

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.02.19

精密露点仪标准装置的性能测试及计量软件设计

贾军伟, 李绍飞, 柴昊, 张书锋, 刘展, 卢茂

(北京东方计量测试研究所, 北京 100086)

摘 要: 文章介绍了以 373 型精密露点仪为主标准器的湿度标准装置的原理及构成, 对该装置的重复性和稳定性进行了测试。结果表明温度重复性实验的标准偏差为 0.00°C , 相对湿度重复性实验的标准偏差为 $0.07\% \text{RH}$, 露点温度重复性实验的标准偏差为 0.01°C 。温度稳定性实验的标准偏差为 0.02°C , 相对湿度稳定性实验的标准偏差为 $0.33\% \text{RH}$, 露点温度稳定性实验的标准偏差为 0.066°C 。基于美国 NI 公司的 Labview 软件开发平台, 开发了湿度仪器仪表计量软件。软件以模块化思想为基础, 可实现数据自动处理, 报告自动生成。

关键词: 露点仪; 温度; 湿度; Labview; 计量

中图分类号: TB943

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795(2015)02-0072-04

Study on Properties of Precision Dew Point Hygrometer Standard Device and Software Design for Measurement

JIA Junwei, LI Shaofei, CHAI Hao, ZHANG Shufeng, LIU Zhan, LU Mao

(Beijing Orient Institute for Measurement & Test, Beijing 100086, China)

Abstract: In this paper, the principles and composition of humidity standard device with 373 precision dew point hygrometer as main regulator are introduced. Experiment was done to study the repeatability and stability of the device. Experiment results show that standard deviation of temperature repeatability experiment was 0.00°C , standard deviation of humidity repeatability experiment was $0.07\% \text{RH}$, standard deviation of dew point temperature repeatability experiment was 0.01°C , standard deviation of temperature stability experiment was 0.02°C , standard deviation of humidity stability experiment was $0.33\% \text{RH}$, and standard deviation of dew point temperature stability experiment was 0.066°C . A humidity measurement software was developed based on Labview. The software provides modular structures which can automatically deal with the date of tested machines, and the original record and certificates can go into mass production automatically.

Key words: dew point hygrometer; temperature; humidity; Labview; measurement

0 引言

湿度在国防科技工业系统的航天器研制、生产和储存等方面是一个非常重要的参数^[1-3]。在型号任务上, 航天器整星、单机产品的科研生产作业现场对湿度的要求极为严格。另外, 载人航天、长期在轨空间站在湿度控制方面的研究也越来越受到人们的关注。随着大量精密湿度测量仪器在航天产业上的应用, 这些设备的检定测试任务显得尤为重要。

湿度标准装置主要包括湿度发生器、湿度主标准器及作为配套装置的核查标准。目前, 湿度发生器主要分为双温双压法湿度发生器、双压法湿度发生器、

双温法湿度发生器、分流法湿度发生器、连续型饱和盐法湿度发生器、渗透管标准湿度发生器等^[2,4-7]。湿度标准以冷镜式精密露点仪为代表, 具有准确度高、稳定性好、操作方便的特点。作者所在实验室以 2500 型双压法湿度发生器配以 373 型冷镜式精密露点仪作为湿度标准, 具有良好的稳定性和准确度。

1 标准装置的构成

露点仪标准装置采用直接比较法完成对精密露点仪、数字式温湿度传感器/变送器、机械式/数字式温湿度计以及其他湿度测量器具的检定和校准。将标准露点仪和被检湿度仪器仪表放置在湿度发生器测试室的有效工作区域内, 由湿度发生器提供所需恒定的样气, 分别由标准露点仪和被检湿度仪器仪表测量样气的温湿度值, 将所得数值进行比较。该装置主要包括

收稿日期: 2014-05-13, **修回日期:** 2014-10-16

作者简介: 贾军伟(1983-), 男, 工程师, 硕士, 从事真空和热学计量测试研究工作。

作为主标准的 373 型冷镜式精密露点仪、作为湿度发生器的 2500 型双压法湿度发生器及作为核查标准的 M4 冷镜式精密露点仪。

冷镜式精密露点仪原理框图如图 1 所示。露点仪由制冷系统、露(霜)点检测系统和温度测量与跟踪系

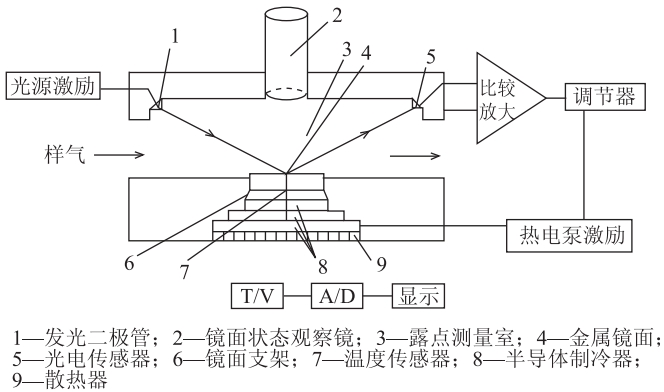


图 1 精密露点仪原理图

统三部分组成。用等压冷却的方法使被测样气中的水蒸气开始出现结露(霜)时的温度，即为该样气的露(霜)点温度。再通过一支精密温度计准确测量该样气的温度，即可算出样气的相对湿度值。

2 标准装置的性能测试

2.1 重复性实验

选择温度为 20℃、湿度为 50% RH 的典型点作为实验点，由 2500 型湿度发生器提供的稳定的温湿度环境，以 373 型精密露点仪作为主标准，以 M4/1311 型精密露点仪作为核查标准，进行 n 次($n=10$)重复性实验。实验数据如表 1 所示，以实验标准偏差(公式(1))对其重复性进行考评。结果表明温度重复性实验的标准偏差为 0.00℃；相对湿度重复性实验的标准偏差为 0.07% RH；露点温度重复性实验的标准偏差为 0.01℃。

表 1 标准装置重复性实验数据

序 号	标准 露点仪 $T_{d0}/^{\circ}\text{C}$	精密 温度计 $T_0/^{\circ}\text{C}$	标准 湿度值 $U_{s0}/\% \text{ RH}$	被检 露点仪 $T_d/^{\circ}\text{C}$	被检精密 温度计 $T/^{\circ}\text{C}$	被检 湿度值 $U_s/\% \text{ RH}$	误差值 $\Delta T_d/^{\circ}\text{C}$	误差值 $\Delta T/^{\circ}\text{C}$	误差值 $\Delta U_s/\% \text{ RH}$
1	9.43	20.18	49.98	9.4	20.2	50.0	0.0	0.0	0.0
2	9.44	20.18	49.99	9.4	20.2	50.0	0.0	0.0	0.0
3	9.44	20.18	50.01	9.4	20.2	50.0	0.0	0.0	0.0
4	9.45	20.18	50.03	9.4	20.2	49.9	0.0	0.0	-0.1
5	9.45	20.18	50.03	9.4	20.2	49.9	0.0	0.0	-0.1
6	9.45	20.18	50.04	9.4	20.2	49.9	0.0	0.0	-0.1
7	9.45	20.18	50.05	9.4	20.2	49.9	0.0	0.0	-0.1
8	9.47	20.18	50.07	9.4	20.2	50.0	-0.1	0.0	-0.1
9	9.47	20.18	50.09	9.4	20.2	50.0	-0.1	0.0	-0.1
10	9.47	20.18	50.10	9.4	20.2	50.1	-0.1	0.0	0.0
平均值	9.45	20.18	50.04	9.4	20.2	50.0	-0.1	0.0	-0.1
单次试验 标准偏差 s_{n1}	/	/	/	/	/	/	0.01	0.00	0.07

$$s_{n1}(x)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\overline{x})^2}{n-1}}$$

(1)

2.2 稳定性实验

选择温度为 20℃，湿度为 50% RH 的典型点作为

实验点，由 2500 型湿度发生器提供的稳定的温湿度环境，以 373 型精密露点仪作为主标准，每隔三个月进行一次实验，一共进行 m 次($m=4$)实验，每次实验记录 n 组($n=10$)数据，其实验数据如表 2 所示。

表 2 标准装置稳定性实验数据

温度/℃											
组 别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
第 1 组	20.20	20.19	20.19	20.19	20.20	20.20	20.20	20.20	20.19	20.19	20.20
第 2 组	20.16	20.16	20.16	20.15	20.16	20.17	20.16	20.15	20.16	20.16	20.16
第 3 组	20.16	20.15	20.15	20.16	20.15	20.15	20.15	20.15	20.15	20.15	20.15
第 4 组	20.16	20.16	20.15	20.15	20.15	20.15	20.15	20.16	20.16	20.16	20.16
相对湿度/% RH											
组 别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
第 1 组	50.00	49.99	49.99	49.99	49.98	49.97	49.97	49.97	49.96	49.97	49.98
第 2 组	49.92	49.91	49.91	49.92	49.92	49.91	49.93	49.92	49.92	49.92	49.92
第 3 组	49.89	49.90	49.89	49.89	49.91	49.92	49.90	49.89	49.91	49.90	49.90
第 4 组	49.93	49.93	49.93	49.93	49.94	49.93	49.94	49.95	49.96	49.94	49.94
露点温度/℃											
组 别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
第 1 组	9.46	9.46	9.46	9.46	9.46	9.45	9.45	9.45	9.45	9.46	9.46
第 2 组	9.40	9.40	9.39	9.39	9.40	9.40	9.40	9.39	9.40	9.40	9.40
第 3 组	9.39	9.39	9.39	9.39	9.39	9.39	9.39	9.39	9.39	9.39	9.39
第 4 组	9.40	9.40	9.40	9.39	9.40	9.40	9.41	9.41	9.41	9.40	9.40

每组实验数据的平均值按照式(2)进行计算:

$$\bar{x}_i = \sum x_i / n \quad (2)$$

各组实验平均值的均值按照式(3)进行计算:

$$\bar{x}_m = \sum \bar{x}_i / m \quad (3)$$

各参数的稳定性评价依据式(4)进行计算:

$$s_m(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \bar{x}_m)^2}{m-1}} \quad (4)$$

根据实验数据计算结果表明:温度稳定性实验的标准偏差为 0.02℃;相对湿度稳定性实验的标准偏差为 0.33% RH;露点温度稳定性实验的标准偏差为 0.066℃。

3 软件设计

基于 Labview 软件平台^[8-10]开发了湿度计量软件。该软件可应用于温湿度表,湿度传感器等温湿度仪器仪表的计量工作。程序主要由被检仪表信息输入模块、温湿度表计量模块、湿度传感器计量模块和报告生成模块部分构成,实现了多块被检仪表并行检定、并将常用被检仪表的信息以库的形式进行存储,方便检定时调用,避免重复劳动。结合“LabVIEW Report Generation Toolkit for Microsoft Office”及 word 中书签和域的使用,能应用于各类温湿度仪表的计量,实现多个被检温湿度仪表的批量计量,数据的自动处理、原始记录和证书的自动生成。程序设计的流程图如图 2 所示。

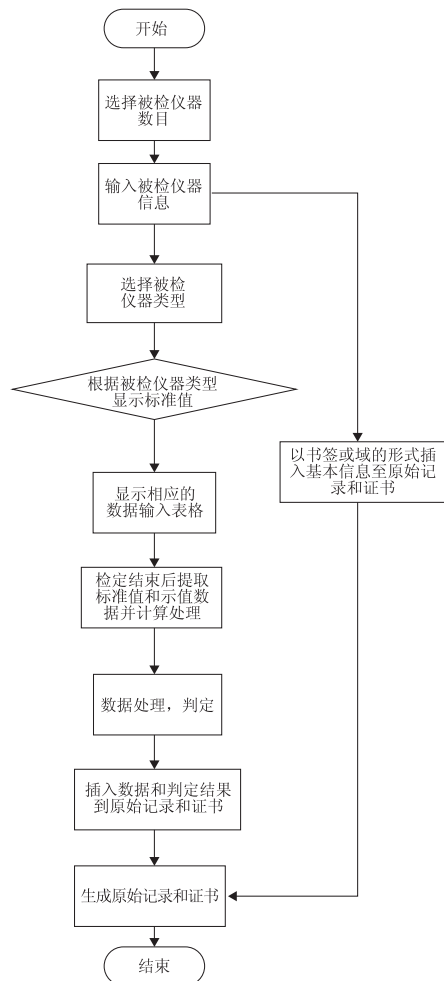


图 2 温湿度仪表计量程序流程图

4 结语

本文对以 373 型精密露点仪为主标准器的湿度标准装置进行了性能研究。结果表明温度重复性实验的标准偏差为 0.00℃，相对湿度重复性实验的标准偏差为 0.07% RH，露点温度重复性实验的标准偏差为 0.01℃。温度稳定性实验的标准偏差为 0.02℃，相对湿度稳定性实验的标准偏差为 0.33% RH，露点温度稳定性实验的标准偏差为 0.066℃。并基于美国 NI 公司的 Labview 软件开发平台，结合日常湿度计量需求，开发了湿度仪器仪表计量软件依托程序框架和其中较通用的模块，可以较方便扩展到其他计量专业的自动化检定/校准中。

参考文献

[1] 易洪. 湿度测量的新进展及发展趋势[J]. 中国计量, 2007 (2): 9-11.

[2] 李玉忠, 王淑英. 我国湿度测量技术的新进展[J]. 中国仪器仪表, 1994(3): 34-38.

[3] 廖理. 热学计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002: 447.

[4] 巩娟, 何萌, 吕国义. Swsy-F 分流法湿度发生器的研制[J]. 计测技术, 2010, 30(1): 47-49.

[5] 武建红, 陈勇. Swsy-A 型双压法湿度发生器的研制[J]. 计测技术, 2005, 25(2): 29-31.

[6] 乔晓军, 张云辉, 杜小鸿, 等. 连续型饱和盐法湿度发生器[J]. 农业工程学报, 2006(5): 95-99.

[7] 李占元, 易洪, 任长青. 渗透管标准湿度发生器[J]. 计量技术, 2007(2): 56-59.

[8] 秦展田, 王斌武, 孙晓燕, 等. LabVIEW 及其在测试技术中的应用[J]. 装备制造技术, 2006(5): 23-26.

[9] 胡仁喜, 王恒海, 齐东明, 等. Labview 8.2.1 虚拟仪器实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 56.

[10] Report Generation Toolkit for Microsoft Office User Manual[Z].



(上接第 29 页)

告警控制盒的故障告警功能测试按照告警信息的危急程度分为危险级、警告级、注意级和状态级四类，各级故障又包含多路故障信号，测试程序需要对每一路故障信号进行功能测试。测试程序按照测试流程时序逻辑要求控制程控直流电源、程控继电器和程控电阻等测试资源为告警控制盒施加各种激励信号，同时利用程控开关量状态测量板自动测量并自动判断灯盒驱动输出信号状态(燃亮、熄灭或闪亮)，自动完成逻辑判断，给出测试结果和数据，实现告警控制盒告警功能的自动测试，极大地提高了测试效率。测试程序运行方式多样：既可实现所有测试项目的连续测试，也可对某一项进行单独测试。若某项测试超差可以对该项重新测试以确认发生超差。既可通过自动测试提高测试效率，也可通过虚拟仪器面板子界面(图 6)来实现人机交互测试，方便维修调试。

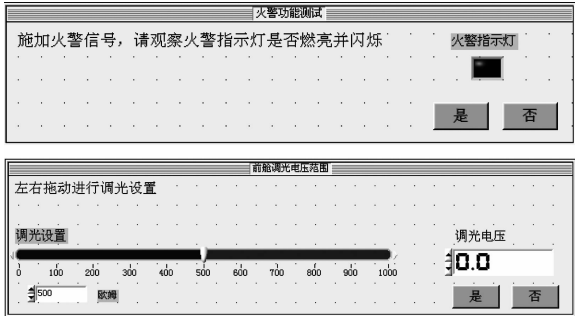


图 6 告警控制盒测试交互子界面示例

测试数据以 Access 数据库形式存储，便于查看和打印，测试数据示例如表 3 所示。

表 3 测试数据示例

测试项目	分项目名	标称值	测量值	单位
上电自检功能测试		正确	正确	
危险级告警功能测试	火警	正确	正确	
警告级告警功能测试	主电源故障	正确	正确	
警告级告警功能测试	防滑故障	正确	正确	
注意级告警功能测试	引气超温故障	正确	正确	
注意级告警功能测试	应急液泵故障	正确	正确	
状态级告警功能测试	防滑检查故障	正确	正确	
状态级告警功能测试	防冰故障	正确	正确	
检灯按钮功能测试	语音告警	正确	正确	
亮度调节功能测试	“日”显示	16~24	16.1~23.9	VDC
亮度调节功能测试	“夜”显示	12~16	12.1~15.9	VDC
复位功能测试	主告警灯复位	正确	正确	
闪烁频率		2~4	2.5	Hz

4 结论

基于自动测试系统平台，采用图形化测试界面和虚拟仪器控制技术实现了飞机灯光告警系统关键设备告警控制盒的功能和性能测试，测试界面简捷直观，操作简单，具有测试效率高、测试方式多样、人机交互好、工作稳定可靠等特点。

参考文献

[1] 航天工业总公司. GJB3385-98 测试与诊断术语[S].

[2] 张毅刚. 自动测试系统[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2001.

[3] 李行善, 左毅, 孙杰. 自动测试系统集成技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[4] 张凯, 姜静, 张树团. 飞机起动箱自动测试设备研制[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(7): 2011-2013.

[5] Labwindows/CVI9.0 用户手册[Z]. National Instrument Corp, 2008.

[6] 任献彬, 张凯. 基于动态链接库技术的测试程序实现方法[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(6): 1084-1089.