

应变式称重传感器技术攻关方向与内容

中国运载火箭技术研究院第七〇二研究所 刘九卿

【摘要】 本文分析了我国应变式称重传感器总体技术与工艺水平、企业发展现状，以及近几届中国国际衡器展览会上应变式称重传感器部分展品，得出产品数量增加很多，品种结构增加很少；低水平重复产品多，高水平创新产品少；外观质量提高尚可，内在质量差别很大；稳定性问题较多，可靠性增长为零（有些产品甚至为负增长）。在一定程度上制约了现代电子称重技术和电子衡器产品的发展。在对比国际应变式称重传感器发展潮流和战略前沿技术的基础上，提出我国应变式称重传感器技术攻关方向为：提高总体技术与工艺水平；稳定性与可靠性水平；较大批量生产能力。技术攻关内容是：共性关键技术研究；产品标准化、系列化与工程化研究；新产品、自主知识产权产品开发。

【关键词】 称重传感器；技术攻关；工程化；稳定性；可靠性

一、概述

在一个电子称重系统中，首先要检测到重量信息，才能去进行自动控制，因此应变式称重传感器（以下简称为称重传感器）是电子称重系统中的核心部件，其品种、数量、质量和技术水平直接决定了电子称重系统的质量和可靠性。如果称重传感器获得的重量信息不确切，那么要显示此信息并对其进行处理就十分困难，甚至没有意义。在现代电子称重技术领域，重量信息处理能力有余，重量信息获取能力不足，即称重传感器技术相对落后，特别是动态称重信息的检测和动态电子衡器用称重传感器至今尚无突破性进展，目前在用称重传感器的稳定性和可靠性也急待进一步提高。业内人士认为“做好了称重传感器就等于做好了电子衡器”。但是这种认识却被近些年来国内电子衡器市场，愈演愈烈的“价格竞争”战略扭曲了。近入 21 世纪以来，称重传感器生产企业迅速增加，产量大幅度上升，而质量却是良莠不齐，鱼龙混杂。有的企业为了多销产品，就打价格牌，谁的价格低，谁就是大赢家。为了降低价格抢占市场，竟不顾国家标准和产品质量法，用低档原材料、元器件生产出成品，以次充优，长期稳定性和工作可靠性根本得不到保证；有的企业生产条件虽好，但为了拚成本，不按定型鉴定时样机制造工艺流程生产，改材料、换元件、减工序，只求勉强合格或人为“合格”。价格竞争的恶果突出的表现在称重传感器产品质量国家监督抽查中，合格率多次不过 50%，其中绝大多数是温度性能不合格。我国称重传感器的总体质量水平，其实质反映的是总体技术、工艺和管理水平，与处于国际市场引导地位企业同类产品的差距有增无减，已经影响到电子衡器产品的质量和称重传感器生产企业自身的发展。

分析我国称重传感器总体技术与工艺水平、企业发展现状，以及近几届中国国际衡器展览会上称重传感器部分展品，不难得出产品数量增加很多，品种结构增加很少；低水平重复产品多，高水平创新产品少；外观质量提高尚可，内在质量差别很大；稳定性

问题较多，可靠性增长为零（有些产品甚至是负增长）。这也从另一侧面印证了欧洲称重传感器专家的论点“即使通过型式评定，如不精心制造，也不具备充分条件确保为用户提供质量始终如一的产品”，“如果研制生产称重传感器仅仅局限于勉强合格，那么批量生产出一贯符合要求的产品是非常困难的”。^①由于称重传感器的性能和质量主要取决于原材料、元器件的质量，工艺装备和工艺技术水平，领导和员工的质量意识。要改变现状，提高我国称重传感器总体技术与工艺水平，确立合理的价格体系，必须在认识上确立称重传感器是技术密集型和技巧密集型高技术产品的理念，它属于半永久性器件，密封良好的称重传感器至少可以稳定的工作 10 年以上；在技术上掌握称重传感器的性能和质量随结构、材料、工艺、检定等因素而变化的规律；在管理上明确称重传感器是一项系统工程的概念，把技术与管理结合起来，形成新的制造系统。为此就要确立近期的称重传感器技术攻关方向与技术攻关内容，这对称重传感器行业发展和尽快赶上国际称重传感器技术与工艺水平至关重要。

二、我国称重传感器技术攻关方向

国际电子衡器市场称重传感器的竞争主要是制造技术、制造工艺的竞争，应用高新技术研发新产品和自主知识产权产品的竞争，最终体现在称重传感器准确度、稳定性和可靠性的竞争。处于国际市场引导地位企业的共同追求是：称重传感器弹性元件的材质更精良；元器件的环境应力筛选更严格；支持工艺、基础工艺、核心工艺、特殊工艺的运用和集成更科学合理；电路补偿与调整装备和补偿工艺更完善；高准确度称重传感器的应用更广泛，以增强企业的核心竞争力。

我国称重传感器行业中相当一部分企业缺乏上述追求，与工业发达国家存在较大差距，归纳起来主要是：

- (1) 称重传感器的结构类型偏少，品种规格不全，特种用途产品奇缺；
- (2) 准确度等级相对较低，C3 级成功率不高，4000d~6000d 的高端产品几乎是空白；
- (3) 数字化称重传感器及数字接线盒已有应用，数字式称重传感器尚未开发；
- (4) 稳定性和可靠性较差，返修率高，工作寿命低；
- (5) 产品标准化、工程化水平和企业产业化程度较低，产品技术指标的均一性差；
- (6) 外观质量虽有提高，但仍有差距；
- (7) 总体上工艺装备、检测手段比较落后且不配套，生产工艺中手工操作、人为控制成份大，“作坊手艺”痕迹较深，人为因素对产品质量影响较大；
- (8) 创新产品和自主知识产权产品少，低水平重复产品多；贴牌产品出口较多，品牌产品出口很少。

产生上述差距的主要原因是设计与制造技术相对落后，其中基础工艺和特殊工艺差距最大。借鉴国际称重传感器研究制造企业发展经验，我国称重传感器研究制造企业缩小上述差距，增强核心竞争力应做到：

- (1) 具有比较长期的战略眼光，瞄准国际称重传感器发展潮流和战略前沿技术，

制订规划，确立新产品开发项目，确保产品技术的先导性和工艺的先进性。为此，必须加强设计技术基础、工艺技术基础和共性关键技术研究。

(2) 加强基础设施建设，配置优良的工艺装备、检测仪器，特别是灵敏度温度补偿和稳定性处理装备，努力作到生产工艺装备和制造工艺流程最先进。

(3) 对新技术、新工艺、新产品的研究与开发有一定的资金投入，处理好超前研究、新产品开发与批量生产的结合问题，确保每年都有新产品、自主知识产权产品投放市场。

(4) 在科学管理基础上实行以人为本的管理。当今企业的竞争主要是技术竞争，技术是人掌握的说到底人才的竞争。人是生产力的重要因素，是企业财富的创造者，因此必须重视人才培养，特别是生产第一线人才的培养。

分析我国称重传感器技术与工艺发展现状，对比国际称重传感器发展潮流和战略前沿技术，我国应变式称重传感器技术攻关方向是：提高称重传感器总体技术与工艺水平；稳定性与可靠性水平；新产品开发能力和企业的产业化程度。努力作到共性关键技术研究与应用技术研究相结合；典型产品、新产品开发与产品标准化、系列化、工程化相结合。

三、我国称重传感器技术攻关内容

称重传感器的总特性一般可理解为：与称重系统的匹配性，即指和后接仪器（或计算机）组成的称重系统的输入、输出的匹配，例如数字称重系统的通信接口等；机械特性，其目的是便于运输和安装，防止震动、冲击影响称重传感器的结构和性能；工作特性，可分为静态特性、动态特性、环境特性；可靠性，是指称重传感器的无故障工作时间，即可靠寿命^②。保证上述特性，对称重传感器的设计技术、工艺技术、检测技术和原材料、元器件等都提出较高的要求。根据上述要求结合我国称重传感器技术发展现状，目前称重传感器技术攻关内容为：

1、称重传感器共性关键技术与工艺研究

共性关键技术与工艺是称重传感器技术的重要组成部分，是称重传感器设计成果工程化和新产品、自主知识产权产品开发的基础，是企业强化竞争能力，提高经济效益的重要手段。共性关键技术与工艺研究应适合称重传感器行业需要和技术发展趋势，对影响称重传感器发展的设计技术、制造（冷、热加工）技术、关键工艺和可靠性技术进行研究，提高称重传感器的总体质量水平。共性关键技术与工艺研究的课题主要是：

(1) 结构设计与计算

开展多种称重传感器的参数优化设计，较高精度的非线性应力状态分析，弹性元件的建模和动态仿真技术，并进行主要制造工艺的计算机模拟，确保工艺设计的科学性、合理性。采用有限元现代应力分析手段和建立数学模型的方法推算和定量分析称重传感器的误差^③。

(2) 机械加工与热处理

首先是确保弹性元件所用的金属材料具有优良综合性能的研究，使制造弹性元件的

结构材料具备功能材料的某些特点。其次是在冷热加工过程中尽量少产生残余应力的研究，以提高称重传感器的固有稳定性。

（3）改善称重传感器性能

仔细研究称重传感器的零点温度漂移、灵敏度温度影响、蠕变等性能如何受外界多种环境条件作用，以及通过壳体、防护与密封涂层、自然温度梯度、电阻应变计类型所造成的影响。在测试与应用中，开展力标准机、称重传感器及有关压头、压垫间至今尚不完全清楚其机理的“寄生效应”研究。在内在机理上发现较苛刻的指标是与工业发达国家同类产品差距最大的稳定性和可靠性，因此必须重视称重传感器的可靠性设计、控制和管理，加强对原材料、元器件的环境应力筛选和稳定性处理工艺的研究与应用。

（4）屏蔽、隔离与干扰抑制技术研究，从弹性元件的结构和电桥电路上保证称重传感器的性能波动最小，从而提高称重传感器的固有稳定性和可靠性。

（5）改进生产工艺

在生产工艺流程中，增加以计算机为核心的自动控制工序，并在网络软件管理下形成生产流程网络化。

（6）采用溅射型电阻应变计新工艺研究⁽⁴⁾（属于超前研究）。近年来随着薄膜工艺水平的提高，促进了溅射型电阻应变计的迅速发展，即采用溅射技术直接在弹性元件表面形成电阻应变计，其厚度仅为箔式电阻应变计的 1/10，故又称薄膜电阻应变计。其特点是精度高，可靠性好，无滞后和蠕变现象，具有良好的耐热性和耐冲击性能，容易制成高阻值的小型电阻应变计。可在高温和特殊用途称重传感器上进行溅射型电阻应变计新工艺研究。

2、称重传感器产品工程化研究

产品工程化研究，主要是解决工程化产品的全型设计、生产工艺、质量保证、稳定性与可靠性考核等规模生产中的关键技术与工艺，形成完整的设计、制造和质量保证体系。作到称重传感器结构设计、工艺设计与产品工程化研究相结合，达到优选结构、稳定工艺、保证质量、降低成本、提高 C3 级成品率等目的。建成适度规模的生产线，使批量生产的称重传感器符合《称重传感器》国家标准要求。

3、批量生产的统计制程管理研究与应用

早在 1988 年 6 月美国 TOLEDO 公司称重传感器工程部经理 Stephen Patoray（斯蒂芬 帕托），在美国波特兰纪念电阻应变计 50 周年大会上的发言，就讲到了称重传感器大批量生产的管理问题。他在发言中介绍了 TOLEDO 公司把数理统计方法应用于生产各方面，包括统计过程控制，全面预防、及时调整，保证制程稳定，使所有产品都符合要求。并提出两个基本概念，其一是不做任何对最终产品不增加价值的事，其二是在生产过程中尽可能早的找出潜在的问题，并使其只对极少数产品产生影响。这就是应用统计学原理对大批量生产的称重传感器，进行统计过程控制的最初模式。

20 世纪 90 年代统计制程管理（Statistical Process Control）简称 SPC，在国际上处于称重传感器市场引导地位的企业已得到普遍应用。SPC 理论就是利用统计学原理对大

批量生产的称重传感器，在生产工艺的全过程中的质量进行控制和管理，以达到尽可能第一次就符合国家标准的要求。具体的说就是在生产工艺流程的全过程或生产工艺流程网络化管理中，利用统计学原理对产品进行科学、合理的抽样试验与测试，把生产工艺流程、产品质量控制、工艺装备利用联系在一起，提高生产过程控制能力，快速分析制程出现问题的能力和迅速采取措施的能力，保证制程稳定，最大限度的减小产品的不合格率。

称重传感器统计制程管理研究与应用的重点是从企业的生产工艺装备、检验测试手段、产品的准确度等实际情况出发，利用统计学原理对批量生产过程中产品的质量进行控制，确保在生产线末端抽样检测时，每一个产品都符合 JJG669—2003《称重传感器》国家计量检定规程的要求。为此就要创造一套科学有效的抽样检验方法，掌握生产状况和管理、稳定生产工艺流程的手段。

称重传感器批量生产的统计制程管理特点是：

(1) 经济性：采用抽样检验法，称重传感器参与检测、试验的项目和次数科学合理，使生产工艺流程稳定，最大限度的减少产品的不合格率；

(2) 预警性：一旦称重传感器生产工艺流程出现异常趋势，可立即采取对策，预防批量不合格。一般都是根据工艺理论和实践经验提供控制资料。

(3) 科学性：把称重传感器工艺过程、质量控制、装备利用联系在一起，提高生产过程控制能力和快速分辨共同和特殊原因的评估能力；

(4) 高效性：统计制程控制，解决了长期困扰的称重传感器大批量生产的质量检验问题，改善了评估方法，减少了报表和数据分析，保证了成本、质量和交货期。

4、稳定性与可靠性技术研究

(1) 称重传感器的稳定性

准确度、稳定性和可靠性是称重传感器的重要质量指标，其中稳定性是基础，没有稳定性谈何称量准确度和工作可靠性。称重传感器的稳定性分为三个时期，即初始不稳定期、稳定期和疲劳不稳定期。它遵循浴盆曲线，即初始不稳定期是递减的，不稳定因素较多；稳定期是水平的接近一个常数，稳定性好；疲劳不稳定期是递增的，不稳定因素开始增多。各时期的特点是：

1) 初始不稳定期：弹性元件经过毛坯锻造、机械加工、热处理、表面处理、表面打磨、电阻应变计粘贴和加压固化等工艺过程，在其内部和胶层之中产生残余应力，随着时间的增加残余应力逐渐释放，造成称重传感器性能波动较大，主要表现为零点和灵敏度不稳定，应尽量在生产过程中渡过初始不稳定期。

2) 稳定期：当称重传感器经过各种稳定性处理后，不稳定因素很少，往往是一些随机的原因，即进入了稳定期，对应于这个时期的使用时间称为使用寿命。

3) 疲劳不稳定期：在经历了一个比较稳定的工作时期后，由于防护与密封性能下降，电阻应变计老化，补偿元器件变化等原因，不稳定因素开始增加，即进入了疲劳不稳定期。

(2) 称重传感器稳定性处理工艺研究与应用

为使称重传感器在生产过程中渡过初始不稳定期,采用工艺手段模拟各种使用条件进行试验,使其尽快稳定的工艺称为稳定性处理,也称人工老练试验。称重传感器稳定性研究的重点是采用何种稳定性处理工艺,使其在生产过程中尽快渡过初始不稳定期,供给用户组装电子秤后即进入稳定期。根据国内外称重传感器制造企业进行稳定性处理的经验,主要是对冷热加工后的弹性元件和形成产品的称重传感器,进行释放各种残余应力的稳定性处理。其方法有热处理法和机械法。热处理法稳定处理多在毛坯加工成弹性元件后进行,主要有反淬火法、冷热循环法和恒温时效法。机械法稳定性处理多在称重传感器电路补偿与调整和防护密封后,基本形成产品时进行,主要有脉动疲劳法、超载静压法和振动时效法。根据称重传感器的结构、材料、量程、用途不同,进行试验研究确定应用何种稳定处理方法消除残余应力效率高,称重传感器稳定性好。

(3) 称重传感器的可靠性及试验方法

1) 称重传感器的可靠性

在规定的使用条件下和一定时间内,保持各项技术性能并稳定工作的能力,称为称重传感器的可靠性,多以无故障工作时间或可靠寿命来度量。根据上述定义,把不能完成规定功能的状态称为故障或失效。可靠性的核心是故障,即可靠性是由称重传感器的故障引发出来的。称重传感器从开始使用到失效前的时间是不确定的,可靠性就是研究在规定的条件和时间内,称重传感器的平均无故障工作时间或可靠寿命。各国专家一致认为称重传感器属于半永久性器件,其无故障工作时间或可靠寿命,对于 IP67、IP68 防护密封等级的称重传感器应能稳定的工作 10 年以上。可靠性理论就是研究分析各种影响称重传感器可靠性的系统性和随机性因素,科学合理的提出可靠性的定性和定量要求,例如故障模式及影响分析,无故障工作时间等。

可靠性分析贯穿于称重传感器设计、制造、使用的全过程,它是可靠性研究的重要环节。主要是故障、失效机理分析,查找故障原因,摸清故障的内在规律,从而采取相应对策,提高可靠性。

2) 称重传感器可靠性的试验方法

跟踪测试是经济适用的研究称重传感器可靠性的简易方法,主要是在试验室跟踪测试贮存寿命;在使用环境跟踪测试无故障工作时间,即使用寿命。寿命试验是可靠性试验中的重要内容,除贮存寿命试验外还有损耗寿命试验,加速寿命试验等。

5、开发新产品和自主知识产权产品

开发新产品和自主知识产权产品是企业竞争的核心。其竞争的基础是制造技术、制造工艺;竞争的焦点是切合实际的市场开拓方式,国内、外市场的响应速度;创新的要求是适度跟踪世界称重传感器技术发展趋势,结合国情开发着力于电子衡器市场急需的产品;创新的标准是技术先导性、工艺先进性、产品适用性、市场扩散性;创新的形式是除原创型设计外,移植型设计、嫁接型设计、集成型设计也是创新。

6、应用技术研究

称重传感器是高渗透性产品，功能多样，性能极好，产品系列、种类繁多，向其它领域渗透能力极强。各国称重传感器制造企业都遵循“加强基础，扩大应用”的原则开发新产品和自主知识产权产品，将其渗透到各个行业。称重传感器作为电子衡器的基础部件进入工业、商业、家用领域十分广泛。称重传感器技术与电子称重技术渗透到新的学科领域和技术门类，逐年增加。例如生物力学、能源、环保、交通运输、公共安全等领域，大流量计量、质量法计数点钞等新技术项目。

四、结语

称重传感器是技术密集型和技巧密集型的高技术产品，其技术密集主要表现在所用技术门类多、知识离散性比较大；所涉及学科边缘性色彩浓。技巧密集突出体现在手工操作多，制造工艺流程是支持工艺、基础工艺、核心工艺和特殊工艺的科学运用和合理集成。因此，称重传感器不是一般的工业计量产品，而是一种需要“精雕细刻”的工艺品。这就是称重传感器技术攻关以共性关键技术和工艺研究；产品的标准化、系列化与工程化研究；新产品、自主知识产权产品开发为内容的重要原因。

参考文献

1. ROYAUME.UNI 制造的称重传感器一贯的符合 OIML R60 国际建议的要求 [R]. 《Bulletin OIML》NO 119. 1990 年，34 页。
2. 陈裕泉 [美]、葛文勋. 现代传感器原理及应用 [M]. 科学出版社，2007 年，10~11 页。
3. Richard Frankln, Design calculations For strainage Load Cells, Measurements and Control, October, 1996 年.
4. 周旭. 现代传感器技术 [M]. 国防工业出版社，2007 年. 第 8 页。

作者简介

刘九卿（1937— ），男，汉族，辽宁省海城县，研究员、享受国家特殊津贴专家。
通讯地址：北京市丰台区桃源里小区 11 号楼 2 单元 6 号
邮政编码：100076
电话：68384219