

# 皮带秤的模拟试验

中国计量科学研究院 周祖濂

【关键词】 皮带秤模拟校验 实物校验 滚码 循环链码 挂码

【摘要】 由于现行的模拟校验方法不能模拟皮带张力的影响，所以现行模拟方法是不完全的模拟，不能完全替代实物校验。实物校验仍然是皮带秤校验的唯一方法。

实物校验是唯一能确定皮带秤准确性的方法。但是皮带秤的实物校验是一件费时、费力和费钱的工作，而且对校验人员的水平和经验也有较高的要求。早先对于小量程的皮带秤的实物校验，曾采用预先设置的斗秤，通过对实验物料进行重量称重，来保证实验物料的准确性、重复性和可溯源性。但是随着皮带秤量程的增大，这种方式已不再能适用了，二十多年前我在阿姆斯特丹港所看到的皮带秤，几乎都是大几千吨到万吨级的。

几千吨到万吨级皮带秤的实物校验，是一个相当复杂和困难的问题。按照要求，实物的载荷量为：“在最大流量下 1h” 累计载荷的 2%时，用于实验的物料均为百吨量级。这样大的物料要求称重，只有在附近有汽车衡或轨道衡的现场，才有可能在实验时避免物料的损失，以确保实验的可靠性，否则很难判断皮带秤的重复性是由于皮带秤的自身的条件因素，还是由于试验时物料的损失造成的。

本人曾询问过国外的厂家、港口皮带秤操作的工程师以及相关工作人员，是如何保证皮带秤的准确性和可靠性。根据他们的经验，首先几乎所有的皮带秤除初次检定批准允许使用外，极少再做实验校验。只有当买卖双方对该皮带秤存在重大争议、无法统一时，才会找计量部门来仲裁或做实验校验。一般的问题都是由买卖双方自行协商解决，日常维护是使用中非常重要的工作，每天测量零点的稳定性并记录，定期进行模拟实验，并根据这些长期积累的数据和经验来保证皮带秤的长期稳定性和准确性。

通常皮带秤现场所用的模拟器有链码、循环键码和挂码，这三种常用的模拟器的优缺点如下：

**链码：**是最早公认用来模拟校验皮带秤的装置，对它的使用有严格的操作程序和量值检定的规定。不使用时一般是保存在专用器具内，但对于大量程皮带秤，仍采用人工挂码是不现实，虽然曾有人设计了机械挂码的方法，但使用还是不方便。

**循环键码：**使用方便，但从基本原理上讲与滚码没有太大差别，它的主要问题是，由于它长期处于皮带秤的现场，而且键码的表面积又比较大，所以它的质量变化是必须考虑的问题。过去我们曾经对 20Kg 砝码的量值长期稳定性进行考察，发现在一般环境下存放的 20Kg

砝码的量值的变化，在检定周期内也时有出现超过规定的误差。

**挂码：**使用方便，与循环键码相似，可用于大量程皮带秤模拟校验，而且成本低。由于它也处于皮带秤的现场，量值的变化同样不能忽略。然而人们直观感觉，它不像滚码和循环键码，更接近皮带秤称重的实际情况，其实作为称重段加载的测量工具，它的称重效果与滚码、循环键码循环码没有原则上的差异。

下面要讨论实物校验与模拟校验间的差别。

首先讨论皮带秤的称重原理。在国际建议中，有两类秤属于通过传送带输送被称物料称重的装置，即 R50 号皮带秤和 R51 分检秤和校验秤，这两类秤称重的主要区别：一、50 号传输皮带秤是对物料连续称重，后者 R51 后分检秤和校验秤是对离散物料称重的装置，二、传送物料的皮带对皮带秤的称重段有作用力，而分检秤和校验秤的传输皮带是分离的，两者间没有作用力的关系，对物体的称重与常规衡器没有差别。

由于传输皮带的作用，传输皮带秤的皮带给称重带来了许多干扰因素，使得对它的称重原理很难用数解析形式来表达。在上世纪末，有很多人试图用数学形式描述皮带秤的称重原理，并为此做了很多努力，但均以失败告终，所得到的数学表示式均无法用实际操作来验证。在一级近似条件下，皮带秤的称重数学模型常用下式表示：

$$F - F_0 = nqL + 2Td/L$$

式中  $n$  — 称重托辊的数量。

$L$  — 称重托辊的间距。

$T$  — 皮带张力。

$d$  — 皮带秤准直高差。

$q$  — 物料单位长度的重量。

由此可见，皮带秤的称重结果由两部分组成：加载在皮带上物料的重量和皮带张力，对称重辊的附加垂直分力。

皮带张力的大小除了皮带与托辊间的摩擦力等机械因素有关外，主要与皮带的长度和物料单位长度重量有关。皮带张力很难单独测量其大小，因此如上所述也无法用数字解析式描述。

对皮带张力计算最可信的方法是根据带式输送机的标准来确定。标准中专门有计算输送机有效张力，以及带式输送机设计标准，其中国外有很多种，如国际标准 ISO5048，美国标准 CEMA，和德国标准 DIN22101，以及中国 GB/T17119—1997 等。这些标准计算的有效张力，即是皮带的运行阻力主要是作为选择输送机系统中电动机的最主要依据。

CEMA 美国标准计算有效张力的公式如下：

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

式中，  $T_e$  — 皮带张力， N；

$L$  — 输送机长度， m；

$K_t$  — 环境温度校正系数；

$K_x$  — 用于计算托辊的摩擦阻力和输送带与托辊间的滑动阻力的系数，  $N/m$ ；

$K_y$  — 用于计算输送带和负载越过托辊时的综合挠曲阻力系数；

$W_b$  — 单位长度输送带质量，  $kg/m$ ；

$W_m$  — 输送带上单位长度物料质量，  $Kg/m$ ；

$H$  — 物料提升高度， m；

$T_p$  — 输送带绕在滚筒上的挠曲阻力和全部滚筒在轴承上转动的阻力产生的张力，  
N；

$T_{am}$  — 当物料被加载到输送带上时由于连续加速， 物料所产生的张力；

$T_{ac}$  — 由输送机附属装置产生的总张力， N。

由上式可看出有效张力 $T_e$ 基本包括下列几个方面：

- 1) 提升或下降物料的重力负载；
- 2) 输送机以额定输送能力运行时， 部件、 驱动装置和所有附属装置的摩擦阻力；
- 3) 输入过程中物料的摩擦阻力；
- 4) 当物料由加料溜槽或给料机供给输送机时， 连续加速物料所需的力。 此项附加的有效张力为：

$$T_{am} = Q(V - V_0)/36$$

其中，  $V$  是带速，  $V_0$  是当物料加载到输送带上时的初速度。

有效张力中各项阻力系数， 附加张力等都可根据标准说明计算得到。

标准中给出的有效计算比较复杂， 不适宜现场估算。

国外皮带秤厂家的工程师给我一个简单的估算皮带张力的公式， 如下：

$$T_e = 0.03 \times (L + 45) \times (M + P) + M \times H$$

和具体计算的例子。

皮带秤的最大流量 $Q_{max} = 100 t/h$ ， 带速为 $V = 1.5 m/s$

$M$ : 单位长度物料的重量 =  $100 t/h \div 1.5 m/s = 18.5 kg/m$

$P$ : 单位长度传送带重量 =  $32 kg/m$

$L$ : 皮带提高段带长 =  $50m$

$L+45$ : 皮带的总长度、45m 为平直段长度=90m

$H$ : 皮带提升高度=  $50m \times \sin 18^\circ = 15.45m$

$$T_e = (0.03 \times 90 \times 50) + (18 \times 15.54) = 414.72Kg$$

特别要注意，皮带张力对称重托辊的附加垂直分力，实际上与皮带秤的准直高差无关。从理论上讲在称重过程中，只要准直高差  $d$  值不变，皮带张力的影响力也不会发生改变， $d$  值的大小只会显示出皮带张力的垂直分力的大小对称重结果的影响，属于系统误差。但是当准直高差地  $d$  改变时，皮带张力的影响对称量结果的影响是不能忽略。

无论是何种模拟校验，都无法模拟皮带张力的作用，这是因为模拟校验的试验载荷，均只作用在称量段的托辊上，其余的大部分传送皮带上均无载荷。从上面两个计算皮带有效皮带张力的公式可以看出，传送皮带上有无载荷对皮带张力的影响是非常显著的。然而从另一个角度看，由于模拟校验没有张力的影响，它的校验结果反映的是物料通过称量段的实际重量，即实物检验时实物的真实重量，而不是皮带秤实物检验时皮带秤的显示重量，这个质量在实际使用皮带秤计量，成为我们需要的物料的“实际”结果。

从本质上讲循环键码的检验原理与滚码和挂码是相等效的。其实早在北京市春海技术开发有限责任公司研制出校验装置前，有关循环键码的结构在一些衡器的书籍和文章中早已有所论述。在循环键码用于皮带秤的初期，有人希望用它来替代实物校验，结果花了大量的时间，人力和物力也未能取得预期结果，这主要是由于提出这种想法的人，不知道皮带秤称重的工作原理和实物校验与模拟校验之间的本质差别。

综上所述，可得到下面结论：现在使用的模拟校验方法，由于不能模拟皮带秤皮带张力的效应，只能检验出皮带秤重单元的变化，却不能发现由于皮带秤本身因机械结构等因素造成的附加张力的影响。而在实际工作，这方面的变化是影响皮带秤长期稳定性的主要因素。在日常维护皮带秤的工作中，必须通过经常测量皮带秤空载的变化，再加上模拟校验才能保证皮带秤长期稳定工作。

综上所述，皮带秤的实物校验仍是唯一能确定皮带秤不确定性的方法。