

物理量和单位讲座

第二讲 电学和磁学的量和单位

袁 楠

(北京工业大学)

物理学中的电学和磁学是电工、电力、电子、电信、计算机等许多科学技术的基础。电学和磁学的量和单位在这些科学技术领域中被广泛地使用着。因此,电学和磁学的量和单位的名称必须统一,定义必须严格,单位的量值必须精确,切忌混淆。在各学科互相渗透、国内外学术交流和贸易往来日益频繁的今天,量和单位的统一更显得迫切和重要。

科学的量和单位与日常生活用语往往混合使用。但前者要求严格而后者要求则不十分严格,可以适当含混。含混的名词作为科学技术的量名是不许可的。例如,“桌子”就只能在日常用语而不能是物理量名称。因为严格说来没有两张桌子完全相同。在科学上当然不许可“桌子不等于桌子”这种说法。所以凡是整个物体都不是量,凡是用作计数的数词,如个、双、匝、堆等都不是单位。

作为量,必须是可以定性地和其他量相区别并可以定量地进行测定。同类的量必须性质完全相同并可以互相比。在同一类量中约定或规定的一个参考量(或称标准量)称为单位。其他同类量可以用此参考量(单位)的多少倍来表示。例如,规定了长度单位米(m),可以说某绳的长度是100 m。米和绳子长度的性质是完全一样的。宽度、高度、距离等从性质来说都是长度,所以都可以用来作单位。温度的性质和长度不同,因此不能说温度为多少米。

由此可见,量是人们从客观现象和事物中抽象出来的属性。当人们对客观事物认识不深时,当然不可能正确地抽象出量和单位来。而

全部量的总体正好反映了当代人们对客观事物的认识水平。

过去我国没有全国统一的量和单位的国家标准。这给学术交流、教学工作等都带来困难。现在,经过多年的努力,于1982年由国家标准局第一次颁布了量和单位方面的15个国家标准(GB3100,GB3101和GB3102.1—3102.13)¹⁾,1984年国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,1986年国家计量局又公布了《中华人民共和国法定计量单位定义》。今后各行各业、各学科领域均应按此执行。宣传和贯彻这些规定是当前的一项重要任务。

一、量名和定义规范化的原则

在《GB3102.5 电学和磁学的量和单位》(以下简称GB3102.5)中已规定了电学和磁学中最基本的量的名称、符号和(区别性)定义等。但在GB3102.5中不可能叙述规定时考虑的许多因素。为了便于大家贯彻、掌握和使用,本文对规定时所考虑的原则和因素简要地加以介绍^[1]。

在制定GB3102.5时考虑的一些基本原则是:

(1) 积极采用国际标准

GB3102.5在量和单位的定义、符号方面基本上都和相应的国际标准化组织(ISO)的国际标准(International standard)ISO31/V,国际电工委员会(IEC)出版物IEC publication 27-1相一致。因为这样既便于国际交流,也可以

1) 1986年作了一次修改。

在发生国际争执时有坚实的基础。

(2) 尽可能和国内现有的国家标准协调

(3) 力求做到量的定义(指概念)统一

根据实际情况,有些量还并列了几个名称和几个符号,但全套 15 个国家标准中是没有同名异义的。

(4) 慎重对待人们的习惯

由于历史原因,我国习惯用的量的名称和概念并不全都合理。在处理这类问题时,采取了慎重的态度,不轻易地改变人们的习惯。当然明显的和确有把握判断的不合理之处还是予以改变了。

(5) 积极推行四基本量有理化电磁方程系

这也是国际单位制(SI)和国际标准的做法。

(6) 保持基础标准的性质

专业性强的量要根据各专业的名词术语标准,并在本标准的基础上,结合考虑各专业的需要和具体情况来规定,GB3102.5 中不予列入。

二、量名的澄清举例

1. 电荷[量]¹⁾和电能[量]

作为物理量的电荷量、电能量和一般名称的电学量过去都可以称为电量。因此,电量一词有三种概念,非常混乱。电荷量过去又可称为电荷。但电荷还有一个概念是指一种自然界的基本物质,例如正电荷、负电荷等。所以若定名为电荷则将出现“某电荷带电荷 10C”这种语句而给教学带来困难。因此,GB3102.5 规定它的全称是电荷量。对此名称大家认识一致,不会发生混淆。电能量的简称则规定是电能而不是电量。这样可以和机械能、热能等协调。在其备注中注明发电能量、送电能量和用电量可称为发电量、送电量和用电量,以照顾现有的习惯。

2. 电流

过去物理学中电流是指“电荷流动的现象”,电流强度才是物理量,其单位为安[培]。在工程技术中,电流就是物理量。有人则认为电流是电流强度的简称。

电流是电学和电工中一个很基本的名词。常需要以它为基干,在它的前面或后面加词派生出别的名词术语。例如,额定电流、变压器原边电流、电流密度等。若此量定名为电流强度则这种派生名称的字数必然很多,使用不便。在我国,人们又习惯于对字数过多的名称予以各种各样的简化,从而可能形成混乱。因此,作为基干的名称,字数以少为宜。

若认为电流是电流强度的简称,则电流密度的全称就应该是“电流强度密度”。这种名称太别扭,很难在我国推行。

再考虑到一些其他原因后,GB3102.5 规定此物理量的名称是电流。至于过去物理中指电荷流动现象的“电流”,可以考虑改称为电流现象。这样比较符合我国习惯,也便于教学。

3. 电位(电势)

在物理中,电势即电位。在电工技术中,电势是电动势的简称。两者是不同的物理量。经过反复讨论和协商,GB3102.5 规定电势是电位的同义语,电动势不得简称为电势。考虑到“电势”这一名词有过歧义,所以推荐使用电位。同理,在电位差和电势差中推荐使用电位差,磁位差和磁势差中推荐使用磁位差,矢量磁位和矢量磁势中推荐使用矢量磁位。

4. 电动势

电动势的定义过去有的教科书上认为是局外场的线积分,非静电力的线积分等。这些定义都不够严密和严格,所以 GB3102.5 把电动势定义为“电源电动势是电源供给的能量被它输送的电荷量除”。供给的能量包括电源内部电阻上的电能量转化(损耗)。此定义与国际标准一致。

根据这一定义,电动势只限于电源。对于负载则使用电压。“电源电压”是指接上负载时,电源加在此负载上的电压。电源电动势和电源开路电压,二者的定义不同。说二者相等是指它们的量值相等。

1) 去掉方括号、保留括号内的字时为全称,去掉方括号及括号中的字时为简称,下同。

5. 电通[量]、电位移通量

电通量即电位移通量。电场强度通量不得再称为电通量。这和国际标准的规定一致。

6. 阻抗(复数阻抗¹⁾)和阻抗模(阻抗)

过去这两个物理量都可称为阻抗,极易混淆。但前者是复数,后者是指它的幅值,含义不同。为明确起见,最好使用复数阻抗和阻抗模。阻抗模不得简称为阻抗。同理,最好使用复数导纳和导纳模,导纳模不得简称为导纳。

三、量符号和所用单位方面的规定举例

1. 电位差和电压的符号过去有用 V 的。考虑到此量非常常用,符号 V 和它们的单位伏(V)极易混淆,所以 GB3102.5 规定使用 U 而不得使用 V 。

2. 阻抗模的符号用 $|Z|$, 导纳模的符号用 $|Y|$, 不得用 z 和 y 。这样就和数学的规则一致,也和国际标准一致。

3. 交流电中视在功率、无功功率和有功功率的单位过去分别是 $V \cdot A$, var 和 W。但从单位的量纲上看,它们都一样。因此都应该用 W 作单位。考虑到电工技术中的习惯,所以用备注说明在电工技术中分别用 $V \cdot A$, var 和 W。国际标准也是这样处理。

四、正弦交流电技术

由于广泛使用正弦交流电,而且非正弦周期交流电也常被分解成恒定分量、基波和谐波分量来分析。后两者是不同频率的正弦交流电,因此它有其重要性。正弦交流电学量又有瞬时值、有效值、最大值等不同的特征值。在 GB3102.5 中,按照习惯规定正弦交流电流、电压等用小写字母代表其瞬时值,大写字母代表其有效值。国际标准也如此规定。但此原则仅限于 GB3102.5 中规定的那几个电学量,不得随意推广。例如,按正弦规律变化的磁通[量] Φ 就不得以小写字母 ϕ 代表其瞬时值²⁾。因为相位符号是 ϕ , 故可得出

$$\phi = \Phi_m \sin(\omega t + \phi).$$

这是人们常用的基本的公式。同一公式中的同物理

一符号 ϕ 在等号右侧括号内时代表相位,在等号左侧则代表磁通量瞬时值。二者的含义完全不同,无法使人理解。

在正弦交流电技术中还广泛使用以旋转矢量的投影代表瞬时值的方法,从而使正弦量的加减变成“矢量”的加减,乘除变成幅值的乘除和幅角加减。经过这样处理后的正弦量称为“相量”。它在形式上是矢量或复数,实质上当然仍是正弦交变量。为了便于识别,在 GB3102.5 中,按我国习惯规定在量符号的正上方加一小圆点表示它是相量。例如 \dot{I}_m 代表幅值为最大值的电流相量。国际标准中没有这一规定,但国际上也有这样用的。

五、四基本量有理化电磁方程系^[2]

19 世纪电磁学方面的科学家认为电磁单位归根结蒂应该用力学单位来测量,因此只需要长度、质量和时间这三个基本量。常见的 CGS 高斯制、静电制、电磁制等单位制都是三基本量单位制。

当时,高斯、韦伯等科学家认为导出电磁单位时应选取电的和磁的库仑定律公式中的系数为 1, 真空介电常数 ϵ_0 为纯数 1, 真空磁导率 μ_0 也是纯数 1。这样的全套电磁方程式称为非有理化高斯电磁方程系。高斯单位制、静电单位制和电磁单位制也都选用非有理化电磁方程式。

三基本量非有理化单位制有许多矛盾难于克服。例如,在高斯单位制中,性质明显不同的长度、电容和电感,其量纲都是长度。

1882—1883 年,赫维赛德(O. Heaviside)提出电磁学公式中因子 4π 的有理化问题,1901 年乔吉(Giorgi)提出增加一个电学基本单位的单位制。经过各国际组织的长期讨论和协商,国际电工委员会(IEC)在 1935 年召开的会议上通过了乔吉的建议。1950 年第 24 技术委员会决定此单位制原则上采用有理化电磁方程

1) 有的书上把复数阻抗简称为复阻抗。

2) 若是随时间变化的磁通量,则可以用 $\Phi(t)$ 代表其瞬时值。

式。1960年IEC决定此四基本量有理化的单位制取名为乔吉单位制,但MKSA单位制(即米、千克、秒、安培制)也被同等地承认。国际计量委员会在其为阐明国际单位制而编辑的《国际单位制(SI)》中,注明Gs, Oe等单位“属于三量纲的所谓‘电磁CGS制’,严格地讲,不能与相应的SI单位相比较,SI在限于力学量和

电学量时有四个量纲。”即SI和乔吉制一样,也采用有理化电磁方程式。

表1列出了GB3102.5中所用的一些有理化电磁方程式和高斯(非有理化)电磁方程式的比较。

从表1可以看出,在有理化电磁方程式中,只在涉及球面对称时出现因子 4π 和涉及圆对

表 1*

项 目	高斯电磁方程式	有理化电磁方程式
1 平行平板的电容 C	$C = \epsilon A/d$	$C = \epsilon A/d$
2 孤立圆球的电容 C	$C = \epsilon r$	$C = 4\pi\epsilon r$
3 电位移 D 和电场强度 E 、电极化强度 P 的关系	$D = \epsilon_0 E + 4\pi P$	$D = \epsilon_0 + P$
4 磁通密度 B 和磁场强度 H 、磁化强度 H_i 的关系	$B = \mu_0 H + 4\pi\mu_0 H_i$	$B = \mu_0 H + \mu_0 H_i$
5 匝数 N 、长 l 的螺管线圈中的磁场强度 H	$H = 4\pi N I / cl$	$H = NI/l$
6 电的库仑定律	$F_e = Q_1 Q_2 / \epsilon r^2$	$F_e = Q_1 Q_2 / 4\pi\epsilon r^2$
7 电场能密度 W_e	$W_e = DF/8\pi$	$W_e = DE/2$
8 磁场能密度 W_m	$W_m = BH/8\pi$	$W_m = BH/2$
9 距载流导线 r 处的磁场强度 H	$H = 2I/cr$	$H = I/2\pi r$
10 麦克斯韦方程式	$c \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$ $\operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi\rho$ $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$ $c \operatorname{rot} \mathbf{H} = 4\pi \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$	$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$ $\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$ $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$ $\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$

* 表中 c 是真空中光速(带单位)。

称时出现 2π 时比较易于理解。

六、单位换算和公式改写^[2]

如果单纯为了表示一个量值,那么用任何一种该量值的单位都是可以的。这是量值可以进行单位换算的根据。例如可以说磁通[量]密度 B 为 10000Gs 或 1T, 可以列出等式:

$$10000\text{Gs} = 1\text{T}.$$

但是 Gs 属于 CGS 高斯制, T 属于国际单位制。进行运算时,两者要求使用不同的电磁方程式。例如,使用高斯制时,真空磁导率 μ_0 为纯数 1, 所以可列出真空中磁通密度 B 和磁场强度 H 的关系式为

$$B = \mu_0 H = H.$$

若 B 为 1Gs, 则 H 为 1Oe, 而且 1Gs = 1Oe.

采用国际单位制后, μ_0 为 $4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}$. 其数值不是 1, 还有量纲。因此上述关系式变为

$$B = \mu_0 H = (4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}) \cdot H \neq H.$$

若 $B = 10^{-4}\text{T}$, 则 H 不是 10^{-4}T 而是 $\frac{1000}{4\pi} \frac{\text{A}}{\text{m}}$.

在使用高斯制时,由于 ϵ_0 和 μ_0 都是纯数 1, 因而公式中常常省略不予写出。换用国际单位制后,它们都不能省略,因此必须补上。

此外,在这两类单位制中,量的概念也不相同。不再详述。

在工程技术上,许多计算公式是指定单位后的数值方程式,可是又写成量方程式的形式。今后应按 GB3101 的规定更正过来。这些公式中的系数常包含单位换算系数,又作了数字化整处理。这类公式在改写成使用国际单位制的公式时,应弄清其来源,否则可能出错,例如将系数 1 变成 0.98 等。

七、法定计量单位中电磁单位的定义

1986年10月29日国家计量局根据国务院的授权公布了《中华人民共和国法定计量单位定义》。文件规定的定义有正文中的和说明

中的两种形式。例如伏特的定义在正文中的表述形式为：伏特(V)是两点间的电位差，在载有1安培恒定电流导线的这两点间消耗1瓦特的功率，即

$$1V = 1W/A;$$

在说明中的表述形式为：伏特(V)是电位、电位差、电动势等的单位，1伏特等于1瓦特每安培，即

$$1V = 1W/A.$$

说明中给出的以公式定义的导出单位，最终将以基本单位来定义。它给导出单位的使用和教学工作带来方便。这种定义方式是符合国际单位制原则的，也为ISO的国际标准所采用，所以在实际工作中完全可以采用。

总之，从19世纪以来，经过高斯、韦伯、开尔文、麦克斯韦等许多著名科学家的努力，现在

对量和单位已经有了较深入的认识。第二次世界大战后，又经过许多著名科学家和国际学术组织的讨论和协商，使国际计量大会通过了国际单位制(SI)。ISO又公布了与SI配合的国际标准ISO31，其中包含一整套基本的物理方程式。我国吸取其合理部分并结合具体情况颁布了法定计量单位和15个量和单位的国家标准。经过十多年的努力，它们已为全国各部门所接受。过去一些不尽合理的习惯用语和用法正在逐步克服。这种全国统一、各学科统一以及全世界统一的局面一定会深受大家欢迎的。

- [1] 袁 楠编，量 and 单位丛书之七：电学和磁学的量和单位，计量出版社，(1983)。
[2] 袁 楠、沈平子编，电磁量的单位制和单位的复现与传递，机械工业出版社，(1986)。

1987年穆斯堡尔效应应用国际会议在澳大利亚召开

1987年穆斯堡尔效应应用国际会议(简称为ICAME)于8月17日至21日在澳大利亚墨尔本市Monash大学召开。来自28个国家和地区的164名代表参加了这次会议。受会议主席的邀请，中国科学院高能物理研究所、南京大学、清华大学、中山大学、吉林大学、北京钢铁学院、南开大学、兰州大学和南京化工学院各有一位代表参加了会议。

这次会议有邀请的综述性报告23篇，研究工作报告426篇。在会有三十多位科学工作者就穆斯堡尔谱学的研究方向作了大会报告。内容主要有：使用同步辐射的穆斯堡尔谱学，高压穆斯堡尔谱学，极低温穆斯堡尔谱学，非晶材料的射频激发穆斯堡尔谱，使用穆斯堡尔谱学对半导体掺杂和其它太阳能材料、生物组织、金化合物、超导材料等方面进行研究的报告。除了大会报告之外，其余426篇研究报告均采用大字报的形式进行张贴。这些论文涉及了当前穆斯堡尔谱学研究的各个方面，可以说几乎涉及研究物质微观结构的

自然科学各个领域。426篇研究报告可分为以下几方面：(1)化学结构与键；(2)金属的磁性和超精细场；(3)非金属的磁性和超精细场；(4)金属与合金；(5)表面现象和催化；(6)矿物、地质和考古；(7)生物体系；(8)非晶材料；(9)离子注入、辐射损伤和滞后效应；(10)弛豫、相变和晶格动力学；(11)稀释系统、基体离析和晶簇；(12)非共振效应；(13)射频激发与混合实验；(14)穆斯堡尔谱学理论和实验的发展；(15)穆斯堡尔谱学在工业中的应用。

在此次会议上，中国学者提出的报告50余篇，其中有不少报告受到与会国外同行的重视。会议期间，对提交会议的全部论文进行了同行评审，通过的论文将在1988年3月*Hyperfine Interactions*杂志上发表。

会议期间，国际穆斯堡尔谱学咨询委员会召开了会议，决定1989年ICAME会议将在匈牙利召开，1991年ICAME会议将在中国召开。

(李 士)