

有关传感器最小可使用范围

□中国计量科学研究院 周祖濂

【摘要】传感器的技术参数 V_{min} 和 Y 是使用衡器的重要参数。它不仅决定了传感器最大分度数（最高分辨率），同时也决定了传感器的最小使用分度数（即最小量程范围）。

【关键词】最小量程范围Minfill；皮带秤精度等

级的最小分度数

1 众所周知，称重传感器的最大允许误差（mpe）由表1给出。

表1 称重传感器的最大允许误差（mpe）

最大允许误差 (mpe)	载荷			
	A级	B级	C级	D级
$P_{LC} \times 0.5V$	$0 \leq m \leq 50,000$	$0 \leq m \leq 5,000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
$P_{LC} \times 1.0V$	$50,000 \leq m \leq 200,000$	$5,000 \leq m \leq 200,000$	$500 \leq m \leq 200,000$	$50 \leq m \leq 200,000$
$P_{LC} \times 1.5V$	$200,000 \leq m$	$20,000 \leq m \leq 100,000$	$2000 \leq m \leq 10,000$	$200 \leq m \leq 1000$

确定误差的原则：

上述误差限适用于符合下列条件的传感器的整个测量范围：

$$n \leq n_{max} V \geq V_{min}$$

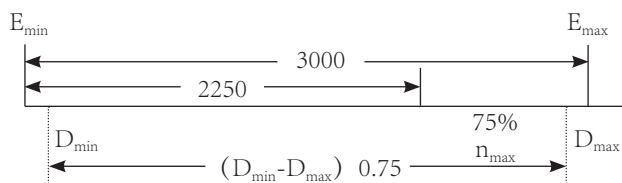


图1 误差限参照直线

根据OIML R76号国际建议可知，非自动衡器的最大允许误差与传感器最大允许误差相差 P_{LC} 倍，其中 P_{LC} 为分配系数，通常取0.7。传感器的误差限应处于上述包络区内，它决定了衡器的使用误差范围。

然而，决定传感器和衡器误差限的试验依据是有差异的，因为衡器的误差包络线包括：非线性滞后

误差限的参照直线是通过最小载荷输出和测量范围75%输出载荷的直线，以 $n_{max}=3000$ 分度的传感器为例，其参照直线见图1。

静态量程试验，而不包含蠕变和零点（置零）的影响。传感器则被要求对最小静载荷输出恢复（DR），以及传感器最小检定分度值 V_{min} 进行测定。

根据衡器的最大量程 Max ，对应使用的传感器量程 E_{max} 的基本要求为：

$$E_{max} \geq (Max_{max} + DL + IZSR + NOD + T^+) / N$$

$$V_{\min} \leq e_{\min} \cdot R/NV_{\min} \leq E_{\max}/Y$$

其中：R——1（no leverage）；

N——Number of Supporting LC_s；

DL——Dead Load；

IZSR——Initial Zero Setting Range；

NUD——Non Uniform distributed Load；

T⁺——Additive Tare（very rate）。

这个条件在一般情况下都能满足，但在一些特殊情况下，由于预留给传感器的使用范围不能满足 $V_{\min} \leq e_{\min} \cdot R/N$ 的条件，则需重新选取传感器或修改原来衡器的设计。

传感器的最小可使用范围（Minimum Utilization）的数值，由“相对 V_{\min} 或 Y ：最大量程 E_{\max} 与传感器最小检定分度值之比 $Y=E_{\max}/V_{\min}$ （该比值描述了与传感器称量无关的分辨力）”来决定。

现举一个实例说明 V_{\min} 是如何测定和计算 Minimum Utilization 值的。

如在三个典型温度条件 20℃、40℃ 和 -10℃ 下，测定传感器在零点或最小死载荷时输出：

$$20^{\circ}\text{C}: 0.01500\text{mV/V}$$

$$40^{\circ}\text{C}: 0.01440\text{mV/V}$$

$$-10^{\circ}\text{C}: 0.01570\text{mV/V}$$

计算零点漂移值：

$$20^{\circ}\text{C至}40^{\circ}\text{C} = (0.01500 - 0.01440) / 20^{\circ}\text{C} \quad \text{mV/V/}^{\circ}\text{C}$$

$$= 0.00003\text{mV/V/}^{\circ}\text{C}$$

$$-10^{\circ}\text{C至}20^{\circ}\text{C} = (0.01570 - 0.01500\text{mV/V}) / 20^{\circ}\text{C} \quad \text{mV/V/}^{\circ}\text{C}$$

$$= 0.000035\text{mV/V/}^{\circ}\text{C}$$

计算时取两者的最大漂移值，传感器的灵敏度为 2mV/V，则零点漂移值为：

$$\text{零点漂移} = 0.00003 / 20 \times 100\% \cdot \text{FS/}^{\circ}\text{C}$$

$$= 0.0015\% \cdot \text{FS/}^{\circ}\text{C}$$

根据定义：

“Zero Drift Over any 5℃=0.7× V_{\min} ”，则 20℃~40℃ 时，最小检定分度值 V_{\min} 为：

$$V_{\min} = 0.015 \times 5^{\circ}\text{C} / 0.7 \cdot \% \text{FS}$$

$$= 0.011\% \text{FS}$$

所选的 20℃~40℃ 可认为是在最坏环境下测得的数值。

假设传感器的 $E_{\max}=1000\text{kg}$ ， $N=3000$

由此可得 V_{\min} 的实际值。

$$V_{\min} = 1000 \times 0.011 / 100 = 0.11\text{kg}$$

因此，Minimum Utilization = $3000 \times 0.11 / 1000 \times 100\% = 33\%$

即传感器的最小可使用范围为 E_{\max} 的 30% 左右，占了差不多 1000 分度。

2 事实上在设计衡器时，这个基本要求所选定的分度值 e 都是应考虑的因素。国际法制计量组织还在两个比较特殊的衡器 OIML R50 和 OIML R61 国际建议中明确，在确定精度级和分度值时，对传感器的 minimum utilization 做了相应规定。

关于“皮带秤的精度级与最小分度数的要求”的内容，我已在《对皮带秤国际建议新增称重传感器规定的认识》（在十七届“称重技术研讨会”）的论文集集中做了描述，请感兴趣的读者自行查阅。

根据 OIML R504CD（2011 版），OIML R505CD 在最大流量下，精度级与所需最小分度数的对应关系如下：

0.2 级	3500 分度或 4000 分度
0.5 级	1500 分度
1.0 级	1000 分度
2.0 级	500 分度

由此可见，对于 2.0 级皮带秤，需使用 C4 级传感器才能保证最终的不确定度。

其实有关皮带秤精度等级与分度值之间的要求，早在 1995 年 OIML 的“*Weighing Towards the Year 2000*”，会议讨论集的“*Pattern Approval and Verification of Weighing Instruments Construction from Models*”一文中就做出了详细的论述，但是 10 多年后才写入国际建议中。有一些国际建议中写入的条款，必须经过长时间实践的认可，方能正式要求参照执行。

依据上述理念，在 2004 版的 OIML R61 号“*Automatic Gravitation Filling Instruments*”国际建议中，加入了分度值 d 与最小投料的最小允许值之间的规定。最小投料的定义和它与秤的分度值之间的规定：

2.7 Rated minimum fill (Minfill)

The Minfill is a rated minimum fill from automatic weighing below which the weighing results may be subject to errors outside the limits and requirements specified in this Recommendation.

表2 Minfill最小允许值

d (g)	Minimum Permissible Value of Minfill (g)			
	X (0.2)	X (0.5)	X (1)	X (2)
0.5	28	11	6	3
1	111	22	11	6
2	334	44	22	12
5	1665	335	110	30
10	3330	1330	330	110
20	6660	2660	1340	340
50	25,000	6650	3350	1650
100	5000	20,000	6700	3300
200	100,000	40,000	20,000	6600
≥500	500d	200d	100d	50d

以上三种情况可以看出，为了使传感器满足这些衡器应达到的规定的计量要求，对所使用的传感器提出了附加的要求。皮带秤和定量预包装秤是两种使用广泛，且与其他衡器的计量要求有较大差异的衡器。皮带秤的误差为百分误差，定量预包装秤是遵照计数抽样的“置信度”来评价误差的，由此可见，与静态秤、轨道衡、汽车衡、非连续积累秤的误差定义不同。所以我认为，这就是为什么国际建议对皮带秤、定量预包装秤所使用的传感器提出了附加规定的原因。

3 传感器最小检定分度值 (V_{min}) 和最小静载和输出恢复 (DR) 这两个技术指标，对于多分度秤的设计起着至关重要的作用，如何正确和合理地使用传感器也同样重要。

相对 V_{min} 或 Y (relative V_{min} or Y)：是最大称量 V_{max} 与传感器最小检定分度值之比，该比值描述了与传感器称量无关的分辨率。

V_{min} 描述了传感器“零点”因温度改变而发生的改变量，也就是在测量传感器性能或使用时所达到的能够反映出传感器变化的最高分辨率。如果测量传感器分度值 d 小于 V_{min} ，则由于温度改变引起了测量值零点的变化，从而导致测量值无法分辨出传感器的性能变化。所以要求 $V_{min} < V$ ，同时 V_{min} 也决定了传感器最小可使用范围 (Minimum Utilization)。

相对最小静载荷输出恢复 (DR) 或 Z (relative DR or Z)：最大静载荷输出定义为施加载荷前后测得

的最小静载荷输出之差。而 Z 值为最大称量与两倍的最小静载荷输出 (DR) 之比。

2DR 值表示传感器在称重时，加载前后“零点”变化的影响量，即表明传感器在实际使用时衡器的最小分度值 e_{min} 必须大于 2DR。所以使用传感器时，在测量范围内可使用的最多不超过最大允许误差的分度值为 $Z = E_{max} / 2DR$ 。

V_{min} 表示传感器在使用时由于温度改变引起的零点改变。DR 是传感器在加载前后由于传感器弹性体应变计的物理因素造成的“回零”改变。

传感器运用时，必须考虑到以下三个分度值和分度数的定义：

$n_{LC} = E_{max} / V$ ：传感器最大检定分度数，它决定了传感器的精度级。

$Z = E_{max} / 2DR$ ：Z 决定了传感器在测量范围内，可使用的能保证满足“回零”误差要求的分度数。

$Y = E_{max} / V_{min}$ ：Y 决定了在测量范围内，由于温度变化传感器的最高分辨率和使用的最小量程范围。

以称重传感器国家计量检定规程 (JJG6692003) 为例，给出了以下三组传感器。

组1, C 级: $n_{max} = 6000$, $Y = 18,000$, $Z = 6000$, E_{max} 取 500kg;

组2, C 级: $n_{max} = 3000$, $Y = 12,000$, $Z = 4000$, E_{max} 取 500kg;

组3, B 级: $n_{max} = 10000$, $Y = 25,000$, $Z = 10000$, E_{max} 取 500kg;

表3 传感器不同级别参数

	V	2DR	V _{min}	最小使用范围
C3 级	0.17kg	0.13kg	0.042kg	25.2%
C6 级	0.083kg	0.083kg	0.028kg	33.6%
B10 级	0.05kg	0.05kg	0.02kg	40.0%

通常 $n_{max} \leq Z$, Y 为 Z 的 2~3 倍。

在钢铁、冶金行业使用的衡器, 以及皮带秤中使用的传感器的 E_{max} 值与衡器最大量程 Max_{max} 之比, 通常可在:

$$Max_{max}/E_{max}=0.25-0.5$$

留给能使用的最小使用范围比较小, 仅为传感器最大量程 E_{max} 的 1/4~1/2, 这在实际使用中要特别注意。另外, 也要注意一些使用上的问题, 以上式为例, 对 500kgC3 级的传感器使用时, 不超过允差包络线的最小分度值为 0.13kg; 对 500kgC6 的传感器使用时, 不超过允差包络线的最小分度值为 0.083kg。

◆ 皮带精度等级与最小分度数的要求。由于它们相互间关系的计算, 是根据 $n=500$ 时所得的结果来求满量程的最小分度数, 即以 20% 的量程按比例增大的结果, 说明实际上它是按分误差来计算的, 所以我们若使用称重传感器的分段阶梯式恒定误差为依据来设计衡器是不太合理的。皮带秤使用的传感器的误差, 应选用按表示的力传感器的百分误差为设计依据才是正确的。

◆ OIML R61 国际建议中有关 Minfill (Rated Minimum) 与分度值 d 之间的要求。对于 X (0.2) 至 X (2) 间的对应关系给出了一个“参照”表, 并列举得出相应值的比较复杂的算法。

我认为 d 和 Minfill 的关系很简单, 通常对被包装物进行称量时, 都是通过快装料和慢装料来保证装料的速度和精度。 d 的选择就是为了保证物料在慢装料时, 根据物料的 dm/dt 来确定 d 的量值和取样速率。单次装料的最大允许偏差 (MPD) 定义单次装料相对于装料平均值的偏差量, 即包装物 (负) 允差的使用值 T 。根据 OIML R76 号国际建议选定 d 值, 使其能够满足衡器的误差“准确值”。

d 值的确定, 是经过试验确定在慢装料时, 通过的被包装的物料在预定的速度下, 测量得到的 dm/dt 值和相应的标准偏差值, 再计算出此包装物的允差值 T 。通常规定快速和慢速装料的比值大约为 10:1。

为了准确测定允差值 T 。分度值 d , 应使得此时间装料总料 $\int_0^t \frac{dm}{dt} dt = m$ 值, 满足测定 T 值的要求。因此 d 值应满足: 在 X (1) 级情况下 $T=6d\sim 10d$, 在 X (0.2) 级情况下, 由于允差值提高了 5 倍, 若 d 值不变。则在保持测量精度不变的情况下, 仍需要装入与 X (1) 测量时相等质量的被包装物才行。因此就需要增加 5 倍的装料时间。从 Minfill 表格可以看出, 当 $d=0.5g$ 时, 则 X (1) Minfill=6g, 而 X (0.2) Minfill=28g。因此此时 X (0.2) 的最大允许偏差 T 比 X (1) 的 T 值小了 5 倍。

Minfill 实际上就是在取样时间内的最小装料量。 $Minfill = \Delta m / \Delta t$, Δt 为取样的时间间隔。为保证测量精度, 一般情况下, Minfill 应当是 d 值的 10 倍, 最起码也应当是 d 值的 5 倍。

从对以上三个问题的分析可以看出, 对于国际建议的一些规定, 我们应当做深入的分析。第一种情况的分析, 有助于我们能更充分和准确地使用传感器。第二种情况说明, 当国际建议有不足之处时, 运用力传感器的参数来设计皮带秤则更为合理。第三种情况说明, 实际上根据设计衡器的误差的要求, 我们无需按 R61 号建议那样进行“复杂”的计算, 只要依据一般误差要求就可定出最小投料量。

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。