



国际单位制

专辑之三



国际单位制推行委员会办公室编

1980

封面设计：何 欣

国际单位制专辑之三

国际单位制推行委员会办公室编



计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

计量出版社发行



开本 787×1092 1/16 印张 5 3/4

字数 143千字 印数 1—10,000

1980年10月第一版 1980年10月第一次印刷

统一书号 15210·67

定价 0.70元



说 明

《计量技术》编辑部曾在1979年和我室编辑出版了国际单位制专辑共两期，现国际单位制（专辑之三）改由计量出版社出版、内部发行。

本辑中介绍了第16届（1979年10月）国际计量大会的情况；对SI导出单位的国内外不同命名原则；光强度单位的沿革及新的发展；电离辐射量单位中的一些专门问题。本辑还摘要转载了传统英制国家采用SI的文章。由任平、何方两同志编译的常用科技单位小词典，可供科技工作者查阅。

对本期专辑的意见，请寄北京和平里11区7号我室，以便改进今后的工作。

国际单位制推行委员会办公室

1980年10月

~~126/35.3~~ TB91/5.3

目 录

推行国际单位制的新进展.....	(1)
SI导出单位的法、英、德、日及中文名称的组成.....	(3)
简谈光强度单位—烛光与坎德拉.....	(5)
电离辐射量及其单位.....	(8)
我们什么时候才能使用米制度量衡.....	(16)
常用科技单位小词典.....	(21)

推行国际单位制的新进展

在1979年10月召开的第十六届国际计量大会上，国际计量委员会单位咨询委员会向大会提出了推行国际单位制进展情况的报告，其中提到，从1975年以来，许多原实行米制的国家在计量立法中采用了国际单位制（SI）；大多数国际科技组织都建议采用国际单位制；正在进行米制转换的国家（由英制向米制转换）也已采用了国际单位制。

1975年以来，又有二十五个国家和国际组织决定采用国际单位制。这些国家和组织是：比利时、巴西、德意志民主共和国、保加利亚、丹麦、法国、匈牙利、印度、印度尼西亚、波兰、罗马尼亚、瑞士、捷克、苏联、南斯拉夫、泰国、伊拉克、荷兰、奥地利、德意志联邦共和国，以及欧洲共同体、国际法制计量组织、国际临床化学联合会、世界卫生组织、国际无线电科学协会等。到目前为止，据不完全统计，世界上宣布采用国际单位制的国家已达七十多个，建议使用国际单位制的各种国际性组织也有二十多个。

国际单位制在世界范围内的推行速度是相当快的，预计将在八十年代末期实现通用化；向米制的转换（也叫米制化，即指由英制直接向国际单位制过渡，因国际单位制是米制的现代化）约到1985年可告结束。

国际计量局对搜集到的四十一个国家和地区推行国际单位制的具体进展情况进行了分析。结果认为，这一工作在各大洲，以及各个国家和组织内取得的成绩，是令人满意的。这些国家和地区在各大洲的分布情况是：欧洲四个——爱尔兰、直布罗陀、马耳他、英国；非洲十四个——博茨瓦纳、南非、刚比亚、加纳、肯尼亚、利比里亚、毛里求斯、尼日利亚、乌干达、塞拉里昂、斯威士兰、坦桑尼亚、赞比亚、津巴布韦-罗得西亚；美洲八个——巴巴德、贝利塞、贝尔穆德斯、加拿大、美国、牙买加、特里尼达和多巴哥；亚洲、澳洲、大洋洲十五个——澳大利亚、孟加拉、中国、塞普路斯、斐济、香港、马来西亚、瑙鲁、新西兰、巴基斯坦、巴布亚-新几内亚、萨洛蒙岛、新加坡、斯里兰卡、通加。

原来采用英制的国家或英制、米制并用的国家，几乎全部都提出向国际单位制过渡（即所谓米制的转换）。

英国从1965年开始的自愿米制转换，在国民经济部门特别是工业部门取得了一定成就。工业材料、机械工业、建筑和农业、园艺等方面的转换正处于完成阶段，只有在维修老设备所需的零件制造上仍使用英制单位。在教育中国际单位制占优势，有一千七百万年轻人受到有关的教育，在教学、考试时已正式使用。邮电、船舶、海关、卫生检查以及军械检修方面也都采用了SI。食品的制造、包装、进口、零售均要采用规定的SI单位，1980年百分之九十的零售食品包装将按SI规定出售。但有关直接涉及公众关系的业务，如在对消费者当面进行称量或计量出售的交易中，以及在限制汽车速度的路标等方面没有任何进展。英国于1978年4月开始执行计量单位条例。其管理条例同欧洲共同体关于在成员国中采用国际单位制的命令相一致，规定废除很多英制单位，如：链、浪、海里、打兰、磅、英寸、吨力、节等。

加拿大在米制委员会下设立了十二个筹划指导委员会，转换分四个阶段进行：第一阶段

为调查研究阶段，于1975年结束。第二阶段为制定计划阶段，已完成百分之九十（总数为一百零一项）。第三阶段为立法阶段，也是协调时期，以保证用最低的费用获得转换的益处，也已完成百分之八十五。第四个阶段即结束阶段，已完成百分之四十。政府努力参与转换工作，并提供财政援助，减少或免除捐税，以便支持采购计量仪器。最近在航运信息中，以及在公路里程表、汽车速度表上都使用了SI。汽车零件的百分之五十、加油站的百分之八十实际完成了转换。百分之七十的大、中学校教学采用SI。从1979年7月起至1981年，准备采取两项改革，一是对食品零售商用秤进行转换，二是对电价目进行转换。这是由英制转换为国际单位制的重大步骤。

美国1975年12月签署米制转换法以后，取得的成绩有限。在全国米制委员会下建立了五个协调委员会，在各经济部门又分成四十个部门委员会。目前在汽车、大型活动设备、电器、电子等工业中进行的转换，进展顺利。学校开展了SI计量教育，有二十二个教育咨询机构通过了相应的决议。政府还在1978年成立“米制政策委员会”和由各州派人参加的“米制工作委员会”。鉴于军事、经济、技术和安全的考虑，在国防部的工作中规定一律采用SI计量。内务部各机构、海运局、火器局和烟酒等方面，将在1980年进行转换。气象已开始用SI单位预报。转换是自愿的，因而有的改革遭到反对，不得不推延，如原定从1980年起把汽车速度显示和路标改成SI的决定，暂时执行不通。在美国完全过渡到SI计量，还是一个较长期的任务。

香港1978年成立的“度量衡十进制委员会”提出了五年过渡的计划。现在高等学校都使用国际单位制，小学仍使用米制、英制和汉制（市制）教学。气象通报中的温度只用摄氏度（不用华氏度）发表。工业部门的过渡问题，因其与对各国的进出口贸易有关，将视各国的发展趋势而定。

亚、非、拉的发展中国家，都在积极进行由英制向国际单位制转换的过程。

在原来实行米制的国家和组织中，推行国际单位制的速度比原实行英制的国家一般要快得多。不仅有计量立法，而且大多制定出具体的过渡期限。如欧洲经济共同体为了使各成员国立法接近，明确规定出各项法制计量的单位，还定出在1985年期限内放弃非米制单位，在1989年期限内放弃一切非国际单位制。西德的进展最快，1978年基本完成过渡，甚至连主要的计量基准、标准器都进行了改制。

经互会组织在1978年以国际单位制为依据统一物理量单位，制订了1052—78标准。这个标准涉及到科学技术和国民经济的各个领域，规定了必须采用的以及允许使用到1980年1月1日的单位；同时指出此标准不适用于自然科学领域中具有理论性的科学研究和科学出版物中所用的单位，也不适用于根据协议标估算的单位（如硬度标）。苏联国家标准委员会于1976年4月通过决议，决定从1980年起采用经互会1052—78标准。

可以预料，在全世界普遍实现国际单位制，还要经过一段艰苦的努力，许多困难和障碍有待克服。国际计量局负责人曾指出：“在全世界有效地统一计量单位之日，将是人类的重要时刻之一”。在等待了两个世纪以后，在全世界的范围内，以国际单位制为基础统一单位制的这一愿望，现在实际上已经快要实现了。它对世界物质、文化的发展起积极的促进作用。

SI导出单位的法、英、德、日 及中文名称的组成

任 平

SI导出单位的名称,有一部分已确定为专门名称及专门代号,如N(牛顿)、Pa(帕斯卡)、V(伏特)、S(西门子)等等。这一部分单位在各种文字中,均不存在什么问题,也没有什么变化。但是,对于那些没有专门名称的导出单位,在不同的语文中,处理的形式就不完全相同,也不存在一个共同的规律。SI的原始文件是法文的,其它文字是从法文译出的,但存在着不同的译法。本文就以下四个方面的问题,谈谈SI导出单位的法文、英文、德文、日文以及中文方案征求意见稿的不同命名方式,供读者研究:

1. 单位的二次、三次以及三次以上幂的命名;
2. 单位倒数的名称;
3. 单位中分母的名称;
4. 相乘单位的名称。

1. 单位的二次、三次以及三次以上幂的命名

长度单位的二次幂、三次幂,可能是面积和体积的量,但也可能不是。不管是不是,它们的国际代号都是一样的,但名称则不同。对于那些不是长度的单位,如kg(千克)、s(秒)等也往往有幂的形式出现在单位之中。自然,它们绝不可能是面积或体积。这样一些单位的幂的名称和那些表示面积的 m^2 (米²)和表示体积的 m^3 (米³)的名称,也是有区别的。这个区别存在于英文、日文和中文之中;法文与德文是不加区别的(德文不完全如此)。

在法文中,面积量使用“...carre'(e)”,非面积量也使用“...carrè(e)”;

在德文中,面积量使用“Quadrat...”,非面积量也使用“Quadrat...”[但有例外,有人使用“...hoch zwei”(二次方之意)]。

英文的不同名称是:面积量用“square...”,非面积量用“...squared”;

日文的不同名称是:面积量用“平方...”,非面积量用“...二乘”;

中文的名称方案是:面积量用“平方...”,非面积量用“...平方”。

三次幂:

法文对体积量用“...Cube”,非体积量也用“...Cube”,是相同的;

德文对体积量用“Kubik...”,非体积量也是“Kubik...”,但有例外,有人用“...hoch drei”;

英文对体积量用“Cubic...”,非体积量用“...cubed”;

日文对体积量用“立方...”,非体积量用“...3乘”;

中文的名称方案:体积量用“立方...”,非体积量用“...立方”。

多次幂:

法文对四次幂有两种说法:“...bicarré(e)”及“...à la puissance qua re”,对五

次幂的说法为, “...à la cinquième puissance”;

德文对四次、五次幂分别称为: “... hoch vier及... hoch fünf”;

英文对四次、五次幂分别称为: “... to the fourth, ... to the fifth”;

日文则分别为 “...4乗”, “...5乗”;

中文方案分别为 “...四次方”, “...五次方”。

2. 倒数的名称

以单位的倒数作为单位时, 有些国家还有不同的名称。

法文有两种表示方法: “par ...” 及 “... inverse”, 在法国标准FD X02-002中还使用 “l'inverse du centimètre” 及 “la seconde à la puissance moins un” 这样的名称。但是用法文出版的ISO标准一般都用 “l par ...” (例如: m^{-1} 名称为 par mètre, s^{-1} 名称为 1 par seconde), 但也偶有例外地用 “... inverse” (例如: H^{-1} 称为 henry inverse)。

英文只有一种表示方法, 即 “reciprocal ...” (例如: m^{-1} 称为 reciprocal metre, H^{-1} 称为 reciprocal henry; 但也有称为 henry to the power minus one 的)。“reciprocal” 一词可以重复使用, 例如样品的比放射性活度 $s^{-1} \cdot kg^{-1}$, 称为 1 reciprocal second reciprocal kilogramme。

德文用 “reziproke (-r, -s) ...” 表示, 但标准中多采用 “Eins je...” [例如: m^{-1} 称为 Eins je Meter, s^{-1} 称为 Eins je Sekunde, $1/kg$ 称为 Eins je Kilogramm mal Sekunde (即 Bg/kg)]。

日文只有一种形式, 即 “每...” (例如: $^{\circ}C^{-1}$ 称为 每度, K^{-1} 称为 毎ケルビン, H^{-1} 称为 毎ヘンリー)。

中文方案的一种形式为 “每...”。

3. 名称中分母表示

法文、英文与中文名称方案中, 分母的表示都只有一种形式, 分别是: “... par ...”、“... per ...” 与 “...每...”。而且, 无论分母中有几个单位相乘, 这些字都只出现一次。

德文名称中, 对除的表示, 德国单位委员会 (Ausschuss für Einheiten und Formelgrößen im Deutschen Normenausschuss) 建议只用 “... durch ...” (“除以” 的含义, 主习惯用于数学领域), 而不得用 “... je ...” (“每” 的含义)。但是, 目前在德国的标准中要至最近仍广泛使用 “... je ...”。在德文中还有另一种表示法, 即 “... pro ...”, 不过近代已无人再用。

日文中对分母用 “... 每 ...”, 但是, 当分母中有几个单位相乘时, 每一个单位前面都得有 “...每...”。(例如 $A \cdot m^2 / (J \cdot s)$ 称为 アンペア 平方メートル毎ジュール毎秒, $MW \cdot d/kg$ 称为 メガワット日毎キログラム, m/s^2 称为 メートル毎秒毎秒 (这是一个例外, 不能用 “每秒2乘”), $N \cdot m^2/kg^2$ 名称为 ニュートン平方メートル毎キログラム2乗)。

4. 单位相乘的表示

法文、英文以及中文名称方案中, 相乘的单位间一律不加任何词, 例如:

英文: J/kgK 名称为 joule per kilogram kelvin, $m^2 \cdot K/W$ 名称为 square metre kelvin per watt, $A \cdot m^2 / (J \cdot s)$ 名称为 ampere square metre per joule seconde;

法文: $W/(m \cdot K)$ 称为 watt par mètre-kelvin, $N \cdot m$ 称为 mètre-newton。

至于日文, 相乘的单位如在分子上, 单位间不加任何词; 在分母中时, 则每个单位前均

应有“每”(见本文第3节)。

在德文中则比较复杂。有两种情况,一是当相乘的单位可以合并成为一个词时,在它们中间不加任何词,例如:

$N \cdot m \cdot s / rad$ 称为:Newtonmetersekunde je Radian; $S \cdot m^2 / mol$ 称为Siemensquadratmeter je Mol, $m^2 / N \cdot s$ 称为Quadratmeter je Newtonsekunde.

但是如果不能成为一个复合词,则必须在相乘的单位间加“... mal ...”一词,例如:

$mbar \cdot s / cm^3$ 称为Millibar mal Sekunde je Zentimeter hoch 3, $W / m \cdot K$ 称为Watt je Meter mal Kelvin, $kg / m^2 \cdot s$ 称为Kilogramm je Quadratmeter mal Sekunde.

简谈光强度单位—烛光与坎德拉

杜荷聪 吴辛甲

光强度(发光强度)单位是国际单位制中七个基本单位之一,也是光度领域的基本量。其他光度量如光通量、光亮度、光照度等单位,都要由它导出。

1979年10月召开的第十六届国际计量大会,通过了光强度单位坎德拉的新定义“坎德拉为一光源在给定方向的光强度,该光源发出频率为 540×10^{12} 赫兹的单色辐射,其辐射强度沿此方向是1/683瓦特/球面度”。

光强度的物理意义是:光源发出的、包含给定方向的立体角元内传播的光通量与该立体角元之商。

为了使大家对光强度单位有一个正确的理解,下面对历史上曾用过的名称烛光、国际烛光、新烛光、坎德拉的定义及其演变过程作一简单介绍。

历史上,光强度旧单位的英文名称是candle(德文名称kerze、俄文名称Свела),是烛的意思,各国均译作烛,我国过去译为烛光(旧烛光)。1860年在英国伦敦煤气条例上,第一次对烛光作了法律规定。1881年国际电工技术委员会又将烛光批准为国际标准,定义为:把1磅鲸脑油制成六支鲸脑烛。以每小时120格令的速度燃烧时在水平方向上的光强度。这种规定不仅与灯芯规格有关,也与空气成份有关,这两个条件都会使火焰不稳定,而直接影响光强度的量值。

1877年英、美使用了戊烷为燃料的维尔能——哈考脱灯(Harcourt); 1884年德、俄及其他国家使用纯乙酸戊酯为燃料的亥夫纳(Hefner)灯,称为光强度的绝对单位(Heferkerze)简写为HK; 在法国使用每小时燃烧42克特定植物油的卡索灯。这些以火焰作为标准的方法,都受外界条件的影响,复现性很差。

1909年把保存在美国标准局的一组45个碳丝白炽电灯的光强度的平均值,称为1国际烛光(International candle),符号为C。美、法也以碳丝电灯作为标准,与国际烛光一致。但德国继续使用亥夫纳烛光单位,光强度约为0.9国际烛光($1HK \approx 0.9$ 国际烛光)。法国旧的光强度单位卡索等于9.4~10国际烛光。另一种法国十进烛光等于0.104卡索。美国用的烛光比国际烛光大1.6%。

新烛光是1946年国际计量委员会会议提出,在1948年第九届国际计量大会上正式通过

的。新烛光的定义为：全辐射体在铂凝固温度下的亮度为60新烛光每平方厘米。并通过给予“新烛光”一个新名称：坎德拉 (candela)，符号为(cd)。用铂凝固点温度下的黑体的亮度作基准的新烛光定义原理，是1884年维澳利首先提出的。单位的使用是1909年韦德纳建议的，1930年在美国建成。到1948年才采纳为国际标准。在考虑新烛光规定为厘米、克、秒(C、G、S)制单位时，有意地选用数字60(实测数据为58.9国际烛光/厘米²)，这样就使新烛光的发光强度比被取代的国际烛光的光强度小。1旧烛光 = 1.005 新烛光(注：candle应译为旧烛光，candela译为新烛光)。英国在1948年、美国在1950年使用新烛光(坎德拉)作光强度单位。

1960年在第十一届国际计量大会上，把坎德拉规定为国际单位制基本单位之一。因新烛光(坎德拉)原定义欠严密，1967~1968年第十三届国际计量大会将定义修改为：“坎德拉是在10¹³25帕斯卡(牛顿每平方米)压力下，处于铂凝固温度的黑体的1/600000平方米表面的垂直方向上的光强度。”

已建立起这项基准的国家有美、英、法、日、苏、加拿大、西德和东德；我国于1971年建立铂凝固点黑体光度基准。复现实验方法是先将铂凝固点温度时的黑体的光强度过渡到比较灯上，然后再将比较灯的光强度值过渡到光强度付基准灯组以及工作基准灯组上，作为保存和传递量值之用。我国复现光强度单位的不准确度为 $\pm 0.33\%$ 。建立了2045K光强度付基准灯组，不准确度为 $\pm 0.35\%$ ；2356K光强度付基准灯组，不准确度为 $\pm 0.4\%$ ；2859K工作基准灯组，不准确度为 $\pm 0.6\%$ 。1974年经国家鉴定，认为我国建立的光强度基准已达到国际水平。

坎德拉的定义实行了三十多年，出现了一些重大问题。

1. 国际比对一致性差。从1948年起到1969年进行了六次光强度单位的国际比对，发现分散性较大，各国实验室的2042K光强度单位相差1.8%，结果不能令人满意，改进的希望也不大。

2. 实现坎德拉的实验技术困难。制造基准器要求有很纯的铂，并在多次熔凝的过程中要 不受到沾污(保持在氧化钨坩锅内仍然很纯)。观察管(钨管)的黑度只能是普朗克(planck)辐射体的一个近似值，黑体的温度分布不可能完全均匀。还要测量全反射棱镜和透镜的透射比，以及要考虑光衍射，空气、蒸气的光吸收等等因素。这个工作只在少数几个国家的实验室进行过，而且很少进行重新复现的实验工作。

3. 由于现代光源的发展，对一些光源不仅要求测量它的传统的光度量，而且要测量它的辐射量和它的光谱特性、显色指数等，因此，迫切要求辐射度学和光度学这两种单位，能够通过严格的计算公式，由辐射度单位转换为光度单位。

近年来，辐射功率的测量有很大的发展，在许多实验室利用绝对辐射计来测量红外、紫外辐射(把光能转换成热能，再测量其电能)，也通常用来测量可见光，达到的准确度与用光度测量方法达到的准确度不相上下。因此，废除原来坎德拉的定义，改由辐射功率单位来定义坎德拉的时机已到来。

第十六届国际计量大会正式通过的光强度单位坎德拉的新定义主要有两个优点：

1. 因新定义没有对单位的复现方法作出限制，人们可以有更多的选择余地。比如用接收器(绝对辐射计)为辐射度标，或以黑体辐射源为基础的辐射标，求出光源所发出的辐射功率，乘以光谱光效率(视见函数) $V(\lambda)$ 值，就可计算出光度量。

2. 明确了光度量与辐射度量之间的关系。按数学方式, 光度单位可由辐射度单位导出, 其公式如下:

$$I = K_m \int I_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

涉及到的几个参数:

I ——光强度 (坎德拉);

$I_{e\lambda}$ ——光谱辐射强度 (瓦特/纳米·球面度);

K_m ——最大光谱光效能 (683流明/瓦特), 是对人眼最灵敏的波长 555 纳米(nm)的光效率, 亦称最大光谱光效率, 单位是流明/瓦特 (lm/W), 现在规定其值为 683 流明/瓦特。 K_m 值是联系光度学与辐射度学量的一个重要常数;

$V(\lambda)$ ——光谱光效率, 亦称视见函数, 是由国际照明委员会 (CIE) 规定出的一个平均值, 称为“国际平均眼”的相对光谱灵敏度。这个值是 1924 年由美国集中 200 个人的测量结果得出的, 并由国际照明委员会推荐, 国际计量委员会于 1933 年采纳的。

在按照光强度单位坎德拉的新定义建立新的光度基准时, 主要有绝对辐射计和黑体辐射源两种不同的方法。用绝对辐射计法比用黑体辐射源法测量的精度高, 操作也比较简易。澳大利亚国家测量实验室 (NML) 已用绝对辐射计法建立新的光强度基准。中国计量科学研究院、分院光学室在 1970 年就着手绝对测量装置的研制, 现已制造出平面型和空腔型两种补偿接收器。它对各种波长几乎毫无选择性, 只要在其前面加上特制 $V(\lambda)$ 的滤光器, 使光谱灵敏度与国际平均眼光谱光效率一致, 则对任一光源, 当用绝对辐射计测出辐射量值以后, 就可计算出光度量。用我国自己研制的绝对辐射计于 1977 年测量 K_m 值, 其结果为 684 流明/瓦特, 与国际规定值 683 流明/瓦特相差很小。将在不久按光强度坎德拉的新定义, 建立起新的光度基准。

关于把光强度单位坎德拉 (cd) 定作光度量的主基准, 并作为国际单位制的七个基本单位之一。近年来有的人认为, 在目视测量法居统治地位时期诞生的光强度定义及相应的光度基准, 已不能适应由物理接收器和光谱辐射测量技术占支配地位的现代光度学的需要了, 光度学基本单位应重新规定, 主张用光通量单位流明 (lumen) 来代替光强度单位坎德拉 (candela), 即设想不再用光强度作为基本量和光强度单位坎德拉作为基本单位。将流明定义为“在频率为 540×10^{12} 赫兹下, 辐射通量是 1/683 瓦特的单色辐射通量”。国际计量委员会所属的单位咨询委员会曾讨论过光度、辐射度测量咨询委员会和国际照明委员会提出的建议, 未予采纳 (1980 年 5 月国际计量委员会单位咨询委员会又作了进一步探讨)。为了在全世界更有利于推行国际单位制, 决定不改动光度学的基本量和基本单位——光强度单位坎德拉 (国际单位制的七个基本单位在选定后, 不能随意改变, 以免给推行工作带来不便)。然而, 由于测量技术的进展, 用绝对辐射计测量的坎德拉在和复现方式上具有突出的优点, 所以, 在 1979 年第十六届国际计量大会上光强度单位坎德拉通过了新的定义。现在有些国家正努力按坎德拉新定义建立新的光度基准。

电离辐射量及其单位

刘远迈 杨文霞

一、前言

电离辐射计量起源于X射线的发现,并随着X射线在医学中的应用而逐渐发展起来。核科学技术的进一步发展,使这门学科的内容更为充实和丰富。

电离辐射量及其单位是电离辐射计量的基础。随着社会生产和科学技术的发展,特别是在放射治疗、辐射防护、放射生物学和辐射物理等方面用到的量和单位在不断增加,其概念和定义也在不断完善。因此,为使电离辐射计量更好地为国家建设和科学技术服务,避免因计量混乱而造成差错,需要正确理解和运用电离辐射量及其单位。

根据“我国的基本计量制度是米制,逐步采用国际单位制”的规定,原来不属于国际单位制(SI)的那些专用单位,也要逐步用SI的导出单位来代替。本文在介绍电离辐射量和单位时,重点介绍电离辐射量的SI单位,并介绍国际上由老单位向SI单位过渡的情况,也对我国的过渡方法提出了几点设想。

二、电离辐射量的SI单位

1. 电离辐射领域内物理量的SI单位

电离辐射领域中的SI单位是SI导出单位,即通过系数为1的单位定义方程式,由SI基本单位和辅助单位表示的单位。常用的电离辐射SI导出单位列于表1,表中未出的其它电离辐射量也可按上述原则构成。

表2中列出了可以与SI单位^[1]暂时并用的电离辐射专用单位,但应注意尽量不要将它们同SI单位构成组合单位。需要指出的是,“专用单位”不是SI单位,而是由于历史上的原因,以当时通用制度的单位乘以某一特定的系数而导出的单位。因此,“专用单位”与SI单位的“专门名称”是两个含意不同的词,不可混淆。后者本身就是SI单位,只是为了使用方便,在其所适用的领域内赋予专门的名称而已。而“专用单位”是暂时允许与SI单位并用的,以后还要废除,逐步过渡到使用SI单位专门名称。

2. 国际计量大会对电离辐射量采用SI单位的几项决议

为了使用方便,避免和减少差错,在推行SI的过程中,国际计量大会(CGPM)分别于1975和1979年讨论并通过决议,给予几个电离辐射量以专门名称。现将这几项决议分别列在下面。

(1) 1975年5月27日第十五届国际计量大会关于电离辐射领域用单位的决议:

决 议 8

第十五届计量大会:

由于国际辐射单位和测量委员会(ICRU)关于在放射性研究 and 应用中使用SI的迫切需要,为了使不懂专业的人能更容易地使用这些单位,也考虑到在医疗工作中出现误差的危险性,据此对活度的SI单位采用一专门名称:贝可勒尔¹⁾(Becquerel),符号Bq,等于秒的倒数。

表 1. 电离辐射量的 SI 单位

量的名称 (英文名称)	单位名称 (专门名称)	单位代号		备 注
		国际代号	中文代号	
授 能 (energy imparted)	焦 耳	J	焦	
比授能 (specific energy imparted)	焦耳每千克 (戈瑞)	J/kg (Gy)	焦/千克 (戈)	1Gy = 1J/kg
注 量 (fluence)	(粒子) 每 平 方 米	m^{-2}	米 $^{-2}$	
注量率 (fluence rate)	(粒子) 每 平 方 米 秒	$m^{-2} \cdot s^{-1}$	米 $^{-2} \cdot$ 秒 $^{-1}$	也称通量密度 (flux density)
能注量 (energy fluence)	焦耳每平方米	J/m 2	焦/米 2	
能注量率 (energy fluence rate)	焦 耳 每 平 方 米 秒	J/m $^2 \cdot s$	焦/米 $^2 \cdot$ 秒	也称能通量密度 (energy flux density)
吸收剂量 (absorbed dose)	焦耳每千克 (戈瑞)	J/kg (Gy)	焦/千克 (戈)	1Gy = 1J/kg
吸收剂量率 (absorbed dose rate)	焦耳每千克秒 (戈瑞每秒)	J/kg $\cdot s$ (Gy/s)	焦/千克 $\cdot$ 秒 (戈/秒)	
比释动能 (kerma)	焦耳每千克 (戈瑞)	J/kg (Gy)	焦/千克 (戈)	1Gy = 1J/kg
比释动能率 (kerma rate)	焦耳每千克秒 (戈瑞每秒)	J/kg $\cdot s$ (Gy/s)	焦/千克 $\cdot$ 秒 (戈/秒)	
照 射 量 (exposure)	库仑每千克	C/kg	库/千克	
照射量率 (exposure rate)	库仑每千克秒	C/kg $\cdot s$	库/千克 $\cdot$ 秒	
质量衰减系数 (mass attenuation coefficient)	平方米每千克	m 2 /kg	米 2 /千克	
质能转移系数 (mass energy transfer coefficient)	平方米每千克	m 2 /kg	米 2 /千克	
质能吸收系数 (mass energy absorption coefficient)	平方米每千克	m 2 /kg	米 2 /千克	
总质量阻止本领 (total mass stopping power)	焦耳平方 米每千克	J $\cdot m^2$ /kg	焦 $\cdot$ 米 2 /千克	
传能线密度 (linear energy transfer)	焦 耳 每 米	J/m	焦/米	或称狭义线碰撞阻止本领
线 能 量 (linear energy)	焦 耳 每 米	J/m	焦/米	
(放射性)活度 (activity)	每 秒 (贝可勒尔)	s $^{-1}$ (Bq)	秒 $^{-1}$ (贝可)	1Bq = 1S $^{-1}$
剂量当量 (dose equivalent)	焦耳每千克 (西弗特)	J/kg (Sv)	焦/千克 (西弗)	1Sv = 1J/kg

表2. 暂时与SI单位并用的电离辐射专用单位

量的名称	专 用 单 位			与 SI 单 位 的 关 系
	名 称	代 号		
		国际代号	中文代号	
(放射性)活度	居 里 ^{a)}	Ci	居	1Ci = 3.7 × 10 ¹⁰ Bq
照 射 量	伦 琴 ^{b)}	R	伦	1R = 2.58 × 10 ⁻⁴ C/kg
照 射 量 率	伦琴每秒	R/s	伦/秒	1R/s = 2.58 × 10 ⁻⁴ C/kg·s
吸 收 剂 量	拉 德 ^{c)}	rad	拉 德	1rad = 10 ⁻² J/kg = 10 ⁻² Gy
吸 收 剂 量 率	拉德每秒	rad/s	拉德/秒	1rad/s = 10 ⁻² J/kg·s = 10 ⁻² Gy/s
剂 量 当 量	雷 姆 ^{d)}	rem	雷 姆	1rem = 10 ⁻² J/kg = 10 ⁻² Sv

注: a) 居里是以首先发现镭的法国科学家P·居里(1859—1906)命名的。

b) 伦琴是以首先发现X射线的德国物理学家W·K·伦琴(1845—1923)的名字命名的。

c) 拉德(rad)取义于英文“辐射吸收剂量”(radiation absorbed dose)的三个单字的字头。

d) 雷姆(rem)是由英文“roentgen—equivalent man”各单字字头拼写而成。

决 议 9

第十五届计量大会:

由于国际辐射单位和测量委员会(ICRU)关于在放射性研究和应用中使用SI的紧迫需要,为了使不懂专业的人能更容易地使用这些单位,也考虑到在医疗工作中出现误差的危险,据此对电离辐射的SI单位采用一专门名称:戈瑞²⁾(Gray),符号Gy,等于焦耳每千克。

(2)1979年10月10日第十六届国际计量大会通过的D决议:

第十六届计量大会:

考虑到在电离辐射领域中努力采用SI单位;考虑到吸收剂量与剂量当量之间的混淆可能导致人、物遭受到估计不足的辐射的危险;考虑到增加专用名词对SI带来的危害应在所有计量范围内尽可能避免,但在关系到维护人体健康情况时可以违反这一规定。

决定采用专门名称西弗特³⁾(Sievert),符号Sv,作为SI单位中的辐射防护的剂量单位,西弗特等于焦耳每千克。

3. 国际单位制的优越性

1960年第十一届国际计量大会通过的国际单位制(SI),是在米制基础上发展起来的单位制。采用SI的优越性是,其构成原则比较科学、简单,在应用上可以避免由于多种单位制并用而引起的混乱和不必要的换算,有利于促进经济建设、国防建设,以及科研与文教卫生的发展。

注:贝可勒尔是以物理学家A·H·贝可勒尔(1852—1908)的名字命名的,他在1896年发现放射性,1903年和居里夫妇一起得到物理方面的诺贝尔奖金。

1)戈瑞是以英国辐射剂量学家L·H·戈瑞(1905—1965)的名字命名的,他是辐射剂量学中空腔电离理论的创始人之一。

2)西弗特是以瑞典物理学家R·西弗特(1891年—1966)的名字命名的,他是辐射防护的先驱者之一。

展, 贸易和技术的交流。

在电离辐射领域中用SI统一电离辐射量的单位具有同样的优越性, 而且大多数电离辐射量由现用老单位转换成SI单位并不复杂, 只要乘以十进位的倍数即可。例如, 只要将现用老单位拉德乘以 10^2 , 即可转换为SI单位戈瑞; 只要将现用老单位雷姆乘以 10^2 , 即可转换为SI单位西弗特。就放射性活度测量而言, 它的SI单位是1/秒(贝可勒尔), 很清楚地反映了核变化的实际情况, 比现用单位居里(等于每秒钟发生 3.7×10^{10} 次衰变)更直观, 更简明。此外, 对几个主要电离辐射量的SI单位都采用了专门名称, 例如, 吸收剂量的SI单位专门名称为戈瑞; 辐射防护用的剂量当量的SI单位专门名称为西弗特; 放射性活度测量的SI单位专门名称为贝可勒尔。这样, 使被测量的量便于记忆, 使用方便, 而且不易与其它量混淆。

4. 单位的换算关系

几个主要电离辐射量单位的换算关系列于表3。其中, 吸收剂量单位由拉德转换为戈瑞, 剂量当量由雷姆转换为西弗特, 都是十进位的整倍数关系, 比较简单, 不再详述。

放射性活度单位由居里转换为贝可勒尔, 虽更直观、更简明, 但居里和贝可勒尔在数值上相差较大。因此, 在换算中应根据精确度要求注意数据的取舍。例如, 在环境监测方面, 水中允许的放射性浓度一般取整数, 例如 5.4×10^{-9} 居里/升, 就取为 5.0×10^{-9} 居里/升; 但当换算为SI单位时, 5.4×10^{-9} 居里/升 ≈ 1998 贝可/升, 而 5.0×10^{-9} 居里/升 ≈ 1850 贝可/升, 即同一个水样采用SI单位时得到了两个不同的结果。因此在单位转换时必须注意原始数据的取舍, 取舍不当就会得到不同的结果。

表3. 几个常用电离辐射量单位的换算关系

现 用 的 专 用 单 位	SI 单 位
1居里(ci)	3.7×10^{10} 贝可勒尔(Bq)
约 2.703×10^{-11} 居里(ci)	1贝可勒尔(Bq)
1伦琴(R)	2.58×10^{-4} 库仑/千克(C/kg)
约 3.877×10^3 伦琴(R)	1库仑/千克(C/kg)
1拉德(rad)	10^{-2} 戈瑞(Gy)
100拉德(rad)	1戈瑞(Gy)
1雷姆(rem)	10^{-2} 西弗特(Sv)
100雷姆(rem)	1西弗特(Sv)

在电离辐射量向SI单位过渡中, 比较麻烦的是照射量单位由伦琴转换为库仑每千克。它的SI单位比伦琴大得多, 而且两者不是整倍数关系, 其SI单位本身又无专门名称。因此, 在实际应用中比较困难, 如辐射治疗中常用200伦琴/分, 转换成SI单位即为0.052库仑/千克·分; 辐射防护中常用的10毫伦/小时等于2.6微库仑/千克·小时。这种换算关系难于记忆, 使用很不方便。另一个复杂问题涉及到由照射量计算吸收剂量的转换因子。当照射量用伦琴表示、吸收剂量用拉德表示时, 两者在数值上很近似, 它们之间的转换因子接近于1。但当采用SI单位时, 照射量用库仑/千克, 吸收剂量用戈瑞, 这时简单的换算关系就不存在了。例如, 用照射量作为指示值的仪表(以库仑/千克为单位), 要得到水中某点的吸收剂量(以戈瑞为单位), 所采用的转换因子随射线质不同由34变化到37, 与采用老的专用单位(伦琴和拉德)由0.87变化到0.96相比, 这个值很不方便, 易于造成差错, 在使用中一定要十分注意。目前

对于照射量是否需要用另外的量代替,以及这个量的单位如何采用SI单位等问题,国际上还有争论,各国正在考虑之中,尚无成熟意见。

三、五个主要电离辐射量的定义和单位简介

有关电离辐射的几个量在半个多世纪里经历了很大的变化。随着科学的发展、测量技术的提高以及实际应用的需要,这些量的概念和定义逐步趋于完善。尽管个别量和定义今后仍可能有所变更,但目前已基本上为国际有关领域所接受。

这里仅将五个主要电离辐射量的定义和单位作一概略介绍,更详细的情况以及其它量可参阅有关文献^[2,3]。

1. 放射性活度

活度是表征放射性核素特性的一个物理量。它不代表某种放射性核素所包含的原子核数量,而是表示这种核素的原子核在单位时间内发生自发核素变化或同质异能跃迁的数量。虽然这两者之间是有联系的,但它们是两个不同的概念。

活度的定义为:处在特定能态下的一定量放射性核素的活度 A 为 dN 除以 dt 所得的商,

$$\text{即 } A = dN/dt$$

式中 dN 是在时间间隔 dt 内,该核素中发生的核素变化或同质异能跃迁的次数。

活度的 SI 单位是秒的倒数,其 SI 单位专门名称为贝可勒尔,符号 Bq 。暂时允许与 SI 单位并用的专用单位是居里 (Ci), $1\text{居里} = 3.7 \times 10^{10}$ 贝可勒尔。

在实际应用中,活度除用“居里”表示外,也用“毫克镭当量”表示。这个单位在苏联、东欧国家使用较普遍,我国也采用过。由于这种表示活度的方法同放射源的包装过滤条件,源的位置、距离以及测量仪器的能量响应等有关,难以精确测出结果,因此目前已被逐渐淘汰。另外,以前还用过“卢瑟福”(等于 10^6 衰变/秒),在环境监测方面也曾用过“埃芒”(eman),一埃芒等于 10^{-10} 居里/升。这些单位已基本废除。

2. 照射量

照射量是一种用来表示 X 或 γ 辐射在空气中产生电离能力大小的物理量,它不能用于其他类型的辐射(如中子、电子束等),也不能用于其他物质。在其他物质内某一点上确定的照射量,是指假设在所研究的那一点存在着少量空气且又满足电子平衡条件时得到的。

照射量的定义为:照射量 X 是 dQ 除以 dm 所得的商,即 $X = dQ/dm$

式中, dQ 是当光子在质量为 dm 的某一体积元内的空气中释放出来的全部电子(负电子和正电子)完全被空气所阻止时,在空气中形成的一种符号离子总电荷的绝对值。

照射量能严格按照定义精确测量,但精确测量时必须满足“电子平衡”条件。鉴于现有技术条件和对精确度的要求,只有当光子能量大于几千电子伏特而又低于几兆电子伏特时,才能较严格地利用“电子平衡”原理来精确照射量。

照射量的 SI 单位是库仑每千克,暂时允许与 SI 单位并用的专用单位是伦琴,

$$1\text{伦琴} = 2.58 \times 10^{-4} \text{库仑/千克(精确值)}$$

照射量具有悠久的历史,同时也是一个变化较大的物理量,自从 1895 年发现 X 射线后就开始使用,1928 年正式通过“伦琴”作为 X 辐射量的国际单位,以后对“伦琴”的定义逐步加以完善,直到 1962 年才把以“伦琴”为单位的这个辐射量定名为“照射量”。“伦琴”作为照射量的单位。

这个历史悠久又可精确测量的照射量,除可用来描述 X 或 γ 射线在空气中的辐照场以外,更广泛的用途是通过测量的照射量来计算吸收剂量。目前,国际上对照射量有着完全不同的两种意见:一种意见认为鉴于照射量存在上述优点应继续保留,并对其 SI 单位(库仑每千克)赋予专门名称;另一种意见认为实际应用中真正需要的是吸收剂量,而照射量只能表征光子与物质作用的第一阶段,还仅限于光子与空气的相互作用,具有局限性,因此建议废除它。

3. 吸收剂量

吸收剂量是用来表示在任何单位质量物质中,吸收各种类型电离辐射能量大小的物理量。它适用于任何类型电离辐射和被照射的任何物质,在剂量学中是一个十分有用的量。

吸收剂量的定义为:吸收剂量 D 是 $d\bar{e}$ 除以 dm 而得的商,即

$$D = d\bar{e}/dm$$

式中 $d\bar{e}$ 是电离辐射授予某一体积元中物质的平均能量, dm 是该体积元中物质的质量。

通常提到吸收剂量时,必须要指明介质和所在位置。吸收剂量的 SI 单位是焦耳每千克, SI 单位的专门名称为戈瑞 (Gray), 1 戈瑞等于 1 焦耳每千克,暂时允许与 SI 单位并用的专用单位是拉德 (rad), 1 拉德 = 10^{-2} 戈瑞。

第二次世界大战以后,随着加速器和各种放射性核素在医疗及其它部门的广泛应用,产生了准确测量吸收剂量的迫切要求。开始曾用过“物理伦琴当量”作为物质吸收辐射能量的单位,直到 1953 年才正式提出“吸收剂量”,并给它下了定义,从此“物理伦琴当量”归于淘汰。这里要着重指出的是:吸收剂量和照射量是不能混淆的两个量,通常所称“剂量”,只能用于吸收剂量,不能用于照射量。因此称“剂量”为多少库仑每千克(或伦琴)是不对的。只有忽略韧致辐射和次级过程再产生的带电粒子,并完全满足电子平衡条件时,才有关系统

$$D_{\text{空气}} = \frac{\bar{w}}{e} X$$

式中 $D_{\text{空气}}$ 为空气中某点的吸收剂量, $\bar{w}$ 是在空气中每形成一对离子所消耗的平均能量, e 为电子的电荷, X 为相应点的照射量。

4. 比释动能

比释动能是用来量度间接电离粒子与物质相互作用时,释放出来的带电粒子初始动能总和的一个宏观物理量。因此,只有在大量相互作用时才能很好地确定它。比释动能的定义为:比释动能 K 是 dE_r 除以 dm 而得的商,即

$$K = dE_r/dm$$

式中 dE_r 是在某一体积元的特定物质中,由间接电离粒子释放出来的全部带电粒子的初始动能的总和, dm 是该体积元内物质的质量。

定义中的 dE_r 表示由间接电离粒子释放出来的所有带电粒子初始动能的总和,所以,它包括了这些带电粒子在韧致辐射过程中辐射出来的能量,在该体积元内发生次级过程所产生的任何带电粒子的能量。例如,光电子所伴随的俄歇电子的能量也是 dE_r 的一部分。

比释动能与吸收剂量有相同的单位,即比释动能的 SI 单位也是焦耳每千克, SI 单位的专门名称为戈瑞。暂时允许与 SI 单位并用的专用单位是拉德。但要注意,它们在概念上是完全不同的两个物理量。间接电离辐射与物质的相互作用可以分成两个步骤,第一步是间接电离粒子在物质中产生直接电离粒子(带电粒子)和它的次级间接电离粒子而损失其能量;第二