

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.06.12

露点仪冷镜表面拉乌尔效应及清洁方法

万浩涵, 杨永军

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 露点仪测量气体湿度过程中, 拉乌尔效应对测量准确性影响很大。使用测量凝结物冰点值估算拉乌尔效应影响值, 发现在冷镜表面滴入酒精吹扫并加热蒸发残留酒精清洁表面, 可以大大减少拉乌尔效应影响。通过实验可以减少拉乌尔效应露点误差到 0.1℃ 以下。

关键词: 露点仪; 拉乌尔效应; 清洁镜面; 酒精; 吹扫

中图分类号: TH811

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)06-0045-03

Hygrometer Mirror Surface Raoul Effect and Cleaning Method

WAN Haohan, YANG Yongjun

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: The Raoul effect makes a great influence on the accuracy of measuring dew point of gas using a hygrometer. When estimating the Raoul effect by measuring condensate freezing point, we found drops of alcohol on the cold mirror for blowing and heating evaporation residue alcohol to clean the surface can greatly reduce the Raoul effect. It can reduce the Raoul effect's error of dew point temperature to less than 0.1℃.

Key words: hygrometer; Raoul effect; cleaning of mirror; alcohol; blow

0 引言

露点仪测量过程中镜面污染对测量准确影响很大, 主要是可溶物溶于凝结溶液产生拉乌尔效应, 使冷镜表面提前结露。使用露点仪进行测量发现镜面污染的问题难以避免, 其中由于可溶物污染导致的拉乌尔效应存在于每次露点测量中, 对测量精度影响明显。有研究提出了使用冰点值来测量拉乌尔效应对露点测量的误差影响, 但关于怎么消除拉乌尔效应及消除的程度还没有研究, 所以研究污染造成露点偏差和清洁冷镜的方法很有必要。

1 冷镜的污染机理

露点仪测量气体湿度过程中冷镜污染可以分为可溶物污染和不溶物污染, 两种污染对露点测量影响机理可以认为是拉乌尔效应和光电反射偏差。

1.1 拉乌尔效应

露点时刻是当气、液二相平衡时, 单位时间内从液相蒸发到气相的分子数等于从气相凝结到液相的分

子数。当溶剂溶解了难挥发的溶质后, 溶剂的一部分表面或多或少地被溶质的粒子所占据。单位时间内从溶液中蒸发出的分子数比从纯溶剂中蒸发出的分子数减少。因此在达到平衡时, 难挥发物质的溶液的蒸气压力低于纯溶剂的蒸气压。这样使冷镜表面出现提前结露的现象就是拉乌尔效应。

减少拉乌尔效应的方法有两种: 1) 清洁冷镜表面, 减少残留污染; 2) 预清洁被测气体。

1887 年, 拉乌尔(F. M. Raoult)根据许多难挥发非电解质溶液的实验结果, 发现在一定温度下, 稀溶液中溶剂的蒸气压 P_1 只与溶剂的摩尔分数 x_1 成正比, 比例常数就是纯溶剂的蒸气压 P_0 。用 n_1 和 n_2 分别表示溶液中溶剂和溶质的摩尔数, 则有

$$P_1 = x_1 P_0 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} P_0 \quad (1)$$

如用 ΔP 代表溶液中的蒸气压下降, x_2 表示溶质的摩尔分数, 则不难导出

$$\Delta P = P_0 x_2 \quad (2)$$

因此, 拉乌尔的结论也可叙述为: 在一定温度下, 稀溶液的蒸气压下降与溶质的摩尔分数成正比。拉乌尔定律可进一步说明溶质对溶液的沸点和凝固点的影响。蒸气压降低的直接推论是沸点升高。

收稿日期: 2017-10-10

作者简介: 万浩涵(1993-), 男, 湖北石首人, 硕士研究生, 主要研究方向为湿度测量。

拉乌尔效应影响的露点温度差和溶液沸点与纯水沸点差成比例关系,但是溶液沸点值难以测量。冰点值的偏差与露点温度偏差也存在比例关系,而且溶液冰点值容易测量且对冰点测量准确性要求不高,所以可以通过测量溶液冰点值估算拉乌尔效应对露点温度的影响。根据拉乌尔公式和溶液的沸、冰点与饱和蒸汽压关系可以推出式(3)~(4)。

$$\Delta T_d = \frac{\Delta T_b \cdot K_d}{29} \quad (3)$$

$$\Delta T_d = \frac{\Delta T_f \cdot K_d}{103} \quad (4)$$

式(3)~(4)中, T_d 为露点 T_f 为冰点 T_b 为沸点。系数 K_d 可由 Goff 公式插值计算出,见表 1。

表 1 水的饱和蒸汽压数据

$T_d(^{\circ}\text{C})$	0	10	20	30
K_d	13.7	14.9	16.1	17.4

1.2 光电反射偏差

不溶污染物存在冷镜表面,影响冷镜表面折射率,开始测量时光电信号值偏低。如果污染物是在测量过程中通过气体混入冷镜表面,会对光电判断准确性造成影响,较硬的污染物甚至会划伤冷镜表面,对露点仪造成损坏。减少不溶物污染的方法是保持镜面清洁,对气体做预清洁处理。

露点仪设计中,会对光电信号初值进行补偿,减少开始测量时污染物的影响,在光电判别露点中,也会加入对照光电组来减少污染的影响。

拉乌尔效应广泛存在于露点测量中,不溶物污染对露点测量影响不大。所以我们设计了拉乌尔效应的实验来研究冷镜表面的清洁方式及拉乌尔效应影响露点精度大小。

2 拉乌尔效应清洁效果实验

为了研究可溶物污染对结露的影响,进行了拉乌尔效应的实验。实验在露点仪测量基础上加入了测量所结露滴冰点的内容,通过冰点值来计算拉乌尔效应值,并实验不同的冷镜表面清洁方法的效果。其中冰点值测量方法是通过 tec(半导体制冷片)降温使表面凝结物凝固成为固态后,关闭 tec 制冷功能使冷镜温度上升,当表面凝结物达到固、液混合状态时,记下此时表面温度为冰点值。

实验过程:首先使用普通冷镜式露点仪降温测量湿度气体露点,并利用显微镜观察表面凝结物图像。表面结露后继续降温至表面凝结物完全凝固,关闭 tec

制冷,表面温度回升至显微镜观察到表面凝结物为冰水混合物时,记下铂电阻的温度读数。利用此冰点值 T_0 与纯水冰点 273.15 K 的差值 ΔT_f 估算出此时拉乌尔效应对露点的影响 ΔT_d 。这样可以得到在该露点下,冷镜表面存在的可溶物对露点测量的误差影响。接着将露点仪使用中常用的几种清洁方法处理后的冷镜分为 a, b, c 三组,然后把未做清洁处理的冷镜表面作为 0 组对照使用,测量清洁后拉乌尔效应误差影响大小。

a. 使用无脂棉擦拭冷镜表面;

b. 降温使冷镜表面凝结之后,吹扫掉表面凝结物并加热蒸发残留凝结水;

c. 滴入一颗酒精,吹扫镜面后加热蒸发残留。

本实验使用的是从 0~25℃ 露点的湿度气体,在零度以下产生的凝结物是霜,所以拉乌尔效应影响可以忽略,未实验露点 0℃ 以下的湿度气体。

3 拉乌尔效应实验结果

拉乌尔效应实验得到不同露点气体条件下,四个实验组的冰点值,通过式(2)计算出拉乌尔效应的影响,如表 2 所示。

表 2 拉乌尔效应影响露点误差实验结果 $^{\circ}\text{C}$

露点 实验组	5	10	15	20	25
a	0.14	0.15	0.16	0.14	0.20
b	0.09	0.09	0.12	0.14	0.15
c	0.05	0.06	0.05	0.07	0.09
0	0.15	0.18	0.20	0.21	0.24

注:表中数据为实验组测得拉乌尔效应对露点影响值。

可以看出拉乌尔效应对露点测量影响是非常大的,之后对测量的露点温度进行补偿,去除拉乌尔效应的影响,然后同测量精度为 0.1℃ 的 MBW373 精密露点仪测得的露点温度进行比较。得到如表 3 的结果。

表 3 补偿后与精密露点仪 MBW373 的露点偏差 $^{\circ}\text{C}$

实验组	a	b	c	0
5℃ 补偿前露点偏差	0.23	0.20	0.17	0.22
5℃ 补偿后露点偏差	0.15	0.12	0.13	0.13
10℃ 补偿前露点偏差	0.23	0.19	0.17	0.24
10℃ 补偿后露点偏差	0.12	0.13	0.11	0.15
20℃ 补偿前露点偏差	0.27	0.28	0.17	0.31
20℃ 补偿后露点偏差	0.15	0.15	0.09	0.17

注:表中数据为测得露点与标准露点仪示值偏差。

通过对测量的露点温度进行拉乌尔效应影响值补偿,提高了露点测量结果的准确性。经过拉乌尔效应补偿后的露点数据依然存在实验组 c 的准确性高于其他实验组。冷镜表面污染并不仅是拉乌尔效应造成露点测量误差,表面污染对于露点测量的影响较大,滴入一颗酒精,吹扫镜面后加热蒸发残留清洁可以减少较多由于污染引起的露点测量误差。

冷镜表面的污染大多是有机物、油脂及灰尘组成的,灰尘采用吹扫镜面方式可以去除,油脂、有机物类的污染物更溶于酒精,而且酒精的沸点更低。所以相较于水,酒精的镜面清洁效果更好。

4 结论

通过实验分析,我们找到了利用溶液冰点变化值估算拉乌尔效应对露点影响值的方法,并对几种清洁

方式后的冷镜拉乌尔效应进行了估算,并利用所得拉乌尔效应进行露点温度的补偿,使所得露点温度更准确。在实验中我们发现对冷镜最好的清洁方法是滴入一滴酒精吹扫后加热蒸发残留,会大大减少拉乌尔效应对测量的影响。但是随着露点仪的使用会继续受污染影响,所以需要经常清洁冷镜表面,保持冷镜的清洁。

参考文献

- [1] Curtis B. Campbell. Dew Point Hygrometer With Constant Resistance Humidity Transduce[M]. Curtis B. Campbell.
- [2] 罗丽,王晓蕾. 凯尔文效应影响露点仪测量准确度的分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2002(2): 14-19.
- [3] 易洪. 我国湿度测量仪器的现状与发展[J]. 中国仪器仪表, 2009(9): 25-28.
- [4] 张文学,张奎山,孙晔. 拉乌尔效应对露点的影响及其补偿方法研究[J]. 湿度·水分·气体, 1998(3): 55-59.

(上接第 24 页)

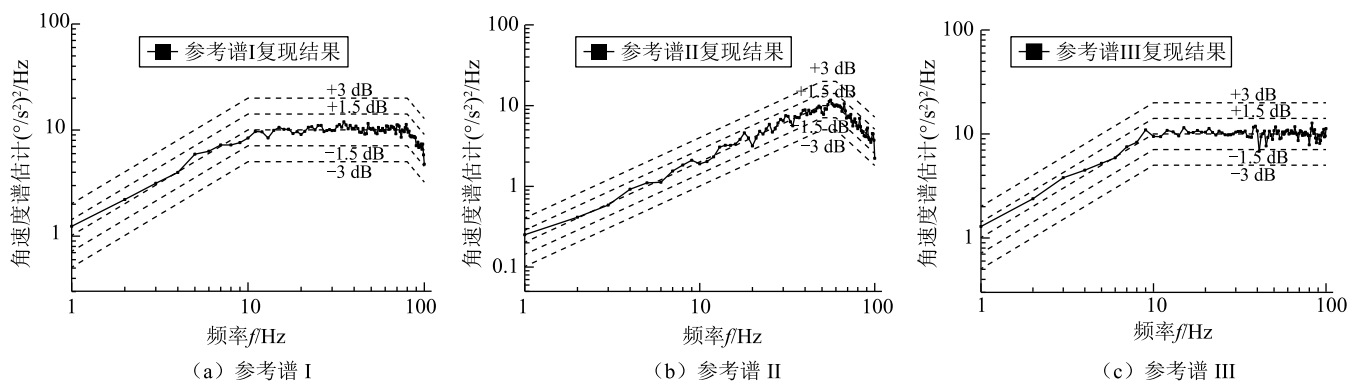


图 12 不同角加速度参考谱下的控制结果

参考文献

- [1] 刘宗华,刘天同,董达. 振动试验技术综述[J]. 科技创新导报, 2014(22): 42-43.
- [2] 王少洁,杨立永,陈为奇. 永磁同步电机三闭环系统仿真与实验研究[J]. 北华大学学报(自然), 2012, 13(3): 360-364.
- [3] Smallwood D O, Paez T L. A frequency domain method for the generation of partially coherent normal stationary time domain signals[J]. Shock & Vibration, 1991(1): 45-53.
- [4] 张峰,石现峰,张学智. Welch 功率谱估计算法仿真及分析[J]. 西安工业大学学报, 2009, 29(4): 353-356.
- [5] Mao Z, Told M. Statistical modeling of frequency response function estimation for uncertainty quantification[J]. Mechanical Systems & Signal Processing, 2013, 38(2): 333-345.
- [6] 杨志东. 液压振动台振动环境模拟的控制技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.



扫码

加微信号qctest,与朋友同事共分享!