

皮带秤已经进入 4.0 时代

南京三埃工控股份有限公司 袁延强

【摘要】 本文从皮带秤的技术、价值、价格几个方面将皮带秤的发展历史和现状划分为 1.0 至 4.0 版，并着重对 4.0 版（第四代皮带秤）的基本定义和内容进行了阐述。最后结合“阵列式皮带秤”的研发和“基于物联网技术的远程专家系统”的应用介绍了作者对“第四代皮带秤”的理解与实践。

【关键词】 理想皮带秤；第四代皮带秤；皮带秤的耐久性；基于物联网技术的远程专家系统

前 言

在当今科技产品中，苹果公司的iphone无疑是一颗耀眼的明星。从来没有一款高科技产品，像它那样在全世界范围内受到如此广泛的追捧，苹果公司的股价市值在2015年2月一举超过7000亿美金，成为美国历史上市值最高的公司。

在苹果公司目不暇接的新产品发布中，iphone手机换代最为成功和引人注目。每一款iphone产品的发布都带来新的概念和新的技术，每一项新的概念也标志着新一代技术的诞生。

皮带秤问世已经一百年有余，皮带秤技术也从最初的机械式、到电子式、再到微电脑式。不管是从结构还是到准确度、稳定性都有极大的进步，是否也可以将其划分为一代、二代、三代、四代？

本文从皮带秤的技术、价值、价格几个方面对皮带秤的发展历史和现状进行划分，并从中剖析皮带秤发展的思路和方向。

一、皮带秤的1.0版（第一代皮带秤）

1. 皮带秤的发明及第一代皮带秤

1908年，梅里克公司开发了世界上第一台皮带秤。这是一种完全采用机械结构来进行检测皮带荷重和皮带速度的称重装置，在调整良好的状态下称重结果相当准确（具体指标无从得知），受到了用户的欢迎。

这是人类第一次采用称重装置对连续运行的散状固体物料进行累计称重，开创了皮带秤的历史。自1908年到70年代后期，都可以归纳为第一代皮带秤的范畴。

2. 一代皮带秤的主要技术特征

早期的皮带秤采用机械原理实现皮带连续称重（从1908年到50年代末），二十世纪六十年代，电阻应变式称重传感器和电子电路将皮带秤带进了电子时代。

早期的皮带秤采用简单的单托辊结构，后来为了保证足够的荷重力以及能够提供足够的秤架停

留时间以使力完整的传递,皮带秤常采用数只称重托辊(2、4、6或8)增大受力范围,并采用杠杆原理,用轴承、刀口、簧片等做支点,用配重平衡称重托辊和皮带的重量,以提高有效称重重量,减轻称重传感器的负担。

3. 主要技术指标

第一代皮带秤的标称准确度误差在 $\pm 1\%$ 或更多,但实际使用的准确度误差基本都在 $\pm 2\sim 10\%$ 或更多。

4. 存在问题

第一代皮带秤的原理落后、受传感器技术和电子技术水平的限制无法达到很高的水平,更多的要依赖于使用者的精心调整和维护,其快速磨损零件需要考虑运行周期以更换组件和重新校准维持性能。

在梅里克公司的第一代皮带秤仪表技术员中,甚至有一些曾经的钟表匠,显然,校准、修理和维护这些皮带秤是要注意细节和技巧的。

故而称重的数据只能做为粗略的估算,不能用于贸易的精确计量或有一定要求的计量场合。

二、皮带秤2.0版(第二代皮带秤)

1. 第二代皮带秤的时间范围

自70年代末期开始,皮带秤进入微电脑时代。就皮带秤的单体结构和组成而言,现今许多皮带秤仍然属于第二代产品的范畴。

2. 二代皮带秤的主要技术特征

● 称重传感器的技术进步

进入80年代,应变式称重传感器的技术飞速发展,传感器的技术指标得到了极大的提高,各种传感器的结构形式十分丰富。相对于皮带秤的称重技术指标来说,称重传感器的指标已经完全能够满足需要。在皮带秤的误差分配中,称重传感器的误差已经退居次要地位。

● 电子器件的进步

自80年代起,电子器件水平飞速发展。各种高精度和稳定性的电子放大电路将自身误差减小到忽略不计的程度;模/数转换的AD模块的转换精度和速度也有了惊人的进步。对皮带秤的称重准确度来说,电子器件引入的误差已经可以忽略不计。

● 称重结构的改进

为了解决力传递环节的失真和抗干扰性能问题,二代皮带秤在秤架上作了许多改进。越来越多的皮带秤采用多托辊技术,如多托辊双杠杆、多托辊全悬浮式;十字簧片、橡胶轴承等支点技术的发展,都在很大的程度上提高了皮带秤的准确度和稳定性。

● 微电脑的应用

80年代开始,微电脑开始广泛应用于各种场合。基于微处理器的积算器取代了采用分立组件或集成电路组成的的电子积算器,今天已经没有不采用单片机等电脑技术的皮带秤仪表了。微电脑技术的使用,使皮带秤能够对使用中各种情况进行智能判断和处理,大幅度提高了皮带秤的智能化水

平，也为提高准确度提供了坚实的基础。

3. 主要技术指标

称重准确度误差最优可达到 $\pm 0.5\%$ ，但是在耐久性能方面普遍存在问题。过多的依赖使用环境和条件、过分依靠调整和维护，使用计量误差一般在 $\pm 1\sim 5\%$ 。

4. 存在问题

皮带秤的耐久性普遍存在问题，称重准确度依赖于“三精”（精密制造、精细安调、精心维护）。以至于所有的皮带秤产品都能拿到0.5级的制造许可证；也可以在安装初期达到 $\pm 0.5\%$ 的称重精度，而在日后的使用中基本都无法保持这样的指标。对于二代皮带秤的使用准确度误差，较公平的评价是： $\pm 1\sim 5\%$ 或更差。

这种状况给用户带来了极大的困扰，一方面要面对要求很高的“精心维护”，另一方面要面对计量数据无法用于需精确计量场合的尴尬。甚至那些用于内部计量的皮带秤，也由于准确度的不确定而令人头痛不已。

三、皮带秤3.0版（第三代皮带秤）

鉴于第二代皮带秤存在严重的耐久性能差的问题，衡器界对二代皮带秤进行了革新。改革的思路有二：一是在检测上下功夫，为精心维护提供数据和技术上的支持、以期获得较高的长期稳定性；第二种思路是在提高皮带秤自身的耐久性能上动脑筋，从根本上解决皮带秤耐久性能差的问题。从严格意义上讲，前者是“治标不治本”的措施，仍应归属为二代皮带秤。本文从提高皮带秤使用精度的角度分析将后者归为第三代皮带秤。

1. 第三代皮带秤的时间范围

第三代皮带秤开始于上世纪末至本世纪初，至今在皮带秤的历史上，仍处于领先地位。

2. 三代皮带秤的主要技术特征

鉴于第二代皮带秤存在严重的耐久性能差的问题，第三代皮带秤着力于提高皮带秤的耐久性能。从解决问题的思路来看，大致分为二大类型：

（1）在线检测型

●二秤串联法

为了即时检测皮带秤的准确度、解决皮带秤稳定性差的问题。将二台皮带秤串联安装在一条皮带机上，称重作业时观察两台皮带秤的累积量。当二台皮带秤的数据误差在约定的范围内，就认为该二台皮带秤是准确的；超过了就及时对秤进行校准。

此举对于皮带秤的故障有很好的早期预警效果，大大提高了皮带秤计量数据的可靠性，至今深受众多用户青睐和推崇。但是当二台皮带秤都存在稳定性差或准确度变动很大时，往往会带来大量标定、维护工作量；同时此举属“治标不治本”，并不能从根本上解决皮带秤耐久性差问题。

●二秤串联加挂码法

近年来推出了一种改进的串联法。

在二秤串联的基础上，在其中一台秤上挂砝码。称重作业时在线比对二秤的计量数据，分析比

较挂码重量和物料重量的比值，判断两秤准确与否。

这种方法同样存在较大的问题，其原因是挂码产生的累积量并不等同于相对应物料的累积量。产生这一现象的原因是：物料施加在秤架上会受到皮带状态的影响，同样的物料在不同的皮带状态下，施加于秤架的重量是会产生变化的，有时这种变化会很大且无确定的方向。

●三桥称重

“三桥称重”是“二秤串联加挂码”的改进型。

具体做法是：在二秤串联的基础上加入一台料斗秤，由取料装置定时在皮带上取料，进料斗秤称重后回流到皮带上。称重作业时在线比对二秤的计量数据，分析比较料斗秤数据和皮带秤数据的关系、判断两秤准确与否，这种方法称为“三桥称重”。

这种方法较“二秤串联加挂码”进了一步，二台皮带秤的状态是由料斗秤的数据来判断的，准确程度有所提高。

但这种方法也有一定的局限性。一方面是取到料斗秤中的物料一般都比较少、不能完全反映出整个料流的称重状况，特别对于大流量皮带秤，连皮带转一圈的物料都取不到，无法实现物料的正确取样；另一方面料斗秤的数据难以与即时的皮带秤瞬时量和累积量一一对应。

同时由于此种方式所需设备多、投资高、占地及空间均较大、设备故障多，这些都限制了这种模式的推广。

●循环链码检测法

这种方式曾经风靡一时，这种检测方式有别于前述的几种在线检测方式、严格地说不能谓之“在线检测”。其做法是在皮带秤上方安装可控制的循环链码，可以进行方便的模拟载荷试验（检测）。

循环链码自带动力驱动、自带积算器，较之“挂码”、“链码”等模拟载荷试验法接近实物检定。操作简单易行、可实现重复检测，链码在皮带上可一定程度上体现皮带状态的影响。

但是其反应出的皮带状态影响基本恒定不变，而在实际称重时皮带张力的变化受到物料流量的大小、秤体距给料点的距离、皮带状况及跑偏、偏载等因素的影响，和循环链码检测时的状态存在较大的差别。循环链码检测更多反应的是秤体的受力变化，而不是皮带状态的变化，所以不能表征该皮带秤的真实性能，也就无法对该皮带秤提高性能提供有效地指导意见。

同时采用这种模式时，需要定期通过实物检定确定链码检测与实物的修正系数并进行修正。

（2）结构创新改革的“多单元串联型”

●阵列式皮带秤

阵列式皮带秤是近几年本公司推出的多（称重）单元串联、阵列式称重模式。阵列式皮带秤以一个全新的误差理论、一种全新的结构，将多个称重单元采用串联的方式安装在皮带机上。这种结构大大地扩展了皮带秤的称量段的长度（8单元时长度接近20m），同时采用大量软件计算、修正和补偿皮带张力、皮带效应等皮带状态造成的影响。极大地提高了皮带秤的称重准确度，皮带秤的耐久性能极其优异、长期稳定性大大地提高，受到用户的普遍欢迎。

●浮衡

近来有国内公司推出的称之为“浮衡”的也是参照阵列式称重的原理，采用多个称重单元串联安装组成一个称重阵列。而其中的单元以二只称重传感器为转轴、单元秤架悬挂其上，在物料称重时，单元自由旋转，依靠单元托辊的高度差形成平衡。

上述多单元串联型均采用多单元方式扩展称重段，对提高称重准确度有很好的帮助，但皮带状态的影响仍未完全消除。在串联多单元皮带秤上如何处理皮带状态的影响，需要新的称重理论支持。对于衡器界一贯认为的皮带张力的影响，仍然需要软件进行修正补偿。处理不当，对准确度和耐久性都会有很大的影响。

3. 主要技术指标

三代皮带秤的称重准确度误差为 $\pm 0.2\sim 0.5\%$ ；阵列式皮带秤的耐久性误差可达 $\pm 0.2\%$ ，没有软件有效的补偿，简单采用串联单元的方式，由耐久性带来的称量误差一般在 $\pm 1\%$ 以上。

4. 存在问题

①在线检测型的工作模式，采取各种检测方法去发现皮带秤出现偏差或不稳定，提醒用户进行干预并做出某些修正。但这些检测方法都无法分析出皮带秤产生误差的原因；不能给出调整的方向和幅度。所以，这种模式只是一种粗略的检测手段，可以发现皮带秤明显的故障和较大的误差，对改变皮带秤耐久性能差的问题（如长期保持称量误差 $\leq \pm 0.2\%$ ）是无能为力的。

②阵列式称重开创了一种全新的称重思路，摆脱了传统皮带秤误差理论的束缚，具有很好的发展前景。

但如果仅仅依靠结构上的变化，仅能起到改进准确度指标的作用，对提高皮带秤的耐久性（长期保持称量误差 $\leq \pm 0.2\%$ ）则是远远不够的。只有将稳定的称重结构和针对皮带效应的软件补偿修正有机的结合起来，才能达到长期保持 $\leq 0.2\%$ 的目标。

四、皮带秤4.0版（第四代皮带秤）

第四代皮带秤——一种“理想的皮带秤”。

1. 用户心中的理想皮带秤：

（1）准确度误差长期保持 $\leq \pm 0.2\%$

大宗散状物料的计量准确与否，具有重大的经济意义。目前国际国内贸易商检均采用“水尺计重”，缺乏方便可靠的计量器具是使用这种落后的计量方法的无奈之举。

准确度是评价一台皮带秤的最重要指标，耐久性能则是皮带秤能否成为大宗散料贸易计量的关键。如果皮带秤的准确度误差可以长期保持在 $\leq \pm 0.2\%$ ，就完全可以担当起终结“水尺计重”的重任。

（2）日常使用的维护简单

传统皮带秤的使用准确度依赖于“精密制造”、“精细安装”、“精心维护”的“三精”措施，对于用户来说，“精心维护”负担过重、经济成本过大，同时还要求维护人员具备相当的技术素质。

对用户而言皮带秤的日常维护和校准应该简单易行，例如：简单的清扫秤架、日常采用挂码等方法校准、半年做一次实物标定等。

（3）有良好的技术支持

皮带秤本身具有较强的智能，可以早期发现、预警故障；皮带秤出现故障时，制造商可远程快速判断故障原因，及时地为用户提供应急处理方法，而不是等待派人到现场处理。

2. 制造人心中的理想皮带秤

理想的皮带秤不应只停留在提高准确度和耐久性上，那样只能停留在第三代的水平上，“理想的皮带秤”应该是顺应工业革命的趋势，有一次彻底的革命。

众所周知，世界工业革命已从蒸汽机、电气化、自动化发展到了信息化。德国于2010年推出“工业4.0”，提出以信息物理系统（CPS）作为创新驱动动力，其核心是智能制造。制造业的智能化、网络化、柔性化、绿色化、服务化，成为世界第4次工业革命的风向标。

依照这个思路，笔者认为第四代皮带秤要在以下方面有创新突破：

（1）创新的技术方案

以物联网技术为基础，更多的采集皮带秤有关的物理量和过程参数，主要依靠软件功能来实现对皮带效应等影响因素的修正和补偿，改变皮带秤依赖“三精”措施保证准确度和耐久性的现状。

第四代皮带秤应具备：

●极强的抗拒“皮带效应”能力

“皮带效应”是皮带的力学特性、是皮带秤耐久性能差的主要因素，四代皮带秤应能对其进行有效地跟踪补偿修正。

●极高的可靠性

可靠性包含：硬件可靠性、硬件系统的冗余和数据的云端存储及处理。

●自适应功能

每一个工业现场有着其独特的工艺和环境，四代皮带秤应能自检、自学、自适应，在个性化的现场保持标准化的性能。

●准确度趋势分析

皮带秤的准确度变化可能是个渐变过程，四代皮带秤应能对这一趋势进行分析并终止这一变化、确保皮带秤的性能稳定。大数据分析技术应成为主要手段。

（2）模块式结构、标准化生产

产品工厂化生产、结构模块化，可实现：

●安装简捷

摆脱“精细安装”的教条，抛弃对托辊共面性不切实际的要求（例如要求所有托辊共面性 $\leq 0.5\text{mm}$ ）。安装简便、调整方便（由软件检测和指导），即装即用。

●维护简单

产品依靠自身的卓越的结构和性能，实现极低维护工作量。

●校准简易

校准是确定皮带秤是否符合和保持标称指标的手段，实物检定耗时、费力，易受外界因素影响。四代皮带秤依靠自身卓越的耐久性能、通过自校准功能保持称重准确度，或采用简易的方法（如挂

码或其它)进行校准。

(3) 服务网络化

今天、依赖有经验的技术工人提供可靠的售后服务已经无法适应时代的发展，而应实行网络化的服务。依托互联网对设备实施远程监测、远程诊断和远程控制，基于物联网技术服务系统可实现：

●故障早期诊断

设备故障会造成用户计量数据的缺失，物联网系统通过远程监测、可发现故障先兆，及时处理，减少用户损失。

●故障快速维修

皮带秤发生故障时，系统通过物联网远程诊断、判断故障类型、故障原因，由专家系统提供解决方案并及时处理修复。

摆脱过去服务人员赶赴现场、检查、判断并解决故障的这种过分依赖有经验的技术工人的落后的服务模式。

●定期诊断服务

通过物联网和大数据分析，定期巡检、分析皮带秤误差变化趋势，告知用户及时修正。对秤体出现的变化和操作出现的问题，及时发现、提醒用户，并提供对应的解决方案。

3. 第四代皮带秤的基本定义

经过以上的讨论，笔者在这里给出皮带秤4.0版即第四代皮带秤的基本定义：

●始终保持准确度误差 $\leq \pm 0.2\%$ ；

●用户日常免维护；

●通过物联网完成技术支持；

(1) “始终保持准确度”面临的挑战

●皮带效应的影响

皮带秤的耐久性最大的影响因素是来自皮带效应。

皮带介于物料与秤架之间，当它的软、硬或形状发生改变时、对皮带秤的称重影响十分明显，我们把这种影响称为“皮带效应”。

通常皮带在输送物料时呈“U”形状，在皮带张力的作用下，本来柔软的皮带呈半刚性，成为有刚度的“杠杆”。这个“杠杆”很善变，当温度、张力、载荷发生变化或托辊状态改变时、它都会发生改变，其结果是改变皮带秤的力作用点、最终影响称重准确度。

如何克服皮带效应的影响？采用好的秤架设计是一个途径，但根本的解决办法是通过检测皮带效应的变化、采用软件修正来解决，从根本上消除皮带效应的影响。

笔者经过长时间的理论和实践的研究，在皮带效应的检测和修正方面取得了显著的进展并获得明显的效果，为从根本上提高皮带秤的准确度和耐久性水平，探索出一条有希望的道路。

●皮带秤耐久性的性能

业界公认皮带秤最大的问题是耐久性能差。在工厂用相同的工艺和装备制造出来的皮带秤性能

差别很小，但现场使用时准确度和耐久性会有较大的差别，原因在于：

每一台皮带机的工况（长度、速度、张紧方式、皮带硬度、跑偏等）不同、输送物料的种类和流量不同、皮带秤的安装位置和安装水平不同、使用中秤体的变形不同，这些因素造成了皮带秤准确度和耐久性的差别。

那么皮带秤如何才能做到在绝大部分场合都能保证标称的准确度和耐久性指标呢？对制造厂来说，提高皮带秤在各种恶劣环境下使用的性能是唯一途径。

而对于计量技术机构来说，在对皮带秤进行型式评价试验时，对皮带秤的耐久性能进行严格的测试则是一个有效的解决方法。

我们可以在实验室模拟现场的各种状态，例如：张力变化、流量变化或间断给料、带速变化、托辊状态改变（堵转、模拟沾料）等各种工况。通过如此严酷的试验，我们有理由相信，在现场的大部分使用场合，皮带秤就能保持标称的准确度和耐久性指标。

笔者认为，这是皮带秤耐久性得到保证的有效办法。而现在的皮带秤型式评价试验，仅在标准状态下进行常规测试，是大批耐久性差的皮带秤充斥市场的原因之一。

对第四代皮带秤而言、要达到始终保持准确度误差 $\leq \pm 0.2\%$ ，应在通过型式评价常规试验后再通过上述耐久性试验（目前尚无统一的标准），方可认定该皮带秤达到了相应的等级。

当然，只有在各种现场的实际使用中仍保持耐久性指标（准确度误差 $\leq \pm 0.2\%$ ），才能符合第四代皮带秤的标准。

关于耐久性指标的时间，笔者认为可初定为3个月，逐步延长到6个月或1年。

（2）免维护的含义

第四代皮带秤的基本特征之一就是免维护。用户无需对使用中的皮带秤进行托辊共面性的调整、无需对秤体进行紧固、调整，只需对秤架卡料、托辊堵转等非正常情况处理。使用者只需按规定程序方法操作即可，皮带秤的准确度不主要依赖于用户的日常维护。

（3）物联网的应用

德国的“工业4.0”的核心是智能化、网络化、柔性化、绿色化、服务化，第四代皮带秤的重要标准之一是：是否实现网络化。

笔者认为没有网络的支持，仅靠硬件的功能是不能成为第四代皮带秤的：没有物联网的保障，实现“故障诊断、预警、排除”，就不能保障皮带秤可靠运行；不能对“皮带秤误差的变化趋势（误差变化方向和幅度）”进行分析预判，就无法实现“长期稳定的保持准确度误差 $\leq \pm 0.2\%$ ”的目标。“软硬结合，以软为主”将是皮带秤技术的发展方向！

完善的物联网功能应具有以下能力：

- 具备故障现象的早期诊断；
- 对传感器等部件进行个性化特性修正；
- 对皮带秤进行远程实时跟踪；
- 大数据计算技术得到充分运用；

- 具备自适应功能、依靠大数据技术建立个性化皮带效应修正模型；
- 具备称重误差趋势分析能力；
- 实现数据云存储、云计算；

五、皮带秤4.0版的实践

近几年国际、国内对皮带秤要做到高准确度、高稳定度的呼声越来越高，其中以澳大利亚的CST公司为代表，在研制0.2级皮带秤上作了很多工作，并和中国皮带秤厂商一块积极促成了新版国际建议增加0.2等级准确度。

其公司网站宣传：他们的皮带秤产品达到了0.2级的使用准确度，并将物联网技术运用到皮带秤、取得了较好的效果。但通过对该公司产品分析，其遵循的还是传统的“三精”路线，即：“更精密制造、更精细安装、更精心维护”。

笔者对这种技术路线持保留态度。大量皮带秤实例证明了这种思路有重大的缺陷、对安装和维护的要求过高。与第四代皮带秤的技术要求有明显的差距，在推广运用中将遇到很大的困难和阻力。

中国皮带秤企业对第四代皮带秤的热情也很高，为之进行了多方面的努力。笔者主持的“阵列式皮带秤”的研制，至今已历时8年多。

该产品自研究之初就提出了和第四代皮带秤主要特征相似的技术目标，并在大量实验的基础上总结出新的称重理论和结构、在采用软件解决“皮带效应”上作出了大量工作，取得了很好的效果。

同时我们率先将物联网运用于皮带秤的技术支持上。用户的所各种数据，都远传进入公司的数据库。

通过大量用户案例开发出“基于物联网技术的远程专家系统”。系统运用“大数据”技术对海量的数据进行分析、计算，皮带秤数据处理模式由“即时处理”，转变为“比对分析、归纳分析、趋势判断”等大数据处理模式，实现了皮带秤数据处理方面质的飞跃。

大量的港口、冶金、电力行业用户案例证明：阵列式皮带秤可以在用户基本免维护的基础上实现长期准确度误差 $\leq \pm 0.2\%$ 的目标。同时物联网技术解决了绝大多数的问题，售后服务没出现因为用户的增多而导致的服务瓶颈，用户服务和公司发展呈良性发展趋势。

更令人欣慰的是，阵列式皮带秤在为用户提供良好使用价值的同时，也成为附加值最高的皮带秤产品。在多次市场招投标中，阵列式皮带秤多次以高于国际一线品牌皮带秤价格一倍以上的价格中标，创造了国产大型衡器中，价格大大高于国际一线品牌的先例。

这既是中国皮带秤制造业界的骄傲，也充分体现了：创新的技术必然创造更高的价值、更高的利润。

六、皮带秤4.0前景展望

第四代皮带秤的基本概念已经形成、各项技术日臻成熟，并将在不长的时间里，迅速的普及到各种应用场合。第四代皮带秤将成为散状物料贸易精确计量的主要手段，并将取代落后的“水尺计重”方式，实现计量技术的一次革命。

令人欣慰的是在第四代皮带秤技术发展的过程中，中国皮带秤企业已经走到了最前列。这得益

于中国经济高速的发展带来的巨大的市场需求，因为任何技术的发展都需要有市场的支撑。在此方面，中国皮带秤企业有着明显的优势。

笔者希望能借第四代皮带秤的发展契机，完成中国皮带秤技术的飞跃，率先实现中国在大型衡器技术上领先世界的目标，成为“中国创造”的一个成功典范！

作者简介

袁延强，男，南京三埃工控股份有限公司董事长，高级工程师，资深皮带秤技术专家，“阵列式皮带秤”发明者、专利技术持有人。