

精密露点仪测量相对湿度的不确定度分析

李占元 易 洪 任长青

(国家标准物质研究中心,北京 100013)

摘要:精密露点仪是测量相对湿度准确度最高的仪器,许多计量机构或实验室以此作为湿度传递标准。本文旨在对露点仪测量相对湿度的总不确定度进行评定。

关键词:精密露点仪;相对湿度;不确定度。

中图分类号:TH765.5 **文献标识码:**A

0 概述

精密露点仪是指半导体制冷、光电自动平衡的镜面式露点仪。相对湿度是被测环境中水蒸气的摩尔分数与相同温度和压力条件下饱和水蒸气的摩尔分数之百分比,即环境中的水蒸气分压与相同温度下饱和水蒸气压之比(空气中的水蒸气分压等于露点温度下的饱和水蒸气压)。露点仪是通过测量露点和环境温度达到测量相对湿度的目的,所以相对湿度的不确定度因素有两个:露点和环境温度测量的不确定度。

1 工作原理

根据露点温度的定义,在压力不变的情况下通过半导体制冷使气体中的水蒸气在露点仪的镜面上冷凝,当达到热力学相平衡状态时,准确测量此时镜面的温度,即为该气体的露点温度。露点仪另有一只铂电阻温度计测量环境温度。

2 不确定度分析

将空气视为理想气体,增强因子的测量不确定度忽略不计。

相对湿度的计算公式如下:

$$U(\%RH) = \frac{e(T)}{e_s(T)} \times 100 = \frac{e_s(T_d)}{e_s(T)} \times 100 \quad (1)$$

式中: $U(\%RH)$ 是相对湿度; $e(T)$ 是空气中水蒸气分压(Pa); $e_s(T_d)$ 是露点温度下的饱和水蒸气压(Pa); $e_s(T)$ 是环境温度下的饱和水蒸气压(Pa)。

根据式(1)

$$\frac{\partial U}{\partial e_s(T_d)} = \frac{1}{e_s(T)}$$

$$\frac{\partial U}{\partial e_s(T)} = -\frac{e_s(T_d)}{e_s^2(T)}$$

所以相对湿度的标准不确定度 u 为:

$$u = \sqrt{\left[\frac{\partial U}{\partial e_s(Td)}\right]^2 \cdot u_{e_s(Td)}^2 + \left[\frac{\partial U}{\partial e_s(T)}\right]^2 \cdot u_{e_s(T)}^2} = \sqrt{\left[\frac{1}{e_s(T)}\right]^2 \cdot u_{e_s(Td)}^2 + \left[-\frac{e_s(Td)}{e_s(T)^2}\right]^2 \cdot u_{e_s(T)}^2}$$

$$= \frac{e_s(Td)}{e_s(T)} \sqrt{\left[\frac{u_{e_s(Td)}}{e_s(Td)}\right]^2 + \left[\frac{u_{e_s(T)}}{e_s(T)}\right]^2} = U \sqrt{\left[\frac{u_{e_s(Td)}}{e_s(Td)}\right]^2 + \left[\frac{u_{e_s(T)}}{e_s(T)}\right]^2} \quad (2)$$

式(2)中, u 为相对湿度的标准不确定度; $u_{e_s(Td)}$ 为露点温度下饱和水蒸气压的标准不确定度; $u_{e_s(T)}$ 为环境温度下饱和水蒸气压的标准不确定度; U 为相对湿度(%RH)。

可以看出,即使在露点和环境温度的测量不确定度为一定值时,测量不同的相对湿度有着不同的测量不确定度。

2.1 露点测量的标准不确定度

2.1.1 露点仪的 A 类不确定度评定

以目前国内使用最多的 M4 型精密露点仪为例,其分辨率为 0.1°C ,对于测量湿度比较稳定的环境往往是分辨率不够高,因此评定露点仪的 A 类不确定度为:

$$\frac{0.05^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.029^\circ\text{C}$$

2.1.2 露点仪的 B 类不确定度评定

如果露点仪的总不确定度为 0.1°C ,为正态分布,则 B 类不确定度为:

$$\frac{0.1^\circ\text{C}}{3} = 0.033^\circ\text{C}$$

综合 2.1.1 和 2.1.2,露点测定的标准不确定度为:

$$u_{(Td)} = \sqrt{0.029^2 + 0.033^2} = 0.044(^\circ\text{C})$$

2.2 环境温度测量的标准不确定度

温度测量的不确定度评定与露点相似,同样的计算可以得到标准不确定度为 0.044°C 。

已知露点和环境温度的测量标准不确定度,即可知水蒸气分压与饱和水蒸气压的标准不确定度。

3 不确定度分析计算

以环境温度 20°C 为例,选择不同的露点,做相对湿度的不确定度评定,计算结果如表 1:

表 1

序号	环境温度 $T(^{\circ}\text{C})$	露点温度 $Td(^{\circ}\text{C})$	相对湿度 $U\%RH$	扩展不确定度 $k=3$
1	20.0	-10.0	11.1	0.16%RH
2	20.0	-5.0	17.2	0.24%RH
3	20.0	0.0	26.1	0.34%RH
4	20.0	5.0	37.3	0.43%RH
5	20.0	10.0	52.5	0.60%RH
6	20.0	15.0	72.9	0.81%RH
7	20.0	18.5	91.1	1.06%RH

4 结论

在常温 20°C 条件下,相对湿度在 10%RH~90%RH 范围内,精密露点仪测量的扩展不确定度 ($k=3$)最大值为 1.06%RH,可以满足作为湿度量值传递标准的要求。

参考文献:

- [1] JJF449-1987 《精密露点仪检定规程》
- [2] JJF1012-1987 《常用湿度计量名词术语》
- [3] JJF1059-1999 《测量不确定度评定与表示》