



核电站的辐射本底调查及其环境监测

刘 书 田 宋 绍 仪

(中国原子能科学研究院)

由于核电站具有能源潜力大,环境污染小,安全运行记录高,燃料费用(包括运输)低等突出的优点,使得核动力工业发展异常迅速。截止到1984年底,在34个国家和地区中已有319座(堆)核电站投入了商业运行,209座(堆)正在建造,总电功率为404997 MW^[1]。我国已确定了发展核能的计划,一些核电站的前期工作正在进行。本文在调研总结国外核电站监测经验的基础上,结合我国具体国情,阐述了核电站本底调查,常规环境监测与事故状况下环境监测的目的,制定监测方案的原则和质量保证计划的内容,探讨了核电站本底调查的合理持续时间,并具体建议了我国核电站正常工况下的环境监测方案及本底调查。

一、核电站运行前的辐射本底调查

国际放射防护委员会第七号出版物对核设施运行前的调查目的归纳为:

(1) 获取有关关键核素、关键途径和关键居民组的资料,为制定常规环境监测计划和对监测结果的解释提供定量的依据;

(2) 提供运行前环境中放射性和辐射水平的数据,这些数据有助于解释运行时监测的结果;

(3) 检验常规环境监测的方法和步骤。

从这一目的出发,核电站运行前的本底调查内容大体包括两方面:基础资料的调查

和环境中放射性与辐射水平的调查。目前,各国在核电站选址规程中均对本底调查的原则和要求有明确的规定。例如,美国核管理委员会对初选厂址阶段,只要求进行初步的踏勘性的调查^[2]。在“核电站建造许可证阶段”则要求详细描述运行前的本底监测方案,包括采样种类和地点、分析项目、频度、分析灵敏度、大致开始日期和持续时间等,并要求在“运行执照阶段的环境影响报告”中呈报运行前6—12个月的环境辐射监测资料。

运行前本底调查方案的制定与厂址地区的自然条件,社会人文因素以及电站的堆型、功率、排放条件等紧密相关。从监测项目来看,大体与核电站运行时常规环境监测计划的项目相当或略有扩展,其中以环境 γ 辐射、空气中微粒和水中放射性核素分析测量最重要。表1中给出了国外两个核电站环境辐射本底调查的实例^[3,4]。

对核电站运行前本底调查的持续时间,各国各电站均不一致。美国核管理委员会建议为2年。日本要求核电站在运行前至少呈报1年的本底调查资料。一些核电站采用1—3年,有的采用5—6年的监测持续时间^[5-8]。本底调查持续时间差异的原因有:调查目的不同,厂址具体条件的差异以及历史原因等,其中最主要的在于“调查目的”。在单纯了解本底辐射水平时,核电站本底调查持续时间至少应在1年以上。我们认为规定本底调查

表 1 核电站运行前环境辐射本底调查

电站名称	样品种类	分析项目	取样分析频度	开始商业运行年份
SALEM	水	总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{40}K γ 核素	每月一次	1976
	空气微粒	总 β 、 ^{131}I 、 γ 核素	每周一次	
	土壤	^{90}Sr 、 γ 核素	每年三次	
	水生生物	环境 γ 辐射	每月或每季一次	
	牛奶	^3H 、 ^{90}Sr 、 γ 核素 ^{131}I	每年 2—3 次	
	饲料	^{90}Sr 、 γ 核素	每月二次	
North Anna	牛甲状腺	γ 核素 ^{131}I	每月一次	1977
	大气	γ 辐射	每季一次	
	土壤	总 α 、总 β γ 核素	两周一次	
	水	总 β 、 ^3H	每月一次	
	蔬菜、谷物、饲料	γ 核素	每年一次	
	沉降物	总放射性活度	每月一次	
	鱼及底质	总放射性活度、 γ 核素		

的目的应该慎重。对运行前的本底调查统一提出摸清辐射水平的季节变化规律可能要求过高,是否合理值得商榷。这样做势必投入过多的人力、财力,进行数量庞大的低水平样品的分析测定。

另外,在目前的科技水平下,要把来自核电站的辐射和放射性核素与天然环境的(包括核试验沉降的)辐射和放射性核素的涨落区别开尚需作许多工作,目前仍是尚待解决的课题。因而,即使在运行前的本底调查中用 3—5 年时间查清了某一项目的变化规律,但在核电站运行时仍无法有效地鉴别同一核素的不同来源。这说明,采用较长时间(如 3 年以上)作本底调查是不可取的。它既不符合辐射监测最优化的原则,也不适应我国只能将有限的财力用于防护的实际状况。

从放射性核素在环境中的转移和归宿的现有知识出发,表 2 估计了不同监测内容对持续时间的大致要求。

从表 2 可见,探明环境中原有放射性水平,在 1 年持续时间内就可以完成,而要了解变化规律则需要 2—8 年时间。考虑到最优

表 2 不同监测内容对监测项目持续时间的要求

监 测 项 目	内 容*	最少持续时间(年)
沉降物总 β	A B	1 2—3
环境 γ 辐射	A B	1 2
地表水 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs	A B	1 3—4
γ 核素分析	A	0.5—1
地下水 ^3H	B	3—4
水生生物 γ 核素分析	A B	1 5—8
农作物 γ 核素分析	A B	1 3—4
土壤 ^{90}Sr	A B	1 4—5

* A 探明原有放射性水平; B 初步了解变化规律。

化的原则,建议对监测项目的持续时间采用以下原则确定: 2—3 年内可初步摸清变化规律的一些监测项目应积累 2 年的数据;而对大于 3 年才能了解变化规律的一些监测项

目,持续时间控制在一年,如表 3 所示。

表 3 运行前核电站周围环境本底调查的建议

项 目	频度	持续时间 (y)	备注
环境 γ 辐射	每月一次	2	可用阔叶植物代替
空气微粒			
总 β	一月二次	2	
γ 谱分析	每季一次	2	
环境水样			
核素分析	每季一次	1	
γ 谱分析	半年一次	1	
蔬菜、饲料、谷物			
γ 谱分析	每年一次	1	
牛奶中 ^{131}I 分析	每季一次	1	
水生生物 γ 谱分析	每季一次	1	

二、核电站运行时常规环境监测

从目前国外发表的资料来看,对流出物的监测越来越重视,有把流出物的监测与电站外环境监测并列发展的趋向。核电站环境监测的对象包括放射性物质和非放射性化学物质,重点是放射性物质和辐射。

1. 流出物监测

流出物监测是指对核电站废气和废水排放口的监测,也就是对核电站的源项监测。从新近发表的国外资料来分析,有两个新的动向值得注意:一是监测的核素有扩展,量程需扩大。另一个是超铀元素的监测受到重视。尽管从核电站排出的超铀元素的量不大(10^{-2} — 10^{-5}Ci/ya),但国外的许多电站仍将超铀元素列入监测项目^[9],反映了对生物圈中超铀元素积累的高度关切。

目前,国外对核电站的烟囱流出物普遍采用连续监测,重点是惰性气体、 ^{131}I 和微粒物。在连续排放液态流出物的总排出口也应进行连续监测。

2. 环境介质中放射性核素及辐射水平测量

环境监测通常是按照环境监测计划进行的。这个计划包括监测项目、范围和取样、分析频度,其制定原则要充分考虑下述因素:

(1) 电站的堆型、功率、预期排出核素的种类、浓度、物化特性及排放方式等;

(2) 排出核素在环境中的转移和行 为,影响核素在环境中转移的自然因素和社会人文因素;

(3) 居民分布、生活习惯和食谱等。

合理地确定采样点(监测点),监测范围和采样频度是能否获得代表性样品的关键之一。从我国核企业环境监测的实际经验出发,借鉴国外核设施环境监测的计划,我们认为核电站环境监测的半径控制在 30km 范围内是合适的。在具体布点上,对大气应在常年主导风向区域多设一些采样监测点。对水的途径则应在排出口及下游设置一定的采样监测点。布点要注意“近密远疏”,合理安排。同时要在上风向、上游非污染区设置“本底”采样测量点。一般来讲,对气溶胶、沉降物、环境 γ 辐射可采用较高的采样、测量频度(1 周一 1 月),对水可采用较低的采样、测量频度(1 月—1 季),对土壤、沉积物、水生物、农作物可采用低的采样、测量频度(1 季—1 年)。

参照国外经验制定我国核电站环境监测计划时,需根据我国具体情况注意以下差异:

(1) 我国建造第一批核电站的东南沿海区域人口密度相对较高。农村人口所占比例较国外高;

(2) 我国居民饮食习惯与国外差异较大,动物蛋白质及奶制品消耗量较少,蔬菜与粮食的比重较大;

(3) 我国广大村镇有相当一部分居民直接饮用未经任何处理的露天水。因此,对水中放射性核素的监测周期可适当缩短,而对牛奶中 ^{131}I 的监测可适当放宽。表 4 是建议的环境监测方案。

3. 事故状况下的环境监测

首要目的是,迅速取得有关直接危害公众和地域的资料,以便确定必要的应急措施。最紧迫的问题是对吸入和外照射引起的危害

表 4 对我国核电站常规环境监测方案的建议

监测对象	取样点位置和数量	分析项目	频 度	备 注
空气: 微核物	厂区外空气最大污染区 1 个取样点, 8—30 km 范围内主导下风向居民区 1—2 个取样点, 主导上风向不受排放影响的区域 1 个取样点.	总 β 、 γ 谱分析	连续或每天累积, 每周累积小体积样, 偶尔抽取大体积样	
^{131}I	同上	^{131}I	同上	
外照射	同上	积分照射量	每季一次	用 TLD 剂量计测
水: 地表水	排放口下游 1—2 个点, 上游 1 个点	总 β 、 γ 谱分析	每月一次	
饮用水	下游第一个饮水源	总 β 、 γ 谱分析	每半年一次	必要时分析 ^{90}Sr
地下水	下游 8km 范围内 1 个点	总 β 、 γ 谱分析	每半年一次	必要时分析 ^3H
牛奶或阔叶植物	主导下风向供奶区 1 个点	^{131}I 、放射性铯	每季一次	
谷物、蔬菜	受排放影响最大的地区 1 个点	总 β 、 γ 谱分析	每年一次	收获期取样
水生生物(指示生物)	排放口下游 1 个点	特定核素分析	每年一次	
土壤	受排放影响最大的地区 1 个点	总 β 、 γ 谱分析	每年一次	必要时分析 ^{90}Sr

表 5 两起典型反应堆事故的环境监测

堆 名	事故性质	估计排放量(Ci)	监 测 内 容	事故发生时间
温茨凯尔 1 号堆	元件熔化 石墨着火	^{131}I 2×10^4 ^{132}Te 1.2×10^3 ^{137}Cs 600 ^{89}Sr 80 ^{90}Sr 9	(1) 15 辆监测车在事故发生后立即测量环境 γ 辐射, 空气中总 β ; (2) 接着测定牛奶中 ^{89}Sr 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I ; (3) 分析大量食品样(蔬菜、鸡蛋、肉、饮水)中 ^{89}Sr 、 ^{90}Sr .	1957 年 10 月 7 日
三哩岛 电站 II 号堆	燃料元件破损, 回路冷却水泄漏	惰性气体 2.7×10^6 ^{131}I 15 ^{137}Cs 可忽略	(1) 直升飞机立即在 90—450 米高度跟踪放射性烟云测量 γ 剂量率, 每日 2—9 次 (2) 监测车立即测地面 γ 剂量率, 在 31 个监测点用 TLD 测量 (3) 3 月 29 日在 32 km 范围内对牛、羊奶中 ^{131}I , 并对牧草、土壤、蔬菜, 食品进行放射性核素分析	1979 年 3 月 28 日

进行评价, 接着要调查水源、食品的污染状况, 以便决定取舍. 其次是评价事故状况下公众实际接受的剂量.

在制订事故监测方案时, 要求“快速”. 这时总活度和环境 γ 辐射水平的测量有其特殊的意义, 介质中放射性核素的细致分析可留待第二步进行.

在确定事故调查的取样对象、监测范围、分析频度时, 需要考虑事故的性质、大小、释放途径和当时的环境因素. 表 5 给出了两起典型的反应堆事故环境监测的实例.

从表 5 可以看出, 事故发生后要立即跟踪

烟云、监测地面 γ 辐射和大气中放射性物质浓度, 进行食品和饮水中放射性核素的分析.

4. 环境监测的质量保证

在核电站环境监测计划中一般应有质量保证的规定, 美国核管理委员会对此专门颁布了管理指导条例^[10].

环境监测质量保证中的质量主要是指监测数据的准确度和精密度. 监测结果的总不确定度 Tu 一般可用下面的函数式表示:

$$Tu = F(Cu, Au, Du, Mu \cdots \cdots)$$

式中 Cu 是与样品采集、贮存有关的不确定度; Au 是与样品预处理、分离纯化有关的不

确定度; D_u 是与样品测量有关的不确定度; M_u 是与数据处理有关的不确定度。

质量保证的目的就在于把总不确定度减少到一个可以接受的水平。以往人们的注意力主要放在 A_u 上,而忽视了其他环节上的不确定度。实际上后者尤其是采样过程中产生的不确定度有时可能大于 A_u [11],并且更难控制。

环境监测质量保证计划要由相应的组织机构进行管理,要求监测全过程完整,记录准确。结果的复审、保存,报告制度完善,人员技术培训。另外从技术角度看尚有以下内容:

(1) 采集和分析测量平行样品。这是保证监测结果精密度的主要措施。其数量一般约占常规采样分析样品总数的 10—20%。

(2) 测量仪器和测量方法的检验。对监测方法和仪器在投入常规使用前,必须进行检验和刻度。刻度应该采用国家计量标准。或由其传递的次级标准。

(3) 实验室内常规质量控制。重点是对流量计,可携式仪表的检验;固定式测量仪器的效率、本底等技术性能的检验;质量控制样品(平行样品、掺标样品、空白样品)的分析等。一般质量控制样品约占分析测量样品总数的 10—20%。

(4) 实验室间比对测量。比对测量是发现分析测量系统误差的有效方法之一,对低水平放射性测量尤为重要。这种比对可在同一系统内进行,也可以在各国的不同实验室之间进行^[12,13]。

三、结 语

核电站的本底调查及其环境监测是核能开发中的一个应用性课题,也是进行核环境质量评价必不可少的基础资料之一。就本文论述的范围来讲,有必要加强以下课题的研究。

(1) 核环境标准的研究。首先有必要尽快查清我国天然本底辐射剂量,以便建立环境剂量的基线。其次要尽快对我国现有核企业的辐射环境质量作出评价。在此基础上开展核能剂量分配份额,以及确定合理的尽可能低的环境剂量限值的研究。

(2) 开展就地监测技术、仪器以及环境中低水平放射性核素分析测量方法的研究。

(3) 开展环境监测最优化的理论研究,包括实现最优化的方法学研究等。

(4) 加强核电站环境监测中污染源鉴别技术的研究。开展环境样品 α 能谱学和 γ 能谱学的研究,以及同位素比值法和数理统计学在鉴别污染源中应用的研究等。

(5) 核电站事故监测方法的研究,包括事故源项的研究;应急监测方法的研究;应急监测技术的研究;应急措施设计的最优化研究等。

(6) 开展环境监测质量保证的研究,包括研究、制定执行环境监测质量保证计划,研究、生产放射性环境标准参考物质等。

参 考 文 献

- [1] Nuclear News, 28(2), 73(1985).
- [2] USNRC, Regulatory Guide, 4, 1(1975).
- [3] 弗吉尼亚电气电力公司,美国北安纳电站 1、2 号装置最终安全分析报告, 6, (1973).
- [4] RMC-TR-74-09, (1974).
- [5] Pemble, T. D. et al., Rad. Data Rep., 15(3), 117 (1974).
- [6] Garach, J. et al., Environ. Surveillance Around Nucl. Instal., 2, 251(1974).
- [7] Gwiazdowski, B. et al., Environ. Surveillance Around Nucl. Instal., 1, 89(1974).
- [8] Vasilev, G. et al., Environ. Surveillance Around Nucl. Instal., 1, 107(1974).
- [9] Ticher, J. et al., NUREG/CR-2227 (1981).
- [10] USNRC, Regulatory Guide, 4, 15(1975).
- [11] Lindeken, C. L. et al., UCRL-81648, (1978).
- [12] AEA, Reference Methods for Marine Radioactivity Studies II, p. 11, IAEA, Vienna, 1975.
- [13] 刘书田, 海洋通报, 1(4), 27(1982).