

# 电离辐射量与单位的体系演进述评

郑钧正<sup>1</sup>, 曾志<sup>1,2,3</sup>

(1. 清华大学 工程物理系, 北京 100084; 2. 清华大学 粒子技术与辐射成像教育部重点实验室, 北京 100084;  
3. 清华大学 高能辐射成像国防重点学科实验室, 北京 100084)

**摘要:**科学又实用地统一计量电离辐射乃是各行各业广泛利用原子能科学技术以及预防与治疗电离辐射可能产生放射损伤所必不可少的重要前提和基础。关于电离辐射量与单位以及相应的测量和应用方法, 有关国际组织和世界各国均普遍采纳国际辐射单位与测量委员会(ICRU)这一公认的权威学术组织所提出的体系。本文着重评述电离辐射量与单位的体系在数十年来的主要演变进化概貌。

**关键词:**电离辐射量; 单位; 演进; 国际辐射单位与测量委员会

**中图分类号:**R144.1      **文献标志码:**A      **文章编号:**1000-6931(2009)S0-0177-07

## Review on Evolvement of Systems of Ionizing Radiation Quantities and Units

ZHENG Jun-zheng<sup>1</sup>, ZENG Zhi<sup>1,2,3</sup>

(1. *Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China;*

2. *Key Laboratory of Particle & Radiation Imaging, Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China;*

3. *Key Laboratory of High Energy Radiation Imaging Fundamental Science for National Defense, Tsinghua University, Beijing 100084, China)*

**Abstract:** To scientifically and practically measure the ionizing radiation in unison is an indispensable prerequisite and foundation for the extensive uses of nuclear science and technology, development of radiological protection and safety standards, as well as prevention and treatment of ionizing radiation hazards. Concerning about the quantities and units of ionizing radiation as well as their corresponding measurement and application methods, relevant international organizations and all countries in the world generally adopt the systems proposed by the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) which is a well recognized and authoritative academic organization. In the paper, the major evolutions of the systems for ionizing radiation quantities and units in the past decades are summarized.

收稿日期: 2009-09-08; 修回日期: 2009-10-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10705019); 国家海洋公益性行业科研专项(2007050228)

作者简介: 郑钧正(1942—), 男, 福建永春人, 研究员, 博士生导师, 电离辐射剂量学和放射防护专业; 原任职于中国医学科学院/中国协和医科大学所属放射医学研究所(1965—1993), 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所(1993—2005)

**Key words:** ionizing radiation quantity; unit; evolvement; International Commission on Radiation Units and Measurements

自从一个世纪前发现 X 射线以及各种电离辐射后,随之产生一重要课题,即如何既科学又实用地统一计量电离辐射。也就是必须定义一批物理量来完整地表征电离辐射,并能实现准确地检测和应用。各类电离辐射本身以及电离辐射与受照射物质相互作用的物理量度,是电离辐射剂量学的核心。此乃是各行各业广泛利用原子能科学技术以及研究解决防范电离辐射可能产生危害所必不可少的重要前提和基础<sup>[1]</sup>。因此,1925年,第一届国际放射学大会(ICR)决定成立“国际 X 射线单位委员会”,后来随着其他射线的陆续发现而改名为“国际辐射单位与测量委员会(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU)”。ICRU 是国际公认的权威学术组织,专门研究提出关于电离辐射量与单位<sup>[2]</sup>以及有关电离辐射量的测量和应用方面的技术报告,并被有关国际组织和世界各国普遍采纳。显然,充分认识电离辐射量与单位对相关学科和各应用领域的不可或缺性,及时掌握由 ICRU 基本报告所反映的电离辐射量体系的新进展,无疑是非常重要的。

## 1 电离辐射量的重要性

众所周知,电离辐射是把双刃剑,既要充分利用电离辐射为人类造福,同时又必须认真防范其可能造成的潜在放射性危害。而要辩证地实现趋利与避害的这个目标,均离不开准确地计量电离辐射。科学定义各种电离辐射量及其单位,建立恰当的各种电离辐射量的测量方法和应用规范,乃是发展诸多相关学科和广泛应用核科学技术的重要前提与基础。

就一束 X 射线而言,导致物质电离的 X 射线既需表征其“量”,还需表征其“质”<sup>[3]</sup>。前者反映其强度,即光子的数目;而描述 X 射线的质则反映其能量(能谱分布)。这二者均十分密切地关系到各种 X 射线源所产生的电离辐射场以及 X 射线与物质的相互作用结果。电离辐射与物质的相互作用,本质上是电离辐射能量在物质中的传输、转移、沉积、吸收,由于各种电离辐射类型以及这些相互作用过程和特点的

多样性,需专门定义一系列各种不同物理量,分别从不同角度来描述和量度。因而,ICRU 经与 ICRP(国际放射防护委员会)协调先后定义了一批电离辐射量,迄今已达数十个之多。

各物理量均需尽可能精确确定其量值,因而必须选择可与同类物理量相互比较的参考样本(即单位)来具体表达。于是,任何物理量均可表示为一定数值与恰当单位的乘积。电离辐射量属于物理量的一种,具有物理量及其单位的基本属性,且现代均推行国际单位制<sup>[4]</sup>。

1895年11月发现 X 射线后很快就应用于医学<sup>[3]</sup>,故沿用医药学中常用的“剂量”一词描述电离辐射量。于是,电离辐射量通常就泛称为“辐射剂量”。早期曾用引起皮肤红斑效应而规定“红斑剂量”,而受到相同量与质的射线照射所引发的皮肤红斑,因不同人及同一人的不同部位而异。利用引起皮肤红斑效应计量电离辐射显然难以统一规范又不科学。随后发展到以引发电离这个独特性质去计量电离辐射。但为追求科学性,辐射剂量的有关概念和量化定义一直持续不断地演变进化。例如:1908年,法国 Villard 提出基于测量电离的“e”单位;1921年,法国 I. Solomon 提出与 1 g 镭相比较的 R 单位;1923年,德国 H. Behnken 提出以 1 cm<sup>3</sup>空气受 X 射线照射产生的电离电荷为基础的伦琴(R)单位;1928年,第二届国际放射学大会通过了伦琴单位的最早期统一定义;1930年曾建议 1 g 镭的蜕变率取作每秒  $3.7 \times 10^{10}$  次;1937年,第五届国际放射学大会把伦琴单位又推广应用到  $\gamma$  射线,明确用基于标准状态下 1 cm<sup>3</sup>空气的电离量来表征;1948年,又出现“物理当量伦琴”和“生物当量伦琴”单位,开始进入到能量吸收的概念;1953年,ICRU 正式提出以拉德(rad)为单位的吸收剂量。直至 1962年,ICRU 10a 号报告《辐射量和单位》才首次较系统地统一规范了电离辐射量和单位<sup>[5]</sup>。

值得注意的是,由 ICRU 与 ICRP 协调一致所建立的各种电离辐射量及其单位体系,经历不断沿革,促使电离辐射剂量学不断发展。但由此使得有些名词术语尽管文字依旧,而概

念和含义却已今非昔比,务必注意与时俱进。为了有利于更好地理解和应用各种电离辐射量及其单位,不但需认识计量电离辐射量的必要性和重要性,还必须了解电离辐射量与单位的体系演进概况。而了解、掌握和研究电离辐射剂量学及其应用,离不开权威机构 ICRU 和 ICRP 的一系列报告和出版物。

## 2 ICRU 及其报告

电离辐射量与单位的体系主要由获得国际组织和世界各国公认的权威 ICRU 报告来反映。已有 80 多年历史的 ICRU 致力于收集、评价与电离辐射测量及剂量学问题有关的最新数据和技术资料,并在三方面推荐最可供当前使用的建议:1) 电离辐射与放射性的量及其单位;2) 在临床放射学与放射生物学中测量和应用这些量的恰当方法;3) 应用这些方法中为保证一致性所需的物理数据。

ICRU 工作所涉及的主要技术领域包括:电离辐射量和单位、相关理论方面问题、有关因子、放射治疗、放射诊断、核医学、放射生物学、放射防护、放射化学、放射性、X 射线与  $\gamma$  射线和电子的放射物理以及中子和重粒子的放射物理等。ICRU 与国际计量局(BIPM)等诸多相关国际机构有密切的工作联系,其中在放射防护领域与国际放射防护委员会紧密合作<sup>[2]</sup>。

ICRU 发表的技术报告采用顺序连续编号形式出版发行,内容过时的报告即由新的报告所取代。从 2001 年起,委员会以《ICRU 杂志》(Journal of the ICRU, 国际标准刊号:ISSN 1473—6691)形式,每年 1 卷,由英国牛津大学出版社(Oxford University Press, OUP)出版发行。

ICRU 关于电离辐射量与单位的基本报告是统一规范计量电离辐射的权威文献。迄今已经历了 4 次变动更迭。最早是 1962 年发表的 ICRU 10a 号报告,随后逐次更替的是 1968 年 11 号报告、1971 年 19 号报告、1980 年 33 号报告。现在均已失效过时的这 4 个基本报告的题目均为《辐射量和单位》。20 世纪 90 年代,沿用了一二十年的 ICRU 33 号报告已被 ICRU 51 号报告《辐射防护剂量学中的量和单位》(1993)<sup>[6]</sup>和 ICRU 60 号报告《电离辐射的基本量和单位》(1998)<sup>[7]</sup>所取代。现行有效的两份

基本报告,将 33 号报告原先划分的两大部分(通用量和单位,辐射防护中使用的量和单位)更新成两个报告。1993 年,先出台电离辐射防护剂量学中的量和单位;1998 年,发表电离辐射的基本量和单位。这两个报告相互联系,更新了电离辐射量和单位的许多概念,还建立了若干新的电离辐射量。不断演进的 ICRU 关于电离辐射量与单位的基本报告,已建立起可供世界各国普遍应用的电离辐射量体系。

ICRU 的技术报告不仅提出了各种电离辐射量和单位的定义、测量以及应用方面的有关原则,而且是放射诊断、放射治疗、核医学以及能源、工业、农业、军事等应用放射实践中有关电离辐射剂量学问题的指南。截至 2009 年底,第 82 号报告已问世,故迄今已出版仍有效的报告尚有 68 份。为更好地具体反映 ICRU 的工作概貌以及电离辐射剂量学所涵盖的内容,并便于读者查找使用,特按照 ICRU 报告的编号顺序,收集整理迄今有效的该 68 份技术报告的名称和发表年份列于表 1。

## 3 电离辐射基本量的梗概

关于电离辐射量与单位的基本报告经历了 4 次更迭后,现行有效的基本报告是 1993 年发表的 51 号报告《辐射防护剂量学中的量和单位》(Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry)和 1998 年发表的 60 号报告《电离辐射的基本量和单位》(Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation)。电离辐射的基本量构成了电离辐射量体系的主要部分,而专门分出辐射防护剂量学中的量和单位,主要是为便于广受关注的放射防护方面的具体应用。

按照 BIPM 及国际标准化组织(ISO)的规定,自 20 世纪 70 年代后,积极推行国际单位制(international system of units),其通用缩略语则采用法文国际制的略语,即 SI。我国政府早已明确法定计量单位均采用国际单位制。而在电离辐射量的表述形式上,遵从物理量属性的通用一贯性(coherence)原则;且各辐射量均采用 ISO 和国际电工委员会(IEC)推荐的规范表达方式,即所有物理量均用右斜体字母表示,非物理量均用正体字母表示,包括下标也不例外。

表 1 迄今有效的 ICRU 报告

Table 1 Currently available ICRU reports

序号	ICRU 报告名称	年份	序号	ICRU 报告名称	年份
10b	照射的物理学方面	1964	49	质子和 $\alpha$ 粒子的阻止本领和射程	1993
12	标准放射源的检验	1968	50	光子束治疗的处方、记录和报告	1993
13	中子注量、中子能谱和比释动能	1969	51	辐射防护剂量学的量与单位	1993
14	辐射剂量学:最大光子能量在 0.6 到 50 MeV 的 X 射线和 $\gamma$ 射线	1969	52	放射性活度测量的粒子计数	1994
15	带影像增强器的 X 射线摄影	1969	53	环境中的 $\gamma$ 射线能谱分析	1994
16	传能线密度	1970	54	医学影像——影像质量评价	1995
17	辐射剂量学:电压为 5 到 150 kV 所产生的 X 射线	1970	55	带电粒子相互作用的次级电子能谱	1995
18	高活度 $\gamma$ 射线源的规范	1970	56	$\beta$ 射线外照射的辐射防护剂量学	1997
20	辐射防护仪器及其应用	1970	57	外照射放射防护中使用的换算系数 (与 ICRP 第 74 号出版物联合发表)	1998
22	低水平放射性活度的测量	1972	58	报告组织间治疗的剂量与体积规范	1997
23	受单束 X 射线或 $\gamma$ 射线照射的模体中吸收剂量的测量	1973	59	临床质子剂量学——第 1 部分:束流、束输	1998
24	放射治疗中患者所受 X 射线或 $\gamma$ 射线束照射的吸收剂量的测定	1976	60	电离辐射的基本量和单位	1998
25	确定剂量当量的基本概念	1976	61	超声医学中的组织等效物、体模和计算模型	1998
26	生物学和医学中的中子剂量学	1977	62	光子束治疗的处方、记录和报告 (ICRU 50 号报告补编)	1999
27	国际中子剂量学比对	1978	63	中子和质子放射治疗及辐射防护的核数据	2000
28	高能粒子相互作用及辐射剂量学基础	1978	64	基于水中吸收剂量的高能光子束的剂量学	2001
30	放射生物学中的定量概念与剂量学	1979	65	放射生态学的量、单位和术语	2001
31	产生一对离子所需的平均能量	1979	66	中子实用剂量当量的测定	2001
32	临床所用放射性核素的吸收剂量的测量方法	1979	67	核医学的剂量规范	2002
34	脉冲辐射剂量学	1982	68	电离辐射照射的回顾性评价	2002
35	辐射剂量学:能量在 1 到 50 MeV 之间的电子束	1984	69	人体内放射性核素含量的直接测量	2003
36	微剂量学	1983	70	胸部 X 射线摄影的影像质量	2003
37	电子和正电子的阻止本领	1984	71	电子束治疗的处方、记录和报告	2004
38	报告妇科腔内治疗的剂量与体积规范	1985	72	密封源近距离放射治疗用 $\beta$ 射线和低能光子的剂量学	2004
39	外照射源所致剂量当量的测定	1985			
40	辐射防护中的品质因子	1986	73	比氦更重离子的阻止本领	2005
41	胶片增感屏系统的调制传递函数	1986	74	影像医学用 X 射线所致患者剂量学	2005
42	计算机在光子束和电子束外照射放射治疗中的应用	1987	75	环境中放射性核素的采样	2006
43	外照射源所致剂量当量的测定——第 2 部分	1988	77	电子和正电子的弹性散射	2007
44	辐射剂量学与测量中的组织替代物	1989	78	质子束治疗的处方、记录和报告	2007
45	临床中子剂量学——第 1 部分:快中子外照射束治疗患者所受吸收剂量的测定	1989	79	影像医学中接受器运行特性分析	2008
46	光子、电子、质子和中子对人体组织的相互作用数据	1992	80	电离辐射应用中的剂量学体系	2008
47	来自光子、电子外照射的剂量当量的测量	1992	81	骨骼骨密度测量的定量问题	2009
48	在治疗、诊断和防护领域的人体模型和计算模型	1992	82	乳腺 X 射线摄影——影像质量的评价	2009

ICRU 第 60 号报告充实了电离辐射量的体系,依然把电离辐射的基本量分为以下 4 类<sup>[7]</sup>。

1) 放射计量学(或称测量学)量(radiometric quantities)

这是与电离辐射场有关的最基本量。例如,粒子数  $N$  和辐射能  $R$ ,从这两个基本量的时间、能量和方向的分布,可得出其他相关放射计量学量。在放射防护领域,经常用到注量  $\Phi$ ;其他很多基本量在辐射输运理论中得到了广泛应用。鉴于电离辐射场的性质具有时间和空间相关性,需从多角度进行描述,故第 1 类放射计

量学量定义了 16 个。

2) 相互作用系数(interaction coefficients)的相关电离辐射量

电离辐射的应用及其放射防护,必然要关注电离辐射与物质的相互作用。电离辐射通过与物质的原子、原子核、电子等相互作用而实现能量的传输和转移,这些相互作用的程度与电离辐射的类型、能量以及物质自身的特性有关。因此,定义了 7 个相互作用系数,用来表征各类电离辐射与物质的相互作用过程中,涉及到入射粒子的数量及其能量或方向的改变等。这些

相互作用系数许多均有相关手册资料可查找, 在各类电离辐射的屏蔽防护设计中经常用到。

3) 剂量学量(dosimetric quantities)

此类共定义 12 个颇受关注的电离辐射量, 主要反映介质受到电离辐射照射时, 电离辐射能量的转移和吸收情况等。限于篇幅, 对很有用的辐射剂量学量不予以展开阐述, 可从图 1 了解梗概。

4) 与度量放射性(radioactivity)有关的电离辐射量

放射性衰变常数、放射性活度和空气比释动能率常数等 3 个经常使用的度量放射性的量, 表征了所有放射性核素的最本质特点。

60 号报告共定义了以上 4 类 38 个基本电离辐射量, 比被取代的 1980 年第 33 号报告第 1 部分 30 个通用量多出了 8 个<sup>[7]</sup>。主要区别在于: 考虑到描述电离辐射场的放射计量学量需进一步顾及方向性因素, 新基本报告首次把第 1 类与电离辐射场有关的最基本量区分为标

量和矢量, 因而增加了与原有标量相对应的 6 个矢量(vector)的量, 即矢量的注量(vectorial fluence)、矢量的注量率(vectorial fluence rate)、矢量的能注量(vectorial energy fluence)、矢量的能注量率(vectorial fluence rate)、矢量的粒子辐射度(vectorial particle radiance)、矢量的能量辐射度(vectorial energy radiance)。矢量的放射计量学量分别是相应的标量对时间或立体角的导数; 而第 2 类的相互作用系数的相关辐射量, 比 33 号报告少了 1 个过去常用的“质能吸收系数( $\mu_{en}/\rho$ )”, 但它可从质能转移系数  $\mu_{tr}/\rho$  与带电粒子的辐射能量损失份额的关系求得; 第 3 类的剂量学量新增加了沉积能( $\epsilon_i$ )、比转换能(Cema, 符号为 C)、比转换能率( $\dot{C}$ )等 3 个量; 至于第 4 类度量放射性的 3 个量则没有变化<sup>[7]</sup>。

为节省篇幅并便于更好理解 ICRU 的电离辐射基本量体系, 归纳出图 1 较直观地展示关于电离辐射基本量的框架结构及其内在联系。

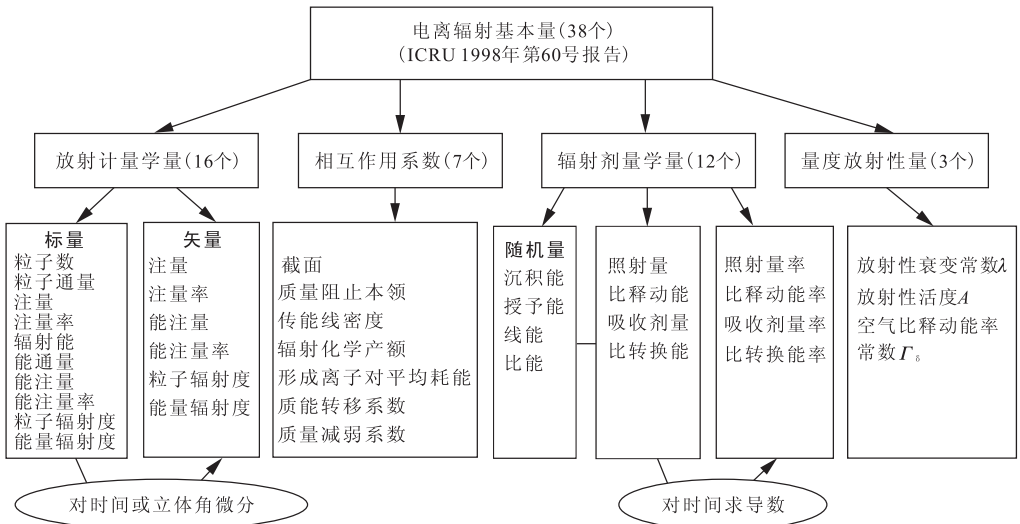


图 1 电离辐射基本量的框架结构

Fig. 1 Framework of fundamental quantities for ionizing radiation

4 电离辐射防护剂量学量的梗概

电离辐射防护剂量学量与放射防护监测和评价等密切相关, 一直很受重视。且 ICRU 与 ICRP 日益注意互动协调, 加强放射防护领域有关量的相容性。例如, 1996 年出版的《外照射放射防护中使用的换算系数》<sup>[8]</sup>, 即是两个委员会联合起草编撰的, 既是 ICRP 第 74 号出版物, 也是 ICRU 第 57

号报告。当 ICRU 更新其 33 号基本报告时, 首先发表了第 51 号报告(1993)专门用于取代 33 号报告相应的第 2 部分, 与当时 ICRP 第 60 号出版物(1991)关于放射防护方面的量与单位协调一致<sup>[9]</sup>。ICRP 第 103 号出版物(2007)提出的最新基本建议书延续了这个原则<sup>[10]</sup>。电离辐射防护剂量学量旨在用于为评估与防护体系的限值符合程

度而进行的测量和计算。

按照电离辐射防护剂量学量的特点,可区分为彼此区别又相互联系的两类:用于放射防护测量与计算的量和基于平均值并用于限制目的的量<sup>[6]</sup>。该框架结构如图2所示。

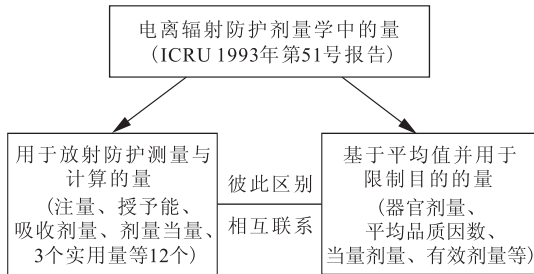


图2 电离辐射防护剂量学量的框架结构

Fig. 2 Framework of quantities in radiation protection dosimetry

### 1) 用于放射防护测量与计算的量

ICRU第51号报告定义用于放射防护测量与计算的量有12个,即注量、授予能、传能线密度(LET)、线能、吸收剂量、吸收剂量率、吸收剂量按传能线密度的分布(distribution of absorbed dose in linear energy transfer,  $D_L$ )、剂量当量(dose equivalent)、剂量当量率(dose equivalent rate)、周围剂量当量(ambient dose equivalent)、定向剂量当量(directional dose equivalent)、个人剂量当量(personal dose equivalent)<sup>[6]</sup>。其中,注量、授予能、传能线密度、线能、吸收剂量、吸收剂量率等已纳入电离辐射基本量体系中。各量的具体定义以及测量可参见ICRU第33、39、43、47、51号报告。

吸收剂量作为最基本的剂量学量,还可定义其按传能线密度(LET)的分布,即:

$$D_L = dD/dL$$

式中: $dD$ 为传能线密度在 $L$ 到 $L+dL$ 之间的初级带电粒子造成的吸收剂量; $D_L$ 的单位为 $m/kg$ 。

实际上,吸收剂量按线能的分布 $D_Y$ 比 $D_L$ 更易测量。

剂量当量 $H$ 是组织中某点处的辐射品质因数 $Q$ 和吸收剂量 $D$ 的乘积,即:

$$H = QD$$

剂量当量的单位还是吸收剂量的量纲:焦

耳每千克( $J/kg$ ),专用名称为希沃特(Sievert, Sv)。但剂量当量是为常规放射防护应用而定义的,不应当用于诸如放射事故等高水平照射情况下的评估。

必须注意,剂量当量与当量剂量有着本质区别。剂量当量是与受照射组织中某一点处的吸收剂量相关联,进行了所受照射的电离辐射类型的品质因子修正,从而可在相同尺度上对不同类型电离辐射所引起的辐射效应统一比较;它是可测量的。而当量剂量却是与器官或组织中的平均吸收剂量相关联,进行了辐射权重因子 $W_R$ 的加权修正,用于对照放射防护标准要求进行比较评价;它是不可测量的。

值得指出的是,为了场所监测和个人监测的实际需要,ICRU历经演进已明确定义了外照射的3个运行实用量(operational quantities),并与ICRP达成共识,即周围剂量当量、定向剂量当量、个人剂量当量。这3个外照射实用量是可测量的,通过可测实用量建立起与另外一类由放射防护标准规定的限制量的联系<sup>[6]</sup>。

### 2) 基于平均值并用于限制目的的量

确定与放射防护有关的辐射量,一般包含较大的不确定度。在放射防护实践中,通常采用一些量的平均值(即把该量在不同点处的变化均衡化为平均值)就足矣。当然这往往有些附加简化条件,但对放射防护是可接受的。

例如:吸收剂量的严格定义是点量,而在通常放射防护评价中,一般基于平均值就足矣。这方面最基本的是器官平均吸收剂量(mean absorbed dose in an organ) $D_T$ 。在指定器官或组织 $T$ 中的平均吸收剂量,等于授予器官或组织 $T$ 的授予能 $\epsilon_T$ 和器官或组织的质量 $m_T$ 之比,即 $D_T = \epsilon_T/m_T$ 。当然,对某一大块器官或组织求平均值应采用积分来完成,即:

$$D_T = (m_T)^{-1} \int m_T D dm$$

吸收剂量的SI单位是焦耳每千克( $J/kg$ ),其专用名称戈瑞(Gy)。戈瑞与已淘汰的旧专用单位“拉德(rad)”之间的换算关系为:1 Gy=100 rad。对于某指定组织或器官 $T$ 中的平均吸收剂量,通常也就直接简化称之为器官剂量(organ dose)。

表征辐射品质的因数也引入平均概念。在某组织或器官 $T$ 中的平均辐射品质因数 $Q_T$ 由

下式给出:

$$Q_T = (m_T D_T)^{-1} \int m_T Q D dm$$

式中: $D_T$ 为该组织或器官 T 的平均吸收剂量; $m_T$ 为该组织或器官 T 的质量; $Q$ 和  $D$  分别为在质量元  $dm$  中的品质因数和吸收剂量<sup>[6]</sup>。

用于限制目的的量,主要用于放射防护评价。在这方面,ICRU 与 ICRP 协调一致<sup>[11]</sup>。ICRU 于 1993 年发表的第 51 号报告回顾了 ICRP 自第 26 号出版物(1977)所建立的一套限量(剂量当量和有效剂量当量等),再发展到第 60 号出版物(1991)的更新演进,确认采纳 ICRP 第 60 号出版物新采用的放射防护中使用的量,诸如放射防护评价中最常用的器官当量剂量  $H_T$  和全身有效剂量  $E$  等<sup>[9]</sup>。

当量剂量和有效剂量是基于平均值且用于放射防护限制目的的最主要防护量,常用于对照放射防护标准要求进行比较评价。用于限制目的的这些防护量,与可直接监测的周围剂量当量、定向剂量当量、个人剂量当量等运行实用量不同,不可直接测量,需借助于无量纲的辐射权重因子  $W_R$  和组织权重因子  $W_T$ ,且按照 ICRP 现行有效的建议书所推荐的方法进行具体计算<sup>[11]</sup>。目前,ICRP 最新的放射防护基本建议书是 2007 年底出版的第 103 号出版物<sup>[10]</sup>。

总之,无论通过直接过程还是间接过程导致物质电离的各种带电或非带电的电离辐射,其所形成的各种电离辐射场均具有时间和空间的相关性。在各种电离辐射场中发生各种电离辐射的能量传输转移以及沉积吸收,从而产生各种直接呈现或潜在影响的效应,则必然要与发生时间、空间位置、电离辐射类型、能量分布、粒子运动方向、介质性质等诸多因素密切相关。因此,描述和计量各种电离辐射的物理量必须涵盖许多方面内容,这就使得电离辐射量形成一较为庞大的体系(图 1 和图 2)。而由 ICRU 经与 ICRP 协调一致所建立的电离辐射量体系,随着科技发展一直经历着不断的演变进化,准确掌握这些新进展对原子能科学技术及其广泛应用是非常必要又十分重要的。

#### 参考文献:

[1] STABIN M G. Radiation protection and dosime-

try[M]. New York: Springer, 2007: 169-222.

- [2] ICRU. ICRU Report 33: Radiation quantities and units [M]. Oxford: Oxford University Press, 1980. (辐射量和单位[M]. 高钧成,译. 北京:计量出版社,1982;V-XI,1-43.)
- [3] 郑钧正. 医用 X 射线的防护[M]. 北京:人民卫生出版社,1980:14-29.
- [4] ISO. ISO standards handbook: Quantities and units[M]. 3rd ed. Geneva: ISO, 1993.
- [5] 果行. 若干辐射量和单位的沿革[M]//ICRU 第 19、25 号报告中译文译本:辐射量和单位. 北京:原子能出版社,1979:74-83.
- [6] ICRU. ICRU Report 51: Quantities and units in radiation protection dosimetry [M]. Oxford: Oxford University Press, 1993: 1-14.
- [7] ICRU. ICRU Report 60: Fundamental quantities and units for ionizing radiation [M]. Oxford: Oxford University Press, 1998: 1-19.
- [8] ICRP. ICRP Publication 74: Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation[M]// Annals of the ICRP 26 (3-4). Oxford: Pergamon Press, 1996. (ICRP 第 74 号出版物:外照射放射防护中使用的换算系数[M]. 陈丽珠,柴政文,译. 北京:原子能出版社,1998:1-154.)
- [9] ICRP. ICRP Publication 60: 1990 recommendations of the international commission on radiological protection[M]// Annals of the ICRP 21 (1-3). Oxford: Pergamon Press, 1991. (ICRP 第 60 号出版物:国际放射防护委员会 1990 年建议书[M]. 李德平,等译. 北京:原子能出版社,1993:6-15,104-117.)
- [10] ICRP. ICRP Publication 103: The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection[M]// Annals of the ICRP 37(2-4). Oxford: Pergamon Press, 2007. (ICRP 第 103 号出版物:国际放射防护委员会 2007 年建议书. 潘自强,等译. 北京:原子能出版社,2008:11-29,58-79,273-355.)
- [11] 郑钧正,李君利. ICRP 放射防护基本建议书的演进及其启示[J]. 辐射防护通讯,2008,28(6): 1-8.
- ZHENG Junzheng, LI Junli. Evolvement and enlightenment for the recommendations of radiological protection by ICRP[J]. Radiation Protection Bulletin, 2008, 28(6): 1-8(in Chinese).