

外照射防护中使用的数据

国际放射防护委员会第 51 号出版物

原子能出版社

国际放射防护委员会第 51 号出版物

外照射防护中使用的数据

国际放射防护委员会第 3 专门
委员会工作组报告

(委员会 1987 年 3 月通过)

陈丽姝 李 镁 王翼飞 译
张永兴 校

原子能出版社

内 容 简 介

本报告取代了国际放射防护委员会第 21 号出版物中的某些章节。它讨论了外照射监测和评价所用的辐射度量学量(例如注量)、剂量学量(例如吸收剂量)和辐射防护诸量(例如有效剂量当量、剂量当量指数等)之间的关系,并对实际应用提出了指导性建议,扼要介绍了确定人体内部剂量分布的实验方法(例如采用平板体模、拟人体模和 ICRU 球等来模拟)和计算方法(例如输运方法和蒙特卡罗方法),并按照辐射防护的要求给出了多种辐射(包括光子、电子、质子、中子、 μ 子和 π 子等)上述 3 种量值之间换算系数的图表。

本书是辐射防护工作人员、放射医学工作人员和有关人员必备的手册,并可作为大学生和研究生的一本很有用的参考书。

ICRP Publication 51

Data for Use in Protection Against
External Radiation

ICRP, Pergamon Press, 1987

国际放射防护委员会第 51 号出版物

外照射防护中使用的数据

陈丽姝 李 镁 王翼飞 译

张永兴 校

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

北京广益印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本 787×1092 1/32·印张 5.75·字数 12.15 千字
1991 年 2 月北京第一版·1991 年 2 月北京第一次印刷
印数 1—860

ISBN 7-5022-0380-X

TL·176 定价: 3.00 元

2776/31

目 录

图 目	iii
表 目	v
前 言	1
1. 引言	2
1.1 本报告的范围	2
1.2 ICRU 报告	3
1.3 指导监测的准则	4
1.4 本报告数据的局限性	5
2. 关于限制外照射的若干建议	5
3. 人体内剂量分布的确定	10
3.1 一些主要因素	10
3.2 量和关系式	11
3.3 测量和用数学模拟	12
3.4 人体体模	13
3.5 输运计算	16
3.6 照射的几何条件	16
4. 理想化情况下的换算系数	18
4.1 推荐的系数	18
4.2 影响换算系数的因素	19
4.3 关于光子的数据	21
4.3.1 拟人体模	21
4.3.2 ICRU 球	23
4.3.3 皮肤和眼睛	35
4.3.4 高能情况	39
4.4 关于 μ 子的数据	40

4.5 关于 π 子的数据	42
4.6 关于中子的数据	46
4.6.1 1985 年关于品质因数的声明	46
4.6.2 拟人体模	47
4.6.3 ICRU 球	48
4.6.4 平板体模	56
4.6.5 品质因数	58
4.7 关于质子的数据	61
4.8 关于电子的数据	64
5. 换算系数的应用	67
5.1 剂量当量诸量	67
5.2 交界面现象	68
5.3 非理想几何条件	69
5.4 能量分布	73
5.5 其他情况的照射	74
6. 参考文献	97
附录 A: 量和单位	113
附录 B: 输运计算	124
B.1 玻耳兹曼方程	125
B.2 蒙特卡洛方法	125
B.3 “弦”近似法	127
B.4 某些输运程序	127
附录 C: 器官剂量当量数据	132
附录 D: 剂量当量诸量的应用	158
D.1 指数量的适宜性	158
D.2 环境量的实用性	163
D.3 与个人监测的关系	164
附录 E: 带电粒子的品质因数	168

目 录

图 1	拟人体模的几种受照几何条件	76
图 2 a	光子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注量的有效剂量当量	77
图 2 b	光子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注量的有效剂量当量	78
图 3 a	光子以各种不同几何条件射入拟人体模时自由空气中每单位照射量的有效剂量当量	79
图 3 b	光子以各种不同几何条件射入拟人体模时自由空气中每单位照射量的有效剂量当量	79
图 4	光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时每单位注量的深部剂量当量指数, $H_{I,d}$	80
图 5	光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时每单位注量的浅层剂量当量指数, $H_{I,s}$	81
图 6	光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时主轴上 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	82
图 7	光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时主轴上 3 mm 深度处每单位注量的剂量当量	83
图 8	光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时主轴上 0.07 mm 深度处每单位注量的剂量当量	84
图 9	平面平行光子束射入 ICRU 球时的剂量当量指数与自由空气中每单位空气吸收剂量的关系	85
图 10	平面平行光子束射入 ICRU 球时主轴上不同深度处的剂量当量与自由空气中每单位空气吸收剂量的关系	86
图 11	在自由空气中每单位光子注量对应的空气吸收剂量	87
图 12	光子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注量对应的按全身皮肤平均的剂量当量	88
图 13 a	光子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注	

量对应的眼晶体的剂量当量	89
图 13 b 光子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注 量对应的眼晶体的剂量当量	90
图 14 平面平行光子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时 每单位注量的最大剂量当量	91
图 15 平面平行 μ 子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时 每单位注量的最大剂量当量	91
图 16 平面平行 π 子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时 每单位注量的最大剂量当量	92
图 17 中子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注 量的有效剂量当量	92
图 18 中子以各种不同几何条件射入拟人体模时自由空气 中每单位组织比释动能的有效剂量当量	93
图 19 平面平行中子束射入 ICRU 球时每单位注量的剂量 当量指数	93
图 20 中子各向同性地射入 ICRU 球时每单位注量的剂量 当量指数	94
图 21 平面平行中子束射入 ICRU 球时主轴上 0.07 mm、 3 mm 和 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	94
图 22 中子以各向同性场射入 ICRU 球时 0.07 mm、3 mm 和 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	95
图 23 平面平行中子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时 每单位注量的最大剂量当量	95
图 24 平面平行中子束射入 ICRU 球和平板体模时剂量当 量指数和最大剂量当量所在处品质因数的有效值	96
图 25 平面平行质子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时 每单位注量的最大剂量当量	96
图 26 平面平行电子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时 每单位注量的最大剂量当量	97

图 A.1 品质因数与水中碰撞阻止本领的关系	116
图 E.1 带电粒子的品质因数与能量的关系	169

表 目

表 1 供测量和计算剂量分布用的若干体模	15
表 2 光子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注量的有效剂量当量	22
表 3 a 光子以各种不同几何条件射入拟人体模时自由空气中每单位照射量的有效剂量当量	24
表 3 b 光子以各种不同几何条件射入商品体模时自由空气中每单位照射量的有效剂量当量 (某些实验数据)	25
表 4 光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时每单位注量的深部剂量当量指数, $H_{1,d}$	26
表 5 光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时每单位注量的浅层剂量当量指数, $H_{1,s}$	27
表 6 光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时主轴上 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	28
表 7 光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时主轴上 3 mm 深度处每单位注量的剂量当量	29
表 8 光子以各种不同几何条件射入 ICRU 球时主轴上 0.07 mm 深度处每单位注量的剂量当量	30
表 9 平面平行光子束射入 ICRU 球时自由空气中每单位空气吸收剂量的剂量当量指数	33
表 10 平面平行光子束射入 ICRU 球时主轴上不同深度处自由空气中每单位空气吸收剂量的剂量当量	34
表 11 在自由空气中每单位光子注量对应的空气吸收剂量	35
表 12 光子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注量对应的按全身皮肤平均的剂量当量	37
表 13 光子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注量	

对应的眼晶体的剂量当量	38
表 14 平面平行光子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时每单位注量的最大剂量当量和 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	39
表 15 平面平行 μ 子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时每单位注量的最大剂量当量	41
表 16 a 平面平行 π 子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时每单位注量的最大剂量当量	43
表 16 b 最大剂量当量所在处 π 子的品质因数有效值与能量的关系	44
表 16 c 平面平行 π 子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	45
表 17 中子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注量的有效剂当量量	49
表 18 中子以各种不同几何条件射入拟人体模时自由空气中每单位组织比释动能的有效剂量当量	50
表 19 平面平行中子束射入 ICRU 球时每单位注量的剂量当量指数	51
表 20 中子各向同性地射入 ICRU 球时每单位注量的剂量当量指数	52
表 21 平面平行中子束射入 ICRU 球时主轴上 0.07 mm、3 mm 和 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	53
表 22 中子以各向同性场射入 ICRU 球时 0.07 mm、3 mm 和 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	54
表 23 平面平行中子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时每单位注量的最大剂量当量和 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量	56
表 24 a 平面平行中子束射入 ICRU 球时深部剂量当量指数所在处和主轴上 10 mm 深度处品质因数的有效	

值.....	59
表 24 b 平行中子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时最大剂量当量所在处和 10 mm 深度处品质因数的有效值.....	60
表 25 a 平面平行质子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时各单位注量的最大剂量当量和 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量.....	61
表 25 b 平面平行质子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时最大剂量当量所在处和 10 mm 深度处品质因数的有效值.....	64
表 26 平面平行电子束射入 30 cm 厚的半无限平板体模时每单位注量的最大剂量当量和 10 mm 深度处每单位注量的剂量当量.....	66
表 27 在理想的平行束几何条件下, 用能量 10 keV~10 MeV 的光子得到的有效剂量当量和自由空气中照射量之间的换算系数, 用于发散束时施加的校正因子的最大值(背后照射除外).....	70
表 28 宽平行束单能光子从水平面上方或下方以不同角度入射时, 在拟人体模内测得的相对中线剂量值.....	71
表 29 对于 1 MeV 宽束中子从水平面上方以不同角度入射到一个椭圆柱体上算得的相对中线剂量当量 H 的值, 以及对于 2.95 MeV 宽束中子以同一角度入射到一个拟人体模上测得的相对中线吸收剂量 D 值.....	72
表 C.1 光子以各种不同几何条件射入男性拟人体模时每单位注量的器官剂量当量.....	135
表 C.1(续)光子以各种不同几何条件射入女性拟人体模时每单位注量的器官剂量当量.....	141
表 C.2 中子以各种不同几何条件射入拟人体模时每单位注量的器官剂量当量.....	148

表 D.1	平面平行光子束和中子束射入拟人体模和 ICRU 球时的有效剂量当量 H_E 和深部剂量当量指数 $H_{1,d}$ 的比值	160
表 D.2	平面平行光子束和各向同性射入拟人体模及 ICRU 球时的皮肤剂量当量 H_{sk} 与浅层剂量当量指数 $H_{1,s}$ 的比值	161
表 D.3	对应于眼晶体年剂量当量限值的注量与对应于以平面平行光子束射入拟人体模和 ICRU 球时的限制得更严的剂量当量指数的注量的比较	162
表 D.4	平面平行光子束和中子束射入拟人体模和 ICRU 球时的有效剂量当量 H_E 与周围剂量当量 $H^*(10)$ 的比值	165
表 D.5	各种不同类型辐射以平面平行束射入半无限平板体模时的最大剂量当量与在 10 mm 深度处的剂量当量的比值	166
表 D.6	光子束和中子束以各种不同几何条件射入拟人体模和 ICRU 球时皮肤剂量当量 H_{sk} 与周围剂量当量 $H'(0.07)$ 的比值	167

前 言

本报告是上届第3专门委员会工作组编写的。该工作组的职责范围是按照ICRP第26号出版物的建议,修订ICRP第21号出版物中论述外照射中的场量与剂量学量之间关系的那些章节。因此,本报告将取代ICRP第21号出版物中的这些章节。该出版物的其它章节已被ICRP第33号出版物取代。

本工作组的成员有:

M. C. O'Riordan(主席)	E. E. Kovalev
G. Bengtsson	E. Kunz
P. J. Dimbylow	W. M. Lowder
G. Drexler	M. Rosenstein
T. D. Jones	G. R. Stevenson
K. Katoh	R. H. Thomas

在该工作组工作期间第3专门委员会的成员有:

C. B. Meinhold(主席)	S. Koga
R. J. Berry	C. Lagergren
D. K. Bewley	L.-E. Larsson
J. H. E. Carmichael	P. Pellerin
G. Drexler	J. G. B. Russell
R. D. Ganatra	E. L. Saenger
R. O. Gorson	G. E. Sheline
J. Jankowski	R. H. Thomas

在此谨对 N. Adams, D. K. Bewley, K. F. Eckerman, N. Parmentier, W. K. Sinclair 等人、特别是 A. B. Chilton* 的贡献表示感谢!

* A. B. Chilton 已于 1986 年 9 月 3 日去世。

1. 引 言

1.1 本报告的范围

(1) 国际放射防护委员会第 21 号出版物(1973)包含了防护外部辐射源致电离辐射照射的数据。这些数据分为两类,一类是涉及各种辐射量之间关系的数据,另一类是涉及各种物质屏蔽特性的数据。最近国际放射防护委员会第 33 号出版物 (1982 a) 中针对医用外照射源给出了一些审订后的屏蔽数据。本报告论及的是另一类数据,不打算将其用于对病人的照射。

(2) 出版本出版物的首要理由是按照国际放射防护委员会第 26 号出版物中的建议和随后有关的修订条款 (ICRP, 1978 a; 1980; 1985) 来改编这些数据和基础方法。此外,还必须考虑国际辐射单位与测量委员会 (ICRU) 出版的有关辐射量和单位的报告 (ICRU, 1980), 及随后出版的关于确定剂量当量的报告 (ICRU, 1985)。第三个理由是通过修正或更换某些数据对原出版物进行修订。

(3) 为了方便起见, 在本报告的第 2 节中收集了国际放射防护委员会关于限制外照射的建议。附录 A 中介绍了和本报告有关的量和单位的定义。第 3 节中讨论了确定剂量分布的方法, 在附录 B 中专门论述了输运计算方法。第 4 节是本报告的中心, 它包含了本报告推荐的在理想的照射几何条件下各种辐射量量值相互转换的数据 (ICRU, 1980), 附录 C 中给出了确定器官剂量的基础性数据。第 5 节中提供了在实际情况下应用这些系数的意见和情报资料; 附录 D 中

较详细地讨论了指数量、环境量和个人量的应用；第 5 节中还简短地指示了一些与换算系数没有直接关系的外照射方面的文献。最后，在附录 E 中给出了常用的带电粒子品质因数的数据，这些数据均摘自国际放射防护委员会第 21 号出版物（1973）。

（4）由本报告的范围（如上所述）可以看出，本报告的任务是就外照射所用的辐射度量学量、剂量学量和辐射防护量（ICRU 的这些术语将在第 3.2 节里解释）量值之间的各种关系以及它们的实际应用提供资料和参考性意见。由于对于某些类型的辐射已经有了大量的数据，而且还以很高的速率不断产生这些数据，因而修订和筛选是不可避免的。一旦有了更合适的数据，负责当局就应当毫不迟疑地采用这些数据。

1.2 ICRU 报告

（5）虽然本报告不论及外照射度量学方面的问题（这是 ICRU [1980] 非常关注的课题），但是这里列出的某些数据也许与测量这类辐射的仪器有关，在能量响应和在有能谱分布的情况下换算系数的选择方面尤其如此。ICRU 提出了与确定剂量当量有关的建议（ICRU, 1985），在若干补充报告中将要对这些建议作出详细说明。补充报告将要论述一些概念上的困难，诸如某些量的不可相加性，以及论述诸如仪表设计等方面的一些实际问题。本报告与 ICRU 报告的方法是一致的，但重点是关于对人员的防护而不是测量方面的问题。

1.3 指导监测的准则

(6) 委员会在国际放射防护委员会第35号出版物(1982 b) 中介绍了工作人员外照射防护监测原则。主张对工作场所的监测和对个人的监测分等级, 所谓分级是指当剂量增高或不可预计性增大时, 认为需要有较高水平的监测。

(7) 本报告提出的方法与上述类似; 随着剂量的增高, 应当逐渐采用更复杂或更符合实际的程序。因此, 当剂量当量很低时 (也就是说, 对应于乙类工作条件下的照射), 可以直接用剂量学诸量来评价照射, 因为这时准确度不是至关重要的。对于中等水平的剂量当量 (也就是说, 对应于甲类工作条件和略微超过剂量限值的照射), 要保证有稍高的准确度, 而且应当采用从剂量学量到辐射防护量的换算系数。在评价事先有计划的特殊照射 (ICRP, 1977) 时, 采用换算系数转换到辐射防护量的做法是合适的。对于那些被认为是异常的重要照射, 按照国际放射防护委员会第28号出版物 (ICRP, 1978 b) 的建议, 从事故评价来考虑, 应当采用人体实际所受的吸收剂量。甲类和乙类工作条件分别对应于预计的年剂量当量高于和低于 50 mSv 限值的 $3/10$, 而事先有计划的特殊照射不会超过 100 mSv 。在一次应急或事故中, 区分轻度过量照射和严重过量照射的分界线也可以定在 100 mSv 。

1.4 本报告数据的局限性

(8) 一般来说, 对于理想的照射几何条件 (主要是平面平行束) 已有充足的数据。但本报告的第4节中也提到需要增加有关电子的数据。对于光子以外的辐射, 如有更多一些选定的非理想化或实际的几何条件下的数据, 这在换算系数的应用这一节中将有用处。除了各个研究机构的计算能力能够以某种程度的实验真实性用于一定范围的实际谱和几何条件以外, 用单能源来估算理想照射几何条件下所受剂量的理由也许是合理的 (O' Riordan, 1985)。辐射工作场所邻近区域的照射情况也应予以注意, 因为在这些地方的公众成员 (包括儿童在内) 可能受到显著改变后的辐射场的照射。然而本报告中的数据原则上只适用于公众成员中的成年人以及工作人员。基本上不适用于儿童。

2. 关于限制外照射的若干建议

(9) 下列各段引自国际放射防护委员会第26号出版物 (1977), 它们包含了委员会对外照射的若干建议, 与本报告有关。各段仍沿用 ICRP 第26号出版物中原有的编号, 并以小号字印出。此外, 引进或另外增加了后来对某些概念和量的修订 (ICRP, 1978 a; 1980; 1985) 和详细说明 (ICRP, 1984)。方括号中的字是后加的, 以表示对原来文本的修正, 澄清其含义或者是为联接前后文而加的一段话, 视情况而定。加删节号的地方表示原文此处内容与本报告无关而已略去。

(103) 委员会的建议旨在防止非随机性效应, 并将随机性效

应限制到可接受水平。委员会相信，对于眼晶体以外的其余一切组织规定每年为 0.5 希沃特……的剂量当量限值，可以防止[工作人员的]非随机性效应；对于眼晶体，委员会建议的限值为每年 [0.15]希沃特……。不管这些组织是单独受到照射，还是同其他器官一起受到照射，这些限值都是适用的。这些限值还借以约束那些能够满足限制随机性效应的任何照射……。

(10) 委员会推荐了一个量，用以考虑不同器官受照时的不同致死性危险度和一部分遗传效应 (ICRP, 1984)。这个量被定义为下列各量的总和：

$$\sum_T w_T H_T$$

此处， w_T 是委员会规定的权重因子，它表示组织 T 受照引起的随机性效应危险度占全身均匀受照时总危险度的份额。 H_T 是组织 T 所受的平均剂量当量。委员会最初没有对这个总和定名，只是在一项解释性声明 (ICRP, 1978 a) 中建议将它称为有效剂量当量 H_E 。按照有效剂量当量推荐的年限值是 50 mSv。

(105) 委员会建议的 w_T 值如下表所示：

组 织	w_T
性 腺	0.25
乳 腺	0.15
红 骨 髓	0.12
肺	0.12
甲 状 腺	0.03
骨 表 面	0.03
其余组织	0.30

对于其余组织的 w_T 值需要进一步说明……委员会建议对于其余 5 个接受最高剂量当量的器官或组织，每一个的 w_T 取作 0.06；所有其他剩下的组织所受的照射可以忽略不计。（当胃肠道受到照射时，胃、小肠、上段大肠和下段大肠当作 4 个独立的器官。）