

浅析应变式称重传感器数字化工厂

中国运载火箭技术研究院第 702 研究所 刘九卿

【摘要】针对应变式称重传感器制造企业“多品种、小批量”的产品特点，以及“产品研制与批量生产并存”的制造模式，本文分析了应变式称重传感器制造企业如何建立工业化与信息化融合的管理体系，应用数字化手段优化工艺设计流程、生产管控流程、质量控制流程和成本管理流程，以支撑企业长远发展和转型升级。通过建立应变式称重传感器三维数字化协同研制体系和适合产品制造模式及流程特点的数字化柔性生产线，实现“刚柔并济”的数字化工厂。

【关键词】“中国制造 2025”；工业化与信息化融合；智能制造；柔性生产线；数字化工厂

一、概述

在“工业 4.0”新工业革命来临之时，我国不失时机的提出了《中国制造 2025》发展战略，给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》发展战略围绕创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本的方针，瞄准新一代信息技术及高端装备，提高制造业创新能力。其精髓是工业化与信息化融合，加快推进我国制造业由大变强，提升我国制造业的国际竞争力。《中国制造 2025》发展战略的核心驱动力是抓智能制造，尽量实现数字化生产线、数字化工厂，它是解决中国制造业由大国变强国的根本途径。

数字化生产线是指以产品、生产操作、制造资源为核心，基于数字化的产品设计数据，增加数字化基础条件，广范应用数字化先进技术，引进数字化装备，实现产品生产过程的数字化管理与控制。应变式称重传感器产品的数字化生产线与传统意义上的流水生产线不同，其实质是各制造单元、制造工序依据产品制造工艺流程形成的逻辑生产线，产品流和信息流通过数字化手段在各制造工序之间畅通流转，实为各重点工序的数字化柔性生产线。

数字化工厂是一种全新的制造模式，是现代工业化与信息化融合的应用体现，也是实现智能化制造的必由之路。数字化工厂借助信息化和数字化技术，通过集成、仿真、分析、控制等手段，为企业生产提供全面管理控制的整体方案。

应变式称重传感器制造企业应先从重点工序数字化柔性生产线建设入手，逐步实现数字化工厂。

针对我国应变式称重传感器制造行业“大、中、小企业并举”，研制生产企业“多品种、小批量”的产品特点，以及“产品研制与批量生产并存”的制造模式，落实“中国制造 2025”发展战略，实现智能制造和建立数字化工厂，必须聚焦制造工艺瓶颈，努力实现设计、制造模式的转型升级。为此，要把产品明确分类、了解特点，掌握结构与制造工艺流程、统筹好资源分配，才能保证生产线建设的科学性和合理性。在这一过程中智能制造、建立数字化生产线是主攻方向。根据应变式称重传感器“结构用途多样、工艺基本相同”的制造工艺流程，探讨重点工序建立数字化柔性化生产线，实现“一千种一件”的具有“多品种、小批量”生产特点的制造模式，是我国应变式称重传感器企业走“刚柔并济”的数字化工厂建设的必由之路，也是落实《中国制造 2025》发展战略的前提条件。

二、聚焦制造工艺瓶颈、实现制造模式转型

为提升我国应变式称重传感器制造能力水平，加速企业转型升级，必须分析产品设计及制造模式特点，聚焦制造工艺瓶颈，形成一个融合国家最新发展战略和指导思想、具有应变式称重传感器企业生产经营特点的实施方案。首先，在应变式称重传感器结构与工艺设计中，建立三维数字化协同研制体系，同步开展结构设计、工艺设计、制造工装设计，将不协调问题通过三维数字化手段发现并解决。其次，探索“一千种一件”的具有应变式称重传感器产品生产特点的新型制造模式和生产线建设途径，以支撑企业长远发展和转型升级。数字化柔性生产线建设是应变式称重传感器制造企业突破制造工艺瓶颈，实现快速反应电子衡器市场和提升自身制造能力的必然选择，是满足批量生产和个性化订制产品高准确度、高稳定性、高可靠性等计量和应用性能要求，参与国际市场竞争的有效手段。

生产线建设有其成熟的系统理论和各项标准，但是针对应变式称重传感器“多品种、小批量”的产品特点，以及“产品研制与批量生产并存”的制造模式，没有现成的经验可以借鉴。根据航天、航空产品数字化柔性生产线制造经验，应变式称重传感器企业应该借鉴其制造模式，走“刚柔并济”的数字化柔性生产线建设和数字化工厂之路。

“刚”主要是指单元化的应变式称重传感器制造工序的布局与适当调整、

工序的装备升级与自动化改造等。在生产线建设中，首先把“单元制造”工序作为重要前提，始终以适应“多种结构形式、工艺基本相同”的产品特点和基于生产流程的原则，作好装备自动化、数字化升级。自动化、数字化的装备是应变式称重传感器生产线建设的关键支撑条件，将重点制造工序的关键工艺装备进行自动化、智能化升级改造，建立典型工序的数字化生产线，是数字化工厂建设的必由之路。例如通过对工艺装备的自动化、智能化升级改造，建立弹性元件冷热加工自动化生产线；弹性元件自动化打磨、清洗生产线；在弹性元件上自动定位、自动粘贴电阻应变计、自动安装夹具、自动固化和后固化生产线；零点温度和灵敏度温度智能补偿生产线；弹性元件自动防护密封生产线；波纹管 and 波纹膜片自动焊接密封生产线；自动测试生产线等，即可以使多品种、小批量的应变式称重传感器制造数字化、柔性化，又提高了生产效率。

“柔”主要是指建立数字化应变式称重传感器技术体系和基础工艺支撑体系，其标准是：统一的产品研制流程；统一的标准规范；统一的基础工艺；统一的基础数据库；统一版本的软件工具。达到在数字化条件下，优化工艺设计流程、生产管控流程、质量控制流程、成本管理流程的目的，促进制造模式的转变与创新。在管理方法和制造模式上的转变还包括计划调度技术方法、生产管理模式、质量控制模式、设备利用与维护、生产线人员管理与激励等方面。这是数字化柔性生产线建设最困难、最关键的工作。例如必须以全新的模式进行产品质量管理，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，明确应变式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、数字化生产线的网络化管理，控制批量生产的产品质量。国内外应变式称重传感器制造企业保证产品质量的共识是“结构是基础、材料是关键、工艺是核心、检测是保障”，可见，制造工艺优化对产品的稳定性和可靠性起决定性作用，应不断推进制造工艺技术的量化、固化、标准化，以保证应变式称重传感器制造工艺的合理性、稳定性和可重复性。

三、在数字化生产线建设基础上实现数字化工厂

建设应变式称重传感器数字化工厂，首先要实现工业化与信息化融合的管理

体系，这是数字化工厂的重要基础。应变式称重传感器企业实现工业化与信息化融合的有效途径是发展数字化制造和实施信息化管理。即应用数字化手段构建三维数字设计与制造工艺并行的设计制造模式和实施动态仿真的虚拟验证条件，对制造工艺及其流程进行验证或创新；通过改造、新增数字化装备、数字化柔性生产线实现数字化工厂。

工业化与信息化的该管理体系，主要包括应变式称重传感器结构与工艺设计的协同研制能力；全过程生产控制能力；自动化、数字化生产执行能力；设计、制造全周期质量管理与控制能力；全流程生产的智能决策能力；关键工序核心装备的研制与管理能力等。具有上述各项能力，才能通过实体制造和虚拟制造实现应变式称重传感器数字化工厂。

1. 应变式称重传感器实体制造

应变式称重传感器实体制造主要是数字化装备支撑的数字化制造技术；数字化制造技术支撑的数字化生产线。数字化装备主要是数字化弹性元件清洗装备；数字化弹性元件上电阻应变计自动定位、自动粘贴、自动安装加压夹具的装备；数字化弹性元件上电阻应变计固化、后固化装备；零点温度和灵敏度温度智能补偿装备；数字化弹性元件防护与密封装备；数字化外壳与弹性膜片自动焊接装备；数字化计量性能检测装备等。由上述数字化装备支撑的数字化制造技术与工艺技术主要有数字化工艺设计技术；数字化电阻应变计粘贴技术；数字化固化、后固化技术；数字化零点温度补偿、灵敏度温度补偿技术；数字化线性补偿技术；数字化焊接密封技术；数字化检测技术等。正是这些数字化技术支撑了弹性元件数字化机械加工和热处理生产线；数字化电阻应变计定文、粘贴生产线；数字化固化和后固化生产线；数字化零点和灵敏度温度补偿生产线；数字化聚氨酯等材料防护密封生产线；数字化弹性元件、外壳与膜片的焊接密封生产线；数字化计量性能检测生产线等。当然上述实体制造应有相应的软件平台进行管理，主要有应变式称重传感器数据管理平台；企业资源管理平台；制造工艺执行平台；检测标准数据管理平台；产品入库管理平台等。

2. 应变式称重传感器虚拟制造

应变式称重传感器虚拟制造主要是弹性元件及其附件设计仿真；弹性元件及其附件加工成形工艺仿真；总体装配工艺仿真；生产系统仿真等。其中应变式称

重传感器弹性元件及其附件设计仿真包括弹性元件结构静力学仿真；弹性元件压头、压垫边界条件仿真；弹性元件与保护外壳、压头、压垫总装配仿真；关键制造工艺仿真等。生产系统仿真包括应变式称重传感器制造工艺布局仿真；生产线能力仿真；物流规划仿真；生产工艺流程虚拟现实仿真等。

上述实体制造和虚拟制造要有完善的基础环境作保障，即完善的数据管理体系；各项标准和检定规程；系统安全管理；涉密网络管理；制造现场各条数字化生产线的数字化终端等。

四、应变式称重传感器数字化工厂建设可分为“两步走”

根据我国应变式称重传感器企业的现状和技术水平，数字化工厂建设可以分为“两步走”。

“第一步”的目标是构建数字化工厂的框架，建设重点工序的数字化生产线。其核心内容是搭建工业化与信息化融合的管理系统，构建适合应变式称重传感器“多品种、小批量”生产特点的柔性制造和企业管理模式。完成应变式称重传感器制造工艺流程优化和软件平台建设，搭建数字化工厂框架。以批量较大的产品数字化生产线为突破口，推进弹性元件清洗；电阻应变计定位与粘贴、固化和后固化；零点温度和灵敏度温度补偿；电阻应变计防护与密封；计量性能检测的数字化生产线建设。

“第二步” 补充智能化装备，强化工序间连接，固化生产机制，创新研制生产模式，实现关键技术与装备升级换代，尽量将单元制造和数字化生产线连接起来。健全数字化条件下的标准规范体系，全面实现应变式称重传感器柔性、敏捷、高效、精益制造。以数字化环境、数字化装备和数字化制造资源为基础，实现数据和信息的全面集成，实现应变式称重传感器工艺规划、加工制造、质量检验、生产过程、物流配送等全过程的数字化管理与控制，初步完成应变式称重传感器数字化工厂建设。

五、结束语

由于传统制造理念在我们的头脑里和许多应变式称重传感器制造企业根深蒂固，导致我们缺乏创新和变革意思，对新事物理解不够，对数字化生产线认识不足。除了自身存在的这些困难外，对于生产线建设还存在来自电子衡器市场化竞争的挑战，多年来的价格竞争使得企业一味降价、一味让利，降低了资本的原

始积累，削弱了研究新技术、开发新产品和引进新装备的能力。

变革之路注定荆棘丛生，面对困难和挑战，我国应变式称重传感器制造企业必须上下一心，转变观念，加强学习和研究，促进能力提升。产量较大且有能力的应变式称重传感器制造企业，应带头要做好顶层规划，不仅要建设好数字化、智能化的实体生产线，还要做好以计算机网络为基础的虚拟仿真制造系统。面向产品实行柔性化制造，大力推进数字化生产线和数字化工厂部局建设，主动探索实践先进的制造技术和管理制度，提高企业竞争力，为振兴我国民族衡器工业做出新贡献。

参考文献

- 【1】中国政府网. 《“中国制造 2025”发展规划刚要》. 国务院 2015.05.08.
- 【2】张洁等. 数字化工厂技术与应用. 机械工业出版社, 2006 年.

作者简介：刘九卿（1937—），男，汉族，辽宁省海城市。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。