

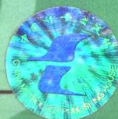
国际单位制及其换算

编著 李慎安 袁楠 尹兰凤



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



计划表

国际单位制及其换算

李慎安 袁楠 尹兰凤 编著

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

国际单位制及其换算/李慎安,袁楠,尹兰凤编著. —北京:中国计量出版社,2004.8

ISBN 7-5026-2008-7

I. 计… II. ①李…②袁…③尹… III. 计量单位—换算 IV. TB91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 062338 号

内 容 提 要

本书讨论了国际单位制与我国法定计量单位中的一般使用规则,重点介绍在计量单位换算中各种不同性质质量值的换算,及按国际上规定的用于表示量值可疑程度的不确定度评定方法来确定换算的程序及结果的表述方法。此外,提供了一般常用的换算关系。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

E-mail jilxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 32 开本 印张 4.25 字数 87 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

*

印数 1—3 000 定价:10.00 元

前 言

小小的地球村里所形成的民族倒不算太少。时至今日发展了一些不同语言。计量单位作为语言的组成部分也各式各样。与时俱进,“村民”间的交往,显得更为频繁和多样。在已形成双语言时代的今天,势已无足为怪,而早在19世纪,已出现统一计量单位的要求。在1876年,为数不算太少的国家签署了《米制公约》,是否就是今天双语言时代或进而为世界大同的端倪,姑妄雌黄。但应承认,这是“地球村”里最早、最有成效的合作范例之一。国际单位制于1960年顺时诞生,至今虽也是一挥间,却广泛为“村民”们所认可,不过要改变世世代代,祖祖辈辈留下来的积习,确非易事!哪都能像咱们的中医传统处方单位废钱改克呀!因此,在计量单位中,存在相当长的一段双语言时代,势所必然。君不见TV还在论“寸”,石油还在论“桶”!单位间的换算,长期持续,势亦不可避免。

今年是我国法定计量单位颁布20周年,看到有的城市还为此举行了纪念性的活动我才蓦然想起。比起“左邻右舍”,我国的计量单位改革20年的成果之大,应算首屈一指。旧制的斤、两也只存在于12语之中,但“亩”还不断出现在正式传媒,这也都不足为怪。大多数书刊等传媒使用的单位已与ISO等国际规范大体一致。但还有不少问题存在。

计量单位的换算,一般并不复杂。但涉及到一些较为特别的量值。例如:带有不确定度或相对不确定度的近似值,不同量制中,如电学、磁学中的量值;还有在化学领域中

既是量又是单位的一些旧概念等,就显得并不太简单。有鉴于此,邀请了两位 80 年代致力于这方面的老伙伴和朋友,写成此书,以飨读者。

李慎安

2004.06.05

目 录

1. 计量单位、单位制与国际单位制	(1)
1.1 有关术语及其概念	(1)
1.2 国际单位制概述、构成与特点	(13)
1.3 SI 单位及 SI 单位间的关系式	(24)
1.4 单位符号与名称规则	(25)
2. 我国法定计量单位	(31)
2.1 有关的现行法令与技术规范	(31)
2.2 法定计量单位的构成原则	(33)
2.3 非法定计量单位的问题	(35)
3. 量值的计量单位换算原则和方法	(37)
3.1 一般原则	(37)
3.2 准确值的单位换算	(39)
3.3 近似值的单位换算	(40)
3.4 完整测量结果的单位换算	(43)
3.5 换算中的数值方程与数值方程单位 换算	(49)
3.6 极限值的单位换算	(54)
3.7 带有公差值的换算	(55)
3.8 电、磁学不同量制中的单位换算	(58)

4. 单位间的换算关系与有关问题	(73)
4.1 时间、空间与周期现象	(73)
4.2 力学	(83)
4.3 热学	(90)
4.4 电学和磁学	(92)
4.5 光与电磁辐射	(94)
4.6 声学	(96)
4.7 化学、分子物理学	(98)
4.8 原子、核反应和电离辐射	(103)
5. 常见错误单位名称、符号	(106)
5.1 单位和词头名称	(106)
5.2 单位符号	(107)
6. 按单位符号和习惯简写字母顺序排列 的简化换算关系	(109)
7. 补充表格及说明	(116)
7.1 《国际单位制》第 7 版给出的表格与 说明	(116)
7.2 建议一般不用的单位及其换算关系	(120)
参考文献	(126)

1. 计量单位、单位制与国际单位制

1.1 有关术语及其概念

1.1.1 物理量、可测量(physical quantity; measurable quantity)

简称为“量”。现象、物体或物质可定性区别并定量确定的一种属性。既可指广义的,如:质量、电阻、物质的量浓度,称为广义量;也可指具有量值的给定的状态下的,如:水三相点的热力学温度、氢分子的摩尔质量,称为特定量。

量的特点:

a. 能表达为某个数与某单位之积,所谓定量表述;

b. 独立于单位,其表述可用不同单位,例如,某桌子长度既可以是1m,也可能是3尺或3.280 84 ft。此外,量的定义中,不得涉及单位,例如:频率不得定义为每秒中的次数;速度也不应定义为单位时间所经过的距离。像“时速”不能认为是个合乎逻辑的量。

c. 存在于某量制之中,如非基本量,则必能直接或间接地导自基本量。也就是,如有定义,只能由量来定义。例如:国际单位制中,电流是基本量,没有定义。不能定义为导体中通过的电量除以时间。而导出量电量则是定义为:电流对时间的积分。

d. 独立于测量程序,或者说与测量操作无关。例如:固体表面硬度,其量化的值是按操作定义的,不能称之为量,其量化的值亦非量值。

e. 一般来说,量是不能“计数”的而只是通过测量(比

较)给出其值的。但是,在物理现象中有一些是计数的现象被称之为量。例如:质子数 Z , 中子数 N , 核子数 A , 主量子数 n , 匝数 N , 相数 m 等。他们的 SI 单位是“1”。一些计数的量,其单位如:个、台、件、支、打、元等。并非计量单位而可称之为计数单位。

1.1.2 量值(value of a quantity)

一般由一个数值乘以计量单位所表示的量的大小。

当所表示的量为无量纲量时,从形式上看,就只是一个数而无单位。例如:氧的相对原子质量 $A_r(\text{O}) = 15.999\ 4$ 。在国际单位制中,无量纲量的 SI 单位都是“1”。

量值往往不能确切地表明是某种量,例如: 0°C ,是指温差 Δt 还是摄氏温度 t ? $5.6\ \text{A}$,是指电流 I 还是指磁通势 F_m ? 也就是说,仅用单位或单位与数字之积,往往未必能表明是什么量。

1.1.3 数值(numerical value)

在量值的表达中,用以与计量单位相乘的数字。随所选用的单位不同,数值相应地也不同。例如溶液中某组份的浓度 $c = 0.054\ \text{mol/L}$,也可以表达为 $c = 54\ \text{mmol/L}$ 。因而,在不少场合下,对量值只给出数值时,例如,在表格中,坐标图等,必须明确所用的计量单位。

规范化的数值表达有两种形式:

a. 量除以单位

设量 Q 的单位为 $[Q]$,则数值 $\{Q\}$

$$\{Q\} = Q/[Q]$$

例如:速度 v 用单位 km/h 给出之数值为: $v/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 或 $v/(\text{km/h})$ 。

b. 采用花括号,以单位作为下角标

例如: $\{v\}_{\text{km}\cdot\text{h}^{-1}}$ 为以 km/h 作为单位时,速度 v 的数值。

以上量的符号均可用量的名称代替,而单位符号亦可用中文符号代替,例如:

$\{\text{速度}\}_{\text{公里}\cdot\text{时}^{-1}}$;

速度/ $(\text{公里}\cdot\text{时}^{-1})$ 。

1.1.4 量方程(equation between quantities)

用于表述物理量之间的定量关系式。是物理方程的一种,独立于量的单位。用于定义某个量时,称为量的定义方程。一般用量的符号给出,但也往往在通俗性的叙述中用量的名称给出。例如:压力 p 与力 F 和面积 A 之间的量方程:

$$p = F/A;$$

或

压力 = 力/面积;

量方程可以有因数,例如:动能 E_k 与质量 m 、速度 v 之间的量方程

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

不论上述哪一种量方程,均独立于单位。因而,给出量方程时,不需要也不应该注明这些量是采用什么单位。其中的因数,也与单位无关。

1.1.5 量符号(symbol for quantity)

在叙述性文字和物理方程中,用以代替量名称的字母符号,一般为拉丁字母或希腊字母。既可以代表广义的量,也可以代表特定量,但恒为斜体字母。一般为一个字母,极

少数情况下为两个字母,例如特征数:雷诺数 Re 、傅里叶数 Fo 。

有时附上角标或下角标,例如:物质 B 的活度 λ_B ,物质 B 的标准活度 $\lambda_B^\ominus$ 。

有时在其上方有附加符号,例如:物质 B 的逸度 p_B 。

有时其下标不只一个,应有逗号隔开,例如摩尔定压热容 $C_{p,m}$ 。

下角标如为量的符号,仍为斜体,如为数字的符号,如 i, n, j, k 等规定为斜体,来源于文字说明者,为正体。在有关标准中,均按这些规则给出,例如:

气体热容 C_g ,下标 g 含义为气体;

标准重力加速度 g_n ,下标 n 含义为标准;

相对磁导率 μ_r ,下标 r 含义为相对;

面质量 ρ_A ,下标 A 含义为面积;

体积流量 q_V ,下标 V 含义为体积;

比定压热容 c_p ,下标 p 含义为压力。

第 i 个电阻 R_i ,下标 i 含义为序号。

1.1.6 数值方程(equation between numerical values)

量的数值间关系式,物理方程的一种。由于数值与单位有关,在给出数值方程时,必须明确所采用的单位。工程技术中的经验公式多属此类。由于只是数值关系,往往不能要求等号两边的量纲相同。而采用数值方程进行运算时,只能代入数值而不能代入单位。

数值方程中,如果单位出现变化,其方程的形式必将出现相应的变化,这一变化主要反映在其系数中。

规范化的数值方程,应采用规范的数值表示形式。例

如:按 1.1.3 节,速度 v 、距离 s 与时间 t 之间,如要求给出的速度用 km/h 作为单位的数值,而距离 s 的数值是按 m 给出,时间 t 的数值是按 s 给出的情况下,则数值方程为

$$\{v\}_{\text{km}\cdot\text{h}^{-1}} = 3.6\{s\}_{\text{m}}/\{t\}_{\text{s}}$$

或

$$\frac{v}{\text{km}\cdot\text{h}^{-1}} = 3.6 \frac{s/\text{m}}{t/\text{s}}$$

的确,上述的形式颇麻烦,以致虽 ISO 一直如此推荐,广泛被采用尚很渺茫,有的国家在标准中有一定程度的简化,例如:

$$\{v\} = 3.6\{s\}/\{t\}$$

式中: v 的单位用 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$;

s 的单位用 m ;

t 的单位用 s 。

推行的效果也不理想。

目前大量流行的数值方程形式,仍为例如:

$$v = 3.6s/t$$

式中: v ——速度, $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$;

s ——距离, m ;

t ——时间, s 。

只是易与量方程:

$$v = s/t$$

混淆。因而,在易导致混淆的情况下,应适当加以说明,可采用例如:

- 说明是数值方程;
- 说明不应代入量值而只是数值;
- 说明必须按规定的计量单位;
- 说明式中的符号只代表数值,等。

1.1.7 单位方程(equation between units)

计量单位间的定量关系式,物理方程的一种。只说明单位关系,但不表达为量的关系,例如:1 K = 1 °C 只是这两个单位之间的关系而决不能理解为热力学温度 T 与摄氏温度 t 之间的关系。

其他的单位方程例如:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ m} \cdot \text{kg} / \text{s}^2 = \text{Pa} \cdot \text{m}^2 = \text{W} \cdot \text{s} / \text{m};$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J} / \text{s} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} = \text{Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s};$$

$$1 \text{ yd} = 0.914 4 \text{ m};$$

$$1 \text{ 马力} = 0.735 5 \text{ kW} = 75 \text{ kgf} \cdot \text{m} / \text{s}.$$

1.1.8 量制(system of quantities)

存在确定关系的一组量,是给定的基本量以及由他们导出的量的集合。不同基本量的选择,构成不同量制。所谓一组量,可以只是某一学科内的一组,例如:力学、热学、电磁学等,也可以包括整个物理学。因此,有的量制只适用于有限的领域。例如:工程量制,以力,长度和时间作为基本量,只适用于力学领域。在电学、磁学领域,曾出现过多种量制,他们各选定了其基本量及其单位,导致一些量在不同量制中有不同定义方程。

1.1.9 基本量(base quantity)

量制中约定认为在函数关系上彼此独立的量,能导出该量制中全部其他量。由于他们不能用导出量构成定义方程而不存在定义。例如,国际单位制的基本量:物质的量 n ,不能定义为:

$$n = N / L$$

式中: n ——某基本单元物质的量;

N ——给定系统中某基本单元的粒子数;

L ——阿伏加德罗常量, 等于 $6.022\ 141\ 99 \times 10^{23}$
 mol^{-1} 。

因为这个定义式中的 L 为导出量, L 定义为

$$L = N/n$$

则是可以的。

1.1.10 导出量(derived quantity)

量制中由基本量的函数所定义的量。也就是量制中除基本量以外的其他量。导出量无例外地由基本量直接或间接地定义。

1.1.11 量纲(dimension of quantity)

也称为“量纲积”(dimensional product)。以量制中基本量的幂之积所表示的量的定性关系式。至于基本量的量纲则为其自身。计量学中, 对于量纲所用的符号, 规范化地为大写正体字母, 例如, 国际单位制所采用的量制中, 7 个基本量的符号分为: L 、 M 、 T 、 I 、 Θ 、 N 和 J 。他们分对应于 7 个基本量的量符号。某个量 Q 的量纲, 规范化的表示形式为: $\dim Q$, 所谓定性关系, 指表示了与哪些量有关, 正比还是反比, 是否还有是非一的幂。量纲来源于量方程, 由于只定性而不定量, 量纲中的因数恒为“1”, 而量方程中的因数则全不出现了, 例如在国际单位制中:

表 1-1 量的量纲例

量	量的定义方程	量 纲
速度 v	$v = dl/dt$	LT^{-1}
力 F	$F = m\ d\ l/dt^2$	$ML\ T^{-2}$

续表

量	量的定义方程	量 纲
动能 E_k	$E_k = \frac{1}{2} m v^2$	ML^2T^{-2}
势能 E_p	$E_p = mgh$	ML^2T^{-2}
能 E	$E = \frac{1}{2} m v^2 + mgh$	ML^2T^{-2}
相对密度 d	$d = \rho / \rho_0$	1

表内式中:

L —— 长度; g —— 重力加速度;
 t —— 时间; h —— 高度;
 m —— 质量; ρ —— 密度;
 v —— 速度; ρ_0 —— 参考密度。

相对密度 d 的量纲也可表示为:

$$\begin{aligned}\dim d &= M^3 L^3 M^{-3} L^{-3} \\ &= M^0 L^0\end{aligned}$$

国际单位制中,量 Q 的 $\dim Q$ 通式为:

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\epsilon} N^{\zeta} I^{\eta}$$

上式中的指数称“量纲指数”。当全部量纲指数都是零时,这个量称为“无量纲量”(dimensionless quantity)或“量纲一的量”(quantity of dimension one)。例如:线应变 ϵ 、动摩擦因数 μ 、品质因数 Q 、光视效率 V 、溶质 B 的活度 a_B 、质子数 Z 、相对分子质量 M_r 、平面角 θ 、立体角 Ω 等。

1.1.12 计量单位(unit of measurement)

简称“单位”,又称“测量单位”。约定定义和采用的特定量,其他同种量可与之相比较并以相对于他的值作为量值。有约定的名称、定义和符号。

这个特定量也可以是个物理常量,例如: eV, u, au。也可

以是某个单位的倍数,例如:500 g、25.4 mm。前者是我国市制中的“斤”,后者是英制中的“英寸(inch)”。

1.1.13 单位符号(symbol of a unit)

用于表示计量单位的约定符号。中国特指 1982 年 2 月 27 日《国务院关于在我国统一实行法定计量单位的命令》中所规定的符号,一般不十分严格地称为“国际符号”或“字母符号”以区别于用汉字构成的“中文符号”。其他国家的标准或法令中以及国际组织的文件中,对单位往往也都有规范化的符号,某些专门学科对所使用的单位,往往也有国际组织给定的符号或通用的尚未规范化的习惯符号。有关规则见 1.4 节。

1.1.14 单位制(system of units of measurement)

为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位。例如:国际单位制、厘米克秒制、英尺磅秒制等,其核心是:

- a. 基本单位的选定;
- b. 导出单位的确定规则;
- c. 倍数和分数单位的确定规则。

在同一个量制中,可能存在一个以上的单位制。

1.1.15 一贯单位制(coherent system of units)

全部导出单位都是一贯导出单位(coherent derived unit)的单位制。所谓一贯导出单位,是指通过因数为 1 的由基本单位幂的乘积所构成的导出单位。他们既可以直接按基本单位的幂积形式给出,也可以另有名称和符号。例如:国际单位制中速度的一贯导出单位为 m/s ,由两个基本单位相除

构成,没有其他名称;电荷量的一贯导出单位为 $A \cdot s$, 虽也是两个基本单位相乘构成,但有专门的名称库仑和符号 C。

$$1 \text{ C} = 1 A \cdot s$$

采用一贯导出单位的量值进入量方程运算时,具有最为简单的形式。因此,一些单位制中,都尽可能是一贯单位制以免引起运算时额外的、特殊的因数。国际单位制是一贯单位制。

例如:以厘米、克和秒作为基本单位的 CGS 制,是一贯单位制,其最常见的一贯导出单位为:

速度 v :	cm/s
加速度 a	$\text{cm/s}^2 = \text{Gal}$
体积 A	cm^3
力 F	$\text{dyn} = \text{g} \cdot \text{cm/s}^2$
能 E	$\text{erg} = \text{dyn} \cdot \text{cm}$
动力粘度 η	$\text{P} = \text{dyn} \cdot \text{s/cm}^2$
运动粘度 ν	$\text{St} = \text{cm}^2/\text{s}$
磁通量密度 B	$\text{Gs} = \text{cm}^{-1/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$
磁场强度 H	$\text{Oe} = \text{cm}^{1/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$
磁通量 ϕ	$\text{Mx} = \text{cm}^{3/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$
光亮度 L	$\text{sb} = \text{cd/cm}^2$
光照度 E	$\text{ph} = \text{cd} \cdot \text{sr/cm}^2$

1.1.16 主单位(primary unit)

同一物理量的若干单位(包括相互成为倍数和分数的单位)中,通过法令或约定,独立定义的单位。例如在英制的若干长度单位中,通过法令,把码(yd)定义为 $1 \text{ yd} = 4.9144 \text{ m}$ 后,其余的单位按 yd 来定义,则 yd 成为长度单位中的主单位,又如,中国 1959 年国务院发布的《关于统一计