

一种 ^{218}Po 快速氡浓度测量方法

张枫¹, 袁久林², 谭桢干¹, 王晓宇², 屈国普¹

1. 南华大学 湖南 衡阳 421000; 2. 山东省核与辐射安全监测中心

摘要: 目的 介绍一种能够快速测量空气中的氡活度浓度的方法。方法 根据 ^{218}Po 快速测氡法,针对空气中氡及氡子体浓度过低的特点,首先通过采样装置收集氡子体到滤膜上,同时利用探测器实时探测得到滤膜上 ^{218}Po 的活度随时间的变化关系,利用探测的结果根据对应公式从而得到空气中氡的活度浓度,并测试了该方法的准确度与误差。结果 该方法的实验误差保持在5%以内,取样时间缩短至15 min内。结论 该方法测量氡是十分可行的,用来测量空气中的氡的活度浓度,具有测量速度快,准确度高特点。

关键词: 氡浓度测量; ^{218}Po 活度测量

A Fast Method for Measuring Radon Concentration by ^{218}Po . ZHANG Feng, YUAN Jiu - lin, TAN ZHEN - Gan, WANG Xiao - yu, QU Guo - pu. 1. Institute of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001 China; 2. Radiation management environment station of Shandong Province.

Corresponding Author: QU Guo - pu, E - mail: 840733340@qq.com

Abstract: **Objective** To introduce a quick measuring method of radon activity concentration in air. **Methods** According to the method for measuring radon activity concentration by ^{218}Po , aiming at low concentrations of radon and radon daughter in the air, firstly through sampling device collected radon daughter on the membrane filter, at the same time using the detector online detection ^{218}Po activity in the filter membrane, the activity concentration of radon in air can be obtained by using the results of the detect, and test the accuracy and error of this method. **Results** The experimental error of this method keep within 5%, sampling time reduced to 15 minutes. **Conclusion** This method is feasible for measuring radon, the method is fast in measurement with high accuracy for measuring radon activity concentration in the air.

Key words: Radon Concentration Measurement; ^{218}Po Activity Measurement

中图分类号: TL816 文献标识码: B 文章编号: 1004 - 714X(2016)01 - 02 - 093

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.01.037

氡是一种放射性惰性气体,由土壤中的含镭物质经过镭衰变形成的,并通过物质空隙析出释放到空气中^[1]。由于它是惰性气体,进入人体后不会与人体肺部组织发生相互作用,而会随着人的呼吸排出体外,但是氡子体(氡的一系列衰变产物称为氡子体)是固态金属颗粒,悬浮于空气中,形成放射性气溶胶,被人体吸进肺部后产生的辐照可以引发肺癌。

氡及其子体所致人类呼吸道内照射剂量约占人类受到的天然辐射照射总量一半以上^[2]。根据健康公告,氡是导致肺癌的重要因素之一,仅次于吸烟,全世界每年大约有数万人因肺癌而死亡,归因于长时间受氡照射,氡被列为我们环境中最大的危害健康的危险品^[3]。所以对环境中的氡浓度进行测量有重要的意义。

1 空气中与滤膜上氡子体的运动状态

了解空气中与滤膜上氡及氡子体的活动状态,分析它们的运动规律及之间的联系以便达到氡测量的目的。

1.1 空气中氡子体的活动状态 以铀系衰变链为例,分析氡子体运动状态。

氡系衰变链由 ^{238}U 开始衰变,由 ^{222}Rn 开始衰变子体进入空气中,其中任何一种核素都在不断的衰变、产生,经过足够长的时间,最终在空气中处于一种平衡稳定状态,称为放射性长期平衡;根据长期平衡条件,可以得到 $\lambda_{\text{Rn}222} C_{\text{Rn}222} = \lambda_{\text{Po}218} C_{\text{Po}218}$ ^[4],即空气中氡的活度浓度等于其子体 ^{218}Po 的活度浓度,这是实现 ^{218}Po 氡测量的前提条件。

1.2 滤膜上子体活动状态 由于Rn为惰性气体元素,不会形成气溶胶状态,因此滤膜上不会有Rn,只可能存在其子体;本实验所使用的滤膜对尺寸大于0.4 μm

作者简介: 张枫(1992 -),男,湖南衡阳人,在读硕士研究生,主要从事核科学与技术研究。
通讯作者: 屈国普, E - mail: 840733340@qq.com

气溶胶颗粒的过滤效率达到 99% 以上,因此可以认为空气中的氡子体都被富集在了滤膜上。

同理,随着时间的增加,滤膜上各子体的数量不断增加,最后也会逐渐趋于稳定,处于一种平衡状态,达到的平衡状态与外部条件有关,并与外部空气中的氡子体活度浓度有联系,这是实现 ^{218}Po 氡测量的依据。同时稳定所需要的时间与子体的半衰期有关,半衰期越长,稳定时间越长。由于半衰期较短, ^{218}Po 在半小时内达到稳定, ^{214}Pb 和 ^{214}Bi 的半衰期较为接近,两者在 3 h 内达到稳定。

1.3 探测方法的推导 滤膜上的氡子体可只考虑 ^{218}Po 。根据滤膜上子体运动规律及平衡状态,再结合放射性长期平衡条件,并参考其他数据,可以得到下式^[1]:

$$A_{Po218}(t) = \left[\frac{Q - Qe^{-\lambda_{Po218}t}}{\lambda_{Po218}} \right] A_{Rn222} \quad (1)$$

式中: A_{Po218} 为滤膜上 ^{218}Po 的活度, A_{Rn222} 为空气中氡的活度浓度, Q 为抽气流量,这样就能够通过测量滤纸上的 ^{218}Po 的活度来推导出空气中氡的活度浓度。

上节中提到,无论空气中还是滤膜上,核素达到平衡所需时间与其半衰期有关,而 ^{218}Po 的半衰期仅有 3.1 min,在滤膜上达到平衡所需时间大约为 10 min^[1],这大大减少了测量时间,具有巨大的优势。

2 实验测试

该测量方法得到的结果其准确度是否达到要求,可通过实验来测试。该实验需要二套测量装置:一套用于实验测量,并使用该方法得出氡浓度数据;另外一套是 FD 216 现场环境氡测量仪,用于测量环境中氡的活度浓度,作为参考的相对真值。

2.1 实验装置简介 因为 ^{218}Po 的半衰期仅有 3.10 min,如果采样完成后,将滤膜送去实验室分析,中间耽搁的时间会导致很大的误差,所以需要一套在线式实时测量的系统。

图 1 是一种常见的在线式放射性气溶胶监测装置原理图,图中包含一个简单的气流回路,空气经气体入口进入装置内部后,在流经过滤装置的过程中,气溶胶颗粒会沉积在过滤装置内部,从而使过滤装置具有放射性,这样原有的气体源探测问题就转化为了固体源探测问题,同时该监测装置具有气溶胶采样和放射性测量两项基本功能,并通过合理的机械设计将两者融合到一个紧凑的机械结构中实现。

2.2 误差分析及控制 由式(1)可知,实验结果由滤膜上的 ^{218}Po 活度、抽气流量、时间决定,其中流量与时

间都能够用高精度仪器控制,那么测量误差大部分来自于滤膜上的 ^{218}Po 活度,那么只要提高 ^{218}Po 活度测量的准确度,就能有效控制测量误差。

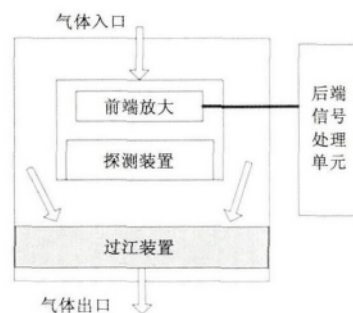


图 1 放射性气溶胶监测装置原理图

^{218}Po 具有的是 α 放射性,目前 PIPS 半导体探测器是 α 放射性测量中性能较好的探测器。

PIPS 半导体钝化离子注入型半导体,是半导体钝化离子注入新工艺的产品。由 PIPS 半导体所构建的半导体探测器其结的全部外缘都是不可见的,大大减小了漏电流的值;结端面用离子注入法形成,可以得到精确、薄而且突变的结,使得 α 粒子分辨率好,峰的展宽缩小,非常适合于测量 α 、 β 放射性的场合^[5-6]。

因此,本实验的测试采用 PIPS 半导体探测器来避免测量误差。

2.3 实验结果及分析 ^{218}Po 在滤纸上的活度达到平衡值所需时间大约为 10 min,实验选取 5 min,10 min,15 min 三个时间点作为代表,来观察子体活度。实验结果列于表 1,A 为滤纸上 ^{218}Po 活度,Bq;B 为氡活度浓度实验值,Bq/m³;C 为氡活度浓度相对真值,Bq/m³。

表 1 实验结果对比

取样时间 (min)	抽气流量 (L·min ⁻¹)	A	B	C	相对误差 (%)
5	10.0	0.625	20.98	22.0	4.61
10	10.0	0.824	21.03	22.0	4.41
15	10.0	0.876	20.77	22.0	5.58

表中的氡活度浓度相对真值,是 FD216 现场环境氡测量仪在同一地点多次采样后得出的一个均值,具有较高的可信度^[7]。

从表 1 滤纸上 ^{218}Po 活度在取样时间达到 10 min 后基本不再增加,符合本文前面的理论分析,实验中测得的氡的活度浓度变化不大,相对误差保持在 5% 左右,具有较高的准确度,能够满足大部分的测量需求。

虽然相对误差保持在 5% 左右,但都是略小于相对真值。其主要原因有两点:①滤纸的(下转第 98 页)

效剂量为 3.25 mSv, 燃料棒制造岗位工作人员最大年有效剂量为 4.85 mSv。上述估算结果说明该燃料元件生产线关键岗位工作人员最大年有效剂量均能够控制在个人剂量管理目标值以内。

综上所述,该生产线在各项辐射防护措施正常运行情况下,其放射性职业病危害因素对工作人员的辐射危害程度在可接受范围内。

参考文献

[1] 中华人民共和国职业病防治法[S]. 2011-12-31.

- [2] 国家安全生产监督管理总局. 国家安全生产监督管理总局令第 47 号 工作场所职业卫生监督管理[S]. 2012.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 12377-1990 空气中微量铀的分析方法 激光荧光法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [4] 国防科学技术工业委员会. EJ 1153-2004 X、 γ 外照射个人监测规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [6] 国防科学技术工业委员会. EJ 1056-2005 铀加工与燃料制造设施辐射防护规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

收稿日期: 2015-10-25 修回日期: 2015-12-17

(上接第 94 页) 自吸收, 子体在滤纸上发射的 α 粒子有极少部分被滤纸给吸收掉了, 导致被探测到的 α 粒子数减少, 影响结果。②探测器探测效率的偏差, 也是误差的来源。

3 结论

本文研究了一种根据 ^{218}Po 得到氡活度浓度的方法, 进行了实验测试, 并给出了计算公式及误差范围。实验过程中的误差保持在 5% 左右, 具有较高的准确度, 能满足大部分测量需求。

与其他氡测量法相比, 该方法最大的优势在于它大大简化了测量步骤与缩短了测量所需时间。只需直接测量滤膜上 ^{218}Po 活度就能得到结果, 精简了测量系统, 也节省了大量时间, 对于一些特殊环境作业的人员来说具有重大意义, 减少了他们的负担与人力, 而且可靠性也能得到满足。

但是对于一些精确度要求特别高的作业, 该方法就有其局限性, 但并不是不能解决; 它具有很大的

发展空间这点是毋庸置疑的, 可以根据其对测量仪器性能的依赖性较大这点入手, 扩展使用空间。

参考文献

- [1] 卢正永. 气溶胶科学引论[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 151-158.
- [2] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation[S]. New York: UNSCEAR 2000 Report, UN 2000.
- [3] 吴慧山, 韩耀照, 郭东发. 室内装修要警惕氨、甲醛、苯等的危害[M]. 北京: 原子能出版社, 2000: 5-9.
- [4] 卢希庭, 江栋兴, 叶沿林. 原子核物理[M]. 北京: 原子能出版社, 2001: 27-31.
- [5] 王益元, 魏永康, 陈祥磊, 等. 基于 PIPS 半导体探测器的核电站放射性气溶胶测量系统设计[J]. 舰船科学技术, 2011, 33(8): 137-139.
- [6] 沈春霞, 青建华, 王斌. PIPS 探测器对 γ 辐射特性的实验研究[J]. 核电子学与探测技术, 2009, 29(2): 281-284.
- [7] 李继红, 王美丽, 谢晓斌, 等. FD216 型环境氡测量仪的研制与应用[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(4): 757-758.

收稿日期: 2015-11-20 修回日期: 2015-12-29

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.01.039

本刊重要启示

本刊编辑部发现近期网络上出现多个非法网站冒充本刊在线投稿系统, 给一些作者造成不便甚至经济损失。对这种极其恶劣的非法侵权行为, 一经查实, 本刊将诉诸法律。在此本刊郑重声明, 到目前为止, 本刊尚未建立在线投稿系统, 唯一指定投稿邮箱为 REDI@chinajournal.net.cn。本刊投稿需要将稿件发送至上述邮箱, 同时还需要稿件纸质版和作者所在单位投稿证明。

本刊编辑部