

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.01.10

基于图像识别和 GPS 技术的全自动补偿式微压计的设计

李倩¹, 甘蓉²

(1. 贵州省计量测试院, 贵州 贵阳 550003; 2. 中国测试技术研究院, 四川 成都 610021)

摘要: 传统的补偿式微压计测量采用手动测量、人眼读数的方式实现数据的获取, 人眼读数误差所引入的不确定度在装置整体不确定度中占有很大比重。本文研制了一种全自动补偿式微压计, 利用高清摄像头代替人眼读数, 利用软件对所采集的图片进行逻辑分析, 同时增加传统补偿式微压计不具备的实时液相温度测量、实地重力加速度测量及大气压测量功能, 有效减小各影响量对测量结果的干扰。采用滑台电机控制位移, 进一步提高测量准确度。经实验证明, 本文研制的全自动补偿式微压计具有很好的准确性与可靠性。

关键词: 补偿式微压计; 全自动; 图像识别; GPS; 实时修正

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)01-0051-06

Design of Fully Automatic Compensation Micro-manometer Based on Image Recognition and GPS Technology

LI Qian¹, GAN Rong²

(1. Guizhou Institute of Measurement and Testing, Guiyang 550003, China;

2. National Institute of Measurement and Testing Technology, Chengdu 610021, China)

Abstract: The traditional measurement method of compensated micro-manometer adopts manual measurement and human eye reading mode to achieve data acquisition. The uncertainty introduced by human eye reading error accounts for a large proportion in the overall uncertainty of the device. In this paper, a full-automatic compensation type micro manometer is developed. A high-definition camera is used to replace the human eye reading, and the software is used to make logical analysis of the collected pictures. At the same time, the functions of real-time liquid phase temperature measurement, field gravity acceleration measurement and atmospheric pressure measurement, which are not available in the traditional compensation type micro-manometer, are added to effectively reduce the interference of each influence on the measurement results. The sliding table motor is used to control the displacement to further improve the measurement accuracy. The experimental results show that the automatic compensation type micro-manometer developed in this paper has high accuracy and reliability.

Key words: compensation micro-manometer; fully automatic; image recognition; GPS; real time correction

0 引言

补偿式微压计具有优良的计量性能和稳定性, 在进行微压计量时通常优先选用其作为标准器, 我国的 $-2.5 \sim 2.5$ kPa 压力计量基准也采用补偿式微压计^[1]。但是传统的补偿式微压计^[2]由于其设计上的局限性, 在使用中存在人员读数影响大、抬升准确度不高、温度修正计算方式不合理等问题。为解决这些问题, 本文研制了一种全自动补偿式微压计, 采用高清摄像头代替人眼读数^[3], 利用软件对采集图片进行逻辑分析^[4], 大幅减小了读数误差, 并增加了传统补偿式微压计不具备的实时液相温度测量功能, 通过核心算法修正因温度影响介质密度变化^[5]而对测量结果的影响,

增加实地重力加速度测量功能^[6], 修正重力加速度对测量结果的影响^[7]。本文还利用高准确度滑台电机定位代替传统的手动方式抬升大容器^[8], 使位移测量准确度得到进一步提高。

1 传统补偿式微压计

1.1 传统补偿式微压计的构造

传统补偿式微压计主要由大容器、小容器、垂直标尺、读数尖头、平面镜、调零螺母及外壳部分等构成^[9-15], 如图1所示。

1.2 传统补偿式微压计的工作原理

补偿式微压计基于连通器原理: 在底部互相连通的容器中注入工作介质, 在液体不流动时连通器内各

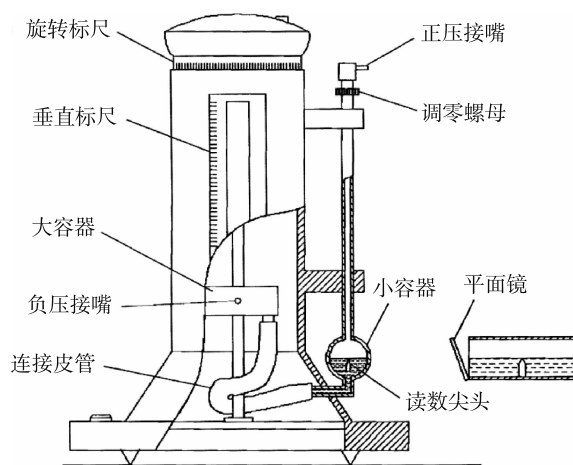


图1 微压计结构示意图

容器的液面总是保持在同一水平面上。补偿式微压计在工作时通过提升大容器的位置来补偿压力造成的小容器水平面的下降，使小容器水平面恢复到原来的零位位置，即采用补偿原理使大小容器的液位差所产生的压力与被测压力相平衡。

1.3 传统补偿式微压计的使用和计算

1.3.1 读数方法

旋转微压计顶部转盘，使大容器上的刻线与垂直标尺上的相应刻度对齐，通过平面镜观察读数尖头与小容器中液面的位置，可观察到尖头及其倒影，通过微调旋转标尺，使读数尖头与其倒影相切，如图2所示，则大小容器的压强处于平衡状态，这时分别读取垂直刻度和转盘指示的刻度，获得最终读数。

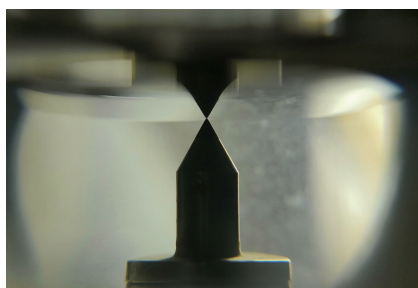


图2 水准头读数位置

1.3.2 计算方法

考虑大气压力的影响后，补偿式微压计测量值为

$$p_m = \rho_w g H \left(1 - \frac{1.1882 \times 10^{-5} \times p_0}{\rho} \right) \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中： p_m 为微压计的实际压力值，Pa； ρ_w 为检定温度下的纯水密度， kg/m^3 ； g 为使用地点重力加速度， m/s^2 ； H 为大容器抬升高度，m； p_0 为检定时的气压

值，Pa。

2 传统补偿式微压计存在的问题

2.1 读数不准

传统补偿式微压计在读数时，用平面镜观察读数尖头与其倒影是否相切，以确认大小容器是否达到压力平衡状态。这种读数方法存在较强的主观性，对检定员的经验有较高要求，不同检定员的检定结果存在一定偏差，人员读数误差不可避免。

2.2 参与计算的参数不准确

从式(1)可知，补偿式微压计给出的压力值与检定温度下的纯水密度、使用地点重力加速度和检定时的气压值密切相关，这些参数是否准确，与补偿式微压计的准确度密切相关。

2.2.1 纯水密度

纯水密度值与温度密切相关，目前获取纯水密度的方法主要有直接测量法和测量纯水温度后查表获得密度法两种，但由于补偿式微压计所用的纯水是密封在容器内的，不易采用直接测量法实现，只能用环境温度代替真实的纯水温度来得到密度值。显然，密闭于容器内的纯水温度与环境温度不完全一致，因此，这里得到的纯水密度是不准确的。

2.2.2 使用地点的重力加速度

通常使用查表法获取当地的重力加速度值，但重力加速度的对照表中仅列出了全国主要城市的重力加速度值，很多地区的重力加速度值无法查到，只能使用表中所列最近城市的重力加速度值，导致引入计算误差。

2.2.3 检定时的气压值

在使用补偿式微压计开展检测工作时，通常使用空盒气压表读取当时的大气压力值，但空盒气压表的准确度为 $\pm 2.5 \text{ hPa}$ 级别，对于微压计而言显然误差太大。由于一个地区的大气压力值通常都在某一较小范围内波动，有很多检定人员也会直接使用经验值进行计算。

2.3 抬升准确度不足

传统的补偿式微压计的抬升装置采用梯形螺纹咬合，使大容器沿微压计中央的螺杆上下移动。但梯形螺纹的几何学特性和机械特性所限，不能实现高精度的精细调整，最小分辨力只能达到 $10 \mu\text{m}$ ，从而导致抬升的高度不准确，对计算公式中的 H 造成影响。

3 全自动补偿式微压计设计

针对传统补偿式微压计存在的问题，本文设计了

全自动补偿式微压计,运用图像识别技术、全球卫星定位系统 GPS(或北斗卫星导航系统)、可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC),成功解决了传统补偿式微压计存在的问题,有效提高了测量准确度和增强了易用性。

3.1 参数实时测量的实现

3.1.1 水温测量

为得到更准确的纯水密度值,必须对纯水水温进行精确测量,为此,该微压计选用了 A 级 Pt100 铂电阻温度传感器作为感温原件,根据 90 温标热电阻分度表直接得到实时介质温度,误差控制在 $\pm 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。得到准确的介质温度后,通过纯水密度表得到准确的介质密度。

3.1.2 重力加速度的测量

为得到准确的重力加速度值,必须获取所在地的准确经纬度坐标,因此将 GPS 模块固化在微压计内,对微压计所处位置坐标进行实时跟踪,并通过获取的坐标值得到准确的纬度及海拔,从而得到测量地点准确的重力加速度值。

3.1.3 大气压力的测量

全自动补偿式微压计中内置了 61302V 型大气压力传感器,测量范围 500 ~ 1100 hPa。最大允许误差 $\pm 0.02\text{ hPa}$,更新率 1.8 Hz,实时捕捉大气压力的微小变化。经过核心算法计算,修正大气压变化对测量结果的影响。

3.2 提高抬升准确度

将传统微压计中的梯形螺纹改为无丝杠的高准确度滑台电机。该电机采用电磁悬浮方式,具有无接触性误差、重复性好等特点。利用 LM10 型光栅尺测量位移,保证抬升误差小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。

3.3 读数方式的改进

采用图像识别相似率技术,即:每当设备归零、重新开始检定前,拍摄一张零点照片做为检定零点,大容器无论抬升或下降均以该原始图像做对比,通过核心算法识别当前图片与原始图片的相似率,图像处理基本过程如图 3 所示,当相似率达到预设值时,计算机提示操作人员,检定结束。相似率预设值可根据被检仪表准确度要求在 95.00% 至 99.99% 区间内进行设置,相似率为 95.00% 时对准误差为 $10\text{ }\mu\text{m}$,相似率为 99.99% 时对准误差为 $2\text{ }\mu\text{m}$ 。

3.4 自动控制的实现

为实现“一键式、全自动、高准确度”的微差压测量,在设计时运用了先进的 PLC 及计算机编码技术,

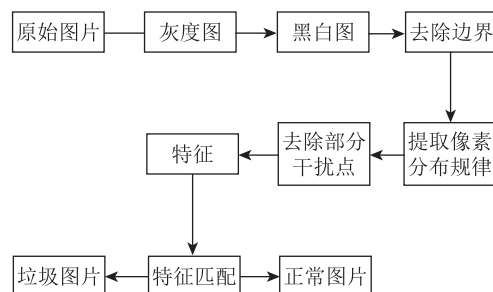


图3 图像处理基本过程

对微压计的提升、读数、计算进行全自动处理。

PLC 是一种具有微处理器功能的用于自动化控制的数字运算控制器,可以将控制指令随时载入内存进行储存与执行。PLC 由 CPU、指令及数据内存、输入/输出接口、电源、数字模拟转换等单元模块组成,可实现逻辑控制、时序控制、模拟控制、多机通信等各类功能。本研究使用了日本欧姆龙公司(C20, C40)编程控制器,并使用图形化编程语言和文本化编程语言相结合的方式实现控制。图形化编程语言包括梯形图(LD-Ladder Diagram)、功能块图(FBD-Function Block Diagram)和顺序功能图(SFC-Sequential Function Chart)。文本化编程语言包括指令表(IL-Instruction List)和结构化文本(ST-Structured Text)。

4 使用方法介绍

在软件登录界面输入用户名和密码,点击登录,登录成功后选择仪表检测按钮。

4.1 计算抬升高度

通过温度采集、大气压力值采集和重力加速度计算(重力加速值可以输入定值)三个界面获取相应参数,软件根据内置公式计算出抬升高度值,界面如图 4 所示。

4.2 图像识别对比

首先点击零点设置(可多采集几张零点照片,相似率稳定变化达最小值时为最佳状态),然后点击自动分析(软件根据相似率给出图像对比值),界面如图 5 所示。

4.3 水面波动区域及日志记录

水面波动区域的检定页面由 5 个部分组成:液位监控区、数据采集及实时计算区域、PLC 控制区、日志与水位数字模拟区域和检定数据填写区域。根据相似率变化虚拟水面波动,并显示日志数据的反馈(包括 PLC、相机、传感器等)。控制监视水面任务不仅能实

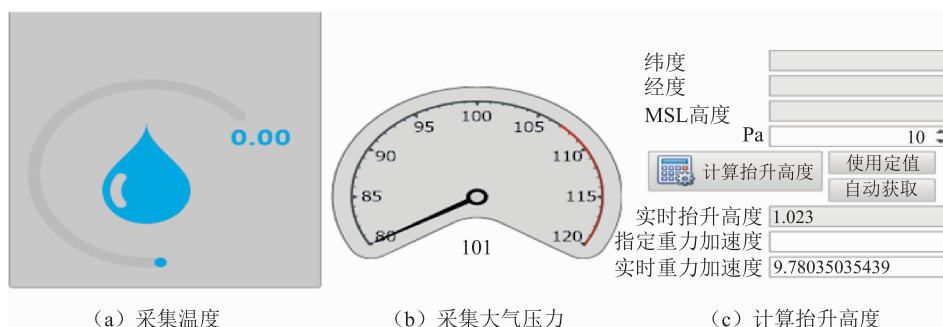


图 4 装置各影响量参数

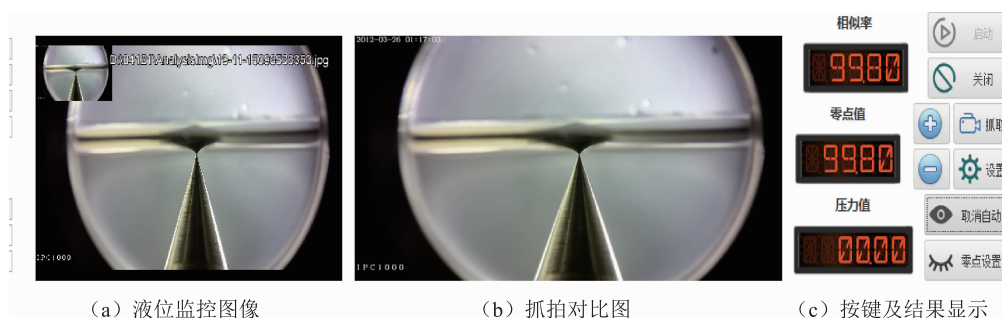


图 5 图像采集界面

时查看水面的波动变化,还实现了对整个系统的故障诊断、信息采集预报和调度。以 PLC 和计算机为核心的信息处理机制完成对综合信息的管理、计算及检定过程的计划、调度、监视与自动化控制,实现了全集成自动化。水面波动区域及日志记录界面如图 6 所示。

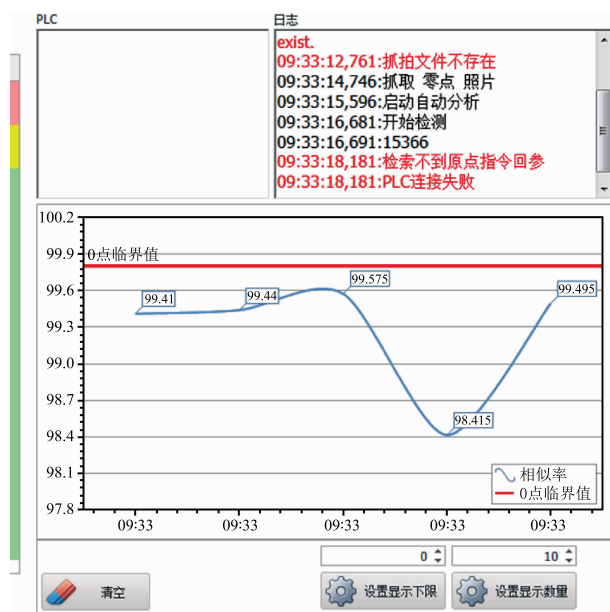


图 6 水面波动区域及日志记录

4.4 PLC 控制

PLC 控制界面如图 7 所示。可直接选取图 7 控制界面右侧的三个定值量程(1500, 2500, 60 Pa),也可以直接输入总量程压力值和平均份数,点击应用即可快速确定检测点;下方功能按钮分别为开始检测(选择好被检量程后,设置零点照片并自动分析,然后点击开始检测即可进行自动检定)、清零复位(点击后压

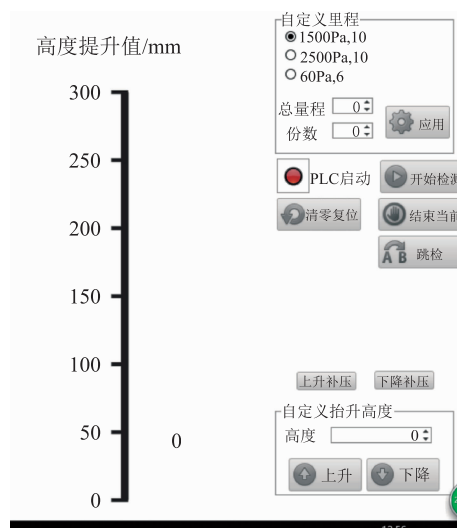


图 7 控制界面

力值清零,主副电机自动复位)、结束当前(可以人工判断检定结束)、跳过检测(可以跳过检测点)、上升补压(手动人工补压按钮可以更高提供准确度)、下降补压(人工降压按钮)、自定义抬升高度(根据抬升高度计算区域给出的抬升高度值,即需要检定的压力点值的换算高度,然后点击上升或下降检定)。

5 计量性能测试及不确定度分析

5.1 溯源情况

将全自动补偿式微压计送检到上级计量技术机构,以 0.005 级标准装置为标准器对其进行校准,各点校准数据见表 1。

表 1 溯源数据		Pa
标准压力平均值	被校示值	
500.03	500.00	
999.98	1000.00	
1499.93	1500.00	
2000.00	2000.00	
2500.03	2500.00	

由溯源数据可以看出,该设备符合一等补偿式微压计的最大允许误差要求,可以作为一等补偿式微压计使用。

5.2 测试数据及不确定度分析

为验证该设备的计量性能是否能够满足日常校准检定工作的需要,以该自动补偿式微压计作为标准器,依据 JJG 875-2005《数字压力计检定规程》对测量范围为 0~2 kPa、准确度等级为 0.02 级的精密数字压力计

进行检定,试验数据见表 2。

表 2 试验数据				Pa
标准 压力值	第一循环		第二循环	
	正行程	反行程	正行程	反行程
0	0.00	0.01	0.01	0.01
200	200.02	200.03	200.03	200.03
400	400.04	400.05	400.05	400.05
600	600.05	600.06	600.06	600.06
800	800.05	800.07	800.07	800.07
1000	1000.06	1000.09	1000.08	1000.09
1200	1200.08	1200.11	1200.09	1200.11
1400	1400.10	1400.12	1400.10	1400.12
1600	1600.12	1600.14	1600.13	1600.14
1800	1800.15	1800.16	1800.14	1800.17
2000	2000.18	2000.18	2000.17	2000.17

由试验数据可知,被测仪表线性趋于理想状态,误差在 0.01% 以内,两次重复性误差较小。试验结果满足重复性误差设计要求。

使用表 2 数据进行不确定度分析,以公式(2)为测量模型,各不确定度分量汇总见表 3。

$$p = \rho gh(1 - \frac{\rho_1}{\rho}) \times 10^{-3} \tag{2}$$

式中: p 为压力值,Pa; ρ 为试验温度下介质密度,kg/m³; ρ_1 为工作环境下空气密度,kg/m³; h 为对应压力值的介质高度,m。

表 3 不确定度分量汇总表				
标准不确定度	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数	输出值的标准不确定度/Pa
$u(p_1)$	光栅尺准确度	1 μm	9763.058 kg·m ⁻² ·s ⁻²	0.010
$u(p_2)$	分辨力	0.01 Pa	1	0.010
$u(p_3)$	零位对准	2 μm	9763.058 kg·m ⁻² ·s ⁻²	0.020
$u(p_4)$	测量点对准	2 μm	9763.058 kg·m ⁻² ·s ⁻²	0.020
$u(p_5)$	介质温度	0.15 ℃	0.049271 m ² ·s ⁻²	0.007
$u(p_6)$	重力加速度	0.00005 m·s ⁻²	249.558 kg·m ⁻²	0.012

因引入各不确定度分量的因素彼此独立,所以合成标准不确定度为

$$u(p) = \sqrt{\sum_{i=1}^6 [u(p_i)]^2} = 0.035 \text{ Pa}$$

取 $k=2$ ，则扩展不确定度

$$U = 2u(p) = 0.070 \text{ Pa}$$

根据不确定度分析得出，全自动补偿微压计在进行数字压力计校准时的测量不确定度 U 为 0.070 Pa 。因校准测量范围为 $0 \sim 2 \text{ kPa}$ 、准确度等级为 0.02 级的精密数字压力计的最大允许误差 $\delta_{\max} = 0.40 \text{ Pa}$ ，则

$$\frac{U}{\delta_{\max}} = \frac{0.07}{0.4} = \frac{1}{5.714} < \frac{1}{3}$$

由此证明本文研制的全自动补偿式微压计完全满足压力类计量器具量值传递的要求。

6 结束语

本文研制的全自动补偿式微压计利用高清摄像头进行图片获取，采用智能软件对所采集的图片进行分析读数，采用滑台电机控制位移提高测量准确度，同时增加传统补偿式微压计不具备的实时液相温度测量、实地重力加速度测量及大气压测量功能，有效减小各影响量所引入的误差。经实验及不确定度评定证明，本文研制的全自动补偿式微压计有效地解决了传统补偿式微压计在测量过程中存在的人员读数影响大、抬升准确度不高、温度修正计算方式不合理等问题，具有很好的准确性、稳定性与可靠性，并且智能化程度高，在减少人工劳动量的同时极大地提高了测量效率，具有重要技术推广价值。

参考文献

- [1] 李燕华, 悦进. JJG 2071-K2013《(-2.5~2.5)kPa 压力计量器具》检定系统表解读[J]. 中国计量, 2013(9): 121-122.
- [2] JJG 158-2013 补偿式微压计[S]. 北京: 中国计量出版社, 2013.
- [3] 甘蓉, 李雁灵. 如何使用补偿式微压计进行压力检测[J]. 中国测试技术, 2004, 30(6): 102-101.
- [4] 周新华. 人工智能中图像识别技术的应用分析[J]. 电脑知识与技术, 2019, 15(12): 172-173.
- [5] 周涓生. 最新温标纯水密度表[J]. 计量技术, 2000(3): 40-42.

- [6] 曾铁. 地球重力加速度公式、数据及图示[J]. 职大学报, 2013(2): 85-87, 89.
- [7] 江军. 在地球上的物体的重力加速度随纬度变化的关系探讨[J]. 科技创新与应用, 2018(26): 23-24.
- [8] 金建军. 基于伺服电机驱动的十字滑台 PLC 控制系统设计[J]. 自动化应用, 2018(2): 36-37, 43.
- [9] 闫继超, 李鑫武, 彭轶. 微压测量和校准技术分析与发展趋势[J]. 计测技术, 2017, 37(2): 11-14.
- [10] 李红丽, 孙俊峰, 赵春生, 等. 检定补偿式微压计应注意的问题[J]. 中国计量, 2009(11): 107-108.
- [11] 张贤, 盛晓岩, 李鑫武, 等. 微压力校准装置测量不确定度分析[J]. 计测技术, 2008, 28(5): 50-53.
- [12] 李海兵, 卓华, 仝立功. 传统补偿式微压计的技术改进[J]. 计量与测试技术, 2014, 41(4): 53-54.
- [13] 李燕华. 标准补偿式微压计不确定度分析[C]//2001 全国压力计量测试技术年会论文集. 2001.
- [14] 王馨梓, 李东旭. 标准补偿式微压计使用中影响其测量准确度原因的分析[J]. 计测技术, 2012, 32(s1): 125-127.
- [15] 卓华, 陈武卿, 吕明新. 补偿式微压计检定中的相关问题探讨[J]. 计量与测试技术, 2011(7): 13-14.

收稿日期: 2019-09-24

作者简介



李倩, 女, 贵阳人, 高级工程师, 工程硕士。全国压力计量技术委员会委员、中国计量测试学会压力计量专业委员会委员、中国计量测试学会真空计量专业委员会委员、国家一级注册计量师、计量标准二级考评员、省级法定计量检定机构考评员、省级检验检测机构资质认定评审员, 贵州省光子科学与技术科技创新人才团队成员。长期从事压力、温度、流量、容量等计量专业的技术工作, 主持国家质检总局科技计划项目 1 项、主持国家质检总局技装技改项目 2 项、筹建省级产业计量中心 2 项、编写国家计量技术规范 5 项、参与编写著作 2 部、实用新型 1 项、发表论文 10 余篇。