

环境保护部电离辐射安全与防护培训教材

辐射防护基础教程

王建龙 何仕均 等 编

A large, stylized graphic of a radiation symbol (trefoil) is centered on the cover. It consists of three curved arms meeting at a central circle, all rendered in a gradient of orange and yellow colors with thick black outlines. The background is a solid yellow color.

清华大学出版社

环境保护部电离辐射安全与防护培训教材

辐射防护基础教程

王建龙 何仕均 等 编



清华大学出版社
北京

辐射防护基础教程

王建龙 何仕均 等 编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为环境保护部电离辐射安全与防护培训教材。全书分为5篇,分别为基础知识、辐射防护概论、辐射防护管理框架、实用辐射安全与防护、电离辐射医学应用的防护与安全。全书由独立的几个模块组成,根据教学需要,每一模块既可以单独使用,也可以以不同的方式组合使用,非常灵活。本书可作为辐射安全与防护方面技术人员以及相关领域从业人员的继续教育和职业培训教材,也可用作高等学校工程物理、核科学与技术、辐射安全与防护等专业的参考教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

辐射防护基础教程/王建龙等编. 北京:清华大学出版社,2012.11
ISBN 978 7 302 29864 9

I. ①辐… II. ①王… III. ①辐射防护—教材 IV. ①TL7

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第197368号

责任编辑:柳 萍

封面设计:

责任校对:王淑云

责任印制:

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010 62770175 邮 购:010 62786544

投稿与读者服务:010 62776969, c_service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010 62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:29.25

字 数:708千字

版 次:2012年11月第1版

印 次:2012年11月第1次印刷

印 数:1~ 000

产品编号:048702 01

前言

PREFACE

我国核技术的开发应用始于 20 世纪 50 年代。随着我国科学技术和社会经济的持续快速发展,核技术在我国国防、医疗、能源、工业、农业、科研等领域得到了广泛利用。这对于维护国防安全,促进国民经济和社会发展,增强我国的综合国力,起到了十分积极的作用。但是,核能与核技术应用是一把双刃剑,在核技术开发利用过程中的安全问题和放射性污染防治问题十分重要。如果安全防护方法不当或放射源失控,会给环境安全带来危险,甚至危及人员身体健康和生命安全,严重时可能引起社会恐慌。

为了解决上述问题,做好放射性污染防治工作,2003 年 6 月全国人民代表大会通过了《中华人民共和国放射性污染防治法》。2005 年 9 月国务院又颁布了《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》,规定国务院环境保护主管部门对全国放射性同位素、射线装置的安全和防护工作实施统一监督管理。为了落实贯彻《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及有关法律、法规的实施,促进核技术的和平利用和造福人类,在国家环境保护部的领导和支持下,组织有关专家编写了电离辐射防护与安全知识丛书。该套丛书包括《电离辐射防护与安全基础》、《电离辐射工业应用的防护与安全》、《电离辐射医学应用的防护与安全》和《辐射防护基础教程》。该套丛书不仅可用于从业人员辐射防护与安全知识培训,还可供从事辐射环境保护管理与监测的技术人员参考。

本书是以国际原子能机构(IAEA)提供的“Radiation Protection Distance Learning Materials”为蓝本,并结合我国相应的法律法规及管理制度编写而成的。以下研究生参加了该书的初译工作,他们是陈玉伟、程荣、范振兴、万伟、王博、余少青、章一心、张子健。本书的编写得到国家环境保护部核与辐射安全司的支持,在此表示衷心感谢。

本书共分 5 篇,22 章,包含基础知识、辐射防护概论、辐射防护管理框架、实用辐射安全与防护、电离辐射医学应用的防护与安全。完成各篇组织审校、补充并完善的人员如下:第 1 篇,中国原子能研究院肖雪夫、彭立新、马吉增、陈林、王仲文等;第 2 篇,清华大学王建龙、何仕均、曲静原、刘海生等;第 3 篇,清华大学何仕均、核与辐射安全中心范深根等;第 4 篇,由清华大学王建龙、郑钧正等;第 5 篇,郑钧正等。最后,全书由清华大学王建龙、何仕均统稿。此外,中国原子能科学研究院董柳灿、清华大学郑钧正、国家环境保护部刘怡刚、核与辐射安全中心周启甫、范深根,中国辐射防护研究院卢金祥等审阅了全书,并提出了宝贵的意见。编者对以上所有参与人员为本书付出的辛勤劳动深表谢忱。在该书的编写过程中,虽然经过反复斟酌,但由于时间紧迫,经验有限,难免存在不足之处,希望广大读者提出宝贵意见,供再版时修改完善。

编者

2012 年 10 月

第 1 篇 基础知识

第 1 章 物质结构	3
1.1 原子	3
1.1.1 质子、电子、中子	3
1.1.2 玻尔原子结构模型	4
1.1.3 重要原子术语	4
1.2 原子是如何结合的	6
1.2.1 共价键	6
1.2.2 离子键	6
1.3 元素周期表	7
1.4 核素图	9
第 2 章 电离辐射和放射性衰变	10
2.1 放射性和放射性衰变	10
2.2 放射性衰变产生电离辐射	10
2.2.1 放射性的量和单位	10
2.2.2 电离辐射的类型	11
2.2.3 用核素图查找衰变方式	11
2.2.4 放射性衰变的模式	12
2.3 衰变常数、活度和半衰期	16
2.3.1 放射性衰变规律和衰变常数	16
2.3.2 放射性活度	16
2.3.3 半衰期	17
2.3.4 活度计算	18
2.3.5 放射性核素半衰期的测量	21
2.3.6 放射性比活度	22
2.4 衰变链和相对半衰期	24
2.4.1 衰变链	24
2.4.2 相对半衰期	24
2.5 其他辐射源的电离辐射	27

2.5.1	来自天然辐射源的电离辐射	28
2.5.2	人工辐射源的电离辐射	28
第3章	射线与物质的相互作用	31
3.1	电离	31
3.1.1	直接电离和间接电离	31
3.1.2	强、中等、弱电离	32
3.2	激发	32
3.3	α 粒子与物质的相互作用	32
3.4	β 粒子与物质的相互作用	32
3.4.1	直接电离	32
3.4.2	韧致辐射	32
3.5	γ 和 X 射线与物质的相互作用	33
3.5.1	光电效应	33
3.5.2	康普顿散射	34
3.5.3	电子对生成	34
3.5.4	光子与物质相互作用总结	34
3.6	中子与物质的相互作用	35
3.6.1	弹性散射	36
3.6.2	非弹性散射	36
3.6.3	中子俘获	36
3.6.4	中子与物质相互作用总结	37
3.7	射线与物质相互作用总结	37
第4章	辐射探测方法	38
4.1	辐射探测的机理	38
4.2	电离辐射探测器	39
4.2.1	充气探测器	39
4.2.2	固体导体探测器	44
4.2.3	固体探测器与气体探测器对比	47
4.3	闪烁探测器	48
4.3.1	工作原理	48
4.3.2	闪烁探测器类型	48
4.3.3	光电倍增管	49
4.4	中子探测器	50
4.4.1	工作原理	50
4.4.2	中子探测器类型	51
4.5	电子元件	52

第 5 章 辐射的生物学效应	55
5.1 人体	55
5.1.1 呼吸系统	56
5.1.2 消化系统	57
5.1.3 循环系统	57
5.1.4 淋巴系统	58
5.1.5 泌尿系统	58
5.1.6 人体系统小结	58
测试题选	58
5.2 细胞和辐射的生物损伤	59
5.2.1 细胞结构	59
5.2.2 细胞分裂	59
5.2.3 辐射损伤	60
测试题选	61
5.3 人体的辐射效应	61
5.3.1 确定性效应	62
5.3.2 随机性效应	63
5.3.3 胎儿照射	64
5.3.4 辐射效应小结	64
测试题选	65
要点	65

第 2 篇 辐射防护概论

第 6 章 辐射防护原则	69
6.1 辐射防护简介	69
6.2 辐射防护和危险	69
6.3 ICRP 简介	70
6.3.1 ICRP 历史	70
6.3.2 ICRP 职责	70
6.3.3 ICRP 建议书	70
6.4 基本安全标准	71
6.5 实践与干预	72
6.6 照射	72
6.6.1 照射概念	72
6.6.2 潜在照射	72
6.6.3 照射类别	72
6.6.4 照射水平	72

6.7	剂量限值和剂量约束	73
6.7.1	剂量限值	73
6.7.2	剂量约束	73
6.8	辐射防护体系	73
6.8.1	实践正当性	74
6.8.2	辐射防护最优化	74
6.8.3	个人剂量限值	74
6.9	辐射防护体系的实施	75
6.9.1	法规要求	75
6.9.2	管理要求	75
6.9.3	操作要求	76
第7章	外照射危害的防护	77
7.1	外照射的危害	77
7.1.1	外照射介绍	77
7.1.2	辐射类型对外照射危害的影响	77
7.1.3	外照射危害的来源	78
7.2	外照射危害的控制	78
7.2.1	基本方法	78
7.2.2	管理控制	81
7.2.3	实体控制	83
7.3	屏蔽计算	83
7.3.1	β 粒子的屏蔽	83
7.3.2	X射线和 γ 射线的屏蔽	84
7.4	计算不同放射性核素的 γ 剂量率	88
7.4.1	介绍	88
7.4.2	用比释动能常数计算剂量率	88
第8章	内照射危害的防护	90
8.1	内照射的危害	90
8.1.1	引言	90
8.1.2	非密封源和放射性污染	90
8.1.3	使用非密封源的实践	91
8.1.4	辐射类型对内照射危害的影响	91
8.1.5	放射性物质进入体内的途径	92
8.2	内照射危害的测量	92
8.2.1	ICRP参考人和IAEA参考亚洲人	93
8.2.2	生物半排期和有效半减期	93
8.2.3	剂量系数	94

8.2.4	年摄入量限值	94
8.3	工作场所的污染限值	96
8.3.1	表面污染的导出限值	96
8.3.2	导出空气浓度	97
8.4	内照射危害的控制	98
8.4.1	放射性物质的最小化	98
8.4.2	行政控制	98
8.4.3	实体控制	99
第 9 章	辐射探测仪器的使用	102
9.1	辐射探测仪器	102
9.1.1	探测器类型	102
9.1.2	测量仪器的种类	102
9.1.3	仪器检定(或校准)	105
9.1.4	探测下限(LLD)	107
9.2	选择合适的仪器	108
9.2.1	探测仪器的选择	108
9.2.2	监测方案设计	111
9.2.3	其他	113
9.3	放射性调查方案	113
9.3.1	准备调查表和图	113
9.3.2	调研	115
9.3.3	使用前仪器检查	115
9.4	剂量率测量	116
9.5	表面污染测量	117
9.5.1	表面污染监测	117
9.5.2	表面污染间接测量	120
9.6	空气污染测量	122
9.6.1	气溶胶采样	122
9.6.2	空气采样	125
9.6.3	蒸气采样	126
第 10 章	个人剂量测量	128
10.1	辐射及剂量测量	128
10.1.1	辐射量	128
10.1.2	剂量	129
10.2	实用辐射量	134
10.2.1	场所监测	135
10.2.2	个人剂量监测	135

10.2.3	实用辐射量限值	136
10.3	个人剂量测量	136
10.4	外照射剂量测量方法	136
10.4.1	主动式探测	136
10.4.2	被动式探测	137
10.4.3	能量响应和方向响应	142
10.5	内照射剂量的测定方法	142
10.5.1	活体计数	142
10.5.2	生物取样分析	143
10.5.3	空气取样	143
10.5.4	待积剂量当量的计算	143
10.6	个人剂量监测和结果保存	144

第3篇 辐射防护管理框架

第11章	电离辐射防护立法与监管	147
11.1	基础框架	147
11.1.1	辐射防护内容与基础框架	147
11.1.2	基础框架内涵	149
11.2	法规体系	149
11.2.1	概述	149
11.2.2	有关法规和标准内容简介	151
11.2.3	监管授权和安全责任	158
11.3	许可	159
11.3.1	许可证条件与许可形式	159
11.3.2	工作场所要求	162
11.3.3	医疗照射控制	167
11.3.4	干预与豁免	168
11.4	监督检查	171
11.4.1	监管部门	171
11.4.2	辐射工作单位	173
11.5	教育培训	174
11.5.1	安全文化与安全绩效	174
11.5.2	安全文化的由来与内涵	175
11.5.3	培训机构和培训要求	176
第12章	放射性物质的运输和储存	178
12.1	运输法规	178
12.1.1	辐射危害与法规	178

12.1.2	标准与法规	181
12.2	货包分类与分级	184
12.2.1	定义与放射性物质分类	184
12.2.2	货包分类与分级	188
12.3	货包和包装要求	190
12.3.1	一般要求	190
12.3.2	对空运货包的附加要求	190
12.3.3	对各类货包和包装的附加要求	190
12.4	运输安全要求	193
12.4.1	首次装运前和每次装运前的要求	193
12.4.2	与其他货物一起运输	194
12.4.3	运输和途中储存	194
12.4.4	船舶运输及空运和邮运	195
12.5	审批和管理	196
12.5.1	特殊形式放射性物质和低弥散放射性物质的审批	196
12.5.2	货包设计的审批	197
12.5.3	易裂变材料货包设计的审批	198
12.5.4	装运的审批	198
第 13 章	环境影响评价	199
13.1	引言	199
13.1.1	历史沿革	199
13.1.2	评价时段	200
13.2	定义与概念	201
13.2.1	环境影响评价	201
13.2.2	安全评价	202
13.2.3	监测及评价	204
13.2.4	剂量约束	205
13.2.5	等效操作量	206
13.3	评价文件分类与格式和内容	207
13.3.1	分类	207
13.3.2	报告书	207
13.4	评价资质与责任	210
13.4.1	资质	210
13.4.2	责任	210
第 14 章	放射性废物的安全管理	212
14.1	概述	212
14.1.1	放射性废物	212

14.1.2	废物最小化	213
14.2	放射性废物管理计划	213
14.2.1	放射性废物的分类原则	213
14.2.2	液体废物分类	214
14.2.3	固体废物分类	214
14.2.4	液态气态排放	217
14.3	放射性废物管理的基本步骤	220
14.3.1	概念	220
14.3.2	分类	221
14.3.3	预处理	221
14.3.4	整备	223
14.3.5	控制辐射危害	223
14.4	放射性废物活度的监测	223
14.4.1	固体废物	223
14.4.2	气体和液体废物	224
14.5	放射性废物的贮存	225
14.5.1	工作场所贮存	225
14.5.2	专用仓库贮存	226
14.5.3	记录	226
第 15 章 应急响应计划		228
15.1	引言	228
15.1.1	国内事故	228
15.1.2	国外事故	231
15.2	定义与概念	232
15.2.1	定义	232
15.2.2	概念	234
15.2.3	辐射事故分级	235
15.3	应急计划的一般要求	236
15.3.1	辐射威胁类型	236
15.3.2	应急计划层次	237
15.3.3	任务和要求	238
15.4	环境保护部应急预案介绍	240
15.4.1	任务与范围	240
15.4.2	应急组织与职责	241
15.4.3	应急行动	243
15.4.4	应急保障	245

第 4 篇 实用辐射安全与防护

第 16 章 核子仪的安全使用	249
16.1 核子仪的种类	249
16.1.1 透射式核子仪	249
16.1.2 反散射式核子仪	250
16.1.3 反应式核子仪	251
16.2 核子仪的组成	252
16.2.1 密封放射源	252
16.2.2 射线发生装置	252
16.2.3 源室和屏蔽	252
16.2.4 探测和分析设备以及交互控制	253
16.2.5 核子仪的标识	253
16.3 固定式和便携式核子仪	254
16.3.1 固定式核子仪	254
16.3.2 便携式核子仪	256
16.4 核子仪的维护要求	258
16.4.1 清洁和机械维护	258
16.4.2 辐射剂量率检查	258
16.4.3 擦拭和泄漏测试	258
16.5 操作放射源的注意事项	259
16.6 储存和台账程序	259
16.6.1 储存	259
16.6.2 台账	260
16.7 书面程序和本单位的规定	260
16.8 人员培训	260
第 17 章 工业放射照相的安全应用	262
17.1 放射照相基础	262
17.1.1 引言	262
17.1.2 放射照相的原理	262
17.1.3 无损检测	262
17.2 放射照相使用的基本设备	263
17.2.1 γ 放射照相使用的设备	263
17.2.2 X 射线照相使用的设备	267
17.3 围墙和现场放射照相	267
17.4 安全特征和设备	268
17.4.1 总述	268

17.4.2	γ 射线设备	269
17.4.3	X 射线设备	271
17.4.4	放射照相的围墙	271
17.4.5	现场放射照相	272
17.5	安全程序和检查	273
17.5.1	注册或许可	273
17.5.2	操作程序	274
17.6	事故	278
17.6.1	X 射线设备	278
17.6.2	γ 放射照相设备	278
17.6.3	一般要求	279
17.6.4	应急设备	279
17.7	安全检查总结	280
第 18 章	生产放射性同位素实验室的安全	281
18.1	放射性同位素的应用	281
18.2	原子核反应基本原理	281
18.2.1	核素图的使用	282
18.2.2	核反应的书写	284
18.3	放射性同位素的生产	284
18.3.1	核反应堆	284
18.3.2	粒子加速器	286
18.3.3	处理	289
18.4	辐射危害	290
18.4.1	辐射与污染	291
18.4.2	外照射危害的控制	291
18.4.3	内照射危害的控制	292
18.5	与放射性同位素生产有关的危害控制	292
18.5.1	制靶和辐照——有哪些危害?	293
18.5.2	制靶与辐照危害的控制	293
18.5.3	靶的运输过程的危害控制	294
18.5.4	打开靶罐时的危害控制	295
18.5.5	处理非密封放射源的危害控制	295
18.5.6	生产密封放射源的危害控制	297
18.5.7	包装和派送时的危害控制	298
18.5.8	废物处置和回收的危害控制	298
18.6	剂量的估算	300
18.6.1	β 辐射剂量	300
18.6.2	溢洒物的外照射剂量	301

18.6.3	皮肤被污染的剂量	301
18.6.4	中子剂量	302
18.7	辐射防护大纲	303
18.7.1	职责	303
18.7.2	场所分区	303
18.7.3	局部规章和工作程序	306
18.7.4	工作规划	306
18.7.5	辐射监测	307
18.7.6	调查和行动水平	308
18.7.7	培训	309
18.8	装置和实验室设计	310
18.8.1	规划步骤	310
18.8.2	设计准则	310
18.8.3	设备和区域	311
18.8.4	实验室设计的要求	311
18.9	应急规划和准备	312
18.9.1	可能的事件和事故	312
18.9.2	需要的应急设备	313
18.9.3	防护行动	313
18.9.4	对具体事故或事件的响应	313
18.9.5	应急准备	315
第 19 章	放射性示踪剂的安全使用	316
19.1	使用示踪剂的基本原理	316
19.1.1	系统中示踪剂的注入	317
19.1.2	示踪剂的探测方法	317
19.2	实验室示踪剂的使用	317
19.3	工业中示踪剂的应用	318
19.4	放射性示踪剂的选择	318
19.4.1	形态	318
19.4.2	同位素	318
19.5	项目计划	320
19.5.1	注册和许可	320
19.5.2	操作程序	321
19.5.3	外照射危害控制	322
19.5.4	污染控制	323
19.5.5	个人监测	324
19.5.6	环境中示踪剂的控制	324
19.6	辐射照射评价	325