

一种碳基应变计的研制及其在称重传感器中的应用

□ 汤睿¹ 汤建华^{1,2} 李爱红^{1,2}

(1. 常州纺织服装职业技术学院智造学院, 江苏常州 213164

2. 江苏省碳纤维先进材料智能制造工程技术研究开发中心, 江苏常州 213164)

【摘要】本文主要介绍了一种碳基应变计的工作原理、设计、制造工艺及使用方法。与常规的金属箔式电阻应变计相比, 这种碳基应变计的特点是成本低、尺寸小、灵敏度高、电阻值高, 十分适用于低成本、大规模制造的称重传感器。不过, 仍存在零点漂移大、精度低等缺点, 有待进一步优化。

【关键词】称重传感器; 应变计; 碳纤维; 丝网印刷; 性能测试

文献标识码: A

文章编号: 1003-1870 (2024) 12-0033-03

引言

随着工业互联网技术的应用场景不断拓展, 测力与称重传感器已经成为实现自动化生产过程中不可缺少的一部分, 但也正面临着一些新的应用技术挑战。目前的测力与称重传感器大部分都是采用金属箔式应变计制作而成。虽然金属箔式应变计具有电阻值的偏差和公差小、温度特性好等优点, 但是它也存在着尺寸较大、应变灵敏系数低, 电阻值不够高等缺点。正是因为这些缺点, 导致了基于金属箔式应变计的测力与称重传感器的体积难以进一步缩小且灵敏度不高(常见的在1~2mV/V左右), 输入输出阻抗较低(常见的应变计阻值一般有350Ω, 700Ω 或1000Ω), 因而测力与称重传感器的功耗也相对较高。目前在3C 自动化等领域对低功耗、高灵敏度的测力与称重传感器有着越来越大的需求, 而基于传统应变计的传感器已经很难再进一步提高灵敏度及优化其体积。

相比之下, 碳纳米管(CNT)和石墨烯等新型碳基材料的发现, 为传感器领域带来了新的发展机遇。这些新型碳材料不仅具有出色的力学性能和导

电性, 还拥有极高的比表面积和优异的化学稳定性, 使得它们在传感器应用中具有得天独厚的优势^[1-3]。在此背景下, 研制一种高性能的碳基应变计, 并将其应用于测力与称重传感器中, 对于提升其整体性能具有重要意义。高性能的碳基应变计不仅能够提高传感器的测量精度和响应速度, 还能够增强传感器的抗干扰能力和使用寿命。这对于满足日益增长的工业测量需求, 推动传感器技术的创新发展具有十分重要的作用。

1 碳基应变计的设计

1.1 碳基应变计材料的选择和特性

材料选择:在碳基应变计的研制过程中, 碳基材料的选择与制备是至关重要的环节。经过对比筛选, 我们选择了具有高导电性、高弹性模量和良好稳定性的碳纤维+ 炭黑作为应变计敏感材料的主要成分。

工作原理及特性:固体受到外力作用后电阻(率)发生变化, 这种现象称作压阻效应(或力阻效应)^[4,5]。本文研制的碳基应变计即利用压阻效应进行工作, 其灵敏度相对传统应变计高2~50 倍, 体积可以做到

传统应变计的1/221/5。

1.2 碳基应变计的结构设计

碳基应变计的基本结构与普通金属应变计基本一致，主要包括基底、敏感丝栅、导线、焊盘和绝缘覆盖层等5部分组成。本文采用的碳基应变计为半桥结构，其正视图如图1所示。图中：长方形黑色边框为基底，采用高分子材料PET，红色线框为敏感丝栅（碳基敏感材料），灰色线框为连接导线（纳米银），四角的蓝色块状区域为焊盘区，淡蓝色边框为绝缘覆盖层（不含焊盘区域）。

2 碳基应变计的制作

目前市面上的碳敏感材料一般以油墨形式出

现，因此采用丝网印刷工艺进行制作。其主要工艺步骤如图2所示。

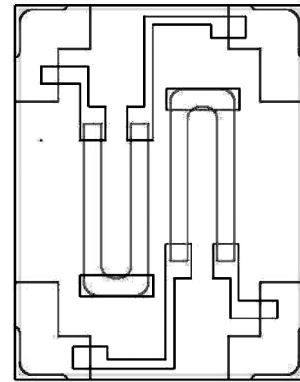


图1 半桥碳基应变计结构图



图2 碳基应变计制作工艺流程图

3 测试与验证

3.1 测试仪表的选择

由于碳基应变计的电阻值和应变灵敏系数K的

值比较大，其组成惠斯顿电桥后，输出信号较大，因此配套仪表比较简单，可以直接用万用表测量，所以这种传感器在实际使用中十分方便。在本实验

中，为保证测试精度，选用了六位半万用表进行应变计电阻值和桥路输出电压的测量。

3.2 测试过程与结果

先将半桥碳基应变计用瞬干胶贴于现有的称重传感器上（选用的称重传感器外形如图3所示，标称容量10kg），然后进行加载测试，并记录应变计电阻变化数据。完成上述测试后，将应变计组成惠斯顿电桥，再进行加载测试，并记录称重传感器输出信号的变化数据。



图3 测试用称重传感器外形示意图

施加载荷和应变计电阻值变化的测试结果如表1所示。

表1 载荷与应变计阻值变化表

载荷 (kg)	普通应变计电阻 (kΩ)	碳基应变计电阻 (kΩ)
0kg	1.00092	11.3018
1kg	1.00057	11.2928
2kg	1.00023	11.2839
1kg	1.00058	11.2932
0kg	1.00092	11.3019

从表1可以看出，根据所选用的称重传感器容量和参考的普通应变计电阻变化数据，可以估算出2kg载荷约在应变区产生166。因此，可以得到碳基应变计的应变灵敏系数大约为5.4。

施加载荷和传感器输出信号变化的测试结果如表2所示。

表2 载荷与传感器输出信号数据

载荷 (kg)	输出信号 (mV)	供电电压 (V)
0kg	15.6416	4.9961
1kg	18.1115	4.9951
2kg	20.6695	4.9943
1kg	18.1306	4.9940
0kg	15.6615	4.9961

根据称重传感器性能测试数据，该样机的非线性度-0.9%/FS，滞后0.4%/FS，灵敏度1.01mV/V@2kg。按照JJG669-2003《称重传感器国家计量检定规程》，该

样机性能预计在D级精度水平，可以在一些低精度称重场合得到应用。

4 结语

本文介绍了一种碳基应变计的结构，并研究了利用丝网印刷技术加工碳基应变计的工艺及其实现方法。选用碳纤维+炭黑为主要成分的复合材料作为应变计的敏感材料，不但可以提高测力与称重传感器的灵敏度，而且可以减小应变计的体积。测试结果表明，碳基应变计的性能基本可以达到D级称重传感器的准确度。因此，这种应变计已经具备了在某些场合替代金属箔式应变计的可行性。通过不断的材料和工艺优化，相信碳基应变计在未来可以在称重传感器设计与制造领域得到更多应用。

参考文献

- [1] 沈康馨, 陈宝中, 梁瑞斌等. 可拉伸应变传感器材料与器件研究进展[J]. 材料研究与应用, 2023,17(05):787-798.
- [2] 卫冰妍, 李伟. 碳纳米材料在SBS基柔性应变传感器中的应用进展[J/OL]. 化工新型材料, 1-6[2024-08-28].
- [3] 汤建华, 徐修祝. 碳基传感材料及其在称重测力传感器上的应用展望[J]. 衡器, 2023,52(11):30-33.
- [4] 李勇, 王万录, 廖克俊等. 碳纳米管膜的压阻效应[J]. 科学通报,2003,(01):26-28.
- [5] 郑华升, 朱四荣, 李卓球. 碳纤维增强塑料(CFRP)力阻效应的研究评述[J]. 材料科学与工程学报,2017,35(06):1009-1013+1021.

作者简介

汤睿（2004—），男，江苏淮安人，技术员，主要从事机械设计及制造工艺方面的工作。