

如何使用称重传感器确定非自动衡器的最大允许分度值

□周祖濂

中国计量科学研究院

【摘要】本文首先介绍了一篇对称重传感器与衡器间的相关分析的文章，附带介绍了本人对相关内容的讨论，希望能在衡器从业人员选用传感器时有所帮助。

【关键词】称重传感器最大分度数；非自动衡器；最大允许误差

文献标识码：A 文章编号：1003-1870 (2026) 01-0014-04

How to Determine the Maximum Permissible Interval of Non-automatic Weighing Instruments According to Load Cells

【Abstract】This paper first introduces an article on the correlation analysis between load cells and weighing instruments, and also presents the author's discussion on related contents, hoping to be helpful for weighing instrument professionals in choosing load cells.

【Keywords】maximum interval of load cell; non-automatic weighing instrument; maximum allowable error

引言

20世纪80年代初，荷兰的国家计量机构（National Metrological Service）对非自动衡器所使用的称重传感器的型式认证、分级，是根据欧洲经济共同体（EEC）指令和荷兰本国法规（National Dutch legislation）及国际建议OIML R3非自动衡器中关于传感器互换性的要求开展的。本文将介绍如何依据对传感器性能试验数据，计算衡器最大允许分度数的方法。

以三级秤为例，计算如下：

1 文章中使用符号的定义

Max——最大称量；

N——传感器量程；

L——测量传感器的载荷；

T——称重装置的死载荷；

R——载荷经过杠杆的减缩比；

P——传感器的数量；

T_0 ——单只传感器死载荷= $R \cdot T/P$ ；

A——单只传感器使用率= $R \cdot \text{Max}/P \cdot N$ ；

E——秤的检定分度值；

R——传感器量程漂移(灵敏度温漂)， $\%eL/25^\circ\text{C}$ ；

Q——传感器每 5°C 的零点漂移， $\%eN/5^\circ\text{C}$ ；

S——加载后8小时“蠕变”， $\%eL$ ；

T——加载0.5小时零点漂移， $\%eL$ ；

U——大气压变化1kPa(10mbar)时零点漂移, %eN;
N——传感器数量。

试验主要包括温度对灵敏度、零漂的温度影响和蠕变、气压的影响。试验的条件和最大允许误差要求如下。

2 温度影响

图1和图2表示出当温度改变25°C(15°C~40°C), 传感器的量程改变不得超出最大允许误差的范围。图3表示出n=3000分度传感器, 在温度变化时, 图3中阴影区为传感器实际灵敏度曲线产生超差的区域。

当温度改变25°C时, 由图3中可看出量程漂移产生两个交点区, 在1000分度内1.40‰和0.7‰, 在3000分度内为0.525‰和0.35‰。根据两个阴影区相交的线段和上面的直线, 传感器的最大分度数不应超过250~500和1333~2000。按下面的直线最大分度数不应超过500~1000和2000~3000。

根据图4计算当r大于0.35e和小于0.35e时的最大分度数 n_{max} 。

(a) 如果 $r \leq 0.35$, 则 $r/1000 \cdot n_{max} = 1.05$, 此时 $n_{max} = 1050/r$ (1)

(b) 如果 $r > 0.35$, 则 $r/1000 \cdot n_{max} = 0.7/3000 \cdot n_{max} + 0.35$, 此时 $n_{max} = 1050/(3r - 0.7)$ (2)

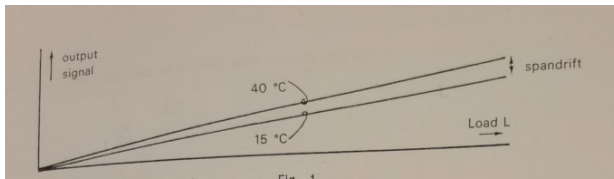


图1 温度对量程的影响

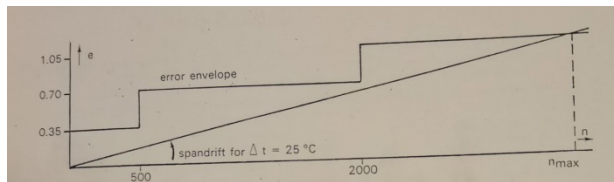


图2 量程漂移与误差范围交点

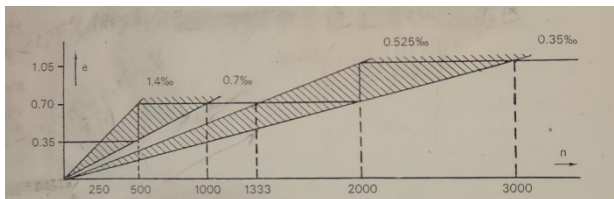


图3 两个交点的区域

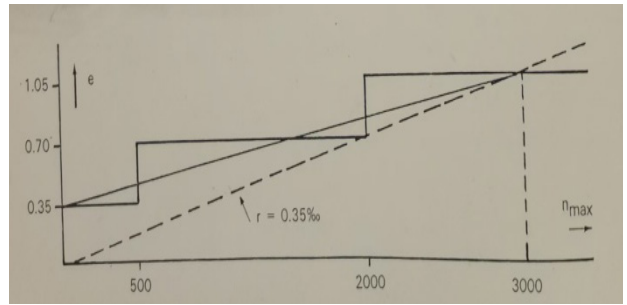


图4 以量程漂移为函数求 n_{max} 图

3 零点漂移

通常传感器的零点受到衡器使用时的死载荷值的影响, 因此实际上“零漂”的影响是由两部分组成, 参看图5和图6。

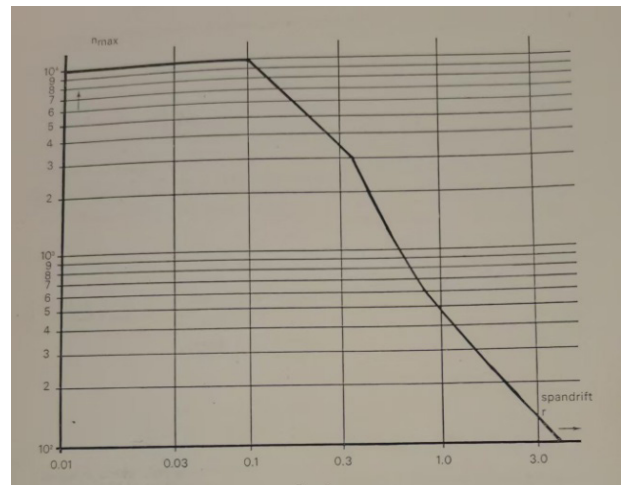


图5 量程漂移为函数的 n_{max} 图

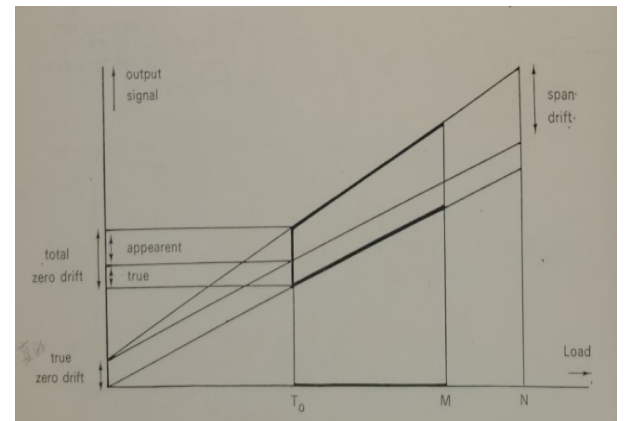


图6 使用时传感器零点漂移图

- ◆传感器的“皮重”零漂;
- ◆在死载荷条件下, 因量程漂移所导致的额外

零漂 (extra apparent zero drift)。

传感器的技术要求:

◆每5℃零漂: $q\%N$;

◆每25℃量程漂移: $r\%L$ 。

单只传感器每5℃的总零点漂移:

$$\frac{q}{1000} \cdot N = \frac{1}{5} \cdot \frac{r}{1000} \cdot T_0$$

对完整衡器在温度改变5℃时, 由于传感器影响导致的最大零点漂移:

$$\frac{p}{R} \left[\frac{q}{1000} N + \frac{1}{5} \cdot \frac{r}{1000} T_0 \right]$$

按要求不得大于 $0.7e$, 所以需要满足下面等式:

$$\frac{p}{R} \left[\frac{q}{1000} N + \frac{1}{5} \cdot \frac{r}{1000} T_0 \right] \leq 0.7e$$

$$\frac{1}{e} \leq \frac{700}{\frac{p}{R} \left[qN + \frac{1}{5} rT_0 \right]}$$

$$n = \frac{\text{Max}}{e}, \text{ 因此 } n \leq \frac{700 \cdot \frac{R \cdot \text{Max}}{P \cdot N}}{qN + \frac{1}{5} rT_0}$$

由于 $T_0 = \frac{1}{p} \cdot RT$, 因此

$$n_{\max} = \frac{700 \cdot \frac{R \cdot \text{Max}}{P \cdot N}}{\frac{q + r \cdot R \cdot T}{5 \cdot P \cdot N}} \quad (3)$$

根据上式确定衡器的最大允许分度数, 需要知道以下参数: Max, N, T, R, P, q 和 r。

N——根据所使用传感器的数目确定;

Q 和 r——根据型式批准试验和技术指标确定;

R——如果未知, 可根据测量和计算确定;

T——由衡器厂家决定 (或根据说明书)。

考虑到实际情况由死载荷T引起的额外零点漂移可不考虑, 因此高于T的计算值允许 n_{\max} 增高10% (极限情况可为20%), 最后可得零点漂移的公式为:

$$n_{\max} = \frac{700 \cdot R \cdot \text{Max}}{q \cdot P \cdot N} = \alpha \cdot \left(\frac{700}{q} \right) \quad (4)$$

这样的简化并没有考虑到传感器死载荷的影响, 但结果并不影响衡器的量程漂移, 在实际运用此式时, 零点漂移可能有时会稍微超过衡器温漂的要求。

4 称重传感器国家标准为滞后误差

作者认为, 传感器加载后8小时的弹性滞后称为蠕变不是很严格表述。在通常情况下, 可认为它与

试验时加载的重量成正比, 用L的‰表示, 并根据图7计算它的影响。

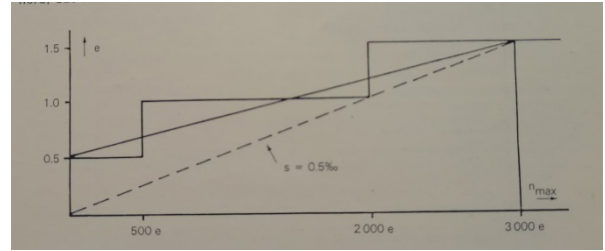


图7 以蠕变为函数确定 n_{\max} 值

由图7可得:

(a) 如果 $S \leq 0.5$, 则 $S/1000 \cdot n_{\max} = 1.5e$, 由此

$$n_{\max} = 1500/S \quad (5)$$

(b) 如果 $S > 0.5$, 则 $S/1000 \cdot n_{\max} = 1/3000 + 0.5$, 由此

$$n_{\max} = 1500/(3S-1) \quad (6)$$

作者还认为, 需考虑当加载1/2h后零点漂移, 对单只传感器加载为L时的影响为 $t\%e$, 对一个完整衡器在最大秤量Max时, $t\%e$ 最大允许误差不得超过 $0.5e$ 。

$$\text{即: } t/1000 \cdot \text{Max} \leq 0.5e$$

$$\text{由此, } \text{Max}/e \leq 0.5 \cdot 1000/t = 500/t$$

$$\text{最大分度数数为 } n_{\max} = 500/t \quad (7)$$

5 大气压力的影响

当大气压力改变kPa (10m bar) 时, 传感器的变化不得超过 $1e$ (无需考虑分配因子0.7)。由此可知衡器的最大分度数为:

$$n_{\max} = 1000/e \cdot R \cdot \text{Max}/P \cdot N \quad (8)$$

6 实例

以最大量程500kg到50t传感器为例, 根据下面技术要求来计算相应衡器的最大允许分度数。

零点温度影响: $q \leq 0.1\%eN/5^\circ\text{C}$;

量程温度影响: $r \leq 0.3\%eL/25^\circ\text{C}$

8小时蠕变: $S \leq 0.4\%eL$

0.5小时回零: $t \leq 0.1\%eL$

大气压力影响: $u = 0.2\%eN/\text{kPa}$ ($N=500\text{kg}$)

$u = 0.1\%eN/\text{kPa}$ ($N=1t$)

$u =$ 可忽略不计 ($N=2t$)

将技术要求值代入各上式得:

$$q \rightarrow n \leq \frac{7000}{q} \cdot \frac{R}{P} \cdot \frac{\text{Max}}{N} = \frac{7000 R \cdot \text{Max}}{P \cdot N}$$

$$r \rightarrow n \leq \frac{1050}{r} = \frac{1050}{0.3} = 3500$$

$$S \rightarrow n \leq \frac{1500}{S} = \frac{1500}{0.4} = 3700$$

$$u \rightarrow n \leq \frac{1000}{u} \cdot R \cdot \frac{\text{Max}}{P \cdot N} = \frac{1000}{0.2} \cdot R \cdot \frac{\text{Max}}{P \cdot N}$$

$$= 5000 \frac{R \cdot \text{Max}}{P \cdot N} \quad (N = 500\text{kg})$$

$$n \leq \frac{1000}{0.1} \cdot \frac{R \cdot \text{Max}}{P \cdot N} = 10000 \cdot \frac{R \cdot \text{Max}}{P \cdot N} \quad (N = 1\text{t})$$

由此可见，量程（灵敏度）受温度影响最大，大气压力的影响和零点温度影响 q 对小量程传感器（ $N=500\text{kg}$ ）起次要作用。

作者根据以上分析，作为配件，对传感器的型式认证应有下面的限制。

“使用经认证传感器的衡器的分度数不得小于下面三个量值：

(a) 3500；

(b) $5000 \frac{R \cdot \text{Max}}{P \cdot N}$ （如果 $N < 1\text{t}$ ）

$7000 \frac{R \cdot \text{Max}}{P \cdot N}$ （如果 $N \geq 1\text{t}$ ）

式中， R 为减缩比；

Max 为衡器的最大称量（ kg ）；

N 为单只传感器的称重（ kg ）；

P 为衡器所用传感器的数量。

(c) 显示器或者衡器任何其他部件的型式认证文件中，应标明衡器的最大允许误差分度数。

作者为了说明如何根据给出三点限制决定所选用的传感器是否满足要求，又举下例来说明。

如 $\text{Max}=60\text{t}$ ， $n=3000$ ， $e=d=20\text{kg}$ 的汽车衡。一台为有杠杆的机电式汽车衡，所用传感器 $E_{\text{Max}}=500\text{kg}$ ，减缩比 $R = \frac{1}{200}$ 。另一台为直接加载在四只 $E_{\text{Max}}=50\text{t}$ 上的汽车衡，所用传感器均经型式批准， $n=3500$ 。

根据上述(a)的限制条件 $3500 > 3000$ 满足要求；根据(b)限制条件，对有杠杆的汽车衡（减缩比 $R=1/200$ ）：

$$n_{\text{max}} = 5000 \frac{\frac{1}{200} \cdot 60000}{1 \cdot 500} = 3000 \quad \text{满足要求}$$

对直接加载型汽车：

$$n_{\text{max}} = 7000 \frac{1 \cdot 60000}{4 \cdot 50000} = 2100 \quad \text{不能满足要求}$$

若将 50t 传感器改为 30t 传感器，则

$$n_{\text{max}} = 7000 \frac{1 \cdot 60000}{4 \cdot 30000} = 3500 \quad \text{满足要求}$$

7 讨论

作者G.H. ENGLER的这篇文章刊登在1980年OIML N⁰ (P23)上，是我找到的最早将传感器与衡器关联起来讨论的文章，从所举的汽车衡的例子可看出，作者认为，既有的传感器的分度数满足衡器分度的要求，也可能因某项影响因子，例如大气压的改变，从而使得传感器不能满足汽车衡的要求。也就是说，传感器和衡器的最大允许误差（包络限）在表征上形式相同，但没有严格的直接相对应的逻辑上的关系。

我介绍此篇文章的目的，不是为了用他的计算方法来选用传感器，而是为了介绍在20年以前衡器方面的专家是如何分析、认识传感器的技术参数与衡器的技术参数间的关系。

根据现在OIML组织发布的有关传感器和衡器测量参数的程序已与20年前不一样，表述定义也不完全相同。按现在OIML的定义、传感器的最大允许误差（包络限） mpe ，由以下三部分组合而成。

非线性(Nonlinearity) 滞后(Hysteresis) $TC\text{-Span}$ (量程静态温度试验)

而不包括蠕变(Creep)和零点的静态温度影响)，而且规定“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”，并且确定误差的原则。

上述误差限适用于符合下列条件的传感器整个测量范围，同时应遵循下列条件： $n \leq n_{\text{max}}$ 和 $V \geq V_{\text{min}}$ 。对于表征蠕变和零点温漂，用下面两个参数来表述：

◆最小静负荷输出恢复(DR)，相对最小静载荷输出恢复(DR)或 Z ， $Z = E_{\text{max}}/2DR$ 。

◆传感器最小检定分度值(V_{min})，传感器测量范围可以分成的最小检定分度值(质量)，它的数值由零点或最小死载荷输出在 20°C 、 40°C 和 -10°C 测量的最大值确定。

相对 V_{min} 或 Y ， $Y = E_{\text{max}}/V_{\text{min}}$ ，该比值与传感器秤量无关的分辨力。一般要求传感器与衡器需要满足以下关系：

$$E_{\text{max}} \geq (\text{Max}_{\text{max}} + DL + IZSR + NUD + T^+)/N$$

$$\text{以及： } V_{\text{min}} \leq e_{\text{min}} \cdot R/\sqrt{N}$$

其中， $R=1$ （无杠杆）； N =支承点数（传感

器数)；DL=死载荷；IZSR=初步零点设置范围；NUD=载荷非均匀分布；T⁺=附加皮重。

在实际运用中我们往往会忽略了一个问题，即传感器的真实电信号的输出值。由于非线性等的影响不会与传感器计算误差的参照直线重合，而衡器的死载荷值不等于传感器的零点和死载荷值，所以在检定衡器时的参照直线与传感器参照直线是两条不同斜率和初始点的线。所以根据两条不同参照线测得误差相同，而实际误差并不相同。这样，由于衡器的无载荷零点与传感器零点不同，衡器的使用范围也只是传感器的一部分，在实际运用当中按衡器参照线确定的mpe，就有可能超出传感器确定mpe值。

作者的文章以及上述的讨论，可以看出，传感器与衡器最大允许误差(限)和准确度的表述，虽然在形式上相同，但它们之间并没有严格的逻辑关

系。所以，在实际运用时，还应该根据传感器输出电信号的特性，才能使传感器与衡器之间得到很好的匹配。

参考文献

CALCULATION OF THE MAXIMUM NUMBER OF SCALE DIVISIONS ALLOWABLE FOR NON-AUTOMATIC WEIGHING MACHINES USING LOAD CELLS

(作者: by G.H. ENGLER)

(杂志名称: Bulletin OIML No 80)

作者简介

周祖谦，中国计量科学研究院质量称重实验室退休职工。