

核电站周边和敏感地区食品放射性调查方案概述

范瑶华 赵力拓 张飞 张庆苏 旭 徐翠华

中图分类号: X591 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2010)04-0013-03

【摘要】 目的 建立核电站周边和敏感地区食品中放射性核素调查方案。方法 根据既往对国内外核试验监测和对苏联切尔诺贝利核电站事故监测的实践经验,参照国家相关标准,建立了核事故应急监测调查方案。结果 提出了核电站和敏感地区放射性调查的项目、采样点的布局、样品的采集与处理和放射性核素 γ 能谱定量分析方法,简述了本次调查的质量保证方法。结论 本文提出的核电站周边和敏感地区食品放射性调查方案,可以作为核事故应急放射性核素监测的技术导则使用。

【关键词】 核电站周边;敏感地区;食品放射性;调查方案

1 调查项目

- 1.1 核电站周边调查的主要食品 稻谷(大米)、白菜(北方采集白菜,南方可采集油菜或宽叶菜)、海藻或海鱼和牛奶。
- 1.2 敏感地区调查的主要食品 稻谷或小麦、白菜(北方采集白菜,南方可采集油菜或宽叶菜)。

2 采样点布局

- 2.1 核电站周边 ①距核岛 10km 环内不同的方向选 4 个调查点,每个调查点设 3 个采样点,每个采样点每个监测项目各采集一个样品,即每个样品有 $4 \times 3 = 12$ 个采样点。②距核岛

- 30km 内 2 个方向,每个方向 1 个调查点,每个调查点设 3 个采样点,每个采样点每个监测项目各采集一个样品,即每个样品有 $2 \times 3 = 6$ 个采样点。
- 2.2 敏感地区 1 个地区设 4 个调查点,每个调查点设 3 个采样点,每个采样点每个监测项目各采集一个样品,即每个样品有 $4 \times 3 = 12$ 个采样点。

3 样品采集与制备

按照上述 2 采集当地生产的有代表性的样品,可参考《辐射环境监测技术规范》HJ/T61—2001。

- 3.1 采样时间 水稻(或小麦)、白菜在其成熟季节,海藻或海鱼在捕捞期,牛奶每年采样 1 次。
- 3.2 采样量 每种样品采集 14kg 以上(灰化后可达 100g)的当年收获加工的大米或面粉、海藻和牛奶。
- 3.3 样品采集容器 要求清洁、干燥。样品在采集时做好采样记录,注明采样编号、采样日期、采样地点名称、GPS 卫星定

基金项目:卫生行业科研专项(200802018)

作者单位:中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所,100088 北京,

作者简介:范瑶华(1963~)女,研究员,从事辐射防护研究、放射卫生管理工作

通讯作者:徐翠华,女,研究员 Email: cuihuaxu@hotmail.com

2.3.2.3 GIS 与流行病学空间分布的结合 GIS 应用于疾病监测,可以实时、动态地显示发病变化情况,并可展示疾病的时空分布,从而达到信息的可视化。例如系统可利用流行病学发病率空间分布特征,在 GIS 上用不同的颜色或密度点的方式展示不同地区的人口数据、某种疾病的发病率差异、核能认知水平情况或者放射性本底大小。

3 应用前景

核能是安全清洁的能源,但核电站不是绝对的安全,它存在发生事故的可能,这可能会导致社会经济混乱,危害国家安全,并可能导致附近居民癌症危险增加。有研究表明^[3-5]某些正常运行的核设施包括核电站周围可能存在的局部性儿童白血病发病率增加,这更加凸现了建立核电站周围居民健康监测的重要意义。建立核设施周围居民疾病登记将为当地政府和业主提供宝贵的基线资料,对事故后果评价及社会稳定具有重要意义。

核设施及敏感地区健康基线 GIS 包含 3 个子数据库,每个子数据库的数据均以实际调查结果为准则开发,实用性广。该系统可提供准确、可靠的信息,辅助领导进行决策分析,并配有 GIS 定位系统,可以根据不同地区某种因素的空间分布特点通过 GIS 展示并关联相关信息,直观而方便,具有信息交流与资源共享的作用。该系统能够促进和提高应急人员应对核和辐射突发事件的能力以及为事故后政府的决策和后果评价提供基线数据。

4 今后工作设想

- 4.1 数据的及时更新 应建立一种长效的机制,对核设施及

敏感地区健康基线 GIS 基线数据库进行及时更新,为医学应急决策提供准确的数据。

4.2 数据交换 因目前国内建立了很多与核设施有关的数据库系统,应对核设施及其周围的相关数据信息建立统一的数据标准格式,实现不同系统间的数据交换,充分利用资源。

4.3 与后果评价系统的结合 在后果评价系统中,对受照人员、公众或者救援人员进行评价过程中,应充分利用基线数据,与预测的数据进行比较,更准确的进行健康效应的后果评价,为政府的相关医学应急决策提供依据。

(志谢:核工业计算机研究所王先龙主任、张海燕工程师在模块设计上给予了很大的帮助,在此一并致谢)

参考文献:

- [1] Troy. MapXtreme Java 版开发人员指南(内部培训材料), [Z]. New York: MapInfo Corporation, 2003: 2-11.
- [2] 罗云启,曾琨,罗毅. 数字化地理信息系统建设与 MapInfo 高级应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2003: 3-4.
- [3] Draper GJ, Stiller CA, Cartwright RA, et al. Cancer in Cumbria and in the vicinity of the Sellafield nuclear installation, 1963-1990 [J]. BMJ, 1993, 306(6870): 89-94.
- [4] Hoffmann W, Kuni H, Ziggel H. Leukaemia and lymphoma mortality in the vicinity of nuclear power stations in Japan 1973-1987 [J]. J Radiol Prot, 1996, 16: 213-215.
- [5] Silva - Mato A, Viana D, Fernandez - SanMartin ML, et al. Cancer risk around the nuclear power plants of Trillo and Zorita (Spain) [J]. Occup Environ Med, 2003, 60(7): 521-527. (收稿日期:2011-01-20)

位(经纬度)、采样点周围环境描述、记录人等详细信息。

3.4 样品处理 采集后的大米、白菜、海产品和奶产品应参照 GB/T16145-1995《生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法》中的相关方法尽快进行灰化。

4 样品中放射性核素分析方法^[1-3]

4.1 标准刻度源 用户使用的仪器效率刻度源必须是生物样品标准刻度源 标准源应具备检验证书原件或副本,证书上给出放射性核素活度、不确定度、定值日期、标准源纯度、质量或体积、化学成分、核素半衰期、γ射线分支比和标准源的定值方法,放射性核素总不确定度应小于 5% (3σ)。

4.2 能量和效率刻度 能量刻度是用标准刻度源或检验源刻度谱仪系统的能量和道址间的对应关系。用于能量刻度的标准源由多种核素混合的发射多种能量γ射的混合源,γ能谱刻度常用放射性核素参见 GB/T16140-1995。

准确的效率刻度是γ能谱定量测量的基础。效率刻度原则上要选择与待测样品的几何形状和大小完全相同、基质一样或类似、质量密度相等、核素含量和γ射线能量都准确知道,以及源容器材料和样品盒材料相同的刻度源。

本次调查γ能谱效率刻度采用的是全能峰效率曲线法,此方法是根据测量刻度源中γ能谱各γ射线全能峰净面积计数率,按下面公式计算γ射线能量为E的全能峰探测效率ε(E):

$$\varepsilon(E) = \frac{n_s - n_b}{PA_0 e^{-\lambda \Delta t}} \quad (1)$$

式中: n_s ——t 时刻测量的标准源谱中相应γ射线能量为 E 的特征峰净峰面积计数率(扣除康普顿散射干扰), s^{-1} ; n_b ——基体本底谱中与标准源谱中能量 E 特征峰峰面积区域净计数率(扣除康普顿散射干扰), s^{-1} ; A_0 —— t_0 时刻刻度源相应核素的活度(Bq),通常为标准源定值的参考时间; P——相应γ射线的发射几率(分支比); λ ——核素的衰变常数(s^{-1}),可根据 $\lambda = \ln 2/T_{1/2}$ 求得; Δt ——刻度源衰变时间,即源制备时刻或定值时刻(t_0)至测量时刻(t)的时间间隔(s)。

在一组全能峰效率ε(E)和相应能量E实验点确定后,效率曲线利用下式作加权最小二乘法拟合,求出待定参数 b_0, b_1, \dots, b_{n-1} 后,对任意γ射线能量的全能峰效率可由下式求得:

$$\log \varepsilon(E) = \sum_{i=1}^{n-1} b_i (\log E)^i \quad (2)$$

4.3 核素活度的计算

4.3.1 样品的测量 将样品置于探测器上,确保样品、效率刻度源与探测器的相对位置和工作状态相同;样品谱的获取时间应在 24 h (86 400s) 以上,测量过程中应注意和控制谱仪的工作状态变化对样品谱的可能影响;在测量样品前、后各测本底谱一次,然后求平均,用于谱数据分析时扣除本底谱的贡献。

4.3.2 核素活度的计算 用下式计算样品中放射性核素的活度。

$$A_j = \frac{(n_{ji} - n_{jib}) F_1 F_3}{\varepsilon P_{ji} F_2 e^{-\lambda \Delta t}} \quad (3)$$

式中: F_3 ——γ符合相加修正系数,对发射单能γ射线的核素,或估计被分析γ射线的相应修正系数不大时,可取值为 1,否则应设法估算; ε ——核素 j 的第 i 个特征峰对应γ射线(能量)的全能峰效率; P_{ji} ——核素 j 的第 i 个特征峰对应γ射线的发射几率;其他符号和式(1)中符号意义相同。

4.3.3 不确定度 低水平放射性测量中,往往计数统计误差是分析结果随机总不确定度的主要来源,但是实际上影响放射性核素γ能谱分析结果的因素很多,包括标准源的不确定度、几何位置的不确定度等等。一般,总的随机不确定度 σ_{Σ} 可按下式计算:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} = \sigma_5^2 \quad (4)$$

式中: σ_1 ——计数统计不确定度; σ_2 ——标准刻度源的不确定度; σ_3 ——符合相加校正的不确定度; σ_4 ——几何位置的不确定度; σ_5 ——分析方法及其他原因导致的误差。

4.3.4 探测下限 置信度 95% 时的谱仪系统和测量过程对某核素的活度探测下限为 L_D :

$$L_D = \frac{4.66}{\varepsilon P} \sqrt{n_b/T_b} \quad (5)$$

式中: ε ——特征γ射线全能峰探测效率,相应于原标准中的γ射线全吸收峰探测效率 $\varepsilon_{p,\gamma}(E_\gamma)$; P——该核素所选特征γ射线的发射几率,相应于原标准中的; n_b ——该核素所选特征γ射线的全吸收峰本底计数率(s^{-1}); T_b ——本底测量时间(s);

5 结果上报和质量保证

5.1 核电站周边 核电站周边需要上报的特征放射性核素见表 1。

表 1 核电站周边特征放射性核素参数

核素	能量 (keV)	分支比 (%)	半衰期	核素	能量 (keV)	分支比 (%)	半衰期
¹³¹ I	364.48	81.1	8.04d	¹⁴⁰ La	1596.17	95.4	40.27h
¹²⁵ Sb	427.89	29.44	2.73a	¹³⁵ I	1131.51	22.5	6.61h
¹⁴⁰ La	487.03	45.94	40.27h	¹³⁴ Cs	798.76	85.4	2.062a
	1596.17	95.4	40.27h	⁷² Ga	833.95	95.6	14.1h
¹⁰³ Rh	497.08	86	39.35d	⁹⁷ Zr	743.36	92.9	16.9h
¹³³ I	529.87	86.2	20.8h	⁹⁵ Nb	765.78	99.79	35d
¹⁴⁰ Ba	537.26	24.39	12.746d	¹³⁴ I	621.75	10.9	52.6m
	724.18	44.2	64d	¹³⁷ Cs	661.66	85	30.17a
⁹⁵ Zr	756.72	54.4	64d				

5.2 敏感地区 周边敏感地区需要上报的放射性核素见表 2。

表 2 周边敏感地区特征放射性核素参数

核素	能量 (keV)	分支比 (%)	半衰期	核素	能量 (keV)	分支比 (%)	半衰期
¹⁴⁰ La	1596.17	95.4	40.27h	¹⁰³ Ru	497.08	86.0	39.35d
¹⁴⁰ Ba	487.029	45.94	12.75d	¹³¹ I	364.48	81.1	8.04d
	537.26	24.39		¹³² Te	228.16	88.5	78.2h
⁹⁹ Mo	140.51	89.9	66.02h	²² Na	1274.55	99.94	2.602a
¹¹⁵ Cd	336.30	46.02	53.5h	¹³² I	772.60	76.2	2.3h
^{115m} Cd	933.84	1.33	44.6d		667.69	98.7	
	¹¹¹ Ag	342.12		6.68	7.45d	¹⁹² Ir	316.51
^{110m} Ag	657.76	94.4	249.9d	¹³⁶ Cs	1048.7	79.8	13.16d
	884.68	72.8			818.5	99.7	
⁹⁷ Zr	743.36	92.9	16.9h	⁹⁵ Nb	765.78	99.79	35d
⁹⁵ Zr	756.72	54.4	64.0d	²⁴ Na	1368.64	99.993	15.03h
	724.18	44.2		¹³³ I	529.87	86.2	20.8h
¹³⁷ Cs	661.66	85.0	30.17a	⁸⁶ Rb	1076.60	8.78	18.82d
¹²⁵ Sb	427.89	29.44	2.73a				

5.3 质量保证 每个地区每类样品抽取 15% ~ 20% 经过灰化处理的样品,经测量分析后,邮寄到中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所进行质量保证的比对测量。

参考文献:

[1] GB11713-89 用半导体γ谱仪分析低比活度γ放射性样品的标准方法[S]. 1989.
 [2] GB/T16140-1995 水中放射性核素的γ能谱分析方法[S]. 1995.
 [3] GB/T16145-1995 生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法[S]. 1995.
 (收稿日期:2011-01-20)