

# 对最小累计载荷科学性的再思考

□盛伯湛

【摘要】回顾了OIML R50与NIST HB44中关于最小累计载荷( $\Sigma_{\min}$ )条文的要点,肯定了设置 $\Sigma_{\min}$ 的必要性,认为不能予以废除,分析了上述文件中计算 $\Sigma_{\min}$ 几种方式的合理性,指出了其中的某些不足,并提出了修改建议。

【关键词】自动累计衡器;皮带秤;秤量;流量;最小累计载荷;试验载荷

文献标识码: B 文章编号: 1003-1870 (2023) 10-0026-05

## 前言

自动称量误差是连续累计自动衡器(皮带秤)最重要的计量性能,也是对其准确度进行分级的关键依据。如何在必要的工作条件下测评其性能,以获得可信的结果,是技术规范的主要内容之一。国际建议OIML R50:2014《连续累计自动衡器(皮带秤)》<sup>[1]</sup>与美国计量技术规范《称重和测量装置的技术参数、容差和其他技术要求(NIST HB44)》<sup>[2][3]</sup>都提出了最小累计载荷 $\Sigma_{\min}$ 这一载荷条件,作为每一个能获得可靠结果的自动称量作业、物料试验或模拟载荷试验周期中通过皮带秤所需的最少载荷质量,并规定了 $\Sigma_{\min}$ 的计算公式。我国关于皮带秤的国家标准GB/T 7721-2017<sup>[4]</sup>、国家检定规程JJG 195-2019<sup>[5]</sup>和型式评价大纲JJF 1791-2019<sup>[6]</sup>等各种现行技术规范也都完全采纳了R50的相关内容。

然而,业内对 $\Sigma_{\min}$ 的设置传出了质疑和反对的声音<sup>[7]</sup>。那么,这一载荷条件究竟是否必要和合理呢?为此,笔者对相关内容作了深入探究。现将本人研学中所得之砖抛诸业界,以求引来批评之玉。

## 1 最小累计载荷是皮带秤的必要参量

### 1.1 最小秤量是衡器使用中必须考虑的性能参量

任何衡器都有适用的称量范围,即当载荷处在最大秤量Max与最小秤量Min之间的称量结果才具有可信度和有效性。Max指衡器在扣除了承载器自重等静载荷与所添加皮重之后的最大称重能力,加载量大于该值时,可能会对衡器造成损害。而施加于衡

器的载荷量少于Min时,则可能会使称量结果产生过大的误差。

衡器的Max与Min由自身零部件性能与结构所决定,有时还会受到实际使用状况的制约。在不同场合需要使用不同称量范围的衡器,这是古人都知道的不争事实。在称量大包粮食时,他们会把扛棒穿进大抬秤的秤纽,由两个人来扛,一个人移动秤砣;称量贵金属或药材时,则常用小巧的戥子,不会采用大抬秤。首饰、方剂饮片一般才几两或几钱,甚至只有几分,抬秤的Max完全可以满足需要,之所以不用它,是因为抬秤的Min已超过了预期称量载荷的质量。此外,当两杆秤的称量范围不同时,即使两者相邻秤星的间距长短差不多,它们所表示的分度值还是有很大差别的。小秤量戥子的分度值比较小,分辨力比较高,相较而言可以实现更为精细的称量。而在大秤量抬秤秤杆上的微小位移就会导致示值发生相当大的变化,难以获得确切的称量结果。

现在,大多数衡器已经电子化了。电子衡器以称重传感器作为检测元件,因此,衡器的载荷条件不能不受到称重传感器的最大秤量 $E_{\max}$ 、最小静载荷 $E_{\min}$ 与最大载荷 $D_{\max}$ 、最小载荷 $D_{\min}$ 等载荷性能的影响与制约。在通常情况下,衡器的可称量范围窄于所用称重传感器的测量范围(当采用的称重传感器有多个时,测量范围受它们的合成值制约),即应有:衡器的最大秤量 $\text{Max} \leq E_{\max} \leq D_{\max}$ ,最小秤量 $\text{Min} \geq D_{\min} \geq E_{\min}$ (式中的 $E_{\max}$ 、 $E_{\min}$ 与 $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$ 是指

共同采用的各称重传感器载荷性能的合成量值)。也就是说,衡器的最小称量Min不能小于称重传感器测量范围的最小载荷 $D_{\min}$ ,这是在衡器使用中必须考虑Min的根本原因。

## 1.2 最小累计载荷是最小称量的反映

皮带秤是一种连续称量的自动衡器,它的工作能力通常习惯用最大(额定)质量流量 $Q_{\max}$ (t/h或kg/s)来表示,不似非自动衡器那样用质量来表示其工作能力。然而,质量是流量的关键参与物理量和构成基础。流量是输送带上载荷的线质量(kg/m)与载荷随皮带行进的速度(m/s)之乘积,包含了称重与测速两个方面的参量。在皮带速度等同的情况下,流量的大小跟称重模块所承载的重量大小成正比。当代表称量长度的那部分输送带上,称重模块承载的瞬时净载荷(扣除承载器自重与皮带本身产生的载荷)达到最大称量Max且输送机带速达到最高时,载荷流量即为 $Q_{\max}$ 。 $Q_{\max}$ 实际上就是在最高带速下传送Max载荷时的流量。同理,最小流量 $Q_{\min}$ 应当是在最低带速下传送Min载荷时的流量。而称重模块可以称量的最小净载荷即为最小称量Min。如果施加于称重模块的载荷逐渐递减,衡器的示值将受自身性能<sup>1</sup>的影响,在较小量程时不再保有足够的线性度与准确度<sup>2</sup>。所谓“可以称量的最小净载荷”,其实就是可以适用的称量段皮带上的载重量下限。

虽然皮带秤是一种动态衡器,但目前称重那一块仍同非自动衡器一样,运用的是称重传感器的静态性能,称量是比流量更为基础的参量。顺带说句题外话,笔者认为皮带秤制造商在标注产品铭牌时,应予标注的内容须包含:最大称量Max与最小称量Min、带速(单速秤标额定速度,多速秤标各档速度,变速秤标适用速度范围)、最大体积流量(因这由输送带槽型所决定的,不受所称物料品种松散密度等不同的影响,而质量流量可以由称量与带速算出,倒不一定必需再重复标注),以及其他需标注的规格和性能等信息。

严格地说,不同的皮带秤,即使它们的Max相同,其Min也很可能并不相同。但为了在制造商没有

明确给出Min时也能便于日常操作,皮带秤规范会根据以往的经验将两者规定一个倍率关系。R50-1之3.5条规定,单速皮带秤的 $Q_{\min}=20\% \cdot Q_{\max}$ ;允许变速或多速皮带秤(在带速不在最高时)的 $Q_{\min}<20\% \cdot Q_{\max}$ ,但仍要求加载于称重单元的最小瞬时净载荷 $\geq 20\% \text{Max}$ 。比如,在做“累计显示器的鉴别力”试验时,就要求先在承载器上施加至少20%Max的分布载荷,然后再加放或卸下鉴别力砝码。由此可见,R50规定 $\text{Min} \geq 20\% \text{Max}$ 。HB44之UR.2.1规定,皮带秤的作业应运用于其额定称量的(20~100)%的范围内。

综上所述,最小累计载荷是皮带秤使用中必须考虑的性能参量。

## 2 最小累计载荷内容分析

### 2.1 现行规范中的 $\Sigma_{\min}$

OIML R50与NIST HB44(2.21节)都明确指出,最大允许误差指标仅适用于载重量不少于相应等级要求的 $\Sigma_{\min}$ 的工作状态,当累计的载重量少于该值时,就有可能超出规定的相对误差。那么怎样确定 $\Sigma_{\min}$ 呢?对此R50与HB44都各自规定了三种计算公式,并要求选择其中最大的一个计算值作为一个自动称量作业或试验周期的最少载重量,且允许更大而不能小于该值。

R50中还出现了“最小试验载重 $\Sigma$ ”这一术语,意思是自动累计称量试验所需的最少载重。HB44则直接统称为“最小试验载重”。因其要求与最小累计载重 $\Sigma_{\min}$ 完全相同,本文均统一以 $\Sigma_{\min}$ 称呼,不再加以区分。

R50与HB44规定的计算公式基本相同,但不完全一致。下面对它们做一个简要分析与对比。

#### (1) 以 $d_i$ 与 $mpe$ 为计算条件

累计分度值 $d_i$ 是指皮带秤在正常的称量方式下,总累计显示器或部分累计显示器以质量单位表示的两个相邻显示值的差值。R50与HB44均规定以 $d_i$ 若干倍的质量值作为相应准确度等级皮带秤的 $\Sigma_{\min}$ 。

HB44之2.21节N.2.3.1(a)与N.2.3.2(a)均规定,对于准确度标记为0.25级或未标记的,为 $800d_i$ ;标记

1 此性能包含且不限于:秤体在承载之后将受力传递给传感器的保真度,称重传感器的线性度、滞后和蠕变,仪表电气的灵敏度,及其他相关性能。

2 最小称量与鉴别力阈有某些相似之处,即两者都是衡器在某种要求下对载荷下限的要求;不同之处是,鉴别力阈只要求加或卸相应载荷前后“示值有明显的差别”,并不要求有足够的准确度。因此最小称量往往远大于鉴别力阈。

为0.1级的, 为 $2000d_i$ 。

R50-1 之3.4c 规定, 对于准确度0.2级的, 为 $2000d_i$ ; 准确度0.5级的, 为 $800d_i$ ; 准确度1级的, 为 $400d_i$ ; 准确度2级的, 为 $200d_i$ 。

由于HB44 按型评或检定时最大允差的百分数标记准确度等级, 而R50 按日常使用中最大允差的百分数来标记准确度等级(参见下表)。因两种规范标识依据的不同, 导致两者在条文的叙述上出现了不一致。然而只要把准确度等级的标识数换算成同样在型式评价或检定时允许的允差后再对比, 可以发现两者的要求是完全一致的。

表 与准确度等级标识数相对应的最大允许累计误差

准确度等级标识数		最大允许累计误差 %	
R50 及我国	HB44	型评/ 检定时	使用中
0.2	—	0.1	0.2
—	0.1	0.1	0.25
0.5	—	0.25	0.5
—	0.25	0.25	0.6
1	—	0.5	1
2	—	1	2

如果型评或检定时要求的最大相对误差为 $mpe$ , 那么R50 与HB44 都要求 $\Sigma_{\min} \geq 2d_i/mpe$ 。

由于 $d_i$  相当于皮带秤累计显示器的分辨力, 而数字显示电子装置在使用中很可能会随机出现并非系统误差造成的或增或减跳动1 个分度(即在 $2d_i$  范围内的随机变动)的现象, 如果累计载荷未达到足够的量, 这样的示值跳动就会超出规定的误差。因此, 做这样的规定是合理的。

(2) 以 $Q_{\max}$  下输送带行程为计算条件

最大质量流量 $Q_{\max}$  是指当输送带在最高速度下运行, 且在代表称量长度 $L_w$  的那部分输送带上的瞬时净载量达到最大称量 $Max$ (即允许称量的最大值)时的流量。当称量长度 $L_w$ (单位: m)上分布 $Max$  大小的载荷(单位: kg), 输送带的运行速度为 $v_{\max}$ (单位: m/s)时,  $Q_{\max}=(Max/L_w) \cdot v_{\max}$ (单位: kg/s)。

HB44 之2.21 节N.2.3.1(b) 与N.2.3.2(b), 以及R50-1 之3.4b) 均规定, 以在 $Q_{\max}$  下, 输送带运行一整圈通过的载荷规定为 $\Sigma_{\min}$ 。因为行程与速度之比等于运行时间, 所以本条件与下节(3) 的出发点实际是相同的。

如果, 称量长度 $L_w$ (单位: m)上分布质量为 $Max$  的载荷(单位: kg), 输送带的整圈长度是 $L$ (单位: m);

那么, 输送带运行一整圈所获得的载荷量即要求的最小累计载荷 $\Sigma_{\min}=Max \cdot (L/L_w)$ 。

因为, 输送带的运行速度为 $v_{\max}$ (单位: m/s)时,  $Q_{\max}=(Max/L_w) \cdot v_{\max}$ (单位: kg/s), 又输送带行程为 $L$  时所需的时间 $t_1=L/v_{\max}$ ; 所以,  $\Sigma_{\min}=Max \cdot (v_{\max} \cdot t_1/L_w)=Q_{\max} \cdot t_1$ 。也就是说, 本计算条件也可以表述为:  $\Sigma_{\min}$  应不少于 $Q_{\max}$  下输送带运行经历一整圈的时间 $t_1$  内通过的载荷量。

(3) 以运行时间作计算条件

从质量流量的单位可知, 一定时间段(单位: s) 内通过的是以质量为单位的是累计载荷量(kg)。

在R50-1 之3.4a 中, 以在 $Q_{\max}$  下运行1h 所得载荷量的2% 作为计算 $\Sigma_{\min}$  的另一个条件。由于1h 的2% 为72s, 因此该条件也可看成, 在 $Q_{\max}$  下运行72s 所得的载荷量。

另外, HB44 之2.21 节规定了获取 $\Sigma_{\min}$  输送带所需运行的时间, 针对不同类型的皮带秤的要求有所不同。对于整机型秤(原文称之为weigh-belt systems), N.2.3.1(c) 的规定是至少1 分钟; 对于嵌装型秤(含装载机, 原文称之为all other belt conveyor scale systems), N.2.3.2(c) 的规定则是至少10 分钟(若一个正常作业周期不足10 分钟, 则按一个正常作业周期)。但是HB44 并未明文规定载荷量必须在 $Q_{\max}$  下获取。鉴于该规范之UR.2.1 规定, 皮带秤系统的作业应用于其额定称量 $Max$  的20% 至100% 之间。而N.2.1 又规定, 初始检定的最低载荷为 $Max$  的35%。由此可推算出1 分钟的运行时间相当于在 $Q_{\max}$  下运行12s 或21s 至60s, 10 分钟的运行时间相当于在 $Q_{\max}$  下运行120s 或210s 至600s。

我国的皮带秤规范采纳了与R50 相同的表述, 而美国HB44 并没有这样, 两者之间存在着较大的差异。这表明不同规范的制订者在对于如何计算 $\Sigma_{\min}$  所依据的运行时间方面尚未达成共识, 也反映出这项计算公式尚缺乏充分的论证。

## 2.2 现行规范的瑕疵

R50 与HB44 不仅合理规定了以 $d_i$  与 $mpe$  作为计算 $\Sigma_{\min}$  的方式之一, 还规定了其他两个计算公式。这两个方式都以 $Q_{\max}$  作为已知条件, 与其共同参与的另外一个条件是输送带的最短行程或最短运行时间。但后两种计算公式都存在着某些不足。



(1) 所规定的行程实际上并不一定是整数圈

各规范均要求 $\Sigma_{\min}$ 不少于被测皮带秤在最大流量时皮带运转一整圈通过的载荷。

由于皮带秤整条输送带本身的理化性能与运行状态难以时时处处保持足够的均一性，当皮带的行程不是整数圈时，就有可能受到皮带不均衡的不利影响。把皮带行程定在整圈就有可能减小皮带不均衡带来的附加误差。

获得的载荷如果是在最大流量下皮带转动一整圈通过的，那么在其他较小的流量下获得同样的载荷，皮带运行的长度就必定超过一整圈，这就有可能减小皮带不均衡带来的附加误差。但是，当最大流量不是实际流量的整数倍时，以此方式计算出来 $\Sigma_{\min}$ 大小的载荷通过皮带，称量过程将不是在运转整数圈时完成。这就无法实现克服整条皮带不均一性缺陷的初衷。

(2) 所规定的运行时间缺少科学性

R50与HB44都规定把运行一定时间获得的载荷量作为 $\Sigma_{\min}$ 。但是它们所规定的时间有较大差别，尤其HB44相关条文的表述很不严谨，有必要进行适当的修改。

(3) 对 $\Sigma_{\min}$ 计算公式的改进建议

经过上述分析可知，上文中2.1(1)的要求各规范是一致的，也保障了必要的分辨力，故予以保留。然而，上文中2.1(2)的要求虽然各规范也是一致的，但只能保证运行不少于1圈，并不能保证整数圈。而2.1(3)的要求各规范有较大差异，也没有相应具有说服力的依据支持，建议予以修改。

3.1 直接把 $Q_{\max}$ 下1h中通过载荷的2%作为 $\Sigma_{\min}$ 不妥

有一种意见认为，可以直接按R50-1之3.4a中所提到的最大小时流量的2%，规定为所需的试验载荷量，而不再考虑另外两个条件。然而R50与HB44所提的三个计算公式之间是“与”的关系，而不是“或”的关系。即只有同时满足三个公式计算得到的结果，并取三者之中的最大值，才能满足要求。如果只选其中之一，而不顾另外两个条件，就不能保证所算得的结果就一定能符合 $\Sigma_{\min}$ 的定义，因此该建议不宜采纳。

3.2 以称量代替流量用于计算 $\Sigma_{\min}$

质量流量是载荷速度与线质量的乘积。因此用

$Q_{\max}$ 作为计算 $\Sigma_{\min}$ 的基础条件时，还需要考虑输送带速度，而速度又是行程与时间之比，这也是R50与HB44之所以需要分别从输送带行程与运转时间两个方面设立计算条件的原因。而称量是任何衡器使用中最为基础的性能参量，任何正常的称量作业或试验时的载荷量必须介于Min与Max之间。并且与流量不同的是，称量是一个不依赖于带速的参量。因而笔者认为，与其将 $Q_{\max}$ 作为计算 $\Sigma_{\min}$ 的条件，倒不如把Max和Min作为为计算 $\Sigma_{\min}$ 的依据更来得直接和恰当。

因此，计算 $\Sigma_{\min}$ 除了需跟 $d_t$ 与 $mpe$ 挂钩之外，另建议将R50与HB44的另外两个计算公式合并，且改为表述如下：

“在Max载荷下，输送带运行一整圈获得的总载荷。如果实际载荷小于Max，应保证其不小于Min，且输送带实际通过的行程宜选择不短于输送带一整圈长度的(Max/Min)整数倍。”

如果Max与Min在产品铭牌上已经标注，可按制造商的标注值；如没有标注，Max可按 $Q_{\max}/v_{\max}$ 计，Min可按20%Max计。

#### 4 结语

衡器的适用称量是由其先天的结构特征与后天的使用环境所决定的，Max与Min是衡器使用中必须考虑的基本性能参量。最小累计载荷是最小称量的间接反映。OIML R50与NIST HB44均设置了关于最小累计载荷 $\Sigma_{\min}$ 的条款，其作用都是为了保障作业或试验结果的可信性，因而是十分必要的，不能废止。

但是，现行规范关于 $\Sigma_{\min}$ 的计算公式是有瑕疵的。R50以 $Q_{\max}$ 下1h中通过载荷的2%作为 $\Sigma_{\min}$ ，以及HB44以输送带运行1分钟或10分钟获得的载荷作为 $\Sigma_{\min}$ ，这两个条款的科学性都有欠缺。建议今后我国在制订或修改国家规范中采纳国际与先进国家的标准规范时，要对它们的条文深入思考与探讨，弄懂其意图，择善从之，必要时应做适当的修改、调整，而不要盲目地全盘照搬。

#### 参考文献

[1] OIMLTC9/SC2.Continuoustotalizingautomaticeweighing instruments(beltweighers):R50-1:2014(E)[S/OL](2015-03-26)[2015-05-12]<https://www.oiml.org/>

en/publications/recommendations/en/files/pdf/r050-p-e14.pdf

[2] NIST .Specifications,Tolerances,and Other Technical Requirements for Weighing and Mesuring Devices :Handbook 44-2023[S/OL],[2023-09-03] <https://www.nist.gov/pml/owm/nist-handbook-44-current-edition>

[3] 盛伯湛,译.美国2020版皮带秤技术规范[J] 衡器2022,51(7):43-52.

[4] 全国衡器标准化技术委员会(SAC/TC 97) .连续累计自动衡器(电子皮带秤):GB/T 7721-2017[S] 2017-12-29.

[5] 全国衡器计量技术委员会自动衡器分技术委员会.连续累计自动衡器(皮带秤):JJG195-2019[S]

2019-12-31.

[6] 全国衡器计量技术委员会自动衡器分技术委员会.连续累计自动衡器(皮带秤):JJF 1791-2019[S] 2019-12-31.

[7] 沈立人.对R50《连续累计自动衡器》国际建议部分条款的一点质疑[J] 衡器2023,52(1):5-8.

### 作者简介

盛伯湛,大学学历,冶金自动化专业,高级工程师。四十多年前起开始从事各种电子衡器的调试、维修、选型与改造等应用技术,近年来以电子衡器耐久性提升、皮带秤误差理论革新和高等级秤开发与测评等为研究方向。