

毛发湿度表(计)测量不确定度评定实例

罗怀洁 林鸿钧

(广东省气象计量检定所,广州 510080)

提 要

介绍湿度测量不确定度评定的一般方法和基本模式,以及评定过程中所应注意的一些问题。

关键词: 湿度 示值误差 测量不确定度

引 言

根据 JJF 1033-2001《计量标准考核规范》的要求,一项计量标准无论是新建标还是重新考核都需要评定其测量不确定度,而测量不确定度的评定不仅是考核中的一项重要内容,而且是难度较大的一项。针对目前各省级气象计量检定所都需要通过考核才能开展工作的实际情况,将我所对湿度标准考核的测量不确定度评定过程,以及需要注意的

一些问题,作为评定实例,供需要的单位参考。

1 测量不确定度评定的一般程序

1.1 概述

这一部分主要介绍测量原理,仪器原理,所依据的技术标准和规范。

1.2 评定模型

须给出描述测量或仪器的数学模型,计算灵敏系数,注意解释每个变量和单位的使

用。

1.3 测量不确定度来源的分析

以评定模型为基础,分析出有哪些不确定度分量以及各个不确定度分量的构成,层次分明。

1.4 测量不确定度分量的评定

根据有效的信息,计算出各个不确定度分量值,以及各不确定度分量的有效自由度。

1.5 合成标准不确定度的评定

根据计算出的各标准不确定度分量值,按下式计算出合成标准不确定度值。

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2}$$

1.6 扩展不确定度的评定

根据各个标准不确定度分量的有效自由度,按韦尔奇-萨特思韦特公式

$$v_{eff} = \frac{u_c}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{v_i}}$$

计算出合成标准不确定度的有效自由度 v_{eff} ,根据 v_{eff} 和置信概率 p 查 t 分布表确定包含因子 k ,然后根据下式

$$U_p = k_p \cdot u_c$$

计算出扩展不确定度 U_p 。

2 评定实例

2.1 测量方法

毛发湿度表(计)的示值误差,是将标准湿度计与被检仪器一起置于湿度检定箱内,通过比较确定被检仪器的误差。检定根据国家检定规程 JJG 205-1980《气象用毛发湿度表、毛发湿度计检定规程》的要求进行。

2.2 数学模型

由

$$\Delta = H - H_0 \quad (1)$$

式中: Δ :被检湿度表在某一点的示值误差; H :被检湿度表在该湿度点上的上、下行程示

值平均值; H_0 :标准湿度计在该湿度点的上、下行程示值平均值。

2.3 方差和灵敏系数

依

$$u_c^2(y) = \sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) \quad (2)$$

式(1)中示值误差 Δ 的合成方差为:

$$u_c^2(\Delta) = c^2(H) \cdot u^2(H) + c^2(H_0) \cdot u^2(H_0) \quad (3)$$

式中: $c(H) = 1$, $c(H_0) = -1$ 。

2.4 标准不确定度分量的分析计算

2.4.1 被检仪器的标准不确定度分量 $u(H)$ 项

(1)被检仪器的读数误差引入的不确定度分量

毛发湿度表(计)的最小分度值为 1%,其刻度有均匀和非均匀两种。对于一个熟练的检定员,可准确估读至分度值的 $\pm 1/2$,其遵从均匀分布。则

$$u_1(H) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\% \text{RH}$$

其估算相对不确定度为 25%,故自由度:

$$v_1(H) = [2 \times (25\%)^2]^{-1} = 8$$

(2)被检仪器时间常数影响引入的不确定度分量

每个被检仪器由于时间常数不同引起的跟随滞后误差为 $\pm 0.25\% \text{RH}$,其分布遵从均匀分布,故:

$$u_2(H) = \frac{0.25\%}{\sqrt{3}} = 0.144\% \text{RH}$$

其估算相对不确定度为 20%,故自由度:

$$v_2(H) = [2 \times (20\%)^2]^{-1} = 12$$

(3)被检的修约误差引入的不确定度分量

因检定结果中给出的被检误差值修约至

1.0%RH,故修约误差 $\pm 0.5\%$ RH,其分布遵从均匀分布,则:

$$u_3(H) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\%RH$$

其估算值可靠,故自由度:

$$v_3(H) \rightarrow \infty$$

故

$$u(H) = \sqrt{u_1^2(H) + u_2^2(H) + u_3^2(H)} = \sqrt{(0.289\%)^2 + (0.144\%)^2 + (0.289\%)^2} = 0.43\%$$

由韦尔奇-萨特思韦特公式

$$v(H) = \frac{u^4(H)}{\frac{u_1^4(H)}{v_1(H)} + \frac{u_2^4(H)}{v_2(H)} + \frac{u_3^4(H)}{v_3(H)}} = 37$$

2.4.2 标准器的标准不确定度分量 $u(H_0)$ 项

(1)标准器的示值误差引入的不确定度分量

我所使用的二等标准是 DSP-2 型数字式标准干湿表,该标准经国家气象计量站检定,其扩展不确定度为 1.5%RH, $p = 99\%$,按正态分布计算,

$$u_1(H_0) = \frac{1.5\%}{2.58} = 0.581\%RH$$

由于是上一级的检定结果,可以认为是准确的,故自由度:

$$v_1(H_0) \rightarrow \infty$$

(2)标准器的分辨力引入的不确定度分量

我所使用的 DSP-2 数字式标准干湿表的分辨力为 0.1%RH,其在 $\pm 0.05\%$ RH 的区间内均匀分布,故:

$$u_2(H_0) = \frac{0.05\%}{\sqrt{3}} = 0.029\%RH$$

其估算值可靠,故自由度:

$$v_2(H_0) \rightarrow \infty$$

(3)标准器的稳定性所带引入不确定度分

量

我所使用 DSP-2 型数字式标准干湿表的准确度优于 2%RH,从 1996 年至 2002 年经国家气象计量站历年的检定结果和我所一直对其做稳定性考核,其变化量在 $\pm 1\%$ RH 之内,遵从均匀分布。则:

$$u_3(H_0) = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.578\%RH$$

其估算不确定度为 20%,故自由度:

$$v_3(H_0) = [2 \times (20\%)^2]^{-1} = 12$$

(4)标准器的重复性引入的不确定度分量

由 DSP-2 型数字式标准干湿表的示值测量的重复性得出的标准不确定度分量,在相对湿度 80% 点上测得的 10 次数据分别为: 80.77、80.77、80.64、80.52、80.52、80.41、80.34、80.52、80.80、80.53。

依据贝赛尔公式

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

经计算得:

$$u_4(H_0) = s = 0.158\%RH$$

其自由度:

$$v_4(H_0) = n - 1 = 10 - 1 = 9$$

(5)湿度检定箱的湿度均匀度引入的不确定度分量

经测试和出厂指标得该湿度检定箱的湿度均匀度为 1%RH,遵从均匀分布,则:

$$u_5(H_0) = \frac{1.0\%}{2\sqrt{3}} = 0.289\%RH$$

其估算不确定度为 50%,故自由度:

$$v_5(H_0) = [2 \times (50\%)^2]^{-1} = 2$$

故

$$u(H_0)^2 = u_1^2(H_0) + u_2^2(H_0) + u_3^2(H_0) + u_4^2(H_0) + u_5^2(H_0)$$

$$u(H_0) = 0.88\% \text{RH}$$

由韦尔奇-萨特思韦特公式

$$v(H_0) = 46$$

2.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u^2(H) + u^2(H_0)} = 0.98\% \text{RH}$$

2.6 有效自由度

$$v_{\text{eff}} = 67$$

此有效自由度查置信概率($p = 95\%$)的 t 分布系数表得:

$$k_{95} = t_{95}(67) = 1.997$$

2.7 扩展不确定度

$$U_{95} = t_{95}(67) \times u_c = 1.997 \times 0.98 \\ = 1.95706\% \text{RH} \approx 2.0\% \text{RH}$$

2.8 报告

毛发湿度表(计)的扩展不确定度 $U_{95} = 2.0\% \text{RH}$ [由合成标准不确定度 $u_c(y) = 0.98\% \text{RH}$, 置信概率 $p = 95\%$, 有效自由度 $v_{\text{eff}} = 67$, 其包含因子由 t 分布临界值 $k_{95} = t_{95}(67) = 1.997$ 所得]。

对其它温湿度表的检定的测量不确定度的评定亦可采用上述方法来进行。

3 测量不确定度的评定过程中需要注意的一些问题

以上是我所对湿度的测量不确定度评定过程,对于各省级气象计量检定所常用的其他检定项目也可参照进行。测量不确定度评定的关键在于应按 JJF 1059-1999《测量不确

定度的评定与表示》的要求,列出数学模型,数学模型的正确与否是分析测量不确定度分量来源的基础。列出正确的数学模型之后,需找出对测量结果影响最大的不确定度分量进行分析,在湿度测量中对示值误差影响最大的分量主要有:标准器的示值误差,稳定性,被检仪器读数误差,滞后误差,修约误差,湿度检定箱的湿度均匀度等,如能将各不确定度分量列表,将有助于找出遗漏的分量。标准器的示值误差,稳定性的不确定度分量可由上一级的检定结果得出,一般分布为正态分布和均匀分布;被检仪器读数误差,滞后误差,修约误差一般为均匀分布;湿度检定箱的湿度均匀度可从设备说明书中得到,一般为均匀分布。最后将各个不确定度分量进行合成。如对自由度的计算不够熟悉,可不算自由度。置信概率通常取 $p = 95\%$, 则取置信因子 $k_{95} = 2$ 即可。这是考核时允许的。

参考文献

- 1 国家质量技术监督局. 计量标准考核规范. JJF 1033-2001. 北京:中国计量出版社,2001.
- 2 国家质量技术监督局. 测量不确定度的评定与表示. JJF 1059-1999. 北京:中国计量出版社,1999.
- 3 全国计量标准, 计量检定人员考核委员会组编. 测量不确定度评定与表示实例. 北京:中国计量出版社,2001.
- 4 宋明顺主编. 测量不确定度评定与数据处理. 北京:中国计量出版社,2000.

Determination of Uncertainty of Humidity Measurement Errors of Hair Hygrometer

Luo Huaijie Lin Hongjun

(Guangdong Institute of Meteorological Metrology and Calibration, Guangzhou 510080)

Abstract

Some general methods and basic models are presented for the determination of the uncertainty in the measurement of humidity, and some issues that should be taken with care are discussed.

Key Words: humidity error measurement uncertainty