doi：10.11823/j.issn.1674-5795.2017.01.10

气象用湿度传感器低温测量探讨

沙莉[1]，管地[2]，张博宇[3]，贾志刚[4]，冯俐[1]
（1. 辽宁省气象装备保障中心，辽宁 沈阳 110166；2. 辽宁省计量科学研究院，辽宁 沈阳 110013；
3. 本溪市气象局，辽宁 本溪 117000；4. 北京理弘远见科贸有限责任公司，北京 100029）

摘 要：通过湿度传感器的低温性能测试研究，掌握温度变化对湿度测量准确度的影响量。通过随机挑选的3支湿敏电容湿度传感器在实验室不同的温度点下开展湿度全量程测试，在测试温度低于0℃时，计量标准的两种计算方法-标准方法和WMO法，与之进行比对分析，验证低温时湿度测量的两种计算方法的相关性和差异性，进而定量地分析0~-40℃环境下湿度计量的温度影响量。

关键词：相对湿度；低温影响；湿度传感器；饱和水汽压；过冷水
中图分类号：TB943 **文献标识码**：A **文章编号**：1674-5795(2017)01-0038-03

Analysis of Low Temperature Measurement of Meteorological Humidity Sensors

SHA Li[1], GUAN Di[2], ZHANG Boyu[3], JIA Zhigang[2], FENG Li[1]
(1. Meteorological Equipment Support Center in Liaoning Province, Shenyang 110166, China;
2. Liaoning Provincial Institute of Metrology, Shenyang 110013, China; 3. Meteorologic Bureau of Benxi, Benxi 117000, China;
4. Beijing Lihongyuanjian Technology and Trade Company, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to master the effect of humidity accuracy caused by the environment temperature changing, we conducted research in low temperature measurement of humidity sensors. Three humidity-sensitive capacitance sensors were selected at random to do full-scale humidity measurement at different temperature points in the laboratory. When the measurement temperatures were below 0℃, comparative analysis was done between the two calculating methods of the measurement standards, to prove the relativity and the difference between the two calculating methods on the humidity measurement and then to analyze the temperature correction of humidity measurement at 0~-40℃.

Key words: relative humidity; influence of low temperature; humidity sensor; saturated vapor pressure; supercooled water

0 引言

空气湿度是气象观测中的一个很重要的参数。通常气象分析和预报、气候研究以及水文、农业、航空服务和环境监测等许多领域中都需要地球表面的湿度测量，低温环境下相对湿度的测量主要应用在气象高空探测、电子仪器设备环境试验等领域[1]，目前气象部门采用的湿敏电容式湿度传感器，其工作原理为空气中的水分子透过多孔金电极被感湿膜吸附，使得两电极间的介电常数发生变化，根据电容量的变化可测得空气的相对湿度，其计量性能不仅受空气湿度变化的影响还与环境温度的影响存在着相关性，尤其在低温条件下，相对湿度的计算方法及测量误差来源的探索，对传感器的生产和各行业的应用研究是非常必要的。据统计在5气象高空探测的温度环境一般为-30℃[3]，故低温状态下湿度传感器计量特性的研究，对气象探测数据的准确性是非常必要的。长期以来湿度计量研究在地表温度状态下做了大量的工作，但对低温状态下气象计量检定/校准的数据资料只能证明在常温状态下湿度传感器的非线性特征，湿度传感器在低温状态下的响应特性是什么呢？这将成为气象探测领域的一个现实需求。

本文通过对155型湿度传感器进行温度影响的专门测试，依据相同湿度测试点在不同温度下测量结果的比对分析，找出了温度变化对空气湿度测量结果的影响，探讨在实验室测量空气湿度时温度修正的必要性。

1 资料与方法

1.1 湿度值的获取

相对湿度测量有许多不同的方法，应用于气象观测领域的相对湿度测量目前主要采用凝结法和吸收法物

收稿日期：2016-11-29
作者简介：沙莉(1973-)，女，高级工程师，从事气象计量研究。

理原理的测量仪器代替原来的干湿表法测量仪器。应用凝结原理的测量仪器多为冷镜式湿度计，测量露点温度 T_d（或霜点温度 T_f），多用于计量标准器。采用吸收原理的测量仪器的敏感元件多为吸水性材料，应用其电特性变化对环境湿度的非线性响应制成测量传感器，目前采用吸收法的湿度传感器在气象观测领域得广泛应用。

本文试验用的设备采用双压法湿度发生器，该发生器可提供 0℃以下低温环境校准湿度计或湿度传感器，湿度发生范围从相对湿度 10%到 98%，相对湿度最大允许误差±1%。计量标准器采用冷镜式露点仪作为湿度计量标准设备，露点测量范围为-40 ℃到50 ℃，露点测量最大允许误差：±0.1℃。对应相对湿度最大允许误差为±0.1%~1%。测试方法采用比较法，测量结果均换算成采用相对湿度值做为测量结果的计算，相对湿度值的换算见公式

$$U = \frac{Pc}{Ps} \times 100\ \% \qquad (1)$$

式中：Pc 为水汽分压力，Pa；Ps 为冰面/水面上的饱和水汽压，Pa；其中湿度发生器在测试温度为负温时为冰面上的饱和水汽压，露点仪和湿度传感器在负温时为水面上的饱和水汽压；饱和水汽压使用 Wexler 公式计算。

1.2　测试方法

将标准器与测试传感器的感应部分，头部对齐相互碰触测试腔后传感器之间传感器与测试腔壁及腔底均保留一定距离将测试室处于密封状态。采集器和湿度传感器的信号地与电源测量端子的负端并接在一起以避免电磁干扰。为提高响应时间并减少测量误差来源，测试传感器的感应部分未安装保护盖。

温度测试点依次按-30，-20，-10，10 ℃设定，每个温度点相对湿度测试点依次按 10 %，20 %，30 %，40 %，50 %，60 %，70 %，80 %，90 %的全量程湿度点进行测试。

为消除随机误差的影响，每个测试点读数 6 遍取平均值作为测试结果，同时计算各温度点上的测量误差的标准偏差（离散性），以考核测量准确度。

2　测试结果分析

2.1　测量误差随温度的变化

低温湿度的计算方法有两种，湿度发生器采用标准方法，气象用露点仪采用 WMO 法[4]。故相对湿度在 0~-40 ℃环境下用两种方法通过计算得到的相对湿度值理论上存在着差值，其理论差值的比较图如图 1 所示。数据值为冷镜式露点仪的相对湿度与湿度发生器的差值，单位为%RH。

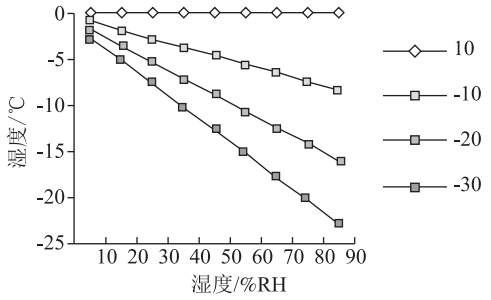

图 1　湿度发生器与露点仪计算值比较图

为了表达相同湿度测试点在不同温度下测量结果的一致性，通常以横坐标作为湿度测试点，纵坐标作为湿度测量误差，将测量结果绘制成误差数据分析曲线，分析温度对传感器的影响特性。应用本文 1.2 提供的测试方法，分别对三只 155 型温湿传感器进行测试而取得的数据结果，在不同的温度点，分别计算露点仪和被检传感器与湿度发生器的相对湿度差值而得到的数据趋势曲线如图 2~4 所示。

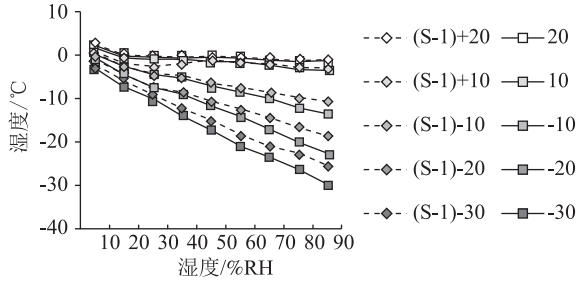

图 2　1 号传感器与标准器的温度对比曲线

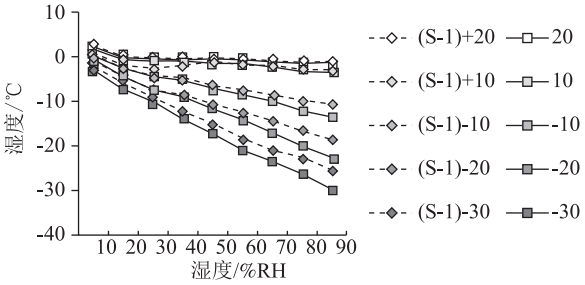

图 3　2 号传感器与标准器的温度对比曲线

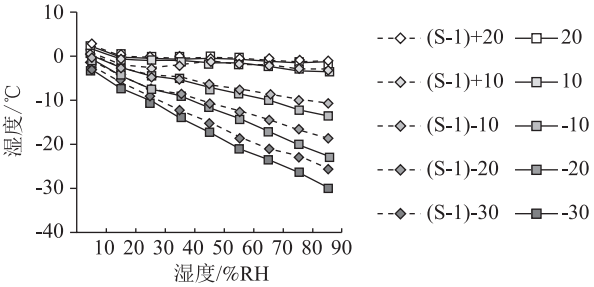

图 4　3 号传感器与标准器的温度对比曲线

2.2 数据分析

由于在测试前考虑到冷镜式露点仪由于发生过冷水现象而导致的测量误差问题，采用了低温至高温，低湿至高湿的的测试顺序处理来消除过冷水，从测量结果来看-20 ℃、-10 ℃曲线无拐点，效果良好。

在各个温度点下，三支湿度传感器保持了较好的一致性，相对差值最大在低温高湿点 90% RH 检定点处。在正温时，露点仪测量值在低湿点出现明显拐点，其它湿度点湿度传感器与露点仪和湿度发生器的一致性较好，随着湿度的增加略放大趋势，误差范围集中在 1 %RH~2.5 %RH。低湿出现拐点推测为露点仪测量时出现了过冷水，将其作为过冷水对待，而进行数据还原为非过冷水后，则数据保持了较好的一致性。

通过图 24 可见湿度传感器和露点仪具有较好的一致性，湿度传感器的误差随温度的降低呈放大趋势，相同温度下湿度传感器的误差随湿度的增高而增大。根据测试数据，测试温度越低，露点仪测量温度与湿度发生器差值越大，应考虑外界温度的影响和湿度传感器的自热效应引起的影响量，冷镜式露点仪的的相对湿度值是由测量湿气温度和露点值计算而得，根据计算公式相同的温度，露点误差引起的湿度误差随湿度的增高而显著的增高，会出现湿度加大误差的趋势。

3 结论

1)在负温时，湿度理论值与测量数据保持了较好的一致性，验证了负温时湿度的两种计算方法 WMO 法和标准方法的相关性。

2)当湿度传感器在 0 ℃以下温度条件下测试时，密闭腔体内的温度的变化对标准器读数和测量结果造成的影响是不可忽略的，故在低温湿度测量时，有必要定量地考虑由温度变化带来的影响量，对测量结果加以修正，以提高湿度传感器测量的准确度。

参 考 文 献

[1] WMO，CIMO. 气象仪器和观测方法指南[M]. 6 版. 中国气象局监测网络司. 北京：气象出版社，2005：58-84.

[2] 孙秉军. 湿度测量传感器技术[J]. 现代科学仪器，1994，31(3)：47-48.

[3] 米季德，崔继良. 北京高空温度统计特征[J]. 气象学报，1999，57(2)：236-241.

[4] 李占元，杨菊. 低温环境相对湿度的测量[J]. 中国计量，2005，41(2)：62-63.

[5] 付锡桂，朱乐坤. HMP45D 湿度传感器温度特性测试与分析[J]. 气象科技，2009，37(5)：584-586.

[6] 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，2009，43(3)：426-429.

[7] 李英干，范金鹏. 湿度测量[M]. 北京：气象出版社，1990：310-315.

[8] 李振杰. 湿度测量方法研究[J]. 计量与测试技术，2011，38(6)：41-44.

[9] 林之融，庄锦祥. 光学式水蒸汽湿度测量仪的研制[J]. 厦门大学学报(自然科学版)，1996，35(4)：518~521.

运输安全，计量先行

Martin Milton
Director of the BIPM

当今的世界，于公于私都离不开安全可靠的交通运输，这是保证现代社会一帆风顺的最重要的因素之一。

毋庸置疑，大家对运输方式的革新和完善都有着明确的需求，但同样不可小觑的是，这些运输方式无论是在经济效益方面还是在对环境的影响方面，也必须满足越来越严格的要求。从自行车到货柜船、小汽车到宇宙飞船，各式各样的交通运输工具都需要满足一定的标准要求。只有遵循这些标准，国内和国际社会才能井然有序。这些标准可以在安全性、经济性以及尾气排放等方方面面给出具体的要求。

标准的执行取决于计量技术和计量标准。至于各个国家计量机构，则应该着力研究以下这些最为迫切的计量领域：迅速而准确地测量海运集装箱的重量，确保货柜船装卸安全；对飞行器的低摩擦系数表面和空气动力外形进行表征，将燃油消耗量降至最低；有效测量机动车尾气排放的化学组成，帮助监管机构和城市当局控制环境污染问题。

当今社会对运输方式的便捷性和高效性的要求日益严格，与之相伴的是用以支持这些要求的计量技术和标准。凭借新科技的支持，这样一些要求必将最终得到满足，而这些得到满足的要求又将反过来对计量行业提出新的挑战。