

长度单位——米不再是基本单位了吗？

关 洪

(中山大学物理系)

摘 要

本文着重说明基本单位和导出单位的原则区别只在于量纲上的独立性。并且，哪一些量的单位被选取为基本单位，完全是在制定一种单位制时人为地规定的。因此，国际单位制中长度单位——米的新定义尽管涉及到时间单位秒，也决不会使它变得不再是一个基本单位。

1983年10月，第十七届国际计量大会通过了米的新定义：

“1米是光在真空中于 $1/299\,792\,458$ 秒时间间隔内所行进的路径的长度。”

按照这一定义，真空中的光速被规定为 $299\,792\,458$ 米/秒，它是一个精确的数值，不再是根据时间基准和旧的长度基准而测量出来的，必然带有误差的实验数据。米的新定义是人类历史上第一次通过固定基本物理常数的办法，来给实用的基本单位所下的定义。也就是说，这是第一次不依赖于人工器具，也不依赖于特定的自然物或自然过程，而使用普遍的物理常数来作为物理量的基准。这种定义方法有许多明显的好处，但也引起了一些误解。

例如，在这几年里广为流传的一种说法是：采用了新定义后，长度单位米已经不再是一个独立的基本单位，而是由时间单位秒通过光速而导出的单位了。甚至还有人主张，既然米不再是基本单位而仅仅是一个导出单位，现在我们大可不必说多少“米”的长度，而可以直接说多少“秒”的长度了。

这一问题的关键，在于要弄清楚基本单位同导出单位之间的原则区别。不少人没有弄清这一点，他们误认为，只要一种单位的定义里提到了其他量的单位，那么被定义的单位就不可能是基本单位而必须看作是由其他单位推导出来的导出单位了。

其实，在米的新定义被采用之前，在国际单

位制的其他一些基本单位的定义中，早就使用了别的基本单位。例如，电流强度单位安培的定义是真空中相隔1米的两根平行细直导线之间，每米长度经受 2×10^{-7} 牛顿的力，这里明显地使用了长度的单位米和力的单位牛顿。还有，物质的量的单位摩尔以及发光强度的单位坎德拉的定义，都依赖于其他一些量的单位。然而，不论是在定义里不涉及其他量的单位的质量单位千克、时间单位秒和温度单位开尔文，还是上面所说的要借助于其他量的单位来下定义的安培、摩尔和坎德拉，在国际单位制里都是基本单位而不是导出单位。所以，长度单位米的定义，从不依赖于其他量的单位的旧形式，改成依赖于时间单位秒的新形式，也没有理由使它从基本单位降到导出单位的地位。

那么，究竟什么是区分基本单位和导出单位的原则呢？在制定国际单位制的正式文件^[1]里讲得很明白：从科学观点把一种单位制中的各个单位区分成基本单位和导出单位，或者还有辅助单位这几类的做法，“有一定程度的任意性，因为从物理学来说，并不唯一地要求这种分法。”只是考虑到各方面实际使用的优点，决定选取了以上提到的七个单位“作为国际单位制的基础”，“它们在量纲上是彼此独立的，这七个国际制单位称为基本单位。”

由此可见，首先，在建立一种单位制时，选取多少个和哪几个量作为基本量，是有一定任意性的；也就是说，在一定的程度上是人为的。

选定了哪几个量作为基本量，它们的主单位就是由此建立的单位制中的基本单位。在这种单位制里的其他单位，都应当可以从选定的几个基本单位(或者还有辅助单位)通过不同的定律或公式等关系表达出来。用这套程序构成的其他单位，就叫做导出单位。

其次，我们看到，基本单位的主要性质，甚至可以说是它们唯一的特征，就是在量纲上的独立性。在一种单位制里选定了几个量作为基本量，它就有几个基本单位，相应地就有几个独立的量纲因子。在这种单位制里，所有单位的量纲都可以表示成各个基本量的量纲的适当幂次的乘积。这种量纲上的独立性，也是一种人为的规定。

再次，应该指出，选取多少个基本量来建立一种单位制，主要是为了使用上的方便。例如，为了简化运算，在现代物理学理论中采用的“自然单位制”，就把基本量的数目降低到最低限度。例如，在适当制定的自然单位制中，基本单位的数目可以降低到1甚至0。在没有基本单位的单位制中，出现的所有的物理常数都是“无量纲常数”，给理论计算和分析带来了很大的便利。

可是，为了同实验数据作比较，一定要将按自然单位制计算出来的理论结果化成实用的单位。在实用的单位制里，一方面为了得到各种量及相应的单位的尽量简单的逻辑体系，避免产生重复或者互相矛盾的情况，不希望选取过多的基本单位；另一方面为了使本质上不同的量能够用不同的量纲和单位来加以区分，基本单位的数目也不能太少。例如，在力学单位中，大家公认选取三个基本单位(通常是质量、长度和时间的单位)在实用上是最恰当的。

然而，当进一步包括电磁学单位时，情况要复杂一些。在早期建筑在CGS力学单位制上的电磁学单位制里，坚持不增加新的基本单位，结果使得一些电磁学量同常用的力学量具有相同的单位和量纲。例如在高斯单位制里，电容和长度的单位都是厘米，电导和速度的单位都是厘米每秒。这种用相同的单位表示本质上不

同的一些物理量的做法，显然是不能令人满意的。在后来建立的MKSA单位制里，增加了电流强度的单位安培为基本单位，就使得所有电磁学单位在量纲上区别于本质上不同的力学单位，反映了两类单位之间的原则区别。今天的国际单位制，仍然继承着MKSA制里所选取的四个基本单位，并且沿用上面提到过的安培定义。

总而言之，一方面只要认定安培是MKSA制或国际制里的基本单位，就不在乎它的定义里是否提到其他量的单位，或者日后它的具体定义方式是否会有改变。另一方面，我们今天仍然可以在MKS力学单位制的基础上建立一种电磁学单位制，其中对安培采取与国际单位制里完全相同的定义；但在这种单位制里只规定了米、千克和秒为基本单位，所以通过两平行载流导线相互作用力定义出来的电流单位安培，象其他任何量的单位一样，只能是一种导出单位。事实上，历史上的CGS电磁单位制(emu即CGSM)，本质上就是这样的一种单位制，其中的电流强度单位的定义同我们今天所用的安培只差一个无量纲常数；但这样定义出来的电流单位没有独立的量纲，它的量纲指数等于力的量纲指数的一半。

从以上的讨论我们认识到，在一种单位制里哪一些量的单位是基本单位，全是为了使用上的方便而人为地规定的。一旦作出决定之后，它们就具有量纲上的独立性，这一点不会受到它们的具体定义方式的影响。反过来说，采用同样定义的一个单位，可以在某一种单位制中被规定为基本单位，也可以在另一种单位制中不被规定为基本单位。在后一种情况下，它当然只能是一个导出单位了。例如，即使决定要选择一电学单位为基本单位，到底选哪一个好，也是基于测量精度等考虑而人为地指定的。事实上，最早被建议增加作为基本单位的电学单位就是欧姆而不是安培。所以，安培不是一个基本单位，并不决定于它的定义方式，而只决定于建立单位制时的人为规定。

在今天的国际单位制里，既然已经选定了

米和安培等七个单位作为基本单位，它们的这种地位就不会由于其具体定义方式已经发生或者可能发生的任何变化而受到影响。在国际单位制里，既然长度单位米和时间单位秒都是基本单位，它们在量纲上就是彼此独立的。因此，我们只能说多少“米”的长度，不允许说多少“秒”的长度。

国际计量局的专家 Giacomo 在介绍米的新定义时特别指出：“实际上基本量的选择乃视方便而定，主要看怎样易于把一些导出量推演出来。按照约定之规，各基本量被看做是量纲上彼此独立的。基本量的[主]单位是基本单位，这正是因为单位体制是量的体制的复述的缘故。从基本单位推出导出单位所依据的，正是联系着基本量和导出量的同样一些关系式。基本单位的定义则完全是另一回事。在给基本单位下定义时，我们可以提到其他量的一些指定数值，例如安培定义里的力和长度，摩尔定义里的质量，以及坎德拉定义里的立体角、功率和频率(原文如此，疑有误——本文作者注)。于是，这样定义的基本单位在物理学上是依赖于别的单位的。但这种定义并不妨碍我们把它们当成是量纲上独立的。”^[2] 我们觉得，这番话会有助于弄清楚基本单位和导出单位之间的真正区别。

最后，我们分析一下，为什么米的新定义会引起它不再可能是基本单位的误解，而对同样是基本单位的安培的定义，多年以来却没有发生类似的疑问呢？我们想，这可能是因为，无论在静电单位制(esu 即 CGSE)中通过库仑力定义电量单位，还是在电磁制中通过安培力定义电流单位，其中的规定都离不开力和长度等力学量的单位。人们对于这种电学单位的定义方式已经习以为常了，即使后来把安培选定为 MKSA 单位制或国际单位制中的基本单位，也不会觉得它的定义有什么特异之处。

然而，至于质量、长度和时间这三个基本的力学量，历史情况有很大的差别。过去，不论使

用人工原器、地球运动周期还是原子状态跃迁为基准而作出的千克、米和秒这几种基本单位的定义，都是不依赖于别的量的单位，从而彼此之间也不存在任何关系。现在，米的新定义竟然要依赖于时间单位秒，怪不得会使囿于旧习惯的人感到不适应，甚至怀疑起它的基本单位的身份来了。

其实，在一般的单位制里，无论是基本单位还是导出单位，都可以采取依赖于或者不依赖于其他量的单位的定义方式。不过，如果对一些导出单位采取了不依赖于其他单位的定义方式，例如根据一些特定物质的物理性质给出定义，那么在被定义的导出单位同其他单位的关系式中，就会有待测定的常数出现。例如，假若采用 100 年前用银电解过程定义的“国际安培”，用水银电阻定义的“国际欧姆”和用某种标准电池定义的“国际伏特”去表示欧姆定律，那么在定律表达式里，原则上就会出现一个不等于 1 的常数因子。假如有好些导出单位都采取了与此相似的“独立”定义方式，结果就会在许多物理学定律或公式里出现各种有待测定的常数因子。这种多元化的逻辑关系所带来的不必要的复杂性，自然是人们所不希望的。今天普遍采用的国际单位制是一种“一贯”的单位制，它规定在从一些单位导出另一些单位的关系式中，都不含不等于 1 的常数因子。因此，在国际制里各个导出单位的定义，必定要依赖于其他单位，而不可能是完全独立的；对于基本单位的定义，则没有这方面的限制，它可以依赖于，也可以不依赖于其他量的单位。没有弄清楚基本单位同导出单位的原则区别，误以为基本单位的定义一定不能依赖于别的单位，这也许就是把新定义的国际制长度单位米说成不再是基本单位的主要原因吧。

[1] 国际计量局，国际单位制(SI)，科学出版社，(1975)。

[2] P. Giacomo, *Am. J. Phys.*, **52** (1984), 607.