

823/160

43926

量和单位丛书

7

袁楠编



电学和磁学的量和单位

量出版社

823/160

量和单位丛书(7)

电学和磁学的量和单位

袁楠编

计 量 出 版 社

1983·北京

量和单位丛书 (7)

电学和磁学的量和单位

袁 楠 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

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—*—

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 1 $\frac{1}{8}$

字数 24千字 印数 1—31 000

1983年5月第一版 1983年5月第一次印刷

统一书号 15210·277

定价 0.18 元

说 明

为了贯彻1981年7月14日经国务院批准的、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)》,“全国量和单位标准化技术委员会”提出了有关量和单位的15项国家标准(即GB3100, GB3101及GB 3102.1—13),并已于1982年5月至7月先后经国家标准局批准发布(1983年7月1日起实施)。我们现在组织上述国家标准的起草人员编写了这套《量和单位丛书》,供各有关科学研究、文化教育、新闻出版、国防建设、国内外贸易、工农业生产、经济管理及政府机关人员使用参考。

对本丛书的意见,请寄北京市邮政2112信箱SI办公室。

中国国际单位制推行委员会办公室

1982年11月

目 录

一、引言.....	(1)
二、标准的制定原则.....	(1)
三、有关量和单位的几点解释.....	(5)
四、关于 GB3102.5—82 附录的说明.....	(22)
附录 GB3102.5—82同ISO31/V (E), IEC-Publica- tion 27—1 量的名称和符号对照表	(26)

一、引言

国家标准 GB 3102.5—82 《电学和磁学的量和单位》已经发布,并决定自 1983 年 7 月 1 日起实施。与之配套的全套国家标准是 GB 3100—82, GB 3101—82 和 GB 3102.1—82 至 GB 3102.13—82,共 15 个。它们都贯彻了《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》(以下简称《方案》)和国家标准 GB 1.1—81《标准化工作导则 编写标准的一般规定》的有关规定。这套标准是科学技术中的基础性标准。今后,各项国家标准都要贯彻使用。另外,根据国家出版局和中国国际单位制推行委员会的有关要求,这 15 个国家标准在今后各出版物中也要予以贯彻。为了使标准化工作者、有关科技人员、管理干部、编辑人员、教育工作者等都能更好地理解 and 掌握使用 GB 3102.5—82,我们对该标准的制定情况及主要内容做一些必要的说明和解释,以供参考。

二、标准的制定原则

1. 积极采用国际标准

根据 1980 年 11 月全国量和单位标准化技术委员会的决定,GB 3102.5—82 与国际标准化组织(The International Organization for Standardization,简称 ISO)相应的国际标准 International Standard ISO 31/V—1979 相一致。根据我国的具体情况,本标准与 ISO 31/V—1979 也有少量非原则性的不同。凡是不同处,GB 3102.5—82 都用备注或其它形式做了说明。对于国际电工委员会(International Elec-

trotechnical Commission简称IEC) 相应的标准IEC Publication 27—1 也采取了同样的原则。

2. 尽可能与国内现有的国家标准协调一致

本标准中所用的计量单位名称、符号、定义等均遵照《方案》，但在本学科范围内，就更细致和更具体些。《方案》以国际单位制为基础，与 ISO 31/V—1979 在单位方面也保持了原则上的一致。

本标准的制定也遵照了国家标准 GB 1.1—81《标准化工作导则 编写标准的一般规定》。

关于物理量符号，我国已有国家标准 GB1434—78《物理量符号》，GB 1434—78 中的大部分与 ISO 31/V—1979, IEC-Publ. 27—1 一致，但也有少量不同。由于这一套(15个)国家标准将取代 GB 1434—78，因此本标准以采用国际标准为主。

对于现正在草拟的一些国家标准、大百科全书等国内有影响的文件、资料、书籍，本标准也尽量相互协调、相互参考补充，以求原则上一致。

3. 力求做到物理量概念统一

本标准力求逐步做到“一个物理量只有一个概念和定义、一个名称、一个符号、一个SI单位。其SI单位也只有一个名称、一个简称、一个国际符号、一个定义”。但是考虑到目前我国实际情况和人们的习惯，在物理量名称、符号方面，这次还并列了一些常用的名称和符号。不过，在概念方面则力求统一、防止产生歧义，以免出现混乱。在单位方面，则已基本上做到了统一（只有少数几个量有并用单位）。

4. 慎重对待人们的习惯

在取舍“量的名称”上，本标准对人们的使用习惯和现有的国家标准采取了慎重的态度。看来，现在就要统一所有

物理量的名称的条件还不够成熟。所以,尽管我们主观上想要做到名称统一,但还是并列了一些合理而通用的名称(在标准中,带圆括号的名称有多种含义,不一定是备用名称,以后将逐项说明)。因为倘若轻易地改变一个现在习惯使用的名称,将来发现不合适而又要改回来的话,就会增加许多不必要的混乱和损失,也降低了本标准的严肃性。在教学过程中,因说明问题的需要,还可以使用各种其它名称,但需说明本标准所列名称是我国的标准名称。

5. 积极推行四基本量的有理化方程系

我国推行四基本量有理化方程系(即推行 MKSA 制)已经几十年了。ISO 31/V—1979 也推荐使用此方程系。GB 3102.5—82 在引言中说明了这一观点。本标准未列入 ISO 31/V—1979 的附录 A——三量纲方程和量,只是为了使用者的方便而列了 ISO 31/V—1979 的附录 B——常用的三基本量高斯 CGS 方程系和四基本量有理化方程系对照表(ISO 31/V—1979 说明此两附录都不是国际标准的组成部分(integral part))。

在电磁学中使用三基本量单位制有很多困难,这是近百年来许多科学家研究后逐步得到的认识。例如在三基本量高斯 CGS 方程系中,真空介电常数 ϵ_0 和真空磁导率 μ_0 都取为无量纲的纯数 1。因此,根据电磁场理论推出的平面电磁波在真空中的传播速度 c (即 c_0) 的公式

$$c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$$

将得到 c 等于纯数 1。即

$$2.997\ 924\ 58 \times 10^{10} \text{ cm/s} = 1$$

因此 $1 \text{ s} = 2.997\ 924\ 58 \times 10^{10} \text{ cm}$

这是很难使人理解的。

为此,乔吉(G. Giorgi)在 1901 年就创议采用四基本单

位(即增加一个电学基本量)来解决这一困难。增加一个电学基本量还有很多直观的、逻辑上的道理。在电学范围内,电荷或电流具有类似于质量在力学中的那种基本性质。若认为电荷是力学的派生量,则很难被接受*。所以经过许多年的研究、发展和考验,现在多数人已认为四基本量单位制的优点较多。1938年IEC的第24技术委员会(Technical Committee 24, Electric and Magnetic Magnitudes and Units)在和国际计量大会(CGPM)的电学咨询委员会(CCE)、国际理论与应用物理协会(IUPAP)的符号、单位、命名委员会(SUN)协商后,决定采用四基本量。1950年IEC的TC24决定采用安培为第四基本单位。1960年CGPM通过国际单位制,ISO也推荐使用四基本量。所以,我们认为现在已没有必要让相当多不熟悉三基本量高斯CGS方程系的人再下功夫来熟悉它。当然,并不排除某些专门领域中在必要时可以使用三基本量高斯CGS方程系。

在《方案》附表9——暂时与国际单位制并用的单位中,列有麦克斯韦(Mx)、高斯(Gs、G)和奥斯特(Oe)3个磁学量单位。这3个单位,我国还在应用,为了和《方案》一致,所以本标准将它们列入附录A(补充件)。但这并不意味着可以广泛使用高斯方程系。

6. 保持基础性标准的性质

本标准只给出量的基本名称、符号和区别性定义,不考虑非线性、不均匀性、各向异性,等等。在这些情况下使用的符号可以用角标或其它方法来解决,定义则可参照本标准的定义加以补充,也可以在本标准所给名称的前后加附加词来得到所需要的新名称。

* 参看Sommerfeld: Theoretical Physics, Part II, Electrodynamics和王先冲教授编《电磁场选论讲义》。

这样处理是很必要的。因为实际情况千差万别，如果一考虑在内，必将使本标准变得非常庞杂，不利于统一化和标准化，也将使本标准失去基础标准的性质。

另外，在电磁学、电工技术中还常用到其它科技领域中的物理量，此时，应参考有关的国家标准，即其它的14项国家标准。由于这15项国家标准是一个整体，本标准一般不再列出它们。

三、有关量和单位的几点解释

作为国家标准，一经发布，全国各有关单位都要执行。因此，其内容的书写方法应简明、确切，以便正确理解和顺利执行。也正由于这一要求，对制定标准时的一些考虑、意图等就都不便列入。为了大家能更好地掌握 GB3102.5—82，这里对本标准的有关内容作一些必要的说明。

1. 标准的主要组成部分

标准的引言及所列的表格是主要内容。附录B是参考件。

表格中的“量”指的是物理量（有三项，即5—39.1至5—39.3是参量）。量的“定义”是区别性定义。从概念上来说，名称所指的物理量必须与此定义相符，因此它是定义性质的。但它并不完整，使用时，可以补充说明或按情况有所变化。单位的名称均按《方案》的规定。单位的定义是确切的定义。SI导出单位，往往可以有多种表达形式，本标准给出了各量所应该使用的SI单位及其名称。但在演算过程中，为了计算方便，可以使用其它与之等效的SI导出单位的表达形式。例如，电阻单位欧姆* (Ω) 的定义是

* 在标准中，有些量和单位的名称中加有方括号，去掉方括号时为名称的全称，去掉方括号及其中的字时为名称的简称，本书均取全称。

$$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$$

但是欧姆还有许多其它等效的表达式, 例如

$$\begin{aligned} 1 \Omega &= 1 \text{ S}^{-1} = 1 \text{ W/A}^2 = 1 \text{ V}^2/\text{W} = 1 \text{ Wb/C} = 1 \text{ s/F} \\ &= 1 \text{ H/s} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2} \end{aligned}$$

另外, 本标准只给出了量的 SI 单位。推荐使用的 SI 单位的倍数单位和分数单位, 可参阅 GB 3100—82《国际单位制及其应用》。

2. 关于按正弦规律变化的量

对于这些量, 我国习惯的表示法与 ISO 31/V—1979 的规定有些不同。

(1) 最大值的表示法

在 ISO 31/V—1979 中, 规定用小写字母加右下角标 m , 我国习惯则用大写字母加右下角标 m 。IEC Publ. 27—1 则规定可以有下列各种表示法: $\hat{x}$, $\hat{X}$, x_m , X_m (若大小写字母均使用时), 在 IEC Publ. 27—1A 中规定的是 x_m , $\hat{x}$ (若大小写字母均使用时), 但 IEC Publ. 27—1A 声明“没有改变 IEC Publ. 27—1 的意图。”GB 3102.5—82 则按我国习惯, 规定为大写字母加右下角标 m 。

(2) 相量 (phasor) 的表示法

在 ISO 31/V—1979 和 IEC Publ. 27—1 中都没有对相量表示法做出规定。我国习惯是在量的符号上方正中处加一圆点。GB 3102.5—82 对相量按我国这一习惯做了规定。

在 ISO 31/XI—1978《物理科学和技术中使用的数学符号》中, 规定在量的符号的上方正中加圆点表示是该量对时间 t 的一次微分。我国标准 GB 3102.11—82 中也有此规定, 但加了备注说明在电工技术中需参看 GB 3102.5—82。这样, GB 3102.11 和 GB 3102.5 就协调了。不过, 现在电工技术中也

渐渐有采用 ISO 31/XI—1978 规定的趋势，例如在状态变量、自动调节原理等方面，就将 $\dot{x}$ 表示 dx/dt ， $\ddot{x}$ 表示 d^2x/dt^2 ...

现在，国外有对相量不加任何特殊附加记号的趋向。但考虑到这样的改动变化太大，需要国内充分讨论后再郑重作出决定。实际上，目前 GB 3102.5—82 的规定，不过是承认现状，先统一在现状而已。

考虑到 GB 3102.5—82 和 ISO 31/V—1979 在相量规定上的差别，所以 GB 3102.5—82 用呼应注的形式将 ISO 和 IEC 的规定摘要列于本页下部。加此呼应注的意图是在于说明我国的国际交往文件、资料应考虑 ISO 的规定，并为 GB 3102.5 将来可能向国际趋向过渡做好准备。

(3) 在交流电技术中，按正弦规律变化的量，本标准规定以小写字母表示量的瞬时值，大写字母表示量的有效值。本标准所列表格中给出电流、电位差、电压和功率的符号都是大写字母 (I, U, P)，但在它们的备注中都指出在交流电技术中，用相应的小写字母 (i, u, p) 表示瞬时值(电动势与电位因为和电压在同一大项中，故也可以采用此规定，即 V, E 表示其有效值， v, e 表示其瞬时值)。但不能认为一切以大写字母为符号的物理量，当按正弦规律变化时，均应以小写字母表示其瞬时值。例如，磁通量密度 B 、磁通量 Φ 等即使按正弦规律变化，也不要用小写字母来表示它们的瞬时值。因大写字母和小写字母往往代表不同的物理量。例如 b 代表宽度， φ 代表相位差。它们经常会和磁通量密度 B 、磁通量 Φ 同时出现。所以，若随意推广上述规定的 应用范围，将会引起混乱。因此，需要慎重对待。

从本标准的附录 B (ISO 也有此附录) 也可以看出，不论物理量的值是变化的还是不变化的，其符号字母的大小写形式并不因此而改变。所以，除电流、电位差、电压、功

率、电位和电动势外，其它物理量均不要应用上述规定。

3. 关于具有矢量特征的物理量的符号

有许多物理量具有矢量特征，例如电场强度、磁场强度、电通量密度、磁通量密度，等等。本标准所给的符号均未使用矢量符号形式，只有在必要时（尤其是在定义式中）才使用矢量符号形式。因为本标准是基础标准，所以只给出物理量（具有基本意义时）的一般符号，但这并不意味着否定了这些物理量具有矢量的特征。在制定标准时考虑，如果在给出物理量符号时，突出它的矢量特征（即其符号用矢量形式——正上方加箭头或使用黑体字母），并不有利。因为有些场合，不需要突出矢量特征。例如，速度是一个矢量，但一般说火车速度为 80km/h ，指的是它瞬时速度的模。此时，并不特别强调它是一个矢量。在小学教学中，如果速度的符号也用矢量形式，则必然会带来极大困难。莫如在使用中，若需要强调其矢量特征时，就用矢量形式；若不需要时，就用一般形式。这样，灵活性较大，也符合大家的使用习惯。在 ISO 31/V—1979 中也是这样处理的。

4. 电流

对此量的名称，目前我国工程技术上通用“电流”，物理教科书中则常用“电流强度”。两者均指同一个物理量（物理教科书中“电流”指“电荷流动”这种现象，而不是指物理量）。本标准选用了“电流”。因为：

①电流是一个基本名称。常常需要在它的前面和后面加附加词来构成新的名称，例如变压器原边电流、电流密度，等等。所以该名称以字数少为宜。倘若规定此物理量的名称是“电流强度”，则“电流密度”的名称就应该是“电流强度密度”。这样的名称比较别扭，使用中一定会被淘汰。

②国家标准 GB1434—78《物理量符号》中规定的名称

是“电流”。

③工业部门广泛使用的名称是电流。改变他们的习惯需要慎重，因为这可能引起不必要的损失。例如若将电流表改称为电流强度表安装在配电盘上，则可能有人认为盘上没有电流表而凭经验进行操作，以致引起过电流事故。

④其它使用汉字的国家和地区（如日本），以及我国台湾省都使用“电流”这一名称。

本项未列出量的定义，因为电流的概念一般不会混淆，故无须给出区别性定义。

电流单位“安培”的定义是国际计量大会（CGPM）通过的，《方案》中已经列出，不能予以改变。此定义比较严谨，但也比较难懂。在讲解时，可以加以说明使之通俗化。只要说明是通俗的解释而又给了CGPM的定义，是应该不会引起误解的。

载有电流的长、直导线将产生以导线为中心线的同心圆柱形磁场（这是电流的磁效应），在磁场中的载流导线将受到电磁作用力。因此，两根平行的载流长、直导线A和B必然是A在B的磁场中、B又在A的磁场中，也必然有相互作用力。故“安培”定义的通俗讲解，可以考虑下述说法：

真空中，两根各通有1 A的平行长、直、细导线，每1 m长度的相互间作用力等于 2×10^{-7} N。

在此说法中，将无限长简化为“长”、将圆截面可忽略简化为“细”，文字顺序上变化了一下，使之更符合中文口语。但它并没有改变原定义的本质，只是不够严格而已。

两载流导线间作用力的方向可根据导线中电流的方向决定。两电流同方向时，有相互吸引的作用力；两电流不同（或者说是相反的）方向时，有相互排斥的作用力。

安培的复现方法

根据CGPM的安培定义，现在是用电流天平，即用测量载流导线间作用力的方法复现安培*。

电流天平**的基本工作原理是用砝码的重力平衡载流线圈间的作用力，从而确定电流的量值。下面以常用的埃顿-琼斯天平为例，略加说明。

从理论上可以推导出真空中两个载流回路间的作用力是

$$F_x = \frac{dW}{dx} = II' \frac{dM}{dx}$$

$$M = \mu_0 \int_s \int_{s'} \frac{\vec{ds} \cdot \vec{ds}'}{4\pi r}$$

式中 F_x 是任一方向 x 上的作用力， W 是系统的电磁能， M 是两个回路 s 和 s' 间的互感， $\vec{ds}$ ， $\vec{ds}'$ 是相距 r 的两个回路的向量元，圆点表示是标量积， μ_0 是真空磁导率，规定取为 $4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 。

从此公式可以看出，只要测定了各个长度，就可以根据电流算出作用力。也就是说在测定了各长度后，此公式就建立了电流和作用力之间的直接关系。

用埃顿-琼斯天平测定电流的基本方法（略去结构上、测量上所需要的细节）是在可动线圈上、下对称地各套一个同轴的固定线圈，这三个线圈互相串联，通过同一电流。当两个固定线圈中通有反方向（即一个为顺时针方向而另一个为逆时针方向）的电流时，可动线圈将受到一个向上（或向

* 将来复现安培的方法可能变化。参看张钟华的文章《电阻的自然基准——半导体表面反转层的量子化霍尔电阻》，载《电测与仪表》1982年7期。沈平子、袁楠合编《电磁量的单位制和单位的复现与传递》机械工业出版社（将出）。

** 参看P. Vigoureux (NPL) 著，张振声等译《电磁学单位和标准》，科学出版社，1978年4月第一版。

下)的电磁作用力;当两固定线圈中通有同方向的电流时,可动线圈不受到电磁作用力。

前已说明,在测定各长度后,根据上述公式,可以求得三个线圈中均通过1 A电流时的作用力 F_x (上下方向)。因此,若利用砝码给定此作用力,则调节电流达到天平平衡时,线圈中的电流就是1 A。

现在用埃顿-琼斯天平能将电流测准到 10^{-6} 数量级的不确定度。当然,用电流天平来测定电流,需要测定许多长度,需要很繁琐的计算,因此,一般的测量都不使用此方法。

5. 电荷量

本标准5—2.1项的量,我国常见的名称有电荷、电量、电荷量等。但是,电量有时指各种电学量(如电量和非电量的测量),有时又指电能量(如发电量)。电荷有时指一具体物而不是指物理量(如带正电荷、带负电荷)。而电荷量这个名称,大家的概念统一,不会发生混淆,故定名为电荷量。在不致引起混淆时可简称成电荷。

电荷量的符号,在ISO 31/V—1979和IEC Publ.27—1中给出的都是 Q ,但我国习惯用 q ,因此在备注中增加了 q ,并说明ISO和IEC规定中均无符号 q 。

6. 电荷体密度 电荷面密度

在标准中列出的量的名称“电荷体密度”和“电荷面密度”比较通俗并符合习惯。有人认为应采用“面电荷密度”,因为它是将体分布的电荷予以面化,再取密集程度而得名的。在教学中这样说明问题是可以的,只要最后指出我国的标准名称是GB3102.5—82中的名称就可以了。当然也可以认为电荷面密度是取“电荷分布面化后的密集程度”之意。对于这些不同的说法,本标准均未做限制。

7. 电位 (电势) 电位差 (电势差), 电压

这两个量以及磁位差 (磁势差)、磁矢位 (磁矢势) 等量的名称, 均有“位”和“势”两字中取哪一个的问题。即取名电位、电位差、磁位差和磁矢位, 还是取名电势、电势差、磁势差和磁矢势的问题。我国目前这两种中文名称都普遍使用。因此, 电势可以是电位的同义词。但是电工技术中又常将电动势简称成电势, 因而“电势”这一名称就有两种含义, 造成了混乱。为此, 本标准推荐使用电位和电动势, 不推荐使用易产生歧义的名称“电势”, 并规定电动势不得简称成“电势”。

此外, 我国在解放前只使用“电位”这个名称, 我国台湾省现在的标准 CNS400 C1016 规定的名称是“电位”(CNS400 C1016 中对应本标准“电动势”electromotive force 的名称是电势)。日本标准 JIS Z 8202—1978 只使用“电位”。这些情况也是需要考虑的, 虽然不一定要受其束缚。

8. 电位差 (电势差), 电压

在标准 5—6.2 项中, 将“电压”和“电位差”并列在一起 (但分为两行), 采用同一区别性定义。ISO 31/V—1979 中对应此项的名称是 Potential difference 和 tension, 也都采用同一区别性定义; IEC Publ. 27—1 中则又增加了一个 voltage, 也是列在一起的。我国一般将 tension 和 voltage 都译成“电压”, 用于多种场合, “电位差”则主要用于静电场。但若电压隐含“积分路径不经过电源内部 (即电压是从用电方面提出, 电源电压是指电源加在用电设备上的电压) 而空间的磁通量变化率 ($d\Phi/dt$) 可以忽略时”, 则两者可以不加区别。

本项并列这两个名称是因为它们本质上基本相同。这里并没有否认其差异的意思。有些略有差别而本质基本相同的