

电离辐射量及其单位述评

郑 华 智

一、引 言

自从1960年第十一届国际计量大会 (CGPM) 通过国际单位制 (SI) 以来, 各学科领域的计量单位都进行了改革。辐射剂量学作为一门年轻的学科, 其量和单位的变化更为显著。例如量名放射性活度代替了放射性强度, 定义更严密了。曾广泛使用的单位如伦琴, 业已淘汰。在1975年第十五届, 1977年第十六届国际计量大会上还分别批准了放射性活度、吸收剂量和剂量当量的SI单位的专门名称, 即贝克勒尔 (Bq)、戈瑞 (Gy)、希沃特 (Sv) 分别取代旧的专用单位居里 (Ci)、拉德 (rad)、雷姆 (rem)。1980年国际辐射单位与测量委员会 (ICRU) 发表了第33号报告书^[1], 全面系统地阐述了辐射量及其新单位。明确提出从1985年始, 停止使用旧的专用单位。

在我国, 经国家标准局批准, 1982年公布了中华人民共和国国家标准 (GB3102·10—82)《核反应和电离辐射的量和单位》^[2]。决定从1983年7月1日起实施。该标准以SI为基础, 参照采用了ICRU的第33号报告, 国际标准ISO的最新文本的有关部份。对于吸收剂量、剂量当量、照射量及其单位的名称、定义等等, 三者是完全相同的。对放射性活度的定义, 第33号报告与ISO31/10(1980年) 不尽相同, 国家标准采纳了更权威的前者意见^[3]。但是国家标准规定, 居里、拉德、雷姆、伦琴可暂与SI单位并用, 而没有规定停用时间。这一点, 看来有待按1984年3月国务院颁布的《中华人民共和国法定计量单位》^[4]修改。我国的法定计量单位以SI

单位为基础, 根据我国实际情况, 略增加了几个其它单位。它的颁布是统一我国计量制度, 使之纳入世界先进行列的一个重要步骤。

本文以上述资料为依据, 对几个基本的辐射量及其单位做一简介和评述。

二、放射性活度

辐射损伤机制主要是电离, 但并不是所有的辐射都是电离辐射。电离辐射是由能够通过初级过程或次级过程引起电离的带电粒子或不带电粒子组成的, 或者它们二者混合组成的。

放射性核素是产生电离辐射的重要来源, 而放射性活度就是表征放射性核素特征的一个基本物理量。在我国标准中, 放射性活度的定义、单位、符号及英文名称等(见表)与ICRU第33号报告完全一致。与以前的定义相比, 该定义中, 对放射性核素引入了“特定能态”的定语, 使定义更为严密。无特殊说明时, 特定能态当指基态。定义中的“核跃迁”, 其内涵是很广的, 即包括了 α 、 β 、 β^+ 和K俘获等核衰变过程, 也包括了 γ 光子的发射过程。应当说明, 跃迁数不一定等于放出粒子数, 一次跃迁可能放出一个或几个粒子。量的符号一律用大写。单位的符号, 若来自于人名, 第一个字母也要大写^[5]。A. H. Becquerel是法国物理学家, 1896年发现了放射性, 为了纪念他, 取其名为放射性活度的单位。

由于历史的原因, 有些部门仍在使用毫克镭当量 (mgRa当量) 作为活度的单位。其定义是1mgRa当量 (与衰变产物达到平

主要辐射量和单位简明表

量				单 位				
中文名称	英文名称	符号	定 义	中文名称	英文名称	符号	定 义	换算系数
放射性活度	activity	A	在给定时刻, 处于特定能态的一定量放射性核素在dt时间内发生自发核跃迁数的期望值除以dt	贝克[勒尔]	Becquerel	Bq	$1\text{Bq} = 1\text{S}^{-1}$	$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ (准确值)
				居里	Curie	Ci	$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$	
吸收剂量	absorbed dose	D	任何电离辐射, 授予质量为dm的物质的平均能量dE除以dm $D = \frac{dE}{dm}$	戈[瑞]	Gray	Gy	$1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$	$1\text{Gy} = 100\text{rad}$
				拉德	rad	rad	$1\text{rad} = 10^{-2}\text{Gy}$	
剂量当量	dose equivalent	H	在要研究的组织中某点处的吸收剂量D, 品质因数Q和其它一切修正因数N的乘积 $H = DQN$	希[沃特]	Sievert	Sv	$1\text{Sv} = 1\text{J/kg}$	$1\text{Sv} = 100\text{rem}$
				雷姆	rem	rem	$1\text{rem} = 10^{-2}\text{Sv}$	
照射量	exposure	X	X或γ辐射在质量为dm的空气中释放出来的全部电子(正电子和负电子)被空气阻止时, 在空气中产生一种符号的离子的总电荷的绝对值dQ除以dm $X = \frac{dQ}{dm}$	库[仑]/千克	Coulomb/kg	C/kg		$1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4}\text{C/kg}$ (准确值)
				伦琴	Roentgen	R	$1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4}\text{C/kg}$	

说明 1.()内的字, 可以省略;

2.居里、拉德、雷姆、伦琴均非我国法定计量单位。ICRU 建议从1985年始停止使用。

衡)的放射源, 放出的γ射线通过0.5mm厚的铂板初滤后, 在空气中距源1cm处的照射量率为8.25伦琴/小时。任何γ辐射体, 只要产生的照射量率与此相当, 其放射性活度就称为1mgRa当量。由于mgRa当量是用γ辐射效应来描述活度的, 它就受到放出的γ粒子数目、能量的影响。而Bq只表示核跃迁的频率, 不致虑放出的粒子数目、能量, 所以两者在概念上是有明显区别的。mgRa当量值与Bq值之间的换算系数与核素性质有关, 可从有关手册中查到。mgRa当量只适用于γ

源, 其数值与测量条件等密切相关, 也不符合国际单位制, 所以从未取得国际公认。

三、吸收剂量

辐射对物质的现实效应和潜在效应, 取决于辐射场的性质和强弱, 还依赖于受照物质本身的性质。更确切地说, 主要取决于受照物体吸收辐射能量的多少。这就提出了建立一个相应的物理量以预示辐射效应的要求, 1953年ICRU正式命名为吸收剂量, 单位为

拉德 (rad, 是 radiation absorbed dose 的缩写), 每单位质量 (克) 的被照物质吸收 100 尔格辐射能量, 称为 1 拉德。现在的定义、SI 单位见表。因为 1 戈瑞 = 1 焦耳/千克, 所以 1 戈瑞 = 100 拉德。(戈瑞即 L.H.Gray, 他建立了空腔电离理论和实验, 为测量吸收剂量奠定了基础。)

吸收剂量是辐射剂量学中应用最广泛的量, 它适用于各种类型的电离辐射, 也适用于各种不同的受照物质。同一辐射场, 不同物质的吸收剂量是不一样的, 因此, 谈到吸收剂量必须指明受照物质是什么。

对于 X 或 γ 辐射, 我国现流行的测量仪器指示单位是照射量伦琴。知道伦琴值 X 后, 用下式可以计算出某物质在该点的吸收剂量 $D_{\text{物质}}$:

$$D_{\text{物质}} = 8.73 \times 10^{-3} \frac{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{物质}}}{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{空气}}} X$$

式中, (μ_{en}/ρ) 是质量能量吸收系数, X 的单位是伦琴, D 的单位是戈瑞。

四、剂量当量

吸收剂量虽然是剂量学中最重要物理量, 然而它还不能予示辐照产生的生物效应的程度。这是因为生物效应除与吸收剂量有关外, 还取决于射线的品质和照射的物理条件。因此, 从辐射防护工作考虑, 希望提供一个能把人体所受的照射与辐射诱发的有害效应的几率或严重程度联系起来的量。这就是剂量当量, 其定义、单位见表。定义式 $H = DQN$, 式中, 品质因数 Q 是根据低剂量率与不太大剂量情况下, 水中的传能线密度 L_{∞} 指定的。国际辐射防护委员会 (ICRP) 推荐, 按照初级辐射类型, 内、外照射都可以用下列近似值:

初级辐射类型	Q 值
X、 γ 、电子	1
能量未知的中子、质子和静止质量大于 1μ 的单电荷粒子	10

能量未知的 α 粒子和多电荷粒子 (以及电荷未知的粒子) ²⁰

需要注意的是, 品质因数 Q 不完全是相对生物效应系数 RBE。后者除与射线的传能线密度有关外, 还和研究的生物效应种类、剂量给予方式、受照个体生理条件等等有关。N 是 ICRP 规定的所有其它因数的乘积, 这些因数可以包括吸收剂量率引起的效应, 剂量给予方式引起的效应等, 还包括今后考虑到的修正因数。目前 ICRP 指定 $N = 1$ 。由于 Q、N 是无量纲因数, 所以剂量当量 H 就与吸收剂量 D 有相同的量纲, 然而, 这却是截然不同的两个量。第十六届国际计量大会考虑到这两个量的混淆可能导致对遭受到的辐射危险估计不足, 同意了 ICRP 1977 年的建议, 给予 H 的 SI 单位以专门名称—希沃特 (Sv)。

(希沃特即 R.M.Sievert, 瑞典物理学家, 辐射防护的先驱者之一。) $H = DQN$, 当 D 用 Gy 为单位时, H 的单位是 Sv。当 D 用 rad 为单位时, H 的单位是 rem。

剂量当量把各种辐射对人体的照射在共同的尺度上给予了统一的表示, 不同类型辐射的剂量当量值可以相加在一起, 用以估计人体遭受到的有害效应的几率或严重程度, 因此, 是很实用的。ICRP 和各国制定的剂量防护标准都是以剂量当量为尺度的。但是, 这个量仅限于防护中使用, 因为相同的剂量当量值, 并不一定产生完全相同的生物效应。换句话说, 剂量当量还不是生物效应的准确度量, 只是限于目前的知识水平, 以此粗略示意电离辐射对人体的影响而已。从这个角度看, 尽管剂量当量还是个相当新的量, 仍有待发展改进。

五、照射量

照射量是剂量学历史上使用最久, 变化较大, 至今争论较多的一个量。1895 年 11 月伦琴发现 X 射线, 1923 年就有人提出用“伦琴”作为度量 X 射线强弱的单位。1928 年第

二届国际放射学大会获得通过，并给出了定义。1937年第五届国际放射学大会把伦琴单位推广到 γ 射线，定义为“伦琴是X或 γ 辐射的量，它在每0.001293克空气中所伴有的微粒的发射，在空气中产生的离子带有任一种符号电量各为1静电单位。”定义中的0.001293克就是标准状况下 1cm^3 干燥空气的质量。“伴有的微粒的发射”是指初级光子所产生的次级电子。几十年来，这个量的名称从“量”经过“剂量”、“照射剂量”演变成今天的“照射量”。其定义和单位见表。可以看出，照射量和吸收剂量是两个概念完全不同的量。吸收剂量反映了受照物体吸收辐射能量的大小，与辐射场和受照物体性质两方面有关。而照射量是用空气中产生电离的能力来描述X或 γ 辐射场的强弱的，它只适用于X或 γ 辐射，也不能用于其它受照物质。有时说在其它物质内某点上的照射量，含义是假定在那一点周围存在着小空气腔，而且又满足电子平衡条件时得到的。只有满足电子平衡条件，才能严格按照定义来测量照射量，但是高能或很低能量光子，电子平衡条件很难实现，现有的测量技术，能够精确测量照射量的光子能量限制在几keV到3MeV，辐射防护的测量允许有稍大的误差，上限可到8MeV。

考虑到照射量适用范围有限，而剂量学中最关心的是吸收剂量，防护工作中用的是

剂量当量，因此，国际上正在讨论照射量的价值与去留问题。ICRU有意通过空气中的比释动能(kerma)向空气中的吸收剂量过渡，以标准物质内的吸收剂量来取代照射量。在最近的国际文献中，例如联合国原子辐射效应科学委员会提交联合国大会的1982年度报告(UNSCEAR)中已用空气吸收剂量顶替了照射量。这也正是ICRU没有要求国际计量大会给照射量取专名的原因。目前，照射量的主要用途是通过测量照射量来计算吸收剂量，因为照射量是可以按照定义精确测量的，而比释动能和吸收剂量的精确测量，目前还有一些困难。

参 考 文 献

- (1) International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU Report 33, Radiation Quantities and Units, International Commission on Radiation Units and Measurements, 1980.
- (2) 中华人民共和国国家标准 核反应和电离辐射的量和单位 GB3102.10-82, 技术标准出版社, 北京, 1983年.
- (3) 陈丽姝、刘远迈, 核反应和电离辐射的量和单位, 计量出版社, 北京, 1983年.
- (4) 国家计量局单位制办公室编, 中华人民共和国法定计量单位资料汇编, 计量出版社, 北京, 1984年.
- (5) 国际单位制推行委员会, 中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行), 计量出版社, 北京, 1981年.