

AI 智能型高温熔体压力传感器的应用研究

吴浩

格拉夫(嘉兴)仪器仪表有限公司, 浙江 嘉兴 314000

DOI:10.61369/ECE.2025140040

摘 要 : 本文深入研究了 GRAEFF (格拉夫) 公司创新研发的 AI 智能型高温熔体压力传感器在极端工业环境下的应用效能。传统高温熔体压力传感器长期面临高温环境下不可避免的零点漂移、信号衰减及寿命骤减等技术瓶颈, 严重制约了高分子材料加工行业向高精度、智能化与全自动化方向的发展。GRAEFF 公司通过将多模态传感技术、先进的 AI 补偿算法与特种材料工艺深度融合, 成功开发出新一代 AI 智能型零温漂高温熔体压力传感器; 本研究采用严谨的实验对比方法, 系统性地分析了该 AI 智能型零温漂高温熔体压力传感器的工作原理与技术特点, 并在化纤纺丝、塑料挤出、橡胶硫化及食品机械杀菌等多个典型工业场景中进行了实证应用测试; 实验结果表明, 相较于传统传感器, AI 智能型传感器在高达 350°C 至 650°C 的极端温度范围内, 表现出近乎为零的零点温漂、卓越的测量一致性 (精度稳定在 $\pm 0.1\%$ F.S. 以内) 与超长的运行稳定性。本研究不仅验证了该传感器解决行业核心痛点的能力, 还深入探讨了其广阔的应用前景, 并针对其未来的技术优化方向, 如嵌入式智能诊断、无线化与网络化融合等提出了战略性建议。

关 键 词 : GRAEFF (格拉夫); AI 智能型; 高温熔体压力传感器; 零点漂移; 化纤工业; 塑料挤出; 橡胶硫化; 食品机械; 智能制造; 人工智能

Application Research of AI-Intelligent High-Temperature Melt Pressure Sensor

Wu Hao

Graff (Jiaxing) Instrumentation Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang 314000

Abstract : This paper conducts an in-depth study on the application performance of the AI-intelligent high-temperature melt pressure sensor innovatively developed by GRAEFF in extreme industrial environments. Traditional high-temperature melt pressure sensors have long been plagued by technical bottlenecks such as inevitable zero drift, signal attenuation, and sudden lifespan reduction under high-temperature conditions, which severely restrict the development of the polymer material processing industry towards high precision, intelligence, and full automation. By deeply integrating multimodal sensing technology, advanced AI compensation algorithms, and special material processes, GRAEFF has successfully developed a new generation of AI-intelligent high-temperature melt pressure sensors with zero temperature drift. This study adopts rigorous experimental comparison methods to systematically analyze the working principle and technical characteristics of this AI-intelligent zero-temperature-drift high-temperature melt pressure sensor, and conducts empirical application tests in multiple typical industrial scenarios, including chemical fiber spinning, plastic extrusion, rubber vulcanization, and food machinery sterilization. The experimental results show that compared with traditional sensors, the AI-intelligent sensor exhibits nearly zero zero-point temperature drift, excellent measurement consistency (accuracy stabilized within $\pm 0.1\%$ F.S.), and ultra-long operational stability in the extreme temperature range of 350°C to 650°C. This study not only verifies the sensor's ability to solve the core pain points of the industry but also deeply explores its broad application prospects, and puts forward strategic suggestions for its future technical optimization directions, such as embedded intelligent diagnosis, and integration of wireless and networking technologies.

Keywords : GRAEFF; AI-intelligent; high-temperature melt pressure sensor; zero drift; chemical fiber industry; plastic extrusion; rubber vulcanization; food machinery; intelligent manufacturing; artificial intelligence

一、研究背景与意义

随着全球制造业向“工业4.0”与“中国制造2025”战略目标持续迈进, 高分子材料加工行业, 包括化纤、塑料、橡胶、食品

包装等, 正经历着深刻的产业升级。生产过程的高效、稳定与产品性能的高度一致性, 已成为企业占据市场竞争制高点的关键。在这一进程中, 作为生产线上“感知器官”的传感器, 其性能优劣直接决定了整个系统的智能化水平和产品质量。

高温熔体压力传感器是安装在挤出机、熔体管道、纺丝箱体、硫化罐等设备关键位置的核心测控元件，用于实时、精确地监测聚合物熔体、高温流体或气体的压力。这个参数是调控产品质量（如纤度均匀性、薄膜厚度、制品致密度）、保证生产安全（防止设备过压）、优化工艺能耗（实现按需精准塑化）的最重要变量之一。

二、研究目的

本研究旨在对 GRAEFF 公司推出的 AI 智能型高温熔体压力传感器进行全面、客观的应用性研究。具体目的如下：

（一）深入剖析该 AI 智能型高温熔体压力传感器为解决零点漂移问题所采用的核心技术原理，包括其创新的结构设计、AI 算法补偿机制及特种材料的应用。

（二）通过设计严谨的对比实验方案，在模拟真实工业环境的苛刻条件下，量化地评估 AI 智能型高温熔体压力传感器与传统高温熔体压力传感器在关键性能指标（如零点漂移量、长期稳定性、测量精度、温度影响）上的差异。

（三）结合化纤、塑料、橡胶等领域的具体应用实例，实证该 AI 智能型高温熔体压力传感器在提升产品质量、优化生产工艺、降低维护成本等方面的实际效益。

（四）基于研究结果，总结该技术的优势与局限性，并对其未来的技术迭代方向和在更广泛工业领域的应用前景进行展望。

三、研究方法与技术原理深度剖析

（一）研究方法

本研究采用“理论分析 - 实验验证 - 案例实证”三位一体的综合研究方法。

理论分析：深入研究 GRAEFF AI 智能型传感器的技术白皮书与设计资料，厘清其技术脉络。

实验验证：采用对照实验法，在实验室可控的高温温箱和压力标定装置上，以及选取的实际工业产线上，并行列置 AI 智能传感器（实验组）和经过校准的优质传统传感器（对照组）。在设定的温度梯度（室温→200℃→350℃→400℃）下，进行持续数百小时的长期稳定性测试，并记录关键数据。

案例实证：收集 AI 智能型高温熔体压力传感器在合作工厂应用前后的关键工艺参数（如产品公差 CPK 值、废品率、停机维护频率）进行对比分析。

（二）AI 智能型传感器的技术原理深度剖析

GRAEFF 的 AI 智能型传感器并非简单的硬件改进，而是一个“多模态感知 + AI 算法软硬件协同”的系统级解决方案。

1. 多模态敏感结构设计：其核心在于在传统的压力敏感单元（如高性能溅射薄膜应变计）旁，高度集成了一个或多个高精度的温度传感器，这个温度传感器并非仅用于测量介质温度，更关键的是用于实时、精确地监测传感器芯体自身的温度场分布，这种设计为后续的 AI 补偿提供了最基础、最关键的数据输入。

2. AI 驱动的高级补偿算法：这是该传感器的“大脑”。传统传感器的温度补偿通常采用简单的线性或二阶多项式拟合，对于复杂的热应力场和非线性漂移显得力不从心。

深度学习建模：GRAEFF 通过在超宽温域（-200℃至 +650℃）和全压力范围内对海量样本传感器进行测试，获取了数以百万计的压力 - 温度 - 输出信号之间的映射关系数据。利用这些数据训练深度神经网络（DNN）或卷积神经网络（CNN）模型^[1]，构建了一个超高维度的非线性补偿函数。

实时动态补偿：AI 智能型高温熔体压力传感器内置的微型处理单元（MCU）在工作时，会实时读取压力信号和多个位置的温度信号，并将这些数据输入到预置的 AI 模型中。模型能瞬间计算出当前热状态下的零点漂移量和灵敏度变化量，并进行**实时减法和乘法运算，输出一个经过完全补偿后的、纯净的压力信号^[3]。

3. 特种材料与封装工艺：先进的算法需要稳定的硬件作为基础。该传感器采用了新型高温合金膜片、陶瓷或特殊玻璃烧结的绝缘体以及高温稳定性极佳的特殊合金环保液态介质作为填充介质，从物理层面最大程度地减少了材料本身带来的漂移，为算法补偿提供了一个更高的起点和更稳定的平台。

四、研究过程与实验分析

（一）实验方案设计

实验在两条线上并行：

线 A（实验室精密测试）：将两类传感器置于高精度程序控温箱中，连接至 Dead Weight Tester（活塞式压力计）作为标准压力源。温度以 50℃为阶梯从 25℃升至 400℃，并在每个温度点保温 2 小时，施加 0%、50%、100% 量程的压力点，记录输出^[2]。

线 B（工厂实地测试）：在以下场景安装并记录超过 500 小时：

场景 1（化纤）：某化纤厂涤纶工业丝生产线纺丝箱体出口，温度 295℃。

场景 2（塑料）：某薄膜厂 BOPP 生产线熔体齿轮泵出口，温度 265℃。

场景 3（橡胶）：某轮胎厂复合胶料挤出机机头，温度 115℃。

场景 4（食品）：某饮料厂超高温瞬时灭菌（UHT）管道，介质为热浆料，温度 143℃。

（二）数据收集与现象观察

在实验室测试中，现象极为明显。传统传感器在温度超过 250℃后，零点输出开始出现明显爬升^[1]，且每次升降温循环后的零点回归性差，存在滞后，而 AI 智能型高温熔体压力传感器的输出曲线在整个温变过程中始终保持稳定，零点几乎锁定在初始值。

五、研究结果与讨论

（一）量化结果分析

对实验数据进行整理，核心对比如下表所示：

表1：AI 智能型高温熔体压力传感器与传统高温熔体压力传感器性能对比实验数据

性能指标	传统高温熔体传感器 (350°C下)	GRAEFF AI 智能型高温熔体压力传感器 (350°C下)	GRAEFF AI 智能型高温熔体压力传感器 (650°C定制)
零点漂移量	5-15bar	<0.05bar	<0.1bar
测量精度	± 5% - ± 15%F.S.	± 0.1%F.S.	± 0.25%F.S.
长期稳定性 (500h)	偏差 >5%F.S.	< ± 0.2%F.S.	< ± 0.5%F.S.
温度影响	显著	可忽略	可忽略

（二）优势讨论

基于以上数据，AI 智能型高温熔体压力传感器的优势得以量化体现：

1. 革命性的零点稳定性：其零点漂移量比传统传感器改善了两个数量级，从“bar”级别进入“mbar”级别，真正实现了“置零后无需再校”。

2. 极高的测量精度与重复性：± 0.1%F.S. 的精度为高端精密挤出和纺丝工艺提供了前所未有的数据可靠性，使得实时闭环质量控制成为可能。

3. 卓越的长期稳定性：极大地延长了传感器的校准周期和使用寿命，从本质上降低了全生命周期的维护成本（TCO）。

4. 拓宽应用边界：650°C下的稳定工作能力，使其能够应用于更高温度的工程塑料（如 PEEK、PPS）、熔融金属、碳纤维等前沿材料的加工过程。

（三）应用效益总结

在实证案例中，工厂反馈的应用效益显著：

质量提升：BOPP 薄膜的厚度公差 CPK 值由 1.2 提升至 1.8 以上。

成本降低：化纤厂减少了因压力波动导致的断丝和飘丝，废丝率下降约 15%。

效率提升：消除了因传感器漂移导致的非计划停机和人工校准时间，设备综合利用率（OEE）提升约 3%。

— 智能化基础：稳定、可靠的压力数据是构建数字化车间、实现预测性维护和工艺优化的基石。

六、总结、展望与挑战

（一）总结

本研究充分证明，GRAEFF 公司的 AI 智能型高温熔体压力传感器通过硬件创新与软件智能的深度融合，成功攻克了长期困扰工业界的零点漂移难题；它不仅仅是一个测量工具，更是一个稳定的过程控制核心，为高分子材料加工行业的高质量发展提供了关键的技术支撑，其应用价值在化纤、塑料、橡胶、食品机械等领域得到了充分验证。

（二）未来优化方向与挑战

尽管优势突出，但该技术仍有持续进化的空间：

1. 嵌入式智能诊断：未来传感器可集成更强大的边缘计算能力，实现自诊断功能*，如膜片健康度监测、过程异常（如凝胶、降解）预警等，变“感知”为“认知”。

2. 无线与物联网集成：开发低功耗无线传输版本，解决旋转设备（如压延机）布线难题，并轻松融入工业物联网（IIoT）平台，实现数据云的汇聚与分析。

3. 成本与普及化：目前先进技术通常伴随较高成本。如何通过规模化生产和设计优化，降低制造成本，使其能应用于更广阔的中端市场，是推动产业整体升级的关键。

4. 标准化与生态建设：推动数据接口、通信协议的标准化，以便与不同品牌的 PLC、DCS、MES 系统无缝集成，构建开放的智能传感器生态系统。

面对全球制造业的激烈竞争，以 AI 智能传感器为代表的智能感知技术，必将成为驱动产业迈向高端、实现可持续发展的核心动力之一。

参考文献

- [1] GRAEFF Inc. Technical White Paper: AI-Enabled High-Temperature Melt Pressure Transducer Design and Applications[M/OL]. 2023.
- [2] 中国制造网. 格拉夫 (GRAEFF) 高温熔体压力传感器产品详解 [EB/OL]. 2023.
- [3] 王建军, 李志宏. 高分子加工过程中熔体压力测控技术的研究进展 [J]. 塑料工业, 2022, 50(5): 1-6.
- [4] 2024年 CHINAPLAS 国际橡塑展：传感器智能化与环保化成焦点 [N/OL]. 百家号, 2024-04-15.