

高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统

云南华昆工程技术股份公司 方原柏

摘要: 本文先以国外应用实例说明了电子皮带秤可以做到高精度, 然后介绍了铜陵市三爱思电子有限公司研制的高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统的工作原理及系统集成的主要技术, 最后以鉴定时的现场测试数据为例说明系统调试的具体步骤和方法, 现场测试数据还初步验证了物料棒码叠加法试验可以在生产现场取代物料试验。

关键词: 电子皮带秤 贸易计量 物料棒码叠加法 集成系统

1、概述

在工矿企业、港口码头这样的场合, 常常要求计量精度优于 0.5%, 例如要求计量精度达到 0.25%, 甚至达到 0.1%。可能很多人怀疑电子皮带秤能否达到这样的高精度, 事实上已经有一些电子皮带秤做到了这一步。

作者在资料[1]中曾以一章的篇幅介绍了国外 5 个应用在工矿企业、港口码头的应用实例, 其计量精度均达到了 0.25%, 甚至达到 0.1%。

如美国北卡罗来纳州的杜克电厂在 15° 倾角、1828mm 带宽、3.56m/s 带速、托辊槽形角 35°、最大输送量 4354 t/h 的输煤皮带机上安装了美国萨尔 (Thayer) 公司有 6 组称量托辊的双杆杆式秤架, 2004 年 11 月按美国国家标准局的 44#手册的有关规定, 通过了美国 NTEP (国家型式试验评价程序) 现场试验和检定。在 2005 年 5 月该秤运行 6 个月后, 再次按美国国家标准局的 44#手册规定的性能和允差以及 NTEP 规定的对秤不作任何调整的限制, 完成了第二次物料试验, 在 2005 年 11 月该秤运行 12 个月后, 第 3 次按美国国家标准局的 44#手册规定的性能和允差以及 NTEP 规定, 在对秤不作任何调整的情况下, 完成了程序再检定。

再如 1997 年, Thermo Fisher Scientific (赛默飞世尔科技集团) 加拿大公司为魁北克铁钛 (QIT) 公司位于索瑞尔 (Sorel) 的轮船卸货码头提供了大流量高精度皮带秤称量系统。输送物料为: 二氧化钛, 设计最大流量: 2000t/h, 输送机长度: 45.72m, 输送机倾角: 0°, 皮带宽度: 1372mm, 皮带速度: 2.09m/s, 称重托辊: 6 组, 托辊间距为 1.219m。用户希望这台秤能满足“法定贸易”计量的要求。赛默飞世尔科技集团提供安装电子皮带秤的皮带输送机是严格按照高精度皮带秤所有测量要求制造的, 所以对安装皮带秤来说是非常理想的。赛默飞世尔科技集团加拿大公司花费了很多时间及精力做好安装及调整工作, 如进行托辊的准直性校准等等, 系统总投资接近 50 万美元。检定和试验方式有滚链试验和物料试验, 物料试验共进行 3 次, 每次 150t 物料, 由轨道衡进行称量, 物料试验开始前, 轨道衡经过检定, 轨道衡精确度为 0.05%。3 次物料试验的误差分别为 0.05%、0.07%、0.04%。物料试验结果达到加拿大工业称重和测量局的要求: 首次检定误差 0.075%, 后续检定误差 0.1%, 所以加拿大工业称重和测量局批准其作为 0.1%精确度的称量装置使用。

2、实现高精度贸易计量的关键问题

要实现高精度贸易计量要解决两个大问题: 一是要有高精度、高稳定性称量系统, 二是

要解决高精度检定方法的问题。

高精度、高稳定性称量系统的重点是秤架系统和安装秤架的皮带输送机，秤架精度不够，安装秤架的皮带输送机条件不满足要求，电子皮带秤的高精度、高稳定性都谈不上。

高精度检定方法人们摸索了很久，实物试验虽说是最权威的方法，但绝大多数生产现场不具备条件；模拟试验方法很多，但可信度不够，试验结果很难令人信服。

国内目前有一些生产厂家、用户也在努力探索，企图找出解决办法，以实现高精度贸易计量问题。作者于2008年11月15日参加了由安徽省科技厅组织的“大宗连续散料贸易计量及校验集成系统”鉴定会，参加鉴定会的由来自中国计量科学研究院、青岛衡器测试中心、西安热工研究院有限公司、安徽省软件行业协会、安徽省计量科学研究院、安徽蓝盾光电子股份有限公司、昆明有色冶金设计研究院的专家组成。由于作者从这一系统提出时就非常关注试验工作的进展，所以当这一系统取得阶段成果时非常兴奋，也很愿意将这一成果介绍给在生产一线辛勤工作的计量工作者。

3、高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统

高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统是由铜陵市三爱思电子有限公司、中国科技大学共同研究开发的，该系统采用了“双秤架”、“成组专用托辊”的设计方案及形成了“对皮带输送机的最低设计要求”、“系统安装的技术规范”等技术文件，此外在该系统中采用了“物料棒码叠加法”，提供了可以达到0.25%校准精度的在线校准方法。

以下具体介绍该系统的几个主要特点。

3.1 双秤架

铜陵市三爱思电子有限公司在一套称量系统中选用了两台三托辊秤架（见图1），选用两台秤架是出于以下考虑：

电子皮带秤的秤架出故障（例如秤架上放有外加重物或被石块卡住）一般不容易发现，一旦发现，可能电子皮带秤已经在故障情况下工作了很长一段时间，有了两台秤架就可以随时比对两台秤架之间的计量数据差值，一旦计量数据差值超过预先规定的值，就需要马上停止计量并对秤架系统进行检查；

本系统提供的校验方法是物料棒码叠加法，校验时需要在其中一台秤架上加挂砝码，而另一台正常工作以提供物料量的计量数据，在校验过程中作为一个参照物。

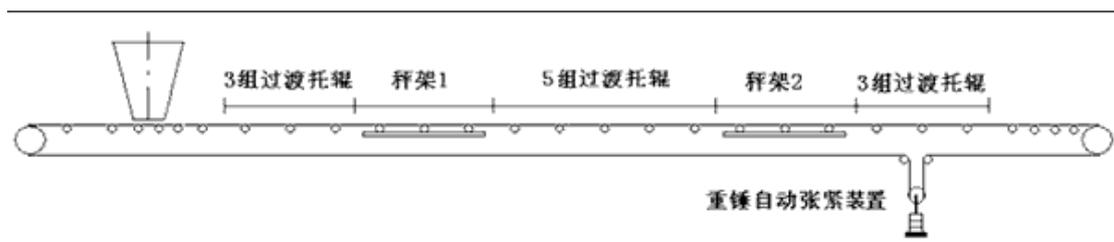


图1 双秤架系统示意图

图1所示为一条专为精确计量所提供的皮带输送机示意图，皮带输送机头尾轮中心距为

25.8m，物料从料仓卸出后，先经过 3 节过渡托辊到秤架 1，再经过 5 组托辊到秤架 2，然后又经过 3 组过渡托辊进入距头部滚筒约 3m 处。

两台三托辊秤架均采用全悬浮式秤架，秤架为平台式结构，4 个称重传感器支承，安装方式采用独特的“抵消输送方向水平分力影响”方式，秤体无限位装置。由于整体结构无杠杆、无支点、无平衡重、无限位，秤体结构简单、自重轻，性能稳定。

3.2 成组专用托辊

目前工业生产中使用的皮带输送机上托辊架和托辊都是由皮带输送机生产厂商按输送物料要求设计与制造的，在制作过程中托辊所用原材料焊接钢管本身的圆度不够，制作也较为粗糙，轴承密封的防尘性能稍差，转动的灵活性不够，而在组装成托辊组时，成型误差往往较大。作为传力环节之一的称量托辊组及与之相邻的称量影响区域托辊组，存在以上问题对传力过程和称重结果影响很大。由于大多数皮带输送机上安装的是普通托辊，其尺寸偏差大、加工粗放，所以托辊的轴向窜动和径向跳动大，槽形误差大，在皮带输送机运行中是不能满足称量要求。

铜陵市三爱思电子有限公司在一套称量系统中除了为两台三托辊悬浮式秤架提供 6 组由该厂为称量专门定制的托辊组外，还将图 1 中前后各 3 节过渡托辊组、中间的 5 节过渡托辊组全部更换为该厂专门定制的称量用托辊组，使为称量专门定制的托辊组总数达到 17 组。这些托辊组要求轴向窜动和径向跳动分别不超过 0.5mm、0.2mm，托辊组的槽形误差则用托辊组的特殊结构——槽形支座活动连接来保证。

17 组为称量专门定制的托辊组可以为秤架准直性校准创造基础条件，更重要的是可以保证在皮带输送机运行中达到相关托辊的准直性要求。

3.3 对皮带输送机的最低设计要求

高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统不可能在任意一条皮带输送机上安装都能达到高精度，铜陵市三爱思电子有限公司对安装电子皮带秤的皮带输送机提出了一系列完整的最低设计要求，这其中包括：输送距离在 30~90m 范围内；输送面应平直（不得有凹凸）；应带皮带自动张紧装置；皮带不允许有破损且接头应采用 45° 胶结；前级给料设备应有“稳流”措施；在计量区域应有不少于 30m 的防风设施；在计量区域需尽量排除、避开秤架结构会发生共振的几个关键频率。

按照对皮带输送机的最低设计要求，安装高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统的皮带输送机要进行改造。这里很重要的一条是不能迁就，决不能因为改造工作很麻烦就将就一下，将就的结果是以牺牲精度为代价的。如果有可能的话，按此要求新增一条皮带输送机是最理想的，铜陵市三爱思电子有限公司已经为一部分用户提供了达到上述要求的称量专用皮带输送机，图 1 所示的皮带输送机是为安装高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统所新增加的，原有皮带输送机有几百米长，从工厂厂房一直延伸到港口，现在将其截短，在截去的部分新增了这条皮带输送机。

3.4 系统安装的技术规范

安装皮带秤秤架是有严格要求的，现场安装人员各人按各人的想法去安装肯定是不行的，因此铜陵市三爱思电子有限公司制定了“系统安装的技术规范”，统一了安装技术要求和具体做法。比如：按要求在皮带输送机上设置 17 组专门定制的托辊组，具体要求见图 1；17 组专门定制的托辊组要严格进行准直性校准，误差应小于 1mm，具体校准方法是采用激光准直仪校准；17 组专门定制的托辊组的托辊间距应按 1000mm 进行间距尺寸校准，误差应小于 1mm。

为了实现高标准的安装要求，铜陵市三爱思电子有限公司在硬件上作了很多工作，比如专门定制的托辊组、激光准直仪校准及专用安装垫片。专门定制的托辊组前面已经介绍；采用激光准直仪校准可以克服拉线法的松紧程度不一等造成的误差，校准精度可以提高到 0.3~0.5mm；专用安装垫片是用来调整托辊高度的，厚度不等，最厚的约 5mm，最薄的约 0.3mm，是采用冲床成批加工的，实物见图 2。专用安装垫片的优点是制作规范，且配器各种厚度，现场进行准直仪校准调整方便。如果没有事先准备好的垫片，现场临时寻找材料制作，不仅薄的金属片难以找到，而且垫片制作常常采用氧气吹割，外形不美观，准直性校准通常也是凑合了事，做不到高标准。



图 2 专用安装垫片

为了保证准直性校准的效果长期不变，铜陵市三爱思电子有限公司还要求调试结束后，要用电焊将托辊座、垫片与支座等点焊一下，保证其定位尺寸及高度不变。

3.5 物料棒码叠加法

物料试验是采用皮带秤预期称量的物料，在皮带秤使用现场或典型的试验场所对完整的皮带秤进行的一种试验，是评价皮带秤计量性能最主要的试验，他是使用经过静态衡器（控制衡器）测定准确的物料来间接地检定皮带秤的准确度，这种方法是检定皮带秤最可靠的方法。在生产现场，控制衡器可以是电子料斗秤、电子汽车衡、轨道衡或其他衡器。但是在大多数生产现场没有可利用的控制衡器，因而不具备进行实物校验的前提条件。即使像国内一些电厂已经安装了包括一台高精度度电子料斗秤在内的物料试验装置（由于其容量要达到数十吨至数百吨，其综合投资达到数十万元到一百多万元），但由于存在转运物料漏损、本身

检定困难等问题，其使用效果并不十分理想。

在国家计量检定规程 JJG195-2002“连续累计自动衡器（皮带秤）”中，规定了模拟试验和模拟载荷试验的几种方法：电信号试验、挂码试验、小车码试验、链码试验、循环链码试验。这些方法中有的模拟程度不高，如电信号试验、挂码试验、小车码试验、链码试验等，不能用于高精度贸易计量的检定，而重复性达到 0.1%的循环链码试验可以对 0.5 级皮带秤、1 级皮带秤和 2 级皮带秤进行使用中检验，但是这种模拟载荷试验方式用于首次检定和后续检定时，仍然需要用实物试验来验证，而且本身的投资不菲（如一套循环链码装置就需投资数十万元），试验时也比较麻烦。

铜陵市三爱思电子有限公司经过多年试验推出的“物料棒码叠加法”的校验方法的工作原理（见图 3）是这样的：在一台皮带机上安装 2 台性能相同的皮带秤（被检皮带秤 A 和检定皮带秤 B），两台皮带秤相距几组托辊的间距，并事先将两台秤的误差值和误差方向调整在基本相同的范围内，试验时正常输送物料 3，并在检定皮带秤 B 的承载器上加标准载荷（棒状砝码）6，此时被检累计器和检定累计器同步累计并获得皮带运行整数圈时累计量的差值 ΔP ；按有关公式计算出调整系数 K，该系数为检定皮带秤的调整系数，由于 2 台皮带秤此时的误差相同，因此该系数也等于被检皮带秤的调整系数。

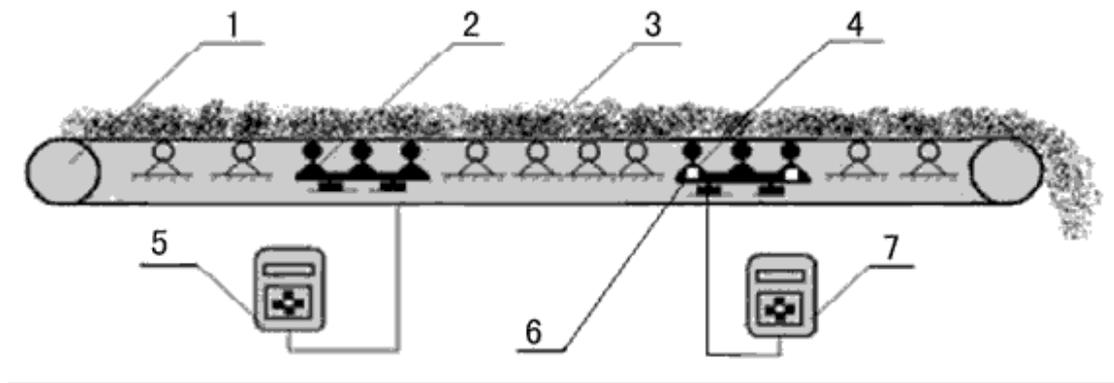


图 3 物料棒码叠加法示意图

1-皮带输送机；2-被检皮带秤 A；3-物料；4-检定皮带秤 B；5-被检累计器；6-棒状砝码；7-检定累计器

试验数据表明，以该调整系数为依据，可以在现场随后进行的物料试验中使皮带秤达到 0.25% 的精度，从而初步证实物料棒码叠加法可以在生产现场取代物料试验。当然，取得这种效果的前提是本文第 3 部分提到的前 4 点要求：双秤架、成组专用托辊、对皮带输送机的最低设计要求、系统安装的技术规范。

4、高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统的现场应用及试验验证

铜陵市三爱思电子有限公司研制的高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统自 2006 年 1 月起先后在山东枣庄矿业集团港务管理部、鞍本钢铁集团本钢焦化厂、淮南矿业集团张北矿选煤厂、铜陵市华兴化工公司港口、九江钢铁公司港口等用户使用，用户普遍认为：“该系统操作简单、投资少，可以在不影响生产的情况下随时进行在线试验，解决了高精度计量及校验困难等问题”。在铜陵市华兴化工公司港口现场应用的照片见图 4。

表 2 系统零点稳定性试验结论

序号	试验项目	要 求	实测值	结 论
1	皮带机运行情况	最大值与最小值之差应不超过传感器最大输出的 1.0% (或 0.20mV)	A: 0.15 B: 0.14	A: 合格 B: 合格
2	系统零点稳定性	在新旧零点中任意两个示值之差应不超过 0.01mV	A: 0.00 B: 0.00	A: 合格 B: 合格
3	零点累计鉴别力	加载 0.05%Max 后的零点值与空秤的零点值应有明显增长	A: 是 B: 是	A: 合格 B: 合格

3) 物料运行条件下 A、B 两秤相对误差调整试验

试验目的：在输送实际物料的条件下校准两台秤的相对误差。

试验方法：在输送实际物料的条件下，A 秤开始按整数圈（每次不少于 3 分钟）计量，B 秤则延迟一段间隔长度后也按相同整数圈计量，根据第 1 次的 A 秤数据来校准 B 秤，第 2、3 次数据则用来观察是否需要进一步校准 B 秤，而后 3 次数据则用来考核两秤的相对误差。

表 3 物料运行条件下 A、B 两秤相对误差调整试验

单位：kg

参数	第 1 次试验		第 2 次试验		第 3 次试验		第 4 次试验		第 5 次试验		第 6 次试验	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
显示重量	2034.3	2037.1	2137.5	2136.7	1923.7	1924.7	1593.3	1592.7	1677.1	1666.7	2053.7	2053.8
误差值	-2.8		0.8		-1.0		0.6		0.4		-0.1	
误差%	-0.13		0.03		-0.05		0.03		0.03		0.00	

物料运行条件下 A、B 两秤相对误差调整试验要求 A、B 两秤相对误差应不大于 0.1%，实测数据为 0.03%。

由于测试对象这台秤原来已经调整过 A、B 两秤相对误差，所以第 1 次试验的相对误差较小。通常情况下新装秤在进行本项调整时，第 1 次试验的相对误差较大，然后通过第 2、3 次试验调整，其相对误差才能达到不大于 0.1% 的指标。

4) 物料棒码叠加法试验

试验目的：在输送实际物料的条件下进行物料棒码叠加法试验以求得校验系数，达到在线校验的目的。

试验方法：在输送实际物料的条件下，A 秤上加棒码，一次加 20kg，一次加 40kg，A 秤开始按整数圈（每次不少于 3 分钟）计量，B 秤则延迟一段间隔长度后也按相同整数圈计量。加 20kg 棒码的理论累计值为 1425.067kg，加 40kg 棒码的理论累计值为 2850.133kg。然后将 A、B 两秤累计值的差值与上述理论累计值进行比较以求得校验系数 K。

表 4 物料棒码叠加法试验（棒码 20kg）

单位：kg

参数	第 1 次试验		第 2 次试验		第 3 次试验		第 4 次试验		第 5 次试验		第 6 次试验	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
显示重量	7943.6	9355.6	7303.2	8714.8	6094.8	7501.6	6579.6	7997.2	7672.0	9093.6	4404.0	5817.6
差值, ΔP	1420.0		1419.6		1414.8		1425.6		1429.6		1421.6	

计算时取最接近的 4 个数据进行平均计算得到校验系数 K_1 ， $K_1=1.00338$ 。

表 5 物料棒码叠加法试验（棒码 40kg）

单位：kg

参数	第 1 次试验		第 2 次试验		第 3 次试验	
	A	B	A	B	A	B
显示重量	4336.0	7177.2	3082.8	5926.0	1866.0	4724.4
差值, ΔP	2841.2		2843.2		2842.0 *	

*：该差值计算有误，应为 2858.4，但对后续试验带来的影响不大（如果计算正确，得出的 K_0 值稍小于 1.00311，因此在物料试验时，将使两秤最大误差值减小，得到的物料试验精度更高）。

计算时取这 3 个数据进行平均计算得到校验系数 K_2 ， $K_2=1.00283$ 。

用 K_1 、 K_2 的平均值 $K_0=1.00311$ 分别对 A、B 秤进行满值修正。

棒码试验按 20kg、40kg 各进行一次，所得系数的误差很小，进一步证明所得到的棒码系数校验系数是可靠的。

5) 物料试验

试验目的：进行物料试验以检验物料棒码叠加法试验是否能达到 0.25% 的精度，从而验证物料棒码叠加法试验可以在生产现场取代物料试验。

试验方法：将准备好的物料用控制衡器计量（精度优于 0.1%）后再用皮带秤计量。

表 6 物料试验

单位：kg

参数	第 1 次试验		第 2 次试验		第 3 次试验	
	A	B	A	B	A	B
实物量	21320		18320		16480	
显示值	21356.2	21349.8	18344.5	18339.3	16499.6	16496.3
误差, %	0.17	0.14	0.13	0.11	0.12	0.10

由表 6 可见：A 秤最大误差 0.17%，B 秤最大误差 0.14%，故合格。

5、结束语

本文介绍了高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统的工作原理及系统集成的主要技术，最后以鉴定时的现场测试数据为例介绍系统调试的具体步骤，现场测试数据还初步验

证了物料棒码叠加法试验可以在生产现场取代物料试验。

作者在一篇文章中提出了对运行检验装置性能进行评价的理论分析法,并运用这一方法评价了现有几种运行检验装置以及物料棒码叠加法运行检验装置,得出的结论是物料棒码叠加法试验的性能优于包括循环链码在内的现有几种运行检验装置 [2]。因此,作者是看好物料棒码叠加法的前景,对物料棒码叠加法寄予很大的希望。

当然,目前高精度电子皮带秤贸易计量及校验集成系统刚推出两年,使用的用户数量有限,大量的试验工作还需深入进行,特别是物料棒码叠加法试验可否在生产现场取代物料试验还应该通过国家权威机构的正式认可。

参考资料:

[1] 方原柏. 电子皮带秤. 北京: 冶金工业出版社., 2007 年 7 月。

[2] 方原柏. 电子皮带秤运行检验装置性能的理论分析法. 衡器, 2007 年第 3 期。

作者简介:

方原柏, 1942 年生, 男, 湖北黄冈人, 云南华昆工程技术股份公司(原昆明有色冶金设计研究院)电气自动化分院教授级高级工程师, 衡器、冶金自动化、世界仪表与自动化等杂志编委, 昆明仪器仪表学会副理事长兼秘书长, 中国衡器协会技术专家委员会委员, 曾出版“电子皮带秤的原理及应用”(1994 年)、“电子皮带秤”(2007 年)两本专著。

联系方式:

电话: 0871-3168424 (0) 13078787502

地址: 650051, 昆明白塔路 208# 云南华昆工程技术股份公司

E-mail: Fangyb42@sina.com