

深圳市大气沉降灰中放射性核素 γ 能谱分析研究

冯江平, 刘焱, 丁敏霞, 时劲松, 郭健锋

深圳市环境监测中心站, 广东 深圳 518049

摘要: **目的** 通过对深圳市 2013—2014 年大气沉降灰中放射性核素进行 γ 能谱分析, 了解大气沉降灰中各种放射性核素的含量, 为日常及核应急情况下大气放射性监测提供科学依据。 **方法** 根据《辐射环境检测技术规范》, 采用干沉降的采样方法进行采样, 根据《生活饮用水标准检验方法 放射性指标》(GB/T 5750.13-2006), 利用 γ 能谱进行样品的核素分析。 **结果** 大气沉降灰中主要有天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 、 ^7Be , 并未检出人工核素。 **结论** 此次研究结果与深圳市疾控中心(1993—2005)和广东省辐射监测中心(2007—2010)的监测结果相当, 且数据随时间的变化趋势一致, 属于正常范围。

关键词: 沉降灰; 放射性; 监测

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)01-0066-03

Study on radionuclides in air fallout analyzed by gamma spectrometry in Shenzhen

FENG Jiangping, LIU Yan, DING Minxia, SHI Jinsong, GUO Jianfeng

Shenzhen Environmental Monitoring Center, Shenzhen 518049 China

Abstract: **Objective** Based on the gamma spectrometry analysis of the radionuclides in the air fallout in Shenzhen between 2013 and 2014, to learn the contents of different kinds of radionuclides in the air fallout, providing a scientific basis for the daily and nuclear emergency monitoring of the atmospheric radioactivity. **Methods** Dry deposition was selected and sampled in the method based on "The Environmental Air Quality Monitoring Specifications". Gamma spectrometry analysis was conducted on the samples collected according to "The Standard Testing Method for Drinking Water-Radioactivity Index (GB/T 5750.13-2006)". **Results** Natural radionuclides ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , and ^7Be were detected in the air fallout. No artificial radionuclides were found. **Conclusion** The results are comparable to those acquired by the CDC of Shenzhen (1993—2005) and the Guangdong Environmental Radiation Monitoring Center (2007—2010). Their data share the consistent variation tendency, and falls within the normal range.

Key words: Fallout; Radioactivity; Monitor

Corresponding author: LIU Yan, E-mail: 83687385@qq.com

2011 年日本福岛事件发生后, 为跟踪了解日本福岛事件对深圳市大气辐射环境的影响, 深入分析深圳市大气环境辐射水平及其分布情况, 深圳市环境监测中心站于 2013 年—2014 年在全市重点辖区安装沉降灰采集装置, 对沉降灰中放射性核素进行监测并加以分析研究。

根据环境空气质量监测规范(试行)^[1]的要求, 设计环境空气质量监测网, 应能客观反映环境空气污染对人类生活环境的影响, 并以本地区多年的环境空气质量状况及变化趋势、产业和能源结构特点、人口分布情况、地形和气象条件等因素为依据, 充分考虑监测数

据的代表性, 按照监测目的确定监测网的布点。

根据时劲松等^[2]的研究结果, 最终监测点确定为深圳大学、杨梅坑、坪山美术馆; 监测频次为每季度一次。

1 材料与方法

1.1 采样及制样 根据《辐射环境检测技术规范》(HJ/T 61-2001)^[3]、环境空气质量监测规范(试行)^[1]、《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750-2006)^[4]进行采样及制样工作。

本课题采用 FPS-2 辐射环境干湿沉降采样器, 具有自动采集沉降物和降水的功能。采样设备的接收面

积为 0.25 m² 的不锈钢盘,盘深 30 cm。

采样盘安放在距离地面 1.2 m 高度,周围开阔、无遮掩的平台上,盘底面保持水平,上口离基础面1.5 m。

采样点为深圳大学、杨梅坑、坪山美术馆三个,每季度一次,采样时间分别是 2014 年 1 月、4 月、7 月以及 10 月。

根据《生活饮用水标准检验方法 放射性指标》^[4] (GB/T 5750.13-2006)进行制样。

用样品勺将灰化后称过重的固体残渣刮下,用玻璃棒在钵内研细,称取 160 mg 的残渣粉末放入总 α 总 β 测量样品盘中,剩余残渣放入 γ 谱测量样品盒中。样品的尺寸大小为:直径 2.5 cm,厚度 0.01 cm。

1.2 测量与分析 本课题采用型号为 GEM50P4 的 P 型 HPGe 探测器及 DSPEC -jr2.0-POSCE 数字伽玛能谱仪进行沉降灰中放射性核素的 γ 谱分析。探测器的探测效率为 50%,在 661 keV 的能量分辨率为 1.56 keV,能量响应范围为 40 keV ~ 10 MeV。

为进行 γ 谱分析研究必须得出探测器对样品的探测效率。考虑实验室不具备沉降灰的标准样品,本文利用 MCNP(蒙特卡罗)^[5]进行无源效率刻度,以求得探测器对样品的探测效率。

测量的 γ 射线点源有¹⁵²Eu、¹³³Ba、⁶⁰Co,活度在 0.2 ~ 0.7 μCi 之间;源与探测器入射窗的轴向距离为20 cm,可以减少符合相加的影响并减少源位置的几何误差。

通过对冷指长度、半径、死层厚度不断修正后,最终确定 HPGe 冷指半径为 1.685 cm,长度为 4.91 cm,死层厚度 0.282 cm。

对于中能与低能入射光子,模拟值与实验值均比较吻合,相对偏差均小于 2%。见图 1。

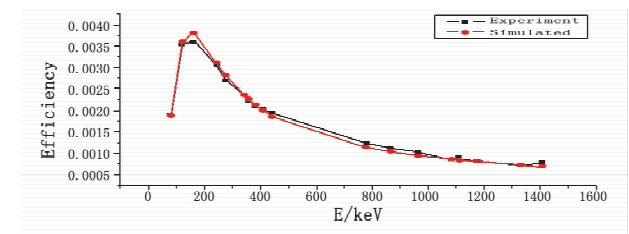


图1 源峰探测效率模拟值与实验值的比较图

通过实验室现有的点源及 MCNP 程序,成功获得

了测量用探测器的 MCNP 模型。为了得到探测器对于沉降灰样品的探测效率,将利用已完善的 HPGe 探测器模型获得针对于沉降灰样品的探测效率。

在 MCNP 模型中,根据样品的尺寸大小,模拟了一个直径 2.5 cm,厚度 0.01 cm 各向同性的面源对于探测器的探测效率。图 2 为其模拟探测效率曲线。

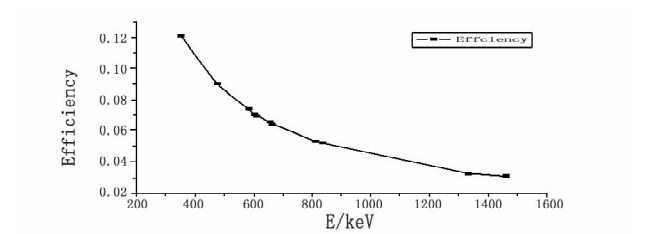


图2 直径 2.5 cm,厚度 0.01 cm 各向同性的面源对于探测器的探测效率

2 结果

为尽可能排除测量本底对测量结果的影响,需先对测量室内的空白样品本底情况进行测量分析,再进行样品的测量,继而通过扣除本底的方法提高测量精度。每次测量时间均为 36 000 s。

结果表明,大气沉降灰中主要有天然放射性核素²³⁸U、²²⁶Ra、²³²Th、⁴⁰K、⁷Be,未检出⁶⁰Co、¹³⁷Cs 等人工放射性核素,见表 1。

3 讨论

本课题在多方调研和前期准备后,针对大亚湾核电站周边和深圳大学微型反应堆确立了杨梅坑、深圳大学和坪山美术馆做为第一批监测点位,监测频次为每季度一次。采用干沉降的采样方法,对样品进行了 γ 能谱的测量分析。

对于大气沉降灰中放射性核素沉降量,坪山美术馆的数值比深圳大学和杨梅坑的都大。从环境分析,杨梅坑处于海边,常年有风;深圳大学虽处于市中心,但是地势平坦,深圳西部的海风容易进入;坪山美术馆位于深圳东北角,地处内陆,与东部沿海之间存在排牙山,直接导致坪山上空的空气不流通,导致堆积沉降,从而造成测量值比另两个点高的现象。见表 1。

表1 深圳市大气沉降灰中放射性核素沉降量(Bq/m²·a⁻¹)

核素	杨梅坑		深圳大学		坪山美术馆	
	均值	范围	均值	范围	均值	范围
²³⁸ U	0.51	0.24 ~ 0.84	1.08	0 ~ 1.8	2.49	0 ~ 5.04
⁷ Be	28.62	6.6 ~ 56.76	33.84	29.28 ~ 42.48	46.68	18.96 ~ 85.44
²³² Th	0.27	0.24 ~ 0.36	0.48	0.24 ~ 0.72	0.63	0.12 ~ 1.68
²²⁶ Ra	1.08	0.96 ~ 1.32	1.68	1.32 ~ 2.04	3.21	1.56 ~ 4.92
¹³⁷ Cs	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
⁴⁰ K	7.59	0 ~ 19.32	6.69	0 ~ 14.16	15.39	4.8 ~ 32.04

1993—2005 年期间,深圳市疾病预防控制中心联合中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所以及广东省职业卫生检测中心对深圳地区大气沉降物放射性水平做过一个长期的调查研究。通过对比可知,本次沉降灰测量中天然放射性核素(^{232}Th 、

^{226}Ra 、 ^{40}K)的沉降量与之相当,仍在其波动范围内;但是本次测量的 ^7Be 的沉积量则比 1995—2005 年高;而人工核素的沉降量低于检出限,比 1995—2005 年低。见表 2。

表 2 1993—2005 年深圳市大气沉降物中放射性核素平均沉降量($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

采样点	^{232}Th		^{226}Ra		^{40}K		^7Be		^{137}Cs	
	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围
市区	4	0.72~10.2	3.5	0.61~5.6	6.5	4.9~7.2	9.7	5.8~14.3	0.26	0.09~0.61
镇医院	3.1	0.55~7.7	2.7	1.5~4.9	5.3	4.1~5.9	9	4.7~11.7	0.65	0.23~1.8
医疗中心	2.6	0.59~6.6	2.5	0.68~4.4	6.4	4.7~9.2	25.4	2.5~55.8	0.57	0.45~1.5
澳头	5.6	0.69~15.2	3.7	0.31~9.8	8	59.~10.2	12.8	6.7~18.7	0.19	0.06~0.78
均值	3.8		3.1		6.6		14.3		0.42	
累计沉积量 ¹⁾	49.4		40.3		85.8		185.9		5.4	

注:1) 累计沉降量单位为: $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

广东省辐射监测中心站于 2007—2010 年对于大亚湾核电站附近的沉降灰测量结果如表 3 所示。通过对比可知,本次沉降灰测量中 ^7Be 的沉积量与之相当,人工核素 ^{137}Cs 的沉降量均低于检出限,1995—2005 年未测量的 ^{238}U 的沉积量也基本一致。

表 3 广东省辐射监测中心站于 2007—2010 年对于大亚湾核电站附近的沉降灰测量结果

核素	放射性活度浓度($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$)	
	2009.12.27~2010.4.20	2007—2008
^{238}U	0.16	0.075~0.22
^7Be	17.4	3.44~33.6
^{232}Th	0.09	0.08~6.82
^{134}Cs	<0.01	<0.02
^{226}Ra	0.05	0.01~0.92
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	<0.01	<0.02
^{137}Cs	<0.01	<0.02
^{58}Co	<0.01	<0.02
^{54}Mn	<0.01	<0.02
^{60}Co	<0.01	<0.02
^{40}K	0.64	0.49~1.35

通过对 1995—2005 年以及 2007—2010 年各方监测数据的比较,本次测量结果在正常范围内,且与测量的变化趋势一致,测量结果是可信的。

参考文献

- [1] 国家环境保护总局. 2007 年第 4 号环境空气质量监测规范(试行)[S]. 北京:中国环境科学出版社,2007.
- [2] 时劲松,赵海歌,冯江平,等. 深圳市大气沉降灰监测布点研究[J]. 环境与可持续发展,2014,2:27-30.
- [3] 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准[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [4] 中华人民共和国卫生部 GB/T 5750.13-2006 生活饮用水标准检验方法放射性指标[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [5] 陈端保. 低本底放射性测量中的本底来源及其屏蔽问题[J]. 核电子学与探测技术,1995,15(2):118-122.

收稿日期:2018-10-02