

# 关于定量皮带秤的自动定量误差

盛伯湛

**【摘要】**最近国内在拟制的《定量皮带秤》行业标准，是继国际上首个相关专用设备标准《耐压式计量给煤机》之后的又一个专门针对定量皮带秤的产品标准。新拟制标准涉及对象的结构特征与所称量物料的种类都有所扩展。自动定量是定量皮带秤特有的关键性能，然而采用不同的测试方法往往会得到不同的结果。用散状物料试验以避免模拟载荷试验的缺陷，是不少用户与皮带秤从业者的夙愿，也做了不少探索，因此有关物料试验实际上存在着若干不一致的测试和评价方式。新拟标准对此作了大胆尝试和努力，希望能结束物料测试和评价方面的乱象。文中对该标准稿涉及的定量皮带秤范围的界定、自动定量误差(俗称控制误差)的定义和表达式、检测定量皮带秤自动定量误差的必要性、定量皮带秤准确度等级的指标、自动定量误差的散状物料测定方法等相关问题作了解释和说明。

**【关键词】**定量皮带秤准确度等级；自动定量误差；控制误差；定值系统的稳态误差；分离检测法；集成检测法

## 引言

河南丰博自动化有限公司申报的《定量皮带秤》行业标准立项提案，在 2011 年 9 月得到工信部的批准（计划号 2012-2155T-QB），归口全国衡器标准化技术委员会。为了推进标准制订工作的需要，在衡标会秘书处的提议下，南京三埃工控股份有限公司于 2013 年 11 月参加了标准启动会，并作为主要执笔者与丰博公司共同负责标准的拟制工作。参加标准起草组的还有赛摩电气股份有限公司、江苏省计量科学研究所和济南金钟电子衡器股份有限公司。

由于关于皮带秤的国际建议 R50 和国家标准 GB7721 都没有涉足定量皮带秤。在标准启动会召开后将近两年的文稿起草过程中，起草组全体同仁频繁地用电子邮件坦率交换意见，还先后进行了六次面对面的讨论。标准送审稿经多次广泛征求意见和反复斟酌修改后，在 2015 年 6 月于珠海举行的衡标会四届七次会议上接受了审查。同年 9 月，

标准起草组再次召开工作会议，参加会议的还有衡标会秘书长，以及中国衡协、计量技术机构和服务用户的工程设计院等单位的专家。会议依照标准审查会议精神进行了研讨，对送审稿拟定的两种定量准确度试验方法进行了验证和试验结果比对，最终形成了报批稿。现将该稿中涉及定量皮带秤自动定量误差的若干问题说明如下：

## 1. 关于“定量皮带秤”涵义的界定及标准稿涉及的范围

通常需用到皮带秤“定量”功能的场合主要有两种，一种是定量装车、船等，第二种是能以相对恒定的流量或线密度输送物料，多数用于配料系统。本标准稿涉及的只是后一种，因为这两种所谓的“定量”功能的原理和要求都不一样。后者的任务要求在工作过程中物料输送量基本恒定，当出现波动时能够以预设的单位时间或单位长度内的质量为目标值进行动态调整。而前者的任务则是，当通过皮带秤的物料量达到预设的总量时，皮带秤自动停止输料，对于输完这些料所需的时间并无严格的要求，也就是说无须对物料的流量或线密度予以调节，只要在总量达到目标值时给出一个开关信号即可。因此前者无需具有调节功能，所谓的“定量”品质实际上是由其“自动称量误差(俗称计量误差)”所决定的，这与没有定量功能的普通皮带秤并无二致。严格意义上的定量衡器，不仅应当有定量准确度要求，还应当具有调节功能使被计量的输送物料达到预设值。否则，即使加上开关，与非自动衡器的称重和只考虑自动称量误差的皮带秤一样，是不能称其为定量衡器的。然而后者的任务不仅是所输送的物料量要符合实际需求，而且还要求任务必须在相应的时间段内完成；因此仅考核自动称量误差就不能反映其基本功能的品质。两者不同的任务决定了它们的功能原理不相同，相应的测试方法也会有所不同，因此由同一个标准来囊括二者是不合适的。在报批稿的《范围》这一章中对本标准所指“定量皮带秤”界定如下：

适用于“利用重力原理，以连续计量的方式确定所通过散状物料的累计质量，且以设定的单位时间或单位长度内的质量为目标值对通过的物料实现输送量动态调整，并自带输送系统的整机型电子皮带秤。”但不适用于“以通过物料的总质量为目标值进行定量控制的电子皮带秤。”

因此本标准报批稿对“定量皮带秤”涵义定为“一种能事先设置瞬时载荷量的期望值(一般为质量流量t/h或质量线密度kg/m)，并以设定值为目标对所通过的散状物料实现输送量动态调整的整机型皮带秤。”也就是上述具有调节功能的第二种皮带秤，下文也不再涉及无调节功能的前一种皮带秤。

## 2. “自动定量误差”的定义与表达式

由上述定量皮带秤的定义可知，定量皮带秤是一种定值控制系统。自动控制理论告诉我们，稳态误差是反映定值控制系统品质的最基本指标，该误差是由输出量的要求值（亦即期望值）与实际值（亦即约定真值）之差来表达的，这可以在许多《自动控制原理》或《自动控制系统》教科书中找到，即：

稳态绝对误差 = 输出量的期望值 - 约定真值

稳态相对误差 = (输出量的期望值 - 约定真值)/约定真值

对于定量皮带秤而言，输出量的期望值就是其流量设定值（或是按设定流量下测量时段内应通过载荷质量的计算值），约定真值就是实际通过载荷在测量时段内的平均流量（或是累计通过的载荷经由控制衡器检测到的质量值）。因此其以百分数表示的自动定量的相对误差（俗称控制误差）可由下式来表达：

$$E_Q = \frac{Q_S - Q_M}{Q_M} = \frac{Q_S - \frac{3600 \times P}{(t_2 - t_1)}}{\frac{3600 \times P}{(t_2 - t_1)}} \times 100\%$$

或者 
$$E_Q = \frac{C - P}{P} = \frac{(Q_S \times t_s / 3600) - P}{P} \times 100\%$$

式中：

$E_Q$  ——自动定量相对误差；

$Q_S$  ——流量设定值，单位 t/h；

$Q_M$  ——按实际累计载荷量（控制衡器示值）计算的试验期间平均流量，单位 t/h；

$t_s$  ——试验期持续的时间（上述两次记录时刻的差值： $t_2 - t_1$ ），单位 s；

$P$  ——控制衡器显示的累计载荷量，单位 t；

$C$  ——按定量皮带秤给料量预置值计算的试验期间累计载荷量，单位 t。

上述  $Q_M$  或  $P$  必须是可以量值溯源的。因为用户使用定量皮带秤的目的是，要求其在工作期间所输送的物料量能够符合实际的需求。因而要评价其是否能完成任务，就是要考察其所输送的物料量在既定目标值的控制下所输送的物料量是否准确。如果认为考察“自动定量误差”只是考察其控制性能，因而只需比较皮带秤仪表自身的累计示值与预置值之间的差值，而无需溯源；那就不仅不能对实际所输送的物料量到底是否准确直接加以判别，还为某些不良厂商用作弊软件来“提高”自动定量准确度打开了方便之门，出现如同汽车尾气测评造假软件那样“举世闻名”的丑闻。

有人认为，在定量皮带秤自动定量误差的表达式里  $Q_S$  只是期望值，不是测量值，因此不符合误差的定义。实际上，上述表达式是同定值控制系统稳态误差的定义完全一致

的；而且该表达式在本质上反映的是实际输送流量对于预期目标输送流量值的偏离程度，应该也是测量值，只不过不像自动称量误差那样测量的是称量值，而是测量输送流量的差值。

还有一种意见是，应把上列表达式中的  $Q_s$  和  $Q_m$  的位置对调一下。理由是，在《重力式自动装料衡器(OIML R61 或 GB/T 27738)》中有一个所谓“预设值误差(Preset value error)”的表达式：

$$se = \sum F / n - F_p,$$

式中： $se$  为预设值误差， $F_p$  为装料预设值， $\sum F / n$  为  $n$  次装料试验所装全部物料的单次平均值。

据此认为，定量皮带秤自动定量误差表达式中的预设值  $Q_s$  也应当像重力式自动装料衡器中的  $F_p$  那样置于“减数项”而不是“被减数项”。其实两种表达式的涵义并不相同，两者不能简单地拿来类比。

我们知道，无论是哪种误差的表达式，都是用计算该种误差时的对照值作为其“减数项”的，而“被减数项”则为直接被考察对象。比如大家熟知的测量误差就是以测量值作为“被减数项”，而“减数项”则是经由校准过的标准器给出的量值。各类皮带秤都需考核的自动称量误差也是这样表达的。在重力式自动装料衡器的预设值误差表达式中的  $F$  是定量装包秤每一单次的实际装料质量的测量值，包含了 EUT 的系统误差以及随机误差，每一次的  $F$  都会有差别，因此它跟固定不变的预设值相比时，当然还是后者作为比较的参照值更为相宜。

另外，R61 所谓的“预设值误差”实际上表征的是 EUT 的系统误差，这可从以下推导中加以证明：

设定量装包秤的第  $i$  次测量值  $F_i$  与其设定值相比，含有被测对象 EUT 的系统误差  $\Delta$  (可假定其固定不变) 和测量时的随机误差  $\delta_i$  (一般每次不相等)；因此有： $F_i = F_p + \Delta + \delta_i$ ，

对于  $n$  次测量值的总和为： $\sum F = nF_p + n\Delta + \sum \delta$ ，

则平均值为： $\sum F / n = F_p + \Delta + \sum \delta / n$ ，

当  $n$  足够大时，可认为  $\sum \delta / n$  趋于 0，

于是有： $\Delta = \sum F / n - F_p = se$ 。

由是看来，R61 采用这一计算公式当然是没有问题的，然而这并不能照搬到定量皮带秤的身上。因为定量皮带秤试验时并不多次读取测量值（定量皮带秤在同一设定流量

下的物料试验只做 3 次，而 R61 中的  $n$  至少 10 次以上，多的可达 60 次或更多），在测量次数不足够多时，就无法消除测量值中的随机误差，所谓的预设值误差就不会等同于系统误差。

然而，定量皮带秤对所通过物料的累计量值  $P$ ，都能直接或间接地经由标准砝码量值传递的控制衡器溯源到约定真值。以约定真值作为比较的参照值，即把它作为减数或除数当然是适宜的。而“自动定量误差”要考察的正是预期的目标值偏离真值的程度，把设定值放在被减数的位置也是顺理成章的。同时，这与前面所述的定值控制系统的误差公式也是吻合的。因此把  $Q_s$  和  $Q_n$  的位置对调并不恰当。

### 3. 检测定量皮带秤自动定量误差的必要性

定量皮带秤之所以被称作“定量皮带秤”，正是因为它具有用于单纯计量的皮带秤所没有的对所输送物料的流量或线密度定值控制的功能。如果对它的这一关键性功能的品质不加以考核的话，那么又怎能体现对定量皮带秤基本性能的全面评价呢？

有一种意见认为，定量皮带秤的自动定量误差与其所处工艺装备系统的现场工况密切相关，皮带秤制造厂家难以事先把控。因而制造厂只需按热工自动化仪表中调节器的性能要求检验其所生产的定量皮带秤的累计指示控制仪即可，不必对整台皮带秤的自动定量准确度提具体要求。

我们认为，虽然定量皮带秤只是用户整套工艺系统各种装备中的一部分，但却是皮带秤供应商所提供的一种整机型成套设备。无疑，用户首先关注的是定量皮带秤的整体表现，而不会仅仅关注其部件累计指示控制仪而已。自动定量准确度作为定量皮带秤最关键的基本性能，制造厂不能不对用户有所交代。其次，尽管现场的工况千差万别，但用户在订购定量皮带秤时，一般都会跟生产厂家沟通，供应商也会到现场勘察，双方都会对产品置于现场条件中能否满足系统工艺要求予以评估，而评估所需要依据的也是整套定量皮带秤的性能。然而在很多场合，调节器制造商与自动化系统集成商并非是一家，调节器往往只是自动化系统集成商组装的控制仪表盘(柜)中的一个单元，却又常是调节器制造商独立销售的产品，其单独的性能表现，系统集成商与最终用户都会十分关心的。

另一方面，倘使按热工自动化仪表的性能要求来检验定量皮带秤的累计指示控制仪也是不恰当的。我们知道，考核热工仪表调节器通常用的指标主要是响应速度、过冲量和静差三项，其中静差的含义与上文已提及的稳态误差有某些类似之处，而响应速度和过冲量反映的是输入阶跃信号时的暂态特性，与即时调节的品质更为密切(而且指标是

对与现场工况无关条件下的仪表单独规定的，若与工况联系就难以定出统一适用的指标)。然而用户对定量皮带秤的性能要求与热工仪表调节器并不完全相同。因为后者关注的是瞬时量的即时调控效果，而前者则主要着眼于运行期间输送量的平均值是否符合预期，更在意的是累积效果，即时效果反倒不一定过于在意。我们知道，与定量皮带秤相连的系统设备中往往有不少属于滞后环节的，倘使调节得过于快速频繁，反倒容易引起振荡而使调控品质变坏。何况，上述考核调节器的三项指标，是针对 PID 调节模式提出的，而定量皮带秤仪表的调节方式可以有多种选择，未必一定采用 PID 模式。

因此，自动定量准确度这项性能指标对于定量皮带秤确实是必不可少的。

#### 4. 定量皮带秤准确度等级指标的确定

据上文所述可知，评价定量皮带秤的基本性能时，不仅要考核其自动称量误差，还要考核其自动定量误差。前者是指，其所输送物料的累计质量的显示值同约定真值(即控制衡器的显示值)之间的差别，这与一般的计量皮带秤相同；而后者指的是，其目标流量预置值跟试验期间实际通过载荷的平均流量(或按预置值计算的试验期间应有的累计载荷量值跟控制衡器示值)之间的差别，这是一般的皮带秤标准中所没有的。相应地，定量皮带秤就不仅要有自动称量准确度的指标，还要有自动定量准确度的指标。在配料秤的用户和制造商内就长期流传着一种说法：对于同一准确度等级的定量皮带秤，其自动定量准确度的指标值(用  $MPE_q$  表示)应为自动称量准确度指标值(用  $MPE_w$  表示)的 2 倍。标准稿也按此行业习惯规定了定量皮带秤的自动计量最大允许误差与自动控制最大允许误差(见下表)。

定量皮带秤的最大允许相对误差

准确度等级	误差类别	累计载荷质量值的百分数 %	
		型式检验、交付检验	使用中核查
0.5 级	自动称量误差(计量误差 $MPE_w$ )	±0.25	±0.50
	自动定量误差(控制误差 $MPE_q$ )	±0.50	±1.0
1 级	自动称量误差(计量误差 $MPE_w$ )	±0.50	±1.0
	自动定量误差(控制误差 $MPE_q$ )	±1.0	±2.0
2 级	自动称量误差(计量误差 $MPE_w$ )	±1.0	±2.0
	自动定量误差(控制误差 $MPE_q$ )	±2.0	±4.0

虽然标准稿按行业长期的约定成俗规定了  $MPE_q = 2 \times MPE_w$ ，但实验证明，定量皮带

秤两种误差的实际值之间并不一定保持 2 倍的关系，即  $E_q = 2 \times E_w$  通常并不成立。两种误差值的大小跟所采用的测定方法是密切相关的。例如，采用模拟载荷试验方式时，或者物料试验的工况较好、操作精准时，两种误差值的往往相差无几；反之，倘若试验过程控制得不好，对试验时间的测量不够精密等原因，自动定量误差值很可能超出自动称量误差的 2 倍，甚至达到 3 倍以上。这是需要我们在做试验时加以注意的。

#### 5. 用物料试验方法测定控制误差的难点

在《定量皮带秤》标准制订之前，定量皮带秤的控制误差大多采用模拟载荷试验方法，包括与定量皮带秤主体结构和功能类似的“耐压式计量给煤机”的标准(GB/T28017-2011)也是如此。然而，模拟载荷试验的量值不可溯源，对皮带效应的仿真程度差，其试验结果与真实情况的差别较大。有鉴于此，《定量皮带秤》标准起草组决心打破常规，确定采用物料试验来测定定量皮带秤的控制误差。

测定自动称量误差的物料试验方法已经很成熟。因为，已调整好的皮带秤在自动称量过程中，当有物料通过称量段时显示值就会增长，而没有物料通过称量段时(即使皮带一直在运转着)显示值就应不增长。故而控制衡器称量试验物料的阶段无论是安排在皮带秤称量之前还是之后，控制衡器称得的都是通过皮带秤的物料量，皮带秤累计器的显示值与控制衡器的示值在理论上应当一致，而其不一致的程度就反映了皮带秤的自动称量误差。

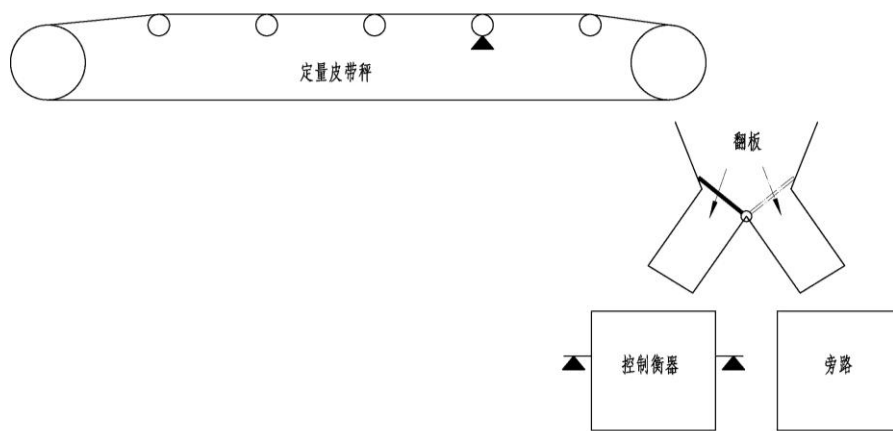
然而，用物料试验方法测定皮带秤的自动定量误差会与测定自动称量误差有很大的不同。有的定量皮带秤制造商，曾经直接用按设定值计算的累计量与实际的累计示值(经控制衡器修正)比较，以此作为自动定量误差，结果并不理想。因为，物料在定量皮带秤启动之后尚未进入和刚进入称量段的初始阶段，以及物料停止供给但输送带上尚有断续余料还未停止运行之时，定量皮带秤会处于非正常工作的“缺料”状态，显然这一阶段的误差会大于正常值，而用于测试的时间又不可能很长，这一阶段的误差影响就可能比实际使用时占的比重大得多；因此，读取试验数据不能跟皮带秤的启停同步，需要舍弃其中的非正常工作阶段。在进行试验获取数据的过程中，我们需要确保，进入控制衡器的物料是在上述正常工作阶段通过称量段的，同时还要测得这些物料通过称量段所花的时间；从而才能获得试验阶段的平均流量。以往之所以多采用如链码之类的模拟载荷试验，是因为试验时链码一直置于称量段上，试验时定量皮带秤始终处于正常工作状态，获取数据可与其启停同步，很容易实现；而要用物料试验方法测定控制误差就必需解决试验过程中如何同步获取称重累计量值与试验经历时间两项数据的问题。

## 6. 自动定量误差的物料试验方法步骤简介

通过集思广益和试验反复验证，我们终于确立了自动定量误差的分离检测法或集成检测法两种物料试验方法。分离检测法采用独立于 EUT (被测量皮带秤) 的控制衡器直接读取约定真值，而集成检测法利用 EUT 的累计指示控制仪间接获取约定真值。下面简要介绍用物料试验测定定量皮带秤自动定量误差的两种方法。

### 6.1 分离检测法

定量皮带秤控制误差的分离检测法，采用另设的控制衡器旁路容器，以确保进入控制衡器的物料是在 EUT 基本稳定后所通过。



控制误差分离检测法示意图

如上图所示，在被测量皮带秤预定的给料量设定值和物料给料流量下，试验物料经 EUT 先进入旁路，待 EUT 运行稳定后，通过切换装置将物料送入控制衡器，同时记录开始时间  $t_1$ ，在控制衡器的累计示值增量不少于最小累计载荷  $\Sigma_{\min}$  之后切回旁路，同时记录结束时间  $t_2$ ，由控制衡器获得  $t_1 \sim t_2$  期间的试验物料重量  $P$ ，作为约定真值，并把按给料量预置值计算的试验期间累计载荷量  $C$  与之比较求得控制误差  $E_0$ 。

物料试验分别在  $(70 \sim 100)\% Q_{\max}$ 、 $(40 \sim 70)\% Q_{\max}$  和  $Q_{\min} \sim 40\% Q_{\max}$  等3种流量设定值下进行，在每种流量下做3次，具体步骤如下：

- 在 EUT 皮带的某一处做上明显标记，以便观测皮带运行的整圈数；
- 预设 EUT 的期望流量值  $Q$ ，使之在  $(70 \sim 100)\% Q_{\max}$  范围内，并调整前道供料设备出料量的快慢，使给料流量不小于设定流量（否则将运行于缺料状态），但不大于  $Q_{\max}$ （否则将超载）；
- 启动 EUT 输送机，此时输送机应会根据设定流量自动调节运行速度，在此调节过程中使物料经 EUT 进入旁路；



d) 待 EUT 显示流量大致等于设定流量、输送机运行速度基本稳定后, 在皮带上所做标记到达预定位置时记下试验的初始时刻  $t_1$ , 并同步切换卸料口使通过的物料进入控制衡器之中;

e) 在进入控制衡器的物料量超过  $\Sigma_{\min}$ , 且皮带运行整数圈时, 切回旁路同时记录试验结束时刻  $t_2$ ,

f) 按前面本文第 2 节所列自动定量误差公式计算控制误差;

g) 改变 EUT 的给料量设定值使  $Q_s=(40\sim 70)\% Q_{\max}$ , 皮带运行相同的整数圈, 重复上述步骤 c) ~f);

h) 改变 EUT 的给料量设定值使  $Q_s=Q_{\min}\sim 40\% Q_{\max}$ , 皮带运行相同的整数圈, 重复上述步骤 c) ~f)。

在以上 3 种设定流量下, 分别计算按定量皮带秤给料量预置值计算的试验期间累计载荷量  $C$ , 并与控制衡器对该部分物料测得的重量  $P$  相比较, 从而算得自动定量相对误差  $E_0$ , 将其跟相应准确度等级的最大自动定量允许误差  $MPE_0$  比较, 以判别其是否合格。

## 6.2 集成检测法

本项试验在自动称量误差试验合格的基础上进行。试验也按上述 3 种不同的流量各做 3 次, 各种流量的设定值大小以及物料量、流量、带速、皮带运行的圈数等各种参数应尽可能跟同样条件下测定自动称量误差的试验一致, 每次试验前予以置零。具体步骤如下:

a) 在 EUT 皮带的某一处做上明显标记, 以便观测皮带运行的整圈数;

b) 预设 EUT 的期望流量值  $Q_s$ , 使之在  $(70\sim 100)\% Q_{\max}$  范围内, 并调整 EUT 上游的给料量调整装置 (如前道给料机或料层厚度节制阀等), 以控制输往 EUT 的给料流量, 使之不小于  $Q_s$ , 但不大于  $Q_{\max}$ ;

c) 启动 EUT 和计时器 (分辨力不劣于 0.01s), 待皮带全长已均布物料后开始记录数据, 记下累计指示控制仪显示窗口的示值  $I_1$  (单位: t) 以及同一时刻的计时器示值  $t_1$  (单位: s);

d) 待皮带运行已达预期的时间或圈数, 且显示通过物料的示值增量已达到或超过  $\Sigma_{\min}$  时 (此时皮带上应仍布满物料), 再次记录累计指示控制仪显示窗口的示值  $I_2$  (单位: t) 和同一时刻的计时器示值  $t_2$  (单位: s);

e) 以  $t_2-t_1$  作为本次试验持续的时间, 以  $I_2-I_1$  作为本次试验通过的物料量;

f) 改变EUT的给料量设定值使 $Q_s=(40\sim 70)\%Q_{max}$ ，且使给料流量不小于 $Q_s$ 但不大于 $Q_{max}$ ，皮带运行相同的整数圈，重复上述步骤c) ~f)；

g) 改变EUT的给料量设定值使 $Q_s=Q_{min}\sim 40\%Q_{max}$ ，且使给料流量不小于 $Q_s$ 但不大于 $Q_{max}$ ，皮带运行相同的整数圈，重复上述步骤c) ~f)；

h) 按下列步骤计算控制误差：

• 先按试验始末的累计显示窗口两次示值之差计算试验期间平均流量  $Q_m$ (单位：t/h)：

$$Q_m = \frac{3600 \times (I_2 - I_1)}{(t_2 - t_1)}$$

• 接着计算设定流量  $Q_s$ (单位：t/h) 与  $Q_m$ 的相对误差  $e$ ：

$$e = \frac{Q_s - Q_m}{Q_m} \times 100\%$$

• 再计算控制误差  $E_Q$ ：

考虑到累计指示控制仪的示值会受到自动称量误差  $E_m$ 的影响，将各次自动称量误差测定试验中每一对应流量下实际测得的  $E_m$ 中的最大值(应不大于  $MPE_w$ )与  $e$ 叠加合成，作为控制误差  $E_Q$ 的测定结果，即：

$$E_Q = \sqrt{e^2 + E_w^2}$$

以上3种设定流量下的试验误差  $E_Q$ 应均不超过规定的物料试验时相应准确度等级的控制误差：即应有  $E_Q \leq MPE_Q$ 。

为了获得同一时刻的试验物料累计示值与试验经历时间，可采用电子秒表和照相机，或者其他适当的手段；要是EUT的累计指示控制仪具有专门的测试控制程序，并能自动记录和反映同一时刻的累计示值与时钟时间，试验将更加方便。

## 7. 与两种物料试验方法相关的若干问题

《定量皮带秤》行业标准稿中关于采用散状物料来测定控制误差，包括分离检测法和集成检测法两种试验方法，都是以前从未见诸文献的，难免还存在某些不足之处。但是用模拟载荷装置做皮带秤试验是在没有找到适当的物料试验方法时的无奈之举，是不得已而为之的替代办法。而上述两种物料试验方法，无论是分离检测法，还是集成检测法都是能实现量值溯源的，相比于既不符合量值传递原理，也无法量值溯源的模拟载荷试验方法，可谓向前迈进了一步。

分离检测法的不足之处在于必须配备能满足试验之需的物料旁路装置，要是试验在用户现场进行，就对试验设施提出了额外的要求，有时会难以满足。试验要是在实验室进行，被测对象所处的环境和工况往往与现场不吻合，测试结果会与实际使用情况并不一致。对于这一问题，我们认为可以按检验的不同类型采取不同的对策。对于现场交付检验和使用中的示值核查应当在现场进行，而对于型式试验和制造厂内部检验则更适宜在实验室内开展。因为：

（一）型式试验的目的是对某种型式产品的性能予以摸底或评价，制造者在厂内的检验则是对某一批次的产品性能进行检测，这一类型试验的目的并不是也不应该是检测该产品在某一用户现场中的具体表现。为了公平客观地进行评价，还需要注意到不同型式或不同批次产品之间的可比性，这就需要在相对统一的典型环境下开展这类试验，要是放到各家用户现场进行反倒会由于被置于不同的试验平台而丧失可比性。倘使在实验室或定量皮带秤制造厂内设置试验所需的物料旁路装置是并不十分困难的。

（二）虽然，定量皮带秤的规格覆盖面很宽，输送流量小的可以不足数十公斤/小时，大的会超过数百吨/小时，同在一个实验室来做物料试验可能难以实现。但是就大多数情况而言，各生产厂的服务对象多数隶属不同的专门行业，而不同行业应用的定量皮带秤的规格范围一般就不会如此之宽。例如，烟草行业用的都是小规格的，水泥行业用到的规格稍大，钢铁行业用到大规格的较多，如此等等。不同生产厂可以按本企业涉及的规格范围来建实验室；倘再倡导引入厂际合作机制，被测规格范围也可得以扩展。

（三）对于必须在现场进行的交付检验和使用中的示值核查，除了在新建厂房建议设计增加试验所需的物料旁路装置外，一种小流量的移动式物料旁路装置已经研制成功，可以在无法增加所需设施的某些用户现场使用。当然，对于大流量的物料旁路装置制成移动式是有困难的，这时可采用集成检测法。

与分离检测法相比，集成检测法所需的设施十分简易，比如许多智能手机就可胜任试验所需的电子秒表和照相机，且无论在现场还是实验室都能使用。质疑者认为该方法中提供试验数据约定真值的是 EUT 本身，而定量皮带秤无法保证量值传递数据链中的上一级的误差不大于下一级误差的三分之一。对此，我们采取将对同一台定量皮带秤在自动称量准确度试验中测得的自动称量误差用来加以合成的方式得出控制误差的最终结果，使控制误差的结果不会被低估。

那么，在通常的量值传递过程中要求上一级的误差不大于下一级误差的三分之一或五分之一的依据又是什么呢？这是因为，当用测量仪表检测被测对象的误差时获得结

果  $z$  时，其实  $z$  中不仅含有被测对象的固有误差  $y$ ，还包含了测量仪表自身的误差  $x$ ，可以用

$$z = \sqrt{x^2 + y^2}$$

来表示。只是由于在通常的量值传递系统中，一般要求  $x = (1/3 \sim 1/5) y$ ，因而有  $x^2 = (1/9 \sim 1/25) y^2$ ， $z = (1.05 \sim 1.02) y$ ，也就是说在最坏情况下， $z$  值的大小的95%以上是由  $y$  所决定的， $x$  对其的影响仅占不到5%，因而可以忽略。而在定量皮带秤的集成检测法中，最大允许自动称量误差规定为最大允许控制误差的1/2，当用 EUT 自带的累计指示控制仪上的示值来提供测量数据时， $x$  对  $z$  的影响最大可能会高达12%，就不能轻易忽略了。为了不至于低估被测的控制误差值，就不能不考虑其自身误差的影响了。这也就是我们运用误差合成方法求得最终结果的依据。

自动定量准确度的上述两种物料试验方法原理上是基本一致的，两者的区别只是在于约定真值的提供源不同，前者的约定真值采用跟 EUT 分离的独立控制衡器示值，而后的约定真值采用考虑了自身误差因素并修正后的 EUT 示值。标准起草组曾在衡标会专家和秘书处在场时进行了上述两种检测方法的对比试验。我们对同一样本同时采用分离检测法和集成检测法分别获取控制误差数据，两种数据较为接近，没有出现统计学意义上的明显差别。在实践中，试验人员可以按用户和生产厂双方事先达成一致协议，或者按实际状况任意选择其中的一种方法进行试验。

### 结语

由于《定量皮带秤》行业标准稿属于初次制订，难免存在不少缺陷甚至可能错误。然而我们认为，虽然标准稿提出的两种自动定量误差的物料试验方法还存在某些不足之处，但它们的试验原理都是有据可索的，在实践中也是有可操作性的。在尚未找到更好的试验方法之前，不失为适于推广的自动定量准确度评价方法。同时也恳请诸位有识之士不吝指教，使《定量皮带秤》标准能得以更加完善。

### 作者简介

作者：盛伯湛（1946 ~），男，冶金自动化专业，高级工程师，中国计量测试学会会员。四十年前起在钢铁企业中涉足电子衡器的推广应用，近二十五年在皮带秤开发生产单位从事产品的测评和改进工作。近年曾担任国家衡器职业资格培训系列教程编审

委员会委员，《衡器整机装配调试工》连续累计自动衡器篇章主笔，并在各类期刊和研讨会论文集上发表了数十篇论文。

联系地址：南京市浦口区明发滨江新城134栋903号（邮编210031）

移动电话：15805169562

电子邮箱：shengbzh46@sina.com