

试论科学思维与行为方式对发明阵列式皮带秤的作用

南京三埃工控股份有限公司 盛伯湛

【摘要】 五年前，南京三埃公司已将其所发明的阵列式皮带秤正式公诸于世，经多年的探究摸索、创新完善，其稳定性、准确度、耐久性、可维护性等各项关键性能均超越了建立在传统理论上的普通皮带秤，得到广大用户的欢迎，并受到国际法制计量组织皮带秤专家们的赞赏。本文通过该发明的诞生历程，揭示科学的思维方式和行为方式对获得成功所起的重要作用。

【关键词】 阵列式皮带秤；思维方式；行为方式

引言

科学的思维方式和科学的行为方式，是科学技术取得实质性进步的保障。郭沫若曾说：既异想天开，又实事求是，是科技工作者特有的风格。因为，科学是讲求实际的。科学是老老实实的学问，来不得半点虚假，需要付出艰巨的劳动。同时，科学也需要创造，需要幻想，有幻想才能打破传统的束缚，才能发展科学。深究现状、勇于创新、严谨验证是科学的思维行为方式，也是每一位成功发明者必需的基本素质。只有对现有技术有了深入研究，对其现状乃至历史中所显示和隐含的优点以及缺陷与不足十分熟悉，才会有改进的意愿与设想；只有大胆突破现有技术所依托的理论依据，才能构思出新颖的技术方案；只有对新方案进行全方位的严格测试，不厌其烦地仔细验证，才能使所创造的新技术经得起推敲，能在实际中发挥前所未有的进步作用。南京三埃公司所发明的阵列式皮带秤荣获了“中国专利优秀奖”，并被科技部、环保部、商务部和质检总局等四部委联合列为“国家重点新产品”。它之所以能作为高端产品异军突起，在短短数年内获得了近 200 家用户的首肯，其中还不乏“回头客”，正是因为在其研发过程中秉承了上述科学的思维方式和行为方式。

一、对现有技术的深入探究催生了新型皮带秤的研发

1. 皮带秤的推广应用为何困难重重

带式输送机是当今使用最普遍的散料连续输送设备，具有输送量可小可大、传输距离可近可远、设备与配套设施总价低廉、适用场合广泛、安装位置灵活等优点。嵌装于带式输送机的皮带秤不仅继承了带式输送机的全部优点，并且能在物料连续输送过程中同时实现自动累计称重，作业效率高，便于跟自动化系统组合。在矿山、冶金、港口、电力等行业常需输送与计量大宗散料，照理，皮带秤应当是用户的不二首选。然而现实情况是，倘有经常性的良好维护和校准条件，皮带秤的使用误

差约为 1~5%，而大多数皮带秤还达不到，正是“欲说爱你不容易！”。因此，那些皮带秤的潜在客户有时不得不选择效率低、不能实现连续作业的非自动衡器，甚至沿用看船舶吃水线这样的落后计量方式。

对普通皮带秤进行分析后发现，现有技术存在以下问题：

(1) 准确度不够

皮带秤作为连续累计自动衡器，现行国内外标准规定的最高准确度等级是 0.5 级，低于非连续累计自动衡器(如料斗秤) 和非自动衡器(如汽车衡)。

(2) 制造成本高

按传统理论，为了使皮带秤能有较高的准确度，要求称重框架在最大流量下挠度小于 0.5mm，托辊的径向跳动应小于 0.2mm，轴向窜动小于 0.5mm。因此，为提高刚度，改变秤体结构笨重，托辊需要精密制造，精密装配。

(3) 对现场配套的皮带输送机要求高，适用性差

按传统理论制造的皮带秤，对与之相连的输送机的纵梁挠度、倾角，皮带的整圈长度、密度一致性和接缝，附属的皮带纠偏装置、卸料装置及落料点数量等等，都有严格的规定，适用场合受很多限制。

(4) 安装调整困难

由于秤体笨重，秤架在输送机上就位时十分不易，劳动强度大还不安全。

普通皮带秤要求诸托辊与皮带接触的共面度（亦称准直性）不大于 0.5mm，需要仔细调整，十分繁琐。

校准须用物料试验，满足要求的控制衡器价格贵，不易获得，模拟载荷校准的置信度差。

(5) 耐久性差

由于上述要求不易做到，即使暂时做到了，但在通常的环境和工况下也难以保持，因此普通皮带秤不能长久地保持检定时性能指标。

(6) 使用麻烦

为了维持使用性能，用户必须经常维护，频繁地清扫秤架，调校托辊，校正参数。

2. 用户对所期盼皮带秤的要求

显然，尚未克服上述种种弊端的皮带秤，并非为用户真心所需要的。能让用户满意的皮带秤应满足下列要求：

- 具有同汽车衡、料斗秤相近的准确度，且能长期保持；
- 对嵌装皮带秤的输送机要求不高，能适应各种现场使用；
- 无需频繁调校，日常使用免维护，可采用简便的手段进行有效地校准；
- 高度智能化运行、状态早期自诊断，具有遥测、遥讯、遥控功能。

皮带秤是与皮带输送机相连的自动衡器，而通常皮带输送机的工作环境和技术状态满足不了皮带秤所需的上述种种要求。大多数制造商走的道路是改造皮带输送机及其环境使之适应皮带秤。然而，改造的要求有些近于苛刻，且难以长久保持；因此，大多数用户更希望的是皮带秤能够尽量适应他们的皮带输送机和现场条件。用户所期盼的是我们的愿景，也是我们据以创新的理念，“造世界最好的皮带秤”成了南京三埃人的奋斗目标。

二、对传统理论的大胆突破指引了新型皮带秤的设计

1. 传统理论使皮带秤的改进长期停滞不前

皮带具有足够的切向张力 T 是输送机正常运行所必需的，然而皮带不仅会将物料及其自身重力 M 传递给称重托辊使之下沉，其自身还会在相邻托辊间距内产生下垂，使皮带与水平方向形成夹角 α ，于是在皮带的法向产生分力 $2T \cdot \sin\alpha$ ，这使称重传感器测到的力变为 $W = M - 2T \cdot \sin\alpha$ ，而不等于 M 。

分析皮带秤误差时，常被引用的公式是^[1]：

$$E_R = \pm 2kdT/nqL^2$$

式中： E_R —相对误差， k —皮带效应系数， d —称重辊垂直位移， T —皮带张力， n —称重辊组数， q —单位长度皮带上的料重， L —托辊间距

据此可知，欲减小 E_R 应当减小 k 、 d 、 T ，增加 n 、 q 、 L 。但是，

(1) 系数 k 是一个多元函数，目前还难以定量，只知道皮带的刚度越大时 k 值也越大。通常认为，皮带的刚度与皮带的弹性模量、托辊组槽型、托辊组间距及皮带张力等多重因素有关；

(2) T 的减小受到限制，太小了会使皮带不能张紧而下垂量加大，容易造成撒料，并致皮带与水平方向的夹角 α 随之增大，皮带张力的法向分力 $2T \cdot \sin\alpha$ 也增大，还会导致运行时打滑；为了 T 不至于过分大，皮带的整圈长度不能太长，托辊间距也不能过大；

(3) L 带有平方指数，增加 L 似乎能明显带来好处，然而并不能过于加长，因为 L 大了也会使皮带的下垂量加大，并导致 α 也增大；

(4) 要减小 d ，就需使秤框、称重托辊支架、输送机纵梁、称重传感器支承梁的挠度乃至称重传感器弹性体的变形量小，因此就需加强机械构件的刚度和降低称重传感器的灵敏度；同时要保证相邻托辊组的准直性；

(5) 增加 q 会使输送机及秤架等机械构件的变形量增加，就需进一步加大机械构件的强度与刚度；

(6) 对于常规有框架的悬浮式或杠杆式称量台，增加称重托辊组 n ，也就意味着需要同时增加秤框的长度和钢材的截面积。

虽然上述分析有一定道理，但是据此对皮带秤所提出的要求也是苛刻的。秤架为了提高刚度而越做越笨重。图 2 是澳大利亚知名皮带秤制造商 CST 公司生产的一种皮带秤称量台的秤框和托辊

支架，是何等的“壮实”哟！为了使全部称重托辊组及相邻的若干组输送托辊圆周面与皮带相切的各条母线的共面度(准直性)在 0.5mm 以内，需要十分精心仔细地调校，即使有的厂家动用激光准直仪在安装时暂且做到了，然而，气候和时效中的应力变化都可能使原本精心调好的准直性遭到破坏，而皮带、托辊的松动或沾料更可能使改变的尺寸远远超过要求的共面度公差，又怎能体现皮带秤的耐久性呢？种种不切实际的要求妨碍了皮带秤的发展与进步。

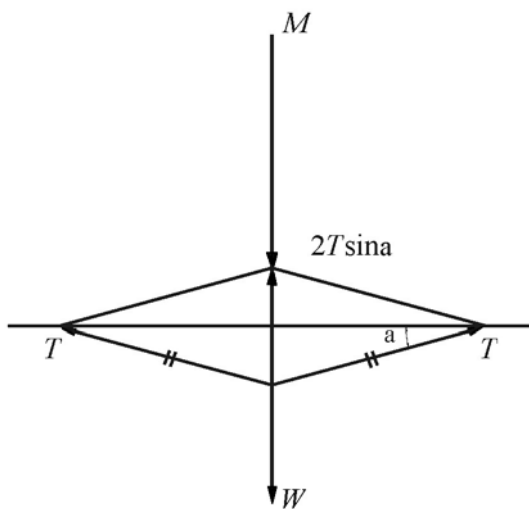


图 1 皮带张力的法向分力对称重的影响



图 2 澳大利亚 CST 公司生产的秤框和托辊支架

2. 皮带秤新误差理论要点及其指导作用

南京三埃公司董事长及其带领的新品研发团队有多人从事电子秤的事业二三十年以上，具有先后服务于用户与生产厂的经历，同时拥有两种角色的视角和关注面，又做了大量的科学实验，在吸收传统理论的同时进行了扬弃和突破，总结出了一套新的皮带秤误差理论，设计出了其结构按传统理论不可思议的阵列式皮带秤并取得了成功。

(1) “内力”理论

南京三埃公司的“内力”理论认为：物料在一个连续排布的称重阵列中流动时，相邻单元托辊间距内的皮带垂度会“此起彼伏”，即某载荷的作用使一托辊间距内的皮带下垂量变大（或减小）时，其前后托辊间距内的皮带下垂量就会减小（或变大），从而使皮带张力的影响相互抵消，皮带张力的影响对于阵列内部各单元总的影响量接近零，仅首、尾单元受其影响。

据此理论，南京三埃公司创造的阵列式皮带秤，由连续安装的多个独立称重单元级联而成。它不仅把张力影响转化为了“内力”；并且大大增加了称重托辊组数 n ，又因各单元之间没有连接框架而不笨重。

(2) “皮带效应主导”理论

南京三埃公司的“皮带效应主导”理论认为：在皮带秤的各种误差因子中，皮带张力 T 和垂直位移 d 造成的误差是相对固定且可以消除的，不是皮带秤产生误差的主要原因；导致皮带秤产生耐久性误差的罪魁祸首是皮带效应系数 k 。

皮带效应是指皮带的硬度、弹性等物理特性及截面形状等对称重产生的效应。它作用在秤架上，对皮带秤的受力及力的传递产生极大的影响。皮带效应系数 k 取决于皮带状态及所处环境。

不同气候和环境条件下试验的对比分析数据表明，皮带状态在短期内相对稳定，长时间后变化明显；皮带状态对 α 关系不大；皮带状态随时间、温度、张力、流量及皮带材质、软硬度、截面形状而变化，对称量结果影响很大，是皮带秤长期稳定性差的最大影响因素。

因此，南京三埃公司不再把主攻方向放在提高秤体的刚度和托辊的准直性上，而是放在了各种环境的适应性补偿机制上。例如，不仅要考虑温度对称重传感器和称重仪表等电子部件的影响，还顾及了温度对皮带、秤架等机械构件的影响。

三、对发明样机的严格测评保障了新型皮带秤的性能

1. 立足实践，一切以数据说话

南京三埃公司在研发过程中坚持奉行“实践是检验真理的唯一标准”这一科学原则，对于任何新的想法或改进方案，须一律经过大量的实际试验来验证其真实性和可行性。阵列式皮带秤从发明雏形构思到产品正式定型推向市场之前，进行了四年多的物料试验。

目前皮带秤动态试验的资源还很缺乏，在评价皮带秤时普遍采用无皮带输送机的静态模拟试验方法，试验结果的可信度往往不够。为保证试验过程与实际使用的相似性，南京三埃公司不惜投入 2000 万元巨资，建设了“可能是世界上最大的也是唯一的一个皮带秤实验室（2011 年 4 月在伦敦英国国家法制计量院召开的 OIML 皮带秤国际建议（草案）第 3 稿研讨会上澳大利亚代表 Mr.Chris Davies、荷兰 NMI 的 Mr. P Kok 的发言）”。

2. 以独创的恶劣工况适应性试验考核产品的耐久性

计量器具能否长期提供可靠的计量数据是用户的主要关注点，现行皮带秤技术法规也设置了耐久性条款，然而没有提出如何评价皮带秤耐久性的具体试验方法与指标。鉴于皮带秤的耐久性在很大程度上体现在它对于恶劣环境和工况的适应能力，我们独创性地采用了能够量化并可复现的模拟恶劣工况试验来评价皮带秤的耐久性，包括：（1）给料流量变动影响试验；（2）皮带张力变动影响试验；（3）托辊跳动和非准直性影响试验；（4）水平力影响试验；（5）带速变动影响试验等在内的试验项目列入了企业标准，不仅要求阵列式皮带秤在普通状态下物料试验的自动称量误差达到检定时的指标，还要求在模拟恶劣工况下的误差不大于正常状态下使用中检验的指标。有些同行认为我们在企业标准中加入这些条款无疑是“作茧自缚”，好心地劝诫我们别“自讨苦吃”。确实，这些年来我们在这个试验中心的劳作中吃了不少的苦，但“作茧”的最终成果是“化蝶”，而不是“自缚”。通过大量的物料试验，我们积累了许多第一手资料，发现并验证了诸多完善产品结构、改进产品性能的

办法，使阵列式皮带秤得以能在各种恶劣的环境和工况中长期保持优于 0.2%的准确度，成为客户乐于选用的大宗散状物料快速贸易计量的解决方案。

3. 对挂码标定可信度进行严格验证

众所周知，皮带秤的校准问题长期以来一直困扰着广大用户和制造商。目前受到国际公认的只有实物试验。然而实物试验不仅要耗费大量的时间和人力物力，许多工业现场还不具备试验条件，而且其科学性与可操作性也受到过专家们的质疑^[2]。模拟载荷试验虽然简便，但其试验数据与实际结果相差甚远。然而皮带秤的校准问题只要一天不解决，就将始终成为皮带秤推广应用的拦路虎。南京三埃公司分析了模拟载荷试验结果的可信度低的原因在于“皮带效应”，认为既然阵列式皮带秤能够大幅度降低其影响，那么采用模拟载荷来校准阵列式皮带秤就完全有此可能。但我们深知设想归设想，模拟载荷试验的可行性还得靠事实来说话。

JJG 195-2002 规定，模拟载荷装置只有重复性不大于皮带秤自动称量最大允差的使用中检验指标的 1/4 时，才能开展相应准确度等级皮带秤的使用中检验。南京三埃公司先在其试验中心进行了为期数个月的挂码校准与在线料斗秤校准的对比试验，试验涵盖冬、春、夏三季时间段，快慢不等的带速、大小不同的给料流量。试验结果表明，对于阵列式皮带秤而言，挂码校准的重复性优于 0.03%，与在线料斗秤的校准结果差别基本稳定在+0.2%左右。按 0.2 级准确度等级要求的指标用挂码乘以修正系数后校准阵列式皮带秤，再用在线料斗秤对所通过的散状物料计量验证，其试验数据误差小于±0.1%。

2010 年山东日照港为码头散装物料装船计量安装了阵列式皮带秤，该秤嵌装于带宽 2.2m、头尾轮中心距 1350m、带速 4.83m/s、最大流量 11 000t/h 的高架皮带输送机上，该皮带秤整圈运行时间约 560s， $\Sigma_{\min}=1711t$ 。2010 年 7 月 6 日安装竣工，由于现场暂无实物标定条件，先采用挂码标定，调整后示值与理论值相差不大于 0.025%。9 天后未经任何调整进行实物标定，采用汽车衡作为控制衡器：阵列式皮带秤示值 5026.26t、汽车衡示值 5023.68t，动态自动称量累计误差仅 0.051%。对比试验的结果显示，阵列式皮带秤的挂码标定结果与实物标定的结果十分接近，表明用模拟载荷试验作为校准阵列式皮带秤的一种实用方法，具有一定的可行性。此后又在其它用户中使用该项技术，均获得了成功

四、用户对阵列式皮带秤的若干评价

一件产品是否性能优良，靠的不是制造商的自我吹嘘，最终还得由用户来评判。

中化镇江焦化公司^[3]是南京三埃公司所研发阵列式皮带秤的早期用户。在采用阵列式皮带秤之前，该公司用其它皮带秤来计量入厂原料煤，并且为了增加可靠性，还在一条皮带上装了两台皮带秤，但仍因为所用秤的稳定性差，造成数据可靠性差。原料供应商对原先所用皮带秤的计量数据不信任，要求改用汽车衡计量结算，大大增加了成本及运输和存贮的压力。2007年6月，该公司在原料进厂的#19高架皮带输送机安装了阵列秤。#19输送机的皮带较长，周长达804m，尾部具有斜坡段，

皮带秤的安装位置距尾轮约45米，从传统的皮带秤安装规范来看，这条皮带状况并不太理想。为考察其准确度及长期稳定性，试用期间用户及其原料供应商对其进行了严密监视跟踪。自2007年10月17日至11月13日，每天检测一次皮重值，共检测皮重值（这里的数值是仪表的一种显示方式）30次，平均皮重值为0.1252，最大值为0.1257，最小值为0.1246。与该厂其它皮带秤的同期皮重值数据相比，数值变化量减小4倍。可见，阵列式皮带秤的空秤稳定性有很大的提高。此外，在前后四个多月的使用过程中还对阵列式皮带秤的计量数据与汽车衡进行了三次实物比对测试，校秤系数未作修改，测试数据如下表所列：

测试日期	汽车衡数据 (t)	皮带秤数据 (t)	误差 (%)	比对物料
2007.10.20	325.30	324.85	- 0.14	煤
2007.11.12	662.68	661.08	- 0.24	煤
2008.3.6	101.95	102.12	+ 0.17	煤

阵列式皮带秤性能的实际表现令镇江焦化公司感到非常满意，同时该秤也获得了煤炭供应商的认同，解决了长期困扰的问题。

江苏申特钢铁有限公司^[4]于2002年建厂，厂区拥有年吞吐量400万吨的码头，码头配备有抓斗吊机13台，皮带机5条，3台堆取料机。该公司由于缺乏理想的散状物料计量器具，多年来一直采用对方出具的数据或用水尺法计量。由于码头位于内河，货船载运量不过千吨，卸船采用5吨小抓斗吊，卸船作业物流量极不均匀。他们也曾先后邀请过国内几家皮带秤企业来厂作过努力，但始终难以达到可接受的基本满意要求。该公司在得知南京三埃公司的新产品后，先在码头#4皮带机上安装了一套8单元阵列式皮带秤，并将为其供料的#7料斗改造成料斗秤，作为皮带秤物料试验用的控制衡器，并于2009年11月9日顺利通过检定。在该秤成功使用的鼓舞下，公司又对全厂的物流进行了规划、调整，扩大阵列式皮带秤的应用场合，各分厂的产量均以阵列式皮带秤计量数据为准。2010年该公司的铁前计量网络配备了18套阵列式皮带秤，其中有倾角达18°的输送机，还有2套装在#2和#3堆取料机上。该公司技术人员认为，阵列式皮带秤实现了三大“技术突破”：一是“可靠地应用在堆取料机上”，二是“在18°倾角皮带上应用实现高精度”，三是“挂码标定替代实物检定”。通过较长一段时间的考核与数据对比分析，阵列式皮带秤的无与伦比的性能已得到证实。它不仅解决了过去进厂物资无计量、企业的利益蒙受损失的难题，也给公司内部强化经济责任制考核、降本增效提供了依据。

本溪钢铁（集团）公司^[5]在实际使用之后，认为阵列式皮带秤以其灵活的称重单元组合方式，方便的安装条件限制，高品质的温度补偿措施，高效地克服皮带张力和抖动对系统造成的影响，保

证了系统的长期运行稳定可靠，基本可保持 0.2%的称重准确度。

五、结语

2008 年，南京三埃工控股份有限公司向全世界公开了经过其长期研究和验证所获得的创新成果——阵列式电子皮带秤，揭开了我国皮带秤向发达国家发展的序幕。与普通皮带秤相比，阵列式皮带秤的稳定性、准确度、耐久性、可维护性等各项关键性能均有很大的提高，超越了国际法制计量组织（OIML）现行国际建议（R50:1997E）最高准确度等级（0.5 级）的性能指标。因此，受到了越来越多的用户青睐，并得到 OIML 皮带秤工作组外国专家们的赞赏。

阵列式皮带秤能取得如此巨大的成功，有多方面的因素，跟它的秤架及称重仪表软硬件的种种独创性改进都有关系。本文仅涉及“深究现状、勇于创新、严谨验证”这种科学的思维和行为方式对于发明的构思、创意、改进的重要作用。

参考文献

1. [英] K.E.Norden 著. 陆伯勤等译. 工业过程用电子秤[M]. 北京. 冶金工业出版社. 1991 : 212 ~ 213.
2. 茅庆潭. 皮带秤实物检定是非论[J]. 交通标准化 2000 (3) :20 ~ 22.
3. 卢永才等. 阵列式皮带秤在进厂煤贸易计量中的应用[J]. 工业计量. 2011 vol.18 (6) :28 ~ 30.
4. 倪俊杰. 阵列式皮带秤在企业管理中的应用[J]. 工业计量. 2011 vol.21 (2) :24 ~ 26、 57.
5. 孙继和. 阵列式皮带秤的选择及应用[J]. 衡器. 2011 vol.40 (12) :4 ~ 6.

作者简介

盛伯湛，出生于 1946 年，男，上海市人，工业自动化专业，中国计量测试学会会员，中国认证认可协会注册审核员，先后从事电子秤应用技术和研发三十余年。衡器装配调试工国家职业资格培训系列教材编审委员会委员，《衡器整机装配调试工》各分册中连续累计自动衡器章节及其它有关内容的编著者，已发表论文数十篇。