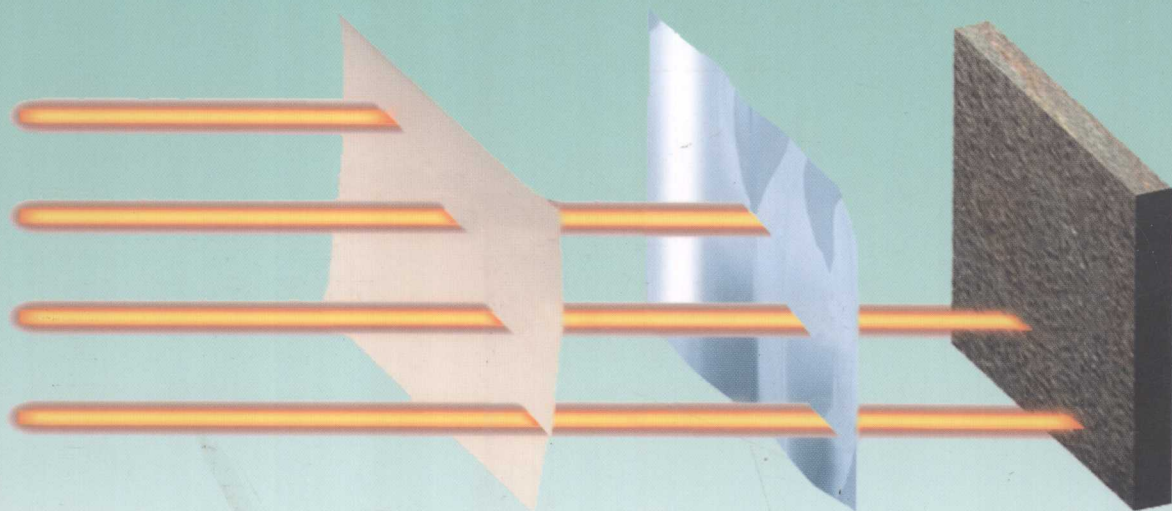


中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所技术丛书

实用辐射防护与剂量学

(应用篇)

苏旭 张良安 主编



中国原子能出版社

014034475

TL7
28
V2

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所技术丛书

实用辐射防护与剂量学

(应用篇)

主 编 苏 旭 张良安
副主编 郭 勇 问清华
主 审 叶常青



TL7
28
V2

中国原子能出版社



北航

C1714687

014034432

图书在版编目(CIP)数据

实用辐射防护与剂量学 / 苏旭, 张良安主编.

—北京: 中国原子能出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5022-5779-8

I. ①实… II. ①苏… ②张… III. ①辐射防护②辐射剂量 IV. ①TL7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 293225 号

内 容 简 介

全书分基础篇和应用篇两部分,共 16 章,3 个附录。基础篇内容覆盖核辐射物理学基础,辐射防护基础,辐射生物学基础,放射剂量学基础,辐射测量方法,内、外照射剂量监测与估算,蒙特卡罗在剂量估算中的应用和 3 个附录;应用篇包括放射防护屏蔽设计、放射诊断、放射治疗和核医学中的辐射防护、辐射水平分析、源和环境监测、核和辐射事故医学应急、测量数据处理与统计分析等。

实用辐射防护与剂量学

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)
责任编辑 刘岩 张琳
装帧设计 马世玉
责任校对 冯莲凤
责任印制 潘玉玲
印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 108.75
字 数 2714 千字
版 次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷
印 数 1—2500
书 号 ISBN 978-7-5022-5779-8 定价(全二册) 330.00 元

网址:<http://www.aep.com.cn>

发行电话:010-68452845

E-mail: atomep123@126.com

版权所有 侵权必究

《实用辐射防护与剂量学》

编 委 会

主 编

苏 旭 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

张良安 中国医学科学院放射医学研究所

副主编

郭 勇 军事医学科学院放射与辐射医学研究所

问清华 苏州热工研究院

主 审

叶常青 军事医学科学院放射与辐射医学研究所

委 员

秦 斌 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

刘建香 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

张文艺 中国医学科学院放射医学研究所

张 奇 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

张 震 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

李 抗 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

侯长松 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

焦 玲 中国医学科学院放射医学研究所

前 言

核能与核技术已广泛应用于工业、农业、医药卫生、军事等各领域,极大地促进了经济建设、科技进步和社会发展。辐射防护在保障核能与核技术可持续发展中发挥着不可替代的重要作用。随着科学研究和辐射防护实践的不断深入,辐射防护与剂量学无论在理论上还是在方法学上都有了长足的进展。为介绍和推广最新科学研究成果和辐射防护经验,IAEA、ISO 和 ICRP 等国际组织近年来发布了一系列技术文件。为了及时反映国际辐射防护与剂量学的最新进展,我们经过几年的努力,编写了这部《实用辐射防护与剂量学》专著,献给从事辐射防护工作的同行们。

《实用辐射防护与剂量学》全书分基础篇和应用篇两部分,共 16 章,3 个附录,271 万字。基础篇内容覆盖核辐射物理学基础、辐射防护基础、辐射生物学基础、放射剂量学基础、辐射测量方法、内、外照射剂量监测与估算、蒙特卡罗在剂量估算中的应用和 3 个附录;应用篇包括放射防护屏蔽设计、放射诊断、放射治疗和核医学中的辐射防护、辐射水平分析、源和环境监测、核与辐射事故医学应急、测量数据处理与统计分析。

本书编写过程中,我们力求反映国内外辐射防护与剂量学的最新进展,特别是 ICRP、IAEA、ISO、IEC、WHO、NCRP 和 CAC 的最新资料。内容上尽可能较完整地涵盖辐射防护与剂量学领域的各个方面。在取材上,除必要的基础理论知识阐述外,并密切结合实际,选择实用价值较大、使用方便的数据、图表和公式。

本专著可供辐射防护与剂量学科研人员、辐射检测与评价科技工作者和辐射防护管理人员使用,也可作为辐射检测与评价的培训教材和大专院校相关专业的教学参考用书。

目 录

基 础 篇

第一章 核辐射物理学基础	3
第一节 原子与辐射	8
一、原子物理学基础	8
二、原子核的稳定性	12
三、放射性及其单位	13
四、天然放射性系	27
五、常用天然放射性核素的特征	36
六、天然放射性核素的射线谱	38
七、感生放射性	46
八、电离辐射的主要来源	46
第二节 电离辐射与物质相互作用	47
一、带电粒子与物质的相互作用	48
二、非带电粒子与物质的相互作用	62
三、相互作用系数	66
四、核辐射的穿透能力	84
五、受照物质中的辐射能量分布	85
参考文献	89
第二章 放射生物学基础	90
第一节 辐射损伤	90
一、电离辐射损伤的化学基础	90
二、电离辐射损伤的分子生物学基础	94
第二节 辐射流行病学基础	100
一、概述	100
二、辐射流行病学的意义	101
三、辐射流行病学的评价指标	102
四、辐射流行病学调查结果的影响因素	104
五、辐射流行病学调查资料	107
六、分子流行病学基础	114
第三节 生物剂量学方法	116

一、概述	116
二、现行的生物剂量学指标和评价	117
三、染色体畸变分析估算生物剂量方法	118
四、微核分析	123
五、早熟凝聚染色体断片分析	125
六、稳定性染色体畸变(易位)分析	126
七、体细胞基因突变分析	128
第四节 辐射防护的生物学假设	133
一、随机性效应	134
二、确定性效应(有害的组织反应)	138
第五节 归因份额分析方法及其应用	139
一、概述	139
二、归因份额/病因概率	140
三、癌症归因份额的估计	141
四、不确定度	147
五、风险模型	148
六、归因份额计算结果的实际应用方法	151
参考文献	152
第三章 辐射防护基础	155
第一节 辐射防护体系	156
一、IAEA 防护和安全系统	156
二、照射情况的类型	158
三、ICRP-60 出版物和 ICRP-103 出版物	159
四、辐射防护正当性	160
五、辐射防护最优化	162
六、剂量限值	163
七、剂量约束和参考水平	165
第二节 常用外照射辐射防护方法	172
一、距离防护	172
二、时间防护	172
三、屏蔽防护	172
四、其他防护	173
第三节 放射源的分类	174
一、照射情景	177
二、危险放射源	179
三、对选定的 D 值的评述	215
四、放射源的分类	218
五、归一化因子和类别边界	219
第四节 辐射防护安全评价方法	225

一、安全检查表法	225
二、专家评议法	227
三、预先危险分析法	228
四、故障假设分析法	229
五、危险与可操作性研究	230
六、故障树分析法	232
七、事件树分析	235
八、六阶段安全评价法	237
第五节 突发事故概率估算	237
一、突发性事故成因分析	238
二、突发性事故概率估算	238
三、突发性事故的事故树分析	240
四、事故树实例分析	241
参考文献	244
第四章 辐射剂量学基础	246
第一节 辐射防护剂量学量	247
一、常用剂量学量	247
二、剂量学基本物理量	247
三、比释动能与吸收剂量的关系	255
四、瞬间剂量学量	259
第二节 放射性的量和单位	260
一、(放射性)活度	260
二、衰变常数	260
三、空气比释动能率常数	261
第三节 辐射防护评价量	262
一、用于辐射防护检测和评价的量	262
二、当量剂量	265
三、有效剂量	265
四、内照射防护评价量	270
第四节 辐射防护实用量	272
一、几个常用术语	274
二、周围剂量当量	275
三、定向剂量当量	276
四、个人剂量当量	276
五、实用量与空气比释动能的关系	277
六、中子注量到实用量的转换	279
七、比释动能、注量和实用量到有效剂量的转换	281
八、放射源活度与注量率之间的关系	284
第五节 其他常用量	284

一、器官剂量通常估算方法	284
二、利用典型位置处的空气比释动能率估算器官剂量	285
三、利用典型位置处的注量率估算器官剂量	298
四、全身剂量估算方法	323
五、 β 外照射器官剂量估算	323
参考文献	329
第五章 辐射测量方法	332
第一节 通用辐射测量方法	332
一、空气比释动能测量	332
二、 β 射线剂量测量	336
三、中子剂量测量	339
第二节 放射性活度测量方法	346
一、活度测量方法基础知识	346
二、 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量方法	347
三、 $4\pi\text{X-}\gamma$ 符合测量方法	352
四、其他符合测量方法	353
五、小立体角法	355
六、液体闪烁计数器	356
七、正比计数器	364
八、 4π 电离室	369
第三节 X 射线诊断中的剂量测量方法	373
一、测量的主要剂量学量	374
二、测量仪器的选择	376
三、测量仪器的能量响应	378
四、X 射线诊断剂量学专用剂量学量	379
第四节 放射治疗中的剂量测量方法	383
一、高能光子和电子束剂量测量方法	384
二、中能千伏 X 射线剂量测量方法	389
三、低能千伏 X 射线剂量测量方法	390
四、重离子剂量测量方法	391
第五节 源和环境辐射测量	392
一、环境放射性	393
二、环境辐射现场监测技术	395
三、空气个人采样监测	401
四、生活饮用水中总 α 、总 β 放射性检测	402
五、食品放射性浓度监测	404
六、建材放射性水平测量	406
第六节 X 和 γ 射线能谱测量	407
一、能谱测量的基本知识	407

二、 γ 能谱量测量的一般考虑	412
三、测量条件的选择	416
四、能量刻度	417
五、探测效率刻度	419
六、谱数据的处理	425
第七节 半导体带电粒子谱仪	430
一、确定半导体探测器的偏压	431
二、 α 谱仪的能量刻度和能量分辨率	432
三、用偏置放大器来扩宽能谱	432
参考文献	433
第六章 外照射剂量监测及估算方法	435
第一节 外照射个人监测	435
一、个人监测技术标准	435
二、外照射个人监测对象	436
三、个人监测的目标量	436
四、监测类型	436
五、监测中常见辐射场	437
六、任务相关和特殊监测	438
七、个人监测的基本要求	438
八、剂量评价方法	438
九、主要性能和质量控制	451
十、 β 、 X 和 γ 个人剂量计	457
十一、中子个人剂量计	463
第二节 辐射防护场所监测	465
一、场所监测	465
二、光子(γ 和 X)场所测量仪器	471
三、 β 射线和低能光子测量仪器	472
四、中子测量仪器	473
第三节 剂量重建理论模拟方法	475
一、引言	475
二、剂量估算的基本算法	476
三、剂量估算中的人体数学模型	483
第四节 剂量重建直接测量方法	486
一、事故外照射剂量重建直接测量方法	486
二、电子顺磁共振方法	490
第五节 辐射监测与剂量估算中的常见问题	503
一、辐射防护监测的结果解释及规范要求	503
二、诊断防护测量仪器的常见问题	506
三、测量仪表和方法的最低探测水平(MDL)问题	506

四、测量数据及仪器校准数据的合理使用	507
第六节 外照射剂量估算软件	511
一、光子剂量估算模块的理论基础	511
二、剂量估算软件的逻辑关系	514
三、外照射剂量估算软件系统主要用户界面	515
参考文献	523
第七章 内照射剂量监测及剂量估算方法	524
第一节 内照射剂量估算的生物和剂量学模型	524
一、内照射生物动力学模型	525
二、不同核素的生物动力学模型参数	534
第二节 职业内照射个人监测	543
一、职业内照射个人监测计划的设计	543
二、内照射个人剂量估算方法	545
三、常规内照射个人监测	549
四、特殊内照射个人监测	550
五、个人剂量评价方法	550
第三节 公众成员内照射剂量估算	563
一、用摄入量估算内照射剂量	563
二、摄入量估算	565
三、内照射慢性照射的剂量评价方法	576
第四节 水和尿样中总 α 和总 β 检测方法	581
一、概述	581
二、水和尿中放射性核素的筛查和指导水平	581
三、总 α 和总 β 检测方法	588
第五节 核医学患者内照射剂量估算方法	596
一、基本考虑	596
二、吸收分数及其计算方法	598
三、模体及 S 值	599
四、累积活度和停留时间计算	599
五、核医学的靶向治疗及微剂量学方法	600
六、不确定度分析	604
第六节 内照射剂量估算软件	605
一、简介	606
二、各模块的主要流程框图	607
三、内照射剂量估算计算机模块	611
参考文献	619
第八章 蒙特卡罗方法在剂量估算中的应用	622
第一节 蒙特卡罗方法	622
一、蒙特卡罗算法的基本思路	622

二、蒙特卡罗算法的收敛性和误差	623
三、随机数及随机抽样	624
第二节 蒙特卡罗方法解粒子输运问题举例	628
一、辐射屏蔽问题	628
二、直接模拟方法	628
三、实现粒子输运计算机计算的主要程序	632
第三节 蒙特卡罗方法在通量计算中的应用	633
一、通量的定义	633
二、通量的能谱与角分布	633
三、计算体通量的模拟方法	634
四、计算面通量的模拟方法	636
五、计算点通量的模拟方法	637
六、与通量有关的物理量的计算	639
第四节 蒙特卡罗方法在积分计算中的应用	639
一、蒙特卡罗方法求积分	639
二、重要抽样	640
三、分裂和俄国轮盘赌	640
四、半解析(数值)方法	642
五、系统抽样	642
六、分层抽样	643
第五节 蒙特卡罗方法应用程序	643
一、常用蒙特卡罗方法的应用程序	643
二、MCNP 程序输入的描述	644
参考文献	653
附录 A 放射性核素的衰变资料	654
附录 B 内照射剂量估算中的主要参数	740
附录 C 常用物理常数、单位及其关系	900

应 用 篇

第九章 辐射防护屏蔽设计	909
第一节 常用光子屏蔽设计方法	909
一、光子初始线束屏蔽计算	909
二、光子次级线束屏蔽计算	922
三、房顶的屏蔽考虑	927
四、迷宫的屏蔽考虑	927
五、门的屏蔽考虑	932
第二节 中子和俘获 γ 的屏蔽设计	932
一、对高能线性加速器中子的屏蔽	932

二、迷宫处的俘获 γ 和中子剂量	933
三、迷宫门的屏蔽设计	936
第三节 医用加速器屏蔽设计方法	937
一、屏蔽设计方法举例一	937
二、屏蔽计算方法举例二	951
第四节 其他治疗源及设施的屏蔽设计方法	963
一、外线束远距治疗屏蔽设计举例	963
二、近距治疗屏蔽设计举例	968
三、模拟定位机的屏蔽设计举例	973
四、浅层和中压治疗机的屏蔽设计举例	981
五、特殊操作屏蔽设计举例	984
第五节 屏蔽设计相关的国家标准	990
一、放射治疗机房的辐射屏蔽规范	990
二、其他标准中的几个典型的屏蔽设计举例	993
第六节 辐射屏蔽防护设计的计算机系统	996
一、屏蔽计算用户主界面	996
二、各向同性入射屏蔽计算用户界面	997
三、其他方向入射屏蔽计算用户界面	997
四、普通医用 X 射线屏蔽计算用户界面	997
五、加速器治疗室屏蔽计算用户界面	998
六、镭-252 中子治疗室屏蔽计算用户界面	999
七、散射辐射屏蔽计算用户界面	999
参考文献	1001
第十章 放射诊断中的辐射防护	1003
第一节 介入操作中的辐射防护问题	1003
一、患者和职业人员剂量水平	1003
二、介入操作中的特殊剂量学问题	1005
第二节 X 射线诊断剂量学量	1007
一、X 射线诊断中吸收剂量的不确定性	1007
二、X 射线诊断剂量学常用量	1009
第三节 X 射线诊断设备质量控制检测	1014
一、普通 X 射线摄影设备的质量控制检测方法	1014
二、X 射线透视设备质量控制检测方法	1021
三、X 射线计算机断层摄影装置质量控制检测	1023
四、介入操作中的防护剂量测量	1028
第四节 患者剂量测量	1039
一、普通拍片剂量测量	1039
二、普通透视剂量测量	1047
三、乳房照相剂量测量	1053

四、乳房照相的转换系数和剂量计算	1056
五、CT 剂量测量	1059
六、牙科剂量测量	1062
七、X 射线诊断中需要测量的量和方法总结	1067
第五节 指导水平及其制定方法	1068
一、指导水平在医学诊断中的应用	1068
二、指导水平的制定	1069
参考文献	1073
第十一章 放射治疗中的辐射防护	1075
第一节 放射治疗新技术中的辐射防护	1075
一、立体定位治疗	1075
二、放射性粒子植入治疗	1075
三、重离子治疗	1076
第二节 放射治疗计划及质量控制	1094
一、概述	1094
二、型式检验	1094
三、放射治疗剂量测量仪表	1098
四、电离室剂量仪读数修正	1099
第三节 放射治疗剂量学主要参数	1100
一、辐射品质	1100
二、照射野均匀性	1101
三、照射野对称性	1101
四、照射野与灯光野重合性	1102
五、校准点吸收剂量	1102
六、 ^{60}Co γ 射线的半影区宽度	1102
第四节 放射治疗设备的质量控制检测方法	1102
一、辐射品质检验方法	1102
二、照射野均整度检验方法	1104
三、照射野对称性检验方法	1105
四、照射野与灯光野重合性检验方法	1105
五、 ^{60}Co γ 射线半影区宽度检验方法	1106
六、校准点吸收剂量检验方法	1106
七、后装治疗源的参考空气比释动能率或活度检测方法	1116
第五节 光子外线束治疗剂量学	1118
一、空气中小质量介质剂量	1118
二、剂量及剂量分布	1119
三、放射治疗参数	1121
四、放射治疗剂量	1125
五、离轴比和射束剖面图	1134

六、线束均整度	1135
七、线束对称性	1135
八、模体内等剂量分布	1135
九、单野照射患者的体内等剂量分布	1137
十、克拉克森分部求和技术	1140
十一、用电离室进行相关剂量测量	1142
十二、单一外线束剂量的传递	1143
十三、剂量计算举例	1144
十四、快门校正时间	1145
第六节 电子束治疗剂量学	1146
一、水中轴向剂量分布	1146
二、电子线束剂量学参数	1151
三、电子线束治疗的临床考虑	1154
四、不规则表面修正	1156
五、小圆材料	1157
六、非均匀修正	1157
七、电子线束组合	1158
八、电子弧形疗法	1159
第七节 近距离治疗剂量学	1160
一、概述	1160
二、放射源特征	1161
三、临床应用和剂量学体系	1163
四、剂量描述和报告	1167
五、源周围的剂量分布	1167
六、剂量计算程序	1171
参考文献	1173
第十二章 核医学诊疗中的辐射防护	1175
第一节 核医学诊疗中的患者剂量估算	1175
一、核医学内照射剂量历史情况	1175
二、核医学内照射剂量计算基本公式	1175
三、核医学内照射剂量计算系统	1176
四、核医学计算模式的应用	1179
五、ICRP 建议的核医学剂量估算系数	1186
第二节 核医学靶向治疗中的微剂量学	1303
一、细胞和亚细胞水平的活度不均匀分布	1303
二、细胞和亚细胞水平的剂量学方法	1303
三、核医学诊疗中的微剂量学	1304
第三节 核医学诊疗中的质量控制	1318
一、放射性药物及其质量控制	1318

二、设备质量控制	1321
第四节 核医学诊疗中的放射防护	1322
一、放射防护的基本要求	1322
二、核医学放射防护的要点	1322
参考文献	1330
第十三章 源和环境监测	1333
第一节 源监测的一般要求	1333
一、源监测项目的设计	1333
二、源监测技术的类型	1334
三、气溶胶和气体排放	1335
四、液体排放	1345
五、直接辐射	1347
六、系统可操作性	1348
七、系统的校准、操作控制和管理	1348
八、操作监测系统和测量程序的验证	1348
第二节 环境监测	1349
一、监测目标	1349
二、监测方案的设计	1350
三、空气放射性及其沉积物监测	1352
四、陆地环境监测	1354
五、水生环境监测	1356
六、环境监测中应测量的参数	1358
第三节 不同设施的源和环境监测	1359
一、源监测一般要求	1359
二、环境监测一般要求	1360
三、研究堆和核电站的源和环境监测方案	1361
四、铀的富集和核燃料生产厂的源和环境监测	1364
五、后处理设施	1367
六、存在天然放射性物质(NORM)的设施	1369
七、放射性药物设施和医院	1369
第四节 氦、氘及其子体监测	1370
第五节 源和环境监测方案的通用要求	1374
一、抽样	1374
二、实验室样品分析	1374
三、探测限和不确定度	1375
四、质量管理体系	1376
第六节 食品和饮用水中放射性物质检测方法	1378
一、样品的采集	1378
二、样品的运输和储存	1382