

DIANLI FUSHE FANGHU YU ANQUAN SHIYONG JICHU

ZHANG YANTAO ZHUBIAN



电离辐射防护与安全实用基础

张彦涛 主编

南开大学出版社

电离辐射防护与安全实用基础

张彦涛 主编

南开大学出版社
天津

图书在版编目(CIP)数据

电离辐射防护与安全实用基础 / 张彦涛主编. —天津: 南开大学出版社, 2015.9

ISBN 978-7-310-04942-4

I. ①电… II. ①张… III. ①电离辐射—辐射防护—基本知识 IV. ①R14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 216612 号

版权所有 侵权必究

南开大学出版社出版发行

出版人: 孙克强

地址: 天津市南开区卫津路 94 号 邮政编码: 300071

营销部电话: (022)23508339 23500755

营销部传真: (022)23508542 邮购部电话: (022)23502200

*

天津午阳印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

260×185 毫米 16 开本 18 印张 451 千字

定价: 48.00 元

如遇图书印装质量问题, 请与本社营销部联系调换, 电话: (022)23507125

内容简介

本书从辐射防护领域实际需要出发，较系统全面地阐述了电离辐射防护基本知识、核技术利用辐射安全管理制度、电离辐射防护与监测、电离辐射事故与应急以及相关法律法规等内容，重点针对《黑龙江省辐射污染防治条例》进行了全面解读，同时收录了辐射安全监管领域重要的法律法规。本书内容丰富，针对性和实用性强，特色鲜明。

本书可供核技术利用单位工作人员和辐射防护、环境保护及相关领域的管理人员、技术人员参考使用，同时也可作为辐射防护与安全培训的教学用书。

主 编：张彦涛

副主编：倪靖滨

编 委：（以姓氏笔画为序）

叶东平 吕仁东 刘晓白

李春辉 郑文彤 赵弘韬

姜维国 郭伟华 曹 阳

审 核：姜维国 吕仁东

前 言

随着经济社会的快速发展，科学技术的不断进步，核能在优化能源结构、促进污染减排及应对气候变化等方面发挥着越来越重要的作用，核技术在能源、工业、农业、医疗、科研等领域的应用日益广泛，核与辐射环境安全成为社会关注焦点，核技术利用安全监管面临机遇和挑战。

近年来，在各级环境保护行政主管部门不断加强核与辐射环境安全管理的情况下，核辐射事故发生率降到每万枚 2.5 起的历史最低水平，但是日本福岛核事故、河南杞县“卡源”事件、南京“5·7”辐射事故等引发的社会影响却是深远的，这就对核技术利用安全提出更高要求。据不完全统计，黑龙江省从事核技术利用、辐射安全监管的人员约 2 万余人，需要具备一定的核安全文化素养及专业理论知识。“核与辐射安全监管没有初级阶段”，为进一步贯彻落实“严之又严、慎之又慎、细之又细、实之又实”的原则，不断加强和改进核与辐射安全工作，建立完善的培训体系，需要编制与之相适应的简易教材。为此，我们编写了以电离辐射防护基本知识、核技术利用辐射安全管理制度、电离辐射防护与监测、电离辐射事故与应急以及相关法律法规为主要内容的综合性培训教材。供从事核技术利用、辐射安全管理相关人员参考使用。

本书的编撰经历了各篇提纲的多次反复协商和讨论、分工撰写各篇书稿、修改初稿、书稿送审与再修改、统稿汇总成册等过程。力求统一书稿的内容框架、名词术语和体例格式等规范。但限于水平，时间仓促，又加之多位作者撰写，书中难免存在不当之处，敬望广大读者批评指正。

编 者
2015 年 6 月

目 录

第一篇 电离辐射防护基本知识

第 1 章 放射性基本知识	3
1.1 放射性基本知识	3
1.1.1 原子与原子核	3
1.1.2 元素、核素与同位素	4
1.1.3 放射性衰变	5
1.1.4 放射性衰变的基本规律	6
1.1.5 放射性活度	7
1.1.6 射线与物质的相互作用	8
1.2 放射源和射线装置基础知识	11
1.2.1 放射源	11
1.2.2 非密封放射性物质	14
1.2.3 射线装置	15
1.3 辐射的来源	17
1.3.1 天然本底辐射	17
1.3.2 人工辐射	18
1.4 放射性同位素应用	20
1.4.1 放射性同位素在医学上的应用	20
1.4.2 放射性同位素在工业上的应用	22
1.4.3 放射性同位素在农业上的应用	27
第 2 章 电离辐射防护基础	29
2.1 辐射量和单位	29
2.1.1 电离辐射场的量	29
2.1.2 基本剂量学量	30
2.1.3 防护量	31
2.1.4 实用量	34
2.2 辐射的生物学效应	35
2.2.1 辐射生物效应的分类	35
2.2.2 影响辐射生物效应的因素	35
2.3 辐射对人体健康的影响	37

2.4	辐射防护基本知识	39
2.4.1	辐射防护的基本原则	39
2.4.2	辐射防护的基本方法	40

第二篇 核技术利用辐射安全管理制度

第3章	环境影响评价制度	45
3.1	核技术利用环境影响评价	45
3.1.1	核技术利用规划环境影响评价内容	45
3.1.2	核技术利用项目(活动)环境影响评价内容	46
3.2	核技术利用项目环境影响评价分级审批	47
3.3	核技术利用项目环境影响评价分类管理	48
3.4	环境影响评价审批	49
第4章	辐射安全许可制度	51
4.1	辐射安全许可证的分级审批	51
4.2	辐射安全许可条件	52
4.3	辐射安全许可证审批程序及时限	54
4.4	辐射安全许可证的变更、注销、延续	55
4.4.1	辐射安全许可证的主要内容	55
4.4.2	辐射安全许可证的变更	55
4.4.3	辐射安全许可证的注销	55
4.4.4	辐射安全许可证的到期延续	56
4.5	辐射安全许可证的重新申领	56
第5章	“三同时”及验收制度	58
5.1	“三同时”制度的发展过程	58
5.2	“三同时”制度的具体要求	59
5.3	核技术利用项目竣工环境保护验收	59
5.3.1	环境保护验收的概念	59
5.3.2	环境保护验收的范围和权限	59
5.3.3	环境保护验收的分类管理	60
5.4	环境保护验收的工作程序	60
第6章	放射源及射线装置分类管理制度	62
6.1	放射源的分类	62
6.1.1	放射源分类原则	62
6.1.2	放射源分类表	63
6.1.3	非密封源分类	64
6.2	放射源编码	65
6.3	射线装置的分类	68
6.3.1	射线装置分类原则	68

6.3.2	射线装置分类	68
第 7 章	放射源审批与备案制度	69
7.1	放射源进出口	69
7.2	放射源转让	70
7.2.1	概 念	70
7.2.2	转让条件	70
7.2.3	放射源转让审批	71
7.2.4	放射源转让备案	71
7.3	放射源异地使用	71
7.4	放射源收贮	72
第 8 章	辐射事故分级处理和报告制度	73
8.1	辐射事故的概念	73
8.2	辐射事故的分级	73
8.3	辐射事故的处置与报告	75
8.3.1	辐射事故处置	75
8.3.2	报告制度	77
8.4	辐射事故应急预案	77
第 9 章	豁免管理制度	79
9.1	豁免准则	79
9.2	豁免管理	79
9.3	豁免认定	80
第 10 章	安全与防护培训制度	81
第 11 章	个人剂量监测制度	83
第 12 章	评估报告制度	84

第三篇 电离辐射防护与监测

第 13 章	电离辐射防护	87
13.1	辐射照射的分类与基本原则	87
13.1.1	辐射照射的分类	87
13.1.2	辐射防护的基本原则	87
13.2	外照射的防护	88
13.2.1	外照射防护的基本方法	88
13.2.2	屏蔽材料	88
13.3	内照射的防护	89
13.3.1	内照射防护的基本原则	89
13.3.2	放射性物质进入体内的途径	89
13.3.3	内照射防护的方法	90
13.4	常用辐射相关操作的电离辐射防护	91

13.4.1	医用 X 射线诊断的辐射防护	91
13.4.2	医用 X 射线治疗的辐射防护	92
13.4.3	临床核医学的辐射防护	93
13.4.4	工业探伤的辐射防护	94
13.4.5	γ 辐照加工装置的辐射防护	95
13.5	小 结	97
第 14 章	电离辐射监测	98
14.1	辐射监测概述	98
14.1.1	辐射监测的目的与重要性	98
14.1.2	辐射监测的类型与对象	98
14.1.3	辐射监测仪器	99
14.2	个人剂量监测	99
14.2.1	外照射监测	99
14.2.2	内照射监测	100
14.3	工作场所监测	100
14.3.1	外照射监测	100
14.3.2	表面污染监测	101
14.4	环境监测	101
14.4.1	地表 γ 监测	102
14.4.2	环境样品监测	102
14.5	常见辐射环境监测	103
14.5.1	γ 辐照装置辐射环境监测	103
14.5.2	工业探伤辐射环境监测	104
14.6	小 结	106

第四篇 电离辐射事故与应急

第 15 章	电离辐射事故分级	109
15.1	特别重大辐射事故（I 级）	109
15.2	重大辐射事故（II 级）	111
15.3	较大辐射事故（III 级）	112
15.4	一般辐射事故（IV 级）	112
第 16 章	辐射事故应急预案的制定	113
16.1	应急预案的编制原则	113
16.2	应急预案的基本构架	113
16.3	典型应急预案示例	114
第 17 章	辐射事故基本概况	118
17.1	辐射事故的年度分布	118
17.2	辐射事故的地区分布	119

17.3 辐射事故主要特点	119_Toc429990502
第 18 章 辐射事故典型案例与剖析	
18.1 辐照行业典型案例	122
18.1.1 山西忻州辐射事故	122
18.1.2 山东济宁某辐照厂人员受超剂量照射事故	124
18.1.3 山西省某院工作人员超剂量受照事故	125
18.1.4 河南省杞县某辐照装置卡源事件	127
18.2 工业 γ 探伤典型案例	129
18.2.1 黑龙江哈尔滨 γ 探伤放射源失控致人员受照事故	129
18.2.2 安徽非专用车辆运输探伤机致放射源丢失事故	131
18.2.3 江苏南京 γ 探伤放射源丢失致人员受照事故	133
18.3 放射源丢失被盗和测井卡源典型案例	136
18.3.1 重庆南川放射源被盗后转卖废品收购站事故	136
18.3.2 陕西富县石油测井放射源落井事故	137
18.4 医疗辐射事故典型案例	139
18.4.1 湖北某医院钴-60 治疗机放射源脱落导致过量治疗事故	139
18.4.2 江苏某肿瘤防治研究所违章操作医用加速器致人员受照事故	140
18.4.3 黑龙江某医院工作人员受超剂量照射事故	141
18.5 放射性污染事件典型案例	142
18.5.1 宁波某金属工业有限公司铜材放射性污染事件	142
18.5.2 重庆市后装治疗放射源引起的放射性污染事件	143
第 19 章 辐射事故（事件）剖析与小结	145
19.1 辐射事故（事件）后果分析	145
19.2 辐射事故（事件）原因分析	146
19.3 建 议	147

第五篇 黑龙江省辐射污染防治条例及其解读

第 20 章 黑龙江省辐射污染防治条例原文	151
第 21 章 黑龙江省辐射污染防治条例解读	158
21.1 总 则	158
21.2 放射性污染防治	163
21.3 电磁辐射污染防治	175
21.4 监督管理	178
21.5 法律责任	183
21.6 附 则	193

第六篇 电离辐射安全监管法律法规选编

第 22 章 法 律	197
-------------------------	-----

中华人民共和国环境保护法·····	197
中华人民共和国放射性污染防治法·····	205
中华人民共和国环境影响评价法·····	212
第 23 章 行政法规 ·····	217
放射性同位素与射线装置安全和防护条例·····	217
放射性物品运输安全管理条例·····	227
放射性废物安全管理条例·····	236
建设项目环境保护管理条例·····	243
第 24 章 规 章 ·····	247
放射性同位素与射线装置安全许可管理办法·····	247
放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法·····	256
放射性物品运输安全许可管理办法·····	265
参考文献 ·····	272

第一篇

电离辐射防护基本知识

第 1 章 放射性基本知识

1.1 放射性基本知识

1.1.1 原子与原子核

世界万物是由各种不同物质组成的，物质又是由无数的小颗粒组成的，这种小颗粒不能用任何化学方法再分割，但它们可以结合在一起形成形形色色的物质，这种组成物质的小颗粒叫做“原子”，由几个原子还可以组成较复杂的粒子叫“分子”。

进一步研究发现，各种原子尽管性质各异，但其结构却十分相似，都是由原子核和围绕原子核旋转的电子组成，原子的质量几乎全部集中在直径很小的核心区域，叫原子核，电子在原子核外绕核作轨道运动，类似于太阳系中行星绕太阳的运动，原子核好比太阳，电子好比行星。图 1.1 所示为原子结构图，原子核带正电，电子带负电，整个原子的正负电荷相等，因此原子呈中性。

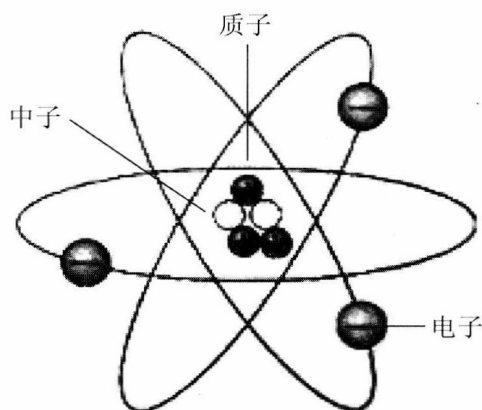


图 1.1 原子结构

原子核的质量占原子质量的 99.98%，核外电子运行轨道以壳层模型排列，每个壳层有一

定数目的轨道，每个轨道上只能有两个电子运行。距核最近的电子壳层（第一层）称为 K 壳层，由内向外数第二层叫 L 壳层，其他依次称为 M、N、O……壳层。在不同壳层的轨道上运行的电子具有不同能量，靠核最近的 K 壳层上的电子受原子核束缚最紧，位能最低。距核越远的壳层电子受原子核束缚程度越小，位能越高。

原子核是由质子和中子组成的。质子的质量为 1 个原子质量单位，一个质子带一个单位正电荷，数值上和一个电子所带电荷量相等。中子不带电，其质量和质子的质量相近。质子或中子的质量约为电子的 1840 倍。核内的质子数和中子数之和就是原子核的核子数，又称质量数，原子核中质子数目称为原子序数。

原子核的符号表示：任何一个原子核都可以用符号 ${}^A_Z X_N$ 来表示。右下标 N 表示核内中子数，左下标 Z 表示质子数或电子数，左上标 A ($A=N+Z$) 为核内的核子数，又称质量数。元素符号 X 与质子数 Z 具有唯一确定的关系，例如， ${}^4_2\text{He}$ 、 ${}^{16}_8\text{O}$ 等。实际上，只要简写为 ${}^A X$ ，足以代表一个特定的核素，左下标 Z 往往可以省略。

原子核还可以表述为 $X-A$ ，例如铯-137 或 Cs-137。

1.1.2 元素、核素与同位素

元素：我们把原子序数相同的一类原子称作元素，每一种原子对应一种化学元素。例如氢原子对应氢元素，氧原子对应氧元素。目前，包括人工制造的，人们已经发现了一百多种元素。原子的化学性质仅仅取决于核外电子数目，也就是仅仅取决于它的原子序数。例如， ${}^1\text{H}$ 、 ${}^2\text{H}$ 、 ${}^3\text{H}$ 都是氢元素，它们的质子数相同中子数不同； ${}^{60}\text{Co}$ 和 ${}^{57}\text{Co}$ 都是钴元素，他们的质子数相同中子数不同。

核素：是指在其核内具有一定的中子和质子以及特定能态的一种原子核或原子。例如， ${}^1\text{H}$ 、 ${}^2\text{H}$ 、 ${}^3\text{H}$ 是三种独立的核素，因为它们的原子核内中子数不同； ${}^{60}\text{Co}$ 和 ${}^{57}\text{Co}$ 是两种独立的核素，虽然它们的原子核内含有相同的质子数和中子数，但它们的原子核所处的能态是不同的。

同位素：一种元素所有原子都有相等数目的质子，但其中子数不尽相同，也就是说，一种元素可以有多种类型的原子。例如元素氢（H）的原子序数为 1，原子核中只有一个质子，但氢原子核有三种不同的类型，如表 1.1 所示。

表 1.1 氢元素的三种类型

元素名称	Z	核内质子数	核内中子数	原子量 A
氢-1	1	1	0	1
氢-2	1	1	1	2
氢-3	1	1	2	3

又如：原子序数 $Z=53$ 的元素碘（I），有 20 种不同的原子，原子核内中子数最少的为 67，

最多的为 86。这些质子数相同、中子数不同、属于同一元素的原子，具有相同的化学性质，在化学元素周期表上排在同一位置，称之为同位素。

同质异能素：寿命较长的激发态原子核称为基态原子核的同质异能素或同核异能素。它们的 A 和 Z 均相同，只是能量状态不同。一般在元素符号的左上角质量数 A 后加上字母 m 表示，这种核素的原子核一般处于较高能态，例如 ${}^{87m}_{38}\text{Sr}$ 称为 ${}^{87}_{38}\text{Sr}$ 的同质异能素，其半衰期为 2.81 h。同质异能素所处的能态，又称为同质异能态。它与一般的激发态在本质上并无区别，只是半衰期即寿命较长而已。

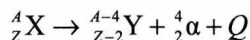
1.1.3 放射性衰变

放射性：某些核素能自发地放出粒子或射线，或自发分裂，称这种性质为放射性。具有放射性的核素称为放射性核素，含有放射性核素的物质称为放射性物质。放射性核素放出粒子后变成其他类型的新核素，其放射性随着时间增加而减少，称这种现象为放射性衰变，放射性衰变及其速率与温度、压力及化学过程无关。

放射性衰变的种类：绝大多数放射性原子核衰变是主要放射三种射线（或称粒子），即 α 射线、 β 射线、 γ 射线。原子核自发地放出 α 射线而转变成另一种原子核的衰变过程叫做 α 衰变；放出 β 射线而转变成另一种原子核的衰变过程叫做 β 衰变； α 或 β 衰变中通常伴随发射 γ 射线，称为同质异能跃迁（或 γ 跃迁）。

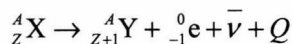
α 衰变： α 射线实际上就是带两个正电荷的氦核流。

原子核发生 α 衰变的一般过程可以写成：



其中： ${}^A_Z\text{X}$ 称为母体核素； ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$ 称为子体核素； Q 为衰变能，它是 α 粒子的初始动能与子核体反冲能之和。

β 衰变： β 射线是高速电子流，这些电子是从衰变核中发射出来的。 β 衰变可以看成是母核内一个中子衰变成一个质子，放出一个电子和一个称为反中微子的过程。 β 衰变的一般衰变式是：



γ 衰变（或 γ 跃迁）：原子核发生 α 或 β 衰变时，所生成的子核常常处于较高的能量状态或叫做核激发态。激发态是不稳定的状态。当子核从激发态跃迁到能量较低的激发态或基态时，发出 γ 射线达到能量守恒。原子核的激发态的寿命常常极短，一般为 $10^{-11} \sim 10^{-13}$ s，因而可以认为 γ 射线与 α 、 β 粒子同时放出。放出 γ 射线的原子核的质量数、电荷数都保持不变。 γ 射线实质上是波长极短的电磁波，又称 γ 光子。我们也可以用核素衰变图（衰变纲图）直观、形象的认识衰变过程，如图 1.2 所示。