

低温环境对湿度传感器检定影响研究

郭浩 孙文博 张瑜 王雪松

吉林省气象探测保障中心

DOI:10.12238/eep.v8i1.2454

[摘要] 湿度传感器作为气象观测系统的核心组件,其精度直接关系到环境数据的可靠性。现行计量检定规程(如《JJG(气象)003-2011》)规定湿度传感器检定环境温度为20°C,但实际应用场景中,传感器常暴露于极端低温环境。为探究低温对传感器性能的影响,本研究以吉林省冬季气候为背景,选取3支DHC1型湿度传感器,在-20°C、-10°C、0°C及20°C(对照)条件下,对其在30%、40%、55%、75%、95%RH五个湿度点的示值误差进行系统性测试。结果表明:低温环境下传感器误差随温度降低呈递增趋势,尤其在高湿度(>80%RH)区域最大误差接近7%,但仍符合规程限值(≤8%RH)。研究提出低温环境下需优化传感器校准策略,并建议修订现行检定规程以适配区域气候特征,为寒区气象设备计量提供参考。

[关键词] 低温; 湿度传感器; 湿度检定; 示值误差

中图分类号: S951.4+1 文献标识码: A

Impact of Low-Temperature Environments on Humidity Sensor Verification: A Study

Hao Guo Wenbo Sun Yu Zhang Xuesong Wang

Jilin Meteorological Observation Support Center

[Abstract] As a core component of meteorological observation systems, the accuracy of humidity sensors directly affects the reliability of environmental data. Current metrological verification protocols (e.g., JJG (Meteorological) 003-2011) specify a calibration temperature of 20°C for humidity sensors. However, in practical applications, these sensors are often exposed to extreme low-temperature conditions. To investigate the impact of low temperatures on sensor performance, this study conducted systematic tests on three DHC1-type humidity sensors under -20°C, -10°C, 0°C, and 20°C (control) conditions, focusing on their indication errors at five humidity points: 30%, 40%, 55%, 75%, and 95%RH. The experiments were designed to simulate the winter climate of Jilin Province, China. Results revealed that sensor errors increased progressively with decreasing temperature in low-temperature environments, particularly in high-humidity regions (>80%RH), where the maximum error approached 7%RH. Despite this, the sensors remained compliant with the protocol's tolerance limit (≤8%RH). The study proposes optimizing calibration strategies for humidity sensors in low-temperature environments and recommends revising current verification protocols to account for regional climatic characteristics. These findings provide critical insights for the metrological management of meteorological equipment in cold regions.

[Key words] Low temperature; Humidity sensor; Humidity verification; Indication error

引言

(1) 研究背景与意义。湿度传感器广泛应用于气象、农业、工业等领域,其计量性能直接影响数据质量^[1]。目前,国内外主要检定规范(如《JJG(气象)003-2011》《JJG(气象)1076-2020》)均以20°C为基准环境温度,但实际应用中,传感器常面临极端气候挑战^[2]。以吉林省为例,其冬季平均气温低于-11°C,最低可达-30°C,而现有检定规程未涵盖低温场景,导致实验室数据与实际工况存在潜在偏差。研究低温对传感器性能的影响,不仅可提升寒区气象观测的准确性,还可为相关标准的修订提供科学依

据。(2)国内外研究现状。近年来,低温环境对电子器件的影响备受关注。研究表明,低温会导致传感器敏感材料(如高分子电容或电阻式元件)的介电常数变化,进而引起湿度响应漂移^[3]。然而,现有研究多聚焦于常温或高温环境,对低温条件下湿度传感器的系统性检定分析仍较匮乏。国内学者曾对-10°C下传感器的稳定性进行测试,但未涉及更低温区及多湿度点的综合评估^[4]。本研究填补了这一空白,通过多温度梯度实验揭示低温对传感器性能的量化影响。(3)研究目标与方法。本研究以吉林省典型低温环境为切入点,结合《JJG(气象)003-2011》检定要求,设计

多温区(-20℃至20℃)、多湿度点(30%~95%RH)的对比实验,分析DHC1型湿度传感器的低温适应性。采用高精度露点仪作为标准器,结合低温湿度发生器模拟真实环境,通过统计学方法评估误差分布规律,最终提出寒区传感器校准优化建议。

1 实验方案设计

1.1 实验设备与选型依据

1.1.1 被检传感器: DHC1型湿度传感器。选用气象自动站广泛采用的DHC1型湿度传感器,其技术参数如表1所示。该型号具有响应快、抗结露等优点,但在低温下的长期稳定性尚未明确,故作为典型研究对象。

表1 DHC1型传感器技术参数

参数	指标
测量范围	5%~100%RH
最大允许误差	±3%(<80%RH), ±5%(>80%RH)
分辨率	±1%RH

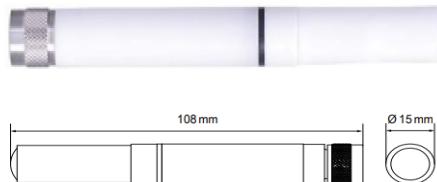


图1 DHC1型湿度传感器

1.1.2 标准器: 神荣露点仪。选用神荣高精度露点仪作为基准设备,其露点温度覆盖-35~50℃,湿度测量精度达±0.2℃(对应±0.5%RH),满足《JJG(气象)003-2011》对标准器的要求。



图2 神荣高精度露点仪

1.1.3 环境模拟设备: L-PRH低温湿度发生器。该设备可实现-30~50℃的温度控制及5%~95%RH的湿度调节,温湿度分辨率分别为0.1℃和0.01%RH,确保实验环境的高度可控性。

1.1.4 数据采集方式: 六位半万用表。通过采集器进行信号采集时,由于内部结构和连接方式会造成一定的精度损失,为了保证输出数据的精度,这里考虑使用万用表代替采集器对湿度传感器的模拟湿度信号进行读取。

如下图3 DHC1型号湿度传感器通讯方式所示,湿度传感器通过感湿模块获得的环境湿度,并通过接口5输出模拟信号湿度。其中湿度信号0~100%RH对应电压0~1V,即可通过万用表测量出湿度传感器的电压信号,再通过计算获得精确的湿度值。

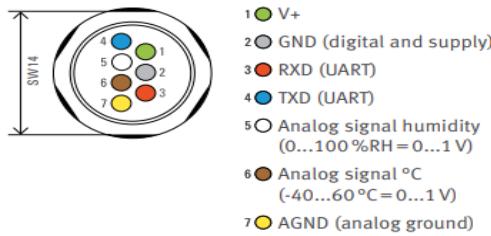


图3 DHC1型号湿度传感器通讯方式

1.2 实验设计与数据采集

1.2.1 实验流程。实验准备: 正式实验前将传感器与标准器在20℃环境下静置24小时,消除历史温湿度残留影响。并将标准器探头与标准器显示单元相连,将被检湿度传感器与万用表相连。将露点传感器置于低温湿度发生器内实验舱的中心位置,3支湿度传感器被检传感器置于低温湿度发生器内实验舱的有效空间内,放置的方式应不影响箱内空气循环,要求3支湿度传感器及标准器头部同高并互不触碰。封闭低温湿度发生器箱门后打开精密露点仪开关、万用表开关,启动低温湿度发生器并在开始实验前预热30min。

环境模拟: 在L-PRH发生器内依次设定-20℃、-10℃、0℃及20℃(对照)四个温度点,每个温度点下按30%、40%、55%、75%、95%RH顺序调节湿度。在设定工作温度下,当箱内湿度达到目标值,并且当湿度波动小于±1.5%RH时,开始检定,实验时每30s读取一次被检湿度传感器与湿度标准器的示值,每个实验点间隔读取3次数据。为了保证被检湿度传感器输出数据精度更高,采用万用表对传感器的输出电压进行测量,再通过计算转换为高精度的湿度数据。

1.2.2 数据采集。数据记录: 每湿度点稳定后(波动<±1.5%RH),使用万用表采集传感器输出电压,结合标定曲线(0~1V对应0~100%RH)转换为湿度值,同步记录露点仪标准值。

误差计算方法: 用被检湿度传感器3次输出平均值,作为该湿度检定点上的测量值,用精密露点仪3次测量的平均值加上计量修正值作为标准值,用被检湿度传感器测量值减去标准值,得出被检湿度传感器在该湿度检定点上的示值误差。

$$\Delta h_i = \bar{h}_i - \bar{h}_s$$

式中: Δh_i —被检湿度传感器在各检定点上的测量误差, %RH;

\bar{h}_i —被检湿度传感器在各检定点上3次输出值的平均值, %RH;

\bar{h}_s —精密露点仪在各检定点上3次测量值的平均值, %RH;

按照《JJG(气象)003-2011自动气象站湿度传感器检定规程》中所规定示值误差: ≤4%RH(相对湿度≤80%RH); ≤8%RH(相对湿度>80%RH)为合格。

2 实验结果与分析

2.1 低温对传感器误差的影响规律

由表2及图4可见,低温环境下传感器误差显著增大:

温度依赖性: 在相同湿度下, -20℃时的平均误差较20℃增加1.5~2.2倍。例如, 95%RH点误差从20℃的-2.54%RH升至-6.78%RH。

湿度依赖性: 高湿度区(>80%RH)误差增幅更明显, -20℃时最大误差达-7.02%RH, 接近规程限值(8%RH)。

表2 传感器示值误差(%RH)

测试点 ^③	-20℃ ^③	-10℃ ^③	0℃ ^③	20℃ ^③
30%RH ^③	-1.95/-2.05/-2.00 ^③	-1.28/-1.32/-1.56 ^③	-1.05/-1.33/-1.23 ^③	-0.76/-1.57/-1.78 ^③
40%RH ^③	-2.18/-2.53/-2.44 ^③	-1.78/-2.05/-2.13 ^③	-1.43/-1.12/-1.71 ^③	-0.78/-1.36/-1.48 ^③
55%RH ^③	-2.55/-2.63/-2.72 ^③	-2.25/-2.38/-2.52 ^③	-1.83/-1.92/-1.80 ^③	-2.00/-2.77/-2.60 ^③
75%RH ^③	-2.97/-3.33/3.52 ^③	-3.10/-3.25/-3.38 ^③	-1.92/-1.98/-2.21 ^③	-1.97/-2.87/-2.23 ^③
95%RH ^③	-6.78/-7.02/-6.85 ^③	-5.23/-5.37/-5.45 ^③	-3.25/-3.33/-3.56 ^③	-2.54/-2.35/-2.77 ^③

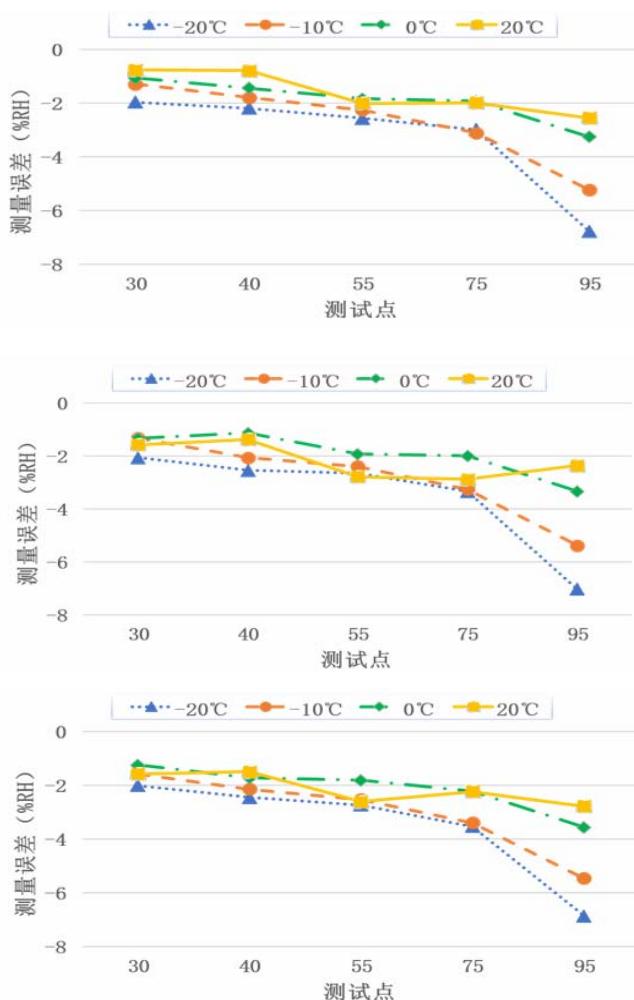


图4 不同温度下传感器误差趋势图

(注: 横轴为湿度点, 纵轴为误差值; 曲线显示-20℃误差斜率显著高于其他温度。)

2.2 误差成因分析

结合传感器工作原理, 低温导致误差增大的可能原因包括:

(1) 材料特性变化: 电容式传感器的介电高分子膜在低温下刚性增加, 吸湿速率降低, 导致响应滞后^[5]。(2) 结露风险: 高湿度环境下, 低温易使传感器表面产生微量冷凝, 干扰电容测量值。(3) 电路漂移: 低温可能引起信号调理电路的基准电压偏移, 放大输出误差^[6]。

2.3 应用建议

针对湿度传感器在低温环境下的特性, 建议气象部门在冬季增加传感器现场校准频次, 尤其在-10℃以下环境中。结合传感器在寒区如吉林地区的实际应用环境, 同时建议完善湿度传感器检定规程中关于低温环境的检定条款, 明确-20℃至0℃环境下的误差允许范围。

3 结论

通过三支DHC1型湿度传感器在低温环境下的检定误差对比实验可知, 湿度传感器测量值与标准器的误差随温度降低呈非线性增长, -20℃时最大误差达-7.02%RH, 但仍符合现行规程要求。同时高湿度点(>80%RH)与低温点(<0℃)的耦合效应加剧误差了传感器的误差范围, 需作为寒区传感器校准的重点关注区间。

参考文献

- [1] 安力珺, 李生慧, 吴勇. 高原低温环境对两种不同型号湿度传感器的影响[J]. 青海科技, 2019, 26(03):94-98.
- [2] 杨波, 李文博, 张昆. HMP45D与HMP155A温湿度传感器温度特性对比[J]. 气象科技, 2015, 43(03):426-429.
- [3] 张巍, 刘智敏, 许志佳, 等. 高分子湿敏电容温度特性研究[J]. 传感器世界, 2020, 26(11):11-16.
- [4] 董汉鹏, 张威. 半导体乙醇传感器的湿度影响与氧化钯的应用[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(3):49-51, 57.
- [5] Zhang Y, Kang L, Yao S, et al. Flexible capacitive humidity sensor based on potassium ion-doped PVA/CAB double-layer sensing film[J]. Microsystem Technologies, 2024, (prepublish):1-8.
- [6] 韩莹, 沙莉, 朱明宇, 等. 湿敏电容湿度传感器性能测试方法[J]. 自动化与仪表, 2024, 39(10):118-123.

作者简介:

郭浩(1995--), 男, 汉族, 吉林榆树人, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向: 气象计量检定。