

湿度表(计) 检定装置不确定度分析

朱乐坤 温晓清

(国家气象计量站, 北京 100081)

摘要 湿度检定装置的不确定度,直接影响到湿度传感器和各种湿度测量仪器的检测结果。该文针对我国省级气象计量单位,现用的湿度表(计)检定装置,从检定装置的组成、主要误差来源及分类入手,借鉴国内外通用的不确定度分析方法,介绍整个湿度检定装置的不确定度测试与评估。

关键词 检定装置 误差来源 不确定度分析

引言

湿度表(计)检定装置,是由 DSP-2 型标准数字式通风干湿表和 DJM-10 型湿度检定箱组成。新的检定装置已在全国省级气象计量部门推广应用,实现了湿度表(计)检定的自动化,减轻了检定人员的劳动强度,提高了检定结果的准确度。

作为省级湿度量值传递检定装置,要定期接受省技术监督部门的标准考核。通过标准考核的一项重要工作是正确填写标准检定装置的建标技术报告,根据以往接受考核暴露出的问题来分析,主要原因有两个方面:首先是填写检定装置的误差来源存在缺陷,其次是由于填写不规范导致不能满足考核要求。为此广大气象计量检定人员迫切希望能有一个规范的湿度表(计)检定装置的误差分析范本出台,以便在今后的误差分析报告填写时得以借鉴。

1 检定装置组成及主要技术指标

1.1 检定装置组成

湿度表(计)的检定装置由标准器(DSP-2 型标准数字式通风干湿表)和 DJM-10 型湿度检定箱组成。

1.2 主要技术指标

(1) DSP-2 型标准数字式通风干湿表^[1]

测量范围:干、湿球温度 0 ~ 40 °C,相对湿度

10 % ~ 100 %;

不确定度:干、湿球温度 ≤ 0.06 °C;相对湿度 ≤ 2 %。

(2) DJM-10 型湿度检定箱^[2]

湿度调节范围:20 % ~ 100 %;

湿度场均匀度: $\leq \pm 1$ %;

湿度场波动度: $\leq \pm 1.5$ %。

2 测量不确定度分量

整个装置所复现的湿度量值的不确定度分量应包括:标准器测量结果的不确定度(A类标准不确定度);湿度检定箱内湿度场的不稳定性(波动度)和不均匀性(水平和垂直最大湿度差,简称均匀度)所引起的不确定度和标准器的修正值的不稳定性所引起的不确定度(B类标准不确定度)。

3 标准不确定度的测试与评定

3.1 标准不确定度的 A类评定

直接用 DSP-2 型标准通风干湿表测量湿度检定箱内的湿度,选取 3 个湿度点:分别在 90 %、50 %、30 %相对湿度点上测试,每个湿度点上等间隔(间隔为 1 min)测量 10 次,测量数据如表 1 所示^[3]。

根据以上测试数据,利用式(1)至式(3)计算每个测试点上的标准偏差^[4](A类标准不确定度)。

表 1 设定湿度点测量数据

90 %RH	50 %RH	30 %RH
90 .23	50 .24	30 .51
90 .29	50 .64	30 .59
90 .39	50 .78	30 .69
90 .69	50 .89	30 .91
90 .88	50 .92	30 .67
90 .72	50 .74	30 .59
90 .58	50 .87	30 .87
90 .65	50 .65	30 .56
90 .69	50 .48	30 .32
90 .32	50 .79	30 .67

$$u_{A90} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2}{10(10-1)}} = 0.22 \quad (1)$$

$$u_{A50} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2}{10(10-1)}} = 0.21 \quad (2)$$

$$u_{A30} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)^2}{10(10-1)}} = 0.17 \quad (3)$$

式中： u_{A90} —— 测试点为 90 % 时的标准不确定度；
 u_{A50} —— 测试点为 50 % 时的标准不确定度；
 u_{A30} —— 测试点为 30 % 时的标准不确定度；
 R_i —— 同一测试点 DSP 标准干湿表的测量结果；
 \bar{R}_i —— 同一测试点 DSP 标准干湿表测量结果平均值。

根据式(4) 计算湿度检定装置的 A 类标准不确定度：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^3 u_{Aj}^2}{j}} = \sqrt{\frac{(u_{A90}^2 + u_{A50}^2 + u_{A30}^2)}{3}} = 0.20 \quad (4)$$

3.2 标准不确定度的 B 类评定

3.2.1 标准器的传递误差

DSP 标准通风干湿表的允许误差限,采用生产单位给出的结果为 $\pm 2.0\%$,取正态分布, $k=2$,标准不确定度 u_{B1} 为 1.0% 。

3.2.2 标准器的不稳定性

DSP-2 型标准通风干湿表每两年送国家气象计量站检定一次,其修正值的不稳定性所引入的标准

不确定度应为稳定性的实验标准差。在进行标准器的不稳定性分析时,应利用同一台标准器的多个检定结果进行统计。

利用每次检定结果中各检定点上修正值的平均值 $(\bar{x}_n)_i$ 作为一次检定结果,如果某台标准通风干湿表共送检了 m 次,求出 m 次检定结果的标准差作为标准通风干湿表的修正值的不稳定性引入的标准不确定度。

$$u_{B2} = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m ((\bar{x}_n)_i - \bar{x}_m)^2}{(m-1)}} \quad (5)$$

$$\bar{x}_m = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{x}_n)_i}{m} \quad (6)$$

如果检定次数少于 8,则用极差法计算出标准差,如果检定周期不够 4 次(有的省级气象计量站购买了两台标准器)可用两台以上同类标准器的每次检定证书上各检定点修正值的平均值求出标准差。

某台标准通风干湿表在 1990、1992、1994、1996、1998、2000、2002、2004 年分别进行过检定,各年修正值的平均值 $(\bar{x}_n)_i$ 分别为 1.0% 、 0.9% 、 0.8% 、 1.2% 、 0.7% 、 1.3% 、 0.6% 、 1.1% 。 \bar{x}_m 值为 0.95% 。将 $(\bar{x}_n)_i$ 和 \bar{x}_m 的值分别代入式(5)和式(6)计算得出 u_{B2} 为 0.24% 。

3.2.3 DJM10 湿度检定箱的不均匀度

根据生产厂家提供的技术指标,湿度检定箱的工作区域内湿度场的不均匀度为 1% ,取反正弦分布, $k=1.4$ 标准不确定度 u_{B3} 为 0.71% (说明:在测定 A 类不确定度时,已包含了湿度检定箱湿度场的不稳定性所产生的不确定度分量,故在评定检定装置的 B 类不确定度分量时不再考虑)。

4 合成标准不确定度和扩展不确定度的计算

根据规范要求,对于标准检定装置都应给出合成标准不确定度和扩展不确定度,首先根据下式先计算出 B 类分量合成的 B 类标准不确定度

$$u_{B合} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bi}^2} = \sqrt{0.24^2 + 0.71^2 + 1.0^2} = 1.24 \quad (7)$$

式中： u_{Bi} —— 各个 B 类标准不确定度；

n —— B 类分量的个数, $n=1, 2, 3, \dots, n$ 。

用 A 类标准不确定度分量 u_A 和 B 类标准不确

定度量 $u_{\text{B合}}$,按式(8)计算扩展不确定度,取 $k = 2$:

$$U = k \sqrt{u_A^2 + u_{\text{B合}}^2} = 2 \sqrt{0.2^2 + 1.24^2} = 2.5 \quad (8)$$

5 结论

我国气象计量部门开展湿度传感器(湿度仪器)检定时,对标准检定装置的不确定度要求是 2.5%,通过实测数据和给定的湿度检定箱湿度场均匀度和

稳定度指标,进行综合分析得出的最终结果为 2.5%,与要求的指标吻合,可满足使用。

参考文献

- 1 北京市中计协通用技术研究所. DSP-2 型标准数字式通风干湿表使用说明书,1990
- 2 天津气象仪器厂. DJM10 型湿度检定箱使用说明书,1994
- 3 国家质量技术监督局计量司. 测量不确定度评定与表达指南, 2000 - 04
- 4 国家质量技术监督局. 通用计量术语及定义,1999 - 03

Uncertainty Analysis of Calibration Equipment for Hygrometers

Zhu Lekun Wen Xiaoqing

(National Center of Meteorological Metrology, Beijing 100081)

Abstract: Uncertainty of calibration equipment for humidity instruments (sensors) exerts a great influence on the calibration results of humidity instrument (sensors). According to the province-level calibration centers' humidity calibration equipment, the test and assessment of the uncertainty for the whole calibration equipment were conducted. The error sources, error classification, and the components of the calibration equipment were discussed.

Key words: calibration equipment, error source, uncertainty analysis