

放射人员工作与健康手册

胡海峰 邓艳丽 李君利 主编



原子能出版社

放射人员工作与健康手册

胡海峰 邓艳丽 李君利 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

放射人员工作与健康手册/胡海峰,邓艳丽,李君利

主编. —北京:原子能出版社,2008. 5

ISBN 978-7-5022-4109-4

I. 放… II. ①胡… ②邓… ③李… III. ①放射医学-手册 ②辐射防护-手册 IV. R81-62 TL7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 049105 号

放射人员工作与健康手册

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 张琳

责任校对 徐淑惠

责任印制 丁怀兰

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 787mm×1092mm 1/16

印张 19.625

字数 487 千字

版次 2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5022-4109-4

定价 60.00 元

《放射人员工作与健康手册》

编 委 会

主 编	胡海峰	邓艳丽	李君利
编 者	(以姓氏笔画为序)		
	王 兵	王又兰	王文学
	刘 星	孙 冰	张 辉
	明申金	侯利娜	曹艳锋
审 校	桂立明		

前 言

随着我国核能的迅速发展以及核技术在工、农、医和许多研究领域中的广泛应用,一方面,它对促进国民经济的发展已发挥了极其重要的作用,实践证明核能是一种安全、可靠、清洁、经济的能源;另一方面,由于核能与核技术的广泛应用,使人类接受各种电离辐射照射的机会明显增加,存在一定的潜在危险性。各种辐射照射对人类的健康危害是在人类不断利用各种电离辐射源的过程中被认识到的。核技术给人类带来巨大利益的同时,也会因某些人为和技术上的因素,而发生危及生命与财产的各类放射意外事件。因此,有关电离辐射对人体危害的研究也日益受到重视,从核技术和和平利用的一开始,世界各国就一直把核安全与放射防护问题置于首位。人们认识到,辐射防护是保护工作人员的健康和安全所必须解决的问题之一。

本书的编写是以培训目的为主,给从事射线装置等相关辐射工作的人员一本普及型的参考手册。很多社会调查发现一般公众对核的联想首先是核武器、核事故,很少有人想到核的有益作用以及辐射在疾病诊断和治疗中的重要性。通常忧虑和恐怖会随“熟悉”和“可以觉察的控制”而减轻,因此有必要加强信息传播和公众理解,尊重公众对辐射防护的关切。另外,有些放射工作人员对辐射职业体检不甚了解,尤其是当拿到体检结果时,不清楚那些指标说明什么问题,该如何正确对待;甚至怀疑自己受到辐射损伤,怀疑自己得了放射病。本手册的目的之一正是期望能消除这些疑虑,使大家能更好地工作在辐射工作岗位上。

本手册分两篇来编写的。第一篇主要介绍辐射物理与放射医学的基础知识。首先介绍了射线与物质相互作用,以及各种辐射量。接下来介绍了辐射防护标准和防护的基本方法,以及人类接受的各种辐射及其照射的水平,因为它是评价人类各种辐射照射影响健康危害的基础。

对人类接受辐射照射后出现的生物效应与健康危害进行定量评价是放射医学与辐射防护学科研究中的重点。因此手册还重点讲述了辐射的生物效应,

生物效应的分类及其特点,对放射工作人员更为关心的小剂量长期照射引起的危害也作了简单分析。为帮助人们更好地理解放射职业体检,手册不仅详细地介绍了放射体检的主要项目、基本医学常识、体检结果的分析与评价,还分析了影响检验结果的主要因素,放射体检应遵循的规范及注意事项等。

手册第二篇主要介绍辐射防护与安全。辐射防护是一门多学科、综合性的应用科学,涉及许多科学技术领域。辐射防护又称保健物理,是研究防止电离辐射对人类产生有害作用的一门综合性边缘学科,辐射安全又是涉及领域非常广泛的一门学科,越来越受到人们的重视。当前,人们已经把防护与安全放在同等重要的位置。由于辐射安全内容非常广泛,我们在本篇重点介绍了低能加速器装置的辐射安全与保健,辐射安全设计一般纲要,以及辐射监测用的主要方法和仪器的使用,同时对一般放射工作人员非常关注的职业健康监护与管理办法、放射性疾病的诊断鉴定、辐射事故应急处理的管理做了阐述。书后还摘录现行有关法律法规中一些与工作关系十分密切的条款文件及相关实用资料作为附录。

由于编者水平有限和掌握资料的局限性,加之时间短促,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

2008年4月

目 录

第一篇 辐射物理与放射医学的基础知识

第 1 章 电离辐射基础知识	3
1.1 电离辐射	3
1.2 常用的电离辐射及它们与物质的相互作用	3
1.3 电离辐射对人类和环境的影响	9
1.4 常用辐射量和单位	12
参考文献	20
第 2 章 电离辐射的防护与标准	21
2.1 概述	21
2.2 辐射防护的目的与基本原则	21
2.3 辐射防护标准及其安全评价	23
2.4 外照射与内照射防护的基本方法	29
2.5 有关辐射防护的国际组织简介	32
参考文献	35
第 3 章 电离辐射生物学效应	36
3.1 概述	36
3.2 辐射效应作用机制	36
3.3 辐射效应及其分类	37
3.4 辐射敏感性及影响因素	40
3.5 胎内辐射效应	42
3.6 小剂量照射特点	43

3.7 放射损伤的临床表现.....	44
参考文献	51
 第4章 放射体检中的一般体格检查	52
4.1 概述.....	52
4.2 医学史和职业史调查.....	53
4.3 一般检查.....	54
4.4 内科系统检查.....	55
4.5 外科检查.....	56
4.6 眼睛检查.....	57
4.7 耳、鼻、喉检查.....	58
4.8 皮肤检查.....	59
4.9 神经系统检查.....	61
4.10 妇科检查	62
参考文献	63
 第5章 放射体检中的实验室检查	64
5.1 概述.....	64
5.2 血液学检查.....	64
5.3 尿常规液检查.....	71
5.4 内分泌(甲状腺功能)检查.....	74
5.5 外周血淋巴细胞染色体畸变分析.....	75
5.6 外周血淋巴细胞微核率.....	78
5.7 影响实验室检验结果的主要因素.....	79
5.8 对实验室检验结果正确评价和解释.....	80
参考文献	82
 第6章 放射体检中的器械检查	83
6.1 概述.....	83
6.2 胸部X射线检查	83
6.3 常规心电图检查.....	85
6.4 腹部B超检查	89
参考文献	93

第二篇 辐射防护与安全

第 7 章 低能加速器装置的辐射安全与保健	97
7.1 概述	97
7.2 加速器装置的一般辐射安全纲要	98
7.3 辐射工作场所划分及警示标志	106
7.4 辐射应急计划规则	108
7.5 0~10 MeV 集装箱检查系统的防护设计与安全分析	110
参考文献	123
第 8 章 辐射防护与安全管理	125
8.1 概述	125
8.2 我国现行辐射防护与安全管理体制	125
8.3 放射源专项管理	132
8.4 建立健全辐射安全管理规章制度	134
8.5 教育与培训	135
8.6 安全文化	136
8.7 应用举例:威视股份的辐射安全文化	137
参考文献	141
第 9 章 辐射防护监测	142
9.1 概述	142
9.2 个人剂量的监测和评价	142
9.3 工作场所的辐射监测	158
9.4 辐射防护监测与管理实例	178
参考文献	183
第 10 章 放射工作人员职业健康监护	184
10.1 概述	184
10.2 职业健康监护	184
10.3 职业健康监护相关方的责任与权利	185
10.4 职业健康检查机构	189
10.5 职业健康检查的内容	191
10.6 职业健康检查的结论及评价	193

10.7 常见放射病的临床表现·····	195
10.8 职业健康监护档案管理·····	198
10.9 应用举例——威视股份的职业健康监护管理·····	200
参考文献·····	202
第 11 章 职业性放射病诊断 ·····	203
11.1 概念·····	203
11.2 分类·····	203
11.3 放射病的特点·····	203
11.4 职业性放射病的诊断·····	204
11.5 职业性放射病诊断证明书·····	206
11.6 职业放射病诊断的报告制度·····	206
11.7 职业病诊断档案·····	206
11.8 职业病待遇·····	206
参考文献·····	207
第 12 章 辐射事故及其应急处理 ·····	208
12.1 概述·····	208
12.2 辐射事故的分类和分级·····	208
12.3 我国辐射事故概况·····	211
12.4 辐射事故的原因分析·····	213
12.5 辐射事故的处理原则与要求·····	214
12.6 辐射事故应急响应行动·····	217
12.7 辐射事故应急预案举例·····	222
参考文献·····	227
附录 ·····	229

第一篇 辐射物理 与放射医学的基础知识

第 1 章 电离辐射基础知识

1.1 电离辐射

辐射是指以电磁波或高速粒子的形式向周围空间或物质发射并在其中传播的能量的统称。辐射分为电离辐射与非电离辐射。有些辐射如无线电、微波、红外线、可见光和紫外线等,由于能量低,不足以使电子从原子中逸出,不能引起物质电离,称为非电离辐射。凡是与物质直接或间接作用时能使物质电离的一切辐射,称为电离辐射。电离辐射是由直接或间接电离粒子或由两者混合组成,直接电离粒子是那些具有足够大的动能,以致通过碰撞就能引起物质电离的带电粒子,如电子、 β 射线、质子、 α 粒子等。间接电离粒子是能够释放出直接电离粒子或引起核变化的非带电粒子,如光子、中子等。图 1-1 给出了电离辐射是物质发生电离过程的示意图。

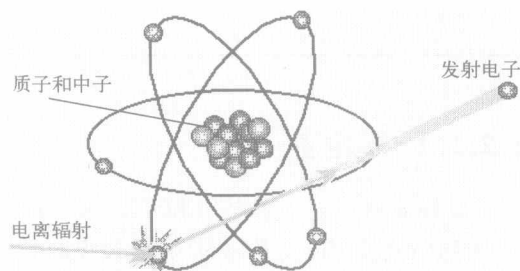


图 1-1 物质电离过程

一般说来,电离辐射粒子的能量在 10 eV 量级以上,这个能量下限是使空气等典型材料发生电离所需的最低能量。从人类的健康和安全的角度考虑,电离辐射更受到关注,这是由于电离辐射能产生许多活泼的电离原子,而这些原子在细胞中将参与能影响细胞的正常过程的化学反应。

本书所论及的“辐射”仅指电离辐射,又称“射线”。

1.2 常用的电离辐射及它们与物质的相互作用

1.2.1 常用的电离辐射类型及其特征

电离辐射按照电荷性质可以分为带电粒子和不带电粒子,凡静止质量大于电子的带电粒子,称为重带电粒子,如质子、 α 粒子、 μ 介子等。辐射粒子的一般物理性质,如表 1-1 所示。

表 1-1 电离辐射物理性质

类型	粒子	符号	电荷 (e)	静止质量		稳定性
				(u)	(MeV/c ²)	
重带电粒子	质子	P(¹ H)	1	1.007	938.26	稳定
	氘	D(² H)	1	2.014	1876.52	稳定
	氚	T(³ H)	1	3.015	2809.19	不稳定
	α 粒子	α(⁴ He)	2	4.002	3728.81	稳定
电子	负 β 射线	β ⁻ (e ⁻)	-1	4.586×10 ⁻⁴	0.511	稳定
	正 β 射线	β ⁺ (e ⁺)	1	4.586×10 ⁻⁴	0.511	稳定
不带电粒子	γ 射线	γ	0	0	0	稳定
	中子	n	0	1.009	939.565	不稳定

1.2.1.1 α 粒子

也称 α 射线。天然的 α 粒子来源于较重原子核的自发衰变,α 粒子的能量一般分布在 4~9 MeV 范围内。α 粒子的电场和吸收物质的轨道电子的相互作用易导致电离和激发事件,主要通过电离和激发过程损失能量。由于 α 粒子带两个电荷且速度低(由于质量大),与物质相互作用时,它们能在相对短的距离内损失掉能量。例如 5.3 MeV 的 α 粒子在标准状态空气中的平均射程 $\bar{R} \approx 3.84\text{ cm}$,同样能量的 α 粒子在生物组织中的射程仅为 30~40 μm,一张纸或人体皮肤的角质层就可把它挡住。

1.2.1.2 β 粒子

β 粒子也称 β 射线,是电子和正电子的统称。电子 β⁻与正电子 β⁺质量相同,电荷大小相等,符合相反。β 粒子来源于原子核的 β 衰变,其能谱与 α 粒子能谱不同,不是分立的而是连续的。

在与物质相互作用过程中,β 粒子除了通过电离和激发损失能量,还通过轫致辐射损失能量。高速运动的 β 粒子从原子核附近掠过时,它会受到原子核库仑场的作用而产生加速度,其动能将转变为连续谱的电磁辐射(X 射线),即轫致辐射。能量最小值为 0,最大值为 β 粒子的最大动能。产生轫致辐射的份额是与吸收材料的原子序数 Z 和入射线能量 E 成正比关系。

由于 β 粒子质量小、速度高且只带一个电荷,与 α 粒子相同能量时,β 粒子的射程要大得多。例如根据经验公式计算电子或 β 射线在铝(密度 2.6 mg/cm³)中的射程:

当电子或 β 射线的最大能量为 0.01~2.5 MeV 时,

$$R = 412E^{1.265-0.0954 \ln E}$$

当电子或 β 射线的最大能量大于 2.5 MeV 时,

$$R = 530E - 106$$

式中,E——电子或 β 射线的最大能量(MeV);

R——在铝中的最大射程(mg/cm²)。

由于 β 粒子的质量小,它不仅受到原子核的散射,而且受到核外电子的散射,多次散射的结果,是电子在物质中的运动方向发生多次改变,因此 β 粒子在吸收介质中的径迹是曲折的。

一个正电子与一个负电子相碰撞时,其质量可转化为 γ 辐射,产生两个能量为0.511 MeV的光子,这就是湮没辐射。

1.2.1.3 X、 γ 射线

X、 γ 射线是一种比紫外线的波长短得多的电磁波,又称光子。X、 γ 射线仅仅是起源不相同,X射线是处于激发态的原子退激核外电子跃迁时伴随发射的,而 γ 射线是处于激发态的原子核退激到基态时伴随发射出的辐射。它们的静止质量为零,且以光速传播。在0.01~10 MeV能量范围内的X、 γ 射线通过物质时主要发生光电效应、康普顿效应和电子对效应等三种作用过程。

α 、 β 射线具有最大射程且能被足够厚的物质完全吸收阻挡住,而光子没有明确的最大射程,光子穿过吸收物质的总份额随着吸收体的厚度以指数规律衰减。

1.2.1.4 中子

中子是原子核基本组成成分之一,质量数为1,比质子略重。它不带电,不能直接引起物质原子的电离或激发。但由于不受原子核库仑场的作用,即使很低能量的中子也可深入到原子核内部,同原子核作用发生弹性碰撞、非弹性碰撞或其他核反应。由于原子核的尺寸与原子整体相比很小,中子发生作用的概率低,且在材料中能穿行相当长的距离。

中子的产生主要是通过核反应或原子核自发裂变。有同位素中子源、加速器中子源和反应堆中子源等。在用中子源产生中子时往往伴有 γ 射线或X射线产生,有的可能还很强,因此,在应用和防护上不仅要考虑中子,而且也要考虑伴生的 γ 射线或X射线。

1.2.2 射线与物质的相互作用

射线与物质的相互作用过程是射线与物质发生能量交换的过程。这个能量交换的过程有几种发生机制。这些机制导致吸收物质的原子或分子的电离和激发。被传递的能量最后以热量的形式消散。

电离是从原子或分子中移出一个轨道电子,产生一个带正电的离子。为了产生电离,辐射必须传递给电子足够的能量来克服原子或分子对电子的束缚。分子中电子的发射可能导致分子的分裂。

激发是指轨道电子能量增加,因此使原子或分子从基态转变为激发态。

1.2.2.1 带电粒子与物质相互作用的主要过程

电离辐射作用于物质,所引起的某些物理、化学变化,或作用于生物体时所产生的某些生物效应,几乎都是通过带电粒子把能量传递给物质所引起的。即使是间接电离粒子,如X、 γ 射线或中子,它们与物质作用过程中的能量传递,最终也是通过在此作用过程中产生的带电粒子实现的。

带电粒子与物质相互作用的过程是复杂的,主要过程有电离和激发,弹性散射和韧致辐

射。其他过程有湮没辐射、契伦科夫辐射、核反应以及引起物质化学变化等。

(1) 电离和激发

带电粒子主要通过电离和激发过程损失能量,其次是通过韧致辐射,这两种过程构成了带电粒子在碰撞过程中的能量损失的主要部分。相互作用方式和能量损失多寡,则取决于带电粒子的电荷、质量和能量,同时也取决于物质的性质。

当具有一定动能的带电粒子与原子轨道电子发生库仑作用时,把本身的部分能量传递给轨道电子。如果轨道电子获得的动能足以克服原子核的束缚,逃出原子壳层而成为自由电子,此过程称为电离。电离后的原子带正电荷,它与逃出的自由电子合称为离子对。如果轨道电子获得的能量不足以摆脱原子核的束缚,而是从低能级跃迁到高能级,使原子处于激发态,此过程称为激发。处于激发态的原子是不稳定的,其中跃迁到高能级的电子将自发地跃迁到低能级,原子从而回到基态。多余的能量可以以 X 射线的形式放出。此种 X 射线的能量是不连续的,它等于电子跃迁的两能级之差,称之为标识 X 射线或特征 X 射线。

带电粒子在电离和激发过程中的能量损失,是通过带电粒子和轨道电子的库仑碰撞产生的,这称为碰撞过程的能量损失或电离损失。在辐射剂量学上,常用线碰撞阻止本领来描述入射带电粒子在介质中每单位路径长度上电离损失的平均能量,记为 $(dE/dL)_{\text{col}}$ 。

(2) 韧致辐射

当高速运动的带电粒子从原子核附近掠过时,它会受到原子核库仑场的作用而产生加速度。由经典电动力学知道,在库仑场中受到减速或加速的带电粒子,其部分或全部动能,将转变为连续谱的电磁辐射,这就是韧致辐射,这种形式的能量损失,称为辐射损失。这一过程如图 1-2 所示。

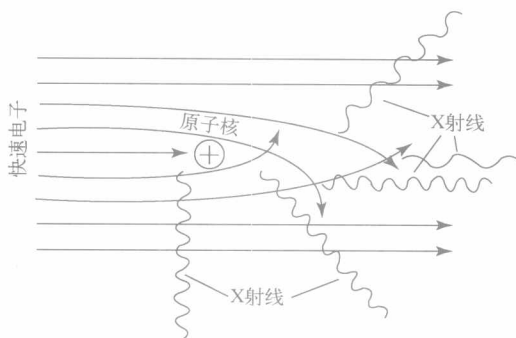


图 1-2 韧致辐射产生示意图

对于具有一定能量的带电粒子,其辐射损失的多少正比于 Zz^2/m^2 , 其中 Z 为物质的原子序数; z 为带电粒子的电荷数; m 为带电粒子的质量。辐射损失与 Zz^2 成正比,表明物质的原子序数越大、带电粒子的电荷数越多,辐射损失也就越大。它与带电粒子的质量 m^2 成反比,表明带电粒子的质量越大,辐射损失也就越小。例如,在同一物质中, α 粒子能量的辐射损失,约为能量相同的电子的 $1/10^7$ 。因此,重带电粒子的辐射损失可忽略不计,主要是考虑电子的辐射损失。

辐射阻止本领与线碰撞阻止本领相对应,用线辐射阻止本领表示带电粒子在介质中每单位路径长度上因辐射而损失的平均能量,记为 $(dE/dl)_{\text{rad}}$ 。

(3) 弹性散射

当带电粒子与原子核库仑场相互作用时,其运动方向发生改变,而作用前后体系的动能与动量守恒,此过程称为弹性散射。

重带电粒子,例如 α 粒子,由于质量大,只有当它非常靠近原子核而穿行时,才会发生明显的散射。一般说来,重带电粒子发生弹性散射的概率小,散射现象不明显。因此,像 α 粒子这样的重粒子,在物质中的径迹是比较直的。

电子(或 β 射线)的质量小,它不仅受到原子核的散射,而且还受到电子的散射。即使电子从离原子核较远的地方掠过,也会发生弹性散射。多次弹性散射的结果,使电子在物质中的运动方向发生多次改变。所以,它的路径是曲折的。

1.2.2.2 X、 γ 射线与物质相互作用的主要过程

X、 γ 射线与物质相互作用时,能产生次级带电粒子(主要是电子)和次级光子,通过这些次级带电粒子的电离、激发过程把能量传递给物质。

X、 γ 射线与物质相互作用,并不像带电粒子那样通过多次小能量的损失逐渐消耗其能量,而是在一次相互作用过程中就可能损失大部分或全部能量。在 $0.01\sim 10\text{ MeV}$ 能量范围内,主要的作用过程是光电效应、康普顿效应和电子对效应,其他作用过程与这三种主要过程相比都是次要的。

(1) 光电效应

当光子通过物质时,与物质原子中束缚电子辐射作用,光子把全部能量转移给某个束缚电子,使之发射出去,而光子本身消失了。这种过程叫光电效应。这一过程如图 1-3 所示。光电效应在光子能量低(小于 50 keV)时具有最大的发生概率。

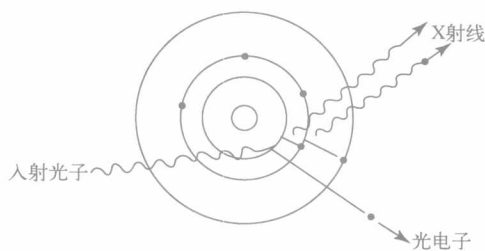


图 1-3 光电效应过程示意图

(2) 康普顿效应

入射光子同原子中外层电子发生碰撞,入射光子仅有一部分能量转移给电子,使它脱离原子成为反冲电子;而光子能量减少,变成新光子,叫散射光子,运动方向发生变化,这一过程叫康普顿效应,如图 1-4 所示。在这种作用机制中,光子束被散射开。