

实用辐射安全手册

从慧玲 主编

 原子能出版社

实用辐射安全手册

从慧玲 主编

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

实用辐射安全手册/从慧玲主编. —北京:原子能出版社, 2005. 9

ISBN 7-5022-3490-X

I. 实… II. 从… III. 辐射防护-技术手册
IV. TL7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 095335 号

实用辐射安全手册

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	卫广刚
责任校对	冯莲凤
责任印制	丁怀兰
印 刷	保定市印刷厂
经 销	全国新华书店
开 本	787 mm×1092 mm 1/32
印 张	13.25
字 数	297 千字
版 次	2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5022-3490-X
印 数	1—1500
定 价	38.00 元

版权所有 侵权必究

网 址 <http://www.aep.com.cn>

《实用辐射安全手册》编审委员会

主 编：从慧玲

副主编：刘开武 李玉成 夏益华

编 委：(以编审章节为序)

从慧玲 高增林 李玉成

岳子玉 夏益华 乔录成

张建岗 窦天军

前 言

随着核科学技术的不断进步,核能、核技术在工业、农业、科研、医学、环保和国防等领域中广泛应用,核辐射安全技术与科学管理越来越显得十分迫切和突出。

为适应全国核事业可持续发展,以及广大读者的需求,中核集团公司安全环保质量部和中国工程物理研究院技术监督部,共同组织多名核科技工作者于 2003 年开始策划、编审了这本《实用辐射安全手册》。

本手册涉及的辐射安全学科内容主要包括辐射安全基础知识,辐射生物效应,职业照射和公众照射,辐射防护监测,干预情况的辐射防护,核临界安全,放射性物质运输安全,放射性废物管理与核设施退役等。

作为 21 世纪初的工具书,我们在编审本手册的过程中力求引用较新的出版物、科技书刊;并按照现行国家标准进行核对与选材,同时,力求文字简明扼要,保证本手册的科学性和实用性。

为了便于广大读者查阅使用,我们编排了一个比较详尽的目录。在使用本手册的公式、数据和图表时,一定要在理解的基础上,弄清前提条件、变换关系和所要使用实际情况的差异,切忌生搬硬套,绝不能以此替代现行的国家辐射防护与安全标准。

本手册在编审过程中,主要由编审委员会成员完成编写工作,除主编、副主编统改书稿外,参加编写的工作人员有:从慧玲(第 1 章);高增林(第 2

章);李玉成(第3章);岳子玉、李景云、余耀仙(第4章);夏益华(第5章);乔录成(第6章);张建岗(第7章);窦天军、潘社奇(第8章)。潘自强院士、阮可强院士以及罗上庚、赵亚民研究员对本手册的有关章节分别提出了宝贵意见,特在此一并致谢。

由于篇幅所限,本手册涵盖的内容存在一定局限性,另外,由于编审匆忙,难免有不足之处或错误,希望广大读者批评指正。

编审者

2005年5月

内 容 简 介

作为 21 世纪初辐射安全领域的工具书,在编审过程中,本手册力求引用较新的出版物、科技书刊,并按照现行的国家标准进行核对与选材。同时,注意文字简明扼要,尽可能利用公式、数据和图表等表达方式,保证本手册的科学性和实用性。主要包括:辐射安全基础知识,辐射生物效应,职业照射和公众照射,辐射防护监测,干预情况的辐射防护,核临界安全,放射性物质运输安全,放射性废物管理与核设施退役等。

本手册可供核科技工业、核能与核技术应用等领域从事核安全、辐射防护、辐射环境保护、临界安全、放射医学防护的科学技术、工程设计、生产、科研人员,以及从事核事业的管理人员和高等院校有关专业师生参考使用。

目 录

第 1 章	基础知识	(1)
1.1	原子、原子核、同位素	(1)
1.1.1	原子	(1)
1.1.2	原子核	(1)
1.1.3	同位素	(1)
1.2	放射性	(1)
1.2.1	放射性核素	(1)
1.2.2	放射性衰变	(1)
1.2.3	放射性衰变规律	(2)
1.2.4	1 居里放射性核素的质量	(3)
1.3	钍系、镭系、铀系和锕-铀系放射性衰变链	(3)
1.4	密封源和非密封源	(3)
1.4.1	密封源	(3)
1.4.2	非密封源	(3)
1.5	放射性核素的毒性分组	(8)
1.6	电离辐射的标志和警告标志	(12)
1.6.1	电离辐射标志	(12)
1.6.2	电离辐射警告标志	(12)
1.7	辐射量和单位	(14)
1.7.1	活度	(14)
1.7.2	比释动能	(14)
1.7.3	参考空气比释动能率	(14)
1.7.4	剂量	(14)

1.7.5	吸收剂量	(14)
1.7.6	当量剂量	(15)
1.7.7	辐射权重因数	(15)
1.7.8	有效剂量	(16)
1.7.9	组织权重因数	(17)
1.7.10	集体剂量	(17)
1.7.11	集体有效剂量	(17)
1.7.12	待积剂量	(17)
1.7.13	待积吸收剂量	(17)
1.7.14	待积当量剂量	(19)
1.7.15	待积有效剂量	(19)
1.7.16	器官剂量	(19)
1.7.17	剂量当量	(19)
1.7.18	个人剂量当量	(20)
1.7.19	周围剂量当量	(20)
1.7.20	定向剂量当量	(20)
1.7.21	工作水平(WL)	(20)
1.7.22	工作水平月(WLM)	(20)
附录 1.1	元素周期表	(21)
附录 1.2	放射性核素常用数据表	(23)
附录 1.3	常用量和单位	(103)

第 2 章 辐射生物效应 (108)

2.1	辐射生物效应的定义、分类及影响因素	(108)
2.1.1	定义及相关术语	(108)
2.1.2	辐射生物效应分类	(108)
2.1.3	影响辐射生物效应的因素	(109)

2.2	确定性效应	(110)
2.2.1	确定性效应的定义及剂量-效应关系特点	(110)
2.2.2	主要组织、器官发生确定性效应的阈剂量水平	(110)
2.2.3	全身照射的效应	(111)
2.2.3.1	放射反应	(111)
2.2.3.2	急性放射病	(113)
2.2.3.3	急性放射病发生率和死亡率与辐射剂量的关系	(114)
2.3	随机性效应	(116)
2.3.1	随机性效应的定义及剂量-效应关系特点	(116)
2.3.2	辐射致癌特点及其危险系数	(116)
2.3.2.1	辐射致癌的某些特点	(116)
2.3.2.2	辐射致癌效应的危险系数...	(118)
2.4	躯体效应	(118)
2.4.1	近期效应	(119)
2.4.2	远期效应	(119)
2.4.3	特殊的躯体效应——宫内受照后胚胎和胎儿的效应	(120)
2.4.3.1	宫内照射的随机效应	(120)
2.4.3.2	宫内照射的确定性效应	(120)
2.5	遗传效应	(121)
2.5.1	辐射对遗传物质的损伤	(122)
2.5.2	辐射诱发生殖细胞的遗传效应...	(122)
2.5.3	辐射遗传危险系数	(122)
2.5.4	辐射遗传危险估算方法	(123)
2.5.4.1	倍加剂量(间接)法	(123)
2.5.4.2	直接法	(124)

2.6	低剂量照射刺激效应	(124)
2.6.1	低剂量刺激效应的概念	(124)
2.6.2	小剂量、低剂量率照射的确定 ...	(124)
2.6.3	低剂量刺激效应的研究概况及其 意义	(125)
第3章	职业照射和公众照射	(126)
3.1	辐射防护要求	(126)
3.1.1	实践的正当性	(126)
3.1.2	防护与安全的最优化	(126)
3.1.3	剂量约束和危险限制	(126)
3.1.4	技术和管理要求	(127)
3.2	职业照射的定义和范围	(127)
3.2.1	职业照射的定义	(127)
3.2.2	职业照射的范围	(127)
3.2.3	天然源照射	(127)
3.2.3.1	概述	(127)
3.2.3.2	工作中的氡	(128)
3.2.3.3	使天然放射性核素水平增高 的工业活动	(129)
3.2.3.4	在喷气飞机内的宇宙射线...	(129)
3.3	职业照射的控制	(129)
3.3.1	控制职业照射的框架	(129)
3.3.2	区域划分	(130)
3.3.3	非密封源工作场所的分级	(131)
3.3.4	实施控制的有关物项及要求	(132)
3.4	公众照射的控制	(134)

3.4.1	公众照射的定义和范围	(134)
3.4.2	公众照射的控制原则	(134)
3.4.2.1	外照射源的控制	(134)
3.4.2.2	非开放场所中放射性污染的控制	(134)
3.4.2.3	参观访问人员的控制	(134)
3.5	剂量限值 and 表面污染控制水平...	(135)
3.5.1	职业照射的剂量控制	(135)
3.5.1.1	正常情况下的剂量控制	(135)
3.5.1.2	特殊情况下的剂量控制	(136)
3.5.2	公众照射的剂量控制	(137)
3.5.2.1	公众中关键人群成员的剂量限值	(137)
3.5.2.2	慰问者及探视人员的剂量限制	(137)
3.5.3	遵守剂量限值情况的确认	(137)
3.5.3.1	剂量限值计算公式	(137)
3.5.3.2	各种表格应用说明	(138)
3.5.4	表面污染控制水平	(140)
3.5.4.1	工作场所表面污染的控制...	(140)
3.5.4.2	工作场所某些设备与用品表面污染的控制	(141)
3.6	辐射防护基本方法	(207)
3.6.1	影响职业照射剂量的重要因素...	(207)
3.6.2	外照射的防护	(207)
3.6.2.1	概述	(207)
3.6.2.2	时间防护法	(207)
3.6.2.3	距离防护法	(209)
3.6.2.4	屏蔽防护法	(209)
3.6.2.5	源项控制法	(219)

3.6.3	内照射的防护	(219)
3.6.3.1	概述	(219)
3.6.3.2	表面污染的防护	(220)
3.6.3.3	空气污染的防护	(221)
3.6.3.4	通风	(222)
3.7	辐射防护最优化的要求	(223)
3.7.1	最优化的表述	(223)
3.7.2	最优化的要求	(224)
第4章	辐射防护监测	(225)
4.1	辐射防护监测的目的	(225)
4.2	辐射防护监测的分类	(226)
4.3	外照射剂量监测的适用量	(227)
4.4	个人监测	(227)
4.4.1	个人监测的对象	(227)
4.4.2	外照射个人监测剂量计的选择	(227)
4.4.3	内照射个人监测	(230)
4.4.3.1	内照射个人监测的对象和实例	(230)
4.4.3.2	内照射个人监测的方法	(231)
4.4.3.3	内照射测量结果的解释	(232)
4.5	工作场所监测	(232)
4.5.1	工作场所外照射监测	(232)
4.5.2	表面污染监测	(233)
4.5.3	空气污染监测	(233)
4.6	环境监测和流出物监测	(234)
4.6.1	环境监测	(234)

4.6.2	流出物监测	(236)
4.7	放射性样品的测量	(237)
4.7.1	α 测量	(237)
4.7.2	β 测量	(237)
4.7.3	γ 测量	(238)
4.7.4	X 射线测量	(239)
4.7.5	放射性气体测量	(239)
4.7.6	放射性气溶胶测量	(241)
4.7.7	氡及其子体测量	(244)
4.7.8	水中放射性监测	(247)
4.8	各种介质中放射性核素的放化 分析	(248)
4.8.1	介质中放射性核素的放化分析...	(248)
4.8.2	介质中放射性核素的测定	(249)
4.9	辐射防护监测仪表的性能及校 准	(254)
4.9.1	防护仪表的性能简介	(254)
4.9.2	防护仪表的检定和校准	(260)
4.9.3	防护仪表性能评价	(269)
4.10	数理统计和测量不确定度	(269)
4.10.1	概率与概率分布	(270)
4.10.2	随机变量的数学特性	(270)
4.10.3	统计值、置信度和置信区间	(271)
4.10.4	测量不确定度	(272)

第 5 章 干预情况的辐射防护

5.1 两类活动:实践与干预

5.2	两种情况下的干预:持续照射情况 的干预与应急照射情况的干预...	(277)
5.3	干预的基本原则	(278)
5.4	干预水平与行动水平	(278)
5.4.1	干预中采用的一些剂量学量	(278)
5.4.2	干预水平与行动水平的数值	(281)
5.4.3	应急照射情况的操作干预水平 ...	(284)
5.5	应急计划与准备	(287)
5.5.1	核或辐射应急状态分级	(287)
5.5.2	应急计划与准备	(289)
5.6	应急响应	(293)
5.6.1	应急组织的启动	(293)
5.6.2	事故评价	(295)
5.6.3	防护行动(措施)	(296)
5.6.4	医学应急	(302)
附录 5.1	国际核事件分级	(304)
附录 5.2	放射性物质的危险量	(309)

第 6 章 核临界安全

6.1	核临界安全基础	(314)
6.1.1	核临界安全中常用的概念	(314)
6.1.2	核临界安全控制原则	(315)
6.2	核临界安全措施	(315)
6.3	几种常用核临界安全控制方式...	(316)
6.4	^{235}U 和 ^{239}Pu 次临界限值	(318)
6.4.1	^{235}U 和 ^{239}Pu 的单参数次临界限值...	(318)
6.4.1.1	金属系统的次临界限值	(318)

6.4.1.2	水慢化系统的次临界限值…	(319)
6.4.1.3	氧化物系统的次临界限值…	(321)
6.4.2	^{235}U 和 ^{239}Pu 的多参数次临界限值…	(322)
6.4.2.1	水溶液、金属-水混合物 ……	(322)
6.4.2.2	低富集铀系统 ……	(325)
6.4.2.3	^{240}Pu , ^{241}Pu 含量不同的 $^{239}\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 溶液 ……	(328)
6.4.3	影响单体次临界限值的因素 ……	(328)
6.4.3.1	加严单体次临界限值控制的 意外因素 ……	(329)
6.4.3.2	放宽单体次临界限值的因素…	(330)
6.4.4	多体问题 ……	(331)
6.4.4.1	面密度法、密度类比法和立体 角法 ……	(332)
6.4.4.2	贮存和运输问题 ……	(334)
6.5	核临界安全常用的计算程序 …	(335)
6.6	临界事故 ……	(337)
6.6.1	临界事故概述及特点 ……	(337)
6.6.2	临界事故经验教训 ……	(337)
第 7 章	放射性物质运输安全 ……	(339)
7.1	几个重要术语 ……	(339)
7.2	运输的安全要求与管理 ……	(342)
7.2.1	运输指数(TI)的确定 ……	(342)
7.2.2	临界安全指数(CSI)的确定 ……	(343)
7.2.3	货包和外包装物的运输指数、临界 安全指数和辐射水平的限值 ……	(344)

7.2.4	放射性污染的限值	(344)
7.2.5	货包和外包装的分级	(345)
7.2.6	标志	(345)
7.3	对包装和货包的要求	(345)
7.3.1	对各种包装和货包设计的一般要求	(345)
7.3.2	试验程序	(346)
7.3.2.1	货包试验	(346)
7.3.2.2	验证经受正常运输条件能力 的试验	(346)
7.3.2.3	验证经受运输事故条件能力 的试验	(347)
7.3.3	审批和管理要求	(348)
7.4	乏燃料运输安全	(348)
7.4.1	乏燃料组件的特性及放射性源项...	(348)
7.4.2	乏燃料运输货包	(349)
7.4.2.1	货包结构及各部件的功能...	(349)
7.4.2.2	货包试验	(351)
附录 7.1	部分放射性核素的基本值	(352)

第 8 章 放射性废物管理与核设施退役 (355)

8.1	放射性废物.....	(355)
8.1.1	放射性废物的来源	(355)
8.1.2	放射性废物的分类	(355)
8.2	放射性废物管理	(358)
8.2.1	放射性废物管理原则	(358)