

核 不 竟 益 基 出

高等 教育 试用 教材

核 环 境 学 基 础

宋妙发
强亦忠
陈 式

主编
主审

原子能出版社

高等教育试用教材

核环境学基础

主编 宋妙发
强亦忠

主审 陈 式

编者 张锦由
朱南康
孙占学

审校 张永兴
高宏成
袁光钰

原子能出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

核环境学基础/宋妙发,强亦忠主编. —北京:原子能出版社,1999.12

高等教育试用教材

ISBN 7-5022-2127-1

I. 核… II. ①宋…②强… III. 辐射环境-环境保护-高等教育-教材 IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 53854 号

内 容 简 介

本书全面系统地论述了环境中天然与人工辐射的来源、分布及其监测方法,放射性核素在环境中的迁移、转化和蓄积行为,公众受照途径、剂量估算及健康危害评价,辐射防护、核安全及辐射环境管理标准、体系和控制措施。

本书可作为高等学校核技术与核工程、环境工程专业的教材,也可供放射医学、生态学、辐射防护、环境保护、核安全等领域的专业人员、管理干部及高校有关专业的师生阅读参考。

原子能出版社出版发行

责任编辑:谭俊

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092mm 1/16 印张 20.75 字数 512 千字

1999 年 12 月北京第 1 版 1999 年 12 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000

定价:17.00 元

前 言

核电的迅速发展和放射性同位素的广泛应用,给人类带来了巨大的利益,展示了美好的前景,但也不可避免地伴有一定的危害,导致放射性物质释入或可能释入环境,使人类面临环境被放射性物质污染的严峻局面,其造成或可能造成的辐射照射对环境、生态及人类健康的潜在危害已引起人们极大的关注。辐射防护、核安全及辐射环境管理的基本目标在于既要允许某些可能造成辐射照射的人类活动(实践)得以进行,又要对受到或可能受到辐射照射的个人、群体和他们的后代乃至全人类提供必要的保护。

核环境学的研究对象是环境中天然与人工辐射的来源、分布及其监测方法,放射性核素在环境中的迁移、转化和蓄积行为,公众受照途径、剂量估算及健康危害的评价,辐射防护、核安全与辐射环境管理标准、体系及控制措施。建立和发展核环境学这门新兴学科,培养这一领域内的研究和管理专门人才,具有重要的科学价值和深远的社会意义。

本书的选题是1996年6月在北京召开的全国高等学校核科学与工程类专业教材工作会议上确定的,由苏州医学院牵头,与华东地质学院共同组织编写,列入中国核工业总公司“九五”部级重点教材出版计划。

本书由宋妙发和强亦忠任主编,张锦由、朱南康、孙占学参与编写。其中第1章及4·1、5·1两节由强亦忠执笔,第3章3·6节由朱南康执笔,其余各节由张锦由执笔,第6章由孙占学执笔,其余章节由宋妙发执笔。主编对全书进行了统稿,并对其他编者编写的部分内容作了必要的增删和修改。

本书由中国辐射防护研究院陈式研究员主审,中国原子能科学研究院张永兴研究员、北京大学高宏成教授、清华大学袁光钰教授审校。

本书于1999年4月经审稿会审定。主审和审校提出了许多指导性意见,仔细审阅了全部书稿,提出了许多指导性意见,提供了丰富的参考资料;本书选题的确定、大纲审定会及审稿会的组织,得到了中国核工业总公司王占元、陈竹舟、严洁廉等局长及赵强处长的大力支持。毕德才、乐俊楚、王文海等先生对编写大纲提出了许多修改意见。编写过程中得到谷存礼、李士骏、冯定华、杨永生、符荣初、李伟林等先生热情帮助;全国核科学与工程教材委员会主任委员、北京大学技术物理系主任王祥云教授对本书的出版给予了极大的关注和支持,在此一并致以衷心的感谢。

国内外有关环境放射性及辐射环境管理的文献和专门出版物很多,但这一领域内的专著还不多见,编写一本适用于高等学校核技术与核工程专业的教材是核事业发展和人才培养的需要,也是我们多年的夙愿。本书涉及内容广泛,取材较新,但编者水平有限,书中谬误疏漏之处肯定不少,恳请读者不吝指正。

编 者

1999年8月于苏州医学院

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 关于环境的若干基本概念	(1)
1.1.1 环境	(1)
1.1.2 环境物质	(2)
1.1.3 生态	(2)
1.1.4 环境的污染与保护	(4)
1.2 核能与环境	(5)
1.2.1 能源需求与危机	(5)
1.2.2 核能的前景	(5)
1.2.3 核能对环境的影响	(6)
1.3 核环境学概述	(7)
1.3.1 核环境学的产生和发展	(7)
1.3.2 核环境学的定义和内容	(9)
1.3.3 核环境学的特点	(9)
参考文献	(10)
第一篇 环境辐射及其监测	(12)
第 2 章 环境辐射源	(12)
2.1 天然辐射源	(12)
2.1.1 宇宙辐射	(12)
2.1.2 陆地辐射	(15)
2.1.3 氡	(18)
2.1.4 矿物的开采和应用	(20)
2.2 人工辐射源	(22)
2.2.1 核试验	(22)
2.2.2 核武器制造	(23)
2.2.3 核能生产	(24)
2.2.4 放射性同位素的生产和应用	(29)
2.2.5 核事故	(30)
参考文献	(33)

第 3 章 环境辐射监测方法和技术	(34)
3.1 环境辐射监测	(34)
3.1.1 环境辐射监测的目的与特点	(34)
3.1.2 环境辐射监测方案的制定	(35)
3.1.3 环境辐射监测仪器	(38)
3.2 流出物监测	(43)
3.2.1 流出物监测的目的	(43)
3.2.2 流出物监测的设计	(43)
3.2.3 流出物采样和测量技术	(45)
3.3 环境辐射就地监测技术	(46)
3.3.1 就地监测前的准备	(46)
3.3.2 监测网点的布设	(47)
3.3.3 地表 γ 辐射剂量的测量	(47)
3.3.4 就地 γ 能谱测量	(48)
3.3.5 氡及其子体与析出率的测量	(49)
3.4 环境样品的采集和前处理	(54)
3.4.1 环境样品的采集	(54)
3.4.2 环境样品的前处理	(58)
3.4.3 环境样品的化学分离	(60)
3.5 环境样品的室内物理测量	(60)
3.5.1 总放射性活度测量	(60)
3.5.2 α 能谱分析	(63)
3.5.3 γ 能谱分析	(64)
3.6 环境样品的放射化学分析	(65)
3.6.1 天然放射性核素的放射化学分析	(65)
3.6.2 裂变产物核素的放射化学分析	(73)
3.6.3 超铀元素的放射化学分析	(77)
3.6.4 氚的测定	(81)
3.7 放射性测量数据的处理	(82)
3.7.1 数理统计基础知识	(82)
3.7.2 实验误差	(85)
3.7.3 数据的处理	(87)
3.7.4 检测下限	(88)
3.7.5 监测结果的正确表达	(90)
3.8 环境监测质量保证	(91)
3.8.1 质量保证及其方法	(91)
3.8.2 环境监测中的不确定度及其来源	(92)
3.8.3 环境监测质量控制	(93)

3·8·4 环境监测质量评价	(95)
参考文献	(96)

第二篇 放射性物质在环境中的行为 (98)

第4章 放射性物质在大气中的行为 (98)

4·1 放射性物质在大气中的化学行为.....	(98)
4·1·1 大气的化学组成	(98)
4·1·2 大气中的一般化学过程	(99)
4·1·3 放射性物质在大气中的化学行为	(101)
4·2 放射性物质在大气中的输运和弥散	(102)
4·2·1 大气边界层的温度场和风场	(102)
4·2·2 湍流扩散的基本理论	(105)
4·2·3 点源弥散的高斯模式	(107)
4·2·4 高斯模式中各项参数值的选定	(112)
4·2·5 特殊条件下的弥散计算	(119)
4·2·6 复杂地形对大气弥散的影响	(122)
4·3 放射性物质在大气中的沉积和再悬浮	(124)
4·3·1 放射性物质的沉积	(124)
4·3·2 地面沉积物的再悬浮	(127)
4·3·3 烟羽浓度耗减的修正	(127)
参考文献.....	(130)

第5章 放射性物质在地面水体中的行为..... (131)

5·1 放射性物质在地面水体中的化学行为	(131)
5·1·1 地面水体的分类和组成	(131)
5·1·2 放射性物质在地面水体中的化学形态	(132)
5·1·3 放射性物质在地面水体中的化学反应	(133)
5·2 放射性物质在地面水体中的输运、弥散和迁移.....	(136)
5·2·1 放射性物质在河流中的输运和弥散	(136)
5·2·2 放射性物质在其它水体中的输运和弥散	(141)
5·2·3 底质污染及其对水体污染的调节作用	(145)
参考文献.....	(146)

第6章 放射性物质在岩石、土壤和地下水中的行为 (147)

6·1 岩石、土壤和地下水系统.....	(147)
----------------------	-------

6.1.1 岩石	(147)
6.1.2 土壤	(148)
6.1.3 地下水	(150)
6.2 放射性物质在岩石、土壤和地下水中的物理、化学与生物学行为	(155)
6.2.1 放射性物质在岩石中的行为	(155)
6.2.2 放射性物质在土壤中的物理化学行为及其影响因素	(157)
6.2.3 放射性物质在地下水中的物理、化学及生物学行为	(159)
6.3 放射性物质在包气带及饱水带地下水中的迁移	(162)
6.3.1 地下水中物质迁移的基本理论	(162)
6.3.2 地下水中污染物的迁移方程	(167)
6.3.3 地下水中污染物浓度的计算	(168)
6.3.4 地下水中污染物迁移参数的确定	(171)
参考文献	(172)

第7章 放射性物质通过生物链向人的转移..... (174)

7.1 放射性物质的生物链转移	(174)
7.1.1 生物链转移的基本途径	(174)
7.1.2 放射性物质在生物体内的蓄积和平衡	(175)
7.1.3 影响放射性核素生物链转移及蓄积的因素	(176)
7.1.4 放射性核素食入量的估算	(180)
7.2 放射性物质的水生物链转移	(181)
7.2.1 水生物对放射性物质的吸收机制	(182)
7.2.2 水生物对放射性物质的蓄积	(182)
7.2.3 水生物体内放射性核素浓度的估算	(187)
7.3 放射性物质的陆地生物链转移	(188)
7.3.1 通过农作物的转移	(188)
7.3.2 通过动物类食品的转移	(198)
参考文献	(201)

第三篇 辐射环境管理 (202)

第8章 辐射防护、核安全和辐射环境管理 (202)

8.1 辐射防护中使用的量	(202)
8.1.1 放射性活度 A	(202)
8.1.2 吸收剂量 D	(202)
8.1.3 器官剂量 D_T	(203)
8.1.4 辐射权重因子 W_R 和器官当量剂量 H_T	(203)

8.1.5	组织权重因子 W_T 和全身有效剂量 E	(203)
8.1.6	待积当量剂量 $H_T(\tau)$ 和待积有效剂量 $E(\tau)$	(204)
8.1.7	剂量负担 $H_{C,T}$ 和 E_c	(205)
8.1.8	外照射监测中采用的当量剂量	(205)
8.1.9	集体当量剂量 S_T 和集体有效剂量 S_E	(206)
8.2	辐射防护的生物学基础	(206)
8.2.1	电离辐射的生物效应及危害估计	(206)
8.2.2	辐射危险及其可接受水平	(211)
8.3	辐射防护和核安全体系	(213)
8.3.1	辐射照射类型	(213)
8.3.2	照射源项、途径、剂量和效应	(213)
8.3.3	辐射防护的目标	(214)
8.3.4	实践的辐射防护体系	(214)
8.3.5	干预的辐射防护体系	(214)
8.3.6	排除和豁免	(215)
8.3.7	潜在照射的防护——核安全	(215)
8.4	辐射防护和核安全基本原则	(215)
8.4.1	实践的防护原则	(215)
8.4.2	干预的防护原则	(217)
8.4.3	潜在照射防护及核安全基本原则	(218)
8.5	辐射环境管理体系和标准	(219)
8.5.1	ISO 14000 环境管理体系	(219)
8.5.2	辐射环境管理的目标和原则	(222)
8.5.3	管理体系和审管控制	(224)
8.5.4	辐射环境管理标准	(225)
参考文献		(232)

第9章 辐射环境影响评价方法 (234)

9.1	概述	(234)
9.1.1	环境影响评价概论	(234)
9.1.2	辐射环境影响评价概论	(237)
9.2	环境辐射剂量的估算与评价	(243)
9.2.1	环境辐射剂量估算的整体模式	(243)
9.2.2	常规释放所致公众受照剂量的估算	(246)
9.2.3	事故释放所致公众受照剂量的估算	(254)
9.2.4	公众受照剂量的评价	(258)
9.3	辐射环境的健康危害评价和风险评价	(260)
9.3.1	辐射环境的健康危害评价	(260)

9.3.2 辐射环境风险评价	(262)
9.4 评价模式不确定度的估计	(267)
9.4.1 不确定度分析范围的确定	(267)
9.4.2 模式的可靠性检验	(268)
9.4.3 参数的不确定度分析	(270)
参考文献	(273)

第 10 章 放射性废物管理和核设施退役

(275)

10.1 放射性废物管理的目标和原则	(275)
10.1.1 放射性废物的分类和特点	(275)
10.1.2 放射性废物管理的目标和原则	(278)
10.1.3 放射性废物管理的基本步骤	(279)
10.2 放射性废水的管理	(281)
10.2.1 中、低放射性废水的净化处理	(281)
10.2.2 低放射性废水的排放	(285)
10.2.3 放射性废液的贮存	(286)
10.2.4 放射性废物的固化或固定	(287)
10.3 气载放射性废物的管理	(288)
10.3.1 气载放射性污染物的分类	(288)
10.3.2 粉尘与气溶胶的分离	(288)
10.3.3 碘同位素和放射性气体的去除	(289)
10.3.4 气载废物排放的控制管理	(290)
10.4 固体放射性废物的管理	(290)
10.4.1 固体放射性废物的去污和处理	(290)
10.4.2 固体放射性废物的包装、贮存和运输	(291)
10.4.3 固体放射性废物的处置	(291)
10.5 核设施退役	(292)
10.5.1 核设施的运行和退役	(292)
10.5.2 核设施退役过程	(293)
10.5.3 核设施退役的环境管理	(295)
参考文献	(297)

第 11 章 核事故应急

(298)

11.1 核事故与核应急	(298)
11.1.1 国际核事件分级制	(298)
11.1.2 核应急和应急状态	(299)
11.1.3 核应急管理的方针和政策	(300)

11.2	干预原则和防护措施	(301)
11.2.1	干预和干预原则	(301)
11.2.2	事故分期和照射途径	(301)
11.2.3	应急防护措施	(302)
11.2.4	干预水平和导出干预水平	(305)
11.2.5	应急照射的控制	(308)
11.3	应急组织、计划和准备	(308)
11.3.1	应急组织与指挥	(308)
11.3.2	应急计划	(309)
11.3.3	应急准备	(313)
11.4	应急环境辐射监测	(313)
11.4.1	应急监测的目的	(313)
11.4.2	早期应急监测	(313)
11.4.3	中后期应急监测	(314)
11.4.4	个人应急监测	(315)
11.5	事故后果的预测评价和干预决策	(315)
11.5.1	预测评价的目的和要求	(315)
11.5.2	影响事故后果的基本因素	(315)
11.5.3	事故剂量预测和干预决策	(316)
11.6	事故后期的环境恢复	(316)
11.6.1	应急状态的终止	(316)
11.6.2	事故后期的环境恢复	(317)
11.6.3	区域环境去污	(317)
11.6.4	放射性废物的运输和处置	(319)
	参考文献	(319)

第 1 章 绪 论

放射性物质是一种不断衰变、放出射线的特殊物质,它在地球形成之时就已经存在了。因此,地球上生命的孕育、进化、繁衍是在放射性辐射即电离辐射的参与下进行的。但是,自 20 世纪以来,特别是四五十年代,随着人类活动的扩展和科学技术的进步,环境中放射性物质的种类和数量也逐渐增加。对人类来说,放射性物质既是一种前景广阔的有用物质,又是一种潜在的有害物质,因而引起了人们的普遍关注,已成为核科学和环境科学研究的重要对象,并形成了一些新的学科分支,核环境学就是其中之一。

1.1 关于环境的若干基本概念

核环境学涉及许多环境科学的知识,因此,有必要对其中某些基本概念作一些简单介绍。

1.1.1 环境

1.1.1.1 环境的定义

不同的研究领域及其研究者对环境的定义或理解各不相同。广义地讲,环境是相对于中心事物而言的背景。在环境科学中,环境是指以人类为主体的外部世界,其主要指地球表面与人类发生相互作用的各个自然要素及其总体,它包括地球表层的陆地、海洋和大气层。这是人类和其它一些生物赖以生存和发展的物质基础,也是人类开发和利用的对象。

1.1.1.2 环境的分类

环境是一个多层次、多结构的复杂系统,可按不同的方法分类。环境按空间范围可分为居室环境、厂房环境、村落环境、城市环境、区域环境、全球环境等。环境的空间范围随着人类认识能力和活动范围的开拓而扩展,现在甚至把影响人类的宇宙因素也包括在内,称为宇宙环境。环境按组成要素可分为大气环境、水环境、土壤环境、岩石环境等。地质学中把环境分为大气圈、水圈、土壤-岩石圈,而地球上凡有生物生存的地方又统称为生物圈,它包括从大气圈对流层顶部到地壳风化层和成岩层底部。环境还可从生态学角度分为陆生环境、水生环境等。

1.1.1.3 环境的基本特性

作为以人类为主体的客观物质体系,环境具有如下四个基本特性:

(1) 整体性 环境的各个组成部分和要素之间构成了一个有机整体。在不同的环境空间中,大气、水体、土壤、植被等自然环境物质有着相对确定的分布及相互作用的关系,从而具有特定的结构。通过相对稳定的物质和能量流动网络和彼此关联的动态变化规律,环境在不同时刻呈现不同的状态,这种整体性使环境成为一个系统,故又称为环境系统。

(2) 区域性 环境的不同层次或不同空间的地域,其结构形态、组织状况、能量与物质流动的规模和途径、稳定程度等都具有相对的特殊性,从而显示出区域的特征。

(3) 变动性 环境在自然和人类活动的共同作用下,其内部结构和外在状态始终处于

不断变化的过程中。其中,人类的活动可以促进环境定向发展,也可能导致环境退化。

(4) 修复性 一个环境系统在一定的条件下和一定的时间内,表现为平衡状态。当受到自然或人类活动的影响而打破平衡时,就会引起环境结构和状态的改变。只要这种改变不超过一定的限度,环境系统具有一种自动调节功能,可使这些改变逐渐消失,其结构和状态恢复原来的面貌,即当出现改变环境平衡状态的条件时,平衡会向减弱这种改变的方向移动,这就是环境的修复性。但是,当这种改变超过一定限度时,改变就成为不可逆转的了。

1.1.2 环境物质

1.1.2.1 环境物质的定义

环境物质是指环境中存在的具有一定环境活性,并对生命物质可能产生各种直接或间接影响的物质。例如,水体及其所含的各种化学物质,大气及其所含的各种组分等。

环境物质可由自然因素或人类活动而释入环境,并在环境中发生迁移、转化和积聚,从而对人类健康、生态平衡或环境质量产生影响。

1.1.2.2 环境物质的种类

通常,按存在形态的不同,可把环境物质分为大气、水、岩石、土壤和生物等几个大类;还可按对人类、生态和环境影响的不同,分为有害物质和无害物质两大类。

环境有害物质是指对人类健康、生态平衡或环境质量产生不利影响的各種环境物质。但是,有害与无害是相对的、发展的和变化的,随着数量和存在状态的改变,有害物质和无害物质之间可能发生相互转化。例如,硒是人体必需的一种微量元素,但环境硒含量过低或过高均对人体健康有害;又如,汞是有害毒物质,但由于土壤中的无机汞不易被植物吸收,因此对人体危害相对较小,而有机汞则相反,对人体危害很大。

环境有害物质剂量与人体健康效应之间的关系呈现三种类型:

①直线型,即人体健康效应与剂量呈正比关系;

②饱和型,即人体健康效应随剂量增加而增大,达到一定程度后,基本上不再随剂量而变化;

③S曲线型,即人体健康效应随剂量增加开始变化不明显,当剂量增加到一定程度后变化显著,而后随剂量增加又基本不变。大多数环境有害物质的剂量-效应关系呈S曲线型。

1.1.2.3 环境有害物质的综合效应

当两种或两种以上的环境有害物质共同作用时,可出现四种不同的综合效应:

①协同效应,即总的环境效应大于单个有害物质的环境效应之和;

②叠加效应,即总的环境效应等于单个有害物质的环境效应之和;

③独立效应,即各个有害物质的环境效应互不影响;

④拮抗效应,即总的环境效应小于任何单个有害物质单独的环境效应。

环境有害物质的剂量-效应关系和综合效应对环境质量评价有着重要的意义。

1.1.3 生态

1.1.3.1 生态的含义

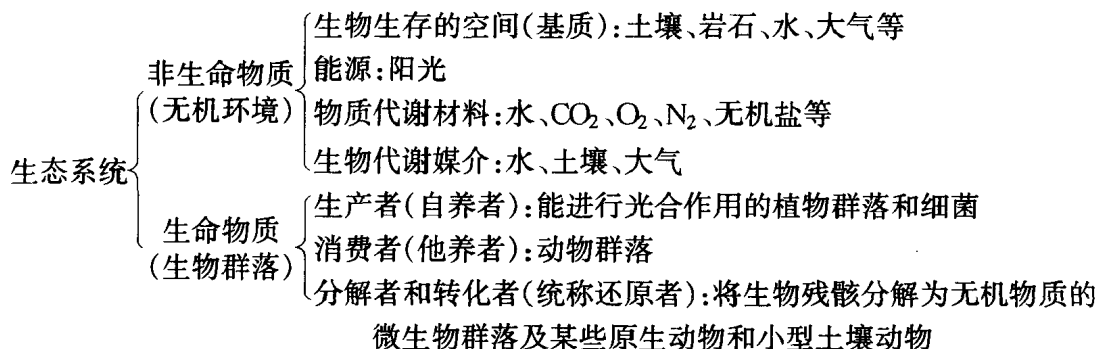
每一种生物或其群落都有自身的生存条件,它与其它生物、生物群落及周围环境有着错综复杂的联系,相互之间通过各种方式进行能量和物质的交换。所谓生态,就是指生物在其

生存环境中所处的状态以及它们与环境之间的相互关系。因此,生态不仅包括大气、水、土壤等非生命物质环境(即无机环境),也包括各种生物组成的生命物质环境(即生物群落)。

1.1.3.2 生态系统

生态系统是指生物群落与无机环境在一定空间范围内进行能量和物质的交换以及相互作用、相互制约所构成的统一整体。

生态系统形形色色,大小各异。池塘、村落、河流、草原、森林都是生态系统。一个复杂的大生态系统可以包含许多小的生态系统,整个生物圈则是最大的生态系统。一个生态系统的组成大致如下:



生态系统各个组分之间的相互关系如图 1.1 所示,它们既相互作用,又相互制约,不断进行能量的流动和物质的交换及循环。生物的重要组成成分如碳、氢、氧、氮、磷及其它生命元素,都通过生态系统进行循环。

1.1.3.3 食物链和食物网

食物链是生态系统中以食物营养为纽带联系起来的生物之间食与被食的连锁关系。

食物链可按不同方法进行分类。按食与被食的特性可分为捕食性食物链、寄生性食物链和碎食性食物链;按生态系统的特性可分为陆生食物链和水生食物链等。

食物链的每一个环节叫做营养级。绿色植物为第一营养级;食草动物为一级消费者,属第二营养级;以一级消费者为食物的食肉动物为二级消费者,属第三营养级;以二级消费者为食物的动物为三级消费者,属第四营养级,依此类推。通常,一个食物链由 4~5 个营养级组成,如最典型的水生食物链为:水—浮游植物—鱼—食鱼动物。

食物链只是简单描述生物间食与被食的关系,实际上多数动物的食物来源不是单一的,因此食物链之间会相互交叉联接,构成错综复杂的网状关系,称为食物网。在环境辐射效应研究时,应特别注意放射性核素在食物链或食物网迁移过程中的富集情况。

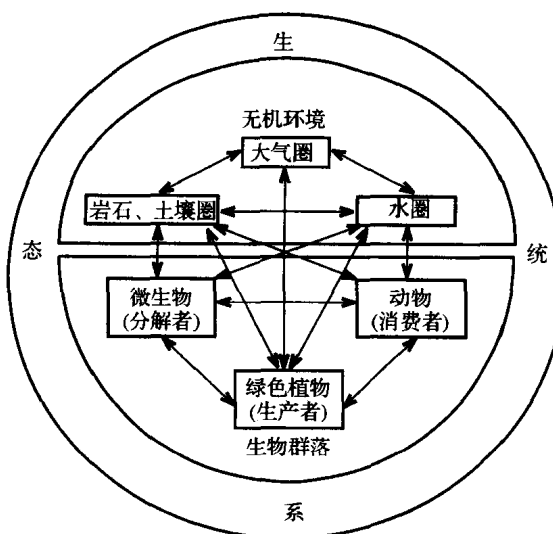


图 1.1 生态系统各组分之间的相互关系

1.1.4 环境的污染与保护

1.1.4.1 环境污染

环境污染是指有害物质进入环境,经过扩散、迁移、转化和积聚,引起环境系统结构和功能的改变,导致环境质量下降,对人类或其它生物的正常生存和发展产生不利影响,这种现象就是环境污染。引起环境污染的物质或因子称为环境污染物或环境污染因子,它按形态有气、液、固及热、声、辐射等不同种类。向环境排放污染物或对环境产生有害影响的场所、设备和装置等,称为环境污染源。

环境污染按其涉及的环境要素可分为大气污染、水污染、土壤污染等;按污染范围可分为局地污染、区域污染及全球性污染等;按污染物的性质可分为化学污染、物理污染、生物污染等;按污染产生的原因可分为生产性污染和生活性污染等。

1.1.4.2 环境自净

所谓环境自净,实际上就是环境的修复性,是指环境受污染后,在自然条件下,在有限的时间内,污染物浓度或总量降低到不产生危害的程度。环境自净按其机理可分为:

(1) 物理自净 通过扩散、混合、稀释、淋洗、挥发、沉降、吸附等物理作用,使环境中的污染物得以净化的过程,称为物理自净。物理自净的能力除与污染物的物理性质(如粒度、相对密度、形态、表面活性等因素)有关外,还取决于环境的物理条件(如温度、气流、降水及地理条件等)。

(2) 化学自净 通过污染物与环境物质或不同污染物之间的化学反应(如氧化、还原、化合、分解、络合、离子交换、化学吸附等),使环境中的污染物得以净化的过程,称为化学自净。化学自净能力除取决于污染物的化学性质和化学形态外,还与环境物质的酸碱度、氧化还原电位、温度和化学组成等因素有关。

(3) 生物自净 通过自然界中的生物对环境污染物的吸收、降解、转化、富集等作用,使之得以净化的过程,称为生物自净。生物自净能力除与污染物有关外,主要取决于生物的种类、环境温度和供氧状况等。

某一环境自净能力的大小是估计该环境可容纳和消解污染物(废物)最大负荷量的重要因素。

1.1.4.3 环境保护

环境保护系指人类为解决现实的或潜在的环境问题,维持自身生存和发展而进行的各种具体实践活动的总称。

自 20 世纪 50 年代以来,由于工农业的迅速发展和对自然资源的盲目开发,使环境遭到了严重污染和破坏,环境质量急剧下降,生态平衡严重失调,环境问题已成为危及人类健康,制约经济发展和文明进程的全球性问题。世界各国纷纷采取科学技术、行政管理、司法、经济、宣传、教育等各种环境保护措施,努力防治环境污染,合理利用自然资源,逐步重建人类与环境之间的依赖关系,促进社会与环境的协调发展。

1.2 核能与环境

1.2.1 能源需求与危机

能源是人类社会的生命线,是满足人类基本需求,支持和促进经济发展,不断提高生活水平的重要因素。随着人类文明程度的不断提高,全世界能源消耗持续上升,石油、煤、天然气等化石燃料的使用量已增长到了空前的水平。但地球上的化石燃料是有限的,表 1.1 列出了能源的贮量和年生产量,由这些估计推算,目前全球化石燃料中石油只够用 30 多年,天然气 50~60 年,煤 200 余年,全球能源正面临着化石燃料枯竭的危机。

表 1.1 世界能源贮量和年生产量(10^9 吨石油当量)

石 油		天 然 气		煤		水力发电	核电
储量	年生产量	储量	年生产量	储量	年生产量	年生产量	年生产量
96	2.7	90	1.6	496	2.2	0.5	0.34

能源的生产和利用带来了严重的环境问题,化石燃料的燃烧向环境排放大量的 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 、烟尘、重金属、苯并芘等毒物(见表 1.2),已造成了酸雨、温室效应、臭氧层破坏等严重的环境问题,能源正面临着环境问题的挑战。

表 1.2 1GW 电站的废物排放量^①($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)

	石油 ^②	煤 ^③	木柴	天然气
气载排放				
CO_2	5×10^6	7×10^6	5.7×10^6	3.5×10^6
CO	700	1.2×10^3	1.5×10^4	200
碳氢化合物	500	350	1.5×10^4	30
NO_x	2.1×10^4	1.9×10^4	1.5×10^4	2×10^4
烟尘	20	1.6×10^3	200	300
SO_x ^④	1×10^4	1.2×10^4	1.7×10^3	15
重金属	10	50	70	0
固体废物				
除尘器捕集的灰 ^⑤	2×10^3	2.3×10^5	1.7×10^4	0
脱硫产物	3.6×10^5	4.4×10^5	—	0

①取自瑞典能源委员会和美国核管理委员会的数据;②3%硫,无灰;③3%硫,10%灰;④燃油、燃煤装置的脱硫效率为 90%;⑤除尘器的除尘效率为 99%。

此外,石油、煤是重要的化工原料,作为燃料使用是对资源的极大浪费。因此,目前全球的当务之急是寻求解决能源、环境和经济这个“三维难题”的有效途径。

1.2.2 核能的前景

自 1954 年前苏联第一座试验性核电站建成以来,核电事业虽然几经反复和曲折,但始

终在向前发展着。即使发生了1986年4月震惊世界的前苏联切尔诺贝利核电站事故,世界核电生产仍呈现增长的势头(表1.3)。据国际原子能机构(IAEA)1997年的统计,全世界核电的发电量为22764.9亿kW·h,占总发电量的17%,比1958年全世界总发电量还多19.1%,有3个国家的核电比例已超过60%(其中立陶宛为81.5%,法国已超过78%),有6个国家接近或超过40%。

表 1.3 世界核电增长情况和前景预测^①

	1984	1986	1988	1990	1997	2000
运行堆数(台)	345	397	417	424	437	
总装机容量(GW)	219.7	273.8	296.9	324.5	352.2	497~646

① 见 IAEA 各年的新闻公报。

近十几年来,核电一直受到反核运动的冲击。1979年美国三里岛核电厂事故和1986年前苏联切尔诺贝利核电厂事故的发生,在全球范围内掀起了两次声势很大的反核浪潮,但核电并未被摧垮,这充分说明了其强大的生命力和科学的必然性。

核电是一种安全的能源,它发生事故的概率和危险性均比石油、煤、交通等行业的小,在迄今最严重的切尔诺贝利核电厂事故中,也仅造成31人死亡,远比不上一次大的煤矿事故或化学毒物污染事故。核电是一种清洁的能源,它几乎不产生CO₂、NO_x、SO₂等有害气体,因而对改善当前日趋严重的环境问题具有重大意义。因化石燃料燃烧,全球每年排放CO₂约50亿吨(按碳计),而核电的发展已使CO₂的排放量减少了10%。在法国,从1980年到1987年,核电增加2倍多,CO₂排放量减少了2/3,对改善法国的环境状况起了良好的作用,与污染严重的英国(燃煤发电占70%)形成鲜明的对比。此外,核电还是一种经济的能源,成本可与煤电、油电相竞争。目前,核电是唯一已经成熟而且最有希望替代化石燃料,解决能源危机的一种能源。

1.2.3 核能对环境的影响

目前,核电的发展还存在很大的阻力,核电的安全性及可能造成的放射性污染问题仍是公众怀疑和关注的焦点。毋庸讳言,核电生产和其它能源一样,也存在环境问题,除热污染、占用土地、普通污染物的排放等问题外,放射性流出物排放对环境特别是人类健康可能造成的影响是公众最为关注的问题。具体来说,它包括核电厂在正常运行和事故情况下放射性核素的排放以及放射性废物最终处置的潜在环境污染问题。

图1.2所示为轻水反应堆核燃料循环,它包括铀矿石的开采、水冶、转化、铀同位素浓缩、元件制造、反应堆运行及乏燃料后处理等环节,其中每一环节都不同程度地向环境排放少量的放射性物质。这些放射性污染物可通过各种环境途径对人类造成危害,其中大多数放射性物质因其所含核素半衰期较短,或因其环境中迁移速率较小,只可能造成局地或区域性影响,只有少数长寿命核素及在环境中迅速弥散的核素,才可能产生全球性影响。

但是核工业与其它工业最大的不同点在于它从创建开始就十分重视核安全和环境问题。核电厂从设计、建造到运行每个环节都制订了严格的控制标准,力求将危害降低至可合理达到的尽可能低的水平,并由各级核安全及辐射环境管理监管机构实行监督。尽管如此,