



- 主 编** 王以铭 (国家技术监督局副局长)
副主编 东 征 (国家技术监督局计量司司长)
陈 渭 (国家技术监督局标准化司司长)
罗振之 (国家技术监督局科学技术委员会副主任)
编 委 张灵光 (国家技术监督局标准化司机械交通处处长)
戴润生 (国家技术监督局计量司单位制办公室主任)
关慎敏 (国家技术监督局计量司单位制办公室副主任)
夏振国 (国家技术监督局标准化司高级工程师)
赵 燕 (国家技术监督局计量司工程师)
刘天和 (全国量和单位标准化技术委员会副主任委员)
余梦生 (全国量和单位标准化技术委员会副主任委员)
李慎安 (全国量和单位标准化技术委员会委员)
段 方 (中国标准出版社副编审)

撰稿人

- 赵 彤 (第1章) 姜云祥 (第2章)
余梦生、李慎安 (第3章)
黄最明 (第4章) 王家石 (第5章)
陈铭铮 (第6章) 刘瑞珉 (第7章)
徐大刚 (第8章) 徐唯义 (第9章)
刘天和 (第10章) 卢希庭 (第11章)
陈丽姝 (第12章)
李志深、李哥青、邢轸 (第13章)
陈业勤 (第14章) 王以铭 (第15章)

前 言

为了适应我国开放改革和四化建设的发展,促进我国市场经济与国际迅速接轨,国家技术监督局于1993年12月27日批准、发布了由全国量和单位标准化技术委员会制定的15项量和单位国家标准,并规定从1994年7月1日起实施。这套国家标准是1986年第二版的修订版和代替本,它包括GB 3100—93《国际单位制及其应用》、GB 3101—93《有关量、单位和符号的一般原则》、GB 3102.1—93《空间和时间的量和单位》、GB 3102.2—93《周期及其有关现象的量和单位》、GB 3102.3—93《力学的量和单位》、GB 3102.4—93《热学的量和单位》、GB 3102.5—93《电学和磁学的量和单位》、GB 3102.6—93《光及有关电磁辐射的量和单位》、GB 3102.7—93《声学的量和单位》、GB 3102.8—93《物理化学和分子物理学的量和单位》、GB 3102.9—93《原子物理学和核物理学的量和单位》、GB 3102.10—93《核反应和电离辐射的量和单位》、GB 3102.11—93《物理科学和技术中使用的数学符号》、GB 3102.12—93《特征数》、GB 3102.13—93《固体物理学的量和单位》。这些国家标准都是强制性国家标准,一切科学技术出版物(包括各级教材)都应按这套标准使用量和单位的名称和符号。

新版标准是以国际标准化组织(ISO)的TC 12技术委员会于1992年制定的相应ISO国际标准为蓝本,参考其他国家和地区的标准,结合我国情况制定的。与1986年版相比,新版在量和单位的体系上、名称和符号上,更为系统化,更好地反映了当代学科的概念,适当增加了一些重要的量。特别是将国际单位制(SI)中的SI辅助单位明确地归入SI导出单位一类,将“无量纲量(dimensionless quantities)”改称为“量纲一的量(quantities of dimension one)”,并明确地规定其SI单位为—(one),符号为1(一般不明确写出)。增加了四个词头:10²⁴,尧[它],yotta, Y; 10²¹,泽[它],zetta, Z; 10⁻²⁴,幺[科托],yocto, y; 10⁻²¹,仄[普托],zepto, z。禁止了象ppm,pphm,ppb等某些语文缩写字的使用。新版标准引入了国际标准ISO 31-0:1992对量的一套命名法。例如,如果量Q为量A除以量B,而B为质量(mass)、体积(volume)、长度(lenght)、面积(area)等,则将形容词质量(的)(massic)、体积(的)(volu-

mic)、线(的)(lineic)、面[积](的)(areic)(括号中的形容词都是新造的英文形容词)等放在 A 的名称前构成 Q 的名称。因此在新标准中,将比热容(specific heat capacity) $c \stackrel{\text{def}}{=} C/m$ 称为质量热容(massic heat capacity),将质量密度(mass density)或密度(density) $\rho \stackrel{\text{def}}{=} m/V$ 称为体积质量(volumic mass)……。当然象这些量的原名称仍可以继续使用。将系数(coefficient)和因数或因子(factor)作了明确的区别。如果量 A 正比于量 B ,则有 $A=kB$;当 A 和 B 具有不同的量纲时,将 k 称为系数,例如体膨胀系数 $\alpha_v \stackrel{\text{def}}{=} V^{-1}(\partial V/\partial t)_p$;当 A 和 B 具有相同的量纲时,将 k 称为因数或因子,例如溶质 B 的活度系数(activity coefficient of solute B) $\gamma_B \stackrel{\text{def}}{=} a_B/(b_B/b^\ominus)$ 称为溶质 B 的活度因子(activity factor of solute B),当然原名称仍可以继续使用。此外,对量的名称作了一系列的合理简化,例如将名称中的“物质 B ”简化为“ B ”,将“物质 B 的浓度”简化为“ B 的浓度”。将“内能(internal energy)”和符号“ U 、 (E) ”改为“热力学能(thermodynamic energy)”和符号“ U ”,这是为了反映这个在热力学中定义的能量与力学和电磁学中定义的能量区别,这是标准中具有时代意义的一个变化。

为了便于宣贯和使用新标准,国家技术监督局组织全国量和单位标准化技术委员会各分标准主要起草人编写了这本实施指南,对相应标准的修订情况和一些内容作了必要的说明和解释。本指南是宣贯量和单位国家标准的统一教材,对量和单位的名称和符号的解释,一律以本指南为准。

量和单位宣贯资料,曾于1983年到1984年间以“量和单位丛书”形式,分15册出版,当时是为宣贯1982年第一版《量和单位》国家标准而编写的。1986年到1989年对这套丛书作了修订,并以书名《量和单位国家标准宣贯资料》出版合订本,当时是为宣贯1986年第二版《量和单位》国家标准而编写的。我们要特别指出,由于出版工作上的失误,第二版中删去了原稿中引用或参考的全部文献,在这里特向这些文献的作者和出版部门,向读者表示深深的歉意。

本书根据新版国家标准和近年来国内外量和单位标准化的发展,并结合宣贯1986年版标准中出现的主要问题,在第二版基础

上编写的。本书着重从正面比较详细地解释了一些重要的或容易误解的量和单位,在适当地方以正误对比的实例说明了如何正确使用这套标准。例如,有的出版物将B的浓度 c_B 的定义($c_B \stackrel{\text{def}}{=} n_B/V$)中的混合物体积 V 解释为“溶液的体积”,误导读者将 c_B 作为溶液中溶质B的组成变量,使溶液热力学中本来就有些混乱的情况更加混乱。象这种将量的定义作不妥的解释,会导致教科书中一些章节的不妥的叙述,这种不妥的叙述不仅不符合标准和当代的学科体系,而且也无多大的实用意义,因为并无这种情况下的标准热力学量的数据。本书澄清了前段时间一些出版物中在解释量和单位的定义、名称和符号方面的混乱。这套标准的解释权属全国量和单位标准化技术委员会。为了避免再出现前段时间出现的混乱,希望今后各部门、各地区,特别是各出版单位,出版涉及宣贯或解释量和单位国家标准的文章或书籍,一般应将文稿送国家技术监督局单位制办公室审阅(宣贯会或培训班的宣讲人员,可请国家技术监督局单位制办公室统一派出,各分标准的宣讲人员,原则上由相应各分技术委员会派出)。如果对标准本身有何意见,请函告国家技术监督局单位制办公室(北京市知春路4号,邮政编码100088),合理的意见将作为以后修订标准时参考。

本书的具体编写工作是在国家技术监督局单位制办公室的组织、计划和安排下进行的。书稿于1994年6月4日至9日在黄山市由单位制办公室主任、全国量和单位标准化技术委员会副主任委员戴润生高级工程师和国家技术监督局科学技术委员会副主任委员、全国量和单位标准化技术委员会副主任委员罗振之高级工程师主持下的专家审定会议进行了审定。各作者根据审定会议的意见又作了修改和补充,这些工作是在单位制办公室副主任、全国量和单位标准化技术委员会秘书长关慎敏工程师和副秘书长赵燕工程师协调下进行的。全书由全国量和单位标准化技术委员会副主任委员刘天和教授(北京理工大学)和副主任委员余梦生教授(北京科技大学)统稿。

本书在编写过程中,得到各界许多专家多方面的关心、支持和帮助。全国量和单位标准化技术委员会及其各分技术委员会的委员给予了各方面的具体帮助。王家石副教授(北方交通大学)对第4部分“周期及其有关现象的量和单位”、黄最明副教授(北方交通

大学)对第5部分“力学的量和单位”、彭秉璞教授(清华大学)对第6部分“热学的量和单位”、罗振之高级工程师和陆相良副研究员(中国计量科学研究院)对第7部分“电学和磁学的量和单位”、夏学江教授(清华大学)对第8部分“光学及有关电磁辐射的量和单位”、刘芸教授(清华大学)和朱仁编审(高等教育出版社)对第10部分“物理化学和分子物理学的量和单位”、陈丽姝研究员(中国原子能科学研究院)对第11部分“原子物理学和核物理学的量和单位”、卢希庭教授(北京大学)对第12部分“核反应和电离辐射的量和单位”、朱诚编审(大连理工大学)和陆惠津教授(广东民族学院)对第13部分“物理科学和技术中使用的数学符号”的修改和补充稿进行了审阅。张钟华院士(中国计量科学研究院)和王先冲教授(清华大学)对电学和磁学的有关内容进行了讨论。胡日恒研究员(中国科学院化学所)对物理化学和分子物理学的有关量的名称、定义,对内容的选择和编排进行了讨论。中国标准出版社段方副编审,为本书的出版质量付出了辛勤的劳动。我们在这里,一并向他们表示衷心的感谢。

书中的不妥、错误或不足之处,欢迎读者提出批评、意见和建议。

编者

1996年3月

1 国际单位制及其应用

本章是为了帮助国家标准GB 3100—93《国际单位制及其应用》的使用者理解标准原文而编写的。由于内容和篇幅所限,未对国际单位制和我国法定计量单位作全面介绍。

GB 3100—93是1986年版标准的修订版。为配合82版和86版标准的宣传和实施,GB 3100的宣贯资料已经由李慎安等同志编写出版过两个版本^[1,2]。这次编写的宣贯资料主要以原来的版本为基础,包括原来的主要的和核心的内容,但也有较大的改动。

本章以标准条文的解释、说明为主要内容。国家标准由于编排格式的限制和对文字精练的要求,不可能用很详细和通俗的语言表述,在宣贯资料中则不受这些限制。为了方便读者对国际单位制和法定计量单位的了解,资料中还设了“国际单位制的形成和发展”,“国际单位制与我国法定计量单位的关系”等章节。

本章的编排与GB 3100—93的主要章节相对应。对照相应的标题就可以找到标准的解释或例证。为了方便阅读和理解,标准中的图和表也都列在了宣贯资料中。在某种意义上讲,宣贯资料包括了标准的几乎全部内容和条文说明、解释及例证。

GB 3100—93标准是一项基础性、通用性的标准,因而,宣贯资料主要面向全社会各类人员。内容力求通俗、简明、易懂。使得各类人员通过宣贯资料可以比较容易地理解和使用GB 3100—93,进而理解或使用量和单位的其他专业性较强的标准。

1.1 国际单位制的形成与发展

在人类社会历史上,计量制度的产生和发展是与社会文明程度和科学文化发展水平紧密相关的。国际单位制则是全世界几千年生产和科学技术发展的综合结果。在18世纪时,全世界已有许多种形式的单位制。不仅各国之间计量制度不同,一个国家内也并存多种单位制。据考证,当时仅在我国即有10余种之多。为了适应生产的发展和地区之间经济贸易交流的需要,法国于1790年制定以十进制为基础、单位建立在自然基准上的米制法。1793年法国通过对地球子午线长度的精密测量制定了最初的米制原器,并公布了米制法。而后几十年中,欧洲一些国家开始逐步采用米制。1875年17个国家在巴黎签署“米制公约”,成立国际计量委员会(CIPM),设立了国际计量局^[3]。至此,米制成为第一个国际计量单位制度。截止到1992年1月,米制公约成员国已有47个,我国于1977年加入该组织。

初期阶段的米制不是完整的计量单位的体系。米制的初期仅有长度和质量单位。19世纪后半期,英国科学促进协会(BAAS)提出了一个重要的单位制概念,即建立一种由某几个“基本的”单位(现称基本单位)按系统组成的一贯单位制。厘米、克和平均太阳时的秒被选为基本单位。这就是第一个单位制——厘米克秒制(CGS制)。这种单位制度称为三量纲制。根

据上述概念,各学科技术领域为各自使用上的方便,在初期米制的基础上,先后形成了多种单位制,除了厘米克秒制外,还出现了电磁单位制(CGSM制)、静电单位制(CGSE制)、米千克秒制(MKS)或米千克力秒制(MKFS制)。后来,在三量纲制的基础上又引入一个新的单位:电流单位安培,形成了绝对实用单位制(MKSA制)。

这些以米制为基础建立起来的单位制,虽然都属于米制,但他们之间缺乏科学的联系,存在着矛盾现象。例如,在米千克秒制中,质量单位千克是基本单位,而在米千克力秒制中,质量单位却从力的单位千克力导出。除了米制单位制之间的矛盾外,还有英制、俄制以及各国自己的单位制,他们相互独立,换算复杂,严重影响着生产、科学技术的发展和经济文化的交流。为了消除混乱,促进发展,1948年第9届国际计量大会(CGPM)责成国际计量委员会(CIPM)创立一种使所有米制公约签字国都能接受的科学、简明的实用单位制。1954年第10届CGPM决定采用米、千克、秒、安培、开尔文、坎德拉作为新制的基本单位。在1960年第11届CGPM上,将以这六个基本单位为基础的单位制命名为“国际单位制”,并用国际符号“SI”表示。以后的历届CGPM都对国际单位制作了修改和补充。1971年第14届CGPM又决定增加第7个基本单位摩尔(mol)。至此,国际单位制基本构成了现在的完整的形式。

国际单位制是科学技术进步的产物,它也将随着科学技术的不断发展而不断完善。例如,几个基本单位的定义有的已经过多次修改,每次都反映了当时的最先进的科技水平。第19届CGPM增加的4个词头也是为了适应研究宏观和微观世界的需要而确定的。今后,国际单位制肯定还将进一步完善。

1.2 国际单位制的优点和适用范围

国际单位制的产生虽然仅30余年,但在世界范围得到了广泛的采用。现在几乎所有国家都采用或决定采用国际单位制为本国的计量制度。国际标准化组织1973年制定了以国际单位制为基础的量 and 单位国际标准(ISO 1000, ISO 31/0~31/13^[4]),绝大多数国际组织宣布采用国际单位制。国际单位制之所以受到如此广泛的欢迎和重视,主要原因就是它较之其他单位制突出的优点和广泛的适用范围。

a. 单位统一、适用广泛

国际单位制包括几何学、运动学、力学、热学、电磁学、光学、声学、化学、原子物理学等各种理论科学与技术科学领域中的计量单位,因而它适用于国民经济、科学技术、文化教育等各个领域。

国际单位制的七个基本单位都有严格的定义^[1]。导出量的单位是通过系数为1的单位定义方程式用基本单位来表示的,从而使量的单位之间有直接的内在的物理联系,能够很方便地构成任何科学领域的所有单位,可使各行业所使用的计量单位都统一在一个单位制中。另外,国际单位制中的各个单位的名称、符号和使用规则都是标准化的,每个单位只有一个确定的名称和符号。

国际单位制科学的结构和标准的内容使它统一且完整,易于实现全世界范围内的计量单位的统一。

b. 结构合理、方便实用

国际单位制坚持了一个量只有一个 SI 单位的原则,避免了多种单位制和单位的并用。例如:用一个压力的 SI 单位帕斯卡(Pa)就可以代替千克力/厘米²(kgf/cm²)、克力/厘米²(gf/cm²)、千克力/米²(kgf/m²)、标准大气压(atm)、毫米汞柱(mmHg)、毫米水柱(mmH₂O)、巴(bar)、达因/厘米²(dyn/cm²)等所有压力单位。又如,只用一个 SI 单位焦耳就能代表所有在力学、热学、电学中的功、能和热量中常用的十几个米制单位和其他制单位。由此可见,国际单位制可以避免同类量而具有不同量纲以及不同类量而具有相同量纲的矛盾。

国际单位制的基本单位和大多数导出单位的大小都很实用,其中绝大部分已长期广泛地应用。例如:安培(A)、焦耳(J)、伏特(V)、欧姆(Ω)、亨利(H)等。另外,还有从 10^{-24} 到 10^{24} 数值范围很广的词头,能够适应各种场合的需要。

c. 科学严谨、精密准确

国际单位制明确和澄清了一些长期以来一直存在的量和单位的含混概念。国际单位制的单位是根据科学实验所证实的物理规律严格定义的。它废弃了一些旧的不科学的概念、名称和用法。例如:过去长期以来,千克(公斤)既是质量的单位又是重力的单位,实际上重力和质量根本不同。国际单位制中规定质量单位是千克,重力单位是牛顿。从而明确了重力和质量是不同的概念。

国际单位制的科学性还表现在它所定义的基本单位都建立在当代科学技术最高实验水平的基础上,七个基本单位都能以最高精度复现和保存。除质量单位千克以外,其他六个基本单位均实现了自然基准。随着科学技术的发展,复现精度还将不断得到提高。

从前面所述的内容看,国际单位制集中了各种单位制的优点,特别是继承了米制的合理部分,并发展了米制。由于国际单位制继承或采纳了其他单位制的精华,所以,它一问世,即受到广泛的欢迎和接受。加之它是在已有 200 年历史的米制的基础上发展和完善,因而,短短三十几年的时间就已为全世界广泛接受。

1.3 国际单位制的构成

国际单位制是一套完整的体系,它由 SI 单位和 SI 单位的倍数单位组成。其中 SI 单位分为 SI 基本单位和 SI 导出单位两大部分。SI 导出单位又分为具有专门名称的 SI 导出单位、SI 辅助单位以及各种组合形式的导出单位(见图 1-1)。

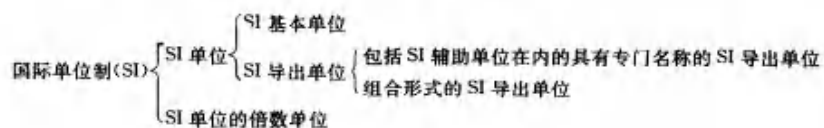


图 1-1 国际单位制构成示意图

在实际应用中,基本单位、导出单位以及它们的倍数是单独或交叉或混合或组合使用的。因而,构成了可以覆盖整个科学技术领域的计量单位体系。下面分别介绍国际单位制的

基本组成部分。

1.3.1 SI 单位

SI 单位由 SI 基本单位和 SI 导出单位组成,它们是国际单位制的主体。SI 单位都是一贯性单位,即:各个单位的定义方程式中的比例系数一律均为 1。这种一贯单位制可以使表明物理规律的方程具有最简单的形式。

a. SI 基本单位

SI 基本单位共有七个,见表 1-1。它们分别是相互独立的最重要的七个基本物理量(长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度)的单位。它们是从科学实验中总结出来的,反映了当前科学技术发展的水平,具有较高的精度并易于复现。

表 1-1 SI 基本单位

量 名 称	SI 单位		量 名 称	SI 单位	
	名 称	符 号		名 称	符 号
长 度	米	m	热力学温度	开[尔文]	K
质 量	千克	kg	物质的量	摩[尔]	mol
时 间	秒	s	发光强度	坎[德拉]	cd
电 流	安[培]	A			

这七个基本单位的定义^[5]是:

- 1) 长度单位米是光在真空中于(1/299 792 458) s 时间间隔内所经路径的长度。
- 2) 质量单位千克等于国际千克原器的质量。
- 3) 时间单位是铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 9 192 631 770 个周期的持续时间。
- 4) 电流单位安[培]的定义是在真空中,截面积可忽略的两根相距 1 m 的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时,若导线间相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} N,则在每根导线中的电流为 1 A。
- 5) 热力学温度单位开[尔文]是水三相点热力学温度的 1/273.16。
- 6) 物质的量的单位摩[尔]的定义是:摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与 0.012 kg 碳-12 的原子数目相等。在使用摩尔时,基本单元应予指明,可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合。
- 7) 发光强度单位坎[德拉]是一光源在给定方向上的发光强度。该光源发出频率为 540×10^{12} Hz 的单色辐射,且在此方向上的辐射强度为(1/683) W/sr。

上述七个 SI 基本单位是所有 SI 单位的基础。

b. SI 导出单位

SI 导出单位是通过系数为 1 的单位定义方程式,由 SI 基本单位导出,并且由它们表示的单位。也就是说 SI 导出单位是借助于乘和除的数学符号,通过代数式用基本单位表示的单位。表 1-2 给出了一些例子。

表 1-2 SI 导出单位用 SI 基本单位的表现形式的例子

量名称	用 SI 基本单位的表示式	量名称	用 SI 基本单位的表示式
速度	$m \cdot s^{-1}$	电容率	$m^{-1} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
能	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	摩尔嫡	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$

为了使用上的方便和习惯,给某些导出单位以专门名称。在国际单位制中具有专门名称的 SI 导出单位共有 21 个,详见表 1-3。

表 1-3 具有专门名称的 SI 导出单位(包括辅助单位)

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示式例
[平面]角	弧度	rad	
立体角	球面度	sr	
频率	赫[兹]	Hz	s^{-1}
力	牛[顿]	N	$kg \cdot m/s^2$
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2
能[量],功,热量	焦[耳]	J	$N \cdot m$
功率,辐[射能]通量	瓦[特]	W	J/s
电荷[量]	库[仑]	C	$A \cdot s$
电压,电动势,电位	伏[特]	V	W/A
电容	法[拉]	F	C/A
电阻	欧[姆]	Ω	V/A
电导	西[门子]	S	A/V
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$V \cdot s$
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m^2
电感	亨[利]	H	Wb/A
摄氏温度	摄氏度	C	K
光通量	流[明]	lm	$cd \cdot sr$
[光]照度	勒[克斯]	lx	lm/m^2
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	s^{-1}
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	J/kg
剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg

确定具有专门名称的导出单位主要有三个方面的原因:

1) 这些单位频繁而大量地使用,用 SI 基本单位表示比较复杂。

例如,电压单位伏特,如果用基本单位表示应为: $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$,用专门名称的导出单位仅用伏特 V 即可代替。

2) 区别具有相同量纲、相同单位表达式的不同物理量。例如赫兹 Hz 和贝可勒尔 Bq 的基本单位的表示式都是 s^{-1} ,吸收剂量戈瑞 Gy 和剂量当量希沃特 Sv 都是 $m^2 \cdot s^{-2}$ 。这些量仅用基本单位表示不便区分,而用专门名称则很容易区分开来。

3) 在实际应用中,一些物理量的量值传递和量值溯源,在很多情况下并不与基本单位发生直接的联系。例如电压、电阻等。许多工程参量都是以专门名称的计量单位表示的。

除了具有专门名称的导出单位,在实际生活和生产中,还大量使用从基本单位和专门名

称导出单位导出或(和)组合、演变而来的导出单位。全部导出单位大致可分为4类:

- 1) 用SI基本单位表示的导出单位;
- 2) 具有专门名称的导出单位(包括辅助单位);
- 3) 用具有专门名称的导出单位表示的导出单位;
- 4) 上述三类单位组合而成的单位。

c. SI辅助单位

SI辅助单位有两个。它们是平面角单位弧度rad和立体角单位球面度sr。之所以称为辅助单位是因为它们在单位属性上的二重性。从一方面看,这两个单位是纯几何量的单位,它们在许多场合起着和长度米m相似的作用,是重要而独立的单位。例如在光照度单位勒克斯 $\text{lx}(\text{m}^{-2} \cdot \text{cd} \cdot \text{sr})$ 中,球面度sr是一个独立而具体的单位,在这里是当作基本单位用的。从另一方面看,它们是长度单位的导出单位。

长期以来,关于辅助单位的归类一直未有定论,最近一些年来,国际上较多的人倾向于将弧度和球面度归为导出单位。在1980年CIPM决定,把弧度和球面度作为无量纲的导出单位。在1992年版量和单位国际标准ISO 1000中已有反映,我国国家标准也相应作了变动。GB 3100-93中将它们归为具有专门名称的导出单位一类。详见表1-3。

1.3.2 SI单位的倍数单位

SI单位的倍数单位包括十进倍数单位和十进分数单位。它们是SI词头加上SI单位构成的。SI单位的倍数单位的使用使得国际单位制可以适应各种不同场合和用途对量值大小的表述。

a. SI词头

SI词头用于表示各种不同大小的因数。SI词头是一个系列,由20个词头组成,每个词头都代表一个因数,具有特定的名称和符号。详见表1-4。20个词头中因数从 10^3 到 10^{-3} 是十进位的,即 $10^2(\text{h}), 10^1(\text{da}), 10^{-1}(\text{d}), 10^{-2}(\text{c})$,其他是千进位。

表 1-4 SI词头

名称	符号	代表的因数	名称	符号	代表的因数	名称	符号	代表的因数
尧[它]	Y	10^{24}	千	k	10^3	纳[诺]	n	10^{-9}
泽[它]	Z	10^{21}	百	h	10^2	皮[可]	p	10^{-12}
艾[可萨]	E	10^{18}	十	da	10^1	飞[母托]	f	10^{-15}
拍[它]	P	10^{15}	分	d	10^{-1}	阿[托]	a	10^{-18}
太[拉]	T	10^{12}	厘	c	10^{-2}	仄[普托]	z	10^{-21}
吉[咖]	G	10^9	毫	m	10^{-3}	幺[科托]	y	10^{-24}
兆	M	10^6	微	μ	10^{-6}			

SI词头和SI单位构成SI单位的倍数单位,因而,SI词头是SI单位的倍数单位的一部分。它们既不是独立的数也不是单位本身,而是分别代表10的不同指数的大小。所以它们不能单独使用,只有加在单位符号之前才有意义,而且不能使用重叠的词头。例如,把词头k加在基本单位m的前面构成km,km代表 10^3m ;词头M加在米m的前面构成Mm,但不能构成kkm。km和Mm都是m这个SI基本单位的倍数单位。千克kg由于已带有词头,因此,质量的十进倍数和分数单位用SI词头加在单位克g前构成,例如Mg不能写成kkg。

b. 由 SI 词头构成的 SI 单位的倍数单位

SI 单位加上 SI 词头后,就不再称为 SI 单位,而称为 SI 单位的倍数单位或称为 SI 单位的十进倍数或分数单位。原则上讲,任何 SI 词头都可以与任何 SI 单位构成十进倍数和分数单位,(C 不得加 SI 词头,是个唯一的例外),但为了统一和照顾到习惯,使得各学科领域表示量值的方法相同,GB 3100—93 的附录给出了 SI 单位的十进倍数和分数单位以及可并用的某些其他单位示例。为了直观和理解方便,本宣贯资料从 GB 3100 的附录中摘出了 11 个最常见的量的 SI 单位的十进倍数单位和分数单位,详见表 1-5。

表 1-5 SI 单位的倍数单位的示例

量	SI 单位	SI 单位的倍数单位的选择	CIPM 承认的 SI 以外的单位	
			单 位	倍数单位
[平面]角	rad(弧度)	mrad μ rad	°(度) '(分) "(秒)	
长度	m(米)	km cm mm μ m nm pm fm		
面积	m ²	km ² hm ² dm ² cm ² mm ²		
体积	m ³	dm ³ cm ³ mm ³	L, (l) (升), 1 L = 10 ⁻³ m ³ = 1 dm ³	hL cL mL
时间	s(秒)	ks ms μ s ns	d(天) h(小时) min(分)	

续表 1-5

量	SI 单位	SI 单位的倍数单位的选择	CIPM 承认的 SI 以外的单位	
			单 位	倍数单位
频率	Hz(赫兹)	THz GHz MHz kHz		
质量	kg(千克)	Mg g mg μg	t(吨)	
力	N(牛顿)	MN kN mN μN		
压力,压强	Pa(帕斯卡)	GPa MPa kPa hPa μPa		
功率	W(瓦特)	GW MW kW mW μW		
电流	A(安培)	kA mA μA nA pA		

以上是构成国际单位制的几个基本组成部分。即 7 个基本单位、21 个具有专门名称的导出单位(包括辅助单位)、20 个词头。所有国际单位制的单位都由它们组合而成。

1.3.3 制外单位

从理论上讲,国际单位制可以覆盖科学技术的所有领域,取代所有其他单位制的单位。但在实际应用中,由于历史原因或在某些领域的重要作用,一些国际单位制以外的单位还难

以被完全取代或废除。因此,国际计量大会在公布国际单位制的同时,还确定了一些允许与 SI 并用的单位。这些单位分为与 SI 并用或与 SI 暂时并用的两大类。

a. 与 SI 并用的单位

与 SI 并用的非 SI 的单位,详见表 1-6。其中时间单位日、时、分,平面角单位度、[角]分、[角]秒,体积单位升,质量单位吨等属于应用范围很广泛的单位。质量单位的原子质量单位,能的单位电子伏等则属于在某些领域具有重要作用的一些单位。

表 1-6 与国际单位制并用的单位

单位名称	单位符号	用 SI 单位表示的值
分	min	1 min = 60 s
[小]时	h	1 h = 60 min = 3 600 s
日,(天)	d	1 d = 24 h = 86 400 s
度	°	1° = (π/180) rad
[角]分	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad
[角]秒	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
升	L, (l)	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
吨	t	1 t = 10 ³ kg
电子伏	eV	1 eV ≈ 1.602 177 × 10 ⁻¹⁹ J
原子质量单位	u	1 u ≈ 1 660 540 × 10 ⁻²⁷ kg

上述 10 个单位中,日、时、分和度、分、秒都是非十进制单位。由于它们定义的量均以圆周作为参照坐标,所以以 6 的倍数进位在实用中更方便一些。升和吨则是两个在日常生活和工程技术实际应用中比较适度的习惯单位,例如使用 dm³ 和 Mg 在一些场合中不如用 L 和 t 显得方便。但 1964 年第 12 届 CGPM 决议 6,推荐不要用升表示准确的体积测量结果。其余两个单位 eV 和 u 用 SI 单位表示的值须由实验得出。

b. 暂时保留与国际单位制并用的单位

考虑到一些国家以及某些领域或某些范围内计量单位使用的现状,国际计量委员会给出了一些可以暂时保留的非 SI 的单位,见表 1-7。这些单位主要是考虑历史和习惯的原因而保留的,今后应逐渐减少它们的使用,直至完全不用。至今尚未使用这些单位的地方不应再使用。

表 1-7 暂时保留与国际单位制并用的单位

单位名称	单位符号	用 SI 单位表示的值
海里	n mile	1 n mile = 1 852 m
节	kn	1 kn = 1 n mile/h = (1 852/3 600) m/s
埃	Å	1 Å = 0.1 nm = 10 ⁻¹⁰ m
公亩	a	1 a = 1 dam ² = 10 ² m ²
公顷	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
靶恩	b	1 b = 100 fm ² = 10 ⁻²⁸ m ²
巴	bar	1 bar = 0.1 MPa = 10 ⁵ Pa
伽	Gal	1 Gal = 1 cm/s ² = 10 ⁻² m/s ²
居里	Ci	1 Ci = 3.7 × 10 ¹⁰ Bq

续表 1-7

单位名称	单位符号	用 SI 单位表示的值
伦琴	R	1 R = 2.58×10^{-4} C/kg
拉德	rad	1 rad = 1 cGy = 10^{-2} Gy
雷姆	rem	1 rem = 1 cSv = 10^{-2} Sv

国际计量委员会在给出与国际单位制并用的和暂时并用的非 SI 的单位的的同时,还给出具有专门名称的 CGS(厘米克秒)制单位和建议一般不用的单位。我国国家标准 GB 3100—93 未收入这些内容。

1.4 我国法定计量单位与国际单位制的关系

我国法定计量单位是建立在国际单位制基础上的计量制度。国际单位制是我国法定计量单位的主体,所有国际单位制的单位都是我国法定计量单位。SI 基本单位、导出单位、倍数单位都是法定计量单位的组成部分。根据《中华人民共和国计量法》规定:“国家采用国际单位制”,国际单位制如有变化,我国法定计量单位将随之变化。

国际标准 ISO 1000《SI 单位及其倍数单位和一些其他单位的应用推荐》是对国际单位制的具体描述,而国家标准 GB 3100—93《国际单位制及其应用》则是以国际单位制为基础的国家法定计量单位的表述形式。因而,GB 3100 和 ISO 1000 在国际单位制构成的表述上是完全相同的。所不同的方面是非国际单位制的单位。我国法定计量单位未照搬 ISO 1000 和 CIPM 出版的《国际单位制》(第 6 版)(1991 年)的关于制外单位的内容,而是根据我国实际情况选择了 16 个可与国际单位制并用的非 SI 的单位,作为我国法定计量单位的一部分,详见表 1-8。

表 1-8 国家选定的作为法定计量单位的非 SI 的单位^[5]

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	1 min = 60 s
	[小]时	h	1 h = 60 min = 3 600 s
	日,(天)	d	1 d = 24 h = 86 400 s
[平面]角	[角]秒	"	1" = $(\pi/648 000)$ rad
	[角]分	'	1' = 60" = $(\pi/10 800)$ rad
	度	°	1° = 60' = $(\pi/180)$ rad
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min = $(1/60)$ s ⁻¹
长度	海里	n mile	1 n mile = 1 852 m (只用于航程)
质量	吨	t	1 t = 10 ³ kg
	原子质量单位	u	1 u ≈ 1.660 540 × 10 ⁻²⁷ kg
体积	升	L, (l)	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
能	电子伏	eV	1 eV ≈ 1.602 177 × 10 ⁻¹⁹ J
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m = 1 g/km
面积	公顷	hm ²	1 hm ² = 10 000 m ²
速度	节	kn	1 kn = 1 n mile/h = (1 852/3 600) m/s (只用于航行)

从表1-8中可见,除了国际单位制的主体以外,我国法定计量单位还选取了与国际单位制并用的10个单位、暂时并用的3个单位(其中“公顷”的符号有所改变)。另外,根据我国具体情况和实际需要,从科技和工业生产活动中常用的计量单位选取了“转每分”、“分贝”、“特[克斯]”3个单位。

总之,对于法定计量单位我们应这样认识:

- a. 法定计量单位是在我国境内规定使用的计量单位制度,各行各业都要严格遵守,正确使用。
- b. 法定计量单位包括了全部的国际单位制单位,因而它与国际单位制是等同的。
- c. 国家选定的作为法定计量单位的非SI的单位,是法定计量单位的重要组成部分,它们具有同国际单位制单位同样的地位。
- d. 在国际标准或有关国际组织出版物中列出的非国际单位制单位(选入我国法定计量单位的除外),不得使用。在特殊领域、特殊场合下需要使用时,应遵照有关规定执行。

1.5 计量单位的使用方法^[6]

国际标准ISO 1000不但规定了国际单位制的构成,也规定了国际单位制的使用方法。GB 3100—93则对国际单位制在中国的使用方法作了规范,它与国际标准的规定基本一致。

1.5.1 单位名称

a. 计量单位的名称除特别说明外,一般指计量单位的中文名称,用于叙述性文字和口述中。所有计量单位应使用表1-1~表1-8中所列的名称。名称中去掉方括号中的部分是单位的简称,否则是全称。简称和全称可任意选用,以表达清楚明了为原则。例如:“发电量20亿千瓦特小时”或“20亿千瓦时”均可。

b. 组合单位的名称与其符号表示的顺序一致。如果组合单位的两个或数个符号是相乘关系,则按顺序依次读出或写出其各个单位的名称,如其中有除号,则在遇到除号时读出“每”字。例如,速度单位m/s,读作米每秒。除号下面或后面有一个以上的单位时,仍只读一个“每”字。如摩尔熵 $\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ 或J/(mol·K),读作焦耳每摩尔开尔文。规定此规则,目的是使读说写计量单位的顺序都一样,避免了书写的顺序和读说的不相同。例如米每秒,m/s。根据这个规则,米和m,每和“/”,秒和s,一一对应,先后顺序也完全一致。只要根据单位的字母符号及其顺序就可以写出其名称。

c. 乘方形式的单位名称,其读或写的顺序与1.5.1b相反。即尽管乘方符号列于单位符号之后,但读或写时应置于单位名称之前。例如,m⁴,其名称应为“四次方米”而非“米四次方”。这样做的目的是使乘方形式和非乘方形式的单位符号有所区别。

d. 当长度单位米的二次方或三次方表示面积或体积单位时,相应的单位名称应为平方米和立方米。这是乘方形式的单位名称中的一个特例。

e. 书写组合单位名称时,不加任何除了“每”字以外的图形、数字或文字符号。例如,密度单位kg/m³的名称为“千克每立方米”而不是“千克/立方米”或“千克·(立方米)⁻¹”等。

1.5.2 单位符号

使用规则

1) 计量单位的符号分为单位符号(国际通用符号)和单位的中文符号。在一般情况下,推荐使用单位符号,因为单位符号在国际上通用,并且简单明了。

2) 单位符号可以用于一切表示量值的场合。如公式、图表、产品铭牌以及各种文字中。例如: $V=20\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 12\text{ mm}$;去年钢产量500t等。

3) 中文符号是为了便于对科学技术和文化知识要求不高的场合正确使用计量单位而规定的。中文符号是单位名称的简称。GB 3100—93中表1~表5给出了各单位的简称。中文符号的特点是便于文化程度不高的中文使用者掌握,因为只要知道其单位名称便可方便地联想出其中文符号。缺点是书写复杂,并且在国内一些少数民族地区以及在国际上不通用,在公式、图表中使用不方便也不美观。因此,规定它们只用于通俗性的读物或场合中。

4) 单位符号只能使用GB 3100表1~表5给出的符号,单位符号没有复数形式,不得附加任何其他标记或符号。例如,不得写出 $\rho=5\text{ kg/m}^3_{\text{容}}$ 或 $G=50\text{ kgs}$ 的字样,如果有需要特殊标注的内容,可标在量符号上或专门用文字说明。例如,在标准状态下的密度 $\rho=5\text{ kg/m}^3$ 或 $\rho_{\text{容}}=5\text{ kg/m}^3$ 。这里的道理很简单:计量单位已有其确定的意义,在其符号上的标注,并不是对计量单位的说明,而是对量符号或状态的说明。

b. 书写规则

1) 单位符号的书写规定要用正体,量的符号用斜体,两者不可混淆。除了以人名定名的或个别专门规定的单位外,单位符号的第一个字母一律用英文小写字母。在有限字体的情况下(如电报、电传等),应根据ISO 2955的规定表示单位符号。

2) 组合单位的符号是两个或两个以上单位符号用乘和(或)除的形式组成的。但并非所有数学运算的乘或除的表达式都可以使用。GB 3100—93规定:相乘方式构成的组合单位的符号只有两种基本形式,相除构成的组合单位的符号有三种基本形式。即:

相乘形式例子:牛顿米 $\text{N}\cdot\text{m}$, Nm

相除形式例子:米每秒 m/s , $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

在具体使用中三点需要注意:

i) 通过相除构成的组合单位,还可以采取与负指数单位相乘的形式,如 kgm^{-3} 。但应尽量用前面的三种形式,因为某些单位的符号容易发生误解。例如:速度单位“米每秒”的符号用 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或 m/s ,而不宜用 ms^{-1} ,以免误解为“每毫秒”。

ii) 分子无量纲而分母有量纲的组合单位,即分子为1的组合单位的符号,一般不用分子式而用负数幂的形式。例如:波数单位的符号是 m^{-1} ,一般不用 $1/\text{m}$ 。

iii) 在用斜线表示相除时,单位符号的分子和分母都与斜线处于同一行内。当分母中包含两个以上单位符号时,整个分母一般应加圆括号。在一个组合单位的符号中,除加括号避免混淆外,斜线不得多于一条。例如:热导率单位的符号是 $\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$,而不是 $\text{W}/\text{K}\cdot\text{m}$ 或 $\text{W}/\text{K}/\text{m}$ 。

3) 组合单位的中文符号的表示形式与单位符号基本相同,但仅是相乘构成的组合单位的中文符号形式为两个单位符号之间加居中圆点一种。如牛·米。

4) 除万和亿之外,像十、百、千、十万、百万、千万、十亿、百亿、千亿等都不得放在单位符号之前作为数值使用。按新标准和数字用法的规定,旋转频率的量值为3千秒⁻¹的“3千秒⁻¹”,是3ks⁻¹的中文符号表示法,读作“三每千秒”,不应理解成“3000每秒”。对于“3000s⁻¹”用中文符号表示,只能写为“3000秒⁻¹”。同理,体积的量值为2千米³的“2千米³”,是2km³的中文符号表示法,读作“二立方千米”,不应理解成“2000立方米”。对于“2000m³”,用中文符号表示,只能写为“2000米³”。

1.6 有关 GB 3100—86修订的说明

GB 3100—93《国际单位制及其应用》是在GB 3100—86的基础上修订的。93版标准较之86版标准修订的主要方面有:

1.6.1 内容的修订

a. 主题内容与适用范围

根据GB/T 1.1—1993,GB 3100—86中引言的主要部分以GB 3100—93的“主题内容与适用范围”代替,并将原内容在文字上作了修改,使其更准确明了。

93版标准等效采用ISO 1000:1992《SI单位及其倍数单位和一些其他单位的应用推荐》,参照采用国际计量局《国际单位制(SI)》(1988年第五版),而86版标准在采用国际标准一项中对应的是ISO 1000—1981和《国际单位制(SI)》(1981年版)。

b. 国际单位制的构成

ISO 1000:1992将SI辅助单位不再单独列出^[4],而将其列在具有专门名称的SI导出单位和SI辅助单位一项中。据此,93版标准在国际单位制的构成的示意图和表2中作了表述。辅助单位的归类一直是争议不决的问题。原国际标准一直将辅助单位与基本单位和导出单位并列,经多年讨论,ISO 1000:1992将原辅助单位与导出单位归为一类,名为“包括辅助单位的导出单位”。93版标准将86版标准中“它们既可以作为基本单位使用,又可以作为导出单位使用”改为“弧度和球面度称为SI辅助单位,它们是具有专门名称和符号的量纲一的量的导出单位”。从定义上比较明确地确定了这两个单位的性质,但从类型上仍称它们为辅助单位。

国际单位制的构成示意图中去掉了“SI词头”一项。根据国际单位制的组成,SI单位的倍数单位中包括了SI词头的概念,并且,SI词头不能单独使用,故不宜与SI单位和SI的倍数单位并列。

c. 词头

根据IUPAC的提议,国际计量大会决定增加四个词头以适应各方面的需要。93版标准中新的词头的名称和符号分别为仄[普托]z(10⁻²¹)、幺[科托]y(10⁻²⁴)、泽[它]Z(10²¹)、尧[它]Y(10²⁴)。

d. 土地面积单位

“可与国际单位制单位并用的其他单位”中增加了土地面积单位“公顷”。根据国务院1990年底批准的国家技术监督局等三部门文件^[7],我国面积计量单位中增加“公顷”,其量值

为一万平方米。但其符号与国际计量大会公布的可暂时使用的“公顷”的符号 ha 不同,采用平方百米的符号 hm^2 。

e. 常量的量值

根据1992版国际标准,“可与SI并用的其他单位”中原子质量单位 u 和电子伏 eV 的量值分别由原来的 $1u \approx 1.6605655 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 和 $1eV \approx 1.6021892 \times 10^{-19} \text{ J}$ 改为 $1u \approx 1.660540 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 和 $1eV \approx 1.602177 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。

f. 其他修订内容

- 1) 表1“基本单位”的注4中删去“表示力的概念时,应称为重力”。
- 2) 3.2条“SI辅助单位”与3.3条“导出单位”合并,改为“SI导出单位”。
- 3) 表2和表3合并。其中SI导出单位以“用SI基本单位和导出单位表示”取代原标准中“用SI基本单位”和“用SI单位示例”的表示方法。
- 4) 增加“不应在组合单位中同时使用单位符号和中文符号”一条(93版标准6.1.5)。
- 5) 原“单位符号后不附加省略点,也无复数形式”改为“单位符号没有复数形式,符号上不得附加任何其他标记或符号”(93版标准6.1.3)。
- 6) 删去原表4(现表3)中的“吸收剂量指数”和“剂量当量指数”。

1.6.2 编排格式的改变

- a. 根据GB/T 1.1—1993的规定,对86版标准进行了标题、注释等的重新编排。
- b. 86版标准第3章“SI单位”中的“单位名称”和第5章“SI单位及其倍数单位的应用”中的“单位的中文符号”、“单位符号的使用规则”、“单位和词头符号的书写规则”,分别以“单位名称”和“单位符号”两章专门列出,使得标准条理清楚,便于查找和理解。

参 考 文 献

- 1 量和单位丛书——国际单位制及其应用. 北京:计量出版社,1983
- 2 国家技术监督局单位制办公室组编. 量和单位国家标准宣贯资料. 北京:科学技术文献出版社,1989
- 3 BIPM. The International System of Units (SI), 5th ed. BIPM, 1985
- 4 International Standard ISO 1000, ISO 31/0~31/13—1973 Geneva; ISO, 1973
- 5 中华人民共和国法定计量单位(表4). 国务院(国发[1984]28号附件), 1984. 见:国家计量局办公室编. 计量工作文件选编. 北京:中国计量出版社, 1987. 61
- 6 中华人民共和国法定计量单位使用方法. 国家计量局([84]量局制字180号), 1984. 见:同上. 71
- 7 International Standard ISO 1000; 1992. Geneva; ISO, 1992
- 8 国家技术监督局, 国家土地管理局, 农业部. 关于改革全国土地面积计量单位的通知. 技监局发[1990]660号, 1990. 见:量和单位, 1990(4): 1~2

2.9 数值

在表达一个标量时,总要用到数值和单位。可以说,标量的数值是该量与单位之比。即

$$\text{数值} = \frac{\text{标量}}{\text{所选用的单位}}$$

对于矢量或张量,它在坐标上的分量或者说它本身的大小,上式也是适用的。如某一量是复数量,对于其量的大小或只是表明其实数分量与虚数分量,也都是适用的。因此,可以说物理量中永远有数值的成分。在物理量中出现数值,我们总要联想到会有一个单位跟上以构成一个完整的量或其分量。特别是在两个量(相同量纲的量)的比值中,这更有意义。因为这样的比值与单位选择无关。例如:9.806 65 N 这个力的数值为9.806 65,但是只给出力的标量而不表示其方向。

量的数值在表格中以及在坐标图中是大量出现的。在表头上说明这些数值时,一是要表明数值表示什么量,此外还要表明用的是什麼单位。因此,标准上规定,数值可采用分数形式,以量的符号作为分子,以单位符号作为分母。例如: $\frac{l}{m}$ 或写成 l/m 。如果在一般打字机上没有斜体字母,或者不能区别出正体和斜体的情况时,就容易产生混淆,误认为长度与质量之比,或是升每米这样的单位。

本标准对于数的书写与印刷作了以下几条规定:

- a. 一般用正体印刷。
- b. 为了便于认读多位数字,可将数字分成组,即自小数点向左或(和)向右,每三位数留1/4个字的空隙,但不得用逗号、圆点或其他方式进行分隔。
- c. 小数点用齐线圆点表示。为了避免混淆,不得以居中圆点作为乘号用于数字之间,只能使用“×”作数的乘号。

2.10 我国法定计量单位的构成原则

我国的法定计量单位与其他大多数国家的法定计量单位一样,都是以SI为基础。但在法令的内容、形式和非SI的单位的采用等方面却有自己的特色。其主要特点是:简单明了、完善具体、留有余地。在构成原则上可归纳为:

- a. 完整地、系统地包含了国际单位制(SI)

法定计量单位包括SI的基本单位、包括SI辅助单位在内的具有专门名称的SI导出单位和SI单位的十进倍数和分数单位三部分。这样,SI的单位在我国的法定计量单位中就系统地、完整地体现出来了。但是,对于组合形式的单位一律未给出,只是指出可用上述三部分构成组合单位,这就显得灵活而实用。因为在不同的学科中不同的量有不同的组合单位,导出量很多,组合单位数量很大,不可能一一列举出来;况且,随着科学技术的不断进步,会出现新的组合单位。GB 3102.1~GB 3102.10、GB 3102.12、GB 3102.13列出了各基础学科的量 and 它们的SI单位。对于用SI词头与SI单位构成10进倍数和分数单位的方法,法令有具

体的规定,由此构成的组合单位同样是法定计量单位。使用时可根据规则和习惯,从实用出发构成所需的单位。

b. 对于易变化的内容不包含在法令中

我国的法定计量单位都是国际上通用的单位,它们的定义有国际上的统一规定。这些单位的定义随着科学技术的发展不断地在变化。例如,长度的单位米、时间的单位秒、体积的单位升等。因此,在法令中规定有关单位的定义由国家主管部门另行颁布。这样做就为将来可能出现的定义的更新提供了方便。

c. 国际上有争议的单位以及在专门领域中目前暂时使用的单位未被列入

对于非 SI 的但可以与 SI 并用的单位,在国际计量局《国际单位制(SI)》中只列出10个。这10个单位无例外地为各国所接受,它们是:时间单位日(或天)、[小]时、分,平面角单位度、分、秒,质量单位吨、原子质量单位,能量单位电子伏,体积单位升。另外又列出12个暂时并用的单位。在我国,这12个单位有的使用较广,有的比较陌生。我国的法令只列入海里、节和公顷。其中,公顷是这次新增加的,但公顷的符号是采用国际单位制的平方百米的符号 hm^2 ,而不是国际上推荐的 ha。因为,ha 中的 a 代表公亩,而在我国土地面积计量单位系列中并没有公亩这一单位及符号。还有一些其他单位,尽管有少数国家纳入法定计量单位,但大多数国家不主张使用的,我国均未列入。

d. 留有余地

国务院在《全面推行我国法定计量单位的意见》中指出“个别科学技术领域中,如有特殊需要,可使用某些非法定计量单位,但必须与有关国际组织规定的名称、符号相一致。”这里考虑到不同技术领域的不同进展的实际情况,如国际上尚未废除,我国先行废除未必适当。例如,在国际天文联合会目前还使用“天文单位”、“秒差距”、“光年”等大距离单位下,我国的天文界要废除这些单位也是不现实的。保留这一灵活性就不致于造成非法定计量单位的泛滥,因为一些国际科技组织在采用 SI 方面实际上是很积极的。

e. 照顾了目前国内的某些习惯

在我国法定计量单位中保留了“公斤”和“公里”两个名称,它们分别作为“千克”和“千米”的同义语和俗称。从 SI 的构成及米制基本原则来说,这两个名称都是不恰当的。但是,它们已极广泛地深入到各个方面。硬废除它们可能会使许多人在生活中感到不便,所以决定保留。

按照 SI 的原则,数词不应作为 SI 词头。我国采用“毫、厘、百”等8个数词作为 SI 词头的名称,也是考虑到人们已有的习惯。

f. 非 SI 的单位与 SI 的单位可以构成组合形式的单位

这并不等于说可以随意地构成这类单位,应根据实用、需要、习惯来构成。例如:早已广泛使用的速度单位公里每小时(km/h),电能单位千瓦时($\text{kW}\cdot\text{h}$)都属于这一类。再如:电荷量单位安培小时($\text{A}\cdot\text{h}$)。

表 5-1

单位制	国际单位制		工程单位制	
	物理量	单位	物理量	单位
基本单位	长度	米(m)	长度	米(m)
	时间	秒(s)	时间	秒(s)
	质量	千克(kg)	力	千克力(kgf)
导出单位	力	牛顿(N)	质量	工程质量(kgf·s ² /m)

由表中可以明显地看出质量和力在两种单位制中的区别。这个问题是当前推行国际单位制中的一个重点,也是一个难点。在下面介绍本标准中的各物理量时,还要具体阐述。

5.4 主要力学量和单位的说明

本标准中一共列出了 43 个力学中最基本的物理量。在这里不能全部予以介绍。只是对其中一些主要的力学量给予扼要的说明。

5.4.1 质量及其单位

质量是衡量物质本身固有性质的一个基本物理量。根据需要有时分为惯性质量和引力质量。

所谓惯性质量,是从物体的惯性角度来说明质量。由牛顿第二定律 $F=ma$ 可以看出,如果以相同的力 F 作用在两个质量不同的物体上,其中一个获得较小的加速度 a ,则这个物体的质量 m 必然较大;另一个获得较大的加速度 a ,则这个物体的质量必然较小。加速度是描述物体运动状态的一个量,所以说获得较小加速度的物体,也就是质量较大的物体,保持原来运动状态的能力大;而获得较大加速度的物体,也就是质量较小的物体,保持原来运动状态的能力小。这种受力物体保持原来运动状态的能力,就是物体的惯性。质量大的物体惯性就大;质量小的物体惯性就小。所以说,质量是对物体惯性的度量。这也就是惯性质量名称的来源。

所谓引力质量,是从任何两个物体之间都有相互吸引力的角度来说明物体质量的。由万有引力定律

$$F=Gm_1m_2/r^2 \quad (5-1)$$

中可以看出,式中的两个质量 m_1 和 m_2 的大小,直接影响着引力 F 的大小。因此,可以说质量是用来衡量物体间相互吸引力的物理量。这也就是引力质量名称的由来。

无论是惯性质量,还是引力质量,对于同一个参考系统,物体质量的量值是相同的。所以,通常也就不加以区别了,统称为质量。通俗地解释质量,就是物体中所含物质的多少也可以了。

在标准中没有给出质量的定义,因为在物理学中质量一词不会与其它物理量混淆。至于说明物品好坏含义的“质量”不属于物理量范畴之内。另外,质量在国际单位制中是被选定的基本物理量,其单位是法定的基本单位。不需再用物理方程来推导。

质量的单位是千克,国际符号为kg,它等于国际千克原器的质量。国际千克原器保存在国际计量局。它是用铂铱合金制成的(90%铂、10%的铱)圆柱体,其直径和高均为39 mm。它是在1889年第一届国际计量大会上定为质量单位基准的。它曾先后采用过在4℃时1 dm³纯水;用铂制成的“档案千克”。直到第一届国际计量大会上才确定了国际千克原器为质量基准。它现在仍保存在国际计量局,作为国际质量单位的基准。特别应该指出的是,上面所说的档案千克当时是确定为重量的基准。正是由于这一历史原因,一个世纪以来使重量和质量以及其单位一直处在含混状态。在下面重量一节中还要进行详细的说明。

质量单位的中文名称,在标准中给出的是千克(公斤)。这样给出的目的是推荐使用千克,尽量少用以至不用公斤。之所以把公斤列入标准,又加上圆括号,一方面是照顾人们使用上的习惯,另一方面希望人们改变这一习惯。“公斤”一词的由来是,把我国特有的“市制”与国际上通用的米制对应起的名称。实际上国际上不称“公制”而称“米制”。质量单位在我国的市制单位中,除了斤以外还有担、两、钱、分等。如果普遍采用公斤,势必出现与市制对应的公担、公两、公钱、公分等质量单位的名称(在云南商业计量中已出现公两、公钱)。这些单位名称在国际上得不到公认,无法在国际通用。就是在国内也不符合我国公布的《中华人民共和国法定计量单位》的规定。目前在中药、中医界执行国家标准比较彻底,由旧的市制(16两一斤)直接过渡到用千克(kg)、克(g)等作为质量单位。中间也没有用新市制(10两一斤),也没出现公两、公钱、公分等单位名称。由此可以看出,质量单位普遍采用千克(kg),逐步废除公斤名称既有必要又有可能。

质量单位千克(kg)在国际单位制中,是一个特殊的基本单位。从书写的表面上看千(k)是单位制中的词头,克(g)是质量的基本单位。实际上不能这样理解。质量的基本单位是千克(kg),而克(g)是千克(kg)的分数单位。这一特例有它的历史因素,对于这一不完善的单位名称和符号目前也不好再改动了。希望在使用千克(kg)、克(g)时要特别注意。

在标准正文中还列出了一个与质量基本单位千克(kg)并用的单位——吨(t)。这是人们使用的非常习惯的、又有实用价值的、在国际上得到公认的质量单位。1 t = 1 000 kg。

在标准的附录中还列出了一些其它质量单位。一般情况下是禁止使用的,列出的目的是供查找资料时参考和数值换算。

为了下面说明的需要,在这里有必要提一下工程单位制中的质量单位。在工程单位制中质量不是基本物理量,其单位也不是基本单位,而是导出单位。它是由牛顿第二定律

$$m = F/a \quad (5-2)$$

推导出来的。当用1 kgf的力作用在物体上,使该物体产生1 m/s²的加速度时,该物体的质量定为一个质量单位。其单位名称为“工程质量”,没有专用符号表示这个单位名称。它的单位表达式为

$$[m] = \frac{1 \text{ kgf}}{1 \text{ m/s}^2} = 1 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m} \quad (5-3)$$

工程单位制中的质量单位“工程质量”与国际单位制中的质量单位千克(kg)的数值换算为:1 工程质量 = 9.806 65 kg。(这里不作详细的推算了)。在实际工程技术上很少用它来作质量单位,而是用国际单位制中的千克(kg)、吨(t)等质量单位。由此产生了不少麻烦。下面介绍重量时再作详细说明。

5.4.2 力及其单位

力及其单位在力学系统中是极其重要的一个物理量。所以要给予着重的说明。

5.4.2.1 力的定义

力的物理概念,在不同的范围、不同的教科书和不同的资料中,有各种不同的解释。诸如,物体之间的相互作用;改变物体运动状态的因素;物体的质量与其加速度的乘积;物体的动量对时间的变化率,等等。第一种说法比较通俗,是直观地解释了力这一物理概念。比较容易接受。第二种说法是把作用在物体上的力与其物体的运动状态(加速度)联系在一起,物体之所以能够改变运动状态,就是因为物体上有力的作用。第三种说法是第二种说法的具体化、公式化,也就是物理学上的著名的牛顿第二定律:

$$F=ma \quad (5-4)$$

式中: F ——作用在物体上的力;

m ——物体的质量;

a ——物体所获得的加速度。

最后一种说法是把力的定义更广义化了,把物体的质量也当作变量来考虑。因为当物体运动的速度接近光速或超过光速时,其物体的质量就不再是一常量了,所以用动量对时间的变化率

$$F=d(mv)/dt \quad (5-5)$$

来描述力的概念就更全面了。标准中就是给出的这个定义。如果物体的运动速度比较低,质量就是一个常量,上式就演变为牛顿第二定律。通常情况下都是用牛顿第二定律来描述力这一物理概念的。

5.4.2.2 力的单位

在国际单位制中,力的单位是导出单位。推导单位的原则是一贯性原则,也称系数为1的原则。遵照这一原则,利用物理学上的定律,就可以把单位导出来。首先,找出一个包括力的物理方程式,如 $F=ma$,再按量算法或量代数表示:

$$\{F\}[F]=\{m\}[m] \cdot \{a\}[a] \quad (5-6)$$

抽出其中的数字方程式和方程式中的系数(此方程的系数为1),剩余的就是力的单位方程

$$[F]=[m][a] \quad (5-7)$$

在国际单位制中,质量单位是千克(kg),加速度单位是米每二次方秒(m/s^2),代入上式,得

$$[F]=kg \cdot m/s^2 \quad (5-8)$$

这就是力的单位,称为千克米每二次方秒。

也可以用系数为1的原则来确定力的单位。仍用牛顿第二定律,使质量为1 kg的物体产生 $1 m/s^2$ 的加速度所需要的力,定为1个力的单位,即

$$[F]=1 kg \times 1 m/s^2=1 kg \cdot m/s^2 \quad (5-9)$$

其单位的系数为1,符合一贯性的原则。在标准中力的单位就是这样定义的。

力的单位是一个常用的重要单位。给予一个专门名称是必要的。国际计量大会决定用科学家牛顿(Newton)的名字作为力的单位的名称,国际符号为N,就是用符号N代表力的单位 $kg \cdot m/s^2$ 。