

外部源致电离辐射的防护

国际放射防护委员会第15.21号出版物

原子能出版社

国际放射防护委员会第15,21号出版物
外部源致电离辐射的防护

陈 常 茂 译

潘 自 强

王 义 民

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书包括国际放射防护委员会第15号及第21号出版物。后者为前者的补充报告，主要是数据及曲线图。

本书内容适应能量在100兆电子伏以内的所有各种外部源致电离辐射在医学、工业和科研方面应用的防护需要。

本书对医学、工业和科研工作中各种辐射源的操作人员、科研人员、管理人员及防护人员均有参考价值。

Protection against Ionizing Radiation from External Sources

ICRP Publication 15 and 21

published for ICRP

by

Pergamon Press

Oxford

1973

外部源致电离辐射的防护

陈常茂 译 潘自强 王义民 校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京印刷一厂印刷

(北京市西便门)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32 ·印张 5 7/8· 字数 129 千字

1981年 9 月第一版·1981年 9 月第一次印刷

印数001—1400 · 统一书号: 15175 · 333

定价: 0.74元

国际放射防护委员会第15号出版物

外部源致电离辐射的防护

国际放射防护委员会第3专门委员会报告书

(委员会1969年11月通过)

目 录

序	4
引言	5
辐射量和单位	6
吸收剂量、照射量和剂量当量	6
修正因数	8
剂量当量的确定	9
由粒子注量推导剂量当量	11
关于设计和操作方面的建议	11
一般建议	11
关于特殊类型设备的建议	16
X线设备和粒子加速器	16
具有封闭源的射束设备	17
无射束准直的封闭源的应用	17
辐射在医学上的应用	20
一般建议	20
诊断装置	21
X射线诊断装置	21
荧光检查	23
射线照相	26
荧光照相	28
牙科射线照相	28
放射性物质在诊断上的应用	29

027509-842/4-0.742

治疗装置	29
射线疗法	29
普通 X 射线疗法	30
浅层 X 射线疗法	31
“兆伏” X 射线和粒子束疗法	32
封闭源射线疗法	33
无准直的封闭源疗法	33
开放源疗法	34
病人的防护	35
引言	35
关于操作程序的建议	38
一般建议	38
X 射线诊断	39
荧光检查	40
射线照相	40
牙科射线照相	42
放射疗法	42
医学研究	42
辐射在兽医上的应用	42
一般要求	42
X 射线诊断	43
应用 X 射线和封闭源的放射疗法	46
开放型放射性物质的应用	46
辐射在工业上的应用	47
一般要求	47
工业射线照相	47
围墙装置	48

敞开装置	48
X射线	49
γ 射线	49
长期贮存	49
临时贮存	50
操作和使用	51
工业荧光检查	51
工业量计和类似设备	52
X射线分析设备	52
辐射在科研上的应用	55
辐射在教育上的应用	57
各种各样的辐射源及其应用	58
作为不需要的副产品出现的辐射	59
调查和监测	60
一般要求	60
监测	60
人员的监测	60
个人监测	61
工作场所监测	62
环境监测	63
记录保存	63
参考文献	63
附录 个人剂量限值摘要	66

序

1967年4月,国际放射防护委员会委任P. Grande(主席)、K. Becker (副主席)、B. E. Jones (秘书)、J. P. Kelley、K. Koren、C. B. Meinhold、P. Pellerin、R. H. Thomas 等组成一个工作组,其任务是把以前在ICRP第3号和第4号出版物上发表的资料整理、修改和扩充成一份有关外部辐射防护的新报告,以适应能量基本上在100兆电子伏以内的所有各种致电离辐射在医学、工业和科研上的应用的需要,重点放在医用上。本报告中的各项建议,是由第3专门委员会根据该工作组的建议和收集的资料作出的。报告中有关病人防护的建议,还采纳了ICRP下属“X射线诊断中的病人防护”工作组的一些成员的意见。

这个报告的补充报告将另行发表*。补充报告中所包含的数据是该工作组为了能对初级和次级辐射场以及对防护墙和屏障的效能作定量估算提供参考资料而编制的。

第3专门委员会的全体成员(1965—1969)(略)。

* ICRP以21号出版物的形式出版了该补充报告。本书将一并出版。——译者注

引 言

(1) 与医用放射学充分保持传统的联系和履行它对医务界的职责，这是本委员会的愿望；因此，本委员会应对致电离辐射和放射性物质的安全使用给予指导和建议，同时注意到在使用过程中所引起的外照射也是理所应当的。

(2) 用于非医学目的的辐射源常与用于医学诊断和治疗的辐射源类似，因此不管如何使用，对人员防护的基本措施实质相同。因此，本建议的范围也应包括辐射在兽医、工业以及科研方面的应用。但有关这些方面的内容不如涉及医用的那样广泛。

(3) 采用本报告所概述的做法，一般说来可将辐射剂量保持在本委员会所建议的最大容许水平^[9]以下，并为病人提供足够的防护。然而我们期望各国制定规章的部门应建立必要的标准和控制规程，并且扩充详细的技术要求。委员会认为，为了便于指导，有必要对此报告发表一个包括图、表和实例的补充报告，由此获得辐射防护的必要数据。

(4) 目前所建议的内、外照射的最大容许剂量载于本报告的附录中。

(5) 应该强调指出，对X射线及其他产生致电离辐射的设备的安全和操作所作的建议或涉及放射性物质的建议，其本身并不足以保证足够的防护。足够的防护还取决于操作人员的知识以及他们在执行管理人员对辐射防护所作指示时的合作程度。

(6) 在本报告所提出的建议中“必须”(Shall)和“应

该”(Should)两个词有如下含义:

“必须”(Shall)是指对适当的辐射防护是必要的或必需的;

“应该”(Should)是指只要能够实现,就应当为改进辐射防护而采取措施。

本委员会了解到,按某些新的建议,可能需要改变现有装置的结构和操作系统。这种改变只要可以办到应尽快完成,但不能因此而使病人的必要治疗受到影响(参阅第38段)。

辐射量和单位*

(7) 这一节概述了用以估算吸收剂量和剂量当量的一些基本概念和单位。本报告的补充报告中所引证的资料,将有助于解决辐射防护的实际问题。

吸收剂量、照射量和剂量当量

(8) 由任何直接或间接致电离辐射所引起的吸收剂量(D),是致电离粒子授与单位质量受辐照物质的能量。吸收剂量的专用单位是拉德,1拉德等于 0.01 焦耳·千克 $^{-1}$ 或 100 尔格·克 $^{-1}$ 的能量吸收^[16]。

(9) 照射量(X)是为了定量评价致电离电磁辐射场而保留的专用名词。某一地点的照射量,是根据辐射在空气中产生电离的潜在能力而对辐射所作的一种量度。照射量的专用

* ICRU第19号报告对辐射量作了严格的定义,符号也有某些改变,但此处仍照原文译出。——译者注

单位是伦琴(R)。1伦琴是这样的X射线或 γ 射线照射量,即与此照射量相关的每千克空气的微粒发射在空气中所产生的正负离子各带有 2.58×10^{-4} 库仑的电荷¹⁾[16]。在带电粒子处于平衡的情况下,对某一宽能量范围来说,1伦琴在软组织中产生大约1拉德的吸收剂量。

(10) 比释动能是对中子或X射线一类非带电粒子的辐射场所作的一种剂量学量度。它等于非带电粒子与单位质量的物质相互作用所产生的带电粒子的动能。比释动能的单位是拉德。

(11) 因为生物效应可能与辐射类型或辐照条件有关,所以相同的吸收剂量在某一定的生物效应方面并不一定引起相同的危险性。要想把在一定条件下所获得的对危险的估计量应用于其他类型的辐射或不同的辐照条件(例如当考虑到吸收剂量的空间分布时),必须对每种类型辐射的吸收剂量乘以一个或一个以上的权重因子。在辐射防护中,对以拉德为单位的吸收剂量作这种权重后所得的量叫做剂量当量(DE),它的单位是雷姆。对一定的辐射类型和人体中一定部位而言的剂量当量,在数值上等于这一辐射在此部位的吸收剂量的拉德数和由本委员会规定的各修正因数的乘积。因此,某种辐射的剂量当量可用下列方程表示:

$$(DE) = D \times (MF)_1 \times (MF)_2 \times \cdots (MF)_i$$

式中(DE)是以雷姆为单位的剂量当量,D是以拉德为单位的吸收剂量, $(MF)_1 \cdots (MF)_i$ 是适当的修正因数。

当所考察的部位上辐射的类型或能量都不止一种时,那么将每种辐射类型和能量的剂量当量相加即可得出这一部位上的剂量当量。

1) 在数值上,它等于以前定义的在每0.001293克空气中产生1静电单位的电量。

修正 因 数

(12) 最常用的修正因数是品质因数(QF),它考虑到所考察的位置上各种直接致电离辐射的传能线密度(L_d)的差别¹⁾。由国际辐射单位与测量委员会(ICRU)^[16]所定义的传能线密度,包括一个带电粒子的传能极限 Δ 。对于防护目的来说,所有各种传能线密度都包括在内,因而 L_∞ 在数值上等于碰撞阻止本领。表1给出了 L_∞ 与QF之间的关系。由补充报告的附录2中给出的曲线内插值,可得出中间的QFs。当入射辐射是X或 γ 射线时,则假定在体内任何部位上所产生的电子的品质因数是1,而且不需要用其他修正因数。

表 1 L_∞ —QF之间的关系

水中的 L_∞ , 千电子伏/微米	QF
≤ 3.5	1
7	2
23	5
53	10
≥ 175	20

(13) 在某些情况下,在所考察的点上,产生吸收剂量的带电粒子可能具有一个连续的能量分布或 L 分布(严格地说,应是 L_∞ 分布,但为方便起见,简化为 L)。在此情况下,由下式得出剂量当量:

1) 这个修正因数以前叫做“RBE”,但是放射生物学和辐射防护都使用这一名词会引起一定的问题。这将在ICRP和ICRU所属RBE委员会的报告^[14]中作详细的讨论。

$$DE = \int_0^{L_{\text{最大}}} D(L) QF(L) dL$$

式中 $D(L)$ 是在所考察点处的传能线密度为 L 时的每单位 L 间隔内的吸收剂量, $QF(L)$ 是相应于此 L 的品质因数, $L_{\text{最大}}$ 是所考察点处 L 的最大值。于是有效品质因数 $\overline{QF}$ 由下式得出:

$$\overline{QF} = \frac{\int_0^{L_{\text{最大}}} D(L) QF(L) dL}{\int_0^{L_{\text{最大}}} D(L) dL}$$

(14) 附加的修正因数: 在某些情况下, 可能需要更多的修正因数。将来也可能推荐一些其它的修正因数, 例如用以考虑吸收剂量的非均匀空间分布, 吸收剂量率的不同或考虑将吸收剂量分成几部分。

剂量当量的确定

(15) 为了辐射防护目的, 必须确定关键器官中的剂量当量, 并把这些数值与该器官的最大容许剂量进行比较。但在任何关键器官中直接测量吸收剂量或剂量当量都是不可能的。因此, 要想得到体内任何部位的剂量当量, 必须测定体外的辐射场。由这些测量以及体内相对深度剂量的测量, 才能确定各个部位的剂量当量。

(16) 对于入射的一定类型的单能辐射而言, 剂量当量的变化趋势首先是与深度俱增, 接着达最大值, 最后减小。这种增加可能是由于入射的非带电粒子束所产生的带电粒子的累积, 或由于靠近身体部分的入射辐射的散射, 或者由于其

他类型的次级辐射的产生而造成的。剂量当量的减少是由原射束的衰减而引起的。体内最大剂量当量的位置决定于辐射的能量和类型。辐射在到达待测定的受辐照的人体之前通过屏蔽物时，由于在屏蔽物内可能出现剂量当量与深度俱增，从而随进入体内深度的增加而俱增的剂量当量会减小。此外，如果人相对于辐射的方位不固定，那么峰值倾向于“不明显”。如果辐射或多或少是各向同性地入射于身体，则也会产生同样的“不明显”。

(17)¹⁾ 根据现有的有关不同类型和能量的辐射的数据，可用各种近似值来评价关键器官的剂量当量(参阅第18段)。当入射辐射是X或 γ 射线时，体外测量的以伦琴为单位的照射量，在数值上可假定等于体内任何部位上以拉德为单位的吸收剂量，因为这两种射线的品质因数QF均是1，所以也等于体内任何部位的剂量当量。当入射辐射仅是中子，并且已知自由空气中组织的比释动能(以拉德为单位)时，只要俘获 γ 射线引起的剂量可以忽略，就可以认为此比释动能在数值上等于体内任何一点以拉德为单位的吸收剂量。在这种情况下，如果这些入射中子的能量是未知的，则应假定品质因数QF是10。当中子谱重要的部分位于0.1兆电子伏以下时，俘获 γ 射线便显得重要了，因为在这种情况下，俘获 γ 射线可能在体内引起极大的吸收剂量，其数值是其他中子反应产生的带电粒子所引起的吸收剂量100倍。用雷姆计进行测量可得剂量当量的适当测定结果。对于能量未知的单电荷重粒子，建议QF值取15，而对于能量未知的多电荷粒子(或电荷未知的粒子)，QF值应取20。如果不知道这种带电粒子的能量，

1) ICRP 第21号出版物对本段作了更正，译文照更正译出。——译者注

则可假定在自由空气中得到的组织吸收剂量将是体内任何位置上的吸收剂量。

(18) 在上述对关键器官的吸收剂量和剂量当量所作的近似测定中, 当所得的数值低于在全身照射时关键器官(即红骨髓和性腺)的最大容许剂量或剂量极限时(视情况而定), 这些测定值则是合适的。但当近似测定所得的数值接近或超过最大容许剂量或剂量限值时, 则要求更准确的估计数。

由粒子注量推导剂量当量

(19) 使用品质因数估计剂量当量和估计吸收剂量的另外一种方法, 是直接使用换算系数对入射于躯体的粒子注量进行换算。在补充报告的附录 6 和 7 中给出了中子和质子的粒子注量换算成剂量当量的系数值。在计算换算系数值时, 选择了导致最高剂量当量值的照射条件。

关于设计和操作方面的建议

一般建议

(20) 下面关于实施辐射防护的一般原则的建议引自 ICRP 第 9 号出版物^[9], 并作为本报告这一节的内容。

“(108) 主管部门在任何企业或作业中都应该选定在技术上能胜任所委托的职责的一名或几名人员对涉及辐射防护的所有方面提供指导, 并在实施辐射防护的有关建议时提供所需的技术服务。但是, 主管部门本身要负责保护在企业中

或在某一作业中工作的人员，并限制公众成员所受的照射，以便符合国家或地方的有关要求。

“(109) 在设计各种装置和各种操作方案时，都应该事先评价对于工作人员和公众成员的辐射防护是否适当。辐射防护的评价还应该包括对于可以预想的各种事故的评论。这种评论应当考虑到可以预想的事故的性质及严重程度，它们的发生几率、后果以及适当的预防措施和对策。

“(113) 主管部门应该按需要建立一些管理区。管理区是指进入这个地区时要受到控制的地方，其目的是为了防止人员受到辐射或放射性物质的照射。可以用各种各样的方法来控制进入，至少应设置警戒标志。管理区的范围要根据专业性质作出决定，但在所有各种情况下，其范围应该使管理区外工作人员所接受的剂量尽量不超过相应的最大容许剂量的3/10。考虑到一些其他因素，可能要求管理区还要扩大一些。

“(114) 应该适当地将工作中所存在的辐射危害以及应当采取的预防措施告诉工作人员。这就需要在安全程序及避免不必要照射的有效方法方面实施训练。

“(115) 必须配备必要的防护设备，并应恰当地使用这些设备。

“(116) 工作条件及设备应该经常检查，以保持完好状态。当一项操作改变时，也应对它们进行检查。

“(124) 任何可能引起环境污染的企业或作业的主管部门应该通过控制放射性物质向环境的释放来限制公众成员所受的照射，以便符合国家或地方的有关要求和本委员会的建议。任何可能对公众产生体外照射的辐射源，须加以足够的屏蔽，或限制人员接近它。”

(21) 新装置的最后方案或现有装置（包括结构屏蔽在

内)的最后改进方案应由有资格的专家检查,并由主管部门审批后方可开始建造。装置计划的副本(包括防护说明)应保存于现场,并随时可以得到。

(22)任何设备或装置在使用之前,应检查是否按审批计划修建的,屏蔽和操作条件是否按照国家和当地要求或本委员会的建议为所有人员提供了防护。关于检查和监测的详细说明请参阅第290—307段。以后每当设备、装置或使用条件发生有可能影响防护的改变时,均应在随后进行检查;平时每隔一定时间也应检查,以便保持良好的状态。

(23)增加距离,依靠屏蔽和减少照射时间都能达到防护的目的。而适当选定装置的安装地点和对有用射束的各个可能方向加以限制,则能减少防护费用。

(24)辐射源的屏蔽以及安装辐射源的装置的大小和位置,必须依据对工作人员和公众所建议的最大容许剂量和剂量限值而定。在固定装置外面进行工作(例如场地射线照相)时,如有必要,须使用限制进入控制区的临时屏障和警戒标志。在本报告的补充报告中,为计算屏蔽的需要,提供了射线的吸收数据和其他资料。

(25)在设计辐射装置时,应考虑设备切实可行的最大工作负载。

(26)屏蔽要求决定于周围地区的自然条件,即这些地区(控制区或非控制区)在其工作期间是否能允许成年人或公众(包括病人)接近。对于某些地区,为了减少屏蔽要求,可利用“占有系数”和“使用系数”。由于在各种装置之间这些系数可能相差很大,本报告没有给出它们的建议值。在使用这些系数的地方,对防护要求的放宽必须仔细考虑,并要符合有关国家或地方当局的要求。也应对某些特殊的地方,诸如