

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1984

No. 5—5

双温法恒湿发生器

Double-Temperature Constant Humidity Generation Device

中国建筑科学研究院
CHINA ACADEMY OF BUILDING RESEARCH

提 要

双温法恒湿发生器是一种标准空气湿度源的发生装置。本文对该装置的结构原理、性能试验、误差分析,及其与重量法湿度计比对结果进行了全面的论述。

本文由“双温法恒湿发生器的性能及其误差分析”和“重量法湿度计与双温法恒湿发生器的比对结果”两篇报告组成。

参 加 单 位 及 人 员

1. 双温法恒湿发生器的性能及其误差分析

中国建筑科学研究院空调研究所

梁锡沛 艾雅茹

2. 重量法湿度计与双温法恒湿发生器的比对

中国计量科学研究院标准物质研究所

于义朋 杨国栋

中国建筑科学研究院空调研究所

梁锡沛 魏 星

执笔: 梁锡沛

Double-Temperature Constant Humidity Generation Device

Institute of Air-Conditioning

Centre for Certified Reference Material, National Institute of Metrology

Abstract

Double-Temperature Constant Humidity Generation Device is a standard air humidity generating system. The paper discusses the principle of operation, results of performance testing, error analysis as well as the comparison with weight humidity meter.

The paper is composed of the following two technical reports: "Performance and Error Analysis of the Double-Temperature Humidity Generation Device" and "The Comparison of the Double-Temperature Humidity Generation Device with Weight Humidity Meter".

目 录

I、双温法恒湿发生器的性能及其误差分析

一、前言	(1)
二、恒湿发生器的结构原理	(2)
三、恒湿发生器的主要性能	(3)
四、恒湿发生器的误差分析	(9)
五、结论	(13)

II、重量法湿度计与双温法恒温发生器的比对结果

(14)

一、目的	(14)
二、装置的原理及方法概述	(14)
三、比对结果	(16)
四、分析与结论	(17)

附录一、水面上的饱和水蒸汽分压力	(18)
------------------------	--------

附录二、冰面上的饱和水蒸汽分压力	(21)
------------------------	--------

附录三、过冷却水的水面饱和蒸汽分压力	(22)
--------------------------	--------

参考文献	(23)
------------	--------

I. 双温法恒湿发生器的性能 及其误差分析

一、前言

恒湿发生器又称湿度校正设备,是用来产生恒定的已知温湿度的空气,检定湿度传感器或校正湿度仪表的一种装置。它是研究和发展湿度测量技术的重要实验设备。随着国民经济与科学技术的发展,空气湿度与生产、科研、人民生活等各方面的联系日益增多、它的重要作用也被越来越多的人所认识。

恒湿发生器,其工作原理必须具有坚实的理论基础才能有可靠的准确性。具备这一条件的恒湿发生器的种类是很多的。目前国内外常见的,并具有较高准确度的恒湿发生器主要有如下几种:

1. 双温法恒湿发生器^[1,2]。它是根据热力学上的原理,已知空气的露点和干球温度,即可计算出空气的相对湿度。这种恒湿发生器的设计,是使空气在某一温度下被水汽饱和,然后再把它加热升高至所需要的干球温度,从而得到所需要的空气相对湿度。

2. 双压法恒湿发生器^[3]。其工作原理是根据道尔顿气体分压定律^[4],使空气在某一较高的压力下饱和,然后在温度维持不变的条件下降压膨胀,此时的空气相对湿度值即可通过计算而求得。

3. 双流法恒湿发生器^[6]。其工作原理是根据阿麦加气体分容定律^[4]。利用两股温度相同的气流(一股是完全饱和的湿空气;另一股是完全干燥的干空气)相混合,如果两股气流的流量分别已知,即可计算得混合后的空气相对湿度。

4. 饱和盐溶液法恒湿发生器^[6]。它是利用密闭容器内饱和盐溶液表面水汽分压力与空气的水汽分压力取得平衡的原理制成的。由于不同盐类的饱和溶液在一定的温度条件下,都具有确定的水汽分压力值。因此,只要严格控制饱和盐溶液的温度及其表面上的空气温度,并经过足够的平衡时间,即可得到预定的相对湿度。

上述几种类型的恒湿发生器的准确度,一般来说,主要是取决于与它的原理相关的条件,如温度、压力或流量等是否能够得到精确的测量和控制。因此,恒湿发生器准确度,一方面可以通过对测量的有关参数的准确性进行精确的理论分析求得。另一方面也可以通过采用准确度更高的湿度基准仪器进行比对确定。

湿度基准仪器只有重量法湿度计一种。它是通过吸收空气中的水蒸汽并测定其重量的方法来确定空气的水蒸汽含量。这种方法又称为湿度的绝对测量法。美国国家标准局1963年建立的重法湿度计,其准确度达 $\pm 0.13\%$ 。^[7]1981年,中国计量科学研究院也建立了一套重量法湿度计,准确度为 $\pm 0.31\%$ 。^[8]后者目前已定为我国湿度量值的临时工作基准^[9]。

我国的高精度恒湿发生器的研究工作在六十年代初即开始。1963年,中国医学科学院劳动卫生研究所首先研制成功了我国第一台双温法湿度校正设备,其相对湿度最大误差的计算

值为 $\pm 0.9\%RH$ 。随后到七十年代，中国气象科学研究院也着手研制了一台双压法的湿度校正设备。为了适应我国高精度的空气湿度测量与控制技术的发展需要，我所参照中国医学科学院劳动卫生研究所的双温法湿度校正设备的原始图纸建立一套同类型的恒湿发生器。于1980年6月正式建成并调试运行。大量的测试和实验表明，此恒湿发生器的性能基本上达到了设计的要求。

二、恒湿发生器的结构原理

我所建立的恒湿发生器，其结构原理示意图如图 I-1 所示。

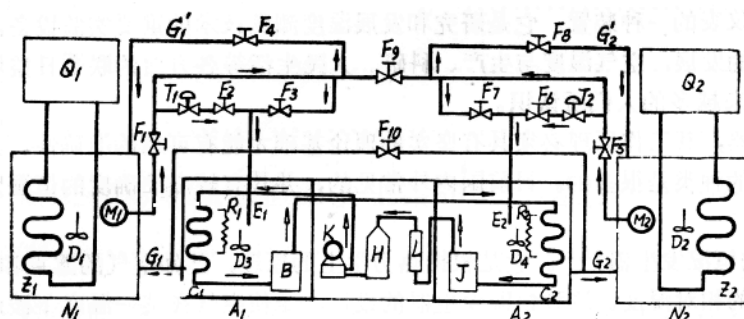


图 I-1 恒湿发生器的结构原理示意图

说明：A₁、A₂ 为恒温油箱，N₁、N₂ 为冷油箱，Q₁、Q₂ 为压缩式制冷机，Z₁、Z₂ 为蒸发器，C₁、C₂ 为铜盘管，B 为饱和室，J 为校正室，L 为流量计，H 为缓冲筒，K 为空气循环泵，M₁、M₂ 为油泵，D₁、D₂、D₃、D₄ 为电动搅拌器，R₁、R₂ 为电热器，E₁、E₂ 为冷油导流管，T₁、T₂ 为电磁阀，F₁、F₂、F₃、F₄、F₅、F₆、F₇、F₈、F₉、F₁₀ 为节流阀，G₁、G₂ 为溢流管，G₁'、G₂' 为冷油传送管，空心箭头表示空气在密封系统中的流向，实心箭头表示为冷油在管内的流向。

图中的饱和室 B 和校正室 J 以及热交换盘管 C₁、C₂，分别浸没在两个温度不同的恒温油箱 A₁ 和 A₂ 的油液中。它们与流量计 L、缓冲筒 H、空气泵 K 等连接在一起，组成一个密闭的空气系统。在饱和室内注入一定量的蒸馏水作为饱和水蒸汽的水源。饱和室的温度 t₁ 和校正室的温度 t₂ 分别由恒温油箱 A₁、A₂ 的油液温度所决定的。空气在进入饱和室（或校正室）之前，先经过了热交换盘管，从而使空气能够充分地恒温油液进行热交换。因此，保证了饱和室或校正室的空气分别具有与油液相同的温度。恒温油液温度的调节，冷源由冷油箱 N₁、N₂ 中的冷油供给，热源是由电热器 R₁、R₂ 供给。所以，当恒温油液温度经过足够时间的稳定后（工作时的校正室温度 t₂ 必须高于饱和室温度 t₁），校正室的空气相对湿度即可通过计算而求得。

为了改善恒湿发生器的工作性能，在仿中国医学科学院劳动卫生研究所的双温法湿度校正设备的基础上，作了一些改进措施，其中主要有：增加饱和室侧的压缩式制冷机的产冷量，以扩大可校的湿度范围；在冷油箱内增设了冷油搅拌器，以提高蒸发器的热交换效果；把原独立安装在冷油箱外的冷油泵改用机床油泵安装在冷油箱盖上等等。特别是为了提高恒温油液的温度恒定效果，在恒温油箱内增加了一个冷油导流管，使冷油的流入集中在恒温箱

中心的电热器与电动搅拌器附近。从而使盘管与饱和室或校正室等热交换件处于基本相同的温度场下,避免了局部盘管在温度调节过程中接触冷油而造成不利影响,保证了设备恒温的可靠性。

三、恒温发生器的主要性能

恒温发生器的性能是指除测试(如温度测量)或外因(如压力)条件外,装置本身所具有的特性和能力。对于任何一种恒温发生器来说,通常主要考虑是:(1)相对湿度恒定时的最大波动范围;(2)改变温湿度条件时的过渡过程;(3)温度和湿度的校正范围等。下面就上述的主要性能的测定分析情况予以介绍。

(一) 恒定相对湿度的波动范围

双温法原理的恒温发生器,其产生恒定相对湿度的主要条件:一是在密闭系统中的校正室与饱和室的空气温度要恒定;二是饱和室内的空气要维持经常饱和。而校正室与饱和室空气温度恒定的效果如何,又是由浸湿它的油液温度波动的大小所决定。所以,恒温油箱内的油温控制精度,就成了决定设备产生恒定相对湿度的一个重要的基本条件。

1. 油液恒温的波动范围

——为了保证恒温油液的温度能有比较稳定和可靠的精确度,温度控制采用手动与自动结合控制或全手动控制。手动与自动结合的控制方法是,冷量的调节为手动,热量的调节为自动。恒温时,冷油流量调节恒定在 $10\sim 30$ 升/小时的范围。如果此时,冷油与恒温油的温差约为 15°C ,根据实测,在加热停止的情况下,恒温油液的降温速度为 $-0.03\sim -0.09^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ 。自动调节的加热量为 1 千瓦,当停业冷油加入的情况下,恒温油的最大温升速度约为 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ 。由于加热量的控制是采用PID的调节方式,感温元件选用热敏电阻,因此,油液的恒温控制精度是比较高的。温控实验记录见表I—1。表中的温度数据是采用中国科学院新疆物理研究所研制的高灵敏度和高分辨率(分辨率为 0.003°C)的MF51型玻璃密封热敏电阻作为测温元件测定后换算得的。由表I—1可见,恒温时,油液的温度波动范围不大于 0.03°C (即 $<\pm 0.015^{\circ}\text{C}$)。若与温度测定的算术平均值比较,它的最大偏差值也不超过 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 。

采用全手动的控温方法,其冷热量的调节主要是根据温度偏差大小来掌握调节时间,从而达到恒温的目的。油液恒温的监视和观察是通过测温的热敏电阻的阻值变化量来掌握。当油液温度与环境的温差不大于 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 时,如果将调节的冷热量完全关闭,恒温油的温度自然变化率在 10 分钟内不会大于 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 。因此,采用全手动控制温度,同样也能获得较高的恒温精度的。全手动控温的实验记录见表I—2。由表I—2可见,油液恒温时,温度的波动范围为 0.035°C (即 $\pm 0.0175^{\circ}\text{C}$)。因此,无论采用手动与自动结合控制或全手动控制,油液的恒温精度都可以达到 $<\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 。

2. 校正室与饱和室空气温度的恒定

在恒温油的作用下,校正室或饱和室的空气温度除在升温或降温过程存在一定的滞后现象外,经过一定的时间稳定后,可达到与恒温油液基本一致。实验记录列于表I—3和表I—4。

手动与自动结合控制的油液恒温实验记录

表 I - 1

时 间 参 数 值 记 录 顺 序 项 目		1980 年 9 月 24 日		1980 年 9 月 25 日	
		热敏电阻 阻值 (Ω)	折合温度 ($^{\circ}\text{C}$)	热敏电阻 阻值 (Ω)	折合温度 ($^{\circ}\text{C}$)
每隔两分钟测量一次	1	9254.0	23.645	6341.0	33.766
	2	9251.0	23.653	6340.0	33.770
	3	9254.0	23.645	6336.0	33.790
	4	9253.0	23.648	6337.0	33.785
	5	9254.0	23.645	6338.0	33.780
	6	9251.0	23.653	6342.0	33.763
	7	9253.0	23.648	6341.0	33.766
	8	9252.0	23.650	6341.0	33.766
	9	9252.0	23.650	6341.0	33.766
	10	9251.0	23.653	6341.0	33.766
	11	9251.0	23.653	6342.0	33.763
	12	9248.0	23.662	6342.0	33.763
	13	9249.0	23.660	6342.0	33.763
	14	9249.0	23.660	6339.0	33.775
	15	9251.0	23.653	6339.0	33.775
	16	9251.0	23.653	6339.0	33.775
最大波动范		6.0	0.017	6.0	0.027
算术平均值		9251.5	23.652	6340.1	33.772
测量值与平均 值的最大偏差		-3.5 +2.5	+0.010 -0.007	-4.1 +1.9	+0.018 -0.009

全手动控制的油液恒温实验记录

表 I - 2

时 间 参 数 值 记 录 顺 序 项 目		1980 年 9 月 26 月		1980 年 9 月 27 日	
		热敏电阻 阻值 (Ω)	折合温度 ($^{\circ}\text{C}$)	热敏电阻 阻值 (Ω)	折合温度 ($^{\circ}\text{C}$)
每隔二或三 分钟测定一次	1	10968.0	20.140	9408.0	24.130
	2	10964.0	20.150	9403.0	24.145
	3	10961.0	20.156	9401.0	24.150
	4	10965.0	20.148	9400.0	24.153
	5	10967.0	20.142	9407.0	24.127
	6	10964.0	20.150	9404.0	24.142
	7	10965.0	20.148	9405.0	24.140
	8	10961.0	20.156	9409.0	24.128
	9	10960.0	20.158	9404.0	24.142
	10	10964.0	20.150	9400.0	24.153
	11	10961.0	20.156	9397.0	24.162
	12	10965.0	20.148	9404.0	24.142
	13	10962.0	20.154	9401.0	24.150
	14	10960.0	20.158	9406.0	24.137
	15	10965.0	20.148	9404.0	24.142
注		两分钟测一次		三分钟测一次	
最大波动范围		8.0	0.018	11.0	0.035
算术平均值		10963.5	20.151	9403.0	24.144
测量值与平均 值的最大偏差		-3.5 +4.5	+0.007 -0.011	-6.0 +6.0	+0.018 -0.017

恒温状态下，校正室空气与恒温油液温度的测定记录 表 I—3

时间	温度 (°C)	测点位置	校正室空气	恒温油液
每隔 两分 钟同 时记 录一 次	1		19.787	19.790
	2		19.790	19.792
	3		19.795	19.796
	4		19.795	19.798
	5		19.790	19.790
	6		19.787	19.792
	7		19.790	19.787
	8		19.790	19.790
	9		19.787	19.792
	10		19.787	19.790
	11		19.790	19.792
	12		19.790	19.790
温度最大波动范围 (°C)			0.008	0.011
平均温度 (°C)			19.790	19.791
校正室空气与恒温油的 平均温度偏差 (°C)			0.011	

恒温状态下，饱和室空气与恒温油液温度的测定记录 表 I—4

时间	温度 (°C)	测点位置	饱和室空气	恒温油液
每隔 三分 钟同 时记 录一 次	1		24.140	24.142
	2		24.147	24.153
	3		24.160	24.162
	4		24.147	24.150
	5		24.130	24.142
	6		24.130	24.137
	7		24.140	24.142
	8		24.147	24.147
	9		24.153	24.153
	10		24.147	24.153
	11		24.130	24.127
	12		24.140	24.140
温度最大波动范围 (°C)			0.030	0.035
平均温度 (°C)			24.143	24.146
饱和室空气与恒温油的 平均温度偏差 (°C)			0.003	

由表 I—3、表 I—4 可见,校正室或饱和室的空气温度波动均未超出恒温油液的温度波动范围,平均温度偏差(即恒温油液温度与校正室或饱和室空气温度之差)均不大于 0.005℃。因此,可以认为,校正室或饱和室的空气温度与它相应的恒温油液温度基本上是一致的,用恒温油液的温度波动来代表校正室或饱和室空气的温度波动是完全可以的。

3. 饱和室的水温与恒温油液温度的平衡与稳定

实验测定的结果见表 I—5。表中数据为每隔十分钟测定记录一次而得。由于测记的时间相隔稍长,所以在操作上人为地把恒温油液温度的波动控制放宽在 $\pm 0.02^\circ\text{C}$ 范围内。因此,波动范围略大于表 I—4。其中个别点的数据超出 0.04℃ 的波动范围是由于人的观察误差(观察误差的最大值为 $\pm 0.003^\circ\text{C}$)和测温电桥的误差($\pm 0.006^\circ\text{C}$)造成的。水温的波动实际上是不会超出恒温油液的温度波动范围。以表 I—5 中的平均温度比较,最大温差也只有 $\pm 0.016^\circ\text{C}$ 。这个温差是在测温元件的误差范围之内(参看后面误差分析中的“温度测量误差”)。所以,可以认为,饱和室的水温与恒温油液的温度基本上是一致的。

饱和室水温与恒温油液的温度偏差测定

表 I—5

时间	温度 (°C)		日期		1982年9月20日		1982年10月5日		1982年10月6日	
	记录顺序	测点位置			饱和室 蒸馏水	恒温油液	饱和室 蒸馏水	恒温油液	饱和室 蒸馏水	恒温油液
每隔 十分 钟测 记一 次	1				-9.938	-9.93	11.992	12.00	1.833	1.90
	2				-9.943	"	12.020	"	1.835	"
	3				-9.942	"	12.023	"	1.839	"
	4				-9.945	"	12.005	"	1.832	"
	5				-9.952	"	11.998	"	1.872	"
	6				-9.945	"	12.007	"	1.890	"
	7				-9.942	"	12.000	"	1.833	"
	8				-9.943	"	12.013	"	1.834	"
	9				-9.938	"	12.016	"	1.834	"
	10				-9.945	"	12.007	"	1.912	"
温度最大波动范围 (°C)					0.016	$\pm 0.02^\circ\text{C}$	0.014	± 0.02	0.04	± 0.02
平均温度 (°C)					-9.944	-9.960	12.003	12.00	1.89	1.90
饱和室水温与恒温油液的温度偏差 (°C)					+0.016		+0.008		-0.010	

4. 饱和室空气中的水蒸汽饱和度

从理论上说,一个含水的饱和器连接于密闭的空气循环系统中,在温度恒定的条件下,经过反复多次循环(不受时间限制),饱和室空气中的水蒸汽总是能够达到饱和的。为此,空气的循环系统必须具有良好的密闭性。其密闭性试验是利用空气泵将系统内的部分空气排出,使系统内的气压与环境大气压形成15毫米汞柱的压差后封闭。经过半小时的观察,压差保持不变。由此可以证明,空气系统的密封性是良好的。

为了验证饱和室内水蒸汽是否达到饱和,采取的方法是将八个灵敏度比较高和温滞较小的氯化锂电阻式感湿元件放入空气循环系统中的校正室内进行试验,校正室内空气温度恒

定在 25℃。饱和室的水汽饱和方法分别采用升温饱和和降温饱和进行比较。试验记录见表 I—6 所示。

表 I—6 的数据表明，升温饱和与降温饱和的相对湿度偏差较小。以其中偏差最大的 35# 元件为例，元件的电流绝对偏差为 0.5 微安，折合相对湿度的偏差为 0.1%RH（用量程为 0~100μA 的 0.2 级微安表测量）。因此，可以认为饱和室内的空气是达到饱和的。

5. 相对湿度的最大波动范围

由于饱和室内空气的水汽是饱和的，即可以根据前面的试验结果，分析恒湿发生器在各种温湿度下的相对湿度最大波动范围，见表 I—7。

饱和室的水蒸汽饱和度比较实验记录 表 I—6

恒温途径	饱和室		校正室温度 (℃)	相对湿度 计算值 (%)	通过元件的电流 (微安)							
	恒温前温 度 (℃)	恒温温度 (℃)			1 #	7 #	28 #	24 #	30 #	35 #	36 #	45 #
升温→恒温	14.90	16.00	25.00	57.4	57.5	51.4	54.6	55.6	57.5	55.4	49.4	53.6
降温→恒温	17.10	16.00	25.00	57.4	57.5	51.6	54.4	55.3	57.9	55.9	49.5	54.0
(以升温→恒温为准比较)偏差					0	+0.2	-0.2	-0.3	+0.4	+0.5	+0.1	+0.4

恒湿发生器的空气相对湿度最大波动范围 表 I—7

校正室温度 (℃)	饱和室温度 (℃)	相对湿度 (%)
10.00±0.02	-10.50±0.02	20.26±0.07
	2.60±0.02	60.00±0.17
	8.50±0.02	90.39±0.25
25.00±0.02	0.60±0.02	20.14±0.06
	16.70±0.02	60.01±0.15
	23.30±0.02	90.31±0.22
40.00±0.02	12.80±0.02	20.04±0.05
	30.80±0.02	60.21±0.13
	38.10±0.02	90.21±0.19

由表 I—7 可见，恒湿发生器在各种情况下产生的恒定相对湿度最大的波动范围将不大于 ±0.25%RH。

(二) 恒湿发生器的温湿度变换过渡过程的特征和时间

了解和掌握恒湿发生器的温湿度参数变换的过渡过程，对于保证设备操作的准确性和提高湿度校正的工作效率都是非常重要的。

1. 过渡过程的特点和规律

过渡过程是恒湿发生器内的空气从一种温湿度平衡状态改变到另一种温湿度平衡状态的过程。这个过程主要包括恒温油液的升温（或降温）和恒温两个阶段。为此，我们对恒湿发生器的校正室和饱和室空气及其恒温油液的温度变换过程分别做了飞升曲线的试验。试验结果如图 I—2 和图 I—3 所示。

由图 I—2 可见，校正室的过渡过程中，空气温度较大程度滞后于液体温度，其温滞的最大值可达 1.5℃。当油液温度达到给定值时，空气与油液的温差仍有 1℃左右。此时的油液

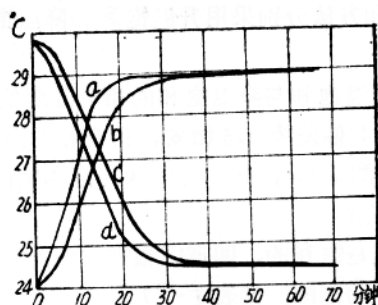


图 1-2 校正室空气与恒温油液的升(降)温的过渡过程

a、c—油液温度变化曲线 b、d—空气温度相应变化曲线

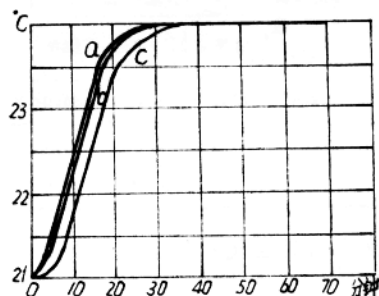


图 1-3 饱和室空气、水及恒温油液的升温过渡过程

a、b、c、分别为油液、空气和水的变化曲线

温度若控制恒定,校正室内空气温度变化速度就缓慢多了。从试验测定数据看,经过40分钟后,空气的温度才达到允许的 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 波动范围之内。但是,饱和室的过渡过程情况则有所不同。参看图 I-3,空气随恒温油液的变化几乎是同步的,它们之间的温差最大为 0.2°C 。当油液温度恒定后,空气与恒温油液之间温差基本上不超出恒温波动 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 的范围。然而在饱和室中的水温则有较大的滞后。当恒温油液到达给定温度时,水温与之约有 0.7°C 的温差。经过约20分钟的稳定后,水温才达到给定温度波动允许的 0.02°C 范围内。

产生温滞大的原因,一是校正室的材质是采用壁厚为4毫米的不锈钢,导热系数要比用1毫米的紫铜板制成的饱和室小得多。二是校正室的上部及盖是暴露在恒温油液面上的空气中,当油液温度变化后,处在无搅拌的油液面上的空气温度要达到与油温平衡则需要一定的时间。而饱和室内水温的滞后主要是水量集中和水的热容量比空气大,并且它的流动情况也比循环空气要小,在一定程度上影响水的热交换效果。

2. 相对湿度变换的过渡过程时间

从理论上说,按双温法原理建立的恒湿发生器,为了保证恒湿发生的可靠性,要求温度平衡有足够的时间。但是,在实践上如何掌握?只有通过试验才有可靠的把握。

从摸索恒湿发生器过渡过程的特点和规律的试验可以看出,如按通常的操作方法控制,恒湿发生器内空气的相对湿度从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态所需要的时间至少是40—60分钟。如果调节的空气露点温度变化大于 5°C ,则需要的稳定时间就更长了。

根据校正室和饱和室在恒温油液的温度改变时,空气和水的温度有滞后现象的特点,我们在操作上决定采取温度超调的办法来解决,使过渡过程的时间大大缩减,试验的记录详见

记录时间 (时、分)	校正室温度 (℃)	饱和室温度 (℃)	相对湿度 (%)	通过元件的电流(微安)			
				30#	35#	36#	45#
10:40	25.00	13.70	49.5	22.5	22.1	18.7	19.5
10:43	"	14.20		24.0	23.4	19.8	21.4
10:46	"	15.10		32.4	31.7	26.6	29.4
10:48	"	15.10		35.9	35.3	30.2	32.3
10:50	"	14.80		36.7	36.1	31.2	32.9
10:52	"	14.90	53.5	36.8	36.2	31.4	33.1
10:54	"	14.90	53.5	37.0	36.4	31.6	33.1
10:56	"	14.90	53.5	37.0	36.3	31.6	33.1
10:58	"	14.90	53.5	37.1	36.4	31.8	33.2
10:00	"	14.90	53.5	37.1	36.5	31.8	33.2
10:02	"	14.90	53.5	37.1	36.5	31.8	33.2
10:16	"	14.90	53.5	37.1	36.4	31.7	33.2
10:36	"	14.90	53.5	37.1	36.5	31.8	33.3

表 I—8。这项试验,是选取了四个灵敏度较高的氯化锂电阻式感湿元件放入校正室中进行监视检测的。

由表 I—8 可见,相对湿度从49.5%改变到53.5%的过渡过程只需12分钟。恒定后半小时内感湿元件显示的波动值,最大的只有0.4微安,换算成相对湿度,误差仅为0.1%RH。

多次实验测定表明,相对湿度改变不大于10%RH,过渡过程的时间不大于15~20分钟。

(三) 恒湿发生器的工作温度与露点温度的变化范围

根据设备的制冷能力及传热介质等具体条件,恒湿发生器的工作温度范围是+5~+45℃;露点温度范围是-20~+40℃。这个范围对于建筑空调行业的湿度校正来说,除特殊要求外,一般都能满足要求。

四、恒湿发生器的误差分析

误差分析的主要目的是为了确定恒湿发生器的准确度。双温法原理的恒湿发生器的准确度在很大程度上取决于它的温度测量的准确度,其次是考虑空气压力条件的影响。因此,误差分析也就着重在温度测量和气压条件的讨论上。

(一) 温度测量的误差

测温元件是选用中国科学院新疆物理研究所研制的MF51型高稳定性的半导体热敏电阻。该元件的特点是体积小、灵敏度高、稳定性好。热敏电阻测温的准确度,主要取决于用以标定其分度值的标准温度计的准确度、仪器的测量误差和元件的漂移率。

1. 温度标定的误差

热敏电阻的温阻特性的标定,分别在我所的温度实验室和北京市计量管理局进行检定

的。我所的温度标定是采用二等标准铂电阻温度计—密勒温度电桥进行标定的，准确度为 $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 。

在北京市计量管理局的标定，是采用一等标准水银温度计作为标准仪器的。准确度经订正后，误差不大于 $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 。

根据上述测温基准的条件，热敏电阻温度标定的误差可确定为 $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 。

2. 仪器的测量误差

热敏电阻的阻值测量是选用0.2级的QJ36型单双臂电桥和AC15/4型高灵敏度光点检流计配合测量。仪器的准确度经北京市计量管理局检定合格。根据仪器的准确度，即可计算出在测温时，仪器误差对温度测量准确度的影响，分析数据详见表 I—9。

热敏电阻的阻值测量误差分析表 表 I—9

参 数 值 温度($^{\circ}\text{C}$)	项 目 B04# 热敏电阻阻值 (Ω)	仪 器 测 量 的 最 大 误 差	
		阻值测量最大误差 (Ω)	折合温度最大误差 ($^{\circ}\text{C}$)
0.00	24472.0	± 4.5	± 0.004
10.00	15926.0	± 3.2	± 0.0052
20.00	10652.00	± 2.1	± 0.0057
30.00	7280.00	± 1.50	± 0.0060
40.00	5047.00	± 1.10	± 0.0063
50.00	3784.00	± 0.76	± 0.0069

由表 I—9 可见，仪器测量所产生的误差，最大不超过 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$

3. 热敏电阻的漂移

根据中国科学院新疆物理研究所提供的技术指标，MF51 型热敏电阻的标称阻值年变化率不大于千分之二，折合温度的年漂移率不大于 0.06°C ，分析数据详见表 I—10。

热敏电阻漂移（按0.02%/年计）分析表 表 I—10

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	热敏电阻阻值 (Ω)	最大漂移量 (Ω)	折合温度漂移 ($^{\circ}\text{C}$)
0.00	24472.0	45.0	0.022
10.00	15926.0	32.0	0.049
20.00	10652.0	21.3	0.052
30.00	7280.0	14.6	0.054
40.00	5047.0	10.0	0.055
50.00	3784.0	7.6	0.060

但是，在实际使用中，热敏电阻的漂移情况根据实测数据也作了分析和比较。现将用于饱和室侧的B06*和A09*测温热敏电阻各自两次标定的数据和比较，结果分别列于表 I—11和表 I—12。表 I—11的测定数据是在我所的温度实验室以标准铂电阻为标准测定的；表 I—12的测定数据是在北京市计量管理局用一等标准水银温度计作标准标定的。

分析表 I—11和表 I—12的数据不难看出，热敏电阻是稳定的。如果把测量误差等因素

考虑进去, 热敏电阻的漂移率基本上没有超出 $\pm 0.06^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 的范围。因此, 每隔半年时间对热敏电阻进行一次精确的标定, 可以使热敏电阻漂移引起的测温误差保持在 $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 的范围内。

热敏电阻 B06 * 的稳定性测定分析表 表 I—11

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	1980年3月 测 定 值 (Ω)	1980年10月 测 定 值 (Ω)	阻值变化 (Ω)	折合温度变化 ($^{\circ}\text{C}$)
0.00	24472.0	24472.0	0.0	+0.024
5.00	19657.0	19636.0	-21.0	-0.009
10.00	15926.0	15932.2	+ 6.2	-0.008
15.00	12989.0	12993.0	+ 4.0	+0.002
20.00	10652.0	10651.0	- 1.0	+0.021
25.00	8794.0	8787.0	- 7.0	-0.003
30.00	7280.0	7281.0	+ 1.0	-0.008
35.00	6064.0	6066.0	+ 0.2	-0.008
40.00	5074.0	5082.0	+ 6.0	-0.032
45.00	4279.0	4275.0	- 4.0	+0.027

热敏电阻 A09 * 的稳定性测定分析表 表 I—12

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	1982年3月 测 定 值 (Ω)	1983年4月 测 定 值 (Ω)	阻值变化 (Ω)	折合温度变化 ($^{\circ}\text{C}$)
-20.00	84718.0	84671.0	-47.0	+0.011
-10.00	52210.0	52240.6	+30.6	-0.012
0.00	33035.0	33.62.1	-22.9	+0.015
10.00	21369.0	21457.6	+88.6	-0.096
20.00	14213.0	14251.8	+38.8	-0.059
30.00	9654.0	9683.4	+29.4	-0.051
40.00	6706.0	6716.3	+10.3	-0.062

由于校正室与饱和室的温度测量是分别用两支热敏电阻进行的。因此, 热敏电阻漂移引起的误差应尽量保持方向和量值的一致。在这种情况下, 热敏电阻的漂移可以看作为系统误差。恒湿发生器测温的系统误差对相对湿度的误差影响是很微小的。例如温度测量系统误差以 0.1°C 计, 影响相对湿度的准确度只有 $0.007\% \text{RH}$ 。所以, 当两支热敏电阻的漂移是相同的情况下, 这项误差在相对湿度的计算中是可以忽略不计的。

为了监视热敏电阻之间漂移的差异, 采用两支热敏电阻不定期放在恒湿发生器的恒温油液中进行测定比较(一般检三个温度点以上)。当它们之间的差异明显地大于原标定的差异时, 即随时送计量部门检测。

根据以上的试验和分析, 今后每隔三个月至半年时间对热敏电阻作一次精确标定, 热敏电阻漂移引起的测温误差将不大于 $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 。

综合上述各项误差,即可得到热敏电阻测温的合成误差,其计算式为:

$$\sigma_t = \pm \sqrt{\sum (\Delta t_i)^2} \quad (\text{I}-1)$$

即

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \pm \sqrt{0.03^2 + 0.01^2 + 0.03^2} \\ &= \pm 0.0436 \quad (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

式中根号内第一项为热敏电阻标定误差,第二项为测量仪器误差,第三项为热敏电阻的漂移误差。因此,热敏电阻测温的最大不确定度定为 $\pm 0.045^\circ\text{C}$ 。

(二) 空气压力对相对湿度测量准确度的影响

对于精密度较高的恒湿发生器来说,气压的影响是不能完全忽略的。在恒湿发生器的空气密闭循环系统中,由于空气泵工作产生压力,以及管路实际存在着阻力,因而使系统内各点的空气有着不同的压力值,校正室与饱和室之间也就相对地产生一定的压差。此外,校正室与饱和室的空气绝对压力值又与环境的大气压力分不开。因此,大气压力的变化,同样会对相对湿度的校正产生一定影响的。

1. 校正室与饱和室的压差相对湿度校正准确度的影响

根据实验测定,当空气泵工作时,密闭系统中校正室的空气绝对压力较环境的大气压力低27毫米水柱(即低1.986毫米汞柱);而饱和室的空气绝对压力却高于环境大气压力35毫米水柱(即高2.574毫米汞柱)。因此,校正室与饱和室之间的压差为62毫米水柱(即4.56毫米汞柱)。这个压差值基本上是不变的,它主要是取决于空气泵的出口压力和系统管路的阻力,而受系统温湿度参数变化的影响较小。由于这个压差的存在,所以在计算相对湿度时,必须引入压力修正。修正值的大小就是校正室的空气绝对压力与饱和室的空气绝对压力之比。此时,恒湿发生器的相对湿度计算式可写为:

$$\text{RH} = \frac{P_c}{P_s} \times \frac{e_s}{e_c} \times 100\% \quad (\text{I}-2)$$

式中: P_c 、 P_s 分别为校正室与饱和室的空气绝对压力; e_c 、 e_s 分别为校正室温度 t_c 与饱和室温度 t_s 时相应的饱和水蒸汽分压力值。

当环境大气压力为760毫米汞柱时,恒湿发生器的压力修正值(P_c/P_s)为0.994。相对湿度的计算式又可写为:

$$\text{RH} = 0.994 \times \frac{e_s}{e_c} \times 100\% \quad (\text{I}-3)$$

由(I-3)式可见,当 $e_s = e_c$ 时,如果不考虑饱和室与校正室之间实际存在的压差影响。相对湿度的计算就会有0.6%RH的误差。

2. 环境大气压力变化对相对湿度的影响

校正室与饱和室的空气绝对压力 P_c 和 P_s 的大小,是与环境大气压有着不可分割的联系。由于环境大气压的变化,恒湿发生器的压力修正值(P_c/P_s)不等于常数,而是随着大气压力的变化产生微小的变化。根据北京地区大气压力变化的情况,夏季可能低至720毫米汞柱;冬天则可能高达790毫米汞柱。由此可归纳出北京地区大气压力变化的最大范围将不会超过 760 ± 40 毫米汞柱。若根据这一变化值重新计算恒湿发生器的压力修正值,则最大值为0.9943,最小值为0.9937。即与标准大气压力下的修正值比较有 ± 0.0003 的变化,反映到相对湿度的计算上将有 $\pm 0.03\%$ RH的误差。由于这个变化值不是恒定的,并且相对地比较小,所以在压力修正时不予考虑。

(三) 恒湿发生器的误差综合分析

根据前面的热敏电阻测温准确度的分析,并考虑了恒湿发生器在恒温时的温度波动,因而理论计算的温度最大误差 Δt_m ,确定为:

$$\Delta t_m = \pm \sqrt{0.02^2 + 0.045^2} = \pm 0.0492 \quad (^\circ\text{C})$$

式中根号内第一项为空气的温度波动值,第二项为热敏电阻测温误差。

取 $\Delta t_m = \pm 0.05^\circ\text{C}$,由此即可计算出在各种温度下,恒湿发生器由于温度误差引起的相对湿度的最大误差,计算结果详见表 I—13。

恒湿发生器的温度误差产生的相对湿度误差

表—31

校正室温度 $t_c (^\circ\text{C})$	饱和室温度 $t_s (^\circ\text{C})$	相对湿度 $\varphi(\%)$	相对误差 $\Delta\varphi/\varphi(\%)$
10.00 ± 0.05	-10.50 ± 0.05	20.26 ± 0.16	± 0.79
	2.60 ± 0.05	60.00 ± 0.40	± 0.67
	8.50 ± 0.05	90.39 ± 0.62	± 0.69
25.00 ± 0.05	0.60 ± 0.05	20.14 ± 0.14	± 0.70
	16.70 ± 0.05	60.01 ± 0.37	± 0.62
	23.30 ± 0.05	90.31 ± 0.54	± 0.60
40.00 ± 0.05	12.80 ± 0.05	20.04 ± 0.12	± 0.60
	30.80 ± 0.05	60.21 ± 0.34	± 0.56
	38.10 ± 0.05	90.31 ± 0.48	± 0.53

由表 I—13 可见,由温度误差而产生的相对湿度的最大误差为 $\pm 0.62\% \text{RH}$,相对误差为 $\pm 0.79\%$ 。

此外,如前面已分析过的大气压力变化对恒湿发生器的相对湿度有一定的影响。因此,在相对湿度的计算时,除引入压力修正系数 0.994 外,还将有 $\pm 0.03\%$ 的随机误差。如将此项误差加入到表 I—13 的数据中,则相对湿度的最大误差为 $\pm 0.65\% \text{RH}$,相对误差的最大值为 $\pm 0.82\%$ 。

最后,为考虑到在误差分析的过程中,可能仍存在某些不尽完美之处,因此,恒湿发生器的相对湿度最大误差确定为 $\pm 0.7\% \text{RH}$,相对误差则相应不大于 $\pm 1\%$ 。这个准确度与中国计量科学研究院的重量法湿度计比对结果是相符的。

五、结 论

综合上述全部的试验和分析,可确定我所研制的双温法恒湿发生器的性能及其准确度如下:恒湿波动范围最大为 $\pm 0.25\% \text{RH}$;压力修正系数为 0.994;相对湿度的准确度为 $\pm 0.7\% \text{RH}$,相对湿度的相对误差不大于 $\pm 1\%$ 。