

## 【论著】

一种内源式 $^{220}\text{Rn}$ 室的研制唐方东<sup>1</sup> 赵超<sup>2</sup> 卓维海<sup>2</sup> 何林锋<sup>1</sup> 陈波<sup>2</sup> 张辉<sup>2</sup>

中图分类号:TL811 文献标识码:A 文章编号:1004-714X(2011)03-0273-02

**【摘要】** 目的 为开展各种 $^{220}\text{Rn}$ 浓度测量仪器的校准,研制 $^{220}\text{Rn}$ 室。方法 基于程控式恒温恒湿试验箱,设计温度和湿度可控的内源式 $^{220}\text{Rn}$ 室;利用树脂吸附法制备颗粒状 $^{220}\text{Rn}$ 源,合理设置 $^{220}\text{Rn}$ 源并借助四个内置风扇的风速调节以实现 $^{220}\text{Rn}$ 浓度的均匀分布。结果 在同一温度和湿度条件下, $^{220}\text{Rn}$ 室内 $^{220}\text{Rn}$ 浓度变化范围小于 $\pm 3.0\%$ ,且在有效体积范围内(约 200 L), $^{220}\text{Rn}$ 浓度分布基本均匀(波动范围小于 $\pm 5.5\%$ ); $^{220}\text{Rn}$ 室内 $^{222}\text{Rn}$ 浓度可忽略不计。结论 该 $^{220}\text{Rn}$ 室内 $^{220}\text{Rn}$ 浓度稳定且分布均匀,可用来开展 $^{220}\text{Rn}$ 浓度测量仪器的校正或比对实验。

**【关键词】**  $^{220}\text{Rn}$ 室;稳定性;均匀性;校准

Development of a  $^{220}\text{Rn}$  Chamber with Inner Sources. TANG Fang-dong, ZHAO Chao, ZHUO Wei-hai, et al. Shanghai Institute of Measurement and Testing Technology, Shanghai 201203 China.

**【Abstract】 Objective** To develop a  $^{220}\text{Rn}$  chamber for calibrations of  $^{220}\text{Rn}$  measurement device. **Methods** Based on a programmable constant temperature and humidity testing device, a  $^{220}\text{Rn}$  chamber with inner sources was designed. The granular  $^{220}\text{Rn}$  sources were prepared by using the adsorption method of resins. In order to produce a uniform distribution of  $^{220}\text{Rn}$  in the chamber, four minielectric fans were used to adjust the wind directions and speeds in the chamber in addition to a reasonable setting of the sources. **Results** Under the same temperature and humidity conditions,  $^{220}\text{Rn}$  concentrations in the chamber fluctuated within only  $\pm 3\%$ , and the spatial distribution of  $^{220}\text{Rn}$  was nearly homogenous in an effective volume of about 200 L.  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in the chamber could be neglected. **Conclusion**  $^{220}\text{Rn}$  concentrations in the chamber are stable and uniform, the chamber can be used for calibration or intercomparison experiments of  $^{220}\text{Rn}$  measurements.

**【Key words】**  $^{220}\text{Rn}$  chamber; Stability; Uniformity; Calibration

国内外的室内环境放射性调查业已表明<sup>[1-3]</sup>,在某些地区或特定的室内环境条件中,室内 $^{220}\text{Rn}$ 浓度很高, $^{220}\text{Rn}$ 及其子体所致居民的年均有效剂量已达到或超过同一环境中 $^{222}\text{Rn}$ 及其子体所致的剂量。另一方面,高浓度 $^{220}\text{Rn}$ 的存在也可能会影响 $^{222}\text{Rn}$ 浓度的准确测量<sup>[4]</sup>。为此,在开展室内 $^{222}\text{Rn}$ 浓度调查的同时,也有必要加强室内 $^{220}\text{Rn}$ 浓度的测量。但是,相对于 $^{222}\text{Rn}$ 浓度的测量及其校准工作而言,目前可测量 $^{220}\text{Rn}$ 浓度的仪器种类有限,且对这些仪器尚缺乏有合理的校准(或刻度)手段<sup>[5-7]</sup>。为了克服 $^{220}\text{Rn}$ 浓度测量标准的难题,本研究自行设计了一款新的 $^{220}\text{Rn}$ 室,并对其性能进行了较为全面的实验研究。

## 1 材料与方法

**1.1  $^{220}\text{Rn}$ 室的结构** 基于一台容积约为 300 L 的程控式恒温恒湿箱,在箱内增设可移动金属网架,将四个装有颗粒状 $^{220}\text{Rn}$ 源的丝网盒和小型电风扇组件均匀固定在金属网架上(见图 1)。该 $^{220}\text{Rn}$ 室的有效体积约 200 L(长 56 cm,宽 60 cm,高 57 cm); $^{220}\text{Rn}$ 源用钠型强酸树脂吸附  $\text{ThNO}_4$  溶液制备得到,每颗树脂的直径为 0.3 mm~0.8 mm;在每个源盒下方各放置一个风压朝下的可调风扇,腔体内风速在 0.2 m/s~1.5 m/s 之间可调。

**1.2  $^{220}\text{Rn}$ 浓度及其分布测量** 用美国 DURRIDGE 公司生产的 Rad7 型测气仪连续测量 $^{220}\text{Rn}$ 室内的 $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ 浓度; $^{220}\text{Rn}$ 浓度的空间分布利用二维辐射成像板(日本富士胶片公司生产的 BAS-MS 2040 型 IP)并结合自行研发的  $\alpha$  辐射甄别技术<sup>[8]</sup>开展静态测量。

## 2 结果与分析

**2.1  $^{220}\text{Rn}$ 浓度的平衡时间** 放入 $^{220}\text{Rn}$ 源后,每 5 min 监测得

到 $^{220}\text{Rn}$ 室内 $^{220}\text{Rn}$ 浓度的结果见图 2。从图 2 可看出,10 min 后 $^{220}\text{Rn}$ 室内 $^{220}\text{Rn}$ 浓度就已基本趋于稳定。在 10 min~30 min 之间, $^{220}\text{Rn}$ 浓度的微小波动主要是由于温湿度控制尚未达到相应的设定值。本实验结果表明,只要恒温恒湿箱的温湿度达到了设定的数值, $^{220}\text{Rn}$ 室内的 $^{220}\text{Rn}$ 浓度便可达到平衡。

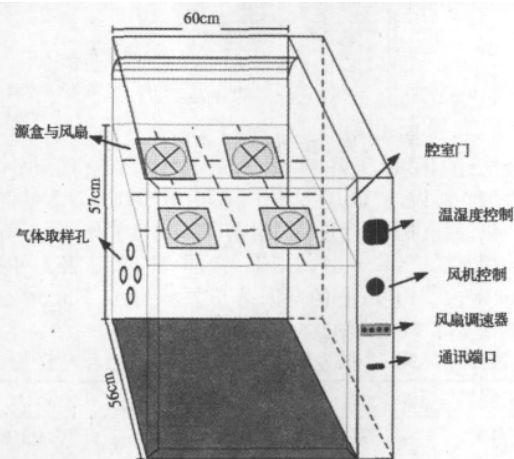


图 1  $^{220}\text{Rn}$ 室三维示意图

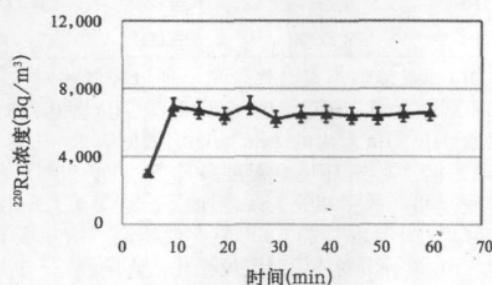


图 2  $^{220}\text{Rn}$ 浓度随时间变化图

**2.2  $^{220}\text{Rn}$ 浓度的稳定性** 图 3 显示了在设定的温湿度条

基金项目:国家质检总局科技计划项目(2009QK099)

作者单位:1 上海市计量测试技术研究院,上海 201203; 2 复旦大学放射医学研究所,上海 200032

作者简介:唐方东(1964~),男,上海人,高级工程师,主要从事电离辐射计量技术研究工作。

通讯作者:卓维海;E-mail: whzhuo@fudan.edu.cn

件下,每小时监测得到<sup>220</sup>Rn室内<sup>220</sup>Rn浓度、温度与相对湿度的结果。从图3可看出,在连续的50 h内,<sup>220</sup>Rn浓度基本保持恒定(波动范围均小于±3%),温度维持在(20±0.2)℃,湿度维持在(40±1)%RH。表明了该<sup>220</sup>Rn室的<sup>220</sup>Rn浓度稳定性良好,且温度和相对湿度的相对波动均小于<sup>220</sup>Rn浓度的波动,可保证<sup>220</sup>Rn室在一般应用中的稳定性要求。

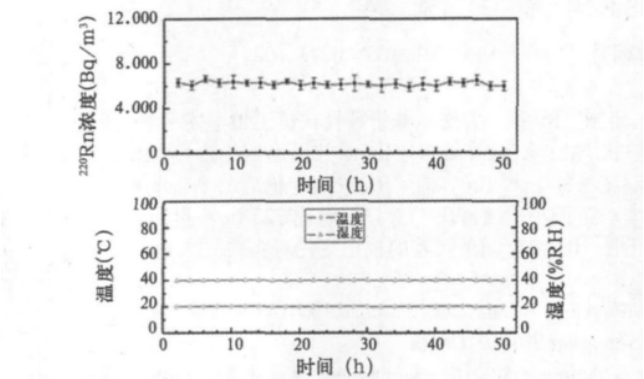


图3 <sup>220</sup>Rn室内<sup>220</sup>Rn浓度、温度与相对湿度的变化情况

2.3 <sup>220</sup>Rn浓度的空间分布 在放入<sup>220</sup>Rn源30 min后,用4枚IP板同时探测<sup>220</sup>Rn室内的<sup>220</sup>Rn浓度分布约1.5 h,IP上的α计数分布如图4所示。从图4可看出,虽然靠近<sup>220</sup>Rn源处(上方第一阵列)的α计数相对较高(其均值约为下方所有阵列均值的1.1倍),但整体空间各单元栅格内的α计数基本相近。

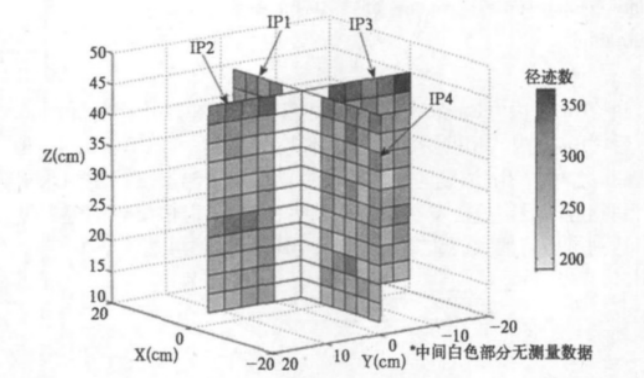


图4 α径迹在<sup>220</sup>Rn室内的分布

经统计不同IP上各栅格内α计数的均值及其标准误差,得到总的相对误差(RSD)见表1。同时考虑到辐射测量自身存在有随机误差(RSD<sub>R</sub>),进一步计算得到由于<sup>220</sup>Rn分布不均匀带来的相对误差(RSD<sub>Tn</sub>)的结果也列于表1。从表1可看出,该<sup>220</sup>Rn室内<sup>220</sup>Rn浓度的空间分布差异均小于5.5%,说明了<sup>220</sup>Rn室内<sup>220</sup>Rn浓度的空间分布均匀性良好。

表1 不同IP板各单元栅格内α计数的相对误差			
探测器	RSD	RSD <sub>R</sub>	RSD <sub>Tn</sub>
IP1	7.84%	6.01%	5.03%
IP2	7.00%	5.92%	3.72%
IP3	8.06%	5.92%	5.47%
IP4	8.09%	6.11%	5.30%

2.4 <sup>220</sup>Rn浓度随温湿度变化情况 通过控制相对湿度调节温度和控制温度调节相对湿度,测量得到<sup>220</sup>Rn源相同时、不同温湿度条件下<sup>220</sup>Rn室内的<sup>220</sup>Rn浓度均值见表2。从表2可看出,在通常的实验室环境温湿度条件下,温度和相对湿度与<sup>220</sup>Rn浓度呈明显的正相关关系,温度下降会导致<sup>220</sup>Rn室<sup>220</sup>Rn浓度的降低,而湿度越高<sup>220</sup>Rn浓度就越高。这主要是由于<sup>220</sup>Rn从<sup>220</sup>Rn源析出受环境温湿度变化的影响<sup>[9,10]</sup>。实验结果表明,控制该<sup>220</sup>Rn室内温度和湿度是保证<sup>220</sup>Rn浓度稳定的必要条件;同时,该结果也说明了可以通过改变<sup>220</sup>Rn室内温湿度设置来实现<sup>220</sup>Rn浓度在一定范围内的调控。

表2 温湿度变化对 <sup>220</sup> Rn浓度的影响			
控制方式	温湿度条件	<sup>220</sup> Rn (Bq/m³)	
		均值	标准差
控湿调温	I(30℃ 40% RH)	9 070	728
	II(20℃ 40% RH)	6 620	452
	III(10℃ 40% RH)	4 220	357
控温调湿	I(20℃ 20% RH)	4 050	331
	II(20℃ 40% RH)	6 490	529
	III(20℃ 60% RH)	11 930	870

2.5 <sup>220</sup>Rn室内的<sup>220</sup>Rn浓度 在同一温湿度条件下(20℃ 40% RH),用Rad7测氡仪对该<sup>220</sup>Rn室进行了3天的连续测量,结果显示该<sup>220</sup>Rn室内<sup>222</sup>Rn浓度和<sup>220</sup>Rn浓度的均值分别为(66.1±24.0)Bq/m³和(6520±186)Bq/m³,<sup>222</sup>Rn浓度仅为<sup>220</sup>Rn浓度的约1%。说明了该<sup>220</sup>Rn室内的<sup>222</sup>Rn浓度很低,其对<sup>220</sup>Rn浓度测量的影响可以忽略不计。

3 结论

本研究基于理化实验室内常用的恒温恒湿箱,设计了一个有效容积约为200 L的<sup>220</sup>Rn室并自行制备了颗粒状<sup>220</sup>Rn源。性能实验结果表明,该<sup>220</sup>Rn室内的<sup>220</sup>Rn浓度稳定可控,且具有良好的空间分布均匀性;<sup>220</sup>Rn浓度平衡时间仅需10 min左右,<sup>220</sup>Rn室内的<sup>222</sup>Rn对<sup>220</sup>Rn浓度的测量影响可忽略不计;同时还可通过改变<sup>220</sup>Rn室内的温度或湿度设置,在不更换<sup>220</sup>Rn源的条件下来有效调节<sup>220</sup>Rn室内的<sup>220</sup>Rn浓度。本研究设计的<sup>220</sup>Rn室可以用来开展<sup>220</sup>Rn浓度测量的校准或对比试验等相关实验研究。

参考文献:

[1] Doi M ,Kobayashi S. Characterization of Japanese wooden houses with enhanced radon and thoron concentrations [J]. Health Phys ,1994 ,66( 3) : 274 -282.

[2] Shang B ,Chen B ,Gao Y ,et al. Thoron levels in traditional Chinese residential dwellings [J]. Radiat Environ Biophys ,2005 ,44( 3) : 193 -199.

[3] Chen J ,Schroth E ,MacKinlay E ,et al. Simultaneous <sup>222</sup>Rn and <sup>220</sup>Rn measurements in Winnipeg ,Canada [J]. Radiat Prot ,2009 ,134( 2) : 75 -78.

[4] Tokonami S ,Yang M ,Sanada ,T. Contribution from thoron on the response of passive radon detectors [J]. Health Phys ,2001 ,80( 6) : 612 -615.

[5] Möre H ,Falk R ,Nyblom L. A bench - top calibration chamber for <sup>220</sup>Rn activity in air [J]. Environ Int ,1996 ,22( Suppl. 1) : 1 147 -1 153.

[6] 肖德涛,赵桂芝,肖拥军等. 小<sup>220</sup>Rn室的研究 [J]. 核电子学与探测技术,2005 ,25( 6) : 577 -579.

[7] Rttger A ,Honig A ,Arnold D. The German thoron progeny chamber - concept and application [J]. Appl Radiat Isot ,2009 ,67( 5) : 839 -842.

[8] Chen B ,Zhuo W ,Kong Y. Identification and counting of alpha tracks by using an imaging plate [J]. Radiat Meas ,2011 ,46( 3) : 371 -374.

[9] Zhuo W ,Iida T ,Furukawa M. Modeling radon flux from the Earth's surface [J]. Nucl Sci Techno ,2006 ,43( 4) : 479 -482.

[10] Zhao C ,Zhuo W ,Chen B ,et al. Characteristic and performance of a simple thoron chamber [J]. Radiat Prot Dosim ,2010 ,141( 4) : 444 -447.

(收稿日期:2011-05-03)