

防城港核电站运行初期周围环境中⁹⁰Sr 放射性水平调查

陈宝才, 彭崇, 周花珑, 何贤文, 卢颖

广西壮族自治区辐射环境监督管理站, 广西 南宁 530022

摘要: **目的** 获取防城港核电站运行初期周围环境中⁹⁰Sr 放射性水平, 评估防城港核电站周围辐射环境影响。**方法** 依据《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61—2001) 等国家相关标准, 开展核电站周边环境⁹⁰Sr 水平调查。**结果** 2016—2018 年, 防城港核电站周围环境中大气沉降物中⁹⁰Sr 活度浓度范围 0.151 ~ 3.78 mBq/m²·d, 雨水中⁹⁰Sr 活度浓度范围 0.317 ~ 6.48 mBq/L, 饮用水中⁹⁰Sr 活度浓度范围 <0.350 ~ 2.38 mBq/L, 地下水中⁹⁰Sr 活度浓度范围 0.403 ~ 3.18 mBq/L, 地表水中⁹⁰Sr 活度浓度范围 <0.353 ~ 4.59 mBq/L, 海水中⁹⁰Sr 活度浓度范围 0.526 ~ 4.16 mBq/L, 土壤中⁹⁰Sr 活度浓度范围 0.160 ~ 3.62 Bq/kg, 岸边沉积物中⁹⁰Sr 活度浓度范围 0.185 ~ 0.841 Bq/kg, 潮间带土中⁹⁰Sr 活度浓度范围 0.363 ~ 1.32 Bq/kg, 底泥中⁹⁰Sr 活度浓度范围 0.180 ~ 0.736 Bq/kg, 生物中⁹⁰Sr 活度浓度范围 <0.0160 ~ 5.54 Bq/kg·鲜。**结论** 防城港核电周围环境中⁹⁰Sr 放射性水平在正常范围内波动, 与我国其他地区调查结果相近。**关键词:** ⁹⁰Sr; 放射性水平; 防城港核电站; 生态环境

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)05-0575-04

Investigation of ⁹⁰Sr radioactivity level in the environment of Fangchenggang nuclear power plant during initial operation period

CHEN Baocai, PENG Chong, ZHOU Hualong, HE Xianwen, LU Ying

Guangxi Radiation Environment Supervising Station, Nanning 530222 China

Abstract: **Objective** This study aims to evaluate the level of ⁹⁰Sr in the environment around the Fangchenggang Nuclear Power Plant during its initial operation period. **Methods** This investigation is conducted according to the national standard of 《Technical criteria of radiation environment monitoring》(HJ/T 61—2001). **Results** The radioactivity concentration of ⁹⁰Sr in the samples was measured, which were collected during 2016—2018 from the environment of Fangchenggang Nuclear Power Plant, Guangxi, China. The results are listed as follows: for the atmospheric dust, the range is 0.151 ~ 3.78 mBq/m²·d, the rain water 0.317 ~ 6.48 mBq/L, the drinking water <0.350 ~ 2.38 mBq/L, the ground water 0.403 ~ 3.18 mBq/L, the surface water <0.353 ~ 4.59 mBq/L, the seawater 0.526 ~ 4.16 mBq/L, the dry soil 0.160 ~ 3.62 Bq/kg, the dry shore sediments 0.185 ~ 0.841 Bq/kg, the dry soil of tideland 0.363 ~ 1.32 Bq/kg, and the dry seawater sediment 0.180 ~ 0.736 Bq/kg, the fresh biology <0.0160 ~ 5.54 Bq/kg·fresh. **Conclusion** The radioactivity level of ⁹⁰Sr around the Fangchenggang nuclear power plant is within the normal range and close to those in other regions of China.

Key words: ⁹⁰Sr; Radiation Level; Fangchenggang Nuclear Power Plant; Ecological Environment.

⁹⁰Sr 是主要的裂变产物之一。由易裂变核素 ²³⁵U、²³³U 和 ²³⁹Pu 裂变产生的 ⁹⁰Sr 份额分别为 5.9%、6.8% 和 2.1%。环境中的 ⁹⁰Sr 主要来源于 20 世纪 50 年代的全球大气层核武器试验, 其后主要由反应堆运行产生^[1]。在放射性铯的同位素中以 ⁹⁰Sr 危害最大, 主要是因为其物理半衰期 (28.6a) 和生物半衰期 (49.3a) 较长, 会取代钙持久沉积在造血的骨骼系统中。放射性生态学研究发现, 相比于其它放射性核素, 放射性铯在环境介质中具有较高的迁移性^[2]。因

此, ⁹⁰Sr 放射性水平调查一直是环境放射性水平研究和环境影响评价的重点对象。

防城港核电站作为西部地区和少数民族地区首个运行的核电基地, 其一期工程建设了两台 CPR 1000 核电机组, 一、二号机组分别于 2016 年 1 月 1 日和 2016 年 10 月 1 日投入商业运行。为了解防城港核电站周围环境放射状况, 评估核电站运行后对周围环境的辐照影响, 开展 ⁹⁰Sr 放射性水平调查十分必要并且具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 采样与布点 本次调查的环境介质包括大气环境、陆地环境介质及其食物链、水环境介质及其食物链,调查范围以防城港核电厂为中心半径约 15 km(监测点位分布见图 1),调查时间为 2016—2018 年。按照《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61—2001)及《全国辐射环境监测方案》开展调查,共调查 17 个环境介质,采集 276 个样品。样品名称、采样点数和采样频率列于表 1。

表 1 样品名称、采样点数和采样频率

序号	样品名称	采样点数	采样频率
1	沉降物	5	1 次/季
2	雨水	5	1 次/季
3	饮用水	2	1 次/季
4	地下水	2	2 次/年
5	地表水	2	2 次/年
6	海水	3	2 次/年
7	土壤	10	1 次/年
8	岸边沉积物	2	1 次/年
9	潮间带土	3	1 次/年
10	海洋底泥	3	1 次/年
11	松针	2	1 次/年
12	稻米	2	1 次/年
13	红薯叶	2	1 次/年
14	香蕉	2	1 次/年
15	红树林	2	1 次/年
16	虾	2	1 次/年
17	牡蛎	2	1 次/年

大气沉降物采用沉降物采样器采集,连续每季度采集一季度沉降物。雨水样用 19.8 cm × 45.2 cm 自动雨水采样器采集,连续每季度收集一季度的雨水,记

录每月雨水总量;饮用水从水库或自来水龙头采集,每季度采集一次;地下水用水泵从指定监测井内采集,每半年采集一次;地表水及海水在指定地方采集,每半年采集一次。水样均盛装在聚乙烯瓶内,经酸化后送至实验室测量。土壤、岸边沉积物、底泥按指定地点采集表层土或淤泥,每年采样一次,分析前经过称重、烘干、研磨、过筛等处理。生物样按指定时间、地点和品种采集,取可食部分,洗净、称鲜重,按规定程序烘干、碳化、灰化,计算鲜灰比,送实验室测量。

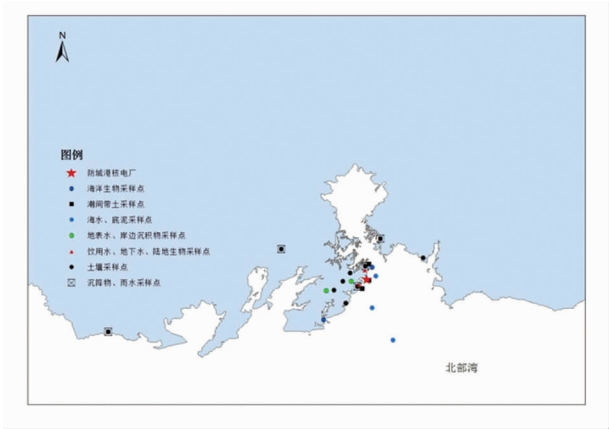


图 1 监测点位分布图

1.2 分析原理和方法 本次调查采用的分析方法及仪器见表 2。⁹⁰Sr 采用萃取色层法测定,其主要原理为:涂有二一(2-乙基己基)磷酸酯(简称 HDEHP)的聚三氟氯乙稀色层柱从 pH = 1.0 的样品溶液中定量吸附钇,使钇与铈、铈等低价离子分离。再以 1.5 M 硝酸淋洗色层柱,清除钇以外的其他被吸附的铈、铈等稀土离子,并以 6 M 硝酸解吸钇,实现⁹⁰Y 的快速测定。或者把通过色层柱后的流出液(pH = 1)放置 14d 后,再次通过色层柱,分离和测定⁹⁰Y,水样中的⁹⁰Sr 浓度根据其子体⁹⁰Y 的 β 活度来确定。

表 2 监测仪器和方法

监测类型	分析方法	测量仪器
水、生物	《水和生物样品灰中 ⁹⁰ Sr 的放射化学分析方法》(HJ 815—2016)	LB 4200 和 MPC 9604 型低本底 α、β 测量装置
土壤、岸边沉积物、底泥、潮间带土	《土壤中 ⁹⁰ Sr 的分析方法》(EJ/T 1035—2011)	
气溶胶、沉降物	参照《土壤中 ⁹⁰ Sr 的分析方法》(EJ/T 1035—2011)	

1.3 质量保证 质量保证措施严格按照质量管理体系要求,所选用的方法现行有效,并通过了国家认监委的资质认定。用于刻度放射性测量仪器的标准源、标准溶液和标准物质,均由中国计量科学研究院等权威计量部门提供和检定。低本底 α/β 计数器按照《辐射环境监测技术规范》的要求,进行泊松分布检验和长期可靠性检验,并绘制质控图,为数据结果的准确

可靠提供保证。定期进行空白样测定;随机抽取 10% ~ 20% 样品作平行样测定;随机抽取 10% ~ 20% 样品进行加标回收率测定,不定期添加“盲样”作对照分析,控制分析结果的准确度。参加生态环境部组织开展的“全国辐射环境监测技能竞赛”,以及与其他实验室开展比对活动。对监测过程实行全过程质量管理,保证结果的准确可靠。

2 结果

2.1 样品测量结果统计 调查数据按照品种分组,分别计算算术平均值和单次测量标准差,表示该介质⁹⁰Sr 活度浓度和其离散程度。低于探测限的数据,取探测限的二分之一值参与统计,计算平均值和标准差。各环境介质中⁹⁰Sr 活度浓度调查结果列于表 3。

2.2 沉降物与雨水中⁹⁰Sr 活度浓度 监测结果显示,2016—2018 年 5 个监测点的大气沉降物中⁹⁰Sr 活度浓度范围为 0.151 ~ 3.78 mBq/m²·d,雨水中⁹⁰Sr 活度浓度范围为 0.317 ~ 6.48 mBq/L;监测结果与设在南宁的广西标准站对照点(2016—2018 年范围:沉降物 0.88 ~ 2.03 mBq/m²·d,雨水 0.193 ~ 3.43)mBq/L 处于同一水平。

2.3 水体中⁹⁰Sr 活度浓度 从表 4 可以看出,饮用水、地下水、地表水、海水中⁹⁰Sr 活度浓度基本处于同一水平,活度浓度在 <0.350 ~ 4.59 mBq/L 之间。其中,地表水和海水中⁹⁰Sr 活度浓度与运行前本底调查结果^[3]及对照点在同一活度浓度范围内,饮用水和地下水⁹⁰Sr 活度浓度与对照点相比无明显差异,海水中

⁹⁰Sr 活度浓度低于《海水水质标准》(GB 3097—1997)规定的限值(4 Bq/L)。

表 3 防城港核电厂周围环境介质中⁹⁰Sr 活度浓度
(单位:大气沉降物,mBq/m²·d;水,mBq/L;
土壤,Bq/kg;生物,Bq/kg·鲜)

环境介质	样品数	活度浓度范围	平均值	标准差
沉降物	60	0.151 ~ 3.78	1.92	0.96
雨水	60	0.317 ~ 6.48	2.51	1.76
饮用水	24	<0.350 ~ 2.38	1.52	0.61
地下水	12	0.403 ~ 3.18	1.75	0.82
地表水	12	<0.353 ~ 4.59	1.50	1.30
海水	12	0.526 ~ 4.16	1.90	1.12
土壤	30	0.160 ~ 3.62	0.677	0.662
岸边沉积物	6	0.185 ~ 0.841	0.435	0.241
潮间带土	9	0.363 ~ 1.32	0.671	0.318
海洋底泥	9	0.180 ~ 0.736	0.470	0.224
松针	6	1.30 ~ 5.54	2.78	1.88
稻米	6	0.0145 ~ 0.038	0.0223	0.0123
红薯叶	6	<0.0160 ~ 0.0625	0.0725	0.0536
香蕉	6	<0.0215 ~ 0.0081	0.0319	0.0282
红树林	6	0.158 ~ 0.696	0.296	0.204
虾	6	<0.028 ~ 0.155	0.0862	0.0497
牡蛎	6	0.0403 ~ 0.12	0.0660	0.0411

表 4 2016—2018 年防城港核电厂周围环境水体中⁹⁰Sr 活度浓度 单位:mBq/L

水体	2016—2018 年测值范围	运行前本底调查范围	对照点范围
饮用水	<0.350 ~ 2.38	/	0.74 ~ 2.72(南宁大王滩)
地下水	0.403 ~ 3.18	/	<0.297 ~ 2.14(武鸣灵水)
地表水	<0.353 ~ 4.59	1.04 ~ 10.9	1.04 ~ 3.71(南宁大王滩水库)
海水	0.526 ~ 4.16	LD ~ 4.42	0.79 ~ 2.45(北海西场)

注:LD 为探测下限。

2.4 土壤、岸边沉积物、潮间带土、底泥中⁹⁰Sr 活度浓度 土壤、岸边沉积物、潮间带土、底泥中⁹⁰Sr 活度浓度变化不大,⁹⁰Sr 活度浓度均值分别为 0.677Bq/kg、0.435Bq/kg、0.671Bq/kg、0.470Bq/kg。土壤中⁹⁰Sr 活度浓度为 0.160 ~ 3.62 Bq/kg,处于运行前本底调查结果范围(LD ~ 8.15Bq/kg)内^[3];底泥中⁹⁰Sr 活度浓度为 0.180 ~ 0.736 Bq/kg,处于运行前本底调查结果范围(LD ~ 3.31Bq/kg)内^[3]。

2.5 陆生植物中⁹⁰Sr 活度浓度 表 3 所列的调查显示,不同品种的陆生植物中⁹⁰Sr 活度浓度有一定差别,其中松针最高,均值为 2.78Bq/kg·鲜。陆生植物松针、大米、青菜中⁹⁰Sr 活度浓度与 1995—2006 年我国部分地区植物样品中放射性水平(部分省、自治区、直辖市采集的松针样品中⁹⁰Sr 平均比活度为 4.29 Bq/kg·鲜,大米为 0.17 Bq/kg·鲜,青菜为 0.18 Bq/kg·鲜)相比^[4],属正常放

射性水平范围。

2.6 海洋生物中⁹⁰Sr 活度浓度 海洋生物中⁹⁰Sr 活度浓度相对陆生生物较低,植物中⁹⁰Sr 活度浓度要比动物中相对较高,红树林中⁹⁰Sr 活度浓度均值为 0.296 Bq/kg·鲜,高于虾(0.0862 Bq/kg·鲜)和牡蛎(0.0660 Bq/kg·鲜)中⁹⁰Sr 活度浓度。红树林和牡蛎中⁹⁰Sr 活度浓度与运行前本底调查结果处于同一水平(0.158 ~ 0.209 Bq/kg·鲜、0.032 ~ 0.171 Bq/kg·鲜)^[3]。

2.7 与其他地区比较 表 5 列出了防城港核电厂周围环境介质中⁹⁰Sr 活度浓度与其他地区比较的情况,数据表明,防城港核电厂周围环境中沉降物、饮用水、地表水、海水、土壤、海洋底泥和潮间带土、稻米、红薯叶、松针、虾和牡蛎中⁹⁰Sr 活度浓度与我国其他地区调查结果相近。

表 5 与国内其它地区环境样品中⁹⁰Sr 活度浓度比较

(单位:水,mBq/L;土壤、沉积物、底泥,Bq/kg;生物,Bq/kg·鲜)

环境介质	活度浓度范围	对照地区	参考文献
沉降物	0.151 ~ 3.78	0.2 ~ 19(2011—2015 年核电基地周围)	[5]
饮用水	<0.350 ~ 2.38	1.21 ~ 9.12(山东海阳)	[6]
地表水	<0.353 ~ 4.59	1.0 ~ 5.1(浙江)	[7]
		0.51 ~ 5.82(山东)	[8]
		0.5 ~ 11(2011—2015 年全国水平)	[5]
海水	0.526 ~ 4.16	<0.44 ~ 3.23(福建)	[9]
		0.25 ~ 1.76(海南昌江)	[10]
		0.51 ~ 2.22(广东阳江)	[11]
		0.28 ~ 3.2(2011—2015 年全国水平)	[5]
土壤	0.160 ~ 3.62	<0.11 ~ 0.98(福建宁德)	[12]
		0.223 ~ 1.63(山东海阳)	[13]
		0.020 ~ 2.9(2011—2015 年全国水平)	[5]
底泥、潮间带土	0.180 ~ 1.32	0.017 ~ 2.5(2011—2015 年全国水平)	[5]
		<0.078 ~ 1.46(海南昌江)	[10]
稻米	0.0145 ~ 0.038	0.032 ~ 0.074(宁夏、吉林、浙江)	[14]
红薯叶	<0.016 ~ 0.0625	0.111 ~ 0.173(宁夏、吉林、浙江)	[14]
松针	1.30 ~ 5.54	0.110 ~ 1.12(广东阳江)	[15]
虾	<0.028 ~ 0.155	0.11 ~ 0.71(山东海阳核电周围海域)	[16]
牡蛎	0.0403 ~ 0.12	0.04 ~ 0.33(蛤蜊,山东海阳核电周围海域)	[16]

3 讨论

通过对防城港核电厂周围环境中⁹⁰Sr 放射性水平的调查与分析,得出沉降物与雨水中⁹⁰Sr 含量与对照点处于同一水平;水体中⁹⁰Sr 含量与对照点处于同一活度浓度范围,其中地表水和海水中⁹⁰Sr 活度浓度与运行前本底调查结果处于同一水平;土壤、岸边沉积物、潮间带土、底泥中⁹⁰Sr 活度浓度与运行前本底调查结果处于同一水平;陆生植物松针、大米、青菜中⁹⁰Sr 活度浓度与 1995—2006 年我国部分地区植物样品中在同一水平,属正常本底范围;海洋生物中红树林和牡蛎中⁹⁰Sr 活度浓度与运行前本底调查结果处于同一水平。防城港核电厂周围环境中沉降物、饮用水、地表水、海水、土壤、海洋底泥和潮间带土、稻米、红薯叶、松针、虾和牡蛎中⁹⁰Sr 活度浓度与我国其他地区调查结果相近。

根据调查结果分析,防城港核电厂运行以来,周围环境中⁹⁰Sr 放射性水平在正常范围内波动,并未发现异常。防城港核电厂运行平稳,暂未发现对周边居民和环境产生放射性危害。

参考文献

- [1] 潘自强,刘华,骆志平,等.核与辐射安全[M].北京:中国环境出版社,2015:391-392.
- [2] International Atomic Energy Agency. The International Chernobyl Project Technical Report: Assessment of radiological consequences and evaluation of protective measures[R]. Vienna:IAEA, 1991.
- [3] 中国辐射防护研究院.广西防城港核电厂首次装料前环境辐射本底调查报告[R].未发表.
- [4] 曹钟港,陈赵飞,吴虞华,等.我国部分地区植物样品中放射性核素水平监测[J].辐射防护通讯,2010,30(3):17-24.
- [5] 王蕾,王晓芬,赵顺平.核电基地周围辐射环境监督性监测概况[J].辐射防护,2019,39(2):118-123.
- [6] 杨昕,陈英民,许家昂.海阳核电站周围居民饮用水中锶-90 放射性水平调查与卫生学评价[J].中国辐射卫生,2014,23(3):193-197.
- [7] 周彦,黄雯娜,王维克.2011—2015 年浙江省主要河流放射性水平监测结果与分析[J].中国辐射卫生,2017,26(2):196-199.
- [8] 邵霞,王晓,吕蕴海.2016—2017 年山东省部分地表水中锶-90 放射性水平[J].环境与发展,2019,31(4):133-136.
- [9] 林芸智.福建省近岸海域与核电厂周边海水中⁹⁰Sr 放射性水平分析[J].化学工程与装备,2017,46(8):288-289.
- [10] 石书敬,王启,陈貽师.海南核电厂周边海域锶-90 放射性水平分析[J].资源节约与环保,2018,38(12):76-77.
- [11] 朱深河,陈日荣,张家俊.阳江核电站外围环境海水中锶-90 放射性水平调查[J].资源节约与环保,2018,38(8):84-85.
- [12] 程湾湾.宁德核电周围环境中土壤锶-90 放射性水平[J].福建分析测试,2019,28(4):49-51.
- [13] 王晓,邵霞,吕蕴海.海阳市环境介质中⁹⁰Sr 放射性水平研究[J].中国辐射卫生,2019,28(2):168-170.
- [14] 张景源,诸洪达.中国食品放射性及所致内剂量[M].北京:中国环境科学出版社,1989.
- [15] 覃浩,牟子瞳,陈日荣.阳江核电站周围环境生物中锶-90 放射性水平[J].资源节约与环保,2018,38(8):81-82.
- [16] 张晓露.山东海阳核电厂环境辐射本底生物锶-90 和铯-137 的调查及福岛核事故对其的影响[D].苏州:苏州大学,2015.

收稿日期:2019-05-07