

国家千克原器（砝码）简介

□中国计量科学研究院 周祖濂

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）05-0047-03

一

从事衡器工作人员往往对用来检定衡器的砝码不太关注，而对千克原器可能更加不了解。在此介绍有关千克原器的知识，对衡器工作者是十分有意义的。

国际千克原器为一个直径39mm、高39mm，含铂90%、含铱10%的铂铱合金圆柱体，其密度大约为 21.5g/cm^3 。于1889年第一次被国际计量大会定义为国际千克原器的质量时起，该原器一直保存在巴黎塞弗尔国际计量局（简称BIPM）。

质量与其他基本量之间有个根本性的区别，和现行对长度单位米的定义和时间单位秒的定义不一样，它不能追溯到一个自然常数上去，而是用一个具体实物来定义。所以它的量值（即大小）只有通过它所受的“力”值来确定。从某种意义上来说，所谓的“力”的定义是一个抽象的物理概念，而不能像长度（米）和时间（秒）对我们的感官而言是一个具体的感受。即使是到现在，“质量”的量值也是通过电学方法与一个物质的基本量联系在一起。而这个基本量与我们习惯使用的力学的惯性质量和重力质量（引力质量）的定义，从物理学的概念上来讲没有直接的关系。它不像量子力学的跃迁表征频率（时间）和波长（长度）的定义一样，有物理上的关联。所以质量所谓的“自然基准”，只解决了过去实物基准的量值变化的不确定性和不可知性。

中国的国家千克原器是1965年由英国引进的（当时中国尚未加入国际法制计量组织）。

中国国家千克原器的编号为No.60。

质量： $M(\text{No.60})=1\text{kg}+0.27/\text{mg} \pm 0.08\text{mg}$

体积： $V(0^\circ\text{C})=46.3867\text{cm}^3$

膨胀系数： $\alpha=(25.863+0.00562t) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

体积： $V(20^\circ\text{C})=46.4108\text{cm}^3$

该原器于1986年正式批准为国家质量基准。各国的国家原器通过原器天平与BIPM的国际千克原器相关联，并根据BIPM的要求，送到其到BIPM进行比较。国际上第一次的比对（从1899年至1901年），花费近两年时间完成。对18个国家原器、四个尚未分配的原器、国际计量局的两个工作原器、以及国际计量局早先的两个工作原器C和S（C为圆柱体，S为截头球体），与国际千克作证基准原器No.1进行比较。

通过比较，那些没有使用过的原器质量变化在允许微克范围内，而国际计量局的工作原器No.31，因为使用频繁，其质量减少了 $20\mu\text{g}$ 。

第二次国际比较在1948年至1935年之间进行，参加比对的共有33个原器；第三次国际比对在1987年至1993年进行，共有39个原器参加比对。中国的第No.64号国家千克作证原器参与了此次比对，中国No.64号原器的对比结果如下：

$M(\text{No.64})=1\text{kg}+0.251\text{mg} \pm 0.0023\text{mg}$

二

砝码是作为表征“质量”大小的一个载体，其本身不能作为测定物体质量大小的器具。测量物体的质量是通过被测物体与质量载体的砝码相互比较的结果，即在重力作用下，用一比较装置来证实被比

较物体所受的力和力矩相等，因此这种比较装置就被称为“衡器”（或天平）。

用衡器测量的结果作为质量的近似值，被称为衡量值。

当物体处于介质（如空气或其他介质）中时，除了重力作用，根据阿基米德原理，它还要受介质浮力的作用。

当被测物体与砝码密度不同时，比较力平衡在有介质存在时的平衡方程为：

$$m_m \cdot g_1 \cdot l_1 - \rho_1 \cdot V_m \cdot g_1 \cdot l_1 = m_p \cdot g_2 \cdot l_2 - \rho_2 \cdot V_p \cdot g_2 \cdot l_2$$

式中： ρ_1 和 ρ_2 ——砝码和被称物的密度；

g_1 和 g_2 ——砝码和被称物所处位置的重力加速度；

l_1 和 l_2 ——物体作用力的力矩；

V_m 和 V_p ——砝码和被称物的体积；

m_m 和 m_p ——砝码和被称物的“真实”质量。

在通常情况下，可认为 $g_1=g_2$ ， $l_1=l_2$ ，而且两个物质都是在（ $\rho_0=\rho_1=\rho_2$ ）的空气中进行称重的，则有：

$$m_p = m_m + \rho_0 (V_p - V_m)$$

通常人们用衡器测定物体的质量时，计量单位可由“克”数量级提升至“吨”数量级，所以需要各种相应重量和准确度级的砝码来传递质量的量值，即用砝码来校准衡器。

现在称重用的砝码，其材质基本上都为不锈钢，它与被称物的密度之间有很大的差异。也就是相同重量的物体的体积可以相差很大。众所周知，只有当被称物的体积与砝码的体积相等时，才不需要考虑空气浮力的影响。

前面所讲的衡器值，实际上是指在不考虑空气浮力时，用砝码校准后的衡器称重的物体质量值。由此可见，物体的衡量值取决于空气密度和被称物的体积。在贸易中，当允差 $\Delta m/m < 10^{-3}$ 时，为了实用起见，我们就认为衡器值就是物体的质量，因此在贸易中应将Ⅲ级和Ⅳ级秤的最大允许误差规定在此误差范围内。

国际千克原器的密度大约为 21.5g/cm^3 ，在将其质量量值传递到工作砝码（即参考砝码）时，人们必须知道砝码的准确密度或体积，以及准确的空气密度。因此，整个测量的操作过程是一项十分繁杂的

工作。

为了简化质量比较的测量工作，在法制计量中，如果我们规定了砝码的密度，并在规定的标准空气密度下进行质量比较，就可使质量比较的测量工作中的不确定度很小，且易于操作，这样测定的质量值称为定衡量值。

自从1975年制定了这种新的鉴定方法，砝码的标准值不再是其本身的质量，而是参考砝码（工作砝码）的质量。参考砝码的密度为 8000kg/m^3 ，在空气中的密度为 1.2kg/m^3 、 20°C 条件下，它与原器砝码保持平衡，这样的约定衡量值即为质量值。

这样的规定认为，所有被称物的重量都等于在约定的空气密度为 $\rho_0=1.2\text{kg/m}^3$ ，约定的被称物密度为 $\rho_k=8000\text{kg/m}^3$ 条件下物体的重量。当被称物的密度和空气密度不等于约定值时，衡器的示值与校准用砝码的标称值不一致。测量结果与物体的“真实”值间产生误差为 Δm ，它与砝码标准值的相对误差为：

$$\Delta m/m_k = (\rho_L - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_k)$$

式中： Δm ——为了使物体在密度为空气中，能与参考砝码平衡，需要加上的质量；

m_L ——砝码的标称值（校准的衡器示值）；

ρ_L ——测量时空气密度；

ρ ——物体的密度；

$\rho_k=8000\text{kg/m}^3$ ——参考砝码的约定密度；

$\rho_0=1.2\text{kg/m}^3$ ——约定的空气密度。

使用约定质量值的优点在于，凡是标称值相同的砝码，无论它的密度为何，在密度为 1.2kg/m^3 的空气中的，所受的力都和其他参考砝码相同。但是当测量场所的空气密度偏离 1.2kg/m^3 时，由于两者的密度不同，所受的空气浮力也不相同，两者的衡器值不同，差值为 Δm 。

然而，如果适当选择砝码的密度和测量场所的空气密度（即 ρ 和 ρ_L 值），总能使得砝码的相对误差 $\Delta m/m_k$ 不超过规定的值，这种方法对使用砝码来传递质量量值是很有利的。

在法制计量工作中，对砝码的允许密度有如下规定：砝码的密度必须保证在空气密度偏离 1.2kg/m^3 时，造成的误差顶多为最大允许的0.25倍（即误差的1/4）。国际上把空气密度偏离规定值 1.2kg/m^3 的界限

限定为10%以内，此值通常为室内空气密度偏离平均值 1.2kg/m^3 ，大约为 $\pm 10\%$ 。所以，“只要空气密度保持在上述规定范围内，即使是对于最高精度级别的砝码，也不需要考虑修正空气的浮力”。

在使用砝码校准衡器时，砝码的允差绝对值不得大于衡器允差的 $1/3$ 。在量值传递时，作为标准用的砝码应当至少高一个准确度等级。例如，为了检验 F_1 级值高精度砝码，至少要用 E_2 级砝码作标准。然而，在通常环境因素条件下，由于环境因素和使用者的因素影响，测量结果的误差可以为衡器检定值或分度值的 $2\sim 3$ 倍。

作为经典物理学的三个基本物理量：时间、长度和质量的定义之一的“质量”，它与时间和长度的定义均不相同，时间和长度是很直观的量，而质量只能通过“力”或者“能量——动能或势能”才能表征出来，是一个抽象的物理术语（或概念）。我们不能用感官来直接感受它的量值，只能通过引力和惯性力来测量它的量值。而且到目前为止，引力和惯性力的本质从物理实质来讲是否是一回事儿，也有待人们深入探讨。

现在虽然通过电学方法将质量的量值也等价到一个物质本身的参数上，即有了所谓的“自然基准”，但其实际作用只是将“质量”这个基本物理的量值用国际千克原器的“质量”数值保存在一个人为认为“恒定不变”的物质参数中。结果是仅仅解决了不能判断原来质量“实物基准”量值变化的困难，但不能用该物质参数的物理常数代替“质量”的定义和概念，而时间和长度则可以用物理的“跃迁”来替代原来的时间和长度的物理概念。

总之，质量这个物理量仍然需要通过砝码来传递量值，并利用力和力矩的平衡原理使用衡器来测量物体的质量，而对于质量的定义并没有因此改变。我认为只有对万有引力或引力强度本质的深入认识，才能对质量的本质有所了解。

作者简介

周祖濂，云南大学物理系毕业，中国计量科学研究院质量称重室主任，高级工程师，1998年退休。