

分析化学中的 量和单位

张铁垣 编著



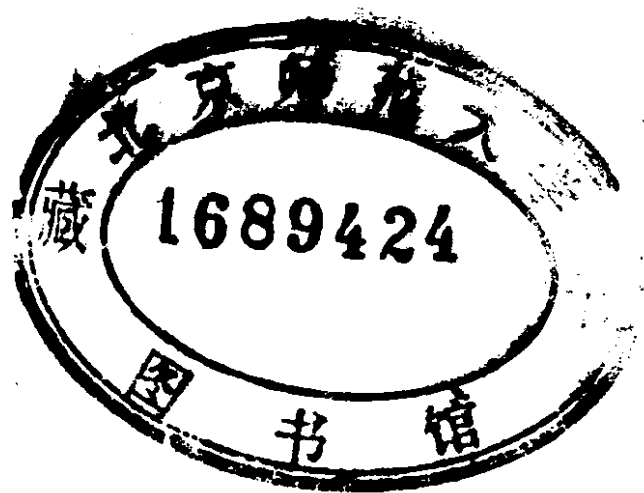
中国标准出版社

分析化学中的量和单位

张铁垣 编著

刘天和 审定

JY1151/32



中国标准出版社

(京)新登字 023 号

图书在版编目(CIP)数据

分析化学中的量和单位/张铁垣编著. —北京:中国标准出版社, 1995. 3

ISBN 7-5066-1000-0

I. 分… II. 张… III. 分析化学-化学计量学-单位制-中国 IV. ①TB912②065

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 06791 号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码: 100045

电 话: 8522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 $\frac{1}{8}$ 字数 162 千字

1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月第一次印刷

*

印数 1—3 000 定价 9.00 元

*

标 目 247—25

前 言

自 1984 年国务院发布在我国统一实行法定计量单位的命令以来,经过几年的努力,已经取得很大成绩,全国各行业已基本完成了向法定计量单位的过渡。但实际发展并不平衡。例如,本应率先使用法定计量单位的教育、科研部门,情况就不如人意。由于对必须使用法定计量单位不够重视,对量和单位的国家标准不熟悉,因此,至今在新出版的教科书、科技论文及图书中,新旧单位混用,新旧概念不分,不严格,不规范,甚至错误地使用计量单位的现象,仍屡见不鲜。

在学习、宣贯法定计量单位的过程中,笔者曾编写了《分析化学中的法定计量单位》一书(水利电力出版社,1987 年),以供化学分析工作者参考。但近几年来,随着科学技术的发展,ISO 国际标准和我国的国家标准,都已进行了修订。因此,根据最新标准和“全国化学量和单位学术研讨会纪要”(1991 年 10 月),并结合几年来使用法定计量单位中实际存在的问题,重新编写了这本《分析化学中的量和单位》。

本书同步采用了有关量和单位最新 ISO 国际标准(1991 年版)和国家标准(1993 年修订本)的规定,引用国际上已经推荐的最新量值,增加了内容,扩大了适用范围。但针对目前需要,且因限于篇幅,全书重点仍在化学分析方面。

全书共分 7 章。第 1、2 章,详细地介绍了我国法定计量单位的结构、定义、量和单位的一般原则、使用方法等;第 3、4、5 章,不仅详细地讨论了读者最为关心、最易混淆和出错的几个量和单位,而且增写了等物质的量规则等新内容;第 6 章讨论了水质分析、仪器分析中常见的几个问题;第 7 章则专门介绍关于测量值的表示、修约、运算等问题。

本书的特点是,结合分析化学专业,针对目前存在的主要问题,就如何正确贯彻使用法定计量单位,作了详尽的讨论和阐述。为有利于理

解,各章都结合实例,对常见的易犯的错误,进行具体分析、比较和说明。

本书可供科学技术、文教卫生、工农业生产等领域从事化学专业,尤其是分析化学专业的人员使用。

在编写过程中,得到了北京理工大学刘天和教授的指导和支持,并审定了全书稿,特此致谢。

由于编者水平有限,不足之处,敬请广大读者批评指正。

张铁垣

1993年12月

绪 言

1984年2月,国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,并颁布了《中华人民共和国法定计量单位》。这是一件大事,是进一步统一我国计量制度的一个重要决策,关系到我国的经济建设、科学技术及文化教育的发展和国际交流等各个方面,涉及到各行各业各个部门,与每个人都密切相关。

计量单位的统一,是科学技术和经济发展的必然规律。对此,世界各国历来都十分重视。我国历史上就有很多统一“度、量、衡”的记载。现在,各国则更把统一计量制度作为基本国策,有的还载入了国家宪法。

计量单位本身也不是一成不变的。它要随着科学技术的发展不断改进、完善。作为时代的计量单位制,应能反映相应时代的社会生产和科学技术发展水平。

国际单位制(SI)是现代最先进的计量单位制,它集中了世界各国的研究成果和经验,反映了当代基本科学技术发展的水平,是国际上共同的计量语言,已为世界各国普遍承认和广泛采用。

国际单位制是在米制基础上建立和发展起来的。大约在200年以前,不同的国家,甚至同一国家内的不同城市或地区,使用的计量单位往往不同。为了统一、规范计量单位,1875年在巴黎召开了一次国际性会议,由17个国家的代表共同签署了米制公约^①,并设立了国际计量局(BIPM),以保证世界范围内量和单位的统一。

为了保证在世界范围内量和单位的统一,国际上建立了一整套专门负责研究、实施、推广量和单位的机构。国际计量大会(CGPM)是最高权力机构,它领导国际计量委员会(CIPM)。CIPM监督国际计量局

^① 至1985年,公约成员国已发展到47个。我国也是米制公约成员国之一。

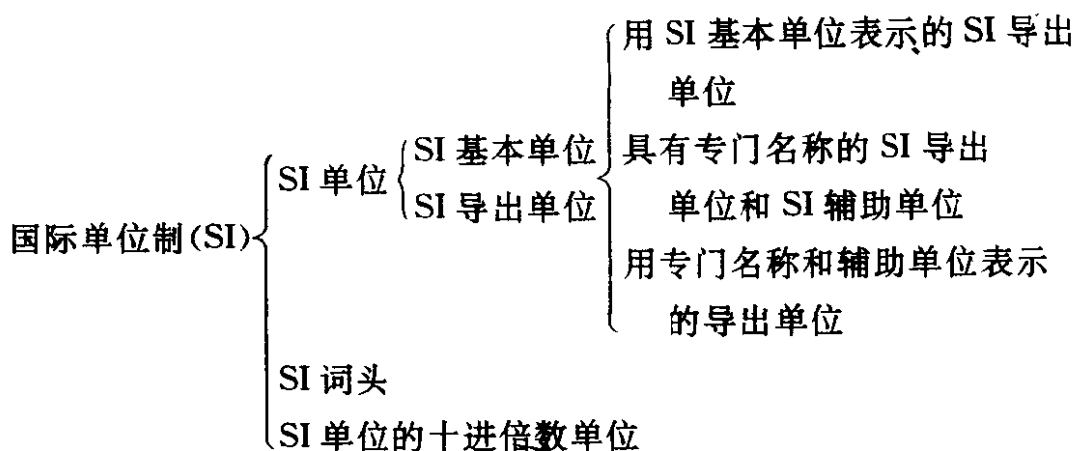
(BIPM)的工作。为便于工作,国际计量局又下设了一些咨询委员会。

国际计量大会由米制公约成员国的代表组成,负责议定必要的措施,并督促实施,以保证米制的现代形式——国际单位制的普及和改进,批准新的基本测量学的测量结果等。

国际单位制从提出到建立,直至发展为目的的形式,前后经历了23年。1948年第9届CGPM作出决议,责成国际计量委员会为建立一种所有米制公约国都能接受的实用计量单位制进行准备工作:正式征询所有国家科学技术和教育界的意见,并提出建议。1954年第10届CGPM作出决定,用6个量的单位为基本单位,构成上届大会所要求建立的实用计量单位制。1960年第11届CGPM决议,把以上述6个基本单位为基础的单位制称为“国际单位制”,国际单位制的国际符号为SI(SI是法文Le Système International d'Unités的缩写)。1971年第14届CGPM又为物质的量定义了一个单位——摩尔,并将该单位作为SI基本单位。至此,就建立了以7个物理量为基本量及与之对应的7个基本单位为基础的国际单位制的现代形式(见1.2)。这7个单位不仅能满足各学科所需单位的要求,而且能使各学科之间的单位得以统一。

国际单位制(SI)自建立以后,随着科学发展的需要和测量技术的提高,以后历届国际计量大会又对国际单位制中单位的名称、定义、符号等,进行过多次修正,以使其更科学、更严格、更能反映当代科学技术的发展水平。例如,仅对长度单位米的定义就修改了三次;SI词头经过三次补充已由1960年提出的12个增加到20个(1991年第19届CGPM);国际计量局编辑出版的《国际单位制(SI)》,到1985年已是第5版;由国际标准化组织(ISO)制定的关于量和单位的国际标准,1991年已在进行第3版的修订等。

国际单位制(SI)的构成形式如下:



注意：“国际单位制”的国际符号虽为“SI”，但“SI 单位”和“国际单位制单位”却是两个概念——SI 单位只指 SI 基本单位和由这些单位按一贯性原则导出的 SI 导出单位；国际单位制单位则除此之外，还包括 SI 单位的十进倍数和分数单位。

由此可见，SI 集中了世界各国计量研究的最新成果和经验，具有统一性、科学性、简明性、继承性等优点，是当代最先进的计量单位制，适用于国际关系、科学、教学等各个领域。

正因如此，SI 已愈来愈受到世界各国的关注。SI 化已成为世界趋势。现在，世界上已经有 80 多个国家决定采用 SI，或向 SI 过渡。许多国家已将 SI 作为本国的法定计量单位或国家标准。就连英、美等根深蒂固地使用英制单位系统的国家，也已经作出决定，要分阶段、限期向 SI 推进。

我国政府历来就十分重视计量制度的统一，以顺应世界趋势。我国的法定计量单位，就是以国际单位制为基础的，国际单位制的单位，都是我国的法定单位。

为了统一我国的计量制度，我国政府多年来作了许多努力。

1959 年，国务院发布了《关于统一计量制度的命令》，确定了米制为我国的基本计量制度。

1963 年，当国际单位制(SI)公布后不久，我国就开始了推行 SI 的准备工作。

1977 年，颁布了《中华人民共和国计量管理条例(试行)》，明确规定在我国逐步采用 SI。

1981 年，国务院批准了中国国际单位制推行委员会制定的《中华

人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》。

1982年,国家标准局批准并陆续发布了有关量和单位的15项国家标准 GB 3100、GB 3101、GB 3102.1~3102.13。

为了贯彻对外实行开放、对内搞活经济的政策,适应我国国民经济、文化教育事业发展的需要,推进科学技术进步、扩大国际经济、文化交流,国务院决定在采用先进的SI基础上,进一步统一我国的计量单位。于1984年2月27日发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,并颁布了《中华人民共和国法定计量单位》,批准了国家计量局《关于全面推行我国法定计量单位的意见》的请示报告。

1985年9月6日,第六届人大常委会通过了《中华人民共和国计量法》,进一步以法律形式规定:“国家采用国际单位制,国际单位制单位和国家选定的其它计量单位,为国家法定计量单位”,“非国家法定计量单位应当废除”。

为了能在实际应用中严格、准确地实行法定计量单位,国家计量局又分别于1984年6月9日发布了《中华人民共和国法定计量单位使用方法》,1986年10月29日,公布了《中华人民共和国法定计量单位定义》。有关量和单位的15项国家标准,也先后于1986年和1993年进行了两次修订。

自从关于统一实行法定计量单位的命令发布以后,引起了国内外的广泛反响。国际上,有的国家评论说:“这是中国进行四化建设采用的有效措施”。在国内,则掀起了推行法定计量单位的高潮。仅在1984年内,全国就有半数以上的部、委、局举办了学习班和专题报告会,各部门各地区都转发了国务院的命令,以多种形式开展了法定计量单位的宣贯工作。

经过几年的努力,全国各行业已按照国务院命令的规定,基本完成了向法定计量单位的过渡。但是,宣贯工作仍存在有不平衡现象。例如,本应率先使用法定计量单位的文化教育、科学研究等部门,由于旧习惯、对SI不熟悉或者不重视,在应用法定计量单位时,仍有混乱、错误等现象。因此,仍需继续提高使用法定计量单位的意识,严格、准确地按照国家标准的规定,认真使用法定计量单位。

目 录

1 我国的法定计量单位	1
1.1 我国法定计量单位的构成和特点	1
1.2 SI 基本单位	2
1.3 具有专门名称的 SI 导出单位和 SI 辅助单位	5
1.4 国家选定的非国际单位制单位	5
1.5 SI 词头	6
2 量和单位的一般原则	17
2.1 量和量算法	17
2.2 量和量纲	22
2.3 量方程和数值方程	24
2.4 量及其符号的使用规则	28
2.5 单位名称及其符号的使用规则	30
2.6 SI 词头的使用规则	32
2.7 常见错误举例	34
3 物质的量、摩尔、摩尔质量	37
3.1 物质的量	37
3.2 摩尔	41
3.3 摩尔质量	45
3.4 摩尔、摩尔质量、物质的量与旧的量和单位的比较	48
3.5 常见错误举例	56
4 表示混合物组成的量和单位	60
4.1 混合物和溶液	60
4.2 表示混合物组成的量和单位	61
4.3 用“分数”表示的量和单位	62
4.4 用“比”表示的量和单位	64
4.5 应注意的几个问题	65
4.6 用“浓度”表示的量和单位	67
4.7 表示溶液组成的量之间的换算	72

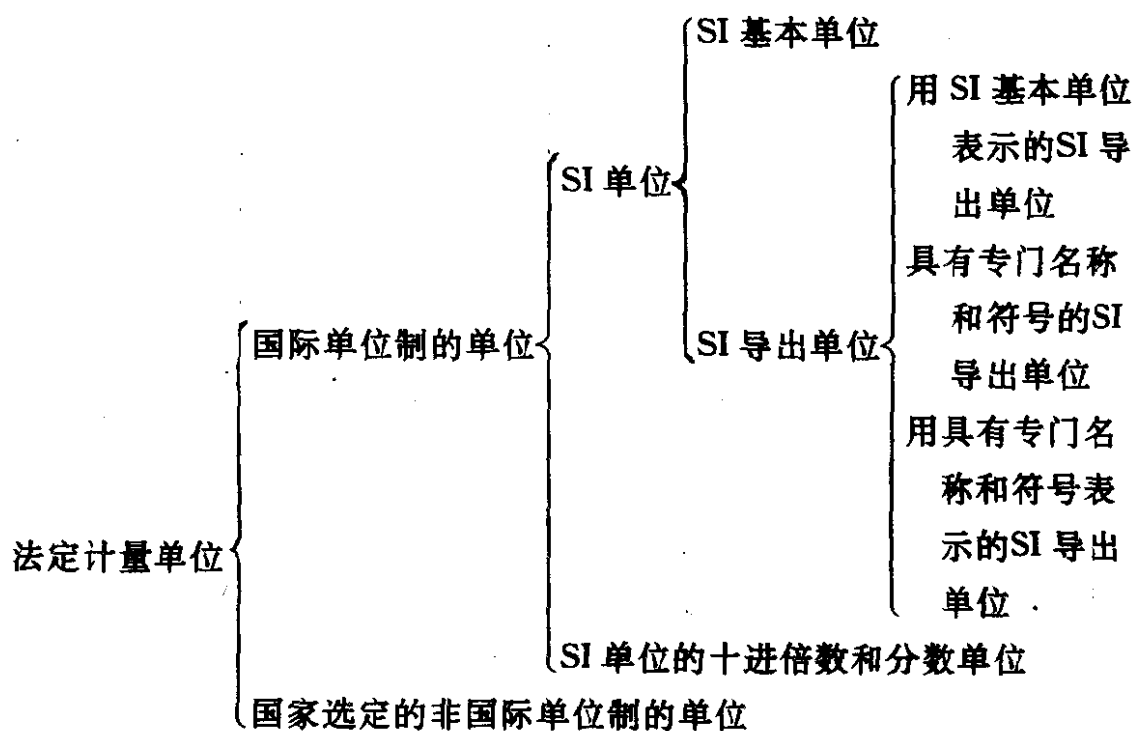
4.8	常见错误举例	77
5	等物质的量规则及其应用	80
5.1	等物质的量规则	80
5.2	等物质的量规则与当量定律	88
5.3	等物质的量规则在滴定分析中的应用	92
5.4	容易混淆的几个问题	106
6	分析化学中与法定计量单位有关的其他问题	111
6.1	水质分析结果的表示问题	111
6.2	光度分析法中的一些问题	121
6.3	电化学分析法中的一些问题	124
6.4	关于 pH	128
6.5	关于图表的标注方法	129
7	数	131
7.1	数和数学符号	131
7.2	有效数字	134
7.3	有效数字运算规则	137
7.4	正确应用有效数字及其运算规则	142
7.5	书写数值、量值时常犯的错误	146
附录 1	分析化学中常用单位与应废除单位对照表	148
附录 2	化学中的其他符号和约定	163
附录 3	相对原子质量表	165
附录 4	有机化合物中常见元素同位素丰度表	171
附录 5	常用物理常数	173
附录 6	希腊字母	174
附录 7	某些常用单位的换算	175
参考文献		180
索引		181

1 我国的法定计量单位

法定计量单位,是指国家以法令形式规定,在全国强制使用或允许使用的计量单位。

1.1 我国法定计量单位的构成和特点

国务院颁布的《中华人民共和国法定计量单位》^{〔1〕},包括 6 项内容(见附录 2),其构成系统如下:



由此可见,我国的法定计量单位具有以下特点:

(1) 我国的法定计量单位,是以国际单位制为基础,并结合我国实际情况构成的。即我国的法定计量单位除包括一切属于国际单位制的单位外,还包括一些由国家选定的非国际单位制的单位。

(2) 《中华人民共和国法定计量单位》只给出单位的名称、符号,至于单位的定义、使用方法等,则明确指出:“由国家计量局另行规定”。

这有两方面的原因:一是由于我国的法定计量单位,全部都是国际

上通用多年、都已经有了国际计量大会规定的定义^[7],没有必要再以法令形式规定其定义了;另一方面,计量单位的定义应能反映时代的科学技术发展水平,即单位的定义必然会随着科学技术的发展而变化。例如,仅 7 个 SI 基本单位及其定义,自 1960 年建立国际单位制以来,前后已修改过 6 次^[7]。这种变化的可能性,今后也会存在的。所以,如果以法令的形式规定单位的定义,遇到需要修正时,势必要由发布命令的政府机构重新发布命令,不利于及时反映国际动态。

(3) 对于组合单位,只规定“由以上单位构成的组合形式的单位”都属于法定单位,而不规定具体组合形式。这是因为科学技术中用到的组合单位数不胜数,不可能、也没有必要对它们一一都作具体规定。实际应用中可以根据需要,按实用和习惯去组合。这样做,既有充分的灵活性,又使法令条文大大简化。

(4) 国家选定的 15 个非国际单位制单位,其中有 10 个是国际计量大会认可、允许与 SI 并用的单位;另外 5 个单位,虽然国际计量大会未予认可,但都是各国普遍采用的单位(详见 1.4)。对于有些国际上尚有争议、或只为部分国家采用的单位,我国都未选作法定单位。

这样的选择有利于国际交流。

(5) 适当考虑了我国人民的习惯。例如,我国的法定计量单位中规定,“公斤”是千克的同义语,“公里”是千米的俗称,即把公斤、公里都作为法定单位的名称,可与千克、千米等同使用,这本是不符合国际单位制构成原则的(按照这个原则,一个物理量只能有一个 SI 单位)^[7]。但考虑到我国人民生活中的习惯,为减少不必要的麻烦,这两个习惯用的名称都予以保留。

1.2 SI 基本单位

首先说明下列几个术语。

计量单位:计量单位是量的单位,一般简称为单位。所谓单位,就是在同一类量中约定采用的一个特定量,用以定量表示具有相同量纲的量。

基本单位:由于科学技术不断发展,学科领域不断增多,涉及的单

位的数量、种类极其繁多。为了实用方便,有利于交流,就需要尽可能少地选择一些单位为基础,它们具有独立的定义,并能按照各种量间的关系构成其它单位。这些人为选定的,并作为构成其它单位基础的单位,就称为基本单位。

SI 基本单位:一个单位制中选取几个基本单位,是由该单位制的使用范围决定的。经历届国际计量大会选择、修正,选定了 7 个量的单位作为国际单位制的基本单位,并规定了它们的名称、符号和定义,称为 SI 基本单位,见表 1.1。

单位制:单位制是由计量单位组成的体系。一个单位制的使用范围,取决于它选定的基本单位的多少。国际单位制选定的 7 个基本单位,可用以研究当今的全部自然科学,满足一切科学技术领域所需单位的要求。

表 1.1 说明:

① 单位名称栏中,圆括号中的名称,是它前面名称的同义词。方括号中的字,在不致引起混淆、误解的情况下,可以省略。去掉方括号及其中的字,即为该单位的简称。无方括号的名称,简称与全称相同。

② 单位符号,是国际单位制的国际符号,也是我国的法定符号。符号的使用是强制性的。

③ 量的名称和符号,是 ISO 国际标准和我国国家标准规定的。

表 1.1 SI 基本单位

量		单 位		
名 称	符号	名 称	符号	定 义 ⁽²⁾
长 度 (length)	l	米 (metre)	m	米是光在真空中于 $1/299\,792\,458$ 秒时间间隔内所经路径的长度(1983 年第 17 届 CGPM)
质量 (mass)	m	千克,(公斤) (kilogram)	kg	千克是质量单位,等于国际千克原器的质量(1901 年第 3 届 CGPM)
时间(time)	t	秒 (second)	s	秒是铯-133 原子基态的两个超精细能级跃迁相对应的辐射的 $9\,192\,631\,770$ 个周期持续的时间(1967 年第 13 届 CGPM)
电 流 (electric current)	I	安[培] (ampere)	A	安培是电流的单位。在真空中,截面积可忽略的两根相距 1 米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} 牛顿,则每根导线中的电流为 1 安(1948 年第 9 届 CGPM)
热力学温度 (thermodynamic temperature)	T	开[尔文] (Kelvin)	K	热力学温度单位开尔文是水三相点热力学温度的 $1/273.16$ (1967 年第 13 届 CGPM)
物质的量 (amount of substance)	n	摩[尔] (mole)	mol	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 千克碳 12 的原子数目相等。 使用摩尔时,基本单元应予指明,可以是原子、分子、离子、电子及其它粒子,或是这些粒子的特定组合(1971 年第 14 届 CGPM)
发光强度 (luminous intensity)	I_v	坎[德拉] (candela)	cd	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} 赫的单色辐射,且在此方向上的辐射强度为 $(1/683)$ 瓦/球面度(1979 年第 16 届 CGPM)

1.3 具有专门名称的 SI 导出单位和 SI 辅助单位

SI 导出单位: SI 导出单位是给导出量定义的单位,即按照量与量之间的关系,由 SI 基本单位以相乘或(和)相除的形式构成的单位。

导出量:除了表 1.1 中所述的 7 个基本量以外,所有其它的量,都是导出量。导出量的量纲,由 7 个基本量的量纲按代数形式导出。

具有专门名称的 SI 导出单位:有些 SI 导出单位,经国际计量大会讨论通过,给予专门名称和符号,称为具有专门名称的 SI 导出单位。

SI 辅助单位:平面角的单位弧度和立体角的单位球面度,原属 SI 单位中的一类特殊单位,称为 SI 辅助单位。但自 1980 年以后,已将它们归入 SI 导出单位一类,它们是具有专门名称和符号的、无量纲的导出单位。当然,它们仍称为辅助单位。

这类单位共有 21 个,见表 1.2。

表 1.2 说明:

① 表中量的名称、符号、定义,一般是量和单位国家标准 GB 3102.1~3102.10—93 规定的。名称凡带 * 号的,与法令中规定的名称稍有不同,即全称与简称:去掉方括号时为全称;去掉方括号和其中的字时为简称。

② 量的定义,多用方程式表示,主要是为了识别,应将它看作为实用关系式,而不一定都是完全的正式定义。

③ 量的符号若有两个,如果两个符号间是用逗号隔开,则可以同等地使用这些符号;若其中一个符号是置于括号中,则它应作为第二位选用符号。

1.4 国家选定的非国际单位制单位

在非国际单位制单位中,被我国选作法定计量单位的只有 15 个(见表 1.3)。其中有 10 个,是国际计量大会认为可与 SI 并用、且已被所有国家承认的单位(表中前 10 个),只有 5 个是我国根据需要选定的法定单位(表 1.3 中最后 5 个)。

1.5 SI 词头

词头(prefix):也叫词冠、前缀,是西方文字中的一种构词成分。词头本身都有确定的含义,但它又不是一个词,不能单独使用。词头是用来加在某个词的前面,与它一起构成一个新词。

SI 词头(prefixes SI):国际单位制中的 SI 词头,是用来加在 SI 单位前面,以构成该单位的十进倍数或分数单位,使该量的数值处于 $0.1 \sim 1000$ 范围之内。

截至 1991 年,历届国际计量大会先后 4 次总共规定了 20 个 SI 词头,大会并规定了它们的名称和国际符号,见表 1.4。

SI 词头的中文名称,有 8 个(表示因数 $10^6 \sim 10^{-6}$)按照习惯使用了汉语数词,其余 12 个采用了音译。凡是采用数词作为译名的,使用时应注意与作为数词用语的区别。