

# 辐 射 量 及 其 单 位 介 绍

陈 丽 姝

## 一、引 言

计量学这门学科是伴随着人类生产斗争和科学实验的发展而发展起来的，它又直接服务于生产斗争和科学实验，它与国防建设、工农业生产、科学文化，乃至日常生活都有极其密切的联系。辐射量及其单位是计量学研究的一个方面，对于从事原子能科学技术领域工作的人员，除了要了解一般物理量的概念和单位以外，辐射量及其单位是必须了解和掌握的。随着科学研究和生产的发展以及技术交流的日益广泛，目前世界范围内正在推行国际单位制，以逐步实现统一计量单位的目的。辐射量及其单位也同样如此。本文简要介绍当前国际上计量制度的发展情况，着重介绍放射学和辐射防护方面用到的主要辐射量的概念和定义，以及单位的量纲、名称和用法，也提及历史上用过的一些单位的物理内容，指出它们的局限性，以便在查阅前人资料时能有所了解和比对。

## 二、当前世界范围内推行的国际制(SI)单位的简况

目前计量学领域内普遍盛行的是采用国际制(简称SI)单位<sup>[1]</sup>，这一工作称之为“米制化”运动。它在七十年代初期达到了高潮。所谓国际单位制实际上是更加科学、更加完善、能为一切物理学科普遍采用的米制(即公制)。最初米制的基本单位是米-公斤(力)-秒。凡是长度单位用“米”或它的十进倍数或分数单位为基本单位的单位制都是米制。这种米制后来就成了制订各种单位制的基础。例如从米制派生出来的单位制有CGS制，实用电磁制和米-吨-秒制等等。它们虽然都属于米制，但是它们之间又缺乏科学的联系，有时同一个物理量可能有好几个彼此独立的单位和不同的量纲。另外还存在着英制、美制及许多制外单位。尤其是英制中存在着大量的非十进位制。这些单位的并存使人们无法摆脱一些不必要的换算。计量单位存在的这种混乱状态严重地妨碍了生产以及科学技术和经济文化的交流。为此，各国科学技术人员和有关国际组织多年来一直都在研究制订和改善统一单位制问题。

经过几十年时间的努力和实践，1971年由国际计量局(Bureau International des Poids et Mesures)提出，经第14届计量大会正式通过，在米制基础上制订了“国际单位制”(Le Système International d'unités; The International System of Units; 简称SI)。它由国际制单位、国际制词冠和国际制单位的十进倍数单位与分数单位三部分组成。表1, 2, 3分别列出了其基本单位、辅助单位和具有专门名称的导出单位。

表 1 国际制的基本单位

物 理 量	单 位 的 名 称	符 号
长 度	米	m
质 量	千克(公斤)	kg
时 间	秒	s
电 流 强 度	安培	A
热 力 学 温 度	开尔文	K
物 质 的 量	摩 尔	mol
发 光 强 度	坎德拉	cd

表 2 国际制辅助单位

物 理 量	单 位 的 名 称	符 号
平 面 角	弧 度	rad
立 体 角	球 面 度	sr

表 3 具有专用名称的国际制的导出单位

物 理 量	国 际 制 导 出 单 位		
	名 称	符 号	量 纲
频率	赫 兹	Hz	1/秒
力	牛 顿	N	千克·米/秒 <sup>2</sup>
压力、应力	帕 斯 卡	Pa	牛顿/米 <sup>2</sup>
能、功、热量	焦 耳	J	牛顿·米
功率、辐射通量	瓦 特	W	焦耳/秒
电量、电荷	库 仑	C	安培·秒
电位、电压、电动势	伏 特	V	瓦特/安培
电容	法 拉	F	库仑/安培
电阻	欧 姆	$\Omega$	伏特/安培
电导	西 门 子	S	安培/伏特
磁通量	韦 伯	Wb	伏特·秒
磁感应强度	特 斯 拉	T	韦伯/米 <sup>2</sup>
电感	亨 利	H	韦伯/安
光通量	流 明	lm	坎德拉·球面度
光照度	勒 克 斯	lx	流明/米 <sup>2</sup>
放射性强度	贝 克 勒 尔	Bq	1/秒
吸收剂量	格 雷	Gy	焦耳/公斤

物理量以国际单位制表示的单位其特点是：各种物理量的单位无需全部都有独立的定义，只对基本量的单位才给予严格的理论上的定义，而导出量的单位则通过选定的方程式取其国际制的基本单位来定义。该方程式中的比例系数一般取为 1。因此，只要复现几个基本单位就可以得到其它导出单位了。国际制单位的倍数与分数之间的关系是十进位关系。最后，由于国际制的基本单位能以最高的精度复现与保存，而且大部分实现了自然基准，所以复现国际制的导出单位的精度也较高。

由于国际单位制具有上述一些优点，它的建立与推广受到了全世界各行各业的普遍欢迎。目前世界上绝大多数工业发达的国家差不多都已经积极行动起来，由政府部门通过法令或条例，正式宣布采用或准备逐步采用国际单位制。我国的计量制度自从 1959 年普遍推行米制以来，基本上淘汰了旧中国遗留下来的英制和各种旧杂制。为了适应在本世纪末我国实现四个现代化的需要，1977 年 7 月由国务院正式发布了我国的计量法<sup>[2]</sup>，明确宣布要逐步全面采用国际单位制。这必将有力地推动我国国民经济的发展，促进科学技术的提高，以及大大有利于我国与外国的技术交流。

### 三、几个辐射量及其单位的国际制专用名称<sup>[3-6]</sup>

随着国际上“米制化”运动的发展，国际辐射单位和测量委员会(International Commission on Radiation Units and Measurements, 简称 ICRU)于 1974 年 7 月向国际计量委员会提出了关于放射性强度和吸收剂量采用国际制单位专用名称的建议，于 1975 年 5 月在第 15 届计量大会上已正式批准，其内容如下。

放射性强度  $A$  的国际制专用单位的名称是贝克勒尔(Becquerel), 符号为 Bq。

$$1 \text{ 贝克勒尔} = 1 \text{ 衰变/秒} \approx 2.703 \times 10^{-11} \text{ 居里.}$$

致电离辐射吸收剂量  $D$  的国际制的专用单位的名称是格雷(Gray), 符号为 Gy。

$$1 \text{ 格雷} = 1 \text{ 焦耳/千克} = 100 \text{ 拉德.}$$

现暂不推荐照射量的国际制专用单位的新名称, 仍用伦琴。1 伦琴 =  $2.58 \times 10^{-4}$  库仑/千克。

放射性强度的国际制专用单位的新名称之所以称为贝克勒尔, 是为了纪念法国物理学家亨利·贝克勒尔(A. H. Becquerel)而命名的, 他在 1896 年发现了放射性, 并在 1903 年与居里夫妇一起定出了该射线的物理性质。放射性强度采用上述新的单位后就纳入了国际制的一贯导出单位, 即用国际制的基本单位(秒)导出的基本方程中的系数是 1, 比原先的单位居里 (1 居里 =  $3.7 \times 10^{10}$  衰变/秒) 计算时要简单得多, 也避免了很高方次的运算。贝克勒尔和时间性频率的单位“赫兹”虽然有着相同的量纲( $\text{秒}^{-1}$ ), 但是物理意义是截然不同的。

吸收剂量的国际制单位的专用名称之所以称格雷, 是因为格雷(L. H. Gray)建立的空腔电离理论和实验, 为测量吸收剂量奠定了基础。

吸收剂量的单位采用格雷时, 剂量当量  $H$  的国际单位制专用名称的导出单位不能用雷姆(rem), 而用西弗特(Sivert)<sup>[7]</sup>, 符号为 Sv。

$$H = DQN \quad (\text{Sv}).$$

式中  $Q$  是品质因数;  $N$  是修正因子; 1 西弗特 = 100 雷姆。ICRU 建议自 1974 年起以后的 10 年内, 上述各单位要逐步地代替“居里”、“拉德”和“雷姆”等。

其它一些不具有国际制专用名称的辐射量的单位, 可以由它们的定义方程式中各量纲采用国际制的基本单位或导出单位而纳入国际制的一贯导出单位。因此, 到目前为止 25 个辐射量中除了照射量的单位“伦琴”和与它有关的单位是属于非国际制的单位外, 其它量的单位都可纳入国际制。

#### 四、现用的某些辐射量及其单位\*

本节扼要介绍几个主要的辐射量的物理含义及其由来情况。

1. 放射性强度  $A$  及其专用单位——居里(Ci) 单位居里最早是用来量度射气量的<sup>[8]</sup>, 所谓 1 毫居里是指 1 毫克镭处于放射性平衡时射气的量。在标准状态的温度和压力下, 1 毫居里相当于 0.66 毫米<sup>3</sup>体积的氡。当时的测量值, 1 居里的衰变率在  $(3.4 \sim 3.72) \times 10^{10}$ /秒范围。后将此单位推广到铀系的其他衰变产物乃至对于任何放射性核素上, 只要有每秒  $3.7 \times 10^{10}$ /秒次衰变则定为 1 居里。1956 年和 1959 年 ICRU 规定居里为放射性强度的单位, 1962 年定义放射性强度  $A$  为,  $A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$ ,  $\Delta N$  是在时间  $\Delta t$  内发生自发核变化的次数 (1971 年的报告<sup>[9]</sup>中将差商改为微商), 单位为居里(Ci)。“核变化”指的是核素的改变或发生同质异能跃迁。

居里不是放射性核素的剂量的量度单位, 它表示的是单位时间内的衰变数。因此当放射性核素同时放出几种辐射时, 衰变数并不等于发射的粒子数。

美国国家标准局曾提出过“卢瑟福”这个单位, 1 卢瑟福 =  $10^6$  衰变/秒。此单位用得并不普遍, 现已淘汰。

2. 照射量  $X$  及其专用单位——伦琴(R) 伦琴这个单位首先由本克(H. Behnker)<sup>[10]</sup>提出、1924 年由德国伦琴射线学会采纳作为一个正式单位。1928 年<sup>[11]</sup>国际 X 射线单位委员会提出了伦琴的定义。1931 年美国国家标准局的泰勒(L. S. Taylor)等人建造了第一台标准空气电离室作为复现伦琴的标准装置<sup>[12, 13]</sup>。1937 年第五届国际放射学会议<sup>[14]</sup>上批准了更为一般的定义: (1) X 射线的量或剂量的国际单位是伦琴(符号为 R); (2) 伦琴是 X 或  $\gamma$  辐射的这样的量, 它在每 0.001293 克的空气中所产生的微粒辐射

\* ICRU 自 1927 年至 1954 年间的历次报告刊登在 *Brit. J. Radiology*, *Am. J. Roentgenol.* *Rad. Therapy* 和 *Radiology* 杂志上; 1951 年及 1954 年以后历次的建议书则列在美国标准手册(NBS Handbook)中; 1968 年起改为不定期出版单行本。辐射量及其单位的最新详细定义见文献[9]。

在空气中产生两种符号的离子电量各为 1 个静电单位。微粒辐射指的是初级光子所产生的次级电子, 1 个静电单位的电量相当于  $2.08 \times 10^9$  个离子对。这个定义的含义是 1 伦琴的 X 或  $\gamma$  辐射在 1 毫升的标准状态的空气中引起的次级电子在该体积以内和以外的空气中总共能产生  $2.08 \times 10^9$  个离子对。只要在电子平衡条件下测出这个体积以内的离子数就可以测定该体积所在处的伦琴数。电子平衡条件和空腔电离理论<sup>[15,16]</sup>的引入, 为复现较高能量的  $\gamma$  射线的伦琴单位提供了方便。目前, 空腔电离室已成为复现 0.2~3 兆电子伏能量范围的  $\gamma$  射线照射量的基准装置。最好装置的精度可达 0.6% 左右。 $\gamma$  射线能量的增高已很难实现电子平衡, 所以“伦琴”只适用于 3 兆电子伏以下能量的 X 或  $\gamma$  辐射, 常用的  $\gamma$  源的能量大多在 4 兆电子伏以下, 这是能够得到满足的。

1953 年 ICRU<sup>[17]</sup> 推荐“伦琴”所代表的那个量叫“照射剂量”, 1956 年<sup>[18]</sup> 对“照射剂量”定义为: X 或  $\gamma$  辐射在某一位置处的照射剂量, 是根据它们产生电离的能力而定的对辐射的一种度量。单位伦琴的定义不变。1971 年的报告中命名为照射量, 以 X 表示, 定义为  $X = \frac{dQ}{dm}$ , 其中 dQ 是光子在质量为  $dm$  的某一体积元内的空气中释放出来的全部电子被阻止于空气中时, 形成的一种符号的离子总电荷的绝对值, 单位为伦琴(符号为 R)。这里, dQ 内不包括在所研究的体积内放出的次级电子发射的韧致辐射而产生的电离。

**3. 吸收剂量 D 及其专用单位——拉德(rad 或 rd)\*** 最早采用过“毫克·小时”来控制放疗中人体所受到剂量的大小, 这显然是不科学的。人们在长期实践中认识到辐射对人体组织的作用所产生的变异程度、大小和类型主要取决于组织吸收辐射能量的多少, 因此迫切要求建立一个能够度量物质吸收射线能量多少的辐射量及其单位, 使任何类型的致电离辐射的剂量与其生物学效应或其他相关效应联系起来。

1953 年第 7 届国际放射学大会上, ICRU 提出了吸收剂量及其单位“拉德”(符号 rad), 其定义是任何致电离辐射的吸收剂量是在所研究点处, 由致电离粒子授与单位质量的被照射物质的能量。1 拉德 = 100 尔格/克。采用“拉德”的优点在于它适用于任何类型的致电离辐射和任何被照射物质。

**4. 比释动能 K 及其专用单位——拉德** 以前在许多科技文章中经常见到“KERMA”这个词, 它是“Kinetic Energy Released per Unit Mass”名字字头拼写而成。它是剂量学中用到的一个重要的物理量。但是这个量在很长一段时期内既没有名称也没有严格定义。过去在我国的很多文章中音译为“柯马”、“克马”等等。伯儒(W. R. Burrus)<sup>[19]</sup> 曾称为“分出剂量”(Removal Dose), 希克莫特(R. L. Hickmott)<sup>[20]</sup> 把在碳中的“KERMA”称为“碳剂量”, 即碳中的分出剂量。直到 1962 年 ICRU 才在它的 10(a) 报告中将 KERMA 改为“Kerma”, 下了个严格的定义, 并说明“Kerma”系“Kinetic Energy Released in Material”各名字字头拼写而成, 以符号 K 表示。根据我国对物理学名词采用意译、单位采用音译的原则, 在 ICRU 第 19 号报告《辐射量和单位》的中译本<sup>(9)</sup> 中首次译成“比释动能”。它定义为  $K = \frac{dE_{tr}}{dm}$ , 其中  $dE_{tr}$  是在某一体积元的特定物质中由间接致电离粒子释放出来的全部带电粒子的初始动能的总和, 而  $dm$  为该体积元中的物质的质量。比释动能的专用单位是拉德。

我们知道, X 和  $\gamma$  射线以及中子之类的间接致电离粒子与物质发生相互作用的过程有两个阶段。第一阶段是产生直接致电离粒子和另外的间接致电离粒子而损失其能量。在第二阶段中, 这些直接致电离粒子通过库仑相互作用将能量授与物质。这两个阶段发生的地点通常是不同的。比释动能表示的是在受照射的介质中, 在所研究点处, 间接致电离粒子与单位质量介质相互作用后, 传递给原子电子的动能。而吸收剂量描述的是第二个阶段, 即电子将能量传递给物质。比释动能包括了次级带电粒子在韧致辐射过程中辐射出来的能量以及任何次级过程所产生的任何其他带电粒子的能量。关于比释动能与照射量和吸收剂量的详细论述可参见文献[21, 22]。

**5. 剂量当量 H 及其专用单位——雷姆(rem)\*\*** 人们很早就想用统一的单位来度量不同品质因数的辐射剂量。费拉(G. Failla)<sup>[28]</sup> 于 1937 年提出“生物剂量” $D_b = Dqb$ (式中 D 为剂量, q 为品质因数,

\* 当拉德(rad)有可能同平面角单位弧度的符号相混淆时, 建议拉德表示为 rd。

\*\* 关于剂量当量的详细说明, 可参看 ICRU 主席 H. O. Wyckoff 文章, 刊于“Proceedings of the International Congress of the International Radiation Protection Association”, 1973, p. 225, 以及 ICRU Rept. 19 Supplement. 1973.

b 为决定于生物条件的因子), 想以此来统一度量一切种类的辐射。1948 年帕克(H. M. Parker)<sup>[24,25]</sup> 在提出物理伦当量 rep 的同时, 还提出了一个量, 称为“人(或动物)体伦当量”, 记为 rem (系 Roentgen-Equivalent-Man 各字头的缩写, 这个单位在俄文中称为生物伦当量)。人体伦当量定义为, 人体受任何致电离辐射照射时的剂量在生物学上相当于 1 伦琴 X 或 γ 辐射照射时所吸收的剂量。

$$\text{rem} = (\text{rep})_1 \times \text{RBE}_1 + (\text{rep})_2 \times \text{RBE}_2 + \dots$$

RBE 为相对生物效应系数, 脚标表示辐射的种类。这个量考虑了不同类型辐射的相对生物效应。1956 年 ICRU 提出吸收剂量 D 以后, 以 rem\* 为单位的那种剂量就写成

$$\text{rem} = \sum_i \text{rad}_i \times \text{RBE}_i$$

有人把它称为相对生物效应剂量, 但是在 ICRU 10(a) 报告<sup>[26]</sup> 中曾有过下面一段说明:

在 ICRU 过去的出版物中没有对“相对生物效应剂量(RBE Dose)”给以定义, 而只是把它作为一个“公认的符号”提出的。

在放射生物学中, 一种辐射相对于另一种标准辐射(通常是 200 千伏的 X 射线)产生某种同样的生物效应时所需的吸收剂量值之比, 叫相对生物效应。这个系数一方面取决于辐射的线能量转移(LET), 另外还取决于许多其他复杂因素, 如生物效应的种类、剂量率和剂量的分次给与以及受照个体的生理条件等等。而在辐射防护工作中所采用的这个系数的数值只与辐射的线能量转移有关, 与其他照射因素等无关。这样, 使用相对生物效应(RBE)这个名称是不恰当的。为此, 1962 年 ICRU 与国际放射防护委员会协商后, 共同创立“剂量当量(DE)”这个量, 以代替过去使用的相对生物效应剂量(RBE Dose)。并建议“相对生物效应系数(RBE)”只用于放射生物学, 而将在辐射防护中仅依赖于线能量转移的那个量定名为品质因数(QF)。1971 年将剂量当量的符号改为 H, 其定义为, 剂量当量是在组织内被研究的一点处的吸收剂量 D、品质因数 Q 和其他修正因子 N 的乘积, 即  $H = DQN$ 。其专用单位是雷姆(符号为 rem)。该量仅限用于辐射防护, 不得用于高于容许水平的事故情况。关于 Q 对 LET 的依赖关系可参阅文献<sup>[27]</sup>。

6. 能量注量  $\mathcal{V}$  和能量通量密度  $\psi$  定义能量注量为

$$\mathcal{V} = \frac{dE_n}{da}$$

其中  $dE_n$  是进入截面积为  $da$  的球体内的所有粒子在扣除静止能量后的总能量。

它与 1953 年 ICRU 在哥本哈根召开的会议上推荐的“辐射量”有相同的量纲(焦耳/米<sup>2</sup>), 但其物理意义是不同的。辐射量定义为通过垂直于射线束的单位面积上(而不是单位截面积的球体内)的总能量。

能量通量密度定义为

$$\psi = \frac{d\mathcal{V}}{dt}$$

它与 1953 年提出的“辐射强度”有相同的量纲(焦耳/米<sup>2</sup>·秒), 但意义不同。辐射强度定义为单位时间内通过垂直于射线束的单位面积上(而不是单位截面积的球体内)的能量。

7. 线能量转移(LET) $L_\Delta$  LET 是微剂量学和辐射防护中的一个重要的物理量。其定义是, 带电粒子在介质中的线能量转移(或狭义线碰撞阻止本领) $L_\Delta$  为

$$L_\Delta = \left( \frac{dE}{dl} \right)_\Delta$$

其中  $dl$  为粒子穿过的距离;  $dE$  为能量转移小于某一特定值  $\Delta$  的碰撞所造成的能量损失。

$L_\Delta$  还可定义为, 它是带电粒子的总线能量损失中由最高到某一特定的能量截止值  $\Delta$  的能量转移所产生的那一部分能量损失。由此可以利用狭义阻止本领公式算出  $L_\Delta$ 。  $L_\infty$  表示包括所有可能的能量转移在内, 而最大的能量转移取决于粒子的类型和速度。  $L_\infty$  在数值上等于总质量阻止本领。

1940 年泽克尔(R. E. Zirkle)<sup>[28]</sup> 曾把这个量理解成线能量吸收, 1952 年他引入了线能量转移这个概念<sup>[29]</sup>, 认为包括了激发和电离在内的一切形式的能量转移的线密度, 当时认为这是划定 RBE 的一个

\* 从此时起, rem 已不代表原来作为缩写字的含义, 而只作为单位的英文符号, 故宜音译为“雷姆”。

重要参数。过去文章中 LET 也有指“局部的能量转移(Local Energy Transfer)”的,在 ICRU 10 (a) 报告中也曾使用过“局部地授与”这个词。它可以使人有不同的理解,如离开主径迹某个距离以内可认为是“局部地授与”,也可以理解成粒子能量损失的某个值以下范围内看成是“局部的”。LET ( $L_{\Delta}$ ) 与通常所说的阻止本领不同,后者给出的是粒子在每单位路程上的能量损失,而不管这个能量是在何处被吸收的。

品质因数不同的两种辐射,当造成的吸收剂量相同时,各自沿其径迹各部分所损失的能量也可能相差很大,这种局部能量损失的差异就可以解释不同品质因数辐射引起的不同程度和种类的生物效应。因此相对生物效应系数 RBE 和 LET 有关。辐射防护上引入这个量的目的是确定剂量当量时要用到品质因数  $Q$ , 而后者是根据水中的  $L_{\Delta}$  值来规定的<sup>[80]</sup>。现在用的  $Q$  值和 RBE 系数值相同,但概念是不同的。

## 五、辐射量及其单位最新定义的特点<sup>[31]</sup>

ICRU 在第 19 号报告中新近定义了 25 个基本的辐射量及其单位,特别为微剂量学和辐射防护引入了几个新量,其中有 5 个量是 ICRU 前几次报告中所没有的,即平均授与能(Energy Imparted Mean)  $\bar{\epsilon}$ , 比能(Specific Energy)  $z$ , 线能量(Lineal Energy)  $y$ , 吸收剂量指数(Absorbed Dose Index)  $D_I$ , 剂量当量指数(Dose Equivalent Index)  $H_I$ 。除此之外,这次报告与以往报告不同之处还有:

(1) 由于辐射本身及其与物质的相互作用带有统计涨落,而某一特定情况下辐射所引起的作用则是某些量的实在值(而不是平均值)来确定的,因此需要研究随机量。为此,把辐射量划分为随机量和非随机量两类。授与能  $\bar{\epsilon}$ , 比能  $z$ , 线能量  $y$  属于随机量,它们的实验测定值服从几率分布,因此也不能预知。在时间和空间方面的改变是不连续的,故谈不上它的变化率。随机量的引入使得吸收剂量  $D$  的定义更加严格了。因为非随机量  $D$  与随机量比能  $z$  虽有相同的量纲,但其值可能相差很大。只有当物质的质量趋于零时,比能的平均值  $\bar{z}$  的极限才等于  $D$ 。

(2) 除上述三个量是随机量之外,其他都是非随机量。原先对于那些非随机量都是通过数学上的微商符号来定义的,而现在则以微商形式来表示。

(3) 为了适应辐射防护工作中用来表征任何处所的四周辐射水平的需要,新引进了两个量,即吸收剂量指数  $D_I$  和剂量当量指数  $H_I^*$ 。当人体受到的是外照射,而从空气中的测定结果难以估算出人体内的最大吸收剂量或剂量当量时,这两个指数是很有用的。

吸收剂量指数和剂量当量指数是在直径为 30 厘米的软组织等效材料球状模型内进行探测而确定的。

## 六、已经淘汰了的单位

我们在查阅前人资料时除了需要注意某些辐射量及其单位在不同历史时期有它不同的物理内容外,还须注意那些已经不用的单位与现在相对应的单位的关系。如卢瑟福,“E”单位<sup>[82]</sup>,“R”单位(这两单位和伦琴一样都是基于测量 X 射线对空气的电离电量),毫克·小时,分出剂量,人体(或动物)伦当量,生物剂量,相对生物效应剂量以及物理伦当量等等。这些量在前面大多已提及,这里再着重介绍一下物理伦当量(rep)。

以前广泛使用过的“物理伦当量”的符号 rep 是“Roentgenol Equivalent of Physics”的缩写。在三十至五十年代期间出现了加速器和反应堆,能生产出更多种类的放射性同位素,能引起致电离辐射的也已经远不止 X 和  $\gamma$  射线了,因而在放射学和辐射防护领域内迫切感到仅用“伦琴”已不够了,需要建立一个更为广泛的辐射量及其单位。这不仅由于“伦琴”是仅根据 X 和  $\gamma$  辐射对空气的电离本领而作出的一种度量,而且还由于辐射对生物的作用主要决定于生物组织吸收的辐射能量。为了解决这个问题,帕克<sup>[12]</sup>在 1948 年曾建议采用“物理伦当量”来表示所有类型辐射的剂量。最初定义为,rep 是致电离辐射的剂量,它相当

\* 参看 H. H. Rossi, Proceedings of the third International Congress of the International Radiation Protection Association, 1973, p. 229.

于软组织吸收的能量为 84 尔格/厘米<sup>2</sup>。选取这个数值的原因是它等于 1 伦琴的硬 X 射线被空气吸收的能量。按当时采用的电子在空气中每产生一对离子所消耗的平均能量 32.5 电子伏计算<sup>[80]</sup>，则人的软组织吸收 1 伦琴 X 射线的能量为 93 尔格/厘米<sup>2</sup>而不是 84 尔格/厘米<sup>2</sup>。因此 1949 年 9 月在加拿大乔克河召开的会议上决定将 1 物理伦当量改为相当于每克组织吸收 93 尔格能量。后来又由于所采用的平均电离功是 34 电子伏而不是 32.5 电子伏，所以又有人把 1 物理伦当量理解为每克组织吸收 98 尔格能量。将以 rep 表示的结果换算成拉德时，引进的校正因子必须要考虑这些数值因素。虽然 rep 的引入使伦琴的混乱应用得到了一定的澄清，但又引起了另外一些问题。例如，有些人把 rep 看作是 1 伦琴的 X 射线在空气中消耗的能量(84 尔格)单位；而另一些人又可能把它当成软组织中消耗的能量(93 或 98 尔格)单位。在这两种情况下，该单位的大小相差百分之几。只有采用拉德作为吸收剂量单位后才消除了这种困难。

## 七、结 束 语

辐射量的概念、定义和单位的复现方法，与其他物理量一样，是在不断发展着的。正确地理解它的物理内容和正确地掌握它的测量方法是必备的基本知识。合理地使用这些量的单位不仅是学术上的问题，而且还对国民经济、对外贸易产生很大的影响。我们在本文中着重介绍了几个主要的辐射量及其单位，是国际辐射单位和测量委员会(ICRU)所推荐的，也是国际上多数国家所确认和通用的。但其中个别量的名称、定义的合理性、严密性以及实用性还可以进一步讨论，它们也会在实践中得到不断的发展和完善。

## 参 考 文 献

- [1] 姜友陆, 物理, **6**, 236 (1977).
- [2] 1977年7月21日人民日报第一版, 国务院颁发计量管理试行条例.
- [3] H. O. Wyckoff, *Phys. Med. Biology*, **20**, 1029 (1975).
- [4] W. A. Jennings, *Brit. J. Radiology*, **45**, 784 (1972).
- [5] H. O. Wychoff, *Health Phys.*, **30**, 417 (1976).
- [6] H. O. Wyckoff et al., *Acta Radiol. Ther. Phys. Biol.*, **14**, 590 (1975).
- [7] ICRP Publication 26, *Annals of the ICRP*, Pergamon Press, Oxford, 1977.
- [8] T. Leucutia, *Amer. J. Roentgenol., Radium Ther. Nucl. Med.*, **90**, 656 (1963).
- [9] 于耀明等译, 国际辐射单位与测量委员会第19号报告, 辐射量和单位, 原子能出版社, 1974.
- [10] H. Behuken et al., *Radiology*, **10**, 273 (1928).
- [11] International X-Ray Unit of Intersity, *Brit. J. Radiol.*, **1** (New Series), 363 (1928).
- [12] L. S. Taylor, *Radiology*, **15**, 637 (1930).
- [13] L. S. Taylor, *Radiology*, **16**, 1 (1931).
- [14] Recommendations of the ICRU, Chicago 1937, *Amer. J. Roentgenol., Radium Ther. Nucl. Med.*, **39**, 295 (1938); *Radiology*, **29**, 634 (1937).
- [15] L. H. Gray, *Brit. J. Radiol.*, **10**, 600 (1937).
- [16] L. H. Gray, *Brit. J. Radiol.*, **10**, 721 (1937).
- [17] Recommendations of the ICRU, Copenhagen 1953, *Radiology*, **62**, 106 (1954).
- [18] Report of the International Commission on Radiological Units and Measurements, Nat. Bur. Std. (U. S.), Handbook 62, 1957.
- [19] W. R. Burrus, NR-32R (1960).
- [20] R. L. Hickmott, Wright Air Development Center Tech. Rept., No. 59-119 (1959).
- [21] H. H. Eisenlohr, *Health Phys.*, **17**, 335 (1969).
- [22] 陈常茂等译, 国际辐射单位与测量委员会第13号报告, 中子流量、中子谱和比释动能, 原子能出版社, 1975.
- [23] G. Failla, *Radiology*, **29**, 202 (1937).
- [24] H. M. Parker, *Advan. Biol. Med. Phys.*, **1**, 243 (1948).
- [25] H. M. Parker et al., *Encyclopedia of X-Rays and Gamma Rays* (G. L. Clark Ed.), Reinhold, New York.
- [26] ICRU Report 10b, *Physical Aspects of Irradiation*, Nat. Bur. Std. (U. S.), Handbook 85, 1964.
- [27] 于耀明译, 国际辐射单位与测量委员会第16号报告, 线能量转移, 原子能出版社, 1976.
- [28] R. E. Zirkle, *J. Cell. Comp. Physiol.*, **16**, 221 (1940).
- [29] R. E. Zirkle, *J. Cell. Comp. Physiol.*, **39**, Supple. 1, 75 (1952).
- [30] 刘增鼎译, 国际放射防护委员会第9号出版物, 国际放射防护委员会建议书, 原子能出版社, 1975.
- [31] BCRU Comments on ICRU Rept. 19, *Brit. J. Radiology*, **47**, 297 (1974).
- [32] W. Duane, *Amer. J. Roentgenol., Radium Ther. Nucl. Med.*, **9**, 781 (1922).
- [33] K. Z. Morgan, ORNL-783 (1950).