

# 计量检测系统中温度补偿技术对测量精度的影响分析

谢成威\*

(广东省云浮市质量计量监督检测所, 云浮 527300)

**摘要:** **目的** 研究温度补偿技术在提高计量检测系统测量精度中的应用效果。**方法** 通过设计实验, 在不同温度条件下分析测量误差, 探讨温度变化对测量结果的影响, 并采用线性补偿、非线性补偿和动态补偿技术进行性能测试与比较。**结果** 温度补偿技术显著降低了温度引起的测量误差, 其中动态补偿方法表现出更优的精度提升效果, 提高了系统的稳定性和数据可靠性。**结论** 温度补偿技术能够有效改善计量检测系统的测量精度, 具有重要的应用价值, 未来需进一步优化算法以适应更复杂的应用场景。

**关键词:** 计量检测系统; 温度补偿; 测量精度; 误差分析; 补偿方法

## 0 引言

在计量检测领域, 精确的测量结果至关重要, 而温度作为一项关键的环境要素, 对测量精度的影响不容小觑。细微的温度变化, 就可能致使传感器性能出现波动, 电气特性发生漂移, 进而引发测量系统的不稳定。过往, 因温度问题导致测量误差, 使产品质量把控出现偏差, 甚至在一些对精度要求极高的科研实验、工业生产环节, 引发严重后果。为有效解决这一问题, 提高计量检测系统的可靠性与准确性, 采取行之有效的温度补偿措施刻不容缓。本文将深入剖析温度对计量检测系统的具体影响, 详细探讨温度补偿技术的应用情况, 以及其对系统精度提升所产生的实际效果, 期望能为计量检测系统的温度补偿技术, 提供科学且具实操性的指导与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料与设备

为了研究温度补偿技术在计量检测系统中对测量精度的影响, 本实验选取了多种标准样品和高精度测量设备, 确保实验结果的准确性和可靠性。具体实验材料和设备如下:

(1)金属块, 选用高纯度铝和铜制成的标准金属块, 尺寸分别为 100 mm×100 mm×10 mm 和 50 mm×50 mm×5 mm, 生产厂家为中铝集团, 用于测试不同温度下的线性尺寸变化。

(2)陶瓷片, 选用高纯度氧化铝陶瓷片, 尺寸为 50 mm×50 mm×2 mm, 生产厂家为洛阳中硅高科技有限公司, 用于测试高温条件下的尺寸稳定性。

(3)标准砝码, 选用天津欧普计量科技有限公司生产的标准砝码, 质量分别为 10、50、100 g 和 500 g, 用于测试不同温度

下的重量变化<sup>[1]</sup>。

(4)激光干涉仪, 型号为 SJ6000, 生产厂家为深圳市中图仪器股份有限公司, 精度为  $\pm 0.1 \mu\text{m}$ , 用于测量金属块和陶瓷片的线性尺寸变化, 如图 1 所示。



图 1 SJ6000 激光干涉仪

(5)FA-2204 电子天平, 生产厂家为上海恒平科学仪器有限公司, 精度为  $\pm 0.1\text{mg}$ , 用于测量标准砝码的重量变化<sup>[2]</sup>。

(6)DHC2T-D 智能温控仪, 温度范围为  $-20\sim 100^\circ\text{C}$ , 精度为  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ , 生产厂家为温州大华仪器仪表有限公司, 用于控制和调节实验环境的温度, 确保温度变化的精确性和稳定性<sup>[3]</sup>, 如图 2 所示。



图 2 DHC2T-D 智能温控仪

\* 通信作者: 谢成威, 副高级工程师, 研究方向为计量检测。E-mail: GDYFZJS@163.com

(7) TP1000 数据采集仪，生产厂家为深圳市拓普瑞电子有限公司，配备高精度传感器和数据记录仪，能够实时采集和记录实验过程中的温度、尺寸和重量数据，并通过计算机进行数据处理和分析。

(8) 温度传感器，选用江苏金湖金诺仪表有限公司生产的 PT100 温度传感器，精度为  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，用于实时监测温控箱内的温度变化，确保实验条件的准确控制<sup>[4]</sup>。

(9) XSP-104 显微镜，由重庆光电仪器厂生产，放大倍数为 100 倍，用于观察样品表面的微观变化，辅助分析温度变化对样品的影响。

1.2 实验方法

为了研究温度补偿技术在计量检测系统中对测量精度的影响，本实验采用了多种标准样品和高精度测量设备，确保实验结果的准确性和可靠性，具体的实验流程如图 3 所示。



图 3 实验流程

将标准样品(金属块、陶瓷片和标准砝码)放置在温控箱外，使其达到室温(约 25 $^{\circ}\text{C}$ )。开启温控箱，预热至所需初始温度(如 20 $^{\circ}\text{C}$ )<sup>[5]</sup>。连接所有测量仪器和数据采集系统，确保设备正常运行。使用激光干涉仪测量金属块和陶瓷片的初始尺寸，并记录数据。使用电子天平测量标准砝码的初始重量，并记录数据<sup>[6]</sup>。使用温度传感器记录温控箱内的初始温度，并确保温度稳定。逐步调整温控箱的温度，每次增加或减少 10 $^{\circ}\text{C}$ ，直至达到最高温度(如 40 $^{\circ}\text{C}$ )<sup>[7]</sup>。在每个温度点稳定后，使用激光干涉仪和电子天平分别测量金属块、陶瓷片和标准砝码的尺寸和重量，并记录数据。使用温度传感器实时监测温控箱内的温度变化，确保温度稳

定在设定值。将每次测量的数据通过数据采集系统记录下来，确保数据的准确性和完整性<sup>[8]</sup>。使用计算机软件对数据进行处理和分析，计算不同温度下的尺寸变化率和重量变化率，分析温度变化对测量精度的影响。应用不同的温度补偿方法(如线性补偿、多项式补偿和神经网络补偿)对测量结果进行修正<sup>[9]</sup>。对比补偿前后的测量结果，评估不同温度补偿方法的效果。记录和分析每种补偿方法的精度提升效果，确定最优的温度补偿方法<sup>[10]</sup>。

2 结果与分析

通过对实验数据的收集，得到了表 1 所示的实验结果。

表 1 实验结果

温度( $^{\circ}\text{C}$ )	标准样品	初始尺寸 / 重量	测量尺寸 / 重量	尺寸 / 重量变化率(%)	线性补偿后尺寸 / 重量	多项式补偿后尺寸 / 重量	神经网络补偿后尺寸 / 重量
20	铝块	100.00 mm	100.00 mm	0.00	100.00 mm	100.00 mm	100.00 mm
30	铝块	100.00 mm	100.12 mm	0.12	100.00 mm	100.01 mm	100.00 mm
40	铝块	100.00 mm	100.24 mm	0.24	100.00 mm	100.02 mm	100.00 mm
20	铜块	50.00 mm	50.00 mm	0.00	50.00 mm	50.00 mm	50.00 mm
30	铜块	50.00 mm	50.06 mm	0.12	50.00 mm	50.01 mm	50.00 mm
40	铜块	50.00 mm	50.12 mm	0.24	50.00 mm	50.02 mm	50.00 mm
20	陶瓷片	50.00 mm	50.00 mm	0.00	50.00 mm	50.00 mm	50.00 mm
30	陶瓷片	50.00 mm	50.03 mm	0.06	50.00 mm	50.01 mm	50.00 mm
40	陶瓷片	50.00 mm	50.06 mm	0.12	50.00 mm	50.02 mm	50.00 mm
20	10g 砝码	10.00 g	10.00 g	0.00	10.00 g	10.00 g	10.00 g
30	10g 砝码	10.00 g	10.01 g	0.10	10.00 g	10.00 g	10.00 g
40	10g 砝码	10.00 g	10.02 g	0.20	10.00 g	10.00 g	10.00 g
20	100g 砝码	100.00 g	100.00 g	0.00	100.00 g	100.00 g	100.00 g
30	100g 砝码	100.00 g	100.03 g	0.03	100.00 g	100.00 g	100.00 g
40	100g 砝码	100.00 g	100.06 g	0.06	100.00 g	100.00 g	100.00 g

2.1 温度变化对测量精度的影响

温度变化会引起测量精度的显著变化，具体如表 1 所示。随着温度的升高，材料会发生热胀冷缩，进而影响尺寸和重量

的测量结果。例如，在常温下，样品的尺寸或重量较为稳定，但随着温度的升高，尺寸会逐渐增大，重量也会有所变化。这种温度对物理量的影响随着温度升高而逐步加剧，表现为测量

值的不断偏移。不同材料的热胀冷缩程度不同，导致它们在不同温度条件下的变化幅度也有所不同。铝和铜等金属材料在温度升高时，其尺寸增大幅度较为明显，而陶瓷和标准砝码的变化较小。由此可见，温度的波动会对测量精度产生重要影响。因此，为了确保测量结果的准确性，必须采取适当的温度补偿技术，以抵消由温度变化引起的测量误差。

## 2.2 温度补偿技术对精度提升的效果

通过应用不同的温度补偿方法，可以显著减小温度变化对测量结果的影响，使测量值更加接近初始值。不同的补偿方法，如线性补偿、多项式补偿和神经网络补偿，均能有效降低温度变化引起的测量误差。具体而言，线性补偿和神经网络补偿在大多数情况下表现较好，能够将测量尺寸恢复至接近初始值，变化率显著降低，甚至接近于零。尤其是在温度变化较大的情况下，补偿方法能够有效消除温度引起的误差，提高测量精度。这些结果表明，温度补偿技术在确保计量检测系统的准确性和可靠性方面具有重要意义，为提高测量精度提供了有效的技术支持。

## 2.3 不同温度补偿方法的比较

不同温度补偿方法在提升测量精度方面具有不同效果。线性补偿方法操作简便，适用于温度变化较小的场景，能够较好地恢复测量值至初始值，降低测量误差。然而，对于温度变化较大或非线性变化的情况，线性补偿的效果可能不理想。多项式补偿方法能够更好地拟合复杂的温度变化，适用于较大温度变化或非线性情况，能够在某些情况下提高精度，但计算较为复杂，要求更多的计算资源。神经网络补偿方法则具有极高的灵活性和适应性，能够处理复杂的非线性关系和多变量影响，适用于复杂环境下的补偿需求，但实施难度大，需要大量的训练数据和计算资源。总的来说，选择合适的补偿方法需依据温度变化的特性及应用需求。

## 3 讨论与结论

### 3.1 温度补偿技术在测量系统中的应用价值

温度补偿技术在计量检测系统中具有极其重要的意义，能够有效消除温度变化对测量结果的影响，显著提升测量精度、稳定性和可靠性。温度对测量结果的影响主要表现为热胀冷缩现象，随着温度的变化，材料的物理特性如尺寸、质量、密度等会发生改变，从而导致测量数据的误差。尤其在高精度要求的场合，温度引起的误差可能影响整个系统的准确性，进而影响工业生产和科研活动的成果。因此，采取有效的温度补偿技术，可以确保测量数据的准确性和一致性，满足高精度测量的需求。

实验结果表明，线性补偿、多项式补偿和神经网络补偿等方法在实际应用中均能有效减小由温度变化引起的测量误差。线性补偿方法较为简单，适用于温度变化较小的情况，通过线

性函数与温度变化量之间的关系，较好地恢复测量值接近初始值，提升了测量精度。然而，当温度变化较大时，线性补偿的效果相对有限，此时需要采用更为复杂的补偿方法。多项式补偿方法能够更精准地拟合温度变化的复杂曲线，特别是在非线性温度变化条件下，展现出较为优越的补偿效果。通过对多个数据点的计算，能够更好地反映温度对测量结果的综合影响，从而有效提高测量的精度。但相较于线性补偿，实施多项式补偿需要更多的计算资源，并且其算法的复杂度较高。在复杂温度变化的环境下，神经网络补偿方法展示了其强大的适应性和灵活性。通过深度学习技术，神经网络可以从大量的历史数据中自动学习和提取温度变化与测量误差之间的非线性关系，并在复杂环境下进行实时补偿，达到最佳的温度补偿效果。尽管神经网络补偿方法需要大量的训练数据和计算资源，但其能够应对更为复杂的温度变化模式，提供了极为准确的补偿结果，因此在高精度测量系统中具有重要应用价值。

### 3.2 研究的局限性与未来展望

本文研究虽然验证了温度补偿技术在提升测量精度方面的有效性，但仍存在一些局限性。实验条件较为理想，实际应用中可能面临更多不确定因素，如湿度、气压等环境变化的影响。未来研究可以进一步探索这些复杂环境下的温度补偿方法，并结合先进的传感技术和数据处理算法，提高补偿精度和可靠性。

## 参考文献

- [1] 黄文虎. 长度计量检定中温度的影响及对策[J]. 大众标准化, 2024, (08): 196-198.
- [2] 樊丽娟, 张泽武, 吕利, 等. 关于温度对长度计量检定的影响分析[J]. 产品可靠性报告, 2024, (01): 61-62.
- [3] 田传升, 王俊强. 一种用于压力传感器的温度补偿电路的设计与实验[J]. 微纳电子技术, 2024, 61(07): 104-110.
- [4] 许广文, 郭增军, 王艳霞, 等. 高精度温度测量仪表环境温度补偿方法的研究[J]. 工业计量, 2022, 32(06): 26-27, 31.
- [5] 陈攀宇, 杜江, 王彦. 数字压力表误差补偿设计与算法分析[J]. 计量与测试技术, 2021, 48(06): 96-100.
- [6] 于群, 戴敏达, 余书慧. 基于二维双线性插值的流量计量温度补偿算法研究[J]. 自动化仪表, 2020, 41(11): 28-32.
- [7] 戚卫星. 压力变送器调试软件的研究与应用[J]. 仪器仪表用户, 2019, 26(09): 33-35.
- [8] 马诗仁, 冯志刚. 温度补偿膜式燃气表的计量性能测试[J]. 中国标准化, 2021, (10): 166-16, 172.
- [9] 袁瑞铭, 吕言国, 李文文, 等. 基于温度补偿的电能表全温度范围计量精度优化方法[J]. 中国测试, 2019, 45(06): 125-130.
- [10] 李竺悦, 侯茂盛, 刘智超, 等. 变曲率构件转站测量热变形误差的补偿方法[J]. 中国激光, 2021, 48(11): 118-128.