

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.06.13

一种双温法温湿度检定箱的探讨

崔体运, 张文东, 沈淘淘, 张勇
(上海市计量测试技术研究院, 上海 201203)

摘要: 阐述了我单位使用的一种双温法温湿度检定箱的原理, 分析了其饱和器温度与露点值的不一致原因, 并做了大量的实验重新定义其饱和器温度与相对湿度的函数关系, 再次通过实验反向验证新的函数关系结果可靠。

关键词: 双温法; 温湿度检定箱; 饱和器温度; 相对湿度

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2016)06-0051-03

Discussion about One Kind of Double-temperature Method for Temperature and Humidity Test Chamber

CUI Tiyun, ZHANG Wendong, SHEN Taotao, ZHANG Yong

(Shanghai Institute of Measurement and Testing Technology, Shanghai 201203, China)

Abstract: This paper describes the principle of one kind of double temperature method temperature and humidity test chamber, analyzed the reasons of its inconsistent between saturation temperature and dew point temperature. Lots of experiments have been done to re-define the function of its saturation temperature and relative humidity, and also through the experiments to reverse verify that the result of this new function is reliable.

Key words: double-temperature method; temperature and humidity test chamber; saturation temperature; relative humidity

0 引言

温湿度计是实验室、生产线用于环境或工艺条件监测的计量器具, 随着国民经济的发展, 各类机械式温湿度计和数字式温湿度计使用越来越广泛, 已经遍及工农业、国防、科技等各领域, 同时温湿度计的计量需求也越来越大。

温湿度检定箱是用于检定校准机械式温湿度计和数字式温湿度计的重要配套设备, 其均匀性和稳定性对于检测有着极其重要的影响。温湿度检定箱作为温湿度检定装置的配套设备, 用于提供稳定的温湿度源。根据具体使用情况, 该双温法温湿度检定箱的性能指标满足并优于 JJG 205-2005《机械式温湿度计检定规程》的要求, 但是其湿度值需要通过设置两个温度间接得出, 不够直观简便。针对这个现象, 本文做了大量实验进行分析研究。

1 双温法温湿度检定箱工作原理

温湿度检定箱从工作原理上来分主要有两大类: 一类是蒸汽加湿、制冷去湿法; 一类是双温法。双温法又分为密闭循环式与连续流动式两种类型, 我单位使用的温湿度检定箱基于密闭循环式的双温法工作原理, 见图 1。

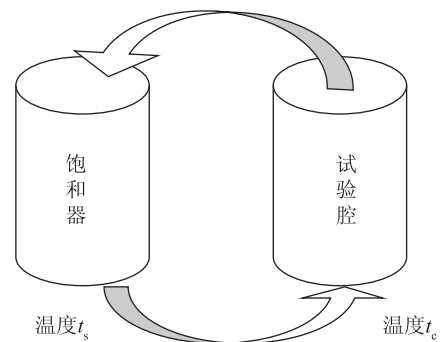


图 1 双温法温湿度检定箱工作原理简图

t_s 为设定的饱和器温度, t_c 为设定的试验腔温度, 通过风扇使气流在饱和器与试验腔之间循环, 经过一段时间之后, 气流中的水汽达到饱和状态, 从饱和器

收稿日期: 2016-11-06

作者简介: 崔体运(1986-), 男, 硕士, 主要从事温湿度计量技术研究。

中流出温度为 t_s 的气流经过换热后,使气流温度达到试验腔温度 t_c 。

双温法湿度发生器是在恒定的压力条件下,将温度为 t_s 的气体在饱和器饱和,然后经过换热使其温度升高为 t_c ,由于 t_c 大于 t_s , t_s 温度下的饱和水蒸气变为不饱和气体,根据道尔顿分压定律和气体状态方程可计算出 t_c 温度下的相对湿度。假设气体为理想气体,并且饱和器总压力 P_s 等于试验腔内气体的总压力 P_c ,则在温度 t_c 的试验腔内气体的相对湿度可以用式(1)计算。

$$U = \frac{e_w(t_s)}{e_w(t_c)} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $e_w(t_s)$ 为温度 t_s 下饱和水蒸气压; $e_w(t_c)$ 为温度 t_c 下的饱和水蒸气压。

由式(1)可见,通过调节饱和器和测试室的温度,就可以得到不同温度下的不同湿度。不过,由于生产工艺或其他原因会导致公式(1)的计算值与标准器(精密露点仪)的测量值发生偏差,比如循环气流可能会带出液态的水汽,饱和器压力与试验腔压力不一致,进入饱和器的循环气流温度高于饱和器温度等情况。针对上述情况,公式(1)可修改为

$$U = f(t_c, t_s, \Delta) \quad (2)$$

式中: Δ 为所有影响因素的影响因子。

由于 Δ 本身包含的因素很多,分析影响因子很困难,而且该温湿度检定箱只允许设定 t_s 与 t_c 值,所以为了得到某一具体的目标湿度值,只能对公式(1)中 t_s , t_c 与 U 的函数关系重新定义,为此需进行大量实验,则公式(2)可简化为

$$U = g(t_c, t_s) \quad (3)$$

2 实验数据分析

温湿度检定箱是用于检定校准机械式温湿度计和数字式温湿度的重要配套设备,结合到箱子本身的性能以及大量客户对仪器的计量需求,对公式(3)函数关系求解做了一系列有针对性的实验,表1列出实验室计量中最常用到的实验数据,即试验腔为 20℃ 工况下的实验数据。

理论上饱和器的温度 t_s 就是饱和器中循环气流的露点值 t_d ,即 $t_s = t_d$ 。但是分析以上数据,不免发现 $t_s < t_d$,而且随着相对湿度 U 的增大两者的差值不断减小,这个现象就是由影响因子 Δ 导致的。

对试验数据进行分析,用不同函数拟合饱和器温度 t_s 与相对湿度 U 的关系,得到如表2及表3的结果。

表1 试验腔温度 20.0℃ 工况下的实验数据

饱和器温度/℃	露点值/℃	相对湿度/%RH	饱和器温度/℃	露点值/℃	相对湿度/%RH
3	6.3	40.8	10.5	12.4	61.4
3.5	6.7	41.9	11	12.8	63.1
4	7.1	43.1	11.5	13.2	64.8
4.5	7.5	44.2	12	13.6	66.7
5	8	45.6	12.5	14	68.4
5.5	8.3	46.8	13	14.5	70.3
6	8.7	48	13.5	14.9	72.3
6.5	9	49.3	14	15.3	74.4
7	9.5	50.5	14.5	15.8	76.6
7.5	9.9	51.9	15	16.2	78.5
8	10.3	53.5	15.5	16.6	80.8
8.5	10.7	55.2	16	17	83
9	11.1	56.7	16.5	17.5	85.2
9.5	11.5	58.2	17	17.9	87.5
10	12	59.7			

表2 试验腔温度为 20℃ 工况下, U 与 t_s 拟合结果

函数形式	关系式	相关性	结论
指数	$y = 1.171e^{0.033x}$	$R^2 = 0.900$	不采用
线性	$y = 0.298x - 8.296$	$R^2 = 0.989$	不采用
对数	$y = 18.30\ln(x) - 64.85$	$R^2 = 0.999$	可采用
二项式	$y = -0.002x^2 + 0.605x - 17.53$	$R^2 = 0.999$	可采用
三项式	$y = 3E-05x^3 - 0.008x^2 + 0.955x - 24.50$	$R^2 = 0.999$	可采用
幂函数	$y = 0.001x^{2.083}$	$R^2 = 0.950$	不采用

备注:表格中 y 代表饱和器温度 t_s , x 代表相对湿度 U

表3 试验腔温度为 30℃ 工况下, U 与 t_s 拟合结果

函数形式	关系式	相关性	结论
指数	$y = 6.699e^{0.017x}$	$R^2 = 0.936$	不采用
线性	$y = 0.318x + 0.280$	$R^2 = 0.983$	不采用
对数	$y = 19.03\ln(x) - 57.84$	$R^2 = 0.999$	可采用
二项式	$y = -0.002x^2 + 0.664x - 9.769$	$R^2 = 0.999$	可采用
三项式	$y = 3E-05x^3 - 0.009x^2 + 1.063x - 17.45$	$R^2 = 0.999$	可采用
幂函数	$y = 0.279x^{1.035}$	$R^2 = 0.981$	不采用

备注:表格中 y 代表饱和器温度 t_s , x 代表相对湿度 U

R^2 反应了拟合关系式贴近真值的程度, 越接近 1 拟合关系式越可靠。通过表 2 与表 3 可知, 对数、二项式、三项式的 R^2 均为 0.999, 属于很理想的拟合结果。但是如果通过上面给出的公式进行验证拟合, 不难发现, 二项式与三项式的反向验证结果, 误差很大, 二项式计算结果误差最小 0.80℃、误差最大达到 3.10℃, 三项式误差最小值 0.17℃、最大误差 0.91℃。对数函数的拟合结果最为理想, 在项系数为小数点后两位数字的情况下最大误差绝对值 0.08℃。

多项式拟合公式计算结果不理想, 主要是由于表 2 及表 3 中项系数小数点后位数不够导致的, 如果逐渐增加项系数小数点后位数, 误差值会逐渐缩小, 其拟合公式的可靠性也越大, 以试验腔温度为 20℃ 时得到的拟合公式为例, 反向验证拟合结果见表 4 及表 5。

表 4 拟合公式部分反向验证数据

饱和期温度	相对湿度	对数函数计算结果	误差	二项式计算结果	误差	三项式计算结果	误差
3.0	40.8	3.02	0.02	3.82	0.82	3.18	0.18
4.5	44.2	4.48	-0.02	5.30	0.80	4.67	0.17
7.0	50.5	6.92	-0.08	7.92	0.92	7.19	0.19
11.0	63.1	11.0	0.00	12.68	1.68	11.44	0.44
17.0	87.5	16.98	-0.02	20.10	3.10	17.91	0.91

表 5 项系数有效位数与误差关系表

函数形式	二项式			三项式			对数	
项系数小数点后位数	3	4	5	3	4	5	2	3
最大误差绝对值	0.80	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
最小误差绝对值	3.10	0.28	0.14	0.91	0.16	0.23	0.08	0.08

通过表 5 可看出, 对数函数的拟合结果最佳, 项系数小数点后 2 位数与 3 位数对计算结果基本一致, 取小数点后两位方便计算。则公式(2)有以下结果。

试验腔温度为 20℃ 时

$$t_s = 18.30 \ln(U) - 64.85 \quad (4)$$

试验腔温度为 30℃ 时

$$t_s = 19.03 \ln(U) - 57.84 \quad (5)$$

如果需要发生其他温度 t ($20^\circ\text{C} \leq t \leq 30^\circ\text{C}$) 下的湿度, 可以采用插值法计算出温度 t 工况下饱和器温度与

相对湿度的函数关系式, 如式(6)。

$$t_s = (16.84 + 0.073t) \ln(U) - (78.87 - 0.701t) \quad (6)$$

通过部分实验验证公式(6)其结果的精确度, 结果如下:

$t = 22^\circ\text{C}$, $U = 56.0\% \text{RH}$, 计算得到 $t_s = 10.8$, 精密露点仪示值 $U = 55.9\% \text{RH}$;

$t = 24^\circ\text{C}$, $U = 60.0\% \text{RH}$, 计算得到 $t_s = 14.1$, 精密露点仪示值 $U = 60.1\% \text{RH}$;

$t = 26^\circ\text{C}$, $U = 50.0\% \text{RH}$, 计算得到 $t_s = 12.7$, 精密露点仪示值 $U = 50.2\% \text{RH}$;

$t = 28^\circ\text{C}$, $U = 72.0\% \text{RH}$, 计算得到 $t_s = 21.5$, 精密露点仪示值 $U = 71.8\% \text{RH}$ 。

不难发现, 由设定湿度 U 值通过公式计算出饱和器温度 t_s , 再设定双温值 t_s 与 t_c , 待温湿度检定箱稳定后, 精密露点仪测量值和设定湿度误差很小, 满足日常计量工作的要求, 故可认为对数拟合公式的结果比较理想。

3 结论

通过拟合公式由相对湿度计算出饱和器温度, 实现了双温的设定, 一定程度上弥补了双温法温湿度检定箱不能直接设定湿度值的缺陷, 同时重新赋予的 $U-t_s$ 函数关系综合考虑了各种影响因素对 $U-t_s$ 的影响, 可为使用此系列型号温湿度检定箱的单位提供参考。

参考文献

- [1] 李英干, 范金鹏. 湿度测量[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [2] 张文东, 丁逸民. 高温精密湿度发生装置[J]. 上海计量测试, 1999(3): 8-9.
- [3] 寿文杰, 周连琴, 夏海雷. 基于双温法的大型温湿度检定装置的研究[J]. 工业计量, 2013(1): 30-34.



计量测控微信

微信号: cnjlk

微信名称: 计量测控

计量测控微信公众平台由计测传媒亲情打造, 隶属中航工业北京长城计量测试技术研究所(航空304所), 为广大粉丝推送最热、最新的计量资讯, 提供各种计量检测类信息咨询服务, 教学视频等。