

阵列式皮带称重系统及皮带秤综合测试系统

南京三埃工控股份有限公司 陆勤生

【关键词】 高准确度皮带秤 阵列式皮带称重系统 皮带秤性能综合测试

现代物流中，散状物料（煤炭、矿石、粮食等）是最大量的种类之一，其具有以下特点：

1. 多以船舶为运输工具，装、卸及输送大多采用皮带输送机。
2. 这类物资的转移大多是贸易行为，货物的装、卸载过程也是计量过程，其数据为贸易结算依据。
3. 在运输过程中对散状物料进行同步计量的最实用的计量器具是“皮带秤”。

但由于皮带秤的称重原理和存在的问题，使得其计量准确度较低且难以保持长期稳定。国际建议（OIML R50）、国家标准（GB/T 7721-新版）及检定规程（JJG 195-2002）中最高准确度等级为0.5%，与贸易计量通常的 III 级秤误差有较大的差距，而且实际使用中的皮带秤大多由于维护差，难以稳定保持0.5%级准确度，使用中的准确度甚至达1~5%。

这一现象不只是存在于国产皮带秤，国外产品亦有同样的情况。所以国际、国内贸易中船运散状货物的计量通常采用“水尺计重”。并以此作为办理进出口商品交接、结算、计费、通关、计税、索赔、仲裁的有效凭证。

“水尺计重”是一种原始的计量方法。是根据“阿基米德定律”的原理，通过在装船前和装船后或卸货前和卸货后，分别测定前后两次船舶的吃水线，并测定前后两次的船用淡水、压舱水及燃油的贮存量或消耗量，同时前后两次测定船边港水密度，然后按照船方提供的排水量表或载重量表以及有关的静水力曲线图表、水油舱计量表和校正表等船用图表计算出船舶载运货物的重量。

影响水尺计重精度的客观因素很多：如船舶拱陷变形、定量备料更动、港水风浪等等，要求船舶的艏舯艮水尺标记和载重线标记的字迹必须清晰正规、刻度正确无误；具备船舶正确而有效的图表，包括：排水量表或载重量表，静水力曲线图或可供排水量纵倾校正的图表，水油舱计量表及纵倾校正表，船型图或可供船舶艮水尺纵倾校正的有关图表。根据国际惯例，出入境检验检疫机构的规定：水尺计重的允许误差为 $\pm 0.5\%$ 。

更为重要的是，计算依据——船舶吃水值，是凭借肉眼直接观察确定的。简单目测只有在风平浪静，水平面与水尺标志的交线是固定唯一时，数据才是准确唯一的；而当有风浪尤其是较大风浪时由于波面起伏不平，波面与水尺标志的交线就成了瞬息万变的曲线。此时观察者只能凭经验估计

船舶吃水值，难免带有主观臆断性，有失科学、客观、公正性，更谈不上高准确度了。

故而由此带来的误差也是惊人的。以一艘内河 2000 吨的驳船计算：平均吃水误差 1cm，货物误差约为 10t 左右；而一艘 5 万吨的货轮：平均吃水误差 1cm，货物误差就高达 200t。在国际矿石、原煤等原燃料价格大幅增长的今天，如此大的计量误差，势必成为贸易争端最常见的起因；同时也会严重影响企业原、燃料的消耗指标。一方面给国家、企业带来巨大的经济损失，另一方面也给节能减排、环保工作也带来较大影响。

据《中国钢铁工业协会》公布的统计数据：2007 年度我国共进口铁矿石等主要原料为 40000 万吨、出口焦炭 1530 万吨。按 5 万吨级货轮运输计算，如因人为因素造成水尺计量偏差 1cm（对于 5 万吨级的巨轮，1cm 是多么小的量啊！），误差就高达 166.12 万吨。如果再加上船舶变形、水尺、图表失准引入的误差，损失将是惊人的数字。

如果能将皮带秤的准确度提高到贸易级并保持稳定，在皮带输送散状物料的同时进行计量将是更方便、最经济的计量方式。然而现在的皮带秤是无法满足贸易计量要求的，故研制出高准确度级的皮带秤既是用户的期盼、也是业界亟待攻克的一个难题。

南京三埃工控股份有限公司是专业从事皮带秤科研、开发、制造的高科技企业，是一家以称重、工业自动化、冶金设备为主要产品的专业化公司。公司与国内知名大学—东南大学、南理工等学校有着紧密地合作关系：有与东南大学合作成立的《智能称重控制系统研究所》；有经南京市科学技术局批准、南京三埃与东南大学共同建立的《南京市皮带动态称重技术工程研究中心》。

公司有一批长期从事皮带秤研究和应用的专业人员，经过几年的研究和试验，在发明的三项专利技术基础上开发研制出“高准确度阵列式皮带称重系统”，并在实验室试验和小规模用户试用中取得了令人振奋的突破，为解决皮带秤计量准确度低、长期稳定性差的国际难题，展示了令人鼓舞的前景。

皮带秤的误差来源于力测量系统、信号处理系统及环境影响等几个方面，其中皮带张力是误差的主要来源。它存在于力传递系统，又因环境因素变化而改变。其原理与力分析见（图 1）、（图 2）：

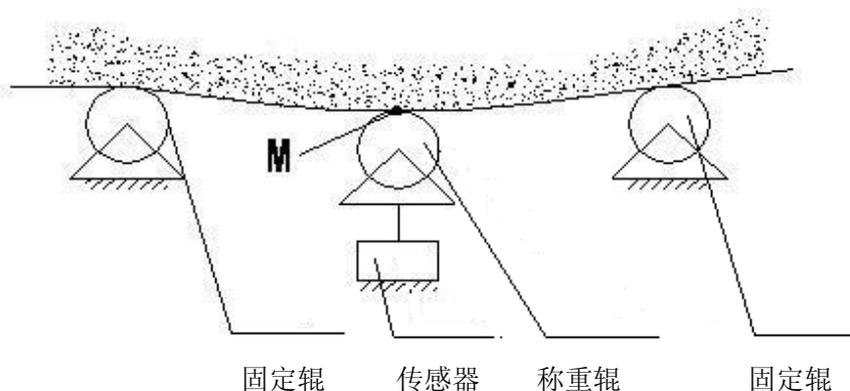


图 1

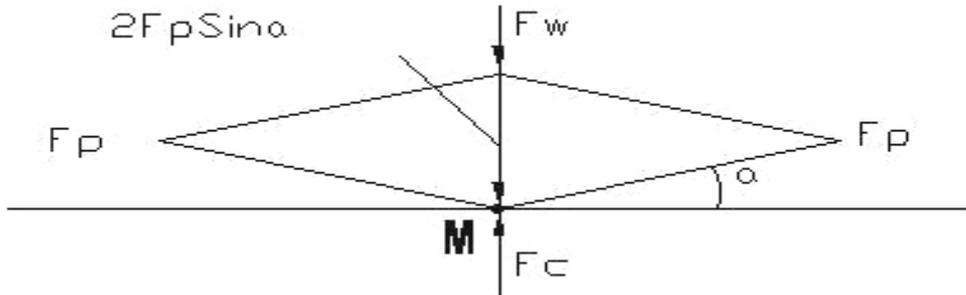


图 2

(图 2) 中： F_p 是皮带张力； F_w 是物料重量与皮带质量之和（需测量的力）； F_c 为传感器受的力； α 是称重托辊受力下沉后皮带张力 F_p 与水平方向方向形成的夹角；根据受力分析可得到如下结论：

$$F_c = F_w - 2F_p \cdot \sin \alpha$$

为了检测到物料的真实重量，我们希望传感器受得力等于皮带上物料重量与皮带质量之和，即上式中的 $F_c = F_w$ 。

上式中：如令 $\alpha = 0$ ，则 $2F_p \cdot \sin \alpha$ 项为零。也就是要求皮带秤做到称重辊与固定辊的上表面在同一平面。

但是由于秤架的刚度问题、称重辊受重力后下沉是不可避免的；以及托辊径向跳动、托辊沾料等方面的原因，使得皮带秤称重辊与固定辊无法保持在同一平面。因此上式中的 $2F_p \cdot \sin \alpha$ 项（由皮带张力产生的垂直方向的合力）就是由于皮带张力而产生的误差项。

上图是皮带秤的一个简化模型，其中皮带张力是皮带输送的一个基本属性。而物料的多少、温度湿度等物理因素的变化又使得皮带张力 F_p 为一个变化的量，显然这一个变化的力严重地影响着皮带秤的测量准确度和长期稳定性。

通过以上分析我们知道，由皮带张力产生的误差项为 $2F_p \cdot \sin \alpha$ ，要想提高测量准确度只有尽量使 $\alpha \rightarrow 0$ 。而 α 的产生主要是缘于称重辊荷重后下沉，所以加强皮带秤秤架的刚度，减少荷重下沉就成为皮带秤提高准确度的主要手段之一。

通常采用的办法是通过改变秤架的结构和增加重量来提高秤架的刚度，因而使得皮带秤秤体变得十分笨重。由此产生的问题是秤体的重量很重，一般都在数百公斤重。如此笨重的秤体在皮带运行过程中难免出现因支承原因造成的支点、力点的微小位移，又会使得称重系统的长期稳定性受到较大的影响，成为系统精度变化的重要原因之一。

另一方面，皮带秤在输送物料的过程中，不可避免的会在托辊表面沾上物料、灰尘等，有时会很严重。沾料直接造成托辊直径变大，即相当于改变了（图 2）中的 α 角，其影响的程度有时是很

严重的。因此，在皮带秤制造、安装和日常维护中，对托辊的同心度、及托辊上表面的高低及表面状况都提出了极高的要求。通常要求托辊加工径向跳动不得大于 0.5mm；制造、安装时调整托辊上表面高差不得大于 0.3—0.5mm，应经常检查、清扫秤架、托辊等等。显然这对于在工业现场使用皮带秤是难以保持的，从而令皮带秤使用中的准确度常常发生变化，使得皮带秤的长期稳定性差成为一个难以绕过的事实，也成为皮带秤无法用于商贸结算的痼疾。

既然皮带张力是难以消除的，我们是否可以换一个思路考虑问题：设法降低皮带张力对测量的影响。我们通过理论研究及大量试验开发研制出一种全新的皮带秤——高准确度阵列式皮带称重系统。

一、理论上的突破

该系统是基于一个新的皮带称重误差理论——“内力”理论。该理论跳出了传统的皮带秤误差理论的窠臼，使所有关于皮带秤误差的理论和解决方法都产生了一个革命性的改变。无需追求秤体的刚度，转而去建立一个合理的称重阵列系统。在这个系统中，皮带张力大小的变化、托辊沾料、秤架安装状态、温湿度变化等因素对皮带秤准确度的影响甚微、甚至没有影响，使得皮带秤的准确度和稳定性得以大幅提高。

二、结构上的革新

如前述，传统皮带秤笨重的秤架结构使得皮带秤的稳定性变坏，重量大、耗材多也使得采用阵列结构成为不现实的事。我们从“内力”理论得到启发，对秤架进行了全新的结构设计：使用我们的专利产品“工字型单点传感器”作为传感器件；采用刚性直联的结构形式，成功的设计出“单点悬浮称重平台”并获国家专利。

这一结构颠覆了传统皮带秤的传力系统，彻底解决了“杠杆系统中支、力点位移对准确度的影响”难题，系统稳定性得以提高；且秤架重量大大减小，一个 8~10 单元的称重阵列，重量仅与一台传统皮带秤相当。

三、“皮带秤综合测试系统”的建立

前面已经叙述过皮带秤的误差来源于：力测量系统、信号处理系统及环境影响等几个方面。其中皮带张力是误差的主要来源，它存在于力传递系统，又因物料的多少、温度湿度等物理因素的变化而改变。要想对上述因素及影响进行系统地分析并开发出高准确度的皮带秤，必须建立一个可重复、可量化的仿真试验平台。这一试验平台应能做到：

1. 最大限度模拟皮带运输物料的过程。其物料输送量、皮带速度可调；皮带宽度、皮带机倾角、托辊槽角等参数基本符合标准和规程的规定；试验用物料量应尽量满足标准和规程中的相关要求。

2. 可进行各种影响因素的量化模拟。如皮带张力的变化、皮带速度的变化、流量的变化、托辊沾料后的变化、皮带跑偏的变化、环境温湿度的变化、皮带沾料的影响、空气流动的影响等。这些影响因素在现场条件下是很难复现的，尤其是不能定量分析。因此建立一个试验平台是十分必要

的。因为只有可以重复，才能在研究中找出问题产生的原因和解决方法；只有可以量化，才可对开发的产品指标进行评定。

但是目前国内皮带秤的生产处于一个较为混乱的形势。生产厂家数百、鱼龙混杂，导致皮带秤制造能力过大，价格竞争激烈。大部分生产厂重制造、轻检测，重生产、轻科研。加之部分地区制造许可证的发放管理相对宽松，尤其是各地普遍缺乏实物检定手段，导致皮带秤型式认证的重要环节——现场物料试验项目无法进行，皮带秤的现场性能指标无法评定。

据调查全国目前没有一套较为规范的实物校验装置，上世纪末国家计量院在安徽铜陵建设的一套皮带秤性能检测试验室已废黜拆除。在此背景下，皮带秤制造厂家的技术水平和产品质量都难以考核与检查，致使大量规模小、技术差、产品质量无法保证的皮带秤产品涌入市场。

南京三埃是国内较早从事皮带秤研发和生产的公司，其皮带秤研发的历史可追溯到 1982 年全国第一台微机皮带秤——国家科委和冶金部联合推广应用的 BSM 型微机皮带秤的研发，公司董事长袁延强就是当年的主要研发人员。

长期以来，在皮带秤的探索道路上，三埃人始终坚持自我创新的道路，创建了独立的技术、研发体系，为市场提供了一系列优质的称重产品。为了提高皮带秤的准确度及稳定性，研制开发出高准确度皮带秤。经南京市科技局批准，三埃公司与东南大学共同建立了“皮带动态称重技术工程研究中心”。中心的主体项目——投资 500 万元的“皮带秤综合测试系统”就是这样一个皮带秤全性能仿真试验平台。其主要技术指标与特点如下：

1) 系统目前建有：

L=30~50m、B=650~1200mm 皮带机四条（皮带机倾角 0 度、6 度），用于“称量台式皮带秤”（计量秤）的试验；

B=650mm 大倾角皮带机一条，用于试验物料的转运；

B=800、1200mm “整机式皮带秤”，用于“定量皮带秤”的试验；

V=40m³料斗秤一台、料斗二只，用于试验物料的称量和贮存；

基本能满足目前常用规格的各种皮带秤的检测。

2) 由计算机控制带速的变化，皮带速度 0.3~4m/s 范围变频调速。

3) 最大试验物料流量： $Q_{max}=1000t/h$ 、物料测试物料量： $T \geq 40$ 吨，试验物料流量由计算机在线控制、5~100% Q_{max} 连续可调

4) 试验皮带机槽角 30 度、35 度可调。

5) 可选择螺旋张紧、重锤张紧等几种皮带张力控制模式，皮带张力 30~120%连续可调、可测。

6) 可进行皮带跑偏、物料偏载试验。

7) 可进行称重托辊模拟沾料试验。

8) 可进行拖出式整机型“定量皮带秤”称重及控制准确度试验。

9) 可进行双 PID 控制模式整机型定量皮带秤称重及控制准确度试验。

10) 可进行物料湿度影响试验。

11) 系统配备标准砝码及自动校准装置, 可方便地进行量值传递。

系统实行集中控制、无人值守。配置系统计算机一台, 编制和执行各种试验程序及量传校准程序。由 PLC 实行程序控制、计算机对测量数据进行实时监控、采集、传输、处理、统计和分析等操作。

系统机画面可显示设定的试验程序及系统各设备的即时信息, 包括: 各皮带机(秤)的运行状态; 料斗秤、贮料斗中的物料的模拟料位; 各料门、阀门的状态等。

系统中所有试验数据均可在系统机上实时显示, 供试验人员观察和分析。这些数据包括: 皮带秤的瞬时量和累计量、各皮带机(秤)带速、皮带张力数值、料斗秤动态数据等。

系统设置有方便的人机界面。可对各种试验程序进行编制, 可对各设备进行自动、连锁、手动操作。

系统配有视频设备, 可对现场设备运行状况及检测过程实时观察、监视。使系统具有较强的开放性, 为今后技术交流、产品测试、型式试验提供一个开放、公正的平台。

目前该测试系统已建成投运, 阵列式皮带称重系统正在进行反复地测试。从测试的数据来看, 系统的准确度可以稳定在 0.25% 以内。现正进行各种干扰因素对系统精度影响的测试验证, 以验证“内力”理论, 测试并量化分析各种影响因素、建立误差的数学模型并予以修正。

同时扩大“阵列式皮带称重系统”产品的用户试用范围, 在钢铁、电力企业新增了几个用户。意在通过用户的使用得到工业现场实际影响因子对产品性能及准确度的影响, 对产品进行必要的改进和完善。

年内将邀请国内有关专家和相关机构对相关理论及产品进行技术鉴定, 确定其科研价值和经济效益。

正在进行专利的国际化工作。将理论及产品申请美国、加拿大、澳大利亚等国外专利, 确保自主知识产权的产品在国际上取得应有地位。

建设皮带秤综合测试系统及开发阵列式皮带称重系统的几点意义

1. 皮带秤是由美国人 Herbert. Merrick 发明的, 其特定的称重原理导致的误差一直困扰着业界和用户。我们通过“内力”理论的研究和试验, 提出了解决皮带秤准确度、稳定性的全新思路和方法, 无疑将是一场技术革命, 或将使中国人在皮带动态称重研究上走在前面。

2. 开发出高准确度皮带秤, 促进皮带秤成为国家法定的贸易结算用计量器具。从而解决困扰世界的皮带输送散状物料过程中贸易级计量这一难题, 为现代物流业提供了一种快捷、可靠的散状物料计量器具, 或将影响物流业的结算规则和发展格局, 并也许成为技术进步促进行业发展的一个范例。

3. 贸易级的皮带秤将会带来一个巨大的市场。

4. 皮带秤综合测试系统将成为国内领先的皮带秤研发装置。如前述, 国内尚无类似规模和功

能的试验平台，也未见过国外类似试验平台方面的报导。该测试系统将作为一个皮带称重基础研究及国际、国内技术交流的平台，成为各种皮带秤产品的研发基地。

5. 皮带秤综合测试系统将作为用户与皮带秤制造厂之间进行产品交流、产品验收的平台；系统也可成为皮带秤产品试验、检定的公共平台，甚至进而成为计量机构的公告试验室，担负起皮带秤型式试验及计量检定的社会职能。

作者简介

作者：陆勤生

工作单位：南京三埃工控股份有限公司

电话：025-52121028

传真：025-52124476

地址：南京市江宁开发区胜利路12号

邮编：211100