


图7 12×20目活性炭的局部降氡曲线

Fig. 7 Curves of decreasing radon experiment of 12×20 mesh active carbon in room

- 起始氡浓度为 14 200 Bq/m³、温度为 24.8 ℃、湿度为 64.4%、取样流量为 1 L/min、活性炭质量为 41.983 g;
- ▲——起始氡浓度为 35 600 Bq/m³、温度为 24.3 ℃、湿度为 73.3%、取样流量为 2 L/min、活性炭质量为 42.019 g

表2 活性炭降氡效率实测值与理论值

Table 2 Measurement value and theoretical value of decreasing radon efficiency for active carbon

活性炭	氡浓度/(kBq·m ⁻³)		温度/℃	湿度/%	流量/(L·min ⁻¹)	降氡效率/%		实测与理论降氡效率相对偏差/%
	起始	平衡				实测	理论	
4×8目	30.8	11.4	21.8	71.5	3	64.96	63.50	2.3
4×8目	4.17	1.51	22.3	63.7	3	65.79	66.34	-0.8
4×8目	18.6	6.28	21.4	59.5	1	69.02	67.68	2.0
12×20目	14.2	3.764	24.8	64.4	1	74.35	71.03	4.7
12×20目	35.6	11.8	24.8	73.3	2	68.59	69.07	-0.7

从表2可看到,除第4组中12×20目活性炭的理论降氡效率和实际降氡效率相差达4.7%外,其余各组实验的理论降氡效率和实际降氡效率一致性较好,相差均在2.0%以内,表明所建立的计算活性炭局部降氡效率的理论模型(式(11))是正确的。

3 结论

本文通过研究活性炭局部降氡实际应用中最大降氡效率与活性炭吸附系数、活性炭质量、空间体积、环境温湿度等的关系,建立了计算活性炭局部降氡效率的理论模型,并利用实验对理论模型进行了检验,理论值和实测值的一致性较好,相对偏差均在±4.7%以内,表明该理论模型是正确的。本文建立的活性炭局部降氡效率理论模型可为利用活性炭开展氡环境治理中降氡效率的计算及方案设计提供基本理论依据和手段。

参考文献:

- [1] 潘自强. 我国天然辐射水平和控制中一些问题的讨论[J]. 辐射防护, 2001, 21(5): 257-268.
PAN Ziqiang. Some issues regarding natural radiation level and control in China[J]. Radiation Protection, 2001, 21(5): 257-268(in Chinese).
- [2] 马文彦, 彭雪星. 闪烁室法测量活性炭对氡吸附性能的实验研究[C]//全国第六届核监测学术研讨会论文集. 宁夏:[出版者不详], 2005: 134-136.
- [3] 郭亮天, 史英霞, 王瑞云, 等. 用于核电站放射性惰性气体处理的常温活性炭滞留床研究[J]. 辐射防护, 1994, 14(1): 15-24.
GUO Liangtian, SHI Yingxia, WANG Ruiyun, et al. Study on charcoal delay bed for radioactive noble gases[J]. Radiation Protection, 1994, 14(1): 15-24(in Chinese).