

DIANLI FUSHE FANGHU HE FUSHEYUAN ANQUAN

电离辐射防护 和辐射源安全

(上册)

潘自强 程建平 等 编著



原子能出版社

电离辐射防护和辐射源安全

(上册)

潘自强 程建平 等 编著

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

电离辐射防护和辐射源安全/潘自强,程建平等编著. —北京:原子能出版社,2007. 4

ISBN 978-7-5022-3881-0

I. 电… II. ①潘… ②程… III. ①电离辐射—辐射防护 ②电离辐射—辐射源—安全技术 IV. R14
TB98

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 031331 号

内 容 简 介

本书内容系统全面,共分为 7 篇 22 章。第 1 篇为辐射防护基础,包括绪论、原子核与放射性的物理基础、辐射防护常用的量和单位、电离辐射的生物效应、辐射和剂量测量、天然辐射源和人工辐射源等 7 章;第 2 篇为辐射防护体系,包括辐射防护体系 1 章;第 3 篇为辐射照射评价与防护,包括外照射监测与评价、内照射监测与评价、职业照射防护、医疗照射防护、公众照射防护、人为活动引起的天然辐射增加的防护和关于放射工作人员的健康管理等 7 章;第 4 篇为实用辐射防护,包括核设施辐射安全、放射源和射线装置辐射安全和放射性物质运输辐射安全等 3 章;第 5 篇为放射性废物管理,包括放射性废物管理 1 章;第 6 篇为应急照射的防护,包括应急照射的防护和在持续照射情况下公众的防护 2 章;第 7 篇为非人类物种的电离辐射防护,包括非人类物种的电离辐射防护 1 章。由于辐射防护是一门实用性的学科,其中较大篇幅描述了实际的辐射防护问题,同时对本学科的发展和动向也作了具体详尽的论述。

本书可供辐射防护、环境保护及相关领域的管理人员和科研人员参考使用,也可作为研究生和大学高年级学生的教学用书。

电离辐射防护和辐射源安全

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)

责任编辑 谭俊

责任校对 李建慧

责任印制 丁怀兰

印刷 保定市中国画美凯印刷有限公司

经销 全国新华书店

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 63.125

字数 1578 千字

版次 2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5022-3881-0

定价 188.00 元 (上、下册)

《电离辐射防护和辐射源安全》 编委会

主任委员:潘自强

副主任委员:程建平

委员:(以姓氏笔画为序)

马吉增	孙全夫	李君利	任天山	朱捷
刘森林	吴其反	张永兴	张建岗	范深根
罗上庚	陈竹舟	陈德淦	周永增	周镇兴
郑钧正	赵亚民	高起发	郭秋菊	潘英杰

前 言

我国核工业发展经过五十多年的历史,取得了举世瞩目的成就,成为当今世界的核大国之一。为了保证核事业的安全和顺利发展,必须要有一定数量和质量辐射防护人员。我国辐射防护人员除少数毕业于辐射防护专业外,主要来自物理、化学、工程、生物和医学等专业。无论从数量上还是质量上,都与发达国家相差很远。

1956年清华大学工程物理系建立,即设立了剂量防护教研组,承担着培养辐射防护高级专门人才的任务,为国家培养了一大批辐射防护方面的人才。80年代,核工业处于低潮,工程物理系进行了学科结构调整,停办了剂量防护专业。

“九五”期间,工程物理系恢复了“辐射防护和环境保护”学科,建立了辐射防护与环境保护研究室,从事如何使人类免受或少受辐射危害,并从辐射中受益的综合应用性科学研究。主要研究方向为辐射防护及监测、生物效应及保健、环境保护及管理。研究室先后聘请了李德平、毛用泽、潘自强院士等国内知名专家为兼职教授,时任美国NCRP主席MEINHOLD为客座教授,现有教授2名,副教授2名,在读博士生5名,硕士生5名。负责“辐射防护与保健物理”、“辐射与人类生活”、“辐射安全及测量”、“ γ 能谱分析技术”、“放射治疗物理学”、“环境地球化学”等课程的教学工作和学校放射性防护室工作。目前已发表论文50余篇。研究室已建成:(1)蒙特卡罗方法研究中心;(2)室内环境质量监测和评价中心;(3)低本底测量实验装置。研究室的目标是以辐射剂量研究为核心,开展辐射测量技术、蒙特卡罗模拟技术、医学物理与工程等方向的应用研究,加强国际交流与合作,确定前沿性科研课题。建设先进的实验及教学研究室。

在核工业快速发展的今天,迫切需要培养一批专业的辐射防护人才。清华大学工程物理系辐射防护与环境保护研究室在潘自强院士的建议和指导下,组织国内部分长期从事辐射防护的专家,编写了本书。本书共分为7篇22章,共计150余万字。

第一篇为辐射防护基础,其中第1章绪论由中国核工业集团公司潘自强院士编写。第2章原子核与放射性的物理基础及第3章辐射防护常用的量和单位由清华大学程建平教授及北京大学郭秋菊副教授编写。第4章电离辐射的生物效应由中国辐射防护研究院周永增研究员编写。第5章辐射和剂量测量由清华大学工程物理系李君利教授编写。第6章天然辐射源由潘自强院士编写。第7章人工辐射源由中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所的范深根研究员和中国原子能科学研究所的马吉增研究员编写。

第二篇为辐射防护体系,其中第8章辐射防护体系,由潘自强院士编写。

第三篇为辐射照射评价与防护,其中第9章外照射监测与评价由马吉增研究员编写。第10章内照射监测与评价由周永增研究员编写。第11章职业照射防护由马吉增研究员编写。第12章医疗照射防护由中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所的郑钧正研究员编写。第13章公众照射防护由中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所的任天山研究员编写。第14章人为活动引起的天然辐射增加的防护由国家环保总局的赵亚民研究员编写。第15章关于放射工作人员的健康管理由中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所的孙全夫研究员编写。

第四篇为实用辐射防护,其中第16章核设施辐射安全由中核集团金原铀业公司潘英杰研究员、国家环保总局四川核安全监督站的高起发研究员、大亚湾核电站的陈德淦研究员、中国原子能科学研究院的刘森林研究员和中核集团404厂的周镇兴研究员编写。第17章放射源和射线装置辐射安全、第18章放射性物质运输辐射安全由中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所范深根研究员和中国辐射防护研究院张建岗研究员编写。

第五篇为放射性废物管理,其中第19章放射性废物管理由中国原子能科学研究院的罗上庚研究员编写。

第六篇为应急照射的防护,其中第20章应急照射的防护由中国核工业集团公司的陈竹舟研究员编写。第21章在持续照射情况下公众的防护由中国原子能科学研究院的张永兴研究员编写。

第七篇为非人类物种的电离辐射防护,其中第22章非人类物种的电离辐射防护,由潘自强院士编写。

清华大学工程物理系辐射防护与环境保护研究室从2004年3月开始筹划,组织专家20余人,历时3年,经过了大纲的讨论、内容编写及讨论再修改、统稿、校稿等10余次阶段会议,付出了大量的人力、物力,为本书的编写出版提供了有力保障。国家环保总局的吴德强研究员对本书第16章核设施辐射安全中的部分内容给予了指导。罗上庚研究员、任天山研究员及高起发研究员承担了最后阶段统稿、校稿的工作,对本书的及时出版付出了辛勤的汗水及努力。主编潘自强院士对本书高度重视,对该书的结构和内容提出了具体的指导,也全程参与了编写、统稿和校稿工作,保证了本书能够顺利地出版。此外,清华大学工程物理系吴其反老师、核所办朱捷等也参与了本书编写工程中大量文字和组织工作。在此,对所有参与编写本书的专家和同事表示衷心的感谢。

《电离辐射防护和辐射源安全》编委会

2006.12.06

目 录

第一篇 辐射防护基础

第 1 章 绪论	(3)
第 2 章 原子核与放射性的物理基础	(5)
2.1 原子和原子核	(5)
2.1.1 原子的结构	(5)
2.1.2 原子核的结构	(6)
2.1.3 原子核的稳定性	(7)
2.2 放射性核素的主要衰变类型	(7)
2.2.1 α 衰变	(8)
2.2.2 β 衰变	(8)
2.2.3 γ 辐射与同质异能跃迁	(9)
2.3 放射性核素的衰变规律	(10)
2.3.1 衰变常数及半衰期	(10)
2.3.2 衰变链	(11)
2.4 射线与物质的相互作用	(12)
2.4.1 带电粒子与物质的相互作用	(13)
2.4.2 光子(γ 、X 射线)与物质的相互作用	(19)
2.4.3 中子与物质的相互作用	(21)
参考文献	(23)
第 3 章 辐射防护常用的量和单位	(24)
3.1 描述电离辐射场的量(计量学量)	(24)
3.1.1 粒子注量及粒子注量率	(24)
3.1.2 能量注量及能量注量率	(25)
3.2 描述电离辐射与物质相互作用的量	(25)
3.2.1 截面	(25)

3.2.2 衰减系数	(26)
3.2.3 传能线密度	(27)
3.3 基本剂量学量	(27)
3.3.1 授予能	(27)
3.3.2 吸收剂量	(28)
3.3.3 比释动能	(28)
3.3.4 比释动能与能量注量的关系	(29)
3.3.5 照射量	(29)
3.3.6 照射量与能量注量的关系	(30)
3.3.7 吸收剂量、比释动能和照射量之间的关系	(31)
3.4 放射性活度	(33)
3.5 辐射防护实践中常用的量和单位	(34)
3.5.1 当量剂量	(34)
3.5.2 辐射权重因子	(34)
3.5.3 有效剂量	(35)
3.5.4 组织权重因子	(35)
3.5.5 待积剂量	(36)
3.5.6 集体剂量	(37)
3.5.7 剂量负担	(37)
3.5.8 剂量当量及其测量实用值	(38)
3.5.9 α 潜能浓度、平衡等效浓度、工作水平及工作水平月	(39)
参考文献	(41)
第4章 电离辐射的生物效应	(42)
4.1 细胞对电离辐射的反应	(42)
4.1.1 细胞	(42)
4.1.2 辐射引起的 DNA 损伤与修复	(44)
4.1.3 基因组不稳定性	(47)
4.1.4 旁效应	(48)
4.1.5 适应性反应	(49)
4.2 随机性效应——致癌效应	(49)
4.2.1 癌症发生的多阶段模型	(50)
4.2.2 线性无阈的剂量响应关系	(52)
4.2.3 辐射致癌概率估计	(55)
4.2.4 氡致肺癌	(60)
4.3 随机性效应——遗传效应	(62)
4.3.1 引言	(62)

4.3.2 辐射遗传危险的估算方法	(63)
4.3.3 辐射遗传效应的人类观察资料	(64)
4.4 确定性效应(组织反应)	(66)
4.4.1 确定性效应(组织反应)的概念	(66)
4.4.2 细胞的存活曲线	(66)
4.4.3 组织或器官确定性效应(组织反应)的剂量阈值	(67)
4.4.4 儿童的确定性效应	(68)
4.4.5 全身照射后的死亡	(68)
4.5 非癌症疾病	(69)
4.6 出生前照射的效应	(70)
4.6.1 出生前发育的主要阶段	(70)
4.6.2 胚胎的致死效应	(71)
4.6.3 畸形	(72)
4.6.4 智力迟钝和智商下降	(72)
4.6.5 出生前照射致癌危险估计	(74)
4.7 辐射与其他因子的复合效应	(75)
4.7.1 相加作用和偏离相加作用	(75)
4.7.2 辐射和其他因子的复合效应	(76)
4.8 小结	(77)
参考文献	(78)
第5章 辐射和剂量测量	(82)
5.1 辐射测量的基本方法	(82)
5.1.1 气体探测器	(83)
5.1.2 闪烁探测器	(95)
5.1.3 半导体探测器	(101)
5.2 辐射测量的其他方法	(103)
5.2.1 热释光剂量计(TLD)	(103)
5.2.2 固体核径迹剂量计(SSNTD)	(108)
5.2.3 辐射光致荧光剂量计	(110)
5.2.4 光激发光剂量计	(112)
5.3 中子的测量方法	(114)
5.3.1 中子探测原理	(114)
5.3.2 中子探测器	(117)
5.4 剂量测量的基本方法	(123)
5.4.1 电离方法测量吸收剂量	(123)
5.4.2 其他方法测量吸收剂量	(128)

5.4.3 剂量当量的测量	(130)
5.5 剂量测量中的一些关键问题	(135)
5.5.1 电离室	(137)
5.5.2 正比计数器	(137)
5.5.3 G-M 计数器	(137)
5.5.4 闪烁探测器	(138)
5.5.5 半导体探测器	(138)
5.5.6 胶片	(139)
5.5.7 热释光剂量计(TLD)	(140)
参考文献	(141)
第 6 章 天然辐射源	(143)
6.1 宇宙辐射	(143)
6.1.1 宇宙射线	(143)
6.2 陆地 γ 辐射	(144)
6.2.1 室外环境 γ 外照射辐射水平	(145)
6.2.2 室内 γ 外照射辐射水平	(147)
6.3 氡、钍射气及其子体的水平	(148)
6.3.1 室外氡、钍射气及其子体的水平	(148)
6.3.2 室内氡、钍射气及其子体的水平	(149)
6.4 环境介质和食品中天然放射性核素水平	(150)
6.4.1 土壤中天然放射性核素浓度	(150)
6.4.2 水体中天然放射性核素浓度	(150)
6.4.3 食品和饮水中天然放射性核素浓度	(151)
6.5 天然本底辐射对人体产生的剂量	(152)
6.5.1 外照射剂量	(152)
6.5.2 内照射剂量	(153)
参考文献	(154)
第 7 章 人工辐射源	(157)
7.1 核燃料循环中的辐射源	(157)
7.1.1 铀矿的开采与加工	(157)
7.1.2 铀同位素的富集与燃料加工制造	(160)
7.1.3 核反应堆	(162)
7.1.4 乏燃料后处理	(173)
7.1.5 放射性废物处置场	(176)
7.2 放射性核素制备的辐射源	(178)
7.2.1 反应堆生产	(178)

7.2.2 加速器生产	(180)
7.2.3 放射性药物和其他标准化合物制备	(181)
7.2.4 放射源制备	(183)
7.2.5 放射性核素应用	(186)
7.3 射线装置的辐射源	(188)
7.3.1 X射线机和X射线源	(189)
7.3.2 粒子加速器	(189)
参考文献	(195)

第二篇 辐射防护体系

第8章 辐射防护体系	(199)
8.1 辐射防护标准的基础	(199)
8.1.1 辐射生物效应	(199)
8.1.2 天然本底辐射	(200)
8.2 辐射防护审管的范围	(201)
8.2.1 确定审管范围的原则	(201)
8.2.2 排除	(202)
8.2.3 豁免	(203)
8.3 辐射防护原则	(204)
8.3.1 实践的正当性	(204)
8.3.2 剂量限值、剂量约束与参考水平	(205)
8.3.3 辐射防护最优化	(208)
8.4 剂量评价	(212)
8.4.1 评价相关量和参考人	(213)
8.4.2 职业照射评价	(215)
8.4.3 剂量评价	(216)
8.4.4 医疗照射评价	(221)
8.5 利益相关者的参与	(221)
8.6 国家基础结构	(222)
8.6.1 法规体系	(222)
8.6.2 审管机构	(222)
参考文献	(223)

第三篇 辐射照射评价与防护

第 9 章 外照射监测与评价	(229)
9.1 外照射监测	(229)
9.1.1 个人剂量监测	(229)
9.1.2 工作场所监测	(232)
9.1.3 测量结果的解释	(234)
9.1.4 校准技术	(234)
9.1.5 监测质量保证	(236)
9.1.6 个人剂量监测结果的登记与管理	(237)
9.2 外照射的评价	(238)
9.2.1 外照射评价的方法	(238)
9.2.2 外照射评价的内容与指标	(240)
参考文献	(243)
第 10 章 内照射监测与评价	(245)
10.1 概述	(245)
10.2 放射性核素的摄入	(246)
10.2.1 放射性核素的摄入途径	(246)
10.2.2 放射性核素的摄入模式	(248)
10.2.3 摄入量和吸收量	(248)
10.3 放射性核素在人体内的代谢	(248)
10.3.1 放射性核素的转移、沉积和排出	(248)
10.3.2 体内放射性核素的代谢动力学模型	(249)
10.3.3 放射性核素的滞留和排泄	(249)
10.4 ICRP 使用的各种代谢模型	(251)
10.4.1 参考人	(251)
10.4.2 呼吸道模型	(252)
10.4.3 胃肠道剂量学模型	(258)
10.5 待积有效剂量及剂量系数	(259)
10.5.1 $SEE(T \leftarrow S)$ 、 U_s 和待积当量剂量	(259)
10.5.2 待积有效剂量	(260)
10.5.3 剂量系数	(261)
10.5.4 工作人员的放射性核素年摄入量限值 ALI	(261)
10.5.5 氡子体暴露量——有效剂量的转换因子	(262)

10.6 内照射个人监测与评价	(262)
10.6.1 监测目的与方法	(262)
10.6.2 监测计划	(266)
10.6.3 调查水平	(268)
10.6.4 放射性核素的监测数据	(270)
10.6.5 放射性核素监测数据的解释	(271)
10.6.6 摄入量估算	(273)
10.6.7 待积有效剂量估算与评价	(274)
10.6.8 事故后剂量估算	(274)
10.7 结语	(275)
参考文献	(276)
第11章 职业照射防护	(279)
11.1 职业照射的定义和要求	(279)
11.1.1 职业照射的定义	(279)
11.1.2 职业照射防护的要求	(280)
11.2 职业照射的剂量限值	(281)
11.2.1 基本限值	(281)
11.2.2 次级限值和导出限值	(282)
11.2.3 管理限值	(282)
11.2.4 特殊情况下的变更	(283)
11.2.5 对氡子体的限值	(284)
11.2.6 遵守剂量限值的确认	(286)
11.2.7 应用职业照射剂量限值应注意的问题	(286)
11.3 职业照射的控制	(288)
11.3.1 辐射防护大纲	(288)
11.3.2 工作场所的分区	(289)
11.3.3 内照射的控制	(290)
11.3.4 外照射的控制	(294)
11.4 辐射防护最优化与工作管理技术	(298)
11.4.1 职业辐射防护最优化	(298)
11.4.2 剂量约束的作用	(304)
11.4.3 调查水平的作用	(304)
11.4.4 经验反馈技术	(305)
11.4.5 工作管理技术	(307)
11.4.6 教育与培训	(308)
参考文献	(310)

第 12 章 医疗照射防护	(312)
12.1 医疗照射概述	(312)
12.1.1 电离辐射的医学应用	(312)
12.1.2 医疗照射的特点	(314)
12.1.3 医疗照射的评价方法	(315)
12.1.4 医疗照射的防护原则	(319)
12.1.5 防范事故性医疗照射	(322)
12.2 放射学的医疗照射防护	(324)
12.2.1 放射学的发展现状	(324)
12.2.2 放射学的应用频率	(326)
12.2.3 X 射线诊断所致受检者剂量	(330)
12.2.4 X 射线诊断的正当性判断	(338)
12.2.5 X 射线诊断的放射防护最优化	(340)
12.2.6 X 射线诊断的医疗照射指导水平	(343)
12.2.7 加强 X 射线 CT 检查和介入放射学的防护	(346)
12.3 临床核医学的医疗照射防护	(348)
12.3.1 临床核医学的发展现状	(348)
12.3.2 临床核医学的应用频率	(349)
12.3.3 核医学内照射剂量	(351)
12.3.4 核医学中的放射防护	(352)
12.3.5 核医学诊断的医疗照射指导水平	(359)
12.4 放射肿瘤学的医疗照射防护	(361)
12.4.1 放射肿瘤学的发展现状	(361)
12.4.2 放射肿瘤学的应用频率	(364)
12.4.3 肿瘤放射治疗剂量	(365)
12.4.4 放射肿瘤学中的放射防护	(370)
12.5 结语	(376)
参考文献	(377)
第 13 章 公众照射防护	(382)
13.1 实践所致公众照射	(382)
13.1.1 核燃料循环系统放射性核素环境释放水平	(382)
13.1.2 核燃料循环所致公众剂量	(388)
13.1.3 放射性同位素生产与应用	(399)
13.1.4 大气层核试验释放和所致公众照射	(402)
13.1.5 核武器制造所致公众照射	(407)
13.1.6 加速器周围的环境辐射	(408)

13.1.7 实践所致公众照射的比较	(409)
13.2 公众照射剂量限值	(410)
13.2.1 公众照射剂量限值	(410)
13.2.2 遵守剂量限值的确认	(411)
13.3 公众照射防护与评价	(412)
13.3.1 公众照射防护	(412)
13.3.2 公众照射评价	(414)
13.4 公众照射的监测	(415)
13.4.1 环境辐射监测大纲	(415)
13.4.2 环境辐射监测计划	(417)
13.4.3 样品采集	(419)
13.4.4 样品采集与处理	(421)
13.4.5 环境样品放射性测量	(423)
13.4.6 质量保证	(427)
13.5 公众照射剂量估算	(429)
13.5.1 外照射剂量估计模式	(429)
13.5.2 内照射剂量计算	(430)
13.5.3 集体剂量估算	(434)
参考文献	(435)
第 14 章 人为活动引起的天然辐射增加的防护	(437)
14.1 关注天然辐射防护的意义	(437)
14.1.1 人工辐射已受到严格控制	(437)
14.1.2 天然辐射源是公众受照的主要来源	(438)
14.1.3 天然辐射照射应该加以控制	(440)
14.2 影响天然辐射照射的人为活动	(440)
14.2.1 工业(技术)活动	(440)
14.2.2 生活活动	(456)
14.3 防护	(458)
14.3.1 防护要求	(458)
14.3.2 防护标准	(463)
14.3.3 降氡措施	(468)
14.3.4 监测要求	(471)
14.3.5 废物(含退役)管理要求	(474)
14.3.6 环境整治要求	(476)
14.4 天然辐射照射的现状与未来	(477)
14.4.1 天然辐射照射开始受到重视	(477)

14.4.2 天然辐射照射管理尚需规范化	(478)
14.4.3 对天然辐射照射防护的展望	(479)
14.4.4 结语	(480)
参考文献	(480)
第 15 章 关于放射工作人员的健康管理	(482)
15.1 概述	(482)
15.2 放射工作人员健康管理的范畴	(482)
15.2.1 含义及其历史回顾	(482)
15.2.2 我国相关的法律规定及其沿革	(485)
15.2.3 健康管理的范畴	(486)
15.3 放射工作人员职业健康检查	(489)
15.3.1 我国放射工作人员的数量及其行业分布	(489)
15.3.2 职业健康检查的基本情况及其存在的问题	(490)
15.3.3 应急或事故照射时的职业健康检查	(493)
15.3.4 放射工作人员健康管理档案	(493)
15.4 过量照射、辐射致癌病判定及其他	(494)
15.4.1 过量照射人员的处理与职业性放射病诊断	(494)
15.4.2 辐射致癌的病因判定	(496)
15.4.3 其他问题	(499)
参考文献	(500)

第四篇 实用辐射防护

第 16 章 核设施辐射安全	(505)
16.1 铀矿开采和选冶加工的辐射安全	(505)
16.1.1 引言	(505)
16.1.2 铀矿开采的辐射安全	(506)
16.1.3 铀选冶加工的辐射安全	(514)
16.1.4 堆浸、地浸的辐射防护技术	(517)
16.1.5 铀矿冶职业照射剂量监测和评价	(520)
16.1.6 铀矿山和选冶厂“三废”的产生及其处理、处置技术	(524)
16.1.7 铀矿冶设施退役与环境整治	(530)
16.2 铀转化和铀富集厂的辐射安全	(540)
16.2.1 概述	(540)
16.2.2 铀转化和铀富集的主要工艺过程	(541)

16.2.3	铀转化和铀富集厂生产运行的危害因素	(542)
16.2.4	辐射安全管理与控制	(548)
16.2.5	职业照射个人剂量监测与评价	(551)
16.2.6	放射性废物处理处置和对环境的影响	(556)
16.2.7	事件(事故)分析和应急管理	(560)
16.3	核燃料元件厂的辐射安全	(563)
16.3.1	基本概况	(563)
16.3.2	影响辐射安全的因素	(565)
16.3.3	运行中的辐射安全管理	(566)
16.3.4	职业照射个人剂量监测与评价	(572)
16.3.5	放射性废物处理处置和对环境的影响	(579)
16.3.6	事件(事故)分析与应急管理	(583)
16.4	核电厂的辐射安全与防护	(585)
16.4.1	概述	(585)
16.4.2	职业照射控制	(600)
16.4.3	公众照射控制	(628)
16.4.4	核电厂的辐射监测与评价	(641)
16.5	后处理厂的辐射安全	(646)
16.5.1	基本概况	(646)
16.5.2	后处理厂的辐射源	(649)
16.5.3	后处理生产过程中的辐射危害因素	(651)
16.5.4	职业照射的辐射安全措施	(656)
16.5.5	职业照射个人剂量监测和评价	(668)
16.5.6	放射性废物处理处置和对环境的影响	(674)
16.5.7	事故(事件)分析和应急计划与准备	(682)
16.6	研究堆辐射防护	(686)
16.6.1	前言	(686)
16.6.2	研究堆辐射防护剂量标准	(687)
16.6.3	辐射分区与控制	(687)
16.6.4	现场辐射监测	(689)
16.6.5	现场放射性废物管理	(689)
16.6.6	辐射防护管理	(689)
16.6.7	研究堆辐射防护实践	(690)
16.6.8	研究堆事故	(698)
16.7	核设施临界安全	(701)
16.7.1	概述	(701)