

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.02.13

冷镜式露点测量结露的光电识别方法

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: 为实现高准确度的冷镜式露点仪结露测量, 提出一种基于两对光电对管判别的光电识别方法, 其中一对对管在冷镜所在的测量腔内直射作为环境对照组, 另一对经过有半导体制冷的冷镜表面反射, 利用光电信号值的三阶导数曲线零点判别冷镜全表面产生结露的时刻。经实验证明, 该方法可以满足 $-20 \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内露点湿度气体的结露测量需求, 具有技术借鉴意义。

关键词: 露点; 光电识别; 光电管对照; 三阶导数

中图分类号: TB943; TH811

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)02-0068-04

Photoelectric Recognition Method of Cold Mirror Dew Point Measurement

WAN Haohan, YANG Yongjun

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

Abstract: In order to realize the condensation measurement of the cold mirror dew point meter with high accuracy, a photoelectric identification method based on the discrimination of two pairs of photoelectric pair tubes is proposed. One pair of the tubes is directly radiated in the measuring cavity where the cold mirror is located as the environmental control group, and the other pair of the tubes is reflected by the cold mirror surfaces with semiconductor refrigeration. The zero point of the third derivative curve of the photoelectric signal value is used to distinguish the time of condensation on the whole surface of the cold mirror. The experimental results show that this method can meet the needs of dew point humidity gas condensation measurement in the temperature range of $-20 \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, which has technical reference significance.

Key words: dew point; photoelectric recognition; photoelectric tube comparison; third derivative

0 引言

露点仪是测量气体湿度的仪器, 其中应用最广泛、测量比较准确的是冷镜式露点仪^[1-2]。冷镜式露点仪测量过程中常用的露点判别方法有光电法、声表面波法、图像法等^[3], 其中应用最广泛的就是光电法。光电识别作为关键技术, 对露点测量结果影响很大^[4-7]。

1 冷镜式露点测量的光电识别

冷镜式露点测量的光电识别原理: 利用两对光电对管作为光电判别的传感器, 其中一对对管在冷镜所在的测量腔内直射作为环境对照组, 另一对光电对管经过有半导体制冷的冷镜表面反射。通过半导体制冷降低冷镜表面温度, 使测量腔内被测气体介质中的水分凝结于冷镜表面, 冷镜表面反射的光电对管值相对环境对照组的信号值降低, 冷镜表面大量结露时, 光电管根据信号值判别出结露现象^[4]。

1.1 光电识别设备

冷镜式露点测量的光电识别装置由某型号发射二极管和光电接收二极管组成, 两对分别作为反射组和对照组^[8-9]。

发射管的光束角为 15° , 发光波长为 935 nm , 光强为 $2.0 \sim 4.0\text{ mW/cm}^2$ 。接收管的敏感波长范围如图 1 所示, 当光照光强为 5.0 mW/cm^2 时, 感应电流为 24 mA , 且感应电流受温度影响较小。

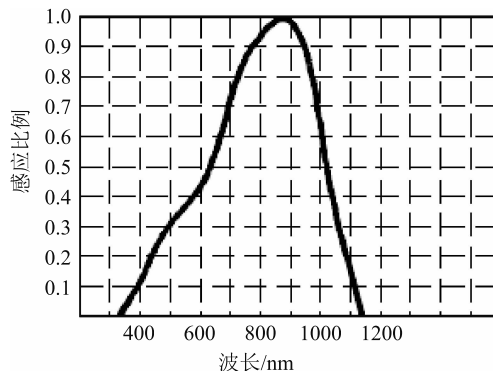


图 1 SDP8405-003 敏感波段图

接收管的感应电流会受到外界可见光光照影响,因此在使用时需要在隔绝光照的黑暗测试腔内进行实验,同时环境对照组设置能从一定程度上减少环境对光电管的影响。

光电识别装置原理图如图2所示,一对光电管在测量腔内直射,另一对与镜面呈 35° ,经冷镜表面反射。本试验中两对光电管中心距冷镜表面高 7 mm ,冷镜的半径为 3.5 mm ,这样可以使反射组的光照覆盖整个冷镜表面,同时使初始信号值较大,对整个冷镜表面衰弱敏感,适合用作光电识别结露。

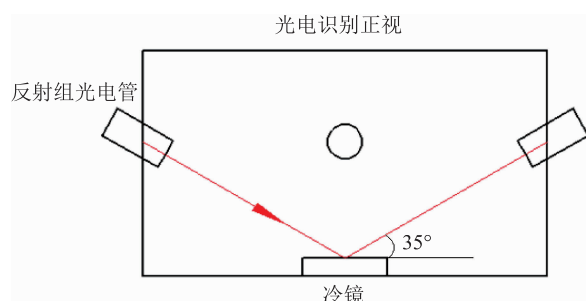


图2 光电识别装置原理图

1.2 光电识别方法

利用光电对管信号变化曲线的三阶导数来判断信号曲线的拐点,从而识别出冷镜表面的结露。利用MATLAB对数据做高斯四阶拟合,得到冷镜表面结露过程中光电信号比值(反射组信号值/对照组信号值)的变化规律曲线^[7],曲线图像如图3所示。

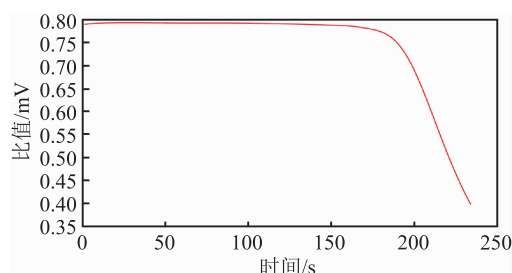


图3 光电信号高斯拟合曲线

对冷镜表面结露图像和光电信号实时变化进行分析,结露过程为:温度降低到接近露点温度,冷镜表面出现零星凝结的露珠,光电信号比值开始降低,随着温度继续降低,这一部分露珠变大,光电信号比值持续缓慢降低;温度降至露点温度,冷镜表面很大面积上产生小露珠,光电信号比值下降速度加快;温度持续降低,小露珠开始变大,光电信号比值快速降低。

对光电信号比值函数进行一阶求导,得到描述光

电信号降低速度的导数曲线,如图4所示。

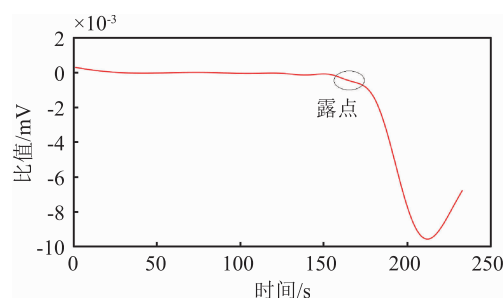


图4 光电信号一阶导数

通过实验分析冷镜表面图像发现,通常在光电信号曲线下降前的一个拐点产生结露。因为此时镜面产生了大量的凝结小露珠,造成光电接收管接收到的反射光强变弱。而镜面凝结出大量小露珠放热,之后光电信号降低速度略有变慢,但很快随着露珠变大而快速降低。光电识别露点的方法就是找到光电信号曲线快速下降前,其曲线上出现的最近一个凹点,通过计算光电信号的三阶导数,从三阶导数中找到这个露点时刻。图5是对光电信号比值函数求三阶导数和一阶导数的曲线(只观察变化趋势,将三阶导数放大了500倍)。

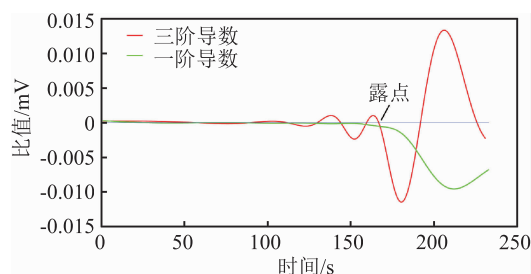


图5 三阶导数与一阶导数合成图

从图5的曲线变化中,可以看到在三阶导数从正变为负值时,一阶导数曲线从凹变为凸,此时的拐点即为光电识别的露点时刻。通过以上分析,根据光电信号比值判断露点时刻 t 的条件是:

- 1) t 时刻一阶导数小于零;
- 2) t 时刻三阶导数等于零,且在 t 时刻三阶导数由正变为负;
- 3) t 与三阶导数最小值间没有零点。

根据上面的判别条件可以找到距一阶导数最小值最近的一个拐点,即露点。

2 验证实验

为了验证这种光电识别露点方法的准确性和适应

条件,设计了如下的验证实验:实验装置由测量腔和冷镜底座组成,测量腔和冷镜底座密闭连接;测量腔内是安装好的光电二极管,被测气体从测量腔的进气口进入,吹扫经过冷镜表面后,从测量腔出气口排出^[8];测量腔上方留有透明观察孔,通过显微镜从该孔观察冷镜表面结露情况。冷镜底座由 tec 半导体制冷片、冷镜、薄膜铂电阻组成,三者紧密连接^[9],图 6 为试验装置照片。

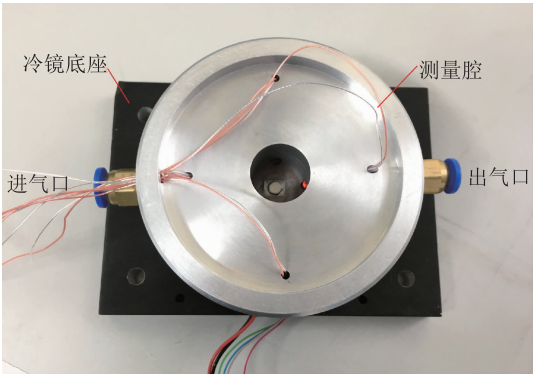


图 6 试验装置

实验条件有:被测气体的露点温度范围、tec 两端电压。改变这两个实验条件,然后利用显微镜记录下冷镜结露过程,得到冷镜表面图像和光电信号比值的对应关系,图 7 为试验现场图。

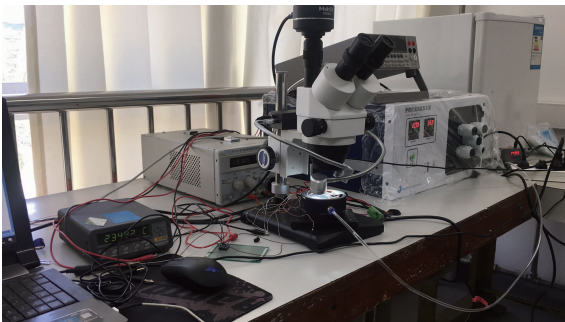


图 7 试验现场

最后查看光电识别露点与通过冷镜表面直接观察所得实际露点之间的误差。图 8 是利用显微镜观察冷镜表面结露时刻的图像。

在被测气体露点温度为 $-10, 0, 10, 20, 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下,分别以 $0.1, 0.6, 2, 6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率进行三次实验^[10],取光电识别的误差平均值。误差结果如表 1 所示。

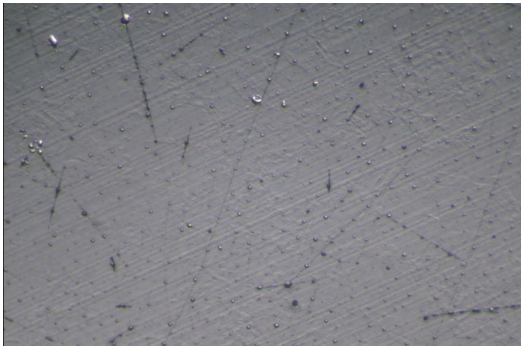


图 8 结露时刻冷镜表面图像

表 1 露点温度误差实验数据 $^{\circ}\text{C}$

气体露点温度	露点温度误差			
	降温速率为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时	降温速率为 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时	降温速率为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时	降温速率为 $6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时
-10	0.01	0.02	0.03	0.03
0	0	0.01	0.01	0.02
10	0.01	0.01	0.02	0.01
20	0.01	0.01	0.01	0.01
25	0.01	0.01	0.02	0.02

根据表 1 可以看出,在本实验中,光电识别法的露点识别误差不高于 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$,证明本文提出的冷镜式露点测量结露的光电识别方法具有较好的准确性。

3 结论

为实现高准确度的冷镜式露点仪结露测量,提出一种采用两对光电对管作为判别传感器实现冷镜表面结露测量的光电识别方法,其中一对光电对管在冷镜所在的测量腔内直射作为环境对照组,另一对经过有半导体制冷的冷镜表面反射,利用测得的光电信号值的三阶导数曲线零点判别冷镜全表面产生结露的时刻。经实验证明,该方法可以从很大程度上减少环境光照对测量结果的影响,能够准确、快速地识别出冷镜的结露现象,具有重要技术应用价值。

参 考 文 献

[1] Davies, K D. The incipient condensation of water vapour on a gold surface[J]. British Journal of Applied Physics, 1963, 14 (9): 567-571.

[2] Campbell C B, Grover B L, Campbell M D. Dew-point Hygrometer with Constant Resistance Humidity Transducer [J].

- Journal of Applied Meteorology, 2010, 10(1): 146–151.
- [3] 苏小勇, 赵世军, 高太长, 等. 冷镜式露点仪现状及关键技术分析[J]. 大气与环境光学学报, 2011, 6(5): 323–328.
- [4] Wylie R G. A new absolute method of hygrometry[M]. 1963.
- [5] 易洪. 我国湿度测量仪器的现状与发展——访中国湿度与水分专业委员会主任委员易洪研究员[J]. 中国仪器仪表, 2009(9): 25–28.
- [6] 王晓蕾, 苏腾, 白晓刚. GE 露点仪性能分析[J]. 气象科技, 2014(6): 973–977.
- [7] 葛芦生, 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 1998(3): 55–59.
- [8] 李占元, 李萍. 冷镜式露点仪测量结果的不确定度评定[J]. 计测技术, 2006, 26(S1): 86–87.
- [9] 万浩涵, 杨永军. 露点仪冷镜表面拉乌尔效应及清洁方法[J]. 计测技术, 2017, 37(6): 48–50.
- [10] 陈榕, 陈振林, 万程亮. 露点仪校准系统测量不确定度分析[J]. 计测技术, 2007, 27(6): 38–39.

收稿日期: 2020-01-20; 修回日期: 2020-02-24

作者简介

万浩涵(1993–), 男, 湖北石首人, 硕士研究生, 工程师, 热工计量国防检定员, 从事热工计量研究, 发表湿度测量相关文章2篇。



NIST 的天线评估方法可帮助提升 5G 网络容量并降低成本

美国国家标准与技术研究院(NIST)的研究人员开发出一种方法, 用于评估和选择适用于未来第五代(5G)手机、其他无线设备和基站的最佳天线设计。

新的 NIST 方法可以提高 5G 无线网络容量, 降低成本。5G 系统将使用更高的毫米波频段来避开拥挤的传统无线信道。这些频率的信号在传输过程中会损失大量能量, 从而削弱接收到的信号强度。一种解决方案是“智能”天线, 它可以形成非常窄的波束(信号传输或接收的空间区域), 并迅速将其引导到不同的方向。天线波束宽度会影响无线系统的设计和性能。NIST 新的测量方法使得系统设计者和工程师可以评估真实环境中最适合的天线波束宽度。

“我们的新方法可以在初始网络设计上取得更大的成功, 消除目前所需的大量反复试验, 从而降低成本,” NIST 的工程师 Kate Remley 说。“该方法还将促进新基站的使用, 这些基站可以同时或快速连续地向多个用户传输数据, 而不会有一个天线波束干扰到另一个天线波束。反过来, 这将增加网络容量, 降低成本, 并且可靠性更高。”

这是第一个详细的以测量为基础的研究, 探讨了天线波束宽度和方向如何与环境产生相互作用, 从而影响毫米波信号的传输。在该技术中, 覆盖大范围天线波束角度的 NIST 测量被转换成覆盖所有角度的全向天线图。然后将全向图分割为越来越窄的波束宽度。用户可以评估和模拟天线波束特性在特定类型的无线信道中的表现。

工程师可以使用这种方法来选择最适合特定应用的天线。例如, 工程师可以选择足够窄的波束宽度来避免某些表面的反射, 或者选择允许多个天线在给定的环境中共存而不受到干扰的波束宽度。

为了研发这种新方法, NIST 团队使用了一个装有定制通道探测器和其他设备的特殊机器人在 NIST 研究大楼的走廊和大厅收集实验数据。信道发声器收集了发射端和接收端之间的信号反射、衍射和散射的数据。许多这样的测量可以用来创建关于无线电信道的统计表示, 以支持可靠的系统设计和标准化。

NIST 的研究结果证实, 窄波束可以显著减少信号的干扰和延迟, 优化的波束方向可以减少传输过程中的能量损耗。例如, 当天线波束宽度从全向(360°)减少到窄 3°或所谓的铅笔波束时, 信号反射到达的时间间隔(一种称为 RMS 时延扩展的度量指标)从 15 ns 急剧下降至约 1.4 ns 左右。

未来的研究包括将该方法扩展到不同的环境及其他无线信道特性的分析。

(摘自 计量测控)