

国际放射防护委员会第42号出版物

国际放射防护委员会使 用的重要概念和量汇编

国际放射防护委员会
第4专门委员会报告
(委员会1984年5月通过)

李树德 译

ICRP Publication 42

A Compilation of the Major Concepts
and Quantities in Use by ICRP

ICRP, Pergamon Press, 1984

国际放射防护委员会第42号出版物
国际放射防护委员会使用的重要概念和量汇编

李 树 德 译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092¹/₃₂·印张1.375·字数31 千字
1986年4月北京第一版·1986年4月北京第一次印刷

印数1—2100·统一书号: 15175·777

定价: 0.34元

内 容 简 介

本报告把国际放射防护委员会在第26号出版物和其他近年的出版物中引进的概念和量收集在一起，给出了它们的定义和必要的解说。其中某些概念和量在**ICRP**近几年的声明和文献中已稍稍改变其原意和用法，本报告对此也作了阐明。报告的内容分作两部分：(1) 涉及个人或群体的剂量学的量，如有效剂量当量、不完全剂量当量负担等；(2) 与剂量限制体系有关的概念和量，如代价利益分析、源的上界等。本报告把散见在有关文献中的概念和量汇成一编，颇便检索。书后的“译者附注”，对某些概念和量作了精辟的阐述。

本书可供广大辐射防护工作人员、科研人员和大专院校有关专业的师生参考。

序

委员会在1980年委托第4专门委员会把本会在新的建议书（ICRP第26号出版物）和其他近年的出版物中引进的概念和量汇编成一份报告。

承C. A. M. Webb给予帮助，担任了这份报告的编写工作，委员会对此表示感谢。

在委员会通过这份报告时，第4专门委员会的成员如下：

H. P. Jammet (主席)

R. M. Alexakhin

R. Coulon

R. E. Cunningham

A. J. Gonzalez

O. Ilari

E. Kunz

J. G. Mehl

D. W. Moeller

R. V. Osborne

J. -O. Snihs

S. D. Soman

G. A. M. Webb

L. X. Wei

B. C. Winkler

Y. Yoshizawa

目 录

1. 引言	1
2. 剂量学的量	1
2.1 涉及个人的量	2
吸收剂量	2
剂量当量	3
有效剂量当量	5
约定剂量当量	7
约定有效剂量当量	8
剂量当量指数	8
2.2 涉及群体的量	10
集体剂量当量	10
集体有效剂量当量	10
人均剂量当量	12
剂量当量负担	12
集体有效剂量当量	13
3. 与剂量限制体系有关的概念和量	15
3.1 正当化和最优化	15
正当化	15
最优化	16
危害	16
代价利益分析	18
防护代价	20
危害代价	20
3.2 剂量限值	22
剂量当量限值	22

工作人员年摄入量限值	23
公众成员年摄入量限值	25
关键组	26
导出限值	27
管理限值	28
参考文献	29
索引	30
译者附注	34

1. 引言

1. 在委员会近年发表的出版物中引进了许多新的概念和量，用于特定的目的。虽然它们一般在相应的出版物中给以定义和解说，然而不一定容易查得这些定义，特别是不一定了解在后来的出版物或解说性的声明中对它们的原意或用法所作的更改。本编的目的在于把比较重要的一些概念和量的定义与解说收集在一起。在编写中没有引进新的概念或量，也没有更改它们的定义，但在某些例子中对原有的解说作了一些扩充和阐明。主要的材料来源是ICRP第26号出版物^[1]，某些基本量的定义取自国际辐射单位与测量委员会（ICRU）近年的报告^[2, 3]。其次的权威性来源是委员会的声明，再次是在《年报》上发表的出版物，最后则为各种文献中的论文。

2. 为了使其略具条理，这份报告的内容分为二个主要部分，第一部分论述剂量学的量，第二部分论述与ICRP剂量限制体系^[1]的应用有关的概念和量。剂量学的量又进一步分为两部分。第一部分包括用来定量地表示个人（不管是确定的或假想的人员）所受的辐射照射的那些量。第二部分包括用来表示群体从确定的照射源受到的辐射照射的那些量。使用这种分编方式，是因为它最适合这些量在剂量限制体系中的应用。

2. 剂量学的量

2.1 涉及个人的量

吸收剂量

3. 在定量地描述辐射与物质的相互作用时所用的基本假设是，这种相互作用的合适的量度是单位质量沉积的能量。这种能量沉积，即吸收剂量 D ，可以由所有类型的辐射造成，并且由下列关系式定义^[2]：

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

式中 $\overline{d\epsilon}$ 是电离辐射授与某一体积元中的物质的平均能量，而 dm 是在这个体积元中的物质的质量。吸收剂量的SI单位是焦耳每千克 (Jkg^{-1})，它的专门名称是戈瑞 (gray) (Gy)。吸收剂量的旧单位是拉德 (rad) ($1\text{rad} = 0.01\text{Jkg}^{-1}$)。

4. 假如授予的能量是在很小的质量内确定的，能量沉积的随机涨落可能很重要。ICRU^[2]对比[授]能 z 给出的定义为 $z = \epsilon/m$ ，其中 ϵ 是授予质量为 m 的物质的能量；所以 z 是一个随机量。 D 是当 m 趋于零时平均比[授]能的极限。这个问题在微剂量学中是重要的，但是它与实用的辐射防护无关，所以在这里不再加以考虑。还有别的一些量属于这种性质，它们代表随机量的期望值。

5. 照射量这个量曾经用于X和 γ 辐射的测量。现在它除了作为参考标准的一个量以外，日渐趋于淘汰，而代之以空气比释动能 K ，由下式定义^[2]

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

式中 dE_{e} 是不带电的致电离粒子在质量 dm 的物质中释出的所有带电的致电离粒子的初始动能的总和。

6. 在研究人体组织中每单位质量所沉积的能量与所产生的生物效应二者间的相关关系时，很快就知道生物效应并不单纯取决于每单位质量沉积的能量（即吸收剂量），还取决于其他因素，特别是辐射的类型。这种相关关系还决定于生物效应的具体类型和吸收剂量率在时间上的分布。

7. 辐照及其在某一受照射者身上观察到的效应之间的直接而又明确的相关关系，只有对较高的吸收剂量所产生的后果才能看到，这些后果具有某一阈剂量，在这个阈剂量以下（在正常的个体耐受性范围内）它们不会发生。属于此类的一种效应是红斑（皮肤发红）；委员会把这些效应称为**非随机性效应**。对于没有证据表明存在着阈剂量的那一类效应，例如癌的诱发，如果有一群人受到照射，将有某一部分的人显现这种效应，然而现在还无法预知它究竟出现在哪些人的身上。因此，对任何一个人来说，增加受照量只能认为增加了出现这种效应的几率。委员会称这些效应为**随机性效应**。为了防护目的可以假定某种组织受到照射后产生随机性效应的危险正比于组织中的吸收剂量，虽然在给定的实验条件下对于某些效应也观察到了其他各种**剂量响应关系**。

剂量当量

8. 在辐射防护中，在所评价的描述辐射照射的那个量与它引起的生物效应之间需要有一个定义明确的数值上的关系。因此，委员会使用了**剂量当量 H** 这个量，其目的是在正常辐射防护中所遇到的吸收剂量水平下，足以较好地表示出辐射照射的生物学意义。 H 定义为

$$H = DQN$$

式中 Q 是品质因数， N 是由委员会规定的所有其他修正因子的乘积。目前委员会指定 $N = 1$ 。由于 Q 和 N 都是无量纲的，所以剂量当量的SI单位和吸收剂量的单位相同，即 Jkg^{-1} ，但是为了避免混淆，赋以专门名称希沃特 (sievert) (Sv)。剂量当量的旧单位是雷姆 (rem) ($1\text{rem} = 0.01\text{Jkg}^{-1}$)。

9. 品质因数照顾到不同类型辐射的不同有效程度，它代表着就若干生物学终点而言对给定辐射所具有的不同相对生物效应系数 (参阅第12段) 所作出的经过考虑的判断。品质因数被假定为依赖于所研究的组织内每单位平均径迹长度授予的能量，而与效应的类型和生物学终点无关。因此， Q 值已由委员会确切地定义为在水中被研究的一点上的碰撞阻止本领 L_{∞} 的函数。委员会规定了在若干 L_{∞} 值处 Q 与 L_{∞} 的关系，如表1所示。其他值可用线性内插法获得。

表1 Q 和 L_{∞} 间的规定关系

L_{∞} 在水中 ($\text{keV}\mu\text{m}^{-1}$)	Q
≤ 3.5	1
7	2
23	5
53	10
≥ 175	20

10. 如果吸收剂量是由具有一系列 L_{∞} 值的粒子给出的，可以计算在被研究的一点上的有效值 \bar{Q} ⁽²⁾。当 L_{∞} 的分布未知时，允许使用 \bar{Q} 的近似值。委员会对所有常见类型的电离辐射推荐了 \bar{Q} 的近似值，如表2所示。

11. 品质因数是选择得使其代表在低剂量下不同类型电离辐射产生有害效应的有效程度。因此，重要的一点是不能

应用剂量当量来评价事故性照射对人体可能引起的所有后果，这些后果也许包括严重的非随机性效应。对于该种用

表 2 经推荐对各种类型辐射允许使用的 \bar{Q} 的近似值

辐射类型	\bar{Q} 的近似值
X射线， γ 射线，电子	1
热中子	2.3
中子，质子和静止质量大于1原子质量单位的能量未知的单电荷粒子	10
α 粒子和能量未知的多电荷粒子（及电荷未知的粒子）	20

途，吸收剂量按每一类型的辐射在高剂量下所致效应的**相对生物效应系数（RBE）**加权，是一个合适的量。

12. Q 和RBE的关系常被误解。RBE定义为，当其他条件相同时，产生同样范围或性质并具有同等程度的生物效应所需的参考辐射的吸收剂量与被试辐射的吸收剂量的比值^[8]。RBE可以用来在所规定的剂量范围内从给定的吸收剂量求出某一给定效应的生物学响应。由于 Q 的定义与特定的生物学终点无关，所以它并不对应于RBE的任一特定值。

有效剂量当量

13. 如前所述，为了辐射防护目的，某一器官或组织内的随机性效应的发生几率被假定为正比于器官或组织内的剂量当量。比例常数随各种身体组织而异，但在评价健康危害时通常需要的是总的危险。假如对全身所有组织的照射是均匀的，那么可以使用单个的总危险系数，并且只须根据全身的剂量当量就可以作出评价和比较。然而，如果不同组织所受的照射是不均匀的——例如在大多数沉积于体内的放射性核素所产生的照射——就必须有另外的量来表示总的危险。

14. 委员会建议了一个量，用来顾及不同器官的照射所伴有的不同的致死危险度（另外还包括一部分遗传效应）。这个量定义为下列的总和：

$$\sum_T w_T H_T$$

其中 w_T 是由委员会规定的权重因子，它代表组织T接受的照射所导致的随机性危险度对全身均匀受照时的总危险度的比率， H_T 是组织T的平均剂量当量。委员会最初没有给这个总和—一个名称，但其后在一篇说明性质的声明中^[4]建议这个量命名为**有效剂量当量**， H_E 。

15. 在估算有效剂量当量时，从原则上说，不管在任一特定组织中的剂量当量来自内部照射还是外部照射，只要估算出每一组织从所有的源接受的剂量当量，乘以合适的权重因子，然后将所得的结果相加就可以了。如果身体的所有组织是均匀受照的，那么所得的结果在数值上等于全身的剂量当量。然而在许多实际情形下，更为简易的做法是分别估算内照射和外照射所给出的贡献。

16. 委员会建议的 w_T 值示于表3^[1]；委员会认为它们在辐射防护中适用于一切年龄和两性的个人，亦即适用于工作人员和公众中的成员。对性腺的 w_T 包括着显现在最初二代（即受照射本人的子女和孙子女）的严重遗传效应的份额。在实际应用时，“其余”器官或组织取表3中没有指名的五个接受最高剂量当量的器官或组织，每一个适用权重因子 $w_T = 0.06$ ，包括胃肠道的各个部分，它们作为独立的器官看待。这一程序对表3中没有指明的所有器官和组织指定同样的危险系数。这种简化的做法只影响到有效剂量当量的计算方法。定义的本身包括着所有的组织。

17. 对于皮肤是否应当看做“其余组织”的问题，曾经发生一些混淆。委员会在其说明性质的声明^[4]中指出，它并没有企图把手和前臂、足和踝、皮肤以及眼晶体包括在“其余组织”之中，因而在计算有效剂量当量时应当排除这些组织。这种排除可以认为适用于在涉及个人防护的场合下对有效剂量当量的估算。有效剂量当量的定义包括一切组织在内，委员会声明^[4]的意思是从计算程序中排除某些组织。在涉及群体照射的场合下，对皮肤照射的处理方法在第27段中加以论述。

18. 有效剂量当量仍然是一个剂量学的量，然而它可以指示躯体效应的致死危险以及最初二代的遗传危险，这些危险假定为起因于外部和内部源所产生的均匀或非均匀的照射。它没有包括以后世代的遗传效应，也不包括非致死性的躯体效应例如大多数的甲状腺癌或皮肤癌。

约定剂量当量

19. 外照射产生的吸收剂量是在组织暴露于辐射场的同时给出的。然而，对体内放射性核素产生的内照射来说，总的吸收剂量是在时间上分散开的，随着放射性核素的衰变而逐渐给出。吸收剂量率在时间上的分布随着放射性核素的种类、形式、摄入方式以及它所结合的组织而变化。为了计及这种时间分布，委员会定义了一个量，叫做**约定剂量当量***，它是个人在体内单次摄入放射性物质后，在某一特定组织内接受的剂量当量率的时间积分。委员会规定积分时间为摄入

* “约定剂量当量”这个译名在核工业部颁布的《辐射防护术语》(EJ 193-82)及卫生部颁布的《放射卫生防护基本标准》(GB4792-84)中已改为“待积剂量当量”。——译者注

后的50年，这段时间被认为相当于一生中的工作年限。约定剂量当量的正式定义是：

$$H_{50} = \int_{t_0}^{t_0 + 50} \dot{H}(t) dt$$

这是在 t_0 时刻单次摄入某一放射性活度后的约定剂量当量，式中 $\dot{H}(t)$ 是某一器官或组织在 t 时刻的有关的剂量当量率。

20. 图1说明摄入长的和短的有效半衰期的放射性核素后，组织内的剂量当量率作为时间的函数。它表明组织内的剂量当量率和约定剂量当量间的关系，后者等于总的阴影面积。

约定有效剂量当量

21. 如将各个组织摄入放射性物质后的约定剂量当量乘以相应的权重因子 w_T ，然后相加，就得出**约定有效剂量当量**。为了确定“其余组织”包括哪几个组织，在选择切合的组织相加在一起之前，应当先对各个组织计算出时间积分。约定有效剂量当量用来量度摄入某一放射性物质之后一个平均的人及其后代遭受特定的躯体效应和遗传效应的总危险，它包括这一次的摄入在随后的年代里导致的照射所产生的危险。

剂量当量指数

22. 在被研究点的剂量当量指数 H_1 ，定义为以该点为中心、由密度为 1 g cm^{-3} 的软组织等效材料所组成、直径为30cm的球体内的最大剂量当量。这个量称为**非限制性剂量当量指数**。这个定义的一个重要推论是，在离开表面或源的距离小于15cm的地方， H_1 是不能确定的。最大剂量当量可以出现在球体内任何一点上，而且很少出现在球心。

23. 剂量当量指数的定义可加以修改，以便适用于贯穿本领较低的辐射。在这情形下，方便的做法是分开考虑半径为14cm的一个核心内的最大剂量当量，和1 cm厚的外壳层内的最大剂量当量。这二个最大值分别称为**深部**和**浅层剂量**。

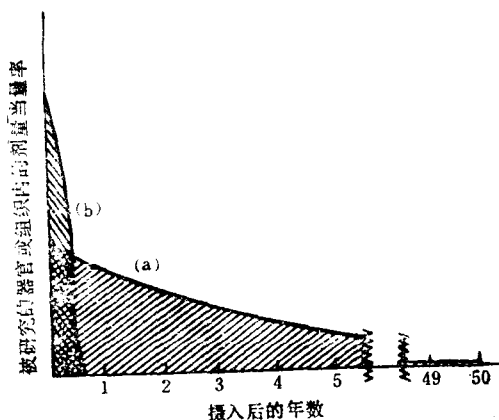


图1 摄入 (a) 长 (b) 短有效半衰期的放射性核素后在给定器官或组织内的剂量当量率

表3 委员会推荐的用于计算有效剂量当量的权重因子

器官或组织	权重因子 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	0.30

当量指数，它们的符号分别为 $H_{1,d}$ 和 $H_{1,s}$ 。它们称为**限制性剂量当量指数**。两者之中较大的一个就是非限制性剂量当量指数。委员会建议，浅层剂量当量指数不包括1 cm厚壳层的最外面的0.07mm厚度内的剂量当量，因为这一厚度代表在皮肤较薄处的表皮基底层深度，在这0.07mm内的辐射效应假定为可以忽视。

2.2 涉及群体的量

24. 这些量直接或间接关联着群体所受的辐射照射的来源，而且几乎全部是以前面给出的涉及个人的量为基础而制定的集体的量。

集体剂量当量

25. 在效应与剂量当量成正比这一假设下，定义一个简单的量以量度一组人员所受的总的辐射照射，是很有用的。委员会称这个量为**集体剂量当量**，定义为

$$S = \int_0^{\infty} HN(H)dH$$

式中 $N(H)dH$ 是接受的剂量当量在 H 至 $H + dH$ 之间的人数；或定义为

$$S = \sum_i H_i N(H)_i$$

式中 $N(H)_i$ 是接受平均剂量当量 H_i 的群体分组 i 中的人数。集体剂量当量还可以进一步分割为组成分，在各个组成分中个人剂量当量处于指明的范围内。

集体有效剂量当量

26. 如将前面几个定义中的剂量当量项用有效剂量当量

代替，则所得的定义即为**集体有效剂量当量** S_E 。

27. 前面曾经指出， H_E 的计算按照最初的规定不包括皮肤或四肢的照射所诱发的致死性癌。然而，委员会建议^[4]：在评价人群组受到的照射危害时，应当把它考虑在内，对皮肤全部表面的平均剂量应用 10^{-4}Sv^{-1} 数量级的危险系数，相当于 w_p 大约为0.01。由于有效剂量当量这个量是专门使用表3给出的权重因子定义的，所以严格地说，添加了一个因子就需要改变其他因子的值使其总和等于1。实际上，增加了用于皮肤的因子0.01不必作出其他更改。如果遇到的情况需要考虑皮肤的照射，可以把集体有效剂量当量加上平均皮肤剂量与其权重因子的乘积，所得的总和称为**集体有效剂量当量（包括皮肤）**，每次使用这个量的时候，附加这样的定义。

28. 不论是集体剂量当量还是集体有效剂量当量的定义都没有明确规定给出剂量所经历的时间，也没有说明剂量是给予单独的一个人群组直至其中成员老死为止，还是给予先后相继的一系列相等当的人群组。这种定义上的欠缺造成了使用上的混淆，例如集体剂量当量和以后将要给以定义的集体剂量当量负担这二个量的区别。在许多实际情形下，集体剂量当量是把规定时期内（通常是1年）所受的剂量相加在一起而求得的。在意义不太清楚时，明白地说出计算集体剂量当量的总和或积分所针对的时间间隔和群体，可以避免混淆。

29. 即使计算集体剂量当量所指的期限取作1年，在这一年内摄入的放射性核素所产生的集体约定有效剂量当量包括着有关的器官内由于这种摄入而导致的剂量当量率在50年期间的积分。