

核辐射环境管理

HEFUSHE HUANJING GUANLI

刘宁 主编



人民教育出版社

核辐射环境管理

HEFUSHE HUANJING GUANLI

刘宁 主编



人 民 大 学 出 版 社

责任编辑：宰艳红

封面设计：黄桂月

责任校对：史 伟

图书在版编目（CIP）数据

核辐射环境管理 / 刘宁 主编. — 北京：人民出版社，2014.2

ISBN 978-7-01-013174-0

I. ①核… II. ①刘… III. ①辐射环境—环境管理 IV. ① TL7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 026914 号



核辐射环境管理

HE FUSHE HUANJING GUANLI

刘 宁 主编

人民出版社 出版发行

（100706 北京市东城区隆福寺街 99 号）

北京汇林印务有限公司印刷 新华书店经销

2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月北京第 1 次印刷

开本：710 毫米 × 1000 毫米 1/16 印张：20.75

字数：290 千字

ISBN 978-7-01-013174-0 定价：45.00 元

邮购地址 100706 北京市东城区隆福寺街 99 号

人民东方图书销售中心 电话（010）65250042 65289539

版权所有·侵权必究

凡购买本社图书，如有印制质量问题，我社负责调换。

服务电话：（010）65250042

目 录

第一章 绪 论	1
一、核辐射环境问题及产生根源	1
二、核辐射环境管理目的和任务	3
1. 核辐射环境管理目的	3
2. 核辐射环境管理任务	3
三、核辐射环境管理的发展趋势	5
第二章 核辐射基本物理常识	10
一、核辐射相关历史人物和事件	10
1. 核辐射相关历史人物	10
2. 核辐射相关历史事件	13
二、电离辐射常用物理量	13
1. 放射性活度	13
2. 照射量	14
3. 吸收剂量	15
4. 剂量当量	15
三、主要电离辐射射线及穿透特征	15

1. γ 射线	16
2. X 射线	16
3. α 射线	17
4. β 射线	18
5. 中子或者质子射线	19
第三章 核辐射在环境中迁移转化规律	20
一、土壤中核辐射迁移转化规律	20
1. 土壤中核辐射的来源	20
2. 影响土壤核辐射污染的重要因素	21
3. 土壤中核辐射的迁移转化	23
二、大气中核辐射迁移转化规律	26
1. 大气中核辐射的反应	26
2. 大气中放射性核素的沉降和再悬浮	27
3. 大气中放射性核素对公众的照射	28
三、水中核辐射迁移转化规律	28
1. 水中的放射性核素	28
2. 地表水体中放射性核素的物理化学反应	29
3. 地下水体中放射性核素的物理化学反应	31
四、食物链中核辐射迁移转化规律	32
1. 食物链中的放射性核素的迁移转化	32
2. 影响放射性核素迁移转化和蓄积的因素	32
五、人体中核辐射的迁移转化规律	34
1. 放射性核素进入人体的方式	34
2. 放射性核素在人体内的分布蓄积和排除	35
第四章 核辐射损伤机理及对人体健康影响	37
一、电离辐射的作用方式	37

1. 外照射	37
2. 内照射	38
3. β 放射性核素体表沾染	38
4. 复合照射	38
二、电离辐射的损伤效应	38
1. 确定性效应	39
2. 随机效应	43
三、电离辐射生物效应机制	46
1. 带电粒子对生物体的作用	46
2. γ/X 射线对生物体的作用	47
3. 辐射所致生物作用的分子机理	47
四、影响电离辐射机体损伤的影响因素	49
1. 辐射因素	49
2. 机体因素	50
五、放射性核素对人体的影响	51
六、职业放射性疾病	55
1. 外照射急性放射病	56
2. 外照射亚急性放射病	57
3. 外照射慢性放射性病	57
4. 内照射放射病	58
5. 放射性复合伤	59
6. 放射性皮肤损伤	59
 第五章 对射源、射线装置等分类管理办法	61
一、放射源分类	61
1. 按放射线类型分类	61
2. 按危害程度分类	62
3. 按封装方式分类	63

4. 放射源编码	65
二、射线装置分类	72
1. 分类原则	72
2. 我国的射线装置分类	72
3. 具体射线装置分类介绍	73
三、非密封源工作场所分级	80
第六章 核反应堆技术介绍	81
一、核电技术发展历史	81
二、第二代主要核反应堆	83
1. 压水堆	83
2. 沸水堆	84
3. CANDU 重水堆	86
4. 石墨水冷堆	88
三、第三代主要核反应堆介绍	90
1. ABWR 核电技术安全设施简介	90
2. AP1000 核电技术安全设施简介	91
3. EPR 核电技术安全设施简介	93
四、第四代核反应堆简介	94
五、日本福岛第一核电站沸水堆技术安全性分析	102
六、我国代表性堆型技术安全性分析	105
1. 我国核电站简介	105
2. CPR1000 核电技术安全设施简介	110
第七章 放射性废物的处理技术	113
一、放射性固废处理技术	113
1. 固化技术	113
2. 减容技术	118

二、放射性废液处理技术.....	121
1. 放射性废液的来源及特点	121
2. 放射性废液的处理方法	122
三、放射性废气处理技术.....	134
1. 加压贮存处理	135
2. 活性炭滞留床吸附	136
3. 结论	139
四、放射性污染去污技术.....	139
1. 概念	139
2. 主要放射性污染去污技术介绍	139
3. 放射性污染去污技术发展趋势	144
五、案例—核电站三废处理系统介绍.....	145
1. 大亚湾核电站放射性废物的处理技术	145
2. 大亚湾核电站放射性废物管理体系	148
3. 放射性废物管理中遵循的原则	152
4. 大亚湾核电站放射性废物管理现状及挑战	156
 第八章 核辐射环境安全与管理.....	 157
一、辐射防护原则	157
1. 正当化原则	157
2. 最优化原则	158
3. 限值化原则	159
二、辐射防护监测	160
三、辐射防护管理	161
1. 辐射防护管理的一般规定	161
2. 辐射照射控制管理	162
3. 辐射工作人员的健康管理	162
4. 辐射事故管理	163

5. 放射性物质管理	163
6. 我国辐射环境管理的现状与不足	164
四、我国辐射环境管理机构构建及内容	166
1. 环保系统四级管理的职责分工原则	166
2. 辐射安全许可证两级颁发	168
五、我国辐射环境管理的法律构架	169
六、放射源监管	171
1. 放射源的风险	171
2. 放射源监管的目的和方法	171
3. 放射源监管——现场监督检查的要求	172
七、核电环境管理	173
1. 规范文件	173
2. 中国核电厂许可证管理程序	173
八、核电发展规划	176
1. 《国家核电发展专题规划（2005—2020 年）》	176
2. 《核安全与放射性污染防治“十二五”规划 及 2020 年远景目标》	178

第九章 案例：日本福岛核电站事故

180

一、福岛核电站的事故发生与进展	180
1. 福岛核电站的概要	180
2. 福岛核电站安全保证方面的状况	181
3. 福岛核电站地震发生前的运行状况	182
4. 福岛核电站的事故发生与进展	182
5. 福岛核电站各机组的相关状况	184
6. 其他核电站的状况	191
7. 福岛核电站事故的特征	192
二、反应堆灾害的应急响应	192

1. 事故后的应急响应	192
2. 环境监测的实施	194
3. 农产品、饮水等的响应措施	194
4. 追加防护区域的应对	195
三、辐射环境影响分析	195
1. 放射性物质向大气中释放量的分析评价	195
2. 放射性物质在海水中的释放量分析评价	196
3. 放射性辐射剂量的状况	196
四、事故的信息交流	197
五、善后工作	199
六、国际反应	201
1. 国际帮助	201
2. 各国对事故的政策反应	201
七、福岛核事故的结论与教训	204
1. 福岛核事故调查结论	204
2. 福岛核事故教训	206
八、对我国的启迪	217
附 录	222
A. 放射源分类表	222
B. 常见放射源分类简表	224
C. 《广东省核电厂环境保护管理规定》 (1996 年 10 月 1 日起施行)	226
D. 《核电厂核事故应急管理条例》	230
E. 《中华人民共和国放射性污染防治法》	238
F. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》	249
G. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》	264
H. 《电磁辐射环境保护管理办法》	276

核辐射环境管理

I.《关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求》.....	282
J.《国家核电发展专题规划（2005—2020 年）》.....	287
K.《核安全与放射性污染防治“十二五”规划 及 2020 年远景目标》.....	299
参考文献.....	321
声明	324

第一章 绪 论

一、核辐射环境问题及产生根源

核能的和平利用是 20 世纪人类的伟大成就之一。自从 1954 年前苏联建成世界上第一座实验核电站以来，截至 2012 年 11 月，全世界共有 437 台核电站机组在运行，在建机组 64 座，全世界在运行的机组总装机容量达 371 762 兆瓦。2011 年全球的核发电总量约占全球总发电量的 13.5%。核电与火电、水电一起，成为世界三大电力供应支柱。

近 60 年的历史证明，核电是高效、清洁、安全和经济的能源，具有资源消耗少、环境影响小和供应能力强等许多优点。发展核电是我国社会不断发展和人民生活水平不断提高的需要，也是优化我国能源结构、缓解环境污染和保证能源安全的需要。

我国从 20 世纪 70 年代开始提出发展核电，80 年代开始建设，90 年代建成第一批秦山和大亚湾两座核电站 3 台核电机组。进入 21 世纪后，我国又陆续建成 4 座核电站 8 台核电机组，使我国核电装机容量达到 906.8 万千瓦。2005 年，我国的核电发展方针由“适度发展”调整为“积极发展”。其后，一批新的核电项目被批准建设或列入规划。2007 年 10 月，国务院正式批准了国家发展改革委上报的《国家核电发展专题规划(2005—2020 年)》(以下简称《规划》)，标志着我国核电发展进入了新的阶段。

根据《规划》到 2020 年我国核电装机容量将达到 4 000 万千瓦，在建核电机组 1 800 万千瓦。

随着核能越来越多的被利用，与之相应产生的核辐射问题也就进入了大众和科研人员的视野，成为一个新兴研究课题和热门话题。

核辐射应用领域很广，如今核辐射已经广泛用于工业、农业、医疗等各方面。例如：物质材料的辐照保鲜、辐射育种、辐照杀虫医疗方面的 X 光、CT 检查、放疗、 γ （伽马）刀； γ 照相测定分析物体，如考古的年龄测量和刑事侦查等。

核与辐射安全问题伴随着人类核能开发与核技术利用而产生，主要是从事核能和核技术利用的单位在选址、设计、建造、运行和退役各个环节中留下的隐患和缺陷造成的。由于现实核风险的存在，在从事核能开发和核技术利用活动时，必须采取有效措施保证放射性物质不对人员、环境和社会带来危害。因此，在核能开发和核技术利用的各个阶段都必须坚决贯彻“安全第一”的方针，特别强调要有保守设计、高标准制造和严格质量保证，在选址、设计、建造、运行和退役的每个环节都高度重视核与辐射安全。

2011 年 3 月的日本福岛核电站核泄漏事故虽然已经过去 1 年多，但它的影响却远没有结束，世界各国民众陷入对核电的恐慌之中，反核电的浪潮席卷全球。从面临核泄漏威胁的日本，到核利用比重最高的法国，再到工业发达的德国，能源缺乏的意大利，反对核电的万人大规模集会游行无处不在。而支持核电发展的人，不屑反对者“一朝被蛇咬，十年怕井绳”的心态。毕竟，现阶段对不少国家来说，在还未找到比核电更清洁更具效率的替代能源之前，发展核电仍是首选。因此，大幅度提高核辐射环境管理成为当务之急。

回顾 2011 年 3.11 福岛事故，当时我国出现了大面积的核辐射恐慌，部分地区甚至上演了“抢盐风波”闹剧。这些事实表明，我国核电发展 20 多年来，虽然各级政府、核电企业及行业协会开展了各种形式的核辐射环境管理措施、核安全信息公开和公众宣传活动，虽然取得了相当成

效，但核辐射环境管理工作仍然存在很多问题，亟须提高我国核辐射环境管理水平。

3.11 福岛事故的发生，是一个大灾难后核辐射环境管理工作处理和开展的集中案例，值得深入研究和思考。福岛事故的发生凸显了当前我国核辐射环境管理水平不高，核安全信息公开与公众需求之间存在着较大差距，警示我们如果公众宣传工作不扎实，信息公开工作滞后，就可能丧失稳定民心的最好时机，导致核能利用的停滞。核辐射环境管理整体水平不高，专业知识不普及，都加剧了社会对核安全的焦虑和恐慌情绪。因此，政府部门应积极提高核辐射环境管理水平、及时发布权威的环境信息，普及专业知识，澄清事实真相，是遏制传言和谣言流布，消除公众“辐射恐慌”心理的最好办法。重视核辐射环境管理，深入开展核安全信息公开工作，创新核辐射环境管理机制和方法，将核辐射环境管理推向长期化、常态化、专业化，与核电建设规划“并驾齐驱”，必将成为未来一个时期国家核安全监管机构及各相关组织的重要工作中的重要研究课题。

二、核辐射环境管理目的和任务

1. 核辐射环境管理目的

为改善我国能源供应结构、保障国家能源安全、经济安全、安全发展我国核电事业，核辐射环境管理主要目的是全面调整能源政策，制定合理的核电发展计划，并通过采取各种措施确保核电技术安全、核电规划安全和核电监管安全。核辐射环境管理的目的还包括为核电企业建立和营造浓郁的核安全文化氛围，同时加强核电信息公开和安全科普宣传，研究放射性废物处理技术，合理借鉴国外核辐射环境管理的先进理念、制度和政策，以及在社会层面上宣传核辐射知识，使民众支持核电事业的发展。

2. 核辐射环境管理任务

结合我国现阶段核辐射环境管理的现状，核辐射环境管理的主要任务包括以下五点：

(1) 反馈福岛核事故经验，全面排查运行和在建核电站的安全。结合福岛核事故一周年系列活动，密切关注日本福岛核泄漏的最新情况和应对措施，全面分析日本福岛核电站事故的发生及演变过程，总结这一事件给核电站设计、建造和运行带来的启示，认真汲取和深入剖析此次福岛核电站事故的经验，加强对核电站设计、建造、运行等各个环节的管理，尤其针对各种自然灾害做好应对预案，确保中国核电事业的健康发展。

(2) 完善核事故应急预案，建立高效协调的核事故应急体系。为确保核事故的应急工作，必须建立包括监督监测、应急监测、能力建设等在内的的工作。在确定核电厂址后，应做好周围辐射环境本底值的调查，为核电投运的环境影响评价积累相关的数据，加强各级环保部门对核电站辐射环境监测的预警能力和监控水平，为核电站运行对周围环境和人员的影响建立“一本账”。需要建立和加强相应的核应急机构，并配备专业的应急队伍，包括辐射监测、辐射防护、去污洗消、医疗救护等，确保核应急工作高效、有序地开展和实施。

(3) 编制核安全规划，使核安全监管事业和核电事业同步发展。安全始终是核电发展的前提和最高原则，我国的核电站绝大多数采用改进后的二代核电技术，核电站的选址更加保守、安全，均远离地质断裂带，建在稳定的基岩上；它们的抗震标准、防洪标准等都做到了“高一级”设防。但是核电安全无小事，应充分吸取日本福岛核泄漏事故的经验教训，多管齐下，进一步提高核电的安全系数。把在役核电站管得更好，在建核电站建得更可靠，拟上的核马电站考虑得更周全，力争使核能利用能够更好、更快、更安全的发展。

(4) 加强核安全科研工作，为发展核电提供技术保障。应该加强国家和省级层面对核安全应急处理等方面的科研工作，日本福岛事故应急工作中出现的问题，包括放射性废水的应急处理和排放技术、抗辐射机器人的研发等都可以作为下一步研究和改进的技术方向，强大的科研支撑可以为核电的安全、有效发展提供有力的技术保障。

(5) 加强核安全宣传教育，培育核安全文化。公众对核能利用安全的

信心是核电发展得到支持的前提,也将贯彻和体现在核电选址、建造、运行和退役的各个阶段。应加强对核电知识的普及和公正客观的公众宣传,可以通过制作科普手册和光盘、参观访问核电站、网络访问等形式,使公众对核电有正确的认识,消除对核电的恐惧感。

三、核辐射环境管理的发展趋势

中国核事业虽然起步较晚,但发展迅速。中国政府在核事业发展之初,就非常重视核与辐射安全工作,明确提出了“安全第一、质量第一”的基本方针。步入新世纪,我国已经成为全球最活跃的经济体之一,在日益增长的能源需求和绿色发展的双重压力下,积极发展核能已经成为现阶段我国能源发展的必然选择。而核与辐射安全问题关系到公众生命安全和经济社会稳定,关系到核事业发展成败,因此成为了核辐射环境管理的重中之重。

核与辐射安全是国家安全的重要组成部分,是核事业建设和发展的生命线也是基本要求和重要保障。只有保证核与辐射安全,才能保证核事业建设和发展有最大的环境效益、经济效益和社会效益。历史上每一次重大核与辐射安全事故都会影响核事业发展。美国三哩(里)岛和苏联切尔诺贝利核事故带来的巨大损失和严重灾难,严重挫伤了公众对核能安全利用的信心,甚至在相当长一段时间里使人“谈核色变”。这种恐“核”心理至今仍在部分人群中存在。在我国核事业发展史上,曾出现过控制棒驱动机构密封渗漏、反应堆堆内构件损坏等运行事件,在核技术利用方面,也多次出现放射源丢失和卡源等事件。虽然这些事件都得到了妥善处理,没有酿成事故,但其揭示的核风险仍需引起高度警惕。

2011年日本福岛事故发生后,世界主要核电国家及机构给予了高度关注。我国在福岛事故后国家核安全局立即启动了应急机制,要求各省辐射环境监测机构启动辐射应急监测程序并报送监测数据,同时在环保部网站每日公开。在3月16日的国务院会议决定对我国核设施进行全面的安

全检查后，国家核安全局、国家能源局和中国地震局联合对我国民用核设施开展了检查。检查组的初步结论认为，我国核电厂、民用研究堆和民用核燃料循环设施的安全是有保障的。

多年来，中国核与辐射安全监管始终秉持“安全第一”、“质量第一”的理念，坚持从经济社会发展全局出发、从国家宏观战略层面着眼、从再生产全过程入手，不断强化监管机构、充实人才队伍、创新技术手段、完善法规体系，初步建立了一套基本适合我国国情并与国际接轨的核与辐射安全监管体制机制，对确保核与辐射安全发挥了重要作用。但也要清醒地看到，我国核与辐射安全监管在法规标准制度建设、技术保障能力建设和监管人才队伍建设等方面，与面临的形势和任务相比，还相对滞后。日本福岛核事故所暴露出的核辐射环境管理中的问题，在我国也有所体现，主要包括以下五点：

(1) 运行多年的各类核设施安全设计标准低、设备老化，存在现实的核安全风险。

我国核电起步时就存在着多国引进、多个堆型、多类标准和多种技术共存的局面，导致反应堆工艺不同、系统不同、运行和管理模式不同，操作运行、安全管理缺少可直接借鉴的经验，加上营运者经验、技术、安全素养、管理等方面的限制，核电厂多次发生重大不符合项和运行事件。

我国现有各类在役民用研究堆 17 座，另外还有核燃料前、后处理等较多其他核设施。这些核设施分布广、投运时间长、技术差别大，而且普遍存在安全设计标准低、设备和部件老化、经费不足、运行队伍不稳、管理落后等问题，运行故障和事件频度上升。尽管这些设施放射性物质储量相对较少，发生事故后所产生的实际环境影响也比核电厂小，但这些设施自身安全隐患多，事故发生概率较高，所产生的经济、政治和社会影响同样不可低估。

(2) 核电快速发展所必需的人力不足，潜在的核与辐射安全风险日益增加。

截止到 2009 年，我国已有 11 台核电机组投入运行，另有 22 台机组