

# 衡器的分度数

□中国计量科学研究院 周祖濂

【摘要】本文根据国际建议，说明有关皮带秤、定量包装秤以及非自动衡器的规定。解释三类衡器在使用最小分度数时应如何确定。

【关键词】最小分度数；皮带秤新增对传感器的规定；最小装料衡器

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2024）06-0013-07

## 引言

数字式显示衡器的分度数给出了衡器的相对误差值，也是确定衡器准确级的基本依据。对衡器分度数的正确理解及在实际使用时的合理选择，对于衡器制造者和使用者，都是最重要和最起码的要求。

## 1 OIML R76 号“非自动衡器”国际建议的分度数

OIML R76 号国际建议中对衡器检定分度数的定

义为：

衡器最大称量（Max）与检定分度值之比。

$$n = \text{Max}/e$$

检定分度值 $e$ 为衡器准确分级试验中，确定最大允许误差的以质量为单位的衡器分度值。

对于有分度的衡器，根据OIML R76 号建议将非自动衡器分为四个准确度级别，其误差是用阶梯式分段形式来表现。

表1 衡器准确度级别

| 首次检定最大允许误差 | I 级                     | II 级                    | III 级                 | IV 级                |
|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| $\pm 0.5e$ | $0 \leq m \leq 50000$   | $0 \leq m \leq 5000$    | $0 \leq m \leq 500$   | $0 \leq m \leq 50$  |
| $\pm 1.0e$ | $50000 < m \leq 200000$ | $5000 < m \leq 20000$   | $500 < m \leq 2000$   | $50 < m \leq 200$   |
| $\pm 1.5e$ | $200000 < m$            | $20000 < m \leq 100000$ | $2000 < m \leq 10000$ | $200 < m \leq 1000$ |

其中，质量 $m$ 为以检定分度值 $e$ 表示的载荷。

通常衡器的使用者和制造商主要关心的是准确度，即称重的结果是否短斤少两。因为结果是与使用者的金钱付出有直接关系，不同单价和重量的被称物应使用不同准确度（分度数）和误差（分度值）的衡器。如何确定衡器分度数和分度值的合理、公平是最根本的要求。由于分度值直接表示出衡器的最大允许误差，所以很容易确定。例如称黄金的秤和普通使用的贸易秤，对分度值的要求显然有很大差别，而按OIML R76 号建议，对同一级别的衡器分

度数的不同，相对误差就不相同。

在实际使用时，衡器的示值被称为“被称物的衡量值”。由于空气浮力的作用，衡器的衡量值只是被测物重量的近似值。而对常见物品而言，衡器示值与被称物真实质量间的差异可达0.1%，对密度较大的物品，这个差值要比0.1%大。

对于通常的被称物的价格而言，千分之几的误差是买卖双方都能够接受的。另一方面，衡器校准要求砝码的不确定度至少要比衡器高三倍。在通常条件下，要求保证砝码不确定度长期稳定不变，也

是不易。我们曾对20kg普通砝码的长期稳定性做过多次调研，要在一年内甚至半年内保持不超差也是相当不易的。根据国外的资料表明，即使是熟练的操作人员在测定量值时，所达到的不确定度也可达衡器检定值的2~3倍。对户外使用的衡器，例如汽车衡、轨道衡等，由于环境严酷度的影响，测定结果可能比检定值大很多。

在国际上通常认为贸易中使用的衡器，其测量误差在 $\Delta m/m \leq 0.1\%$ 范围内，无需对空气浮力影响进

行修正，就可用衡器量作为被称重的实际质量。贸易中使用的衡器，其衡器分度数定义为： $n=3000$ 左右是合理的。

然而，用户往往希望一个衡器既能用于大量程称重时，又能在使用小量程时达到自己所希望的精度。例如，某汽车衡生产厂家，给出以下衡器的指标：其分度数已明显超过所使用的传感器的标称分度数。

表2 某汽车衡生产厂家技术指标

| 最大称重 (t) | 最小示值 (kg) | 分度数 (n)   |
|----------|-----------|-----------|
| 20       | 5         | 4000      |
| 30       | 5/10      | 6000/3000 |
| 50       | 10        | 5000      |
| 60       | 10/20     | 6000/3000 |
| 80       | 20        | 4000      |
| 100      | 20        | 5000      |
| 120      | 30        | 6000      |
| 150      | 20/50     | 7500/3000 |

衡器是属于国家强制管理的计量器具，对它的产品和使用，应严格遵照国家公布的标准和检定规程执行，以保证使用中公平、合理的基本要求。上述厂家所给出的既无科学根据，又无法律依据的迎合用户心理要求的所谓“技术指标”，实际上会对买卖双方的利益起到负面性的作用，而且这种技术指标不应当出现在正式的技术说明和刊物上。

通常为了解决衡器在不同量程下仍能保持大体上称重不确定度的方法，是在衡器上使用多量程和多分度秤，但这类秤的最大量程多为吨级以下，大多作为零售秤使用。尚未见到有多量程和多分度的汽车衡，我想有的厂家是否可以将这种技术用于汽车衡。其实厂家要生产多量程的汽车衡是能够实现，这样的产品既合理、合法，且技术上也可行。

## 2 关于皮带秤国际建议新增对传感器的规定

这个规定实际上已不是什么新规定，是7年前的规定。为了能正确理解这个规定，还是有必要对它作出解读。

OIML R50-4CD(2011 版) 和OIML R50-5CD(2012 版) 分别对皮带秤所使用的称重传感器，根据不同准确度级别对最小检定分度的值做了规定，两个版本

规定形式稍有不同，分别如下：

$$Max \geq S \times V_{min} \times R\sqrt{N} \quad 2011 \text{ 版}$$

$$V_{min} \leq Max S \times R\sqrt{N} \quad 2012 \text{ 版}$$

2012 版的表示式是由我国提出的，其理由只是认为这样表示更合理，事实上对此规定本质上没有很大的差别，对S 的含义似乎也达不到充分的理解。对此问题只有陈日兴老师做了认真的分析和深入的研究，并指出此新规定对C3 级传感器的技术指示的要求是几乎不可能达到的。即使是C4 级传感器也极困难。遗憾的是，国内有关单位和组织并未对此引起关注和讨论就等同运用。这样等同规定显得比较草率，并不是我们该有的科学态度。

我曾写过文章探讨过此问题，但限于当时概念上不够清楚的原因，因此对新增定的S 值未能给出令人信服的计算。

下面对此问题重新论述如下：

根据OIML R60 建议对确定误差的原则规定：传感器最大允许误差限适用于符合下列条件的传感器整体测量范围。

$$n \leq n_{max}$$

$$V \geq V_{\min}$$

该误差包络线是在20℃时，首次递增加载试验得到的，它的参照直线是通过最小载荷输出和测量范围的75% 载荷输出的直线。

衡器最大允许误差是由非线性、滞后和静态试验组合构成的分段阶梯形的包络线范围内，不包括蠕变和零点温度影响的误差。而这两个技术指标是影响误差限的参照直线“原点”变化的参数。

描述蠕变对“原点”变化的参数称为“最小静载荷输出恢复（DR）”，它是施加载荷前、后测得的最小静载荷输出之差。通常在技术说明书中用“相对最小静载荷输出恢复（DR）或Z 值”表述。Z 值为最大称量对两倍的最小静载荷输出（DR）之比，该比值用作描述多分度秤， $Z = E_{\max}/2DR$ 。它实际上是限制了在传感器使用范围内可取的检定分度数的最多数目，因此在此范围内衡器的分度值必须满足：

$$2DR \leq \text{Max}/n = e$$

式中Max 为秤的最大称量，n 为该秤的分度值。

描述温度对“原点”影响的参数称为“传感器最小检定分度值（ $V_{\min}$ ）”，它是传感器测量范围内可以分成的“最小检定分度值（质量）”。通常在技术说明书中用“相对 $V_{\min}$  或Y”值表述。Y 值为最大称量 $E_{\max}$  对传感器最小检定分度之比，该比值描述了与传感器称量 $E_{\max}$  无关的分辨力。该值限制了实际使用时传感器可取的最小分度值。因为若传感器的零点因温度变化超过了分度值，即超过了我们测量值的分辨力，会导致结果不可靠。

$$Y = E_{\max}/V_{\min}$$

传感器的最小分度值 $V_{\min}$  是在-10℃~+40℃温度环境，传感器零载荷值相对20℃时，传感器零点漂移（Zero drift）量，计算时取两者的最大值。对C3 级传感器 $V_{\min}$  值是按温度变化5℃时，零点漂移量来计算：

$$\text{即：Zero drift} \times 5^\circ\text{C} = 0.7V_{\min}$$

$V_{\min}$  的单位为%F.S，传感器最大输出的百分数。

通常在考虑衡器零点改变在称重过程中的影响，主要是考虑最小静载荷输出恢复（DR），对于一般衡器，每次称重结束均回到零值。而皮带秤的称重过程很长且称重过程中无法回零，所以对皮带秤零点变化的影响主要考虑与温度有关的传感器最

小检定分度值。

皮带秤零流量的温度影响；

在没有置零的情况下运行，零流量在相差的温度下取得的两个累计示值之差不大于累计期间最大累计载荷：

|         |        |
|---------|--------|
| 对0.2 级为 | 0.014% |
| 对0.5 级为 | 0.035% |
| 对1 级为   | 0.07%  |
| 对2 级为   | 0.14%  |

根据此要求计算皮带秤最大称量（Max），当温度改变10℃时，与传感器最小检定分度值 $V_{\min}$  间的关系：

为了使皮带秤的分度值大于传感器最小分度值，在温度改变10℃时数值 $2 \times 0.7V_{\min} = 1.4V_{\min}$ ，需要满足下关系式：

$$1.4V_{\min} \leq R_e \times \text{Max}/R\sqrt{N}$$

式中（Max）最大称量，为皮带秤称重长度输送带上的承载器上可以称重的最大载荷重量。（ $R_e$ ）为皮带秤“自动称重的最大允许误差”，为所累计载荷质量的百分数。

$$\star \text{对0.2 级皮带秤：} 1.4V_{\min} \leq 0.014/100 \times \text{Max}/R\sqrt{N}$$

$$\text{即：} \text{Max} \geq 10000 \cdot V_{\min} \cdot R\sqrt{N}$$

$$\text{或：} V_{\min} \leq \text{Max}/10000 \cdot R\sqrt{N}$$

$$\star \text{对0.5 级皮带秤：} 1.4V_{\min} \leq 0.035/100 \times \text{Max}/R\sqrt{N}$$

$$\text{即：} \text{Max} \geq 4000 \cdot V_{\min} \cdot R\sqrt{N}$$

$$\text{或：} V_{\min} \leq \text{Max}/4000 \cdot R\sqrt{N}$$

$$\star \text{对1 级皮带秤：} 1.4V_{\min} \leq 0.07/100 \times \text{Max}/R\sqrt{N}$$

$$\text{即：} \text{Max} \geq 2000 \cdot V_{\min} \cdot R\sqrt{N}$$

$$\text{或：} V_{\min} \leq \text{Max}/2000 \cdot R\sqrt{N}$$

$$\star \text{对2 级皮带秤：} 1.4V_{\min} \leq 0.17/100 \times \text{Max}/R\sqrt{N}$$

$$\text{即：} \text{Max} \geq 1000 \cdot V_{\min} \cdot R\sqrt{N}$$

$$\text{或：} V_{\min} \leq \text{Max}/1000 \cdot R\sqrt{N}$$

对皮带秤而言，为了确保在最大称量时所取的分度值不超差，在实际使用时的分度值应小于 $V_{min}$ 。其原因是为了最大限度降低皮带秤在温度改成零流量的影响，能及时观察到 $V_{min}$ 的改变量，使得传感器参照直线的“零点”，能够起到“跟踪”、皮带秤量程零点改变的作用，减少由于皮带秤的零流量因温度改变的影响，从而达到降低测量误差的目的。可见，这点与静态衡器为了降低回零（DR）值的影响的方法不同，当温度改变时（DR）值仍在衡器置零值的范围内，在形式上使衡器“回零”值不变。

根据OIML R50国际建议的规定按以上思路，将对S值增大1.5倍来计算。

将以上计算值乘以1.5就可得到皮带秤国际建议新增的对于传感器规定的S值：

对0.2级为 $S=1.5 \times 10000=15000$

对0.5级为 $S=1.5 \times 4000=6000$

对1级为 $S=1.5 \times 2000=3000$

对2级为 $S=1.5 \times 1000=1500$

对新增传感器规定的理解错误，主要在于将S值误以为是对传感器的某一参数或是针对传感器Y值的要求，而实际上新的规定是在探讨传感器“零点”温度改变对如何选择皮带秤Max值之间的关系，也就是针对皮带秤的技术要求。

### 3 重力式自动装料衡器额定最小装料量的解说

由于我国不能直接参加有关国际建议制定、增补条款的会议，所以不能了解在会议中讨论问题的中心内容、背景材料等问题。往往容易对国际建议的一些问题产生误解，如果国际建议的条文与国情不相适合，更是会在执行时造成混乱和错误。

重力式自动装料衡器是一个运用范围极广的衡器，由于被称物的特性、种类、几何尺寸等的千差万别，加上被称物的价格也相差很大，所以对计量的要求和误差的要求也各不相同。这类衡器的结构、类型也是各类衡器中最多的一类。因此，尽量尝试制定一个统一的适应各类重力式自动装料衡器计量要求是很难完成的，但可以说这是我们需要不断探讨、努力的方向。

很多衡器的业内工作者对OIML R61号国际建议的最大允许偏差“Maximum permissible deviation（MPD）of each fill”大概是依据什么制定的都不太

清楚，我也没有机会参加有关会议，只能根据所能找到的资料来解读这个问题。为此，我已写了一篇文章，暂时还未拿出来发表，因为有些问题我还需要再斟酌和推敲。

OIML R61号国际建议的MPD是用恒定误差和百分误差相间的开放式误差表示，试图通过选择不同的级别标志因子“class designation factor（x）”获得不同的准确度 $X(x)$ 相应的MPD值，满足各种预包装商品允差的要求。

OIML R61号国际建议主要是针对预包装商品的衡器制定的，它的允许误差需满足OIML R61预包装商品的允许偏差（T）。OIML R61国际建议的X（1）级的最大允许偏差（MPD）使用中的误差值与OIML R87的允差值（T）相同。

从MPD偏差值的定义可发现，对不同重量预包装商品相应的误差间没有明显的规律。对于不同范围重量的物品或用百分误差、或用恒定误差，也给预包装衡器的设计带来一些麻烦。

预包装衡器的准确度主要取决于投料设备的性能，即对物料投放的均匀性、重复性、物料流动性、装料速度，以及与物料粗料和细料切断点控制的准确度等其他因素都有关。

为了提高定量称重的功效，通常是尽管加大粗细料流之间的比值来缩短称重的周期，一般二者的比例都高于1:10，甚至到1:20。细投料段，特别是细料流切断后对物料量精度的控制，对保证预包装量误差值是一个非常重要和较为复杂的问题。在邹炳易译的《称重手册》中就指出，需要考虑称重过程中的冲击量、续流飞料、多普勒效应等影响切断料后控制物料流量的因素。

以上这些问题说明，在不改变投料控制的条件下，试图用一台给料装置，不太可能把两种预投料量控制到均能很好的满足误差等要求。此时必须使用两台分立的投料装置，或采用两种不同控制投料量的方案。如果想只用同一台投料装置，同一控制方案来实现两种预投料量是很困难的，不易获得满意的结果。

对于易包装的物料，是将物料视为流体状的散料流看待，单位时间的流量为 $dw/dt$ 。预包装衡器分度值为 $d= dw/dt$ ，对不同物料投料设置可取的最小

$d = dw/dt$  值为对此种物料可达到的最高精度，要求  $error(E) = 0.25d$ ，且  $Minfill \geq d/MPD$ （使用中值）。

Minfill（额定最小装料量），当装料量低于此数值时，称重结果将超差。从表1可看出，在投料范围F内，由于d值不同，其额定最小装料量Minfill也不同。

很多用户都希望一台定量包装秤可以用来对两种甚至多种不同重量的包装商品称重，更希望能用来对不同特性的物料进行包装。实际上预包装秤的技术和计量性能主要受三个技术指标所限制。

● Minimum capacity 最小称量（量程）（Min）

这项规定虽然是定义在自动称重时，衡器不超差的最小称量值。但从本质上讲，它的准确度取决于静态影响因子条件下的试验。

● Maximum permissible deviation（MPD）of each fill，各次装料的最大允许偏差（表1）。

在衡器静态条件下，影响因子试验的最大允许误差（MPE）“Maximum permissible error（MPE）for influence factor tests”的数值为0.25MPD。

● Rate minimum fill（Minfill）额定最小装料量

对预包装秤而言，在规定最小允许偏差量下，被包装商品的最小量值。即就包装商品量而言少于此值时，按确定的MPD值的净重值都少于规定的量。

对于第一和第二的要求，一般情况下要满足不是困难的事情，只要相同MPD要求在对应的F值的范围内，且最大 $F_{max}$ 和 $F_{min}$ 值相差在50%左右，用来称重的装置都能满足误差要求。

至于第三要求，如果不涉及到装料秤对投料的控制精度（d）。对于确定的装料量F的误差就不能少于对应的MPD值的欠量。因此与MPD相对应的F量，就是额定的最小装料量。但是，对于此装料秤的投料能否被精度控制，则取决于该料 $dw/dt=d$ 量的控制精度。

OIML R61号国际建议2004（E）版，就试图通过理论上的估计来确定一台已知d值的装料秤，对不同X（x）级别的最小额定投料量的值为何。

在国际建议中所举的两个例子都是在确定d值的情况下，针对百分误差和恒定误差，考虑如何估计Minfill值以确定该装料秤能在多大的F范围内应用，且相应的MPD值是多少。

定量秤投料装置的性能对称量结果起决定性作用。国外的一些资料，特别是德文的Wägen+dosieren（dw）杂志，就对不同用途、不同物料的投料装置做了广泛的介绍和讨论，很值得我们深入地学习。也可发现在这方面我国技术研究水平与国际先进水平间的差距，如表3所示。

表3 d值对应的Minfill最小允许值

| Minfill 最小允许值/g |         |        |        |       |
|-----------------|---------|--------|--------|-------|
| d (g)           | X(0.2)  | X(0.5) | X(1)   | X(2)  |
| 0.5             | 28      | 11     | 5.5    | 3     |
| 1               | 111     | 22     | 11     | 6     |
| 2               | 334     | 44     | 22     | 12    |
| 5               | 1 665   | 335    | 110    | 30    |
| 10              | 3 330   | 1 330  | 330    | 110   |
| 20              | 6 660   | 2 660  | 1 340  | 340   |
| 50              | 25 000  | 6 650  | 3 350  | 1 650 |
| 100             | 50 000  | 20 000 | 6 700  | 3 300 |
| 200             | 100 000 | 40 000 | 20 000 | 6 600 |
| $\geq 500$      | 500 d   | 200 d  | 100 d  | 50 d  |

使用OIML R61号国际建议推荐的通过d值来估计额定最小装料量的计算方法是合理且没有问题的，目的在于如何正确使用这个表2，不要反过来根据X(x)级别来确定d值来看表中的数据是否“正确、合理”，更不要根据经验结果来看待问题。实际上投料装置的dw/dt=d值的实际测量结果，才是最根本、最重要的。

#### 4 多分度秤的分度数讨论

早些年梅特勒衡器公司和天鹅衡器公司在国内都曾销售过多分度秤和多范围秤。其中，梅特勒公司两种衡器出售过量程可达吨级的产品，天鹅公司主要销售振弦式的零售秤，国内少有厂家生产过这两种同类衡器，这两家公司的产品我均有接触和实际使用过。

最近，国内开始有人关心和讨论这两种衡器。随着国内传感器水平的提高，我认为，一些厂家与其追求单量程汽车衡在大量程和小量程均可使用、其生产的高分度数可达到5000~6000以上的不合理产品，不如下功夫研制合理、合法的双量程汽车衡。

多范围秤涉及的问题比较简单，实际有能力生产高分度数衡器的厂家，研制这种衡器不会很困难，而多分度衡器还有一些基本问题需通过认真研究，才能在技术上有所突破。

有关分度衡器在OIML R76号国际建议中给出了一个三分度秤的示例，在OIML R60号国际建议的技术术语中提到，相对最小静载荷输出恢复(DR)或Z值中，Z值是“用来描述多分度秤”但没有更多详细的说明。

在OIML R76号国际建议中有关多分度秤的说明：

(\*) 多分度秤示例

最大秤重Max=15kg III级

检定分度值：

$e_1=1g$  0~2kg

$e_2=2g$  2~5kg

$e_3=10g$  5~15kg

该衡器具有从Min=20g到Max=15kg的最大(Max)至最小(Min)的称重范围。实际上的称重范围为：

$Min_1=20g, Max_1=2kg, e_1=1g, n_1=2000$

$Min_2=2kg, Max_2=5kg, e_2=2g, n_2=2500$

$Min_3=5kg, Max_3=Max=15kg, e_3=10g, n_3=1500$

作为首次检定加载的最大允许误差的示例：

$m=400g=400e_1, mpe=0.5g$

$m=1600g=1600e_1, mpe=1.0g$

$m=2100g=1050e_2, mpe=2.0g$

$m=4250g=2125e_2, mpe=3.0g$

$m=5100g=510e_3, mpe=10g$

$m=15000g=1500e_3, mpe=10g$

下图给出与上述加载量相对应的分度秤的允差限(实线)和一只 $E_{Max}=20kg, n=2000$ 的传感器允差限(虚线)。从图中可看出，除了500分度以上称重段衡器的允差小于传感器的允差外，其余两个称重段：传感器的允差明显地超过衡器的允差。这个矛盾应如何解决？是研制多分度秤应必须面对的问题。因为从直观来看，示例的计量指标均与OIML R60、OIML R76号国际建议的对 $n \leq n_{Max}$ 、Z和传感器的最大允差不应超过 $0.7mpe$ 衡器允许误差的规定相矛盾的，所以要讨论的问题是，既然不能满足国际建议的规定，对衡器型式批准和检定为什么仍能满足要求。

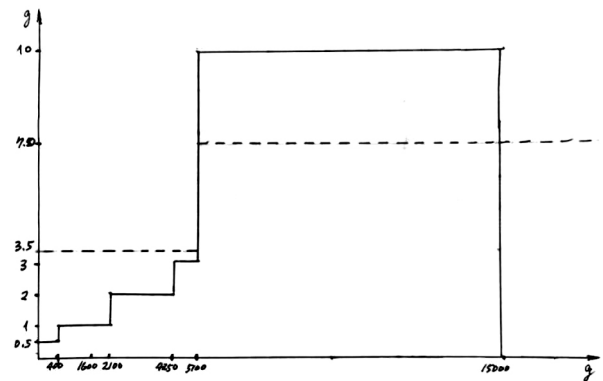


图 多范围秤允差图

对此问题我在本文中只是提出来供读者思考，若要展开讨论就超出本文内容，我准备专门写文章进行讨论。

#### 5 结语

本文讨论的四个问题，问题一、二是说明如何

根据实际情况正确使用和理解传感器衡器的分度数最大量程、分度值等技术指标的物理意义。

问题二、三是说明有的衡器工作人员，没能理解国际建议中所讨论问题的对象。问题二国际建议主要是讨论由于湿度的影响，应对被称物选取最少的取样数，并不是讨论应选择传感器的分度数。

问题三是讨论在确定包装秤最小分度数 $d$ 的情况如何确定不同准确度级别 $X(x)$ 的最小装料量，而不研究厂家研制的包装秤的具体工作性能。

问题四是希望能有厂家生产多范围秤和多分度秤以满足市场需求。根据问题本质和物理意义讨论

传感器和衡器的分度数与实际运用之间的关系，说明有些文章对皮带秤国际建议新增部分，对传感器规定和定量包装秤国际建议中对最小装料量的讨论内容，实际上与国际建议规定不在一个命题上，偏离了国际建议问题的实质。

#### 作者简介

周祖濂，中国计量科学研究院质量称重实验室退休职工。