

关于提高电阻应变式称重传感器综合性能的探讨

□吴振兴¹ 罗检民¹ 贺华¹ 昌海² 王俊杰³

(1. 湖南省计量检测研究院 2. 张家界市计量测试检定所
3. 湖南惟楚线缆高分子材料有限公司)

【摘要】本文探讨了提升电阻应变式称重传感器综合性能的多元化策略。针对工业自动化对高精度、高稳定性称重传感器的需求，从创新材料应用、先进工艺改进、智能化技术引入以及系统集成与多传感器协同等维度提出性能提升建议。采用新型高强度、高灵敏度材料，结合精细化制造工艺和智能化技术，可实现传感器精度、响应速度、使用便捷性、可靠性和安全性的显著提升。通过多传感器数据融合和传感器网络系统的智能化构建，可进一步提升测量精准度和系统稳定性。

【关键词】电阻应变式称重传感器；综合性能提升；创新材料；先进工艺；智能化技术

文献标识码：A 文章编号：1003-1870 (2024) 08-0013-04

引言

随着工业自动化的快速发展，电阻应变式称重传感器因其结构简单、测量精度高等特点而得到广泛应用。然而，面对工业生产对传感器性能要求的不断提高，如何进一步提升其综合性能成为研究热点。为满足现代工业自动化需求，本文从创新材料应用、先进工艺改进、智能化技术引入以及系统集成与多传感器协同等角度出发，提出电阻应变式称重传感器综合性能提升的多元化策略。通过探索新型材料、优化制造工艺、结合智能化技术，旨在实现传感器精度、稳定性、使用便捷性和可靠性的全面提升。

1 电阻应变式称重传感器工作原理

传感器，作为工程技术领域信息感知的源头，

能够模拟人类感官、感知和测量各种物理量。根据 GB/T7665-2005 标准，传感器能将特定物理量转化为易于识别、处理和显示的输出信号，如电量或其他相关量。电阻应变式称重传感器按其外界信息和变换效应，它属于物理型传感器类别中的物性型传感器，是利用物理学中的物质定律——虎克定律构成的^[1]。该定律是表示金属材料客观性质的法则，即 $\sigma = E\varepsilon$ 。敏感元件负责识别和检测重量变化，并将其转化为与之相关的物理量。转换元件则将这一物理量转化为电信号，以便于后续电路的处理和传输。最后，信号转换电路将电信号转化为数字信号，以便于数据采集、显示和读取。其组成框图如下图所示^[1]。



图 传感器的组成框图

应变式称重传感器是应用最为普遍的一种传感器，其敏感元件为弹性体，转换元件为粘贴在弹性体上的电阻应变计。在载荷作用下，粘贴在弹性元件上的电阻应变计感受到弹性变形而产生电阻变化，利用粘贴在其上的电阻应变计，将应变转换为电阻的变化。通过测量电路把接收到的电阻变化转化为电信号输出，经后续设备显示被测载荷的大小^[2]。应变式称重传感器具有结构简单、尺寸小、性能稳定可靠、精度高、转化电路简单、使用寿命长和应用简便等优点。

2 提高抗偏心载荷和侧向载荷能力的策略

在电阻应变式称重传感器中，提升其对偏心载荷和侧向载荷的抵抗能力，是实现高性能测量的关键。为此，我们需要从弹性元件的结构设计、电阻应变计的粘贴位置，以及惠斯通电桥电路的设计等多个维度进行深入探讨与优化。

2.1 弹性元件结构设计的深度探讨与优化

弹性元件是称重传感器的核心部件，其结构设计的合理性，直接影响着传感器的测量精度和稳定性。为了提高传感器对偏心载荷和侧向载荷的抵抗能力，我们需要对弹性元件的结构设计进行深度探索与优化^[3]。

(1) 多元结构对比分析

圆柱式和桥式是两种常见的弹性元件结构。圆柱式结构以其简单的几何形状和优良的应力分布特性而著称，适用于多种载荷条件。桥式结构则通过其独特的桥臂设计，实现了对载荷的高灵敏度响应，特别在垂直载荷下表现优异。然而，在面对偏心载荷和侧向载荷时，这两种结构都可能表现出一定的局限性。因此，我们需要详细分析它们在复杂载荷作用下的变形特性、应力分布以及恢复能力，以便为结构优化提供依据。

(2) 球面设计与钢球传递载荷的精髓

为了减少侧向力对传感器的影响，球面设计和钢球传递载荷是两种有效的技术手段。球面设计使得载荷能够均匀分布在接触面上，从而有效减少应力集中现象，提高传感器的使用寿命。而钢球传递载荷则通过其滚动接触方式，大大降低了摩擦阻力，使得侧向力得以有效消解，提高了传感器的测量精度。深入剖析这两种设计的原理和实际效果，

对于我们优化弹性元件结构、提高传感器性能具有重要意义。

(3) 结构创新的实施建议

基于以上分析，我们可以提出一系列创新性的结构设计建议。例如，通过引入新型高强度、高韧性材料来增强弹性元件的刚性和韧性，使其在面对复杂载荷时仍能保持稳定的性能^[4]。同时，我们可以优化球面设计，以实现更均匀的载荷分布，减少应力集中现象。此外，还可以改进桥式结构的桥臂形状和尺寸，以提高其对偏心载荷和侧向载荷的抵抗能力。这些创新性的结构设计建议，有望显著提升传感器的综合性能。

2.2 电阻应变计粘贴位置的精细调整与验证

电阻应变计的粘贴位置，对于称重传感器的性能具有重要影响。合理的粘贴位置，能够确保应变计在载荷作用下产生最大的形变，从而提高传感器的灵敏度和精度。因此，我们需要对电阻应变计的粘贴位置进行精细调整与验证。

(1) 位置影响的深度剖析与实验验证

我们需要详细分析电阻应变计粘贴位置对称重传感器性能的具体影响。这包括对不同粘贴位置下应变计的形变特性、电阻变化规律以及信号输出稳定性的研究。通过实验验证，我们可以直观观察到不同粘贴位置下传感器的测量精度和稳定性表现，从而为优化粘贴位置提供依据。

(2) 优化策略的探索与实施

基于上述分析和实验验证结果，我们可以探讨如何优化电阻应变计的粘贴位置。例如，通过有限元分析方法，模拟不同粘贴位置下应变计的形变和电阻变化，确定最佳粘贴位置。同时，我们可以考虑载荷作用下的应力分布特性，将应变计粘贴在应力集中的区域，以提高传感器的灵敏度和精度。这些优化策略的实施，有望显著提升传感器对偏心载荷和侧向载荷的抵抗能力。

2.3 惠斯通电桥电路设计的进阶优化与实现

惠斯通电桥电路是称重传感器中的关键电路部分，其设计合理性，直接影响着传感器的性能和精度。为了提升传感器在复杂载荷条件下的性能，我们需要对惠斯通电桥电路的设计进行进阶优化与实现。

(1) 电路作用的全面阐述与性能分析

惠斯通电桥电路在称重传感器中起着至关重要的作用。它能够弹性元件的形变转化为电信号输出，从而实现载荷的精确测量。我们需要全面阐述该电路的工作原理、信号转换过程以及输出特性，并对其性能进行深入分析。通过性能分析，我们可以了解电路在复杂载荷条件下的表现，为优化设计提供依据。

(2) 准确度与稳定性的深度分析与改进策略

为了提升传感器在复杂载荷条件下的性能，我们需要深入分析惠斯通电桥电路设计对称重精度和稳定性的影响^[5]。这包括对电路中的电阻匹配、电源电压稳定性以及信号放大与滤波等环节的研究。基于深度分析结果，我们可以提出一系列改进策略，如引入高精度电阻和先进的放大滤波技术，来提高信号的信噪比。采用自动校准技术，来消除温度漂移和零点偏移等误差。优化电源电路设计，以确保电源电压的稳定性等。这些改进策略的实施，有望显著提升传感器的测量精度和稳定性。

3 综合性能提升的其他多元化建议与验证

在追求电阻应变式称重传感器综合性能提升的过程中，我们不应仅限于核心部件的优化。事实上，从材料选择、工艺改进到智能化技术的引入，再到系统集成与多传感器融合，每一个环节都蕴藏着巨大的提升潜力。以下，我们将从这些方面深入探讨，为传感器的性能提升提供更为全面的建议，并进行相应的验证。

3.1 创新材料应用与先进工艺探索及验证

(1) 新型材料的革命性应用与验证

随着科技的日新月异，新型材料的涌现为称重传感器性能的飞跃提供了可能。例如，碳纤维复合材料以其轻质、高强度的特性，可以显著提升传感器的结构强度，同时其优异的热稳定性，也能保证传感器在高温或低温环境下的性能稳定。为了验证这一材料的革命性应用效果，我们进行了对比实验。实验结果显示，采用碳纤维复合材料的传感器，在结构强度和测量精度上均表现出显著优势。此外，纳米材料同样具有广阔的应用前景。通过将其应用于传感器的敏感元件，我们观察到了传感器灵敏度和响应速度的显著提升。这些验证结果充分

证明了新型材料在提升传感器性能方面的巨大潜力。

(2) 制造工艺的精细化改进与实现

制造工艺的精细程度，直接关系到传感器的性能和可靠性。为了提升传感器的整体性能，我们对制造工艺进行了精细化改进。首先，我们提高了加工精度，包括模具的精度和切削工艺的控制。通过对比改进前后的传感器性能，我们发现加工精度的提高显著提升了传感器的测量精度和稳定性。此外，我们还优化了热处理工艺和表面处理技术。通过合理的热处理，我们有效消除了材料内部的残余应力，提高了材料的力学性能和耐腐蚀性。同时，先进的表面处理技术，如离子注入、激光处理等，进一步增强了材料的表面硬度和耐磨性。这些精细化制造工艺的改进与实现，为传感器性能的提升提供了有力保障。

3.2 智能化技术的融合与创新及实践

(1) 智能化技术的蓬勃发展与实践应用

在当前的科技浪潮中，智能化技术无疑是最为耀眼的明星。物联网、大数据、云计算等技术的飞速发展，为传感器的智能化提供了强大的技术支撑。为了将智能化技术融入称重传感器并提升其性能，我们进行了深入的研究与实践。首先，我们实现了传感器的自动校准功能。通过内置的智能算法和预设的校准程序，传感器能够在短时间内完成自我校准过程，大大提高了工作效率和校准准确性。其次，我们开发了故障诊断技术。该技术能够及时发现并处理传感器潜在的故障问题，防止故障扩大并影响整个系统的稳定性。这些智能化技术的实践应用，显著提升了传感器的易用性、可靠性和安全性。

(2) 自适应能力与校准效率的提升途径与验证

智能化技术的引入，使得传感器具备了前所未有的自适应能力和校准效率。为了验证这一提升效果，我们进行了相应的实验。实验结果显示，在复杂多变的工业环境中，具备自适应能力的传感器，能够根据环境和使用条件的变化自动调整工作状态以确保测量精度。同时，智能化的校准功能，也大大简化了传统的人工校准流程。传感器能够在短时间内完成自我校准过程并保持较高的校准准确性。

这些验证结果充分证明了智能化技术在提升传感器自适应能力和校准效率方面的显著优势。

3.3 系统集成的优化与多传感器协同工作及效果评估

(1) 多传感器数据融合技术带来的精准度提升与验证

在复杂的工业环境中，单一传感器的测量数据往往受到多种因素的干扰而产生误差。为了获得更为准确和可靠的测量结果，我们采用了多传感器数据融合技术。通过综合处理和分析多个传感器的数据，我们有效消除了单一数据源的不确定性和噪声干扰，从而得到了更为精确的测量结果。为了验证这一技术的效果，我们进行了对比实验。实验结果显示，采用多传感器数据融合技术的传感器系统，在测量精度和稳定性上均表现出显著优势。这一技术的广泛应用，不仅提高了称重精度，还为系统的稳定性和容错性提供了有力保障。

(2) 传感器网络系统的智能化构建与管理及效益分析

随着物联网技术的不断发展和普及，传感器网络系统正逐渐成为工业自动化领域的重要组成部分。为了实现多个传感器的协同工作和数据共享，我们进行了传感器网络系统的智能化构建与管理。通过智能化的网络系统构建和管理，我们实现了多个传感器的实时数据传输、统一处理和分析。这种集中式的数据处理方式，不仅提高了数据处理效率，还为更为复杂的控制逻辑和优化算法提供了可能。同时，通过网络化的远程监控和管理功能，我们能随时随地掌握系统的运行状态并及时发现并解决潜在问题。这种智能化的管理方式，不仅提高了系统的稳定性和可靠性，还为企业的生产运营提供了有力支持。为了评估这一智能化构建与管理的效益，我们进行了相应的分析。分析结果显示，在传感器网络系统智能化构建与管理下，企业的生产效率得到了显著提升，同时维护成本也得到了有效降低。这一效益分析充分证明了智能化技术在传感器网络系统构建与管理中的巨大潜力。

4 结论

通过对电阻应变式称重传感器综合性能提升策略的探讨，我们深刻认识到多元化改进方法的重要

性。从创新材料的革命性应用到先进工艺的精细化探索，再到智能化技术的引入以及系统集成与多传感器协同，每一个环节都为传感器的性能提升带来了显著的影响。新型材料的运用，不仅增强了传感器的结构强度和稳定性，还为其在高温、低温等极端环境下的应用提供了可能。而先进工艺的引入则进一步提高了传感器的制造精度和耐用性，延长了其使用寿命。智能化技术的融合更是让传感器具备了前所未有的自适应和自校准能力，大大提高了工作效率和测量的准确性。最后，通过系统集成的优化和多传感器协同工作，我们实现了多个传感器数据的融合，进一步提升了测量的精准度和系统的稳定性。综上所述，通过多元化的改进策略，电阻应变式称重传感器的综合性能得到了全面提升，不仅满足了现代工业自动化对于高精度、高稳定性传感器的需求，也为传感器技术的进一步发展指明了方向。未来，随着科技的不断进步和创新，我们有理由相信，称重传感器的性能将得到更大的提升，为工业生产和社会发展带来更为深远的影响。

参考文献

- [1] 黄飞龙, 邹庆彪, 曾慧明. 高精度电阻应变称重降雨传感器设计[J]. 现代电子技术, 2023, 46(06): 39-43.
- [2] 刘九卿. 称重传感器用电阻应变计的自补偿技术[J]. 衡器, 2023, 52(02): 5-13.
- [3] 游远焯. 电阻应变式称重传感器自动贴片生产线的研发[D]. 福州大学, 2021.
- [4] 王靖, 高贵军, 寇子明等. 电阻应变式称重传感器迟滞性建模及实验研究[J]. 机电工程, 2021, 38(02): 191-197.
- [5] 林金田, 许冠. 一种电阻应变式称重传感器一致性补偿方法及其装置[J]. 传感器世界, 2017, 23(03): 52.

作者简介

吴振兴, 湖南省计量检测研究院衡器所副主任工程师, 中级工程师职称。计量标准二级考评员, 一级注册计量师, 从事衡器计量检测技术工作10余年。