

RAD7 测氡仪测量氡浓度的影响因素 ——北京市室内氡测量与分析

刘智慧, 马国学, 曾利萍, 宋福祥, 刘庆云, 王毅, 李鹏宇

北京市辐射安全技术中心, 北京 100089

摘要: 目的 寻找 RAD7 测氡仪测量中的影响因素。探讨 RAD7 测量的不确定度。方法 通过北京市历年测量数据, 将 3 台 RAD7 测氡仪放置在同一场所及设置不同的测量条件, 如: 采样测量周期时间、循环次数、湿度、气压等, 分析测量的影响因素及数据的不确定度。结果 测量周期 ≥ 30 分, 湿度 $\leq 10\%$ 才能有效减少误差; 氡浓度有日变化、季节变化规律。结论 RAD7 连续氡浓度检测仪灵敏度高, 但影响测量结果的因素多, 做好质量控制, 才能确保测量数据的准确。

关键词: RAD7 测氡仪; 测量; 数据; 比对; 不确定度

The Factors Influencing the Accuracy of Radon Concentration Using RAD7 Radon Monitor Measurement and Analysis of Indoor Radon in Beijing. LIU Zhi-hui, MA Guo-xue, ZENG Li-ping, SONG Fu-xiang, LIU Qing-yun, WANG Yi, LI Peng-yu. Beijing Radiation Safety Technology Center, Beijing 100089 China.

Abstract: **Objective** To find out the factors influencing RAD7 radon monitor's working, and discuss the measurement of random of RAD7 measuring has been discussed in this paper. **Methods** This paper demonstrates the uncertainty of data and influence factors of measurement by analyzing data of Beijing over years and data from three RAD7 radon measurements in the same place with different parameters, including sampling cycle time, cycle number, humidity, air pressure and other factors. **Results** Measuring cycle time ≥ 30 minutes and humidity $\leq 10\%$ can effectively reduce the deviation. The daily variation and seasonal variation of radon concentration were observed. **Conclusion** RAD7 continuous radon concentration detector is of high sensitivity, which has multiple factors that affect the measurement results, can do a good job of quality control to ensure accurate measurement data.

Key words: RAD7 Radon Detector; Measure; Data; Comparison; Uncertainty

中图分类号: TL814 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2017)03-0348-03

氡气会致癌已经慢慢得到公认, 室内是一个相对密闭的空间, 加之许多石材会释放出氡及其子体, 并且人们在室内停留时间较长, 因此氡及其子体对人类的贡献主要来源于人们在室内停留时所受到的照射。现在室内空气中氡及其子体浓度水平得到辐射防护工作者越来越多的重视。那么, 如何降低室内氡浓度水平, 如何做出准确测量与有效评估就成为一个亟待解决的问题。

室内空气氡主要来源于房基及周围的土壤、岩石、建筑材料、室外空气、供水和天然气等。林莲卿曾发表过北京地区各类建筑物室内氡进入率的研究结果^[1]: 北京地区室内氡约有 56.3% 来自地基岩土、20.5% 来自建筑材料和 20.5% 来自室外空气, 不到 3% 来自燃

料和用水。

1 测量选点

选取北京市有代表性的三家单位, 作为室内空气中氡浓度监测点。选取这三家单位平时密闭的房间, 作为固定室内监测点位, 按月频次测量。

2 测量仪器

2.1 RAD7 测氡仪优点 具有: ①体积小, 方便携带、可连续取样测量; ②仪器报错率低、性能稳定; ③有干燥装置; ④数据随测量随时打印, 并可同步存贮并随时调用查看等优点, 故它成为氡浓度测量中普遍使用的方法之一。

2.2 测量精度 RAD7 采用的是 PIPS 型半导体探测器来甄别不同能量 α 粒子, Rn-222 和 Rn-220 浓

作者简介: 刘智慧(1968-), 女, 江苏镇江人, 博士, 高级工程师, 从事辐射防护工作。

度。RAD7 测量 Rn-222 和 Rn-220 测量精度分别为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 25\%$ 。

2.3 测量模式及测量方法 RAD7 提供了 Sniff 模式、Normal 模式和 Auto 模式三种测量模式。

2.4 RAD7 测氡仪的自净 每次测量操作后,立即将仪器取样口放置到室外“干净空气”^[2]中,并开机抽气(实际上是用“干净空气”冲洗探测器的整个气路)。

2.5 测量条件 将干燥器连接在测定仪接口处:每次测量前要检查干燥剂状态,干燥剂变红后,要更换新的干燥剂或烤干的干燥剂,以保持相对湿度 9%^[3]范围内。测量前,确保关闭门窗 24 h 以上再测量。测量位置:探测高度 1.0 m,距墙 1.5 m。测量前,抽吸测量时间不少于 20 min,再进行测量。常规测量周期设置:0.5 h \times 48 或者 1 h \times 24。

3 RAD7 测氡仪测量读数的影响因素

3.1 最佳测量周期与循环次数的选择 空气中氡浓度的测量结果与测量总时间有密切关系,即测量周期与测量次数的乘积。

3.1.1 固定循环次数,选取最佳测量周期 我们分别选取了 0.5、1.0、2.0、3.0 h,24 个循环,固定循环次数,来选取最佳测量周期,测量周期小于 0.5 h 时,数据波动很大、稳定性差,测量结果见表 1。

表 1 三种测氡仪不同测量周期的比较

仪器型号	0.5 h	1.0 h	2.0 h	3.0 h
0839	45.2 \pm 15.2	49.3 \pm 17.6	42.1 \pm 11.4	46.6 \pm 11.2
01951	42.1 \pm 14.2	48.4 \pm 16.4	42.0 \pm 13.5	46.8 \pm 10.2
01950	39.0 \pm 14.0	49.0 \pm 20.1	42.5 \pm 10.6	46.8 \pm 11.7

由表 1 可见,当测量周期大于 2 h 时,数据稳定性较好。因此,测量周期选择 2 h。

3.1.2 固定测量周期,确定最佳循环次数 固定测量周期后,由于一昼夜 24 h 各个时段受气压等的影响,测量结果差异很大,所以测量周期与循环次数的乘积要满足一昼夜 24 h 的时间。因此,选择了测量周期后,按 24 h 除以的结果来确定循环次数。

3.1.3 达到不确定度要求 使用 RAD7 仪器时,依据 GB 50325-2001 中规定^[4]“民用建筑工程室内空气中氡的检测,所选用方法的测量结果不确定度不应大于 25% (置信度 95%),方法的探测下限不应大于 10 Bq/m³。”我们通过反复实验发现,选取适当的测量周期和测量时间,可以减少不确定度。测量时间愈长,测量结果统计误差愈小。以 RAD7 型测氡仪为例,如果浓度约为 100 Bq/m³,测量周期 1 h;如果浓度约为 40 Bq/

m³,则要测量 2 h。

3.2 RAD7 测氡仪测量数据相对湿度的选择

3.2.1 测量结果 为了寻找空气湿度对测量结果的影响,本文选择 3 种湿度进行试验:低湿度(相对湿度 10% 以下);中湿度(相对湿度 35% 左右),较高湿度(相对湿度 50% 以上)。

12 月测量一组数据:湿度 20% 测量值为 24.53 Bq/m³,27% 测量值为 23.04 Bq/m³;11 月测量一组数据:湿度 24% 测量值为 37.32 Bq/m³,38% 测量值为 22.93 Bq/m³;9 月测量一组数据:湿度 45% 测量值为 30.58 Bq/m³,55% 测量值为 26.88 Bq/m³;8 月测量一组数据:湿度 65% 测量值为 34.53 Bq/m³,42% 测量值为 23.99 Bq/m³;7 月测量一组数据:湿度 39% 测量值为 37.70 Bq/m³,45% 测量值为 26.60 Bq/m³;5 月测量一组数据:湿度 37% 测量值为 26.96 Bq/m³,42% 测量值为 16.42 Bq/m³。

与同月份同地点比,空气湿度在 10% 左右,测得的氡浓度数值才比较准确。

3.2.2 测量结果分析 相同空间条件,RAD7 测氡仪湿度减低,仪器显示的氡浓度缓慢升高,湿度与氡浓度测量结果成反比。总之,氡浓度测量受多种因素的影响。

3.3 RAD7 测氡仪测量数据随昼夜、季节的变化

3.3.1 测氡仪测量数据随昼夜的变化规律 对三家十几年的氡浓度数据统计分析,1 天 24 小时中,凌晨 5 点(3~6 点)最高,在这一时段平均值为 32.45~34.06 Bq/m³;下午 16~18 点最低,在这一时段平均值为 21.62~22.62 Bq/m³;上午 9 点(8~12)在这一时段平均值为 26.45~30.72 Bq/m³,接近日平均水平(27.92 Bq/m³)。见图 1。

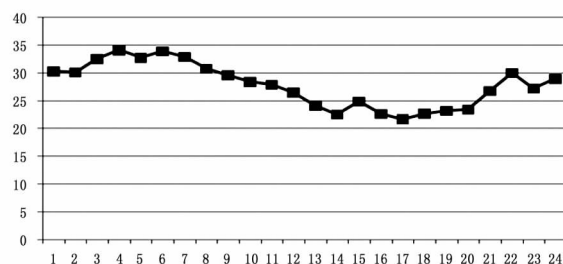


图 1 氡浓度随昼夜的变化

3.3.2 测氡仪测量数据随季节的变化规律 氡浓度变化最小值在春季,浓度为 30.82~40.95 Bq/m³;最大值在晚夏和秋季,浓度为 54.00~69.31 Bq/m³;最高值是最低值的 2.25 倍,平均值 46.31 Bq/m³。见图 2。

3.3.3 结论 本文对这些年所选三家的氡浓度测量数据进行了分析:氡浓度的日变化规律取决于大气稳

定度的变化,清晨大气温度梯度为逆温,大气处于稳定状态,近地表大气中氡浓度较高。太阳上升后,逆温被破坏,氡浓度下降,一直持续到上午,日落后大气稳定度开始增加,氡浓度又上升。在影响测氡结果的因素中,气压是个关键因素。因此,氡浓度随季节的变化规律明显,在春季出现最小值或较低值,在晚夏或秋季出现最大值,最大月平均值与最小月平均值之比约在2.25。

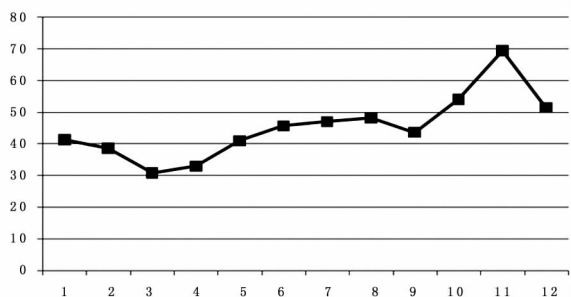


图2 氡浓度随季节变化

4 RAD7 测氡仪测量结果不确定度分析

4.1 RAD7 测氡仪仪器间比对 2013 年 03 月 26 日 17:40 开始测量,连续测量 48 h,测量结果见表 2。

表2 三台测氡仪相同条件测量结果的比对

时间	仪器型号		
	0839	01951	01950
17:18	45.0	39.9	36.9
19:18	45.5	27.0	42.8
21:18	30.8	39.4	39.2
23:18	43.5	45.6	32.1
1:18	51.5	42.9	49.9
3:18	39.5	33.2	37.8
5:18	48.9	45.0	37.8
7:18	62.3	54.7	44.2
9:18	56.9	62.3	62.0
11:18	63.6	63.7	59.9
13:18	53.5	45.7	58.5
15:18	44.8	50.6	49.2
17:18	28.8	44.3	39.9
19:18	27.4	31.2	27.1
21:18	34.1	27.7	24.9
23:18	35.5	32.6	35.6
1:18	35.5	30.5	27.8
3:18	39.5	36.7	42.8
5:18	52.2	48.5	46.3
7:18	48.8	45.7	54.9
9:18	59.5	59.6	51.3
11:18	53.5	58.2	61.3
13:18	61.6	49.2	50.6
15:18	41.5	56.8	54.2
均数	46.0 ± 10.8	44.6 ± 11.0	44.5 ± 11.0

由于绝对氡浓度无法得到,只是无限接近真值。我们以三台仪器测量平均值在相同空间、相同条件下测量平均值做为参考值。根据测量结果,2 h × 24, 48 小时平均值为 45.02 Bq/m³。这三台 RAD7 测氡仪 48 h 测量结果接近。

4.2 测量结果分析 做好室内氡浓度测量的质量保证工作,除了强制检定外,进行相同或不同仪器的测量比对也是切实可行的办法,可以及时发现测量过程中的问题,保证测量数据的可靠性。

4.3 RAD7 测氡仪测量结果不确定度分析 测量误差主要包括测量系统误差和偶然误差两部分。测量系统误差包括:①测量系统自身误差:首先,闪烁瓶内表面涂得硫化锌厚度对闪烁瓶性能有较大影响。其次,闪烁瓶的有机玻璃因契仑柯夫效应产生本底脉冲以及硫化锌粉中含有少量的 α 辐射体,都可增加本底计数。由于增加的份额变化不定,从而增加整体测量误差。再则光电倍增管的使用,光阴极热电子发射和管壁玻璃中发光体、管内残存气体的正离子都可能被加速到光电倍增管的光阴极,增加本底。②刻度误差。③气温、气压、湿度误差。④能量响应误差。⑤闪烁瓶容积误差。⑥时间响应误差。

偶然误差由于操作人员测量时造成,例如:没及时更换干燥剂、没有做到测量前关闭门窗 24 h、测量过程中开门窗等;偶然误差也包括 RAD7 测氡仪的瞬时非正常误差,偶然误差不好预估,但是通过重复性测量和统计学处理可以减少误差。

RAD7 连续测氡仪检测结果不确定度主要有:①仪器响应时间;②空气湿度、温度;③仪器高度;④取样测量周期长短;⑤门窗关闭程度⑥仪器检定过程出现的不确定度。

本文分析了测量周期及湿度的影响,测量周期太短时(0.5 h 之内),测量不确定度很大;测量周期延长到 3 h 时,不确定度明显下降。空气湿度小于 10% 时,不确定度下降。

总之,RAD7 测氡仪只要克服不确定度的影响因素,克服人为操作误差,选取正规厂家,购买仪器时做好验收,就能够保证测量数据的可靠性。

4.4 结论 我们在应用自动化程度越来越高的仪器时,一定要详细通读、读透说明书,弄清楚仪器操作及注意事项。①RAD7 氡浓度测量仪使用方便,操作流程清晰。操作者应该认真研读操作说明书,按操作规程严格执行。每次测量完毕,及时用户外的干净空气抽滤“清洗”。② RAD7 测氡仪要离开墙(下转第 356 页)

素对总 γ 计数率的贡献比例见表 10。从表 10 可以看出,在低功率水平下,总 γ 监测通道的主要监测对象为裂变产物中的惰性气体,与设计初衷是吻合的。

表 10 不同功率水平下不同核素对 CPS 的贡献

反应堆功率水平		20%	100%
裂变产物	惰性气体	0.915	0.131
	碘	0.010	0.001
	其他裂变产物	0.003	0.001
活化产物		0.051	0.925
腐蚀产物		0	0

6.5 ^{16}N 影响分析 从表 10 的数据可以看出,反应堆功率水平升高,活化产物(^{16}N)对总 γ 计数率的贡献大幅度升高,而裂变产物对 CPS 的贡献减小。

从式(1)~式(3)来看,反应堆功率水平主要影响二回路蒸汽流量和泄漏点到测点的传输时间。二回路蒸汽流量导致总 γ 计数率线性变化,泄漏点到测点的传输时间导致总 γ 计数率指数变化,传输时间是总 γ 计数率变化的关键因素。若不考虑核素半衰期影响,则反应堆功率变化导致不同核素对总 γ 计数率的贡献比例变化趋势应基本一致。

但从表 10 来看,从 20% 功率到满功率,活化产物对总 γ 计数率的贡献比例从 5% 上升至 87%,主要是因为 ^{16}N 的半衰期影响。 ^{16}N 半衰期为 7.13 s,低功率条件下传输时间长, ^{16}N 衰变份额大,对总 γ 计数率的贡献比例小。从侧面说明总 γ 通道应在低功率条件下使用,以避免 ^{16}N 对总 γ 计数率的影响。

7 结论

(上接第 350 页)1.0 m 以上的距离,距离地面 1.0 m 以上,离地面的高度增加,活度下降。越低活度越大。③气温、气压、气湿的影响:温度控制在 20℃~30℃,气压按标准大气压换算成标准一个大气压下的体积,湿度控制在通过干燥剂后 10% 之内。④注意时间响应:调整测量周期及每个周期的时间,我们每个周期测量 2 h 或以上,循环次数不小于 12 个。⑤分析数据时注意四季的变化、昼夜不同时段的变化,分别统计。

因此,调试好仪器,研究相关干扰因素,才能保证测量数据的真实可信。

以上计算中选择了四种不同泄漏位置、两种功率水平进行计算。建议以 44 L/h 和 70 L/h 的泄漏率作为总 γ 监测通道的一级、二级报警阈值。①泄漏率为 44 L/h 时,总 γ 通道在不同泄漏位置的总 γ 计数率最大值,从工程角度考虑取 ~20% 的设计余量,建议总 γ 计数率取 60 作为一级报警阈值。②泄漏率为 70 L/h 时,总 γ 通道在不同泄漏位置的总 γ 计数率最大值,从工程角度考虑取 ~20% 的设计余量,建议总 γ 计数率取 90 作为二级报警阈值。

参考文献

- [1] 贾靖轩,吴荣俊,王骄亚,等.核电站蒸汽发生器排污水监测到报警阈值研究[J].武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2013,35(1):52-55.
- [2] 刑宏传,高景辉,王德忠,等.船用核动力装置 ^{16}N 在线检测系统研究[J].核电子学与探测技术,2005,25(1):48-66.
- [3] 杨永等,朱玉隆.核电厂辐射监测系统监督管理问题研究[J].科技视界,2014(20).
- [4] 岭东核电有限公司.岭澳核电站 3、4 号机组最终安全分析报告[R].深圳:岭东核电有限公司,2004.
- [5] MCAM 用户手册.
- [6] 岭东核电有限公司.岭澳核电站(一期)运行技术规范[R].深圳:岭东核电有限公司,2004.
- [7] 丁训慎.蒸汽发生器传热管的降质及对其完整性的评估[J].核安全,2009,2:37-42.

收稿日期:2017-03-08 修回日期:2017-04-29

参考文献

- [1] Lin lianqing. Indoor Radon Measurements in Beijing Area[J]. The Sciences of the Total Environment,1991,107:255.
- [2] 殷晓梅,赵明辉,左文才,等.连续测氡仪内存留气体的探讨[J].计量与测试技术,2008,35(4):57-58.
- [3] 邓高峰,王志勇,王智超,等.1027 和 RAD7 型测氡仪测氡效果的研究与评价.[J].仪器评价.2010,(1):61-63.
- [4] 国家技术监督局.GB 50325-2001 民用建筑工程室内环境污染控制水平[S].北京:中国标准出版社,2006.

收稿日期:2017-01-09 修回日期:2017-05-25