

实用放射防护指南

# 实用 放射防护指南

张文启 主编

JIANG SU KE XUE JI SHU  
CHU BAN SHE

江苏科学技术出版社

SHI YONG FANG SHE FANG HU ZHI NAN

# 实用放射防护指南

主 编 张 文 启  
审 阅 尉 可 道

江苏科学技术出版社

(苏)新登字第002号

本书编者

主编 张文启  
审阅 尉可道  
编者 杨广泽 季兆刚 周小亚  
胡莲芝 吴调英 许文忻

实用放射防护指南

主编 张文启

---

出版发行：江苏科学技术出版社

印刷：南京铁道医学院印刷厂

---

开本850×1168毫米 1/32 印张11.25 字数272,000

1992年3月第1版 1992年3月第1次印刷

印数1—5000册

---

ISBN 7-5345-1235-2

---

R·193

定价：5.20元

江苏科技版图书如有印装质量问题，可随时向承印厂调换。

## 序

随着放射性同位素和射线装置的广泛应用，放射防护工作越来越受到人们的重视。为此，国务院于1989年10月24日颁发了《放射性同位素与射线装置放射防护条例》，为放射防护工作奠定了法律基础。

放射工作是一项特殊的工作，放射防护工作是保证放射工作安全顺利开展不可缺少的重要组成部分。从事和准备从事放射工作的人员，必须接受放射防护知识的培训和法规教育。为此，江苏省卫生厅组织长期从事放射防护监督监测工作的专业技术人员，编写了这本《实用放射防护指南》。

该书是以《放射性同位素与射线装置放射防护条例》为主线，以基层放射工作人员和放射防护人员为对象，侧重于介绍实际应用中放射防护技术和方法以及防护管理知识，亦兼顾介绍有关的基础理论知识。特别是对应用面广的小型密封源和医用诊断X线机及 $^{60}\text{Co}$ 治疗机的防护专辟了章节，详细论述其防护特点，对基层防护工作更具有普遍意义。另外，书中对放射诊断和放射治疗中的质量保证作了较为详细的介绍，试图使这一工作得以推广。

该书融法规与技术、监督与监测于一体，从放射防护的基础知识到防护设备的设计，从放射工作的申请程序到操作、储运中的注意事项，均作了系统的介绍，是广大放射工作人员的防护指

南。这本书的出版必将为放射工作人员的防护知识培训提供有益的资料。

**卫生部卫生监督司司长**

# 前 言

随着社会主义经济建设的迅速发展，放射性同位素与射线装置在工业、农业、科技、医疗、大专院校等部门的应用日益广泛，乡镇企业对核技术的开发和应用也不断发展。由于核技术的应用早期主要面向国防，因此在较长时期内呈封闭、半封闭状态。1985年，全国放射防护工作会议提出了放射防护工作的重点转移，由过去主要为国防建设服务，转变为为国民经济建设服务，为生产服务，为人民健康服务。1989年10月24日，国务院颁布了中华人民共和国《放射性同位素与射线装置放射防护条例》，为射线技术的安全应用和放射防护工作的法制管理提供了依据，为核技术更好地服务于四化建设提供了保证。

为贯彻国务院《放射性同位素与射线装置放射防护条例》，为适应放射工作人员和放射防护工作者培训之需要，我们组织编写了这本《实用放射防护指南》。该书旨在阐明放射工作和放射防护工作的基本要素；明确放射工作和放射防护工作的各自职责、任务、做法，以利于更好地开展放射工作和放射防护工作。该书立足放射工作和放射防护工作基本原理的普及，结合工作实践就健康管理、防护标准、防护要求、防护的监督与管理等分章专论、力求阐述全面、突出主题、注重应用，法规与技术相融，监督管理与技术要求结合。该书可作为放射工作人员和放射防护工作者的培训教材，也可作为基层单位编写通俗易懂的科普宣传材料之参考。希望能对基层放射防护工作和放射工作的管理提供有益的帮助。

卫生部卫生监督司阙学贵司长对本书的编写给予了很大的关

心与支持，并为本书写了序言。卫生部放射卫生监督监测所副所长尉可道副研究员为全书审稿，并热情地提出具体修改意见，为此书的出版作出了很大贡献。在此，表示衷心感谢。在本书完稿之时，正值国际辐射防护委员会（ICRP）通过了新建议书，为使读者了解这一新的进展，特请 ICRP 第四委员会委员、卫生部工卫所王作元所长写了 ICRP 90 新建议书简介。连云港市卫生防疫站谢九如同志为本书有关章节也做了不少工作，谨此一并致谢。

限于编者的水平及能力，且由于放射防护学术理论发展很快，核技术的应用不断拓宽，本书难免存在缺点、错误和不足之处，我们诚恳地欢迎广大读者批评指正。

编 者

一九九二年一月十五日

# 目 录

<b>第一章 放射防护基础知识</b> .....	1
§ 1 原子结构 .....	1
1.1 放射性物质.....	1
1.2 射线装置.....	9
§ 2 射线与物质的相互作用 .....	10
2.1 带电粒子与物质的相互作用.....	11
2.2 非带电粒子与物质的相互作用.....	12
§ 3 辐射量与单位.....	16
3.1 放射性活度.....	16
3.2 照射量.....	17
3.3 吸收剂量.....	18
3.4 比释动能.....	19
3.5 剂量当量.....	20
3.6 有效剂量当量.....	22
3.7 待积剂量当量.....	22
3.8 集体剂量当量.....	23
3.9 剂量当量负担.....	23
3.10 剂量当量指数 .....	24
3.11 深部剂量当量指数 .....	24
3.12 浅表剂量当量指数 .....	25
3.13 辐射量和单位小结 .....	25
<b>第二章 放射损伤和健康管理</b> .....	29
§ 1 放射损伤生物医学基础知识.....	29
1.1 电离辐射生物效应的基本规律.....	29
1.2 电离辐射对生物体作用的机理.....	30
1.3 电离辐射对机体物质代谢的影响.....	33
1.4 电离辐射对机体各个系统的影响.....	33



§ 2	放射性疾病	35
2.1	放射性疾病的分类	36
2.2	急性外照射放射病(骨髓型或造血型)	36
2.3	慢性外照射放射病	40
2.4	放射性皮肤损伤	43
2.5	电离辐射的远后效应	46
§ 3	放射工作人员的健康管理	47
3.1	医学监督监护的内容和范围	48
3.2	个人健康档案的内容和要求	50
3.3	个人剂量档案资料	50
3.4	放射损伤的评价和诊断	51
3.5	放射工作人员的健康管理	51
<b>第三章 放射防护标准</b>		<b>53</b>
§ 1	放射防护标准概论	53
1.1	放射防护标准的演变	53
1.2	放射防护标准的分类	56
1.3	数量标准的分类	56
1.4	防护标准中的行为标准	58
1.5	我国放射卫生防护标准状况	59
§ 2	我国放射卫生防护基本标准简介	62
2.1	放射防护的基本原则	62
2.2	剂量限制体系	62
2.3	其它	69
<b>第四章 放射性同位素和射线装置外照射的防护</b>		<b>70</b>
§ 1	外照射防护的概述	70
1.1	外照射防护的特点	70
1.2	外照射防护的基本方法	70
§ 2	外照射防护的屏蔽	70
2.1	X 和 $\gamma$ 射线的外照射防护的屏蔽	72
2.2	$\beta$ 射线的屏蔽防护	99
2.3	中子的屏蔽防护	100
2.4	$^{60}\text{Co}$ 机房屏蔽厚度的计算	101

2.5	医用电子直线加速器的屏蔽防护 .....	105
§ 3	外照射防护屏蔽材料及个人防护用品的选择 .....	111
3.1	用于外照射防护的屏蔽材料种类 .....	112
3.2	防护屏蔽材料的选择原则 .....	112
3.3	外照射放射工作人员防护用品种类及选择 .....	114
§ 4	医用外照射防护 .....	115
4.1	医用诊断X线的防护 .....	115
4.2	放射治疗中的辐射防护 .....	142
§ 5	工业射线探伤的外照射防护 .....	156
5.1	工业探伤X线防护 .....	156
5.2	工业 $\gamma$ 射线探伤的防护 .....	158
§ 6	大型辐照装置的防护 .....	160
6.1	选址 .....	160
6.2	布局 .....	160
6.3	面积 .....	160
6.4	屏蔽 .....	160
6.5	安全设施 .....	161
6.6	通风 .....	161
6.7	操作人员的防护要求 .....	161
§ 7	粒子加速器的外照射防护 .....	161
§ 8	伴生X射线的电子仪器的外照射防护 .....	161
<b>第五章</b>	<b>使用含小型密封放射源仪器的放射卫生防护 .....</b>	<b>164</b>
§ 1	小型密封放射源的应用及防护特点 .....	164
1.1	小型密封源仪表的应用概况 .....	164
1.2	使用小型密封源的放射防护特点 .....	171
§ 2	典型放射防护介绍 .....	172
2.1	固定式放射性仪表的卫生防护 .....	172
2.2	射线测井的放射防护 .....	174
2.3	使用中子湿度计的放射防护 .....	175
2.4	核湿度计使用时的放射防护 .....	176
2.5	$\alpha$ 射线腔内疗法的放射防护 .....	177
2.6	放射性敷贴器应用的放射防护 .....	178

2.7	使用中子土壤水分仪的放射防护	179
2.8	教学和科研系统使用密封源的放射防护	180
2.9	日常生活应用的小型密封源的放射防护	180
<b>第六章</b>	<b>开放型放射工作的卫生防护</b>	<b>182</b>
§ 1	开放型放射工作	182
§ 2	开放型放射工作单位的分类及工作场所的分级	182
2.1	放射性核素的毒性分组	182
2.2	开放型放射工作单位的划定	184
2.3	开放型放射工作单位的分类及其工作场所的分级	184
2.4	计算举例	185
§ 3	开放型放射工作场所设计的卫生防护要求	186
3.1	选址和布局	186
3.2	场所设计的卫生防护要求	187
§ 4	开放型放射工作的防护	188
4.1	工作人员的防护	188
§ 5	开放型放射工作场所的监测	191
5.1	场所监测	191
5.2	环境监测	193
5.3	放射性废物的处置	193
§ 6	表面放射性污染的去 除	194
6.1	放射性沾染的检测	194
6.2	放射性沾染的去 除	195
6.3	清除表面放射性污染时应注意的几个问题	199
<b>第七章</b>	<b>放射防护工作的监测</b>	<b>200</b>
§ 1	测量技术	200
1.1	射线探测器	200
§ 2	放射性监测仪器	209
2.1	X、 $\gamma$ 射线监测仪	211
2.2	$\alpha$ 、 $\beta$ 射线监测仪	213
2.3	中子监测仪	214
2.4	个人剂量计	215
§ 3	监测方法	217

3.1	场所监测 .....	217
3.2	个人监测 .....	220
<b>第八章</b>	<b>放射防护的监督与管理 .....</b>	<b>224</b>
§ 1	放射防护监督与管理的法律依据 .....	227
§ 2	违法与行政处罚 .....	227
2.1	卫生行政处罚 .....	228
2.2	公安行政处罚 .....	228
2.3	环境保护行政处罚 .....	229
§ 3	预防性放射防护监督管理 .....	229
3.1	预防性放射防护监督管理的意义 .....	229
3.2	预防性放射防护监督管理的依据 .....	230
3.3	预防性放射防护监督管理程序 .....	230
3.4	放射工作许可证的发放 .....	234
§ 4	经常性放射防护监督管理 .....	236
4.1	经常性放射防护监督管理的目的意义 .....	236
4.2	经常性放射防护监督管理的基本原则 .....	236
4.3	经常性放射防护监督管理的内容 .....	236
4.4	放射性物质的运输 .....	237
4.5	放射性物质的贮存 .....	243
§ 5	放射性废物的管理 .....	246
§ 6	放射事故管理 .....	249
6.1	放射事故的分类及分级 .....	250
6.2	放射事故的处理原则 .....	251
6.3	事故处理中有关部门的职责 .....	252
6.4	放射事故的报告 .....	252
附录 1	放射性同位素与射线装置放射防护条例 .....	254
附录 2	中华人民共和国行政诉讼法 .....	261
附录 3	放射防护监督员管理规定 .....	274
附录 4	放射工作人员个人剂量监测规定 .....	284
附录 5	江苏省放射工作场所建设工程项目的选址、设计验收审批 暂行规定 .....	294
附录 6	关于进一步贯彻卫生部《放射工作人员个人剂量监测规定》	

	的通知.....	301
附录 7	江苏省医用诊断X射线卫生防护暂行规定.....	304
附录 8	江苏省放射工作人员证实施办法 .....	311
附录 9	关于进一步贯彻执行《建筑材料放射卫生防护标准》 的通知.....	316
附录 10	辐射量和单位的概念.....	318
附录 11	常用放射源特性 .....	326
附录 12	放射性核素的毒性分组.....	335
附录 13	ICRP放射防护基本建设中的新内容 .....	342

# 第一章 放射防护基础知识

## § 1 原子结构

世界是由物质组成的。原子是构成元素的最小单位。在19世纪中期，人们还将原子看成是物质的最终不能再分的最小单位。到了19世纪末期，由于X射线、放射性和电子这三大发现，才否定了以前对原子的错误看法，认识到原子有一个复杂的结构。1911年英国物理学家卢瑟福提出了原子壳层模型，认为原子质量绝大部分集中在一个带有正电荷而直径仅为 $10^{-13} \sim 10^{-12} \text{Cm}$ 的原子核中。另外，有与核内正电荷数相同的电子在离原子核 $10^{-12} \sim 10^{-8} \text{Cm}$ 的区域内，按一定规律排列，并在轨道运动(图1—1)。情况与行星绕太阳运动相似，故有时称此模型为行星模型。

### 1.1 放射性物质

原子是由原子核和绕核运动的电子组成的，而原子核则是由质子和中子组成。质子、中子统称为核子。原子核的电荷数用 $Z$ 表示，也称为原子序数。 $Z$ 实际上就是原子核内的质子数，它等于核外的轨道电子数。原子核内的质子和中子数之和用 $A$ 表示，称为质量数。若

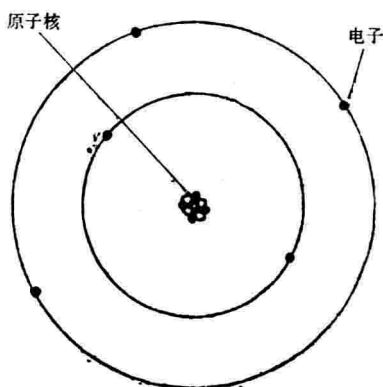


图1—1 原子结构示意图

用 $X$ 表示元素，则用 ${}^A_ZX$ 表示原子核。例如： ${}^{60}_{27}\text{Co}$ ，意为质量数为60，原子序数为27的钴原子核。

原子核可分为两大类。一类原子核是稳定的，另一类是具有放射性的。迄今为止，人类已经知道了107种元素，2500种放射性核素。一种元素可以具有质量不同的原子，所以人们用“同位素”这个术语来表示原子序数相同而质量数不同的元素。同位素的化学性质是相同的，但由于核中质量数的不同，核的物理性质是不同的。有的是稳定的，有的是具有放射性的。即使同样是放射性原子核，它们也有各自的衰变方式和不同的衰变常数。所以，现在用“核素”来表示每一种原子核，它是用质量数、原子序数和核的能态来表征的一种原子核。

早在1896年，法国物理学家贝可勒尔用铀盐和感光板发现铀能发射一种类似于X射线的贯穿辐射。进一步的研究表明：能发出辐射是某些元素的一种特殊性质，它不受光、热、气压、电磁等外界因素的影响。自然界存在能自发放出射线的物质叫做天然放射性物质。1898年，居里夫妇发现了放射性镭和钋，到了1919年英国物理学家卢瑟福利用 ${}^{214}\text{Po}$ 发出的 $\alpha$ 粒子去轰击氮原子时，在生成 ${}^{17}\text{O}$ 的同时，放出了一个质子，获得了历史上第一个人工放射性核素。这种由天然或人工的放射性物质放出各种射线的现象称为放射性。

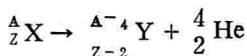
放射源是指用作电离辐射的任何量的放射性物质。放射源可分为密封源和非密封源两大类。所谓密封放射源就是一种密封在包壳或紧密覆盖层里的放射源。该包壳或覆盖层应具有足够的强度，使之在设计的使用条件和正常磨损下，不会有放射性物质散失出来。所谓非密封源指不是密封的放射源。

1.1.1 核衰变：当原子核内的质子和中子数失去一定比例时，就处于不稳定状态。这时原子核将自发地衰变为另一个原子

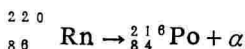
核，同时放出射线，这一过程称为核衰变。核衰变的类型较多，但最主要的是 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 衰变三种。

1.1.1.1  $\alpha$ 衰变：放射性核素自发地放出 $\alpha$ 粒子的过程，称为 $\alpha$ 衰变。 $\alpha$ 粒子实际上是氦原子核 ( ${}^4_2\text{He}$ )，由两个中子和两个质子组成，带两个单位的正电荷，质量为4.0026原子质量单位。

放射性核素在发生 $\alpha$ 衰变后，它的质量数减少4，原子序数减少2。若以X代表衰变前母核，用Y表示衰变后的子核，则 $\alpha$ 衰变可写成如下形式：

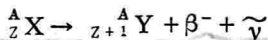


如  ${}^{220}_{86}\text{Rn}$  经 $\alpha$ 衰变后变成  ${}^{216}_{84}\text{Po}$ ，可表示为：



1.1.1.2  $\beta$ 衰变： $\beta$ 衰变分为 $\beta^-$ 衰变、 $\beta^+$ 衰变和电子俘获三种情况。

$\beta^-$ 衰变： $\beta^-$ 衰变实际上是原子核内一个中子转变为质子的过程。 $\beta^-$ 粒子就是电子，但因为它是从原子核内发射出来的，为了区别于原子的壳层电子，取名为 $\beta^-$ 粒子。 $\beta^-$ 粒子的静止质量等于电子的质量，它带一个单位的负电荷。 $\beta^-$ 衰变过程中母核与子核的质量数未发生变化，但由于子核中多了一个质子，故原子序数增加一个单位。衰变过程为：



如  ${}^{32}_{15}\text{P}$  的衰变可表示为：





式中 $\tilde{\nu}$ 为反中微子，其静止质量为零，不带电荷，在衰变中它将带走一部分能量，所以， $\beta^-$ 粒子的能量是一个连续的谱。图1—2给出了两种 $\beta^-$ 粒子的能谱。 $E_{\beta\max}$ 表示 $\beta^-$ 粒子的最大能量。在能量约为 $E_{\beta\max}$  1/3处，谱线有一峰值。一般图表上所给出的 $\beta$ 能量，都是指 $\beta^-$ 粒子的最大能量。

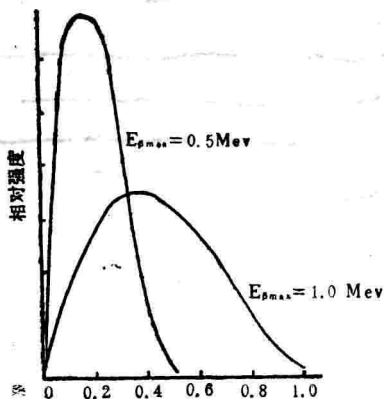
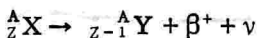


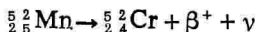
图1-1  $\beta$ 衰变能谱

$\beta^+$ 衰变：原子核在衰变过程中释放出 $\beta^+$ 粒子。只有某些人工放射性核素才能发生这类衰变。 $\beta^+$ 衰变过程可以看成是核内一个质子转变为一个中子和一个 $\beta^+$ 粒子。

这个过程使子体少了一个质子，因此，原子序数减少1，子体的质量数仍保持不变。用方程表示为：



其中 $\nu$ 为中微子。例如， ${}^{52}_{25}\text{Mn}$ 的衰变为：



电子俘获：原子核从核外壳层中俘获一个电子，而使核内的一个质子转变为中子和中微子。由于核内少了一个质子，子体核的原子序数减少1。这种衰变过程可表示为：

