

## 【监测技术】

## 孔隙度对建材氡析出率的影响

冀 东<sup>1</sup>, 刘福东<sup>2</sup>, 周剑良<sup>3</sup>中图分类号: TL75<sup>+</sup>1 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2011)04-0483-02

**【摘要】** 目的 探讨孔隙度对建材氡析出率的影响。方法 根据气体渗透法设计一套测量建材孔隙度的设备, 然后根据实验结果分析孔隙度与建材氡析出率的关系。结果 对于同种建材, 随着孔隙度的增加, 氡析出率也随之增加; 对于不同建材, 氡析出率与建材孔隙度相关性较小。结论 孔隙度是影响氡析出率的重要因素, 但并非决定因素。

**【关键词】** 建材; 孔隙度; 氡析出率

氡及其子体对人体的辐射剂量日益受到人们的广泛关注, 而室内氡浓度来自于建材的贡献占 60% ~ 70%<sup>[1,2]</sup>。在介质氡析出率的各个影响因素中, 孔隙度是影响氡析出率的一个重要因素, 然而现有的测量技术大都比较复杂, 而且设备及测量的费用也相对较高。基于这一实际情况, 笔者介绍一种简单、易操作、准确度高的测量装置来测量整体建材气体填充的孔隙度, 并根据测量的结果来可以分析其对氡析出率的影响。

## 1 方案设计

根据气体渗透法的测量原理及气态方程的计算过程, 该方

案设计了一套测量建材有效孔隙度的装置, 测量装置的平面图如图 1。装置的结构及各部分性能指标介绍如下: ①阀门: 1、2、3 为阀门, 控制气体的流通。②容器:  $V_1$ 、 $V_2$  为测量容器:  $V_1$  为上端开口容器, 用密封盖及 6 个螺母进行密封, 中间用橡胶环连接;  $V_2$  为空腔密闭容器。为保证充气过程中, 容器不发生变形,  $V_1$  的密封盖为 10mm 钢板, 其余部分使用 3mm 厚的钢板。③压力表:  $P_1$ 、 $P_2$  为两块精度为 0.1% FS 的压力表, 压力表的读数可精确到 0.1hPa, 所承受的压力范围为 0 ~ 0.6MPa。④气体: 所选用的气体为纯氮气(99.99%)。

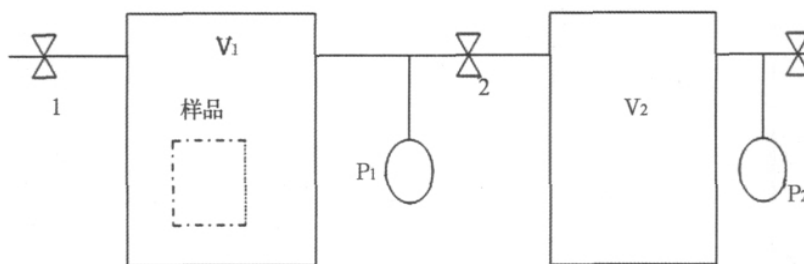


图 1 测量装置的平面设计图

## 2 质量保证

2.1 环境参数 为保证建筑材料所处的环境参数一致, 将所有样品放在实验室内两个星期, 室内温度 20℃ ~ 25℃, 湿度范围在 25% RH ~ 40% RH, 室内通风效果良好。

作者单位: 1 中核第四研究设计工程有限公司, 河北 石家庄 050021; 2 中国原子能科学研究院, 北京 102413; 3 南华大学核科学与核技术学院, 湖南 衡阳 421001  
作者简介: 冀东(1983 ~ ), 男, 河北邢台人, 研究方向为辐射防护及环境保护。

2.2 测量装置的质量保证 压力表在中国计量院进行校准, 所选用的氮气的纯度达到 99.99%。

## 2.3 体积测量

2.3.1 建材砖的测量 由于部分建材砖体积较大, 且表面不平整, 先用云石机在保证不影响建材砖整体性的情况下, 将样品切割成相应大小的长方体, 然后用砂纸和钢锉将样品各表面打磨平整, 用盒尺和游标卡尺测量各样品的长宽高, 并计算样品的体积及体积的误差。

各分量相互独立, 互不关联, 则合成标准不确定度  $u_{cr}$  为

$$u_{cr} = [u^2(M) + u^2(N_{\text{标}}) + u^2(\eta_i) + u^2(K_{TP}) + u^2(k_{sp}) + u^2(\eta_F) + u^2(\eta_p)]^{1/2} = 1.52\%$$

有效自由度为

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_{cr}^4}{\sum \frac{u_i^4}{v_i}} = 419, \text{取 } v_{\text{eff}} = 100$$

取置信概率  $P=95\%$ , 包含因子  $k=2$ , 得到扩展不确定度为  $u_{95\text{rel}} = k \cdot u_{cr} = 2u_{cr} = 3.0\%$ , 取正态分布。

## 4 讨论

通过对<sup>60</sup>Co 远距治疗机输出吸收剂量  $D_w(p_{\text{eff}})$  的测量不确定度分析评定, 在校准参考深度水下 5cm 有效测量点处, 在 95% 置信区间  $k=2$  时, 其合成不确定度  $u_{\text{rel}}$  为 3.0%, 满足临

床治疗计划的吸收剂量要求。运用此方法, 该结果同样适用于水中任何深度吸收剂量测量不确定评估<sup>[3,5]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 全国认证认可标准化技术委员会. GB/T27025-2008《检测和校准实验室能力的通用要求》理解与实施[M]. 中国标准出版社, 2010: 94.
- [2] CNAL/AC01: 2005. 检测可校准实验室能力认可准则[S].
- [3] JJG1027-2007. 医用<sup>60</sup>Co 远距离治疗辐射源检定规程[S].
- [4] JJF1059-1999. 测量不确定度评定与表示[S].
- [5] 周迎春, 李名兆. 医用<sup>60</sup>Co 治疗机吸收剂量测量不确定度分析[J]. 中国测试技术, 2008, 34(4): 39-43.

(收稿日期: 2011-04-15)

2.3.2 容器的测量 由于  $V_2$  是完全密闭的容器,无法准确测量其体积,只能运用推算法来得出其真实体积,因此首先用游标卡尺(最小读数为 0.02mm)精确测量  $V_1$  的体积  $20\,224.58 \pm 12.30\text{cm}^3$ ,然后根据气态方程推算得出  $V_2$  的体积  $55\,499.78 \pm 84.32\text{cm}^3$ 。

### 3 测量过程

3.1 设备检查 向容器中充入氮气,根据开关阀门,观察气压表读数的变化,以检测  $V_1$  开口端、阀门的气密性及气压表的灵敏性。当关闭阀门时,压力表的读数稳定说明容器的气密性良好;当打开阀门时,压力表的读数迅速变化,说明压力表的灵敏性良好。

3.2 孔隙度的测量 测量之前,先充入氮气除去容器中的空气,减小空气中杂质对测量结果的影响。将阀门 1、2、3 都打开,打开氮气瓶的解压阀,向容器  $V_1$ 、 $V_2$  充氮气,

大约 1min 之后,关闭阀门 2 和 3,待压力表 2 的数据稳定

后,记录压力表的数值  $P_2$ 。之后再过一段时间之后,关闭解压阀及阀门 1,数据稳定后,记录气压表 1 数值  $P_1$ ,打开阀门 2,当两块压力表的数值达到稳定一致时,记录气压表的数值  $P$ ,根据气态方程得知:

$$P_1 [V_1 - (1 - \varepsilon) V] + P_2 V_2 = P [V_1 - (1 - \varepsilon) V + V_2] \quad (1)$$

则孔隙度的表达式如下:

$$\varepsilon = 1 - \frac{P(V_1 + V_2) - [P_1 V_1 + P_2 V_2]}{(P - P_1) V} \quad (2)$$

其中  $\varepsilon$  表示样品的孔隙度;  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P$  分别代表压力表 1、2 及平衡时的压力读数  $hPa$ ;  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V$  分别代表容器及样品的体积  $\text{cm}^3$ 。

### 4 测量结果

4.1 测量数据 按照上述的测量方法,测量各个建材气体填充孔隙度,每个测量四次,取其平均值。测量数据见表 1。

表 1 建筑材料测量结果汇总表

类别	编号	主要组成成分	孔隙度	氡析出率( $\text{mBqm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) <sup>[41]</sup>
陶粒空心砌砖	1001	10000C 水泥 煤灰 矿渣 陶粒	$0.413 \pm 0.004$	$3.63 \pm 0.59$
	1002	10000C 水泥 煤灰 矿渣 陶粒	$0.337 \pm 0.006$	$2.44 \pm 0.43$
	1003	10000C 水泥 煤灰 矿渣 陶粒	$0.443 \pm 0.007$	$4.75 \pm 0.61$
矿渣空心砌砖	2001	矿渣 石渣 煤灰 水泥	$0.380 \pm 0.005$	$2.96 \pm 0.48$
	2002	矿渣 煤灰 水泥	$0.282 \pm 0.008$	$2.63 \pm 0.51$
	2003	石子 矿渣 煤灰 水泥	$0.422 \pm 0.009$	$3.11 \pm 0.46$
	2004	煤灰 水泥 石子 矿渣	$0.409 \pm 0.003$	$2.11 \pm 0.17$
	2005	石子 矿渣 煤灰 水泥	$0.455 \pm 0.004$	$3.07 \pm 0.35$
	2006	矿渣 煤灰 水泥	$0.356 \pm 0.005$	$3.18 \pm 0.43$
	2007	包钢水淬渣 钢渣 粉煤灰 水泥	$0.259 \pm 0.126$	$70.6 \pm 3.3$
实心砖	3001	石灰 细沙水泥 煤灰	$0.090 \pm 0.115$	$1.88 \pm 0.24$
	3002	水淬渣 钢渣 粉煤灰 水泥	$0.296 \pm 0.115$	$79.2 \pm 3.2$
	3003	水淬渣 钢渣 粉煤灰 水泥	$0.325 \pm 0.119$	$88.5 \pm 4.0$

注:1) 选取相关文献<sup>[4]</sup> 氡析出率是采用本文的测量装置测定的结果。

4.2 数据分析 据相关报道<sup>[3]</sup>,对氡析出的机理进行分析指出,随着孔隙度的增加,氡的扩散系数也在增加,在其他因素不改变的情况下,从而使介质氡析出率也随之增大;随着原料颗粒的增大,表观密度在不断减小,氡的释放系数在不断的减小,从而导致介质氡析出率降低。

通过对表 1 中孔隙度的测量结果与氡析出率<sup>[4]</sup>比较得出:1001<sup>#</sup>~1003<sup>#</sup>建材砖的原材料和加工工艺基本相同,随着孔隙度的增加,建材砖表面氡析出率也在增大;2001<sup>#</sup>~2006<sup>#</sup>的建材砖孔隙度变化不是很大,因此建材砖的氡析出率也没有明显的变化;3002<sup>#</sup>~3003<sup>#</sup>建材砖的氡析出率相对其他建材砖氡析出率相差 1~2 个数量级,但其孔隙度与其他建材砖相差较小。初步分析,可能与原料的镭分布与孔径分布有关,其具体原因需要进一步研究。

综上所述,对于同种材料及相同加工工艺的建材砖,孔隙度与建材砖表面氡析出率有一定的相关性;对于不同材料及加工工艺建材砖,孔隙度与其建材砖表面氡析出率相关性较小。

### 5 结论与建议

5.1 结论 由于我国建材产品的原材料及加工工艺差异较大,导致氡析出率差别较大,但建材砖的孔隙度差距较小。通过对 13 个样品的测量得出以下结论:①从测量结果可以发现,基本符合理论分析,但孔隙度与氡析出率相关性较差。孔隙度并不是决定氡析出率的主要因素,它只能促进氡的析出。初步分析,氡析出率有可能与原料的颗粒大小、工艺参数、镭的分布

及其微观结构有关,需要结合各个因素对氡析出率进行综合分析。②对于原材料及加工工艺相同的建材砖,随着孔隙度的增大,氡的释放系数及扩散系数都在增大,有助于氡的析出;对于原材料及加工工艺不同的建材砖,孔隙度与氡析出率无明显相关性。③孔隙度是影响建材的一个重要因素,但不是决定性因素,因此降低建材氡析出率需要对其影响因素进行综合考虑。

5.2 建议 从辐射防护角度,为降低居民内照射剂量,建筑材料生产厂家应对原材料中放射性核素活度浓度及建筑材料孔隙度进行控制。居民在对建材选择过程中,应选择孔隙度、镭含量较低的建材或装饰材料应用于建构筑物,另外需要对居室内的裂缝采取有效措施进行密封,来降低氡的析出。

### 参考文献:

- [1] Michel van der Pal, Geboren te Hoom. Radon transport auto-claved aerated concrete [Z]. 2004.
- [2] P. de Jong, W. van Dijk, E. R. van der Graaf, et al. National survey on the natural radioactivity and  $^{222}\text{Rn}$  exhalation rate of building materials in the Netherlands [J]. Health Physics, 2006, 91(3): 200-210.
- [3] Rogers VC, Nielson KK. Correlations for predicting air permeability and  $^{222}\text{Rn}$  diffusion coefficients of soils [J]. Health Phys, 1991, 61: 235-240.
- [4] 刘福东, 潘自强, 刘森林, 等. 建筑材料氡析出率变化 [J]. 原子能科学技术 2009(03) 271-274.

(收稿日期:2011-06-22)