

杜荷聪 王启尧 编

国际单位制的实际应用



计 量 出 版 社

国际单位制的实际应用

杜荷聪 王启尧 编

计量出版社

1983

内 容 提 要

本书以《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》为基础,比较系统地介绍了国际单位制(SI)的内容、构成原则、使用方法及其在时间和空间、力学、热学、电学和磁学、光学等10多个学科中的应用要求。可供计量系统、厂矿企业技术管理人员、中学及高等院校理工科师生使用参考。

国际单位制的实际应用

杜荷聪 王启尧 编

责任编辑 王秉义

—*—

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

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—*—

开本 850×1168 1/32 印张 6 1/4

字数163千字 印数 1—35 000

1983年3月第一版 1983年3月第一次印刷

统一书号 15210·221

定价 0.97 元

科技新书目: 45—185

前 言

1981年经国务院批准由中国国际单位制推行委员会颁布的《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》，受到国内科学技术、文化教育、新闻出版、工农业生产、交通运输、国内外贸易等许多方面的广泛重视，并被积极采用。

《方案》是以国际单位制(SI)为基础，结合我国的实际情况制订的。

为了配合贯彻《方案》，推行国际单位制，使各专业人员更好地了解 and 掌握国际单位制的构成内容、使用方法，并能正确地应用于各科技领域及各行各业，根据近几年来实际工作的接触，将收集到的一些资料，编写成这本普及性的小册子，供大家使用参考。

本书在编写过程中，对有关学科如何正确使用SI的问题，曾得到徐唯义、余梦生、袁一岳、刘远迈等同志的指导。刘天和、袁楠、李慎安同志对全书做了细致审阅，谨此一并致谢。

由于水平有限，错误之处在所难免，希读者批评指正。

1982年7月

目 录

前 言

第一章 单位制的历史演变	(1)
第一节 计量和单位制的历史演变.....	(1)
第二节 国际单位制的优越性.....	(5)
第二章 国际单位制的推行概况	(10)
第一节 国际上一些国家采用国际单位制的情况.....	(10)
第二节 我国使用米制和采用国际单位制的情况.....	(16)
第三章 物理量、量纲、单位与单位制	(20)
第一节 物理量和单位.....	(20)
第二节 量纲和单位制.....	(23)
第四章 国际单位制的构成	(28)
第一节 SI单位.....	(28)
第二节 SI词头.....	(37)
第三节 SI单位的10进倍数与分数单位.....	(45)
第四节 非国际单位制单位.....	(45)
第五章 SI的使用方法、单位换算原则、无量纲参数	(53)
第一节 SI的使用方法.....	(53)
第二节 单位换算原则.....	(60)
第三节 无量纲参数.....	(61)
第六章 SI在不同科技领域中的应用	(65)
第一节 国际单位制在空间和时间领域中的应用.....	(65)
第二节 国际单位制在力学领域中的应用.....	(67)
第三节 国际单位制在热学领域中的应用.....	(70)
第四节 国际单位制在电学和磁学领域中的应用.....	(74)
第五节 国际单位制在光及有关电磁辐射领域中的	

	应用	(76)
第六节	国际单位制在声学领域中的应用	(79)
第七节	国际单位制在物理化学和分子物理学领域中的 应用	(81)
第八节	国际单位制在原子物理、核物理、电离辐射和 核反应领域中的应用	(83)
附录 1	国际计量大会和国际计量委员会的有关决定(节录)	(90)
附录 2	基本物理常数	(104)
附录 3	常用单位换算表	(106)
附录 4	外文缩写词一览表	(123)
附录 5	部分国家和组织的标准代号	(131)
附录 6	常用计量词汇表(英、汉、俄对照)	(132)
参考文献	(194)

第一章 单位制的历史演变

第一节 计量和单位制的历史演变

一、早期的计量

有史以来，人们的一切社会活动都自觉或不自觉地与计量这个概念建立了紧密地联系。在大部分的早期文明中，人们出于经济上的需要，例如，要定量测量土地面积的大小，食物、水和材料的多少，确定可靠的时间标度和历法，而开始了计数和采用表示数目的方法，以适应各种不同的用途。

在世界上，埃及和古巴比伦的计量开始得较早。在埃及数千年前的纸莎纸古卷中，出现过人的前臂的图形，这就是“腕尺”的标志。这一最早的计量单位，是以自肘至指尖的长度为基础的，长约18英寸(约475.2cm)。相传公元前2000多年埃及第四王朝法老就是按照腕尺来建造埃及大金字塔的。塔底每边长约500腕尺，如今测得每边长约210m(米)。远在中国原始社会末期奴隶社会初期就使用了10进制，被世界上承认为是使用10进制最早的国家。埃及的长度、面积和体积的计量制度中，也较早地使用了10进制。古巴比伦和苏梅尔人还曾采用了60进制。后来的文明也吸收了这种制度。如，1小时等于60分，1分等于60秒。

在重量计量方面，古人曾以小麦(或大麦)粒计量，一颗麦粒为一谷。直至今日仍然是重量的最小单位之一。衡量宝石、珍珠的单位“克拉”一词，是由角豆树籽一词派生而来的。

英里相当于1000步。16世纪末，英女王贝斯将英里增大了280英尺，恰好相当于8浪。码是由古英语中的giend一字演变而来的。亨利一世将其手臂向前平伸，以其鼻尖至指尖间的距离定为一码。

公元十世纪，英王埃德加以其拇指关节之间的长度定为一英寸，查理曼大帝以其足长定为一英尺，约合现在的12.7英寸。

诸如上述这些东拼西凑的、很不方便且又不准确的人为规定，使度量衡制度出现了日益混乱的局面。

我国度量衡的发展，大约有四五千年的历史了。史书记载，黄帝设立了度、量、衡和里、亩五个计量单位。大禹治水时，用规矩和准绳进行实地测量。为了统一计量单位，禹用自己的身体作为长度和重量的标准。商代出现的商品交换，为度量衡的产生创造了条件。流传至今的象牙尺等分10寸，每寸刻10分，证明长度10进制的广泛使用。在周代的铜鼎铭文里，记载有重量单位，说明衡量计量已经通行于当时。两千多年前的商鞅和秦始皇统一度量衡，是对春秋战国以来度量衡的发展在技术和管理制度方面的进一步规范化和标准化，从而奠定了我国古代计量科学技术的基础。

关于10进小数的表示方法有很多主张。早在公元1200年，我国就采用了10进小数，后被 Simon Stevin 传入欧洲。

二、米制的起源

计量学作为一门学科出现，是在18世纪以后。当伟大的科学家牛顿创立牛顿力学使经验科学上升为理论科学之后，计量学才成为一门专门学科而出现在世界上。

从前，人们对测量本质还未形成明确的概念，对客观事物间的联系知道的也不多。因此，创造了大大小小互不联系的计量单位和各种各样的测量结果的表示方法。这些成千上万的单位给人类的工作和生活带来极大的不便。随着对客观事物认识的逐步深入，人们发现各种物理量之间普遍地存在着一定的联系。因此，单位制的概念也就逐渐地形成了。

十八世纪末叶，法国正处在资产阶级革命时期。1790年，Talleyrand 向法国国民议会递交了一份改革计量制度及其统一国际计量制度的计划。他在计划中提出了新的10进计量制度的设想，并要求一些国家予以合作。但法国科学院拒绝接受这一建议，有的国家也采取消极观望甚至反对的态度。1791年，法国

国民议会采纳了只基于一个长度基本单位——米的计量制度的原理。米被定义为等于地球子午线的 $1/4$ 长度的一千万分之一。面积和体积的单位分别是平方米和立方米的10进倍数单位与分数单位。而重量（或质量）的单位是一立方分米的水在密度最大时温度 4°C 下的重量（或质量）。这种制度是10进制的。因为这种制度完全是以米为基础的，因此，被称为米制。此后，米制就在全世界范围内逐渐推广开来了。

1795年4月7日，法国国民议会用法令公布以米、公亩、斯地尔（立方米）、升以及克的定义，从而建立了米制。

1799年12月10日，法国公布法令，根据从敦克尔克经巴黎到巴赛伦纳的子午线的实测结果，建立用白金制成的“档案米”和“档案千克”，妥善地保存在法国科学院。法国在1837年规定，从1840年1月1日起，必须使用米制。随后，英国在1864年批准使用米制。美国在1866年将米制的使用合法化。

1875年，20个国家的代表在巴黎举行米制外交会议。5月20日有17个国家签署了米制公约，并设立国际计量局，执行在全世界推行和改进米制的使命。我国在1977年加入米制公约国组织。此时，其成员国扩大为45个。国际计量大会及其常设机构——国际计量委员会，对国际计量局的工作实施领导与监督。1889年在巴黎召开了第一届国际计量大会，正式批准了长度和质量的国际原器。

三、国际单位制的建立

最初的米制，虽然有很多优点，但只涉及生产、贸易和生活中常用的计量单位，因而，不能满足科学和技术发展的需要。这就使得某些科技领域在米制的基础上，陆续衍生出许多单位制与米制并用。从而给统一计量单位的工作带来了新的困难。

例如，在力学中常用的米制单位有：米千克秒（MKS）制；厘米克秒（CGS）制；米千克力秒（MkgfS）制；米吨秒（MTS）制。电磁学中采用的米制有：绝对静电单位（CGSM）制；高斯（CGS）制；米千克秒安（MKSA）制等实用单位制。

在这些从米制衍生出来的各种单位制之间，缺乏严密地科学联系，使许多物理量存在着大量彼此独立的计量单位。其中有的应用范围狭窄，有的物理概念不清，有的难以准确地复现，甚至出现了相互矛盾的现象。例如，kg（千克）在MKS制中是质量单位，而在MkgfS制中又是力的单位。使质量和重量这两个本来就混淆在一起的概念，显得更加混乱了。且在MkgfS制中，导出的质量单位的数值出现9.81，这显然违背10进制原则。由此可见，同属米制的各种单位制的并存与换算，给科学和技术带来了许多麻烦。此外，尚有英制、俄制和我国的市制等。

随着科学技术的飞速发展，计量制度的混乱严重地妨碍着生产、科研、文教、经济事业的发展。

1948年，第九届国际计量大会责成国际计量委员会，正式征询所有国家科学技术与教育界的意见，以制订一种能为所有米制公约签字国都乐意采用的实用单位制。大会推荐MKS制和绝对实用制的一个电学单位（但未建议物理学家废弃CGS制）。

1954年，第十届国际计量大会为实现第九届国际计量大会所表示的建立一种用于国际关系的实用计量单位制的愿望，决定采用米、千克、秒、安培、开氏度和坎德拉等6个单位为所要建立的这种单位制的基本单位。

1956年，国际计量委员会决定把以第十届国际计量大会通过的基本单位为基础的单位制命名为“国际单位制”（Le *Système International d'Unités*）。

1960年，第十一届国际计量大会正式定名国际单位制，其国际符号为SI。同时还规定了辅助单位（2个）、导出单位（27个）、词头（12个）及其使用方法。

1964年，第十二届国际计量大会决定增加两个更小的词头：femto (10^{-15})，atto (10^{-18})。

1967年，第十三届国际计量大会决定将热力学温度单位开氏度改称开尔文。同时增加6个导出单位。

1971年，第十四届国际计量大会对国际单位制做了修改。在

原有 6 个基本单位的基础上，增加了第七个基本单位——摩尔 (mol)，作为物质的量的单位。同时新命名了两个导出单位——帕斯卡 (Pa) 和西门子 (S)。

1975 年，第十五届国际计量大会命名了两个具有专门名称的导出单位：贝克勒尔 (Bq) 和戈瑞 (Gy)。增加了两个词头：Peta (10^{15}) 和 exa (10^{18})。

1979 年，第十六届国际计量大会决定以希沃特 (Sv) 为剂量当量的单位。

至此，国际单位制在不断修改和扩充的基础上，已形成了一个日臻完善的单位制。它共有 7 个基本单位，2 个辅助单位，19 个具有专门名称的导出单位，16 个 10 进制词头及一些由基本单位、辅助单位和具有专门名称的导出单位的组合表示的导出单位，形成了一个比较科学、完整的国际统一的单位制。随着科学技术的进一步发展，国际单位制还会有某些修改和扩充。

第二节 国际单位制的优越性

在国际单位制正式建立以来的短短二十多年间，充分地体现了它的优越性和实用性，显著地促进了科学技术和经济事业的发展。推行国际单位制和统一计量单位的名称，是建立经济文明的重要手段。它有利于各国经济建设、科学技术、文教卫生和国内外贸易的发展，是工业标准化、通用化和系列化的坚实基础。它不仅可以避免由于多种单位制并用而引起的混乱现象和繁琐换算，而且可以节省大量的人力和物力。

在米制基础上发展起来的国际单位制，继承并发扬了米制的合理部分，克服了米制的缺点。在当前来说，国际单位制是一种比较科学、完善的单位制，实际上是米制的现代化形式。所以，国际单位制又称为现代米制。国际单位制的优越性主要有以下八个方面。

一、统一性

国际单位制可以包括科技、生产、财贸、生活等一切科技领域里（如力学、热力学、电磁学、光学、声学、化学、核反应

等)的计量单位,从而使各行各业无需自行建立各自的计量单位。这样,就真正地把世界各国的计量制度统一起来了,扭转了目前多种单位制并用的混乱局面。另一方面,由于计量单位本身是可以任意选择的,其名称也可随意规定。这势必会造成计量单位的混乱的局面。国际单位制能实现其统一的原因,不仅由于其本身的科学结构,而且,还依靠它从单位制本身到各个单位的名称、符号及使用规则都已标准化,从而保证了每个单位只有一个名称和一个国际符号。

例如,采用国际单位制7个基本单位中的长度单位——米,质量单位——千克,时间单位——秒和平面角、立体角两个辅助单位,就可以导出力学和声学的全部单位;米、千克、秒再加上安培也可以导出电学和磁学中所有的单位;用米、千克、秒和开尔文可以导出热力学全部单位。同样,用米、千克、秒和物质的量的单位摩尔,也可导出物理化学和分子物理学的所有单位。

二、简明性

国际单位制取消了相当大量的各种单位,显著地简化了物理规律的表达形式和运算过程,省去了不同单位之间的换算系数。例如,力学、热力学公式采用国际单位制,就可省去热功当量、功热当量、千克力和牛顿的转换系数等常数。因此,也不必编制很多计算图表,简化了繁杂的计算手续。而且,可以减少计算和设计上可能引起的错误,从而大大地节省人力、物力和时间。

此外,单位名称也比过去减少了。例如,国际单位制中力的单位只有一个“牛顿”,就可以取代过去经常使用的千克力、达因、吨力等一些非国际制单位的名称。

三、实用性

国际单位制的所有基本单位和大多数的导出单位的大小都较实用,而且,绝大部分已被广泛采用(如安培、欧姆、伏特、焦耳等)。此外,国际单位制还规定了数值范围很广的16个词头,可以根据实际需要组成10进倍数单位和10进分数单位。

例如,国际单位制中压力的单位是帕斯卡(Pa),在一些工

程压力范围内稍显小了些。过去习惯上用工程大气压 at ，即千克力每平方厘米 (kgf/cm^2)， $1 at = 1 kgf/cm^2 = 98\ 066.5 Pa = 0.980\ 665 \times 10^5 Pa \approx 1 \times 10^5 Pa \approx 0.1 MPa$ (误差约为 2%)。同样，国际单位制中力的单位为牛顿 (N)，而过去常用千克力 (kgf)， $1 kgf = 9.806\ 65 N \approx 10 N$ 。因此，用 $0.1 MPa$ (兆帕) 代替原来的 $1 kgf/cm^2$ 和用 $10 N$ 代替 $1 kgf$ ，在很多实用场合下还是很方便的。

四、合理性

国际单位制的构成，坚持了“一个量一个SI单位”的原则，避免了多种单位制及单位的并用，消除了很多不合理甚至矛盾的现象。

例如，国际单位制中只用一个压力单位帕斯卡就可以代替过去长期使用的如 kgf/cm^2 ， gf/cm^2 ， kgf/m^2 ， atm (标准大气压)， at ， bar ， $Torr$ ， mmH_2O ， $mmHg$ ， dyn/cm^2 等各种压力单位。

又如，功能和热量几个常用的量，虽然它们的测量手段不尽相同，但其本质上是相同的。过去，这些量使用的米制单位有 $kgf \cdot m$ ， $gf \cdot m$ ， erg ， $kcal$ ， cal ， eV ， $W \cdot h$ ， $kW \cdot h$ 等。在英制单位中还有磅力英尺 ($lbf \cdot ft$)、马力小时 ($hp \cdot h$) 和英热单位 (Btu) 等。在国际单位制中，对功、能、热量几个量只规定了一个相同的单位——焦耳，以此取代了上述的一些单位。焦耳与上述一些其它米制单位有一定的换算关系，如 $1 erg = 1 dyn \cdot cm = 1 \times 10^{-5} N \times 0.01 m = 10^{-7} N \cdot m = 10^{-7} J$ 。焦耳这一单位不仅反映了这几个量之间的物理联系，而且，也省略了许多计算，避免了同类量而量纲不同，不同类量而量纲相同这种矛盾现象的出现。

五、科学性

国际单位制明确和澄清了很多物理量与单位的概念。国际单位制的单位是根据实验所证实的物理规律严格定义的。而且，经过周密考虑与协商，废弃了一些旧的不科学的习惯概念、名称和用法。例如，长期以来千克既是质量单位，又是重力单位，但实际上质量和重力是完全不同的两个概念。国际单位制严格明确千克为质量单位。又如，国际单位制还明确了“物质的量”与“质

量”在概念上的区别。

六、精确性

在国际单位制的7个基本单位中，有的可以较高的精度复现和保存。除质量、物质的量、电流和热力学温度几个单位外，基本上实现了自然基准。因而，不再采用在技术上难以实现且不够精确的办法来传递基本单位。通过自然现象严格定义和复现的基本单位的复现精度，已达 10^{-8} ，甚至 10^{-11} 以上。

例如，可能从1985年起执行的新的米定义：米是光在真空中 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 的时间间隔内所行进的路程的长度。要实现这一方案，必须完成具有高稳定性的稳频激光和精确地测量激光的频率。高稳定激光的复现水平已达 10^{-13} — 10^{-14} 量级，而且，还在改进提高中。这要比现阶段采用氪辐射体优越得多。

又如，以前的时间单位秒，是按回归年秒定义的。一回归年秒数实际上是一个均匀的时标。在实际测量上比较困难，且精度有限，连续三年的观测只能达到 10^{-8} 的精度。当前，测试手段已日臻完善，对时间单位秒也作了改变，采用了原子时，使秒的精度一跃为 10^{-13} 量级。随着科学技术的现代化，今后秒的精度还可望进一步提高。

七、继承性

国际单位制是在米制的基础上发展起来的。因此，它继承了米制的合理部分，并采用了已经通用的一些单位名称。

10进制是米制的一大优点，国际单位制把这一优点继承了下来。10进制在运算上很方便，且符合国际惯例。米制的这一优点在其发展过程中，由于没有采取有效的措施，不但没有使其随着科学技术与生产的发展而进一步发挥其国际统一的作用，而且，本身也越来越混乱了。从米制衍生出来的各种单位制之间缺乏严密地科学联系，所以，未能完全执行。国际单位制规定了16个10进制词头，才使米制的这一优点得以发扬。

此外，米制因概念混乱而未能把一贯性原则这一优点完全贯彻下来，而国际单位制把一贯性原则作为其科学构成的原则之

一.

八、国际性

国际单位制是一种可以代替几乎所有其它单位制和单位的单位制。在不久的将来,必将作为全世界统一、通用的一种单位制。如果世界各国都采用这种单位制,将对国际间的科技交流和贸易产生重大的作用。

第二章 国际单位制的推行概况

国际单位制是世界科技界经过长期研究而制订的一种科学计量单位制。经过20多年来的实践证明，它具有科学、合理、精确、实用、简明等优点，对科学技术和工农业生产的发展起着显著地推动作用。当今世界上只有以国际单位制取代其它单位制，才能使国际间的计量制度实现统一。因此，国际单位制受到世界各国的普遍重视。到目前为止，已有80多个国家宣布采纳。工业较发达的国家几乎全部采用了国际单位制。从发展趋势看，各国可望在1985年以前基本完成向国际单位制的过渡。

第一节 国际上一些国家采用国际单位制的情况

一、英国

英国是英制的发源地和创始国，英制的影响根深蒂固。多年来，英国工业、商业和科学技术中普遍使用磅制、华氏温度和英热单位等与米制格格不入的各种计量单位。而且，据此制订出很多的英制工业标准和生产出大量的英制设备。因此，在英国，把英制改为米制的阻力是很大的。但在1965年5月，英国政府声明全面向米制（国际单位制）过渡，并预计在1975年完成，后又延至1980年完成。1969年成立了“米制化委员会”，负责规划和协调全国的米制化计划。英国标准协会在1970年公布了以国际单位制为基础的新标准。还根据国际单位制拟订了新的英国工业标准。到1975年，已把工业中的主要标准全部改为国际单位制。很多工业产品进行了重新设计和修改设计。目前，钢铁、医药、纸张、建材、塑料等材料部门已完成过渡；机械工业也已过渡了百

分之八十以上；农业、燃料和食品工业过渡的步伐比较缓慢，要到1981年才能完成。

英国在各类教育中，国际单位制已占优势，在教学、考试中已正式使用。邮电、船舶、海关、卫生检查和军械修理等方面，也相继采用了国际单位制。1980年，百分之九十的零售食品包装已按国际单位制的规定出售。1978年4月，开始执行计量单位条例。其管理条例同欧洲经济共同体关于在成员国中采用国际单位制的命令相符，规定废除很多英制单位，如链、浪、海里、打兰、磅、英寸、吨力、节等。

二、日本

日本自1951年制订计量法以来，已根据米制的有关国际协议进行了多次修订。1966年公布采用国际单位制。在日本工业规格（国家标准）中，分三个阶段引进国际单位制。第一阶段（1974—1977年），在标准中采用括号形式列入国际单位制的量值；第二阶段，将国际单位制表示的量值移至括号外面，而把原单位的量值移至括号内；第三阶段，取消原单位的量值。1972年，完成了对日本计量法最后一次的修改工作。1974年，根据国际单位制制订了日本工业规格（JIS Z 8202）《量的符号与单位符号》，正式颁布了《国际单位制及其使用方法（JIS 8203）》。

三、法国

法国在1966年公布采用国际单位制的命令，以取代1961年的米制命令。接着，又根据最新的国际单位制文件进行了修改。1975年12月9日，通过了关于计量单位的法律文件。法国政府还公布了必须采用国际单位制的No 75-1200号法令，规定从1975年起废止一些不合理的旧米制单位，如千克力等。1978年底基本上完成过渡。基准器、标准器在1981年也完成了改制。

四、苏联和经互会其他成员国

苏联在1961年发布了一项以国际单位制为基础的计量单位国家标准草案（ГОСТ 9867-61）。1970年，又公布了经过修改的草案。