

国际放射防护委员会第 74 号出版物

外照射放射防护中 使用的换算系数



原子能出版社

国际放射防护委员会第 74 号出版物

外照射放射防护中 使用的换算系数

国际放射防护委员会和国际辐射单位与
测量委员会联合工作组报告

(1995 年 9 月国际放射防护委员会和国际辐射单位与测量委员会正式通过)

陈丽姝 柴政文 译
张永兴 校

原子能出版社

图字:01-98-2403

图书在版编目(CIP)数据

外照射放射防护中使用的换算系数/国际放射防护委员会,国际辐射单位与测量委员会著;陈丽姝,柴政文译. --北京:原子能出版社, 1998.10

书名原文:Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation

ISBN 7-5022-1896-3

I. 外… II. ①国…②国…③陈…④柴… III. 外辐照-辐射防护-换算-系数 IV. R142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30475 号

© 原子能出版社,1998

原子能出版社出版 发行

责任编辑:田 宁

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

中国文联印刷厂印刷 新华书店经销

开本:850×1168 mm 1/32 印张 9.375 字数 252 千字

1998 年 10 月北京第 1 版 1998 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—500

定价:21.80 元

内 容 简 介

自从 1977 年国际放射防护委员会(ICRP)第 26 号建议书起,从辐射对人类的有害效应考虑推荐了一套防护措施、剂量限值等防护体系。这些剂量限值用的是防护量,它们是不能直接测量的。为此,国际辐射单位与测量委员会(ICRU)推荐了一套可以测量的实用量(如周围剂量当量,定向剂量当量和个人剂量当量)。为了把实用量与防护量联系起来,ICRP 发表了第 51 号出版物《外照射放射防护中使用的数据》。1990 年 ICRP 又提出了新的建议书,不仅改变了剂量限值,而且改变了防护量的内涵。为此,ICRU 偕同 ICRP 共同起草了本报告用以取代第 51 号出版物。其主要内容是依据新的建议书建立由基本的物理量(注量、比释动能、吸收剂量等)和实用量到新的防护量的转换(换算系数)。按照 6 种照射几何条件(覆盖了所有外照射条件)分别给出了该换算系数随辐射能量的变化(图与表)。

利用本报告的换算系数,防护人员就可以由现场监测结果方便地计算出按照新的防护体系工作人员所受的剂量。

序 言

自从国际放射防护委员会(ICRP)1977年的建议书发表以后,国际辐射单位与测量委员会(ICRU)提出了一套可以测量的实用量,用以补充由ICRP规定的用于人体的那些剂量学量(有时将这些量称为防护量)。ICRP在1990年的建议书中又对这些防护量的定义作了若干修改。

藉此,成立了由ICRP和ICRU组成的联合工作组,它的主要任务是确定这些实用量是否仍能恰当地代表这些防护量。其结论是,除了一些对放射防护无关紧要的特殊情况外,实用量仍能实现其预定的目标。

本报告提供的一套广泛而又权威性的数据,把描述辐射场的量、实用量和防护量联系起来了,它们将有助于放射防护工作者方便使用。

双方同意,由这两个委员会正式批准的最后报告将在ICRP出版物中出版,并作为ICRU的一份报告发表。

前 言

本报告是国际放射防护委员会(ICRP)和国际辐射单位与测量委员会(ICRU)联合工作组编写的。联合工作组参考的项目将在引言(第1章)中讨论。

本联合工作组的成员有:

全体成员:

R. H. Thomas(主席)

L. W. Brackenbush

J-L. Chartier

M. J. Clark

G. Dietze

G. Drexler

H. G. Menzel

通信成员:

R. Griffith

B. Grosswendt

N. Petoussi-Henss

B. R. L. Siebert

M. Zankl

在联合工作组工作期间、ICRP 第二分委员会的成员有:

A. Kanl(主席)

A. Bouville

X. Chen(陈兴安)

F. T. Cross

F. A. Fry

J. Inaba

I. A. Likhtarev

A. R. Reddy

M. Roy

J. W. Stather

G. Dietze	H. Métivier	D. M. Taylor
K. F. Eckerman	H. G. Paretzke	R. H. Thomas

本报告的 ICRU 发起人员有：

R. S. Caswell
P. M. DeLuca

编写本报告期间，国际放射防护委员会的成员有：

R. H. Clarke(主席)	A. Kaul
C. B. Meinhold(副主席)	D. Li(李德平)
D. Beninson	J. Liniecki
H. J. Dunster	H. Matsudaira
L. A. Ilyin	F. Mettler
W. Jacobi	W. K. Sinclair
H. P. Jammet	H. Smith(科学秘书)

编写本报告期间，国际辐射单位与测量委员会的成员有：

A. Allisy(主席)	M. Inokuti
A. Wambersie(副主席)	I. Isherwood
R. S. Caswell(秘书)	H. G. Menzel
P. M. DeLuca	H. G. Paretzke
K. Doi	H. H. Rossi
L. Feinendegen	G. F. Whitmore
W. R. Ney(秘书助理)	

术语和量的定义汇编

吸收剂量

其符号为 D , 它是 $d\bar{\epsilon}$ 除以 dm 所得的商, 此处 $d\bar{\epsilon}$ 是致电离辐射授予质量为 dm 的物质的平均能量, 即

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

吸收剂量的单位是焦[耳]每千克(J kg^{-1}), 其专门名称是戈瑞(Gy)。

周围剂量当量

其符号为 $H^*(d)$, 辐射场中某点处的周围剂量当量, 是相应的扩展齐向场在 ICRU 球体内、逆齐向场的半径上深度 d 处产生的剂量当量。周围剂量当量的单位是焦[耳]每千克(J kg^{-1}), 其专门名称是希沃特(Sv)。

定向剂量当量

其符号为 $H'(d, \Omega)$, 辐射场中某点处的定向剂量当量, 是相应的扩展场在 ICRU 球体内、指定方向 Ω 的半径上深度 d 处产生的剂量当量。定向剂量当量的单位是焦[耳]每千克(J kg^{-1}), 其专门名称是希沃特(Sv)。

剂量当量

其符号为 H , 剂量当量是组织中某点处的 D 与 Q 的乘积, 此处 D 是该点处的吸收剂量, Q 是该点处的品质因数, 即

$$H = QD$$

剂量当量的单位是焦[耳]每千克(J kg^{-1}), 其专门名称是希沃特

(Sv)。

剂量当量指数^①, H_I

空间某点处的剂量当量指数, H_I 是以该点为中心、ICRU 球体中的最大剂量当量。对外层 0.07 mm 厚的球壳可略而不计。它也可以称为非限定剂量当量指数(参见 ICRU, 1980)(还可以参见 ICRU, 1988, 关于深部剂量当量指数和浅表剂量当量指数的定义)。

有效剂量

有效剂量定义为各组织或器官之当量剂量与相应的组织权重因数之乘积的总和, 它由下式给出:

$$E = \sum_T w_T H_T$$

式中: H_T 是组织或器官 T 中的当量剂量; w_T 是组织 T 的权重因数(参见表 3)。有效剂量也可以表示为身体所有各个组织和器官的吸收剂量经两种加权后之总和。

有效剂量当量

其符号为 H_E , 它是各个组织或器官中年剂量当量乘以该组织或器官之权重因数之加权平均值, 即:

$$H_E = \sum_T w_T H_T$$

式中: H_T 是组织 T 中的年剂量当量; w_T 是 ICRP 先前推荐的(参见表 1)该组织 T 的组织权重因数。

授予能

其符号为 ϵ , 它是致电离辐射授予某一体积中物质的能量, 由下式给出:

① 已经废除不用的量, 为了完整起见此处列出了它。

$$\epsilon = R_{\text{进}} - R_{\text{出}} + \sum Q$$

式中: $R_{\text{进}}$ 是进入该体积的辐射能, 亦即进入该体积的所有带电或不带电致电离粒子的能量总和(不包括静止能量); $R_{\text{出}}$ 是从该体积逸出的辐射能, 亦即离开该体积的所有带电或不带电致电离粒子的能量总和(不包括静止能量); $\sum Q$ 是在该体积内发生任何一种相互作用时、所有核和基本粒子的静止质量能量变化之总和(减少时为正, 增加时为负)。

当量剂量

其符号为 $H_{T,R}$, 它是某个器官或组织中的吸收剂量乘以相关的辐射权重因数(参见表 2), 即

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

式中: $D_{T,R}$ 是辐射 R 在组织或器官 T 中造成的平均吸收剂量; w_R 是辐射 R 的辐射权重因数。当辐射场是由具有不同 w_R 值的辐射组成时, 则把吸收剂量分成几部分, 每一部分乘以各自的 w_R 值, 然后求和, 这样来确定出总的当量剂量, 即

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

当量剂量的单位是焦[耳]每千克(J kg^{-1}), 其专门名称是希沃特(Sv)。

注量

其符号为 Φ , 它是 dN 除以 da 所得的商, 此处 dN 是入射到截面积为 da 的球中之粒子数, 即

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

深部个人剂量当量 $H_p(d)$

是身体上某一指定点下面、专用于强贯穿辐射的深度 d 处、软

组织的剂量当量。

浅表个人剂量当量 $H_s(d)$

是身体上某一指定点下面、专用于弱贯穿辐射的深度 d 处、软组织的剂量当量(参见个人剂量当量)。

比释动能 K

定义为 dE_{tr} 除以 dm 所得的商。此处 dE_{tr} 是不带电的致电离粒子在质量为 dm 的某一体积元中释放出的所有带电的致电离粒子的初始动能之总和,即

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

比释动能的单位是焦[耳]每千克($J\ kg^{-1}$),其专门名称是戈瑞(Gy)。

传能线密度

或者称为某物质对某种带电粒子的线碰撞阻止本领 L 。它是 dE 除以 dl 所得的商。此处 dE 是该粒子在穿行 dl 距离时,由于与电子碰撞而损失的平均能量,即

$$L = \frac{dE}{dl}$$

实用量

它是这样一种量,使用这个量,凭藉它的度量,可以证明是否符合防护体系。实用量的例子有周围剂量当量、定向剂量当量和个人剂量当量等。

器官剂量

为了辐射防护目的使用的量 D_T ,它是人体某一指定组织或器官 T 中的平均吸收剂量,由下式给出:

XI

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int_{m_T} D dm \quad \text{或} \quad \frac{\epsilon_T}{m_T}$$

式中: m_T 是该组织或器官的质量; D 是质量元 dm 中的吸收剂量; ϵ_T 是授予该组织或器官的总能量。

个人剂量当量

其符号为 $H_p(d)$, 它是身体上某一指定点下面某一适当深度 d 处软组织的剂量当量。个人剂量当量的单位是焦[耳]每千克 ($J\ kg^{-1}$), 其专门名称是希沃特(Sv)。

防护量

ICRP 规定的人体中的剂量学量, 防护量的例子有有效剂量和当量剂量。

品质因数

它是水中非限定传能线密度 L 的函数。ICRP 第 60 号出版物 (ICRP, 1991 a) 中给出的 $Q(L)$ 值作为 L 的函数关系如下:

$$Q(L) = 1 \quad (L < 10)$$

$$Q(L) = 0.32L - 2.2 \quad (10 \leq L \leq 100)$$

$$Q(L) = 300 / \sqrt{L} \quad (L > 100)$$

式中: L 的单位是 $keV\ \mu m^{-1}$

在某一指定组织或器官 T 中的平均品质因数 Q_T 为:

$$Q_T = \frac{1}{m_T D_T} \int_{m_T} Q D dm$$

式中: D_T 是该组织或器官的平均吸收剂量; m_T 是它的质量; Q 和 D 分别是该质量元 dm 中的品质因数和吸收剂量。

相对生物效能 RBE_M

在所有其他条件保持不变的情况下, 某一参考辐射的吸收剂量

与某给定试验辐射产生同样水平的响应所需的吸收剂量之比值。脚标 M 系指某种随机性效应。

辐射权重因数

符号为 w_R 的一种因数,用此因数乘上组织或器官的吸收剂量以反映出中子和 α 粒子相对于低 LET 辐射有较高的 RBE_M 值。表 2 中列出了 ICRP 新近推荐的为了放射防护目的使用的辐射权重因数的值。

当计算中子的辐射权重因数需要用到一个连续函数时,可以使用下列近似式:

$$w_R = 5 + 17 \exp \left\{ - \frac{[\ln(2E_n)]^2}{6} \right\}$$

式中: E_n 是中子的能量,单位为 MeV。没有试图用这个关系式来表述任何生物学含义。它只是计算用的一种工具。对于表 2 中没有包括的那些辐射类型与辐射能量,可以计算 ICRU 球中 10 mm 深度处的 $\bar{Q}$ 、以近似求得 w_R ,即

$$\bar{Q} = \frac{1}{D} \int_L Q(L) D(L) dL$$

式中: $D(L)dL$ 是 10 mm 深度处、传能线密度在 L 和 $L+dL$ 之间的吸收剂量; $Q(L)$ 是 10 mm 深度处的品质因数[参见 ICRP 第 60 号出版物(ICRP, 1991a)的 A. 14 段]^①。

组织权重因数 w_T

符号为 w_T ,用此因数乘上组织或器官的当量剂量即可计及不同组织或器官受照时产生的相对随机性危害(表 3 列出了 ICRP 新近推荐的组织权重因数的数值)。

① 历史上 ICRP 一直是用 $D(L)$ 表示传能线密度在 L 与 $L+dL$ 之间的吸收剂量。而 ICRU 则用 D_L 表示同一量。在这两种情况下,更通用的数学符号应当是 dD/dL 。

表 1 组织权重因数(ICRP 第 26 号出版物)^a

组织或器官	组织权重因数 w_T
性腺	0.25
骨髓(红)	0.12
肺	0.12
乳腺	0.15
甲状腺	0.03
骨表面	0.03
其余组织或器官	0.30

a. ICRP(1977);关于其余组织或器官的更详细的细节,请参见 ICRP 第 26 号出版物第 105 段。

表 2 辐射权重因数的数值(ICRP 第 60 号出版物)^a

辐射类型和能量范围	辐射权重因数 w_R
光子:所有能量	1
电子和 μ 子:所有能量 ^b	1
中子,能量为:	
<10 keV	5
10~100 keV	10
>100 keV~2 MeV	20
>2~20 MeV	10
>20 MeV	5
质子,除反冲质子外,能量>2 MeV	5
α 粒子,裂变碎片,重核	20

a. ICRP(1991 a)。

b. 不包括与 DNA 结合的核所发出的俄歇电子,对于这种电子,需要作一些专门的微剂量学分析考虑。

表 3 组织权重因数^a

组织或器官	组织权重因数 w_T
性腺	0.20
红骨髓	0.12
结肠	0.12
肺	0.12
胃	0.12
膀胱	0.05
乳腺	0.05
肝	0.05
食道	0.05
甲状腺	0.05
皮肤	0.01
骨表面	0.01
其余组织或器官	0.05

a. 更详细的细节请参见 ICRP 第 60 号出版物的表 2 脚注。

目 录

I

2.4.2	防护量的辐射加权	(14)
2.4.3	电子和光子的辐射权重因数	(15)
2.4.4	中子的辐射权重因数	(15)
2.4.5	实用量的辐射加权	(16)
2.4.6	$Q(L)$ - L 关系式	(16)
2.4.7	平均品质因数 $\bar{Q}$	(17)
2.4.8	阻止本领	(18)
2.5	放射防护量	(20)
2.5.1	概述	(20)
2.5.2	器官吸收剂量	(20)
2.5.3	当量剂量	(20)
2.5.4	有效剂量	(21)
2.6	实用量	(23)
2.6.1	概述	(23)
2.6.2	剂量当量	(23)
2.6.3	区域监测用的实用量	(24)
2.6.4	个人监测用的实用量	(25)
3	人体中及拟人模型和其他模型中吸收剂量分布之确定	(27)
3.1	引言	(27)
3.2	辐射场	(29)
3.3	人体模型和体模	(31)
3.3.1	参考人	(31)
3.3.2	简单的体模	(31)
3.3.3	拟人模型	(32)
3.4	计算吸收剂量分布的方法	(35)
3.4.1	引言	(35)
3.4.2	输运程序:一般特征和专门的程序	(35)
3.5	照射几何条件	(42)
3.5.1	概述	(42)
3.5.2	ICRU 球所涉及的几何条件	(45)
3.5.3	ICRU 平板所涉及的几何条件	(45)
4	换算系数	(46)