

# 电子皮带秤耐久性测试讨论的回顾与展望

陈日兴

**【摘要】** 电子皮带秤的耐久性测试是国际上较为关注的热点。本文就电子皮带秤的耐久性及其测试从定义出发,在理论上对电子皮带秤耐久性误差的影响因素进行了分析计算,并阐述了国内外关于电子皮带秤耐久性测试的讨论进程,最后提出了本人的看法与展望。

**【关键词】** 电子皮带秤 耐久性测试

## 前 言

耐久性是衡器产品考核其长期稳定性的一个较为重要的技术指标。但是作为连续累计自动衡器的电子皮带秤产品,如何来考核其耐久性一直是国内外有争议的话题。本文的目的想通过影响电子皮带秤耐久性误差的理论分析及针对国内外关于耐久性问题的不同看法介绍,理顺电子皮带秤在耐久性试验问题上所具有的共同点,试图找出电子皮带秤耐久性试验的合理方法,并提出基于我国在国际上所具有优势的倾向性意见。

### 一、OIML R50 国际建议对耐久性试验的定义<sup>[1]</sup>

#### (1) 耐久性误差 Durability Error

使用一段时间后衡器呈现的固有误差与其初始固有误差间的差值。

(2) 耐久性试验:为验证被测衡器在经过规定的使用周期后能否保持其性能特征的一种试验。

#### (3) OIMLR50-2009 3CD 的要求

国际建议 OIMLR50-2009 3CD 稿对电子皮带秤的耐久性试验的要求如下:

“耐久性试验应该以现场试验的方式,在完整安装的皮带秤进行,在首次试验和最终试验之间,应运行至少六个月的时间”。

#### (4) OIMLR50-2014 (E) 的要求

国际建议 OIMLR50-2014 (E) 耐久性的要求如下:

#### “3.9 耐久性

由于电子元件磨损、性能衰退而产生的耐久性误差不得超过自动称重最大允许误差的绝对值。”

#### “6. 计量控制

皮带秤的计量控制可以与国家相关规定一致，包括：

a) 型式评价；b) 首次检定；c) 后续检定；d) 使用中检验

试验应由法定计量部门统一实施，形成一个统一的程序。型式批准和首次检定应分别以 OIML 国际建议 D19 [9]和 D20[10]作为指导原则。

皮带秤耐久性的重要性已经得到共识，可以在国家法规的约束下采取一些措施来确保耐久性，这些措施包括上述 a) 到 d) 四项评检内容与 3.9 要求一致。”

## 二、中国对耐久性测试的讨论

中国衡器协会与全国衡器计量技术委员会于 2011 年 3 月上旬在南京联合召开了关于 OIML R50 国际建议有关耐久性测试的研讨会，并由中国衡器协会与全国衡器计量技术委员会联合牵头对外宣布成立“连续累计衡器（皮带秤）工作组”。准备对皮带秤的耐久性作进一步的试验与研讨。会议达成较为一致的意见认为耐久性试验在型式评价时做，由实验室完成物料试验，而不是无皮带的模拟试验。而且实验室试验项目必须从严，要考虑模拟各种现场的严酷条件，现场不考虑做耐久性试验，仅做首次检定的物料测试。

2015 年 10 月 13 日由全国衡器标准化技术委员会会同中国皮带秤耐久性研讨工作组在上海为如何在国家标准中体现耐久性指标进行了专题研讨。

最后会议形成了如下意见：

- (1) 本次国家标准修订的检验规则的条款中包含耐久性试验。
- (2) 实验室物料模拟试验方法和现场物料试验方法并存，完善试验方法和数据。
- (3) 采用美国 44 号手册中的部分条款，对部分条款进行试验验证。
- (4) 对于采用双秤称重单元皮带秤，零点累计误差和双秤之间的物料偏差应不超过相应要求的数值。对于采用单称重通道皮带秤，零点累计误差和链码试验误差不超过相应要求数值。

## 三、OIML R50 国际建议关于耐久性测试的讨论

(1) 国际建议 OIMLR50-2009 4CD 稿对电子皮带秤的耐久性试验的要求讨论如下：

### “4. 可能的解决方案

#### 4.1 型式批准时的耐久性试验

##### 4.1.1 通过进行实验室试验

如果不能进行实际的试验，就不能在实验室确认合理时间内的耐久性。

但是皮带秤系统的尺寸，包括称重部分、皮带和传送机构，以及操作方法和动态负荷似乎使这种试验难以进行。

建议：试验应与当前的型式批准程序一致。

问题：很难开发试验对实际安装条件进行复制或模拟，并且又不需要太多的试验投资。

设备的量程一般超过用于非自动衡器试验使用的耐久性试验设备的 100 公斤极限。

现场操作包括振动、皮带拉紧及灰尘的附加影响。

#### 4.1.2 在型式批准时进行现场耐久性试验

已建议需要进行现场耐久性试验，作为型式批准过程的组成部分。这包括安装在现场的样机试验，以及在此样机操作一段时间或特定输送量后重新进行试验。这两次试验之间的性能变化应在规定的极限内。

有关试验安排的细节在附录 4. 中列出。”

(2) 国际法制计量组织 OIML-TC9/SC2 于 2011 年 4 月中旬在英国国家计量院召开了 OIML R50 国际建议研讨会，关于电子皮带秤的耐久性试验是本次国际会议研讨的重点，最终形成的意见是：R50-2009 第三次修改稿中对耐久性试验的要求（1.1）还难以实现，但皮带秤耐久性十分重要并应予考核，各国自行采取方法进行管理，鼓励各国进行耐久性测试方法的进一步研究。

在本次会议上首次听到中国企业代表关于“由实验室完成物料试验”的意见，引起国际上极大的关注，会议组织者表示在今后就会就此问题进一步展开讨论。

会议通过了澳大利亚的提案如下：

#### “5.3 后续计量控制

后续计量控制可依据国家规章执行。

此处建议在后续计量控制中加入对后续检定和使用中检查的周期进行审查的机制。审查方法可参照 ILAC-G24/OIML D10（2007）“测量仪器校准周期确认指南”中第三条款。以此给予制造商生产在安装和使用时耐久性好的仪器的动力，同时对不耐久的仪器予以惩罚。

若发现某型式的衡器缺乏应有的耐久性，可做出取消该衡器型式批准的行为。”

#### “5. 计量控制”

加入以下内容：“皮带秤耐久性的重要性是公认的。目前为止无法对如何保证耐久性达成共识。可根据国际计量规定保证耐久性的方法，其中可包括对以上（a）到（d）项的评估。”

TC9/SC2 指出在后续工作中可能包括开发制订耐久性的测量和试验的规程和指南。若有对耐久性进行规定的方法，鼓励成员国对其进行记录，并提供细节给 TC9/SC2，以便对该领域中未来工作的开展给予指导。

澳大利亚和英国的提案指出：

“如果评价是按 a) 做出的，应承认并考虑耐久性（的缺失）可能是特定装置的一个特征。所以仅当耐久性不合格已经明显成为此型式设备的一个特征时，才有正当理由决定不对此衡器做型式鉴定。”

“如果发现安装在特定地点的一台衡器耐久性不合格，可能需采取一些措施将该衡器停止使用。如果发现耐久性不合格是此型式设备的一个特征时（与安装情况无关的耐久性不合格），则需考虑撤消此型式鉴定。”

#### 四、影响电子皮带秤耐久性称量误差的主要因素

既然皮带秤的耐久性合格与否是考核该产品称量误差是否稳定不变的一个重要指标，那么首先应该了解影响皮带秤耐久性称量误差的几个因素。

##### (1) 电子皮带秤的误差分析

美国 Thayer 公司 F. S. Hyer 博士于上世纪六十年代根据应变能量法在国际上首先提出了物料作用于皮带秤上的力  $P$  的三项公式 [2]：

$$P = \frac{nqL \times \cos\theta}{12} + \frac{2TD}{L} + \frac{24EID}{L^3}$$

上述公式中：

$n$ -托辊数； $q$ -垂直于皮带的线载荷； $L$ -托辊间距； $T$ -皮带张力； $E$ -皮带槽架材料的弹性模量； $I$ -皮带槽架的截面惯性矩； $D$ -称重托辊与邻近托辊之间的非准直性； $\theta$ -皮带输送机倾角。

上述公式可以简化写成：

$$P = \frac{nqL \times \cos\theta}{12} + \frac{2KDT}{L}$$

上式中： $n$ -托辊数；

$q$ -垂直于皮带的线载荷；

$L$ -托辊间距；

$\theta$  -皮带输送机倾角；

$K$ -皮带刚度系数；

$D$ -称重托辊与邻近托辊之间的非准直性；

$T$ -皮带张力。

F. S. Hyer 博士最后得出：

对于全悬浮式多托辊的皮带秤的称量段的相对误差公式如下：

$$\delta = \frac{\left( \frac{2T}{L} + \frac{24EI}{L^3} \right) \times D}{(nqL/12)\cos\theta}$$

美国 H. Colijn 先生用简支梁力学分析方法，导出了单杠杆多托辊的皮带秤的力学模型：

$$P = \frac{nqL}{12\cos\theta} \pm \frac{2KDT \cos\theta}{L}$$

上述公式中： $K$ -皮带的刚度系数，它是  $L, T, E, I$  和  $\theta$  的无量纲双曲正弦超越函数。

对于单杠杆多托辊的皮带秤的称量段的相对误差公式如下：

$$\delta = \frac{(2KDT \cos\theta)/L}{(nqL/12)\cos\theta}$$

由上述几个公式中，可以看出的由于秤架结构引起的相对误差的具有共性的影响因子主要与以下几个因素相关：

$T$ -皮带张力、 $K$ -皮带的刚度系数（与  $L, T, E, I$  和  $\theta$  相关）、 $D$ -称重托辊与邻近托辊之间的非准直性、 $L$ -托辊间距。

而皮带张力与皮带的刚度系数的变化又可称为皮带效应。其中张力变化，是所有因素的源头，由于张力变化，将影响准直性，影响测速，使皮带伸长从而因线重量变化引起称重误差。

当然载荷大小又与托辊数  $n$ 、垂直于皮带的线载荷  $q$ 、托辊间距  $L$ 、皮带输送机倾角  $\theta$  相关。

对于整体秤来说，影响称量误差的还有影响因子（零点、温度、湿度、电压）和电气干扰（电压瞬间跌落、静电、电磁辐射、浪涌等）等。

从上面的分析看，影响皮带秤耐久性称量误差的主要因素除了整体影响因子外，对

于机械结构的影响而言主要有以下几条：皮带张力、皮带刚度系数、称重托辊与邻近托辊之间的非准直性、托辊间距有关。

## (2) 电子皮带秤的张力分析

既然皮带张力对于机械结构的影响而言是最主要的，那么我们再来分析一下具体的张力影响因素。

1) 美国 CEMA (输送机制造商协会) 关于皮带张力的计算方法

驱动皮带输送机传动滚筒的总阻力，即有效张力  $T_e$  是由以下几个分力组成：

- A. 上运或下运物料所产生的重力；
- B. 输送机以设计能力运行时，各部件与驱动装置及所有附属装置的摩擦力；
- C. 输送过程中物料的摩擦力；
- D. 物料向输送机给料时，连续加速物料所需的力。

驱动或制动输送机传动滚筒所需的皮带有有效张力  $T_e$  的计算公式如下 [3]：

$$T_e = LK_t (K_x + K_y W_b + 0.015 W_m) + W_m (LK_y \pm H) + T_p + T_m + T_{ac}$$

上式中：

$T_e$  - 皮带有有效张力；

$L$  - 皮带输送机长度；

$K_t$  - 环境温度校正系数，根据不同的使用温度查图表得到；

$K_x$  - 用于计算托辊摩擦阻力和输送带与托辊间的摩擦阻力的系数。

$$K_x = 0.00068 (W_b + W_m) = A_i / S_i$$

上式中：

$W_b$  - 单位长度输送带的重量，当不能确定输送带的实际重量时，可用输送带平均重量作为估算值，可查表得到。

$W_m$  - 输送带上单位长度的物料重量，计算公式如下：

$$W_m = 33.33Q/V$$

上式中：

$Q$  - 物料的输送流量；

$V$  - 设计的输送带速；

$A_i$  - 系数，根据不同的托辊直径，查表或由输送机厂家提供；

$S_i$  - 槽形托辊组间距；

$K_y$  - 用于计算输送带和物料经过托辊时，承载段输送带和物料的综合弯曲阻力系数

查表得出。对于回程段取定值  $K_f=0.015$ ;

$H$  - 物料提升或下降高度;

$T_p$  - 输送带绕在滚筒上的弯曲阻力和所有滚筒在轴承上的转动阻力在输送带上产生的张力;

$T_m$  - 提升或下降物料所需的力在输送带上产生的张力:

$$T_m = \pm H \times W_m$$

$T_{ac}$  - 输送带附属装置所产生的总张力, 计算如下:

$$T_{ac} = T_{sb} + T_{pl} + T_{tr} + T_{bc}$$

上式中:

$T_{sb}$  - 导料槽摩擦产生阻力在输送带上产生的张力;

$T_{pl}$  - 犁式卸料器的摩擦阻力在输送带上产生的张力;

$T_{tr}$  - 卸料器等产生附加摩擦阻力和输送带经过滚筒产生的弯曲阻力在输送带上产生的张力;

$T_{bc}$  - 输送带各种清扫装置(例如刮板)所需的力产生的输送带张力。

由上述皮带运行时输送带张力的各分量的叠加可以计算出传动滚筒上总的有效张力  $T_e$ 。上述各种参数的计算或查表可以看出影响皮带张力的各种因素。上述总张力公式由以下张力分量组成: 1) 托辊摩擦引起的张力、2) 承载托辊上输送带弯曲引起的张力、3) 回程托辊上输送带弯曲引起的张力、4) 物料重量弯曲引起的张力、5) 提升或下降物料引起的张力、6) 滚筒阻力引起的张力、7) 加速物料引起的张力、8) 附属装置引起的张力, 共八项分量因素组成。

从以上分析可以看出, 如何减少托辊摩擦、输送带弯曲、物料重量弯曲、物料落差、滚筒阻力、速度变化及各种附属装置所造成的张力变化从而带来的耐久性称量误差, 是皮带秤生产厂在耐久性改进方案设计中需要重点考虑的课题。

### (3) 电子皮带秤动态分析方法

在上面(1)中的电子皮带秤的误差分析公式可以看到, 影响皮带秤误差除了皮带张力外, 刚度是第二大因素。如何处理刚度问题是较为棘手的课题。在包括电子皮带秤的输送机系统中, 我们可以认为是一个多自由度的振动力学模型。要研究系统的动态响应特征, 必须建立系统动态方程。在皮带秤的动态分析中, 我个人认为可以分两步来研究。首先是考虑将皮带秤作为一个独立的动态力学方程, 先关注秤本身小系统的自振频率、阻尼系数与系统输出等基本的动态响应指标。

自控理论中一个二阶线性系统在单位阶跃信号作用下的输出响应如下 (4) :

$$C_t = 1 - \frac{e^{-\sigma t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \times \sin(\omega_d \bullet t + \theta)$$

上式中:  $\sigma$  — 振动衰减系数, 计算公式如下:

$$\sigma = \xi \times \omega_n$$

上式中:  $\xi$  — 系统阻尼比;

$\omega_n$  — 系统无阻尼固有频率, 计算公式如下:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$$

上式中:  $K$  — 系统刚度;

$m$  — 系统质量;

$\omega_d$  — 系统有阻尼固有频率;

$\theta$  — 相位差。

从上式可以看出, 要想提高动态响应特性, 必须要系统振动衰减加快, 而衰减主要取决于振动衰减系数 $\sigma$ , 所以增加系统阻尼以及提高系统无阻尼固有频率, 从上述公式可看出必须提高结构动静刚度, 而提高动静刚度就能缩短系统瞬态振动周期, 从而提高动态计量准确度。具体措施就是提高系统中各部件的结构支承刚度, 增加系统总刚度。

随着计算机应用的广泛和快速傅里叶变换方法的成熟, “相关”理论可提供各种动态波形分析信息。频率信号的高低频率, 周期信号采用傅里叶级数来分解频率分量; 而非周期信号则采用傅里叶积分进行分解; 对于随机振动则可通过自相关函数的傅里叶变换得到频域信息。在电子皮带秤的动态分析中, 作为第二步必须分析包括皮带输送机在内的随机振动的激励和响应。引入随机振动的谱密度分析, 从而指导系统振动计算响应, 从更科学的层面找出影响系统动态特性的因素, 优化产品设计, 进一步提高系统动态计量准确度。

## 五、电子皮带秤耐久性试验方案比较

2015年10月13日中国皮带秤耐久性研讨工作组在耐久性指标的专题研讨会上关于“实验室物料模拟试验方法和现场物料试验方法并存”的结论虽然比较灵活, 但如何体现试验既公正又不浪费人力和物力是目前仍然困扰我国皮带秤行业的难题。

### (1) 建立模拟现场实验室对皮带秤系统进行耐久性试验



优点：以型式批准为目的的耐久性样机试验是在取得市场准入资格之前，如果条件许可在获得认可的实验室进行。此方法无需在用户现场就能对安装在实验室的输送机上实际运行的皮带秤进行试验。其次是将所有的不同生产厂家、不同结构的皮带秤都在同一个实验室输送机上进行测试，具备了相同的使用环境测试条件。因此相对于分别在不同的用户现场条件下完成耐久性测试，其可比性与公正性优于后者。当然实验室的运行工况是较为关键的因素，考虑各种现场可能出现的恶劣工况分别进行测试，可使试验结果比较接近不同的现场要求。

国际法制计量组织于 2011 年 4 月中旬的 OIML R50 国际建议研讨会上，中国企业代表关于“由实验室完成物料试验”的意见引起了 OIML-TC9/SC2 极大的关注。

缺点：最主要的问题是完全模仿现场工况目前仍是个需要进一步研究的课题。然而直至今日，关于影响皮带秤使用准确度的影响因子，包括不确定度的评估仅停留在理论分析层次。如何抓住影响耐久性的主要矛盾是解决问题的根本。其次是具体的、可操作的实验室耐久性试验方案还需要不同的实际用户现场的一致性认证。

## **(2) 将皮带秤安装在用户现场进行耐久性试验**

优点：能真实反映某一个特定用户现场的实际运行对于耐久性考核的要求。

缺点：最主要的问题是如果耐久性试验仅针对某一特定现场（特定的环境条件及特定的使用频率等条件）具有局限性，在不同的现场进行测试可能会得出完全不同的测试结果。本人认为如果型式评价测试在某一个用户现场来完成，由于特定条件、特定时间的限制，因此缺乏可比的公正与通用的原则。第二个问题是现场用户在耐久性试验过程中配合的程度。一般皮带秤在现场投入使用后，要在固定的时间间隔投入大量的人力和物力进行物料试验，谈何容易。如果为了减少浪费人力和物力，在现场不采用实际使用的物料进行测试，或者采用局部的物料试验，其正确性与科学论证又会受到挑战。

目前此方案又可分为两种实施方案。其一，是完全按照 OIML R50 中规定的物料试验方法进行耐久性测试。当然此方法有法可依，是无可非议的，但缺点也是显而易见的。其二，是目前我国一些皮带秤生产厂各自提出的现场耐久性试验方案，目的是简化目前 OIML R50 中规定的物料试验方法，来实施耐久性测试，各有特色。其中应该指出的是，对于如何提高用户现场皮带秤使用中的稳定性，各生产厂都在努力采取各种不同的包括实时校正的措施，但这仅是保障皮带秤稳定使用的技术手段，不是统一的测试方法，本文不想在此一一评论。但是有一点是必须明确的，无论何种方法，需要有各种不同用户现场（不同行业，不同使用工况，不同使用频率）的，不同时间段（包括 24 小时和春

夏秋冬季节)的验证数据。而且测试方法需要得到大多数皮带秤生产厂家的认可,否则可能会出现所谓的贸易壁垒,不利于通用性及公平竞争的原则。

## 六、结束与建议

2015年10月由全国衡器标准化技术委员会会同皮带秤工作组召开的讨论会上在耐久性测试方案上虽然有所共识,但此共识内容在具体实施中仍然有大量的工作要做,而且真要照此模棱两可的共识内容,操作上会带来问题很多,可谓任重道远。

目前我个人认为在皮带秤的耐久性试验的问题上,应该站在如何发挥我国自主创新的技术优势上。截止目前,中国在连续累计自动衡器的物料测试水平及条件已具备了国际领先的水平。在我国的山东计量科学研究所和江苏计量科学研究所都相继建立起国家级的连续累计自动衡器物料测试中心,如何发挥我国在电子皮带秤物料测试中的作用,让国际上在连续累计自动衡器的型式评价的耐久性测试都吸引到中国进行,提高中国在皮带秤产品耐久性试验上的话语权与主导权。所以我个人还是偏向于指定比较完善的模拟现场实验室对皮带秤系统进行耐久性试验的方案。当然目前我国在模拟现场实验室进行耐久性试验的方案还不够成熟,特别对于影响皮带秤耐久性误差的理论与实践机理还不够完善,这要靠我国皮带秤同行的共同努力,特别是发挥我国皮带秤耐久性研讨工作组的作用,打破企业隔阂,找出影响皮带秤耐久性的影响因子的测试方法与测试项目,通过不同企业、不同结构、不同环境条件的反复比较与认证,共同完善实验室对皮带秤系统进行耐久性试验的方案。争取为国际上的皮带秤系统型式评价的耐久性试验真正吸引到中国而努力。

## 参考文献

【1】 国际法制计量组织 OIML R50《连续累计自动衡器(皮带秤)》[S]2009年以来历年相关文件;

【2】 施汉谦、宋文敏《电子秤技术》中国计量出版社[M]1991年;

【3】 宋伟刚《通用带式输送机设计》机械工业出版社[M]2006年;

【4】 陈日兴《关于提高动态电子轨道衡台面称重系统振动特性问题的探讨》[G]第二届全国测力称重技术研讨会论文 1983年。