

称重传感器设计制造模式的发展与创新

中国运载火箭技术研究院第 702 研究所 刘九卿

【摘要】“工业 4.0”的核心是制造业数字化、智能化；《中国制造 2025》的精髓是工业化与信息化深度融合，以“创新驱动、结构优化、质量为先、绿色发展”作为制造业发展的指导方针。本文就称重传感器企业如何将信息技术与制造技术融合，实现数字化、网络化、智能化的设计与制造，探讨了称重传感器结构设计模式创新；制造工艺模式创新；关键制造工序推进自动化、智能化改造；建立数字化称重传感器技术体系和基础工艺支撑体系等问题，介绍了三维数字化设计制造的基本途径，供称重传感器企业推进数字化、智能化制造参考。

【关键词】称重传感器；设计制造模式；数字化；网络化；智能化；三维数字化设计制造

一、概述

在“工业 4.0”新一轮工业革命来临之时，我国不失时机的提出了“中国制造 2025”战略，将给我国制造业注入强大的发展动力，也给传感器行业带来无限发展商机。“中国制造 2025”的核心驱动力是抓智能制造，它是解决中国制造业由大国变强国的根本路径。“中国制造 2025”是升级版的中国制造，体现：四大转变、一条主线和八大对策。

四大转变：由要素驱动向创新驱动转变；由低成本竞争优势向质量效益竞争优势转变；由资源消耗大、污染物排放多的粗放制造向绿色制造转变；由生产型制造向服务型制造转变。

一条主线：以体现信息技术与制造技术深度融合的数字化、网络化、智能化制造为主线。

八大对策：推行数字化、网络化、智能化制造；提升产品设计能力；完善制造业技术创新体系；强化制造基础；提升产品质量；推行绿色制造；培养具有全球竞争力的企业群体和优势产业；发展现代制造服务业。

称重传感器行业如何落实“中国制造 2025”发展战略，如何将信息技术与制造技术深度融合实现数字化、网络化、智能化设计与制造，是行业内较大型企业必须面对的课题。近年来，三维数字化设计制造能力已经成为国内外企业竞争的核心，是实现企业研制能力变革的支点和突破口，这一具有风向标性质的变化应引起称重传感器企业高度重视。尽管应变式称重传感器的原理和制造工艺决定了它不能象机器零部件那样自动化、智能化无缝连接生产线大批量生产，但也应该用互联网思维升级称重传感器的结构与制造工艺，使其尽量接近数字化、智能化或部分数字化、智能化生产。互联网是共性和基础，称重传感器企业管理层必须用信息化的手段和互联网思维审视企业、再造企业。剖析企业的主要元素，一个是人，一个是事，企业的转型无外乎就是人的转型和事的转型。称重传感器结构与制造工艺的数字化、智能化改造，就从人和事开始，即从人的设计理念和制造工艺流程开始，实现结构与制造工艺模式创新。

二、称重传感器结构设计模式创新

我国应变式称重传感器企业目前多采用两种设计方法，其一是传统设计法，就是古典计算方法+经验，为半理论、半经验设计，不能实现最佳设计，对弹性元件的边界影响、支承刚度和应力集中等很难作出分析，为一些中、小型企业所采用。其二是现代设计法，它是传统设计理论的延伸，多种设计技术、理论与方法的综合，即建立数学模型，利用有限元法进行计算与分析。其特点是：设计手段精确化、计算机化，但仍需要实物模装、实物试验与测试，为大型企业普遍采用。

长期以来，国内外称重传感器企业都在探索一种科学合理、经济高效的产品设计与制造方法，以支持产品设计、制造、检测、应用等全生命周期各个阶段的数据定义和传递。基于模型定义（MBD, Model Based Definition）技术的出现为解决这一难题提供了一种有效的途径。模型定义技术是将产品的所有相关设计定义、工艺描述、属性和管理等信息都附着在产品三维模型的数字化定义方法之中，为三维数字化设计制造提供了理论基础。

处于国际市场引导者地位的称重传感器制造企业，早在几年前就开始了结构设计模式创新，基于模型定义技术实现了三维数字化设计制造。其特点是：改变原有的称重传感器设计方式，从设计工具改造入手，建立具有自主知识产权的三维数字样件快速设计平台。包括：弹性元件总体结构快速设计与计算；引入载荷和承受载荷的边界条件影响分析；引入载荷的压头、承受载荷的底垫和安装平台组合分析与设计子系统。建立称重传感器总体结构的三维数字样件，以数字模装替代实物模装，实现总体结构与附件的“提前见面”，发现和解决不协调问题。从理论分析与计算、总体结构与附件设计上，保证称重传感器性能波动最小。

三、称重传感器制造工艺模式创新

1. 生产模式创新

打破传统的称重传感器制造方式，实施制造工艺与弹性元件及其附件批量生产线创新。改变原有图纸分发模式，基于电子分发流程，实现从设计到制造三维模型直接到生产线。与传统二维图纸分发相比，即提高了工作效率，又缩短了工艺准备周期。由于全面采用了结构化、三维可视化手段，有利于实现三维工艺设计与检验，保证了弹性元件具有较高的尺寸、形位精度和产品的均一性。

2. 关键制造工序推进自动化、智能化改造

应变式称重传感器的生产过程是支持工艺、基础工艺、核心工艺和特殊工艺的科学运用和集成。其中核心制造工艺在称重传感器整个生产过程中起关键作用，突出的表现在电阻应变计粘贴、固化与后固化；零点温度与灵敏度温度补偿；性能测试与检定工序。尽管应变式称重传感器的原理和制造工艺决定了其生产线的工序之间很难无缝连接，但在互联网思维逐步渗透到各个企业的今天，称重传感器的制造工艺也要革命性的创新，否则就有被淘汰出局的风险。处于国际市场引导者地位的称重传感器制造企业的经验是：对关键制造工序推进自动化、智能化改造，首先将对称重传感器质量影响大的要害制造工序自动化、智能化。

电阻应变计粘贴工序——电阻应变计在弹性元件上的粘贴质量和定位误差，对称重传感

器的准确度和稳定性至关重要，所以此项核心工艺多采用机器人定位、刷胶、粘贴电阻应变计，并配有自动安装加压夹具的辅助系统，保证了电阻应变计在弹性元件应变区的粘贴质量和定位尺寸的均一性。

固化和后固化工序——是在规定温度下、一定时间内应变胶粘剂本身交连，并与弹性元件表面产生附着作用而牢固结合的过程。固化工艺的三要素是固化温度、升温速率、保温时间。粘结强度随固化温度的提高而增大，但要防止固化温度过高或过低，以免出现过固化：使胶层变脆，粘结强度减小，疲劳寿命降低；欠固化：使胶层分子键聚合不牢固，出现蠕滑效应，蠕变大。为此电阻应变计固化和后固化多采用隧道式自动化、智能化加温控温烘道。隧道式加温控温烘道，控温精度高、工作段温度均匀性好，固化、后固化完成后应变胶粘剂物理和机械性能的均一性好，为提高称重传感器的工作可靠性和长期稳定性打下坚实基础。

零点温度与灵敏度温度补偿工序——是保证称重传感器具有优良温度性能指标的关键制造工序，多采用高效智能零点温度和灵敏度温度补偿测试系统。该系统硬件由接口单元、大型高低温试验箱及箱内的接线单元、高稳定度激励电源、数据采集单元、微机系统、打印机构成，并有强大的称重传感器零点和灵敏度温度补偿软件。自动控温的大型高低温箱的控温精确度高，温度均匀性好。如是多种类型称重传感器可以设置不同的系统编号，以便归档和数据查询。

性能测试与检定工序——较大量程称重传感器的性能测试与检定，在无缝连接的自动化、智能化控制的多台叠加式力标准机上进行，自动打印测试数据，自动判别是否合格，并剔除不合格产品。较小量程称重传感器的性能测试与检定在群控静重式力标准机系统进行，一般在生产线上分别设置了 50kg、500kg、2000kg 群控静重式力标准机系统。它由多台静重式力标准机、高低温试验箱和控制系统组成，具有拉伸、压缩双向加载功能。该控制系统按程序对砝码和动横梁通过光电传感器进行位置控制，由 PLC 可编程控制器和计算机通过软件完成整个控制程序，实现对单台静重式力标准机单独控制和多台静重式力标准机同时控制。由于此种群控静重式力标准机具有活动横梁，在将砝码全部挂上后，通过动横梁可进行一次性的快速加载或卸载，满足快速三次预载试验和蠕变试验加载要求，提高了检测效率。

之后，将各个具有独立操作和控制功能的自动化、智能化工序，通过网络和计算机系统相互连接起来，在网络软件管理下，实现信息的收集、存储和处理。通过多媒体视频等多种方式进行工艺信息表达，例如实时显示各工艺流程生产状况、质量状况、制程现状（如电阻应变计固化、后固化控温情况；零点温度、灵敏度温度补偿成功率；性能测试与检定合格率等），以便对产品质量和制程运行进行控制和管理。

四、形成数字化称重传感器技术体系和基础工艺支撑体系

应变式称重传感器设计与制造形成数字化技术体系的标准是：

1.统一的产品研制流程

在应变式称重传感器结构与工艺流程设计中，既要吸收国内外最佳实践流程设计，又必

须具有本公司的特点。

2.统一的标准规范

建立公司称重传感器数字化研制标准规范，覆盖设计、制造、工艺、检测平台建设等方面。

3.统一的基础工艺

称重传感器弹性元件利用的应力不同、结构不同，其基础制造工艺是基本相同的。必须制定共性的、科学合理的、可重复的生产工艺流程。

4.统一的基础数据库

建立电阻应变计库、标准件库、原材料库、元器件库、通用产品库等基础共性数据库，录用实际数据。

5.统一版本的软件工具

三维设计全部采用公司统一的设计工具，以提升设计效率。但需要解决：

- (1) 产品三维标注方法；
- (2) 二维图样信息向三维模型信息转换技术；
- (3) 建立有效地建模及标注方法，使三维数字样件成为产品设计、制造的依据。

五、质量管理模式创新

改变原有称重传感器设计制造的组织模式和质量管理方式，建立符合数字化设计制造的规章制度，以三维数字样件及产品为核心，将设计、工艺、检验融为一体，通过实践尽快形成一系列数字化设计制造模式下的质量管理思路和方法。通过数字化研制大纲，明确称重传感器整体研制要求；通过数字化标准规范体系，明确具体数字化工作要求；通过数字化设计的样件验收条件，将对样件的要求等同为正式产品的要求纳入质量管理体系；通过三维数字化设计与工艺平台和自动化、智能化生产工序的网络化管理，控制批量生产的产品质量。

六、结束语

称重传感器三维数字化设计制造模式的建立过程，是企业领导和技术人员统一思想、转变观念的过程，是变革与创新、打破旧的工作习惯，建立新的工作秩序的过程。对于我国较大型称重传感器企业来讲，这个过程起主导作用的关键因素是领导和技术带头人。这期间必然经历观念的碰撞，习惯的磨合，从不了解到了解，从不认同到认同，从有些生熟到熟练应用。希望我国较大型称重传感器企业，以“能用众力，则无敌于天下；能用众智，则无畏于圣人”的理念，集合团队的智慧和力量将生产线的主要工序由自动化升级为智能化，尽快实现称重传感器的三维数字化设计制造。

参考文献

【1】刘检华. 三维数字化设计制造技术推动产品研制模式重大变革. 2012年 PLM 征文。

【2】范玉青. 基于模型定义技术及其实施. 航空制造技术. 2012.. 6。

作者简介：刘九卿（1937—），男，汉族，辽宁省海城市人。中国运载火箭技术研究院第七〇二研究所研究员，享受国务院政府特殊津贴专家。现为中国衡器协会技术顾问，衡器技术专家委员会顾问，《衡器》杂志编委。编著《电阻应变式称重传感器》、《国家职业资格培训教程—称重传感器装配调试工》，在有关杂志上共发表学术论文 110 多篇。