

B-6371
40405

核电海域辐射影响评价

李国良 主编

14

前 言

自1954年美国建成第一座100kW的试验性核电站以来,到1988年末,全世界已有26个国家和地区建成了总功率达三亿九千多万kW的428座核电站⁽¹⁾,预计到2000年,全世界的核电将达到10—19亿kW,占总发电量的45%左右。据预测,到下一个世纪中叶,我国的核电将达到总发电量的20%以上。随着国民经济的发展,在中国的大多数地区,尤其是沿海缺煤地区,核电将成为主要能源之一,这是一个不可逆转的发展趋势。

目前,我国台湾已有4座90—120万kW的核电站在运转。浙江秦山30万kW压水堆1号机组已于1991年12月正式并网发电。广东大亚湾核电站两台90万kW压水堆机组将于1993年建成投产。秦山核电站的第二期工程,也已列入第七个国民经济发展五年计划,拟再建两台60万kW压水堆核电站。此外,东北、山东、江苏、福建等沿海省区,也正在积极筹划兴建核电站。由此可见,沿着我国漫长的海岸线,特别是在河口、海湾、滨海城市等部位,将是我国核电的主要分布地带。

从世界各国核电的发展史看,由于海洋可为核电站提供丰富的冷却水,又比河流、湖泊能更快地消散废热和稀释放射性废液,所以,英国、日本、美国、法国、瑞典、苏联等许多临海国家,大多将核电站建于沿海。据统计,世界上正在运行的375座核电站中,沿海核电站约占三分之一⁽²⁾。另有100多座正在沿海规划和兴建。

综上所述,无论是从我国核电事业发展的需要,或是从核电本身特点的要求来看,众多的核电站邻近海域都将是我国今后开展海洋放射性环保工作的重点。随着核电站的选址,兴建,运转,甚至一旦发生事故,都要对核电站邻近海域的放射性背景值及其消长情况进行调查、监测并作出评价,以便为采取合理的防护措施提供科学依据。

环境问题的核心是环境质量。所谓环境质量指的是环境对人们的生产、生活,特别是对人们健康产生怎样的影响。关于海洋环境质量,1971年春美国“国际海洋考察十年”协调组织,曾邀请50位专家,专门进行了讨论。他们提出,要想全面评价一个海域的环境质量,就必须回答这样5个问题:⁽³⁾

- 1.进入该海域的污染物的量是多少?它们进入的特点和方式是什么?
- 2.这些污染物入海后,其沉积与迁移的物理、化学过程是什么?
- 3.污染物如何被海洋生物吸收?
- 4.污染物对海洋生物和人类的效应是什么?
- 5.海洋中污染物的最后归宿在哪里?

放射性物质,作为一种污染物,与其他非放射性污染物一样,对海洋环境的影响有许多共同之处。因此,在评价放射性物质对海洋环境的影响时,上述5个问题也是适用的,都应作为我们搜集评价依据,分析监测结果应考虑的因素。

为此,近几年来我们搜集了秦山核电站邻近海域即杭州湾及舟山海域的海洋环境资料,调查了该海域的放射性背景值,开展了核素分析测定方法的研究,用人工模拟的方法研究了

关键核素在海洋环境中的行为。本书将以上述资料为模板来阐述有关核电站邻近海域放射性调查，监测与评价的若干问题，为将来对杭州湾及舟山海域的环境监测、评价提供基础资料，也为今后沿海陆续兴建核电站将要开展的环保工作提供参考。

本书初稿承蒙吴宝铃研究员、李永祺教授、李培泉副研究员仔细审阅并提出许多宝贵意见，在此一并致谢。

目 录

第一章 核电站邻近海域放射性的调查与监测	蔡福龙 (1)
第一节 核电站邻近海域生态零点调查	(1)
一、海洋生态零点调查	(1)
二、放射生态零点调查	(4)
第二节 核电站邻近海域的监测	(7)
一、常规监测	(7)
二、应急监测	(7)
第二章 海洋环境辐射影响评价的依据与方法	李平雨 蔡福龙 (9)
第一节 辐射防护体系的变革与发展	(10)
一、观念和前提的变化与发展	(10)
二、辐射防护标准——剂量限制体系简介	(11)
三、辐射防护标准的新发展——剂量与风险限制体系	(12)
第二节 海洋环境辐射影响评价准则	(12)
一、有关条约与法规	(13)
二、海洋环境辐射防护的管理标准	(14)
三、海洋环境辐射影响评价的原则	(17)
第三节 海洋环境辐射影响评价方法	(20)
一、常规释放的剂量与危害评价	(21)
二、事故释放的剂量与风险评价	(28)
三、海洋学模式的选择与检验	(30)
结语	(35)
第三章 秦山核电站邻近海域的海洋环境	蔡福龙 (37)
第一节 秦山核电站邻近海域的水文状况	(37)
一、浙江沿岸的水系分布	(37)
二、杭州湾的潮流概貌	(37)
三、杭州湾的泥沙运动	(38)
四、杭州湾表层沉积物的分布特征	(39)
第二节 杭州湾至舟山海域的水化学特征	(39)
一、溶解氧	(39)
二、pH	(40)
三、活性硅酸盐	(42)
四、硝酸盐	(46)
五、磷酸盐	(51)
第三节 杭州湾至舟山海域生物资源概况	(52)
一、初级生产力	(52)
二、浮游动物	(52)
三、虾类资源	(53)
四、潮间带底栖生物	(54)

五、鱼类资源	(59)
第四章 秦山核电站邻近海域的放射性背景值	蔡福龙 (60)
第一节 调查的范围与方法	(60)
一、布点原则和调查范围	(60)
二、调查对象	(60)
三、调查方法	(62)
第二节 秦山核电站邻近海域放射性背景值概述	(63)
一、海水的放射性背景值	(63)
二、沉积物的放射性背景值	(64)
三、海洋生物放射性背景值	(64)
第三节 总 β 的放射性背景值	陈 英 赖招才 陈巧云 (65)
一、海水中的总 β	(65)
二、沉积物中的总 β	(66)
三、几种海洋生物中的总 β	(66)
第四节 ^{137}Cs 的放射性背景值	林世泳 陈巧云 蔡福龙 (69)
一、海水中 ^{137}Cs 含量	(69)
二、沉积物中 ^{137}Cs 含量	(71)
三、几种海洋生物体中 ^{137}Cs 含量	(74)
结语	(74)
第五节 海水氚的放射性背景值	曹宪章 陈燕南 徐胜利 (75)
一、样品采集和分析	(75)
二、氚分布特征	(75)
三、杭州湾氚的半滞留期	(77)
第五章 核电废液中主要放射性核素在海洋环境中的行为	
蔡福龙 陈 英 许丕安 丘曼华 赖招才 黄凌毅	(89)
第一节 放射性核素在海洋中的循环	(89)
一、悬浮物对核素的浓集	(89)
二、沉积物对核素的吸附	(90)
三、生物过程的作用	(93)
四、核素在生物体内分布的生态学意义	(95)
五、沉积物中核素的迁移	(101)
第二节 放射性核素在海洋食物链网中的传播	(103)
一、方法	(103)
二、放射性核素由海水向扁藻的转移	(103)
三、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 向泥蚶的转移	(104)
四、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 向对虾的转移	(105)
五、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 向罗非鱼的转移	(105)
六、食物链传递的多样化	(107)
第三节 放射性核素在海洋生物体内的积累和分布	(110)
一、几种海洋浮游生物对 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的浓集	(110)
二、大型生物对 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的浓集	(112)
三、不同因素对海洋生物积累核素的影响	(118)

	四、核素在几种生化成分中的分布.....	(119)
第四节	海洋生物浓集放射性核素的机理	(121)
	一、扁藻对 ^{60}Co 和 ^{137}Cs 的浓集机理	(121)
	二、泥蚶对 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的浓集机理	(124)
	三、罗非鱼对 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的浓集机理.....	(126)
	四、鱼类对核素的多种吸收方式.....	(128)
第六章	海洋放射性分析测定方法研究	(132)
第一节	多核素吸附剂的制备	蔡水源 陈 英 许丕安 林荣盛 (132)
	一、苯乙烯-二乙烯苯体系的制备	(132)
	二、丙乙烯甲酯-二乙烯苯体系的制备	(132)
	三、丙烯腈-二乙烯苯体系的制备	(133)
	四、四乙烯五胺-环氧氯丙烷体系的制备	(133)
	五、聚乙烯醇体系的制备.....	(133)
	六、聚丙烯腈纤维体系的制备.....	(133)
第二节	多核素吸附剂的筛选与配制	(133)
	一、实验方法及计算公式.....	(133)
	二、吸附剂的筛选.....	(134)
	三、核素的浓度与吸附率的关系.....	(136)
	四、示踪液通过吸附剂的流速与吸附率的关系.....	(138)
	五、吸附剂与 Al_2O_3 对几种核素吸附性能的比较	(140)
	六、吸附法与溶化分离法的比较.....	(141)
	七、方法精密度实验.....	(142)
第三节	多核素吸附剂的应用	(143)
	一、吸附剂与多层过滤吸附装置.....	(143)
	二、测量设备.....	(143)
	三、测定方法.....	(144)
	四、方法的实际应用.....	(148)
第四节	海洋放射性的生物监测方法.....	(150)
	一、利用贻贝监测海区 ^{60}Co 污染的探索	(151)
	二、自动连续的生物监测.....	(155)
	三、其他生物监测技术.....	(156)
第五节	海水氚的分析方法.....	(156)
	一、氚电解富集的基本原理及分析程序.....	(156)
	二、分析条件的建立.....	(160)
	三、结语.....	(166)
第六节	水体中氚含量计算程序设计	(167)
	一、几个主要计算公式.....	(168)
	二、程序设计思想.....	(169)
	三、主要的功能块逻辑框图.....	(169)
	四、本程序的特点.....	(171)
	参考文献	(173)

第一章 核电站邻近海域放射性的调查与监测

蔡 福 龙

第一节 核电站邻近海域生态零点调查

核电站投产运行后对环境的影响程度如何,影响范围究竟有多大,只能靠有计划的、长期的环境监测,才能得到最确切的回答。因此,海洋放射性的环境监测是核电站邻近海域环境保护工作和控制电站对海域环境影响必不可少的重要内容,是开展海洋环境质量管理 and 科学研究的基础。

海洋环境监测按核电站运行的工况分为运行前的零点调查,正常运行时的常规监测和事故工况的应急监测。本节着重讨论运行前的零点调查。

零点调查的目的,是提供海洋生态和海洋放射生态背景值的水平及其随季节、地区等的变化情况,特别是关键核素和关键途径的情况,作为电站运行后海域环境辐射影响评价的对照。如果没有背景值,就很难分析运行后的监测结果。

为了使背景值能反映随时间变化的规律,一般讲应获得2年的数据,开展这项工作的时间,应掌握在破土动工之后,大规模的土地平整结束之时进行,以免零点调查受到上述活动的干扰。

一、海洋生态零点调查

大亚湾核电站海洋生态零点调查,就是我国第一次比较系统、全面地开展的此类调查*。以下就是调查方案的要点:

(一) 调查内容

1. 水文气象

(1) 海流的流速流向及气象参数包括风速、风向、降雨量、湿度、日照、温度和云量等的季、月及有关的时空变化。

(2) 海水更新速率。

(3) 海水温度及海水盐度的连续同步观测。

(4) 潮位与气象的连续同步观测。

2. 水生生物

1) 浮游植物观测。在水华期和赤潮期间,每3天观测1次。同时观测下列项目。

(1) 采样测量时的条件(日期、时间、气象状况等)。

(2) 水温(以上层到下层每隔1米垂直测量1次)。盐度,水色,透明度,溶解氧, pH。

* 黄宗国1988年4月大亚湾核电站海洋生态零点调查研究。

(3) 营养盐(硝酸氮, 亚硝酸氮, 氨氮, 磷酸盐, 硅酸盐)。

(4) 叶绿素a, 脱镁色素。

(5) 浮游植物和甲藻优势种的鉴定及细胞计数。

(6) 浮游动物生物量。

(7) 贝类、鱼类的毒性实验。

2) 综合观测。在冷却水出口附近站位, 每2周进行1次(其内容除同1)外, 再增加如下几项:

(1) 悬浮物(有机质含量和悬浮物总量)

(2) 初级生产力

(3) 浮游动物的碳量和氮量

(4) 游泳鱼类的计数及种类鉴定

3) 大面点调查每月进行1次, (内容同2)外加测:

(1) 浮游植物种类鉴定及细胞计数

(2) 浮游动物种类鉴定及计数

(3) 异养菌活性

(4) 总菌数及粪大肠杆菌计数

(5) 弧菌计数及溶血弧菌及霍乱弧菌研究

3. 底栖生物

甲. 潮间带底栖生物

1) 每年进行1次, 其测定项目为:

(1) 沉积物性质(泥、沙、岩石)

(2) 主要生物种类和经济种类的特征(干、湿重, 生物量和密度)

2) 全年进行2次, 测定项目是:

(1) 沉积物性质, 软相沉积物粒度

(2) 主要营养盐及经济生物种类的鉴定及密度测定

(3) 总量及主要种类的干、湿重生物量。

乙. 潮下带底栖生物

1) 全年进行1次, 测定项目为:

(1) 沉积物的性质及粒度

(2) 有机质

(3) 密度, 总量和干、湿生物量

(4) 主要营养盐及经济种类的鉴定

2) 每月1次的大面点调查与水生生物的大面点调查同时进行。测定项目为:

(1) 沉积物粒度

(2) 沉积物有机质含量

(3) 沉积物中亚硫酸盐还原菌的计数

(4) 沉积物的耗氧量

(5) 生物密度、总量及种类鉴定

4. 渔业

(1) 渔港调查。在核电站邻近海域可选择几个重点渔港, 每月进行1次调查。

(1) 捕捞业特征: 渔港位置, 各种捕捞类型的船只数量、大小和船令, 捕捞设备的类型, 渔民数, 每月捕捞时间, 商品化程度以及捕捞结构的历史演变和展望。

(2) 每个渔港的贝类和鱼类的月捕捞量, 典型种类的生物量测定, 年龄鉴定和胃含物研究。

(3) 确定每个渔港和各种捕捞方式的产卵场, 索饵场和作业的位置。

(4) 水产养殖特征: 养殖场的位置, 规模, 雇员数量, 历史演变和产量; 养殖的种类和产量。

2) 幼鱼和小型鱼类的调查。每周1次, 每次24小时, 在日落后的夜间, 每4小时采样1次, 在白天每3小时采样1次。

(1) 水温、盐度和溶解氧。

(2) 密度, 种类鉴定, 生物量测定, 年龄。

(3) 每季度进行1次胃含物(成鱼), 卫生学和寄生虫学特征(活鱼或死鱼的鳃、眼睛、鳞片上的细菌和寄生虫情况)的研究。

3) 浮游鱼类的幼鱼和成鱼调查。

(1) 内容和方法同2), 并进行上层和底层鱼类的捕捞。

(2) 浮游鱼类的计数及种类、年龄的鉴定。

5. 冷却水系统设计研究

1) 需氧量的调查。以氯作为氧化剂, 测定总氧化剂残留量随时间的变化。另外还需进行铵、锰的试验。

2) 污损生物调查, 用冷却水管道使用的混凝土制成实验板, 分年、季、月3种进行干重生物量测定, 种类鉴定和计数, 生物学测定。并进行聚氯乙烯板的试验。

3) 每周进行1次过滤网运转调查, 测定海藻、水母和鱼类等大型生物 的密度及生物量。

(二) 站位布设

以核电站冷却水进出口处为中心, 向各个方向布设调查试验站位。根据调查内容和频率, 站位可分3大类型。

1. 大面点

(1) 综合调查站: 从电站进水口开始, 布设18个站(H_1-H_{18})。逐月进行微生物、叶绿素a和初级生产力、浮游生物、水文、化学、沉积物粒度及渔业调查。

(2) 浮标站: 设 C_1 、 C_2 和 C_3 3个锚定浮标站, 分别固定在 H_1 、 H_2 和 H_3 站。用潜标分别挂放安得拉海流计和温度计, 连续测定流速、流向和水温、盐度。

(3) 底栖生物站: H_1-H_{33} 33个站, 进行底栖生物采集。其中11个站要进行底栖生物拖网。

(4) 底质和地貌站: 120个站及10条测线, 进行沉积物取样及地貌测量。

(5) 潮间带站: 在整个湾的周围, 依据不同沉积物类型, 布设33个断面, 每个断面按潮位布设4—6个站, 进行潮间带生物和底质调查。

2. 进水口站 上述大面调查的 H_1 至 H_3 站是从电站进水口往湾外的一个断面。 H_{11} 站是

这个断面往湾外延伸的站位。就这些站位进行一系列专题调查。

(1) 电站进水口仔鱼、小型鱼类和进水口闸门堵塞物调查：在 H_1 站，每周进行1个航次，周日每3小时间隔连续拖网采样。全年共52个航次，拖网516个网次。

(2) 水华期（3—5月）电站进出水口海域调查：在 H_1 和 H_2 站，3—5月及赤潮期间，每3天进行1航次综合调查。共30航次。

(3) 污损生物试验浮筏，设在 H_1 站，进行周年污损生物挂板试验。

(4) 加强站：即 H_1 至 H_8 断面，除每月1次大面综合调查外，再增加每半个月1次的综合调查。

3. 气象和潮位站 设在电站厂区内。

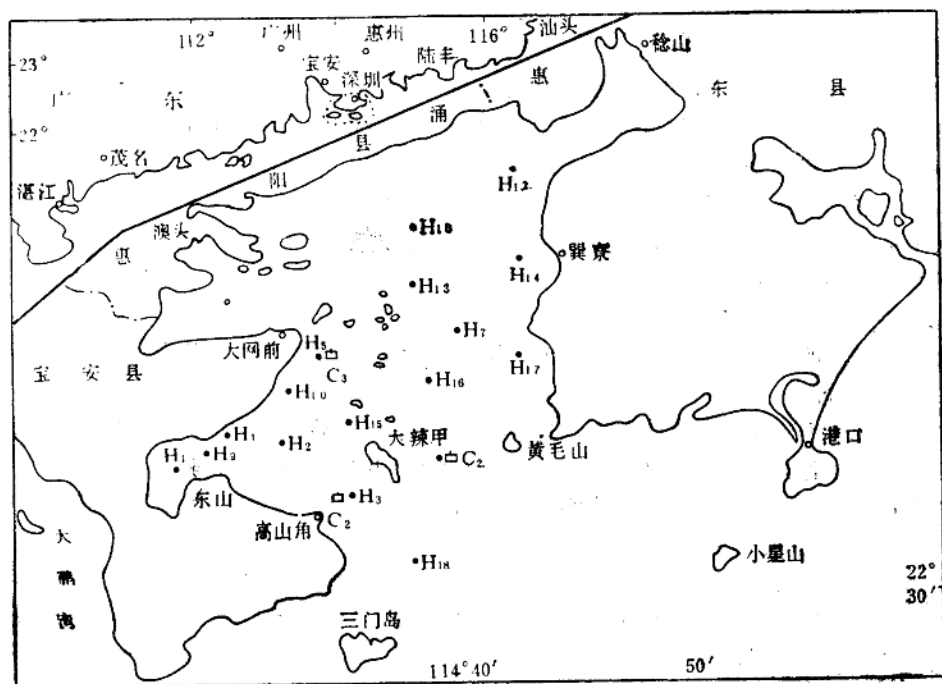


图 1.1 大亚湾核电站海洋生态零点综合调查站及浮标站

(三) 大型仪器设备

在大亚湾核电站海洋生态零点调查中，使用了若干大型仪器设备和一些国内海洋调查中首次使用的仪器设备，现列于表1.1。

二、放射生态零点调查

放射生态零点调查的内容包括天然穿透辐射，总 β ，总 α ， ^{90}Sr ， ^{137}Cs ，总铀， ^3H ，以及针对反应堆类型产生的废液中的某些关键核素，或采用 $\text{Ge}(\text{Li})-\gamma$ 谱仪进行分析；调查的介质包括海水，沉积物，海洋生物，气溶胶。

现就放射生态零点调查中所遇到的若干问题讨论如下：

表 1.1 大量的国内首次使用的仪器设备

名 称	用 途	名 称	用 途
RCM ₄ S安德拉海流计	潮流、流向、水温、盐度	API29E 铯离子定系统	强碱
TR-2温度链	连续测定水温	SKC-2000粒度分析仪	沉积物粒度分析
特纳荧光计	叶绿素	Raytheon DE719回声	海底地貌
LKR-W1217液闪计数器	初级生产力	测深仪	
超微量天平	悬浮物重量	KIem 530旁侧声纳	海底地貌
P.E.240C碳氢氧元素分析仪	悬浮物、有机碳和浮游动物	美国542型微波定位仪	海底地貌
WP2网附流量计	碳氢含量	Method Issacs Kid网	幼鱼和小型鱼拖网
玻璃纤维滤膜	浮游动物采样	附流量计	
Bongo网附流量计	浮游动物干重	P.E-703原子吸收分光	镭测定
Leit 2荧光显微镜	鱼卵仔鱼采样	光度计	
Nucleopore滤膜	细菌总数	GO-FLOW 采水器	采集测值水样
	水样过滤、细菌测定		

(一) 确定关键核素的原则

- 1) 在废液中产额多的核素;
- 2) 物理半衰期长的核素;
- 3) 海洋生物浓集系数大的核素;
- 4) 能量转换系数高的核素;
- 5) 具有生态学意义的核素, 即其稳定同位素可能构成生物的生命元素或容易在环境介质中滞留的核素。

(二) 布设海水和沉积物调查站位应考虑的因素

- 1) 排污口的位置, 即以调查船的靠近能力为依据, 布设的站位尽可能靠近排污口;
- 2) 水文状况, 如在核电站邻近海域内有江河注入的河口, 潮流必经的水道, 几股潮流或水流的汇合处, 旋涡处均应布设站位;
- 3) 渔场, 养殖场的位置, 即在核电站邻近海域附近的渔场或养殖场必须布设站位;
- 4) 人们重要的活动场所, 如风景区、海水浴场、大型码头、平台或重要的海上设施等, 若处于核电站邻近海域内均应在其附近布设站位。以上因素为依据布设的站位, 再取与潮流成垂直方向布点形成断面。同一断面的站位数目可视工作量与实际海区的海洋环境而定。

(三) 布设生物调查站位应考虑的因素

在放射生态零点调查中, 沉积物和海洋生物这两种介质的调查应该成为重点。因为它们对放射性核素的浓集量大, 且所处的位置相对不变或活动范围不大, 人们在生产和生活过程中与它们接触机会较多, 有可能成为传播核素的关键途径。沉积物站位和水质站位一致是可行的。它不仅反映自身放射性核素的浓集状况, 而且还可以间接地了解核素在水体中的滞留程度。生物介质调查站位的布设取决于调查时采用什么样的生物品种。因此, 生物品种的选择应考虑如下因素:

- 1) 经济生物: 在核电站邻近海域里的居民特别是关键居民组经常食用的水产品;
- 2) 指示生物: 虽然这些生物不具食用价值, 但能高度地浓集放射性核素, 可利用它作为指示来测定放射性核素;

- 3) 底栖生物特别某些贝类, 大型藻类, 海草, 游泳距离不长的生物;
- 4) 容易得到的生物, 即在选定生物品种时必须考虑到放射性测量时对生物数量的要求。

所以, 凡是符合上述要求的下列地区都应考虑布点。(1) 排污口附近的潮间带; (2) 核电站排污海域内的养殖场, 渔场; (3) 具有经济意义或生态学意义的滩涂, 岩石或生物栖息地。

(四) 采样

1. 海水

(1) 层次: 沿海核电站一般设在河口、港湾等海域。若深度不大, 水体混合交换较好, 采集表层海水即可; 如果在某些特定海域里, 水深较大, 为了考察放射性核素在水体中的垂直分布, 可按表1.2增加层次:

表 1.2 海水采集层次

水深范围 m	标准层次 m	底层与相邻标准层最小距离 m
小于10	表层	
10—25	表层 底层	
25—50	表层、10、底层	5
50—100	表层、10、50、底层	10
100以上	表层、10、50、以下水层酌情加层底层	

(2) 潮位: 采集那一种潮位的海水样品取决于调查和评价目标。如果目标是近海, 则应采集电站下游的退潮水, 一般采集在最低潮前后1.5—2小时的水样; 如果目标是河川, 则应采集电站上游的涨潮水, 即最高潮前后1.5—2小时的河水。无论那一种目标都应在核电站的河口(湾口)断面采集高潮水, 而在核电站上游(湾顶)断面采集低潮水, 以考察外来海水或上游河水对调查海域的影响, 如果调查、评价的目标处于上述两者之间, 则应根据这一原则酌情确定。

2. 沉积物 一般来说沿海核电站多数选址在水体稀释扩散能力较强的海域, 由于这类海域的泥沙沉积过程较为缓慢, 所以沉积物样品只采至表层以下20cm就够了, 如果在某些沉积作用较快的关键场所, 为了考察水体中放射性核素的沉积速率, 则应增采沉积物的柱状样。

3. 海洋生物 除了特殊的研究目的之外, 海洋生物均采集成体样品, 因为它直接被人们所食用, 而且在它一生的过程中已浓集较多的核素, 有利于样品的放射性测量。

由于海洋生物, 对放射性核素的浓集存在个体差异, 故一般须采集5个以上的生物个体, 按一定要求经过处理、捣碎、混合均匀之后再取出部分样品进行放化分析。

5. 注意事项 无论那一种环境样品的采集和处理均应做到如下几点:

(1) 统一性: 各种介质采集的时间, 位置, 方法应该统一或同步。尽可能使所测样品中仅存在一个变量即放射性核素的含量, 避免由于采集样品的时间、位置、方法不统一而带来人为的误差。

(2) 均匀性: 在海洋放射性调查中, 往往同一种介质要分析、测量几个项目的放射性。对这些不同项目放射性所需要的同一种介质如海水, 应统一采样, 混合均匀后再分项进

行放射化分析或物理测量，切忌不同项目放射性分析所需的水样分别采集。

第二节 核电站邻近海域的监测

核电站运行以后的监测，一般可分为两类：一类是常规监测；一类是应急监测或称事故监测。

一、常规监测

(一) 监测目的

- 1) 检查核电站的废液排放量是否符合国家或地方规定的排放标准；
- 2) 鉴定海洋环境的放射性水平和在海上作业的人员所受辐射剂量是否符合环境卫生标准；
- 3) 检验已获准的排放量是否合理，运行前所作的预评价是否符合实际；
- 4) 考察海洋环境放射性的变化趋势并及时发现异常现象。

(二) 监测内容

常规监测的内容和运行前零点调查相一致。由于它是一种长期的监测任务，故调查站位和范围可以适当缩小而重点放在关键核素和关键途径的监测上。首先选择与关键途径有关的环境介质和其他可能产生较大影响的途径。尤其应在邻近关键居民组、关键海洋环境或可能受污染最严重的部位进行监测。为了更好地评价核电站邻近海域的环境质量，应在远离监测海域的外海设立对照站位。

(三) 监测频率

1. 海水 在排污口附近每月或每季度至少1次，其他区域每年2次。
2. 沉积物 考虑到海水中泥沙的沉降速度相当缓慢，在短时间里，沉积物的放射性含量变化不大。所以每两年监测一次，但在排污口附近可考虑每年1次。
3. 海洋生物 由于栖息在沿岸近海可供人们食用的海洋生物一般在1年左右时间就可长成为成体，所以生物的监测频率为每年1次即可，采样时间应安排在它们的成熟季节。

二、应急监测

(一) 监测目的

- 1) 及时掌握事故释放及其海域环境受污染的路径、水平和范围，以便及时采取必要的防护措施（包括封闭航道，禁止捕捞，禁止继续食用的海产品）。
- 2) 提供事故后果和释放到海域环境中放射性核素的物理、化学行为，以及这些核素在生物中迁移的科学资料，用以评价海域的环境质量，检验反应堆事故安全系统的性能。

(二) 监测内容

反应堆一旦发生事故警报之后，其监测工作应分两步进行：

- 1) 根据零点调查的站位，以排污口为基点由远到近迅速取样分析海水和放射性核素的生物指示种中总 β 的强度和野外穿透辐射剂量强度，以尽快确定事故的性质和严重程度，评估海上作业人员可能受到的辐射剂量。总 β 强度的变化在一定程度上可以尽快帮助我们了解事故发生的规模，以便采取某些果断的应急措施。

2) 精密地分析事故释放的放射性成分, 准确测定其含量, 追踪海域受污染后放射性核素在海洋环境(海水, 沉积物)中及海洋食物链网(尤其是某些关键途径)中的迁移, 及时发布监测通报。

(三) 监测频率

事故监测应做到迅速, 准确, 故对排污口的流出物应从常规监测开始就建立连续监测的装置, 事故期间更应严密监视, 离排污口远的断面, 应在热点上设置监测船, 定时同步取样, 取样频率视事故发展而定, 可以小时, 天, 周, 月为单位。

第二章 海洋环境辐射影响评价的依据与方法

李平雨 蔡福龙

海洋环境辐射影响评价的基本任务是定量描述海洋放射性环境质量,分析估计来自各源项的辐射影响及其变化趋势。其目的是为海洋环境辐射防护工作和放射性废物的海洋处置最优化提供不可缺少的科学依据。海洋放射性核素的调查、监测和模拟计算,是完成定量描述任务的基本方法;海洋环境辐射防护管理标准和有关的条约法规,是进行分析估计的基本依据。因此,海洋环境辐射影响评价方法学,是建立在海洋放射生态和辐射防护等现代科学基础上的,是核环境评价方法学的一个分支。

就国际发展动态而言,海洋环境辐射影响评价方法学这一分支,大约已有30多年的历史。其发展大致分成两个阶段:前期的方法主要是对影响作上限估计,其结果再同“最大允许”标准值^[4-7]作比较;近十几年来,根据评价目的的不同所采用的方法也不同。若为了导出某种标准,或者要判断是否符合某种环境质量要求,则一般是对影响采用上限估计法,其结果再同剂量限制“三原则”作比较。若为了管理决策上的最优化分析,或者灵敏度分析,则应采用最佳估计法。这是个带有根本性的变化^[8-11]。海洋环境辐射影响评价方法学的这种根本性的变化,是与辐射防护体系的新发展——从允许剂量体系到剂量限制体系^[12]的变化——相适应的。

应该看到,尽管海洋环境辐射影响评价方法学已经发生了相当大的变化,但在评价的具体准则和具体方法上,如何全面、正确、有效地体现辐射防护的新原则及其新发展,还存在大量课题,有待辐射防护学家和海洋学家继续密切配合,共同努力探讨。这就是海洋辐射影响评价方法学所面临的一项任务。

必须强调的是,海洋环境放射性核素的浓度水平一般是很低的。通常所感兴趣的放射性核素的浓度,一般都低于目前的探测下限。因此,在多数情况下根据实际海域的不同海洋学模型,采用恰当的数学模式的模拟计算方法成了定量描述的唯一手段。但是,由于各种海洋学过程的复杂性,无法采用一种包罗万象的海洋模型,也不存在一种放之四海而皆准的海洋模式。这就不难理解海洋学家在海洋环境辐射影响评价中起着何等重要的作用。

随着我国沿海核工业(尤其是沿海核电站)的发展,我国沿海环境辐射防护工作已经进入了一个新的发展时期。为适应目前加强我国海洋环境辐射防护管理工作的迫切需要,本文将扼要地概括国际上流行的海洋环境辐射影响评价的某些准则与方法,并对所依据的标准系列及评价的细则,做些初步的探讨。考虑到将有越来越多的关心海洋核环境安全的海洋学家和其他科学家参与这项评价工作。因此,在讨论海洋环境辐射影响评价的准则与方法之前,首先简要介绍一下现行的辐射防护体系及其发展趋势是必要的。为了方便与实用起见,文中列举了评价中常见的放射性核素的剂量转换因子等参数。此外,在本文结语中,还提出了海洋环境辐射影响评价中尚待研究的某些问题。

第一节 辐射防护体系的变革与发展

1977年国际辐射防护委员会(ICRP)第26号出版物^[12],提出了“剂量限制体系”的新建议。ICRP新建议所包含的新的观念、方针和原则,以及近10多年来对其建议的补充、完善和发展,给世界各国的辐射防护工作带来了根本性的变革。无论是在指导思想上还是在技术措施上,都已产生而且还将继续产生广泛而深远的影响。越来越多的国家已经接受了ICRP建议的剂量限制“三原则”。我国现行的“辐射防护规定”^{*}和“放射卫生防护基本标准”^[16]的编制,也都采用了剂量限制“三原则”。

一、观念和前提的变化与发展

对国际上辐射防护体系的沿革,国内外早就有许多精辟的论述^[17-20, 22]。但是直到近几年,在国内的某些海洋环境辐射剂量评价文章中,仍然出现这样的误解:把ICRP所建议的基本限值当作最大允许剂量来使用。也许,这是由于不了解ICRP新建议在观念上与前提上都已发生了根本变化。新建议是以下述观点为前提的:

第一,是将辐射效应分为随机性效应和确定性效应。并且,把辐射防护的着眼点,从确定性效应转向随机性效应。

第二,是假设随机性效应发生几率(指几率的增量)与剂量(指剂量性的增量)大小成线性无阈关系。从过去的研究看,多数认为这是偏于谨慎的基本假设。

第三,是辐射防护的目的在于防止有害的非随机效应,并限制随机效应的发生几率,使之达到被认为可以接受的水平。

在这些前提之下,整个辐射防护的观念和准则也随之发生了重大的变革。这种变革主要表现在:

(1)在体系上废除“允许剂量体系”,推行“剂量限制体系”。

(2)在标准上,废除了“最大允许剂量”,推行“剂量限值”。即把原最大允许剂量的数值,定为现行标准的不允许剂量的下限值——称之为“初级限值”^{**}。

(3)在评价与人体器官(或组织)照射相关的目标上,废除了“关键器官”和“最大允许体负荷量”(MPBB)。推行按各器官(或组织)的相对危险度加权的“有效剂量当量”(He)新概念和“年摄入量限值”(ALI)。

此外,还有许多新的概念,如:评价个人单次摄入,考虑职业人员该次摄入在50年内所造成的危害,引入“待积剂量当量”(H₅₀)^{***}的概念;为评价持续照射情形而引入“剂量当量负担”的概念;对“个人相关”的评价,个人剂量限值要分配给可能遇到的各种源,对单个源所分得的份额称为“源剂量上界”(或“源上界”);对“源相关”的评价,若遇到的是非常小的剂量的照射,则其随机性效应对特定个人的危害,往往可能小到可以忽略的程

* 见中华人民共和国国家标准:《辐射防护规定》—GB 8703—88。

• 后来ICRP已压低对于公众成员个人剂量初级限值的数值(详见本章第二节的二(二)部份。)1990年ICRP又建议压低职业人员个人剂量初级限值的数值。

• “待积”(committed)一词,有的文章译为“约定”。对公众成员的待积剂量当量的积分时间可以超50年(例如延至70年)。

度。但是对人数众多的群体的危害，却千万不可掉以轻心。为此特别引入“集体剂量当量”和“集体剂量当量负担”的概念，其单位都是人·西费特（Man·Sv）。

还必须强调的是：ICRP的建议书把辐射对健康的“损害”定义为“随机危害的数学期望值”，并按有害效应的严重性分类。按照ICRP第26号出版物在全身均匀照射条件下，随机效应的总危险度如下：对于职业人员来说，每1Sv有效剂量当量引起严重的随机性危害的几率约为 1.65×10^{-2} ；对于公众群体而言，每1Man·Sv的集体有效剂量当量引起严重的随机性危害的几率约为 2.05×10^{-2} （见表2.1）。但实际应用中可取一位有效数字，即对职业者的致死性癌症的总危险度（即因癌症引起的死亡率）为 $1 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ ，对公众群体的严重随机性危害的总危险度（包括癌症引起的死亡率和一切后代的遗传效应发生几率）为 $2 \times 10^{-2}/\text{Man} \cdot \text{Sv}$ 。

表 2.1 全身均匀照射的随机效应的危险度* (12)

分 项	说 明	职业人员的危险度 ($\times 10^{-2}/\text{Sv}$)	公众群体的危险度** ($\times 10^{-2}/\text{Man} \cdot \text{Sv}$)
致死性癌	红骨髓白血病	~0.2	~0.2
	恶性骨瘤	~0.05	~0.05
	肺 癌	~0.2	~0.2
	甲状腺癌	~0.05	~0.05
	乳 腺 癌	~0.25	~0.25
	其他癌***	~0.5	~0.5
遗传效应	最初二代遗传效应 全部后代遗传效应	~0.4	~0.8
总危险度		~1.65	~2.05

二、辐射防护标准——剂量限制体系简介

为了达到前面所说的辐射防护的目的，1982年国际原子能机构（IAEA）等四个国际组织联合提出新的国际“辐射防护基本安全标准”⁽¹⁴⁾，1988年我国发布新的“辐射防护规定”（GB8703-88）。这些新标准都采纳了ICRP建议的剂量限制体系⁽¹²⁾。这个体系是以剂量限制“三原则”为中心的。在实际执行“三原则”时，还必须为将来的发展酌留余地，这是为ICRP所推荐的必须记住的第4个重要“原则”。下面侧重介绍的是“三原则”：

（一）实践的正当化

考虑到产生的辐射危害之后，除非所审批的使人类受到照射的实践会带来超过代价的纯利益，否则就不应该批准这种实践。

（二）防护的最优化

应该避免一切不必要的照射，并且在考虑到经济的和社会的因素之后，一切辐射照射均应保持在“可合理达到的尽可能低（ALARA）的水平”。这一原则有时也称为“把辐射照射减至可合理达到的尽可能低水平的原则”（即ALARA原则）。

（三）剂量的限量化

• 1990年ICRP又建议对“危险”定义新概念和新单位，类似的量在数值上比表2.1的值大。

• 例如：接受100Man·Sv的集体剂量对一百万人的公众群体（公众成员的平均个人剂量为0.1mSv）的危害，同一个公众成员接受100Sv剂量的危害假设是等效的。

• • • 这里所指的是其他组织器官，但不包括眼晶体、皮肤、前臂、手、足、髌。⁽²¹⁾