

数字式称重传感器的智能化功能 演变与发展综述

——当前衡器行业中数字传感器热点话题综述之一

上海大和衡器有限公司 陈日兴

【概要】 本文就当前衡器行业中普遍关心的数字式称重传感器的热点话题，提出了“智能化”功能的概念、要求、演变过程和最新的发展趋势。

【关键词】 称重传感器 数字化 数字式 智能化

Evolvement of the intelligentized functions in digital load cells Chen Rixing Shanghai Yamato Scale Co., LTD

Abstract: Based on the hot topic of digital load cells recently in weighing industry , the writer brings forward the concept, requirement and evolvement of the intelligentized functions in digital load cells.

Key words: load cell, numeric convert, digital, intelligentize

概述

近几年我国衡器行业的数字式称重传感器的应用发展较快，一些独具远见的外资企业与国内企业制造商均把目光瞄向了这一极具生命力的产品上来。不少企业把称重系统中，原本放在称重仪表内的放大与 A/D 电路，前置于称重传感器罩壳内或接线盒内就称其为智能化数字式称重传感器。其实，笔者认为充其量只能称为前置转换式的称重传感器，当然也可以称为“数字化称重传感器”。在本文的论述中，称其为初始阶段的“数字化称重传感器”，但是决不能称其为“数字式智能化称重传感器”。关于数字式称重传感器的特点描述，以及“数字化”与“数字式”的区别，已有论述（见参考文献[1]、[2]），本文不再累述。本文仅想对数字式智能化称重传感器功能演变过程，从初始阶段的数字化前置转换、到第二阶段的智能化补偿与校正、到第三阶段的称重系统的智能化应用的演变，进行了较为详尽的论述。

一、初始阶段的数字化称重传感器

由于传统的模拟式称重传感器的电阻应变转换原理决定了其固有的输出模拟信号小、传输距离短、抗干扰能力差、安装调试不方便等缺点。因此，早在二十世纪八十年代就引起了人们对模拟式称重传感器缺点的重视，在不改变电阻应变式称重传感器称重机理的基础上，使上述缺点变为优点。为此国外一些称重传感器制造商推出了第一代“数字化称重传感器”（见参考文献[1]），即把原本放在称重仪表内的放大与 A/D 电路，置于称重传感器罩壳内或附近的接线盒内。其基本配置为：

模拟式传感器 + 数字变送（放大与 A/D 电路）= 初始阶段的数字化传感器。

上述传感器由于输出的是数字信号，因此克服了模拟式称重传感器的信号小、传输距离短、抗干扰能力差等缺点。但是其各项传感器的性能指标，都是以本身的制造、补偿、调整工艺所决定。也就是说，如果传感器本身的制造、补偿、调整工艺不过关，要靠数字变送来提高或补偿整个传感器的力学与温度指标（注意不是数字变送电路本身的温度指标）是不可能的。目前国内众多的外资企业制造商与国内企业制造商，主推的产品都属于此类型。此类传感器没有突破原功能。当然，要做到第一代“数字化称重传感器”也不容易。因为，首先要保证，所设计和选用的数字变送电路及器件不能降低整个传感器的力学与温度指标，也就是说必须使数字变送电路本身的温漂和时漂不影响传感器本身的制造、补偿、调整工艺所决定的力学与温度指标。另外，一些制造商在局部的功能上有所提高。但总体上还是属于第一代“数字化称重传感器”。此类传感器比较有代表性的还可以分成以下三种形式：

第一种以国内制造商早期产品为代表的称之为第一代初级“数字化称重传感器”。仅仅把原本放在称重仪表内的放大与 A/D 电路，置于称重传感器罩壳内或附近的接线盒内。完全没有突破原有的传感器的力学与温度指标。此类传感器的数字变送电路一般分辨率可做到 60000 内码，采样速率可做到 50 次/秒，温度漂移可做到 $200 \times 10^{-6}/10^{\circ}\text{C}$ ，而时漂指标一般不确定。

第二种以德国 HBM 公司 C16i 数字传感器为代表的可称之为第一代高级“数字化称重传感器”。此类传感器与第一种传感器的最大区别是改善了传感器的局部功能，数字变送电路的分辨率可做到 100 万内码，采样速率可做到 100 次/秒，温度漂移可做到 $100 \times 10^{-6}/10^{\circ}\text{C}$ 。据说时间漂移也可做到 $100 \times 10^{-6}/\text{年}$ 。但是最大的缺点是不能改变传感器本身传统的制造、补偿、调整工艺所决定的力学与温度指标，仅增加了线性补偿功能。也就是说如果传感器本身的力学与温度指标不好，同样不能提高传感器综合性能指标。

第三种是分离型模块化数字传感器，以美国 SENSORTRONICS 公司为代表，于九二年推出，用以取代早期推出的第一代初级整体型数字传感器。模块化数字传感器是将原先在传感器内部的 A/D 转换电路移至接线盒内，通常将具有 A/D 转换模块的接线盒称为数字接线盒，再将数字接线盒输出的数字信号传递给显示控制器。（见参考文献[2]）

总之，本阶段的数字化称重传感器主要特点是不改变传感器本身传统的制造、补偿、调整工艺，仅将原先在称重仪表内的 A/D 转换电路移至传感器内或接线盒内，实现称重数字信号的传送。

二、第二阶段数字式智能化称重传感器

随着计算机软件技术的发展，人们设想传感器本身的缺陷是否可以通过软件技术来解决呢？也就是说由计算机软件来完成传感器的诸如零点补偿、温度补偿、线性补偿、滞后补偿、蠕变与恢复补偿等几乎全部的补偿工艺。这样可以使得传感器本身的制作工艺变得极其简单，一来不需要把大量的精力花在精细的制作工艺上，二来可以大大提高传感器弹性体与贴片的合格率。当然，由于要完成上述的各种软件补偿，需要建立各种数学模型，需要庞大的数据库来支撑。没有大量的试验数据是不可能完成。其基本配置为：

模拟式传感器 + 数字变送（放大与 A/D 电路）+ 传感器软件智能化补偿 = 第二阶段数字式智能化传感器。

该类传感器的数字变送部分包括放大、滤波、A/D 转换器、微处理器、温度传感器，通过数字补偿电路和数字补偿工艺，可进行线性、滞后、蠕变等补偿；内装温度传感器，通过补偿软件可进行实时温度补偿；地址可调，便于应用与互换；远程诊断与校正。

此类传感器较为典型的代表就是美国 TOLEDO 公司的数字传感器技术。其核心是传感器软件智能化补偿技术。这种传感器据说采用了模糊数学、人工智能等方面的理论，用合理数据处理方法实现传感器误差的数字补偿，避免了传统称重传感器中繁琐且的模拟补偿方法。此类传感器已具备了数字补偿智能化技术的基本要求。

一种采用神经网络自学习功能，解决了因环境温度的变化对传感器桥臂之间的特性差异所造成的测量误差影响。具体做法为：将电桥的两个输出电压信号作为标定数据，采用神经网络数据融合对标定数据进行处理，从而既提高了电桥测量的环境温度适应范围，也提高了其静态特性（详见参考文献[3]）。

目前国内称重传感器非线性主要依靠弹性体本身制造、补偿、调整工艺来解决。而一种利用 BP 软件算法具有的非线性映射能力对传感器标定数据进行输入-输出特性的反非线性逼近，将其作为智能传感器系统的非线性校正软件，使传感器在该软件的支持下提高测量精度。用传感器实验数据通过训练的网络，据介绍此方法可提高测量相对误差（详见参考文献[5]）。

一种智能传感器数据预处理方法，应用于传感器的非线性校正温度补偿、数字滤波和标度变换，可实现工业现场传感器测试数据的前端检测与处理，从而提高了自动化检测作业系统中传感器的非线性质量（详见参考文献[7]）。

从上述的数字式智能化传感器的各种实例可以看出，总体上这一阶段的数字式智能化传感器主要体现在传感器本身的智能化补偿与校正上。

三、第三阶段数字智能化称重传感器

严格意义上讲，数字智能化称重传感器的智能化功能不仅仅反映在传感器本身的智能化补偿与校正上，更重要的是要实现应用的智能化。随着数字称重传感器应用领域的不断扩展，如何把数字传感器的功能、特点发挥得淋漓尽致又提到了议事日程。为此适用于不同领域的真正意义上的“数字智能化称重传感器”应运而生。

什么是“数字智能化称重传感器”，目前世界上比较一致的理论认为：凡具有一种或多种敏感功能，能够完成称重信号检测和处理、逻辑判断、闭环控制、双向通讯、循环自检和自诊断、自动校正和补偿、自动计算等全部或大部分功能的称重传感器叫做“数字智能化称重传感器”。从结构上看，它既可以是整体型集成化结构，也可以是分离型模块化结构。

数字智能化称重传感器其基本配置为：

模拟式传感器 + 数字变送（放大与 A/D 电路）+ 传感器软件补偿 + 智能化自控软件 = 第三阶段数字智能化称重传感器。

最新第三阶段的数字智能化称重传感器已应用于各种智能化闭环控制多用途、智能化多分量测量与高速动态数字信号处理以及网络通讯等场合，其典型产品如下：

1. 智能化闭环控制

智能化闭环控制主要指，可应用于各种智能化闭环、高速高精度动态自补偿称重等应用场合。德国 HBM 公司的 FIT 系列动态高速数字智能化称重传感器，除了用于标准的称重过程外，还提供分选、定量灌装的多用途控制功能。内置信号处理模块使其可用于快速，高精度的称重场合。20-bit 分度，测量速率可以达到 600 次/秒。外部因素会引起振动，FIT 称重传感器有很好的数字滤波器可以消除这些振动引起的重量。内置可编程的滤波器允许客户根据不同的应用改变滤波参数。

2. 智能化多分量控制

智能化多功能是指称重传感器本身除具有检测重量信息的功能外，还能同时检测其它多分量信息。例如：电子吊秤传感器可检测加速度，完成动态加速度自动修正；汽车衡传感器可检测水平方向的侧向载荷，完成侧向力自动修正。

日本大和制衡株式会社最新推出的 TS-MLC 系列智能化数字式汽车衡，在一个秤台上，一次单向称重过程，既可以完成整车称重，又可以同时得到轴组、轴重、轮重等所有的信号，而不需要多个纵向或横向的秤台和多次称重的过程的组合，在称重过程中一旦出现偏载即可报警，称重过程 15 秒即可完成各种参数的打印，可称为目前世界上打印速度最快的智能化数字式汽车衡之一。此产品难点在于，如何在一个秤台上，建立不同车况状态下的数学模型，通过计算软件自动实现多分量控制与自适应修正以及大量信息、状态码输出的快速响应问题。

3. 高速动态信号处理技术

应用于动态智能化称重传感器的高速动态非线性修正，可通过系统的建模与软件控制来实现。一种采用神经网络仿射非线性系统的自适应控制理论，神经网络的权值由 Lyapunov 稳定性理论导出，并且在线调整。考虑到网络逼近误差和外部干扰的存在，利用滑动模态对参数和扰动不敏感的特点，可实现动态系统的非线性校正（详见参考文献[4]）。

工业过程控制系统中，数字技术向智能化、开放性、网络化、信息化发展。利用目前工业过程控制系统中最为热点的现场总线控制系统 FCS（Fieldbus Control System）中工业控制软件的数据处理方法，首先对系统中的传感器进行结构与数据处理特性分析，提出了 FCS 的数据处理方法，据

介绍对处理平稳传感器数据和非平稳传感器数据都具有适应性（详见参考文献[6]）。

车辆动态称重技术目前已成为我国衡器行业关键技术和发展方向。各类智能化电阻应变弯板式、振弦式、电容式、石英晶体数字式传感器，特别是光纤传感技术已开始应用于车辆动态称重检测系统。一种基于高速数字信号处理 DSP（Digital Signal Processing）技术的分布式光纤微弯压力传感器应运而生（详见参考文献[8]）。具有数据信号处理前沿技术的 DSP 是一种快速强大的微处理器，独特之处在于它能即时处理数据，正是这项即时能力使得 DSP 最适合高速快响应的应用场合。光纤传感技术从光波导的角度分析了光纤中传输时光纤中衰减和距离的关系。采用 DSP 技术分析了被处理信号的特性，采用取样积分器 BOXCAR 处理方法，提高了处理前后信噪比。根据最新报道，一种基于马赫-曾德尔（Mach-Zehnder）干涉仪的频率输出型光纤动态称重传感器，与前面所提到的各种传感器组成的动态称重系统相比，该系统具有测量精度高、抗干扰能力强、响应速度快、便于组网等优点（详见参考文献[9]）。

4. 网络化通讯技术的应用

网络化通讯技术是数字智能化称重传感器中智能化功能扩展的又一个领地。由于数字式称重传感器的不断发展，即将掀起称重技术的一场新的革命，其深度和广度将超过历史上任何一次。工业过程控制系统中，基于现场总线的 FCS 是全分散、全数字化、全开放和可互操作取代现场一对一的 4~20mA 模拟信号线，采用双绞线、光缆或无线电方式传输数字信号，减少大量导线，提高了可靠性和抗干扰能力。计算机通讯技术应用于传感器称重数据与各类控制信息的双向通讯、多机多单元通讯、联网通讯、工业现场总线、无线通讯包括远程 SCADA 技术、M2M 技术（机器与机器无线通讯技术）、无线数据采集乃至无线网络管理系统，使得数字式称重传感器智能化功能又迈出了更新的一步。

四、结尾

从上述文章中对数字式智能化称重传感器功能演变过程，从初始阶段的数字化转换、到第二阶段的传感器本身的智能化补偿、到第三阶段的传感器扩展称重系统的应用，特别是“智能化”功能演变的论述中，可以看出数字式智能化称重传感器的功能，除了数字化或数字式的传感器性能的补偿与数字量的长距离传送功能外，更不能忽视的是扩展其应用于各种智能化闭环控制多用途、智能化多分量测量与高速动态数字信号处理乃至网络化通讯等场合。总之，数字式智能化称重传感器已从传统传感器的单一功能、单一检测向多功能和多变量检测，由开环数据传送向主动闭环控制和信息处理，由孤立一次仪表向系统化、集成化、网络化方向发展。笔者认为，这应是我国数字式称重传感器制造行业目前和今后的发展方向。我相信在不远的将来，我国称重传感器制造行业一定会有更多应用场合的、具有自主知识产权的、真正意义上的智能化数字式称重传感器如雨后春笋般地涌现，从而开创称重技术的新纪元，这也是本文所期待的。

参考文献

- (1) 刘九卿,《数字式智能称重传感器的发展与应用》(J)《衡器》2004年第5期: P8。
- (2) 周祖濂,《数字称重系统——称重技术新概念》(J)《衡器》2005年第5期: P9。
- (3) 贾要勤,常炳国.《采用神经网络数据融合改善传感器的静态特性》[J].《西安交通大学学报》,1999,(11)。
- (4) 唐英干,《神经网络自适应控制理论及其应用》(D)北京 燕山大学,2002: P1
- (5) 李力,田爱玲,高虹亮.《BP 算法应用于智能传感器的数据处理》[J].《三峡大学学报(自然科学版)》,2002,(4)。
- (6) 邝小磊,《FCS 中的智能传感器的数据处理方法》(J) .《传感器技术》,2002,(6)。
- (7) 杨晓婕,周云利,成明胜.《智能传感器数据预处理方法的研究》(J) .《测控技术》,2005,(3)。
- (8) 陈龙昌,《基于 DSP 的光纤微弯压力传感器的研究与实现》(D) .大连海事大学,2004: P1。
- (9) 吴奇峰,《基于光纤传感的车辆动态称重检测系统的研制》(D) .大连海事大学,2006: P1。

通讯地址: 上海市浦东新区庆达路 368 号

邮 编: 201201

电 话: 021-58973030

E-mail: crx8030@sina.com