

## 连续型饱和盐法湿度发生器

乔晓军<sup>1</sup>, 张云辉<sup>2</sup>, 杜小鸿<sup>1</sup>, 焦春岩<sup>1</sup>

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089; 2. 吉林大学南岭校区制图教研室, 长春 130025)

**摘要:** 针对传统湿度发生器存在的诸多缺点, 在总结和吸收国内外对湿度发生器研究成果的基础上, 根据在不同温度定条件下和饱和盐水溶液共处于平衡状态的空气相对湿度仅仅是温度的函数, 引入微机控制系统, 实现自动温度控制, 研究开发了能够产生连续湿度定点的湿度发生器, 使湿度传感器或其他小型湿度仪表的校准更为快捷和准确。这种类型的湿度发生器在国内还是首创, 具有重要的研究与实用价值。

**关键词:** 湿度发生器; 饱和盐; 连续湿度定点; 半导体控温器; 单片机

**中图分类号:** TH765. 5; O611. 66

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2006)05-0095-04

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, 22(5): 95-98.

Qiao Xiaojun, Zhang Yunhui, Du Xiaohong, et al. Intelligent continuous humidity generator with saturated aqueous salt solutions[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(5): 95-98. (in Chinese with English abstract)

### 0 引言

湿度是人类生活、生产各个领域中的一重要环境参数, 随着工农业的迅速进步, 国内、外湿敏元器件的研制、生产及应用的快速发展, 促进了元件湿度检测和计量工作的逐渐普及, 而且对测量技术要求也越来越高<sup>[1]</sup>。因此对湿度测量装置进行检定和校准, 成为必需<sup>[2]</sup>。标定湿敏元件及湿度传感器的方法和设备种类较多, 总体分有两大类: 第一类为直接法, 即采用标准仪器所测得的湿度值对湿度测量仪器进行校准; 第二类为间接法, 即采用精确仪器装置发生一定湿度的气体, 以此来标定湿度测量仪器。由于前一种方法对标准仪器的性能和精度的要求很高, 而且负温下无法工作, 因此后一种方法以其切实可行的优势便成为人们研究的重点。

能够产生已知湿度量值标准湿气的湿度发生器有很多种, 基于原理不同主要包括以下几种: 重量法湿度发生器、渗透式湿度发生器、饱和盐湿度发生器、双温法湿度发生器、分流式温度发生器以及双压法湿度发生器<sup>[3-6]</sup>。

而饱和盐法湿度发生器以其操作简单、造价低廉等特点被生产及销售湿度传感器的厂家普遍使用, 成为最受欢迎的实用标准源。在 IUPAC 校正实验物质委员及 ISO 技术委员会 125 次会议上, 计划将这一方法作为湿度的实用标准。一些国家已经把饱和盐法湿度发生器正式列为国家二级标准。

纵观中国企事业中现在所使用的饱和盐法湿度发生器, 有些是从国外引进, 其价格昂贵, 有些设计得较为

粗糙且精度不够, 且产生湿度定点不连续, 控湿范围窄。鉴于此, 以吸收国内外研究的结果与经验为基础, 本文对饱和盐法湿度发生器进行了进一步的研究, 开发出能够产生连续湿度定点的饱和盐法湿度发生器。

### 1 饱和盐法湿度发生器的工作原理

由于盐类水溶液的浓度取决于温度, 所以和电解质盐的饱和水溶液共处于平衡状态的空气相对湿度仅仅是温度的函数。换言之, 在密闭的容器中, 一定温度下在盐类饱和水溶液的上方水气张力  $e_r$  是一定的, 也就是其湿度是一确定值。因此, 与盐类饱和水溶液共存的空气, 作为简单的湿度定点, 常常被用于湿度测量仪器的鉴定标准。

在等温条件下, 饱和盐湿度发生器的工作室中, 建立饱和盐溶液上面的水汽空气混合物的平衡状态所需时间的表达式, 可以用下式描述<sup>[7]</sup>:

$$\tau = \frac{MV}{RTF\beta} \ln \left| \frac{U_p - U_0}{U_p - U} \right| \quad (1)$$

式中  $U$ ——任意时刻水汽空气混合物的相对湿度;  $U_p$ 、 $U_0$ ——分别为平衡的和初始的相对湿度;  $R$ ——通用气体常数;  $T$ ——工作室温度;  $\beta$ ——经验系数;  $M$ ——水的分子量;  $V$ ——工作室的容积;  $F$ ——溶液的有效面积;  $t$ ——平衡所需要的时间。

本文所研究的利用饱和盐法产生连续湿度定点的湿度发生器, 技术原理是: 同一种盐水饱和溶液在连续的温度变化下, 其液面上方的气体湿度值是线性连续变化的。经试验测得几种盐的饱和溶液湿度定点湿度值如表 1 所示。

为产生 20%~92% 范围内任意湿度点的气体, 根据不同盐溶液产生气体的湿度变化范围不同, 选择 6 种合适的盐饱和溶液, 使得产生气体湿度范围的合集能够覆盖 20%~92%:  $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaI} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaBr} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。通过控制盐溶液的温度, 产生所需要的湿度气体。

收稿日期: 2004-12-27 修订日期: 2005-12-05

基金项目: 农业科技成果转化资金项目(05EFN211100002); 北京市科技计划项目(Z0005190040831)联合资助

作者简介: 乔晓军(1965-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农业设施智能监控, 农业专家系统。北京 2449 信箱 26 分箱 国家农业信息化工程技术研究中心, 100089。Email: qiaoxj@nrcita.org.cn

表1 几种饱和盐的定点湿度值

Table 1 Humidity values of several saturated salt solutions

CaBr <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O		NaI·2H <sub>2</sub> O		SrBr <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O		Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O		NaBr·2H <sub>2</sub> O	
温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%
-18	30	-10	48.6	25	60	0	60	-15	67.3
-10	28.3	10	43.1	40	52.6	10	56.7	0	68.5
0	25.5	30	37.2	50	48.6	20	53	20	58
10	22.1	50	30	60	46.2	30	51.2	40	56
20	18.4	60	26	70	42	40	47.8	50	48.2
SrCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O		CsI		KCl		NaNO <sub>3</sub>		BaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	
温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%	温度/℃	湿度/%
10	75.8	0	76.3	0	88.5	6	78.4	10	92.3
20	72.6	5	74.1	20	86.1	10	77.2	30	90.6
30	68.9	10	71.5	40	82.4	30	73.1	50	88.9
40	66.7	15	72.5	60	80.1	50	68.3	70	87.3
50	62	20	72	80	78.3	70	63	80	86

## 2 整体结构设计

对于饱和盐法湿度发生器的整体设计要求结构简单、轻便,利于搬运携带。图1为其整体结构示意图,主要包括控温器、工作箱、控制电路。为了简化显示,图中

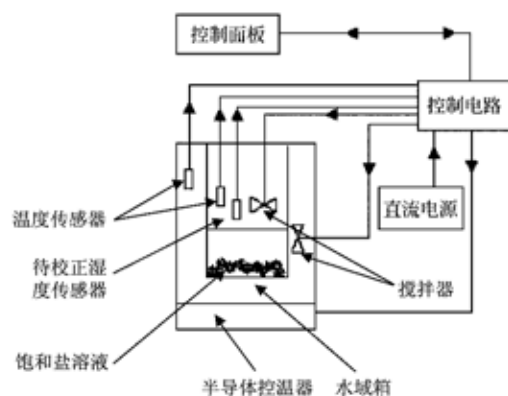


图1 整体结构设计

Fig.1 Structure of instrument

只用一个温度控制器和工作箱代替设计中的6个温度控制器和工作箱。

将所有这些组成部分封装,仪器外观只能看到控制面板,其上显示当前工作室内的温度和湿度,及待校正湿度传感器的显示值,同时用户可以在面板上进行预达到湿度值的设置操作。其中温度控制原理图如图2所示,热电堆的工作状态和密闭容器的恒温由继电器K1、K2完成。控温工作过程如下:控制面板将设定值传递到AT89C2051芯片,经过控制分析后将控制信号再由P1.6和P1.7口发出,经驱动器7407后驱动光电耦合器4N25,当设置温度低于检测温度时,1Y为低电平时,2Y为高电平,光电耦合器U3中的发光二极管导通,于是与其相连的光敏三极管导通,三极管Q1导通,使继电器K1吸合,此时半导体致冷片上方处于制冷工作状态,对饱和盐溶液进行冷却;当设置温度高于检测温度时,1Y为高电平时,2Y为低电平,光电耦合器U4中的发光二极管导通,于是与其相连的光敏三极管导通,使三极管Q2导通,使K2吸合,半导体致冷片上方处于加热工作状态,对饱和盐溶液进行加热,这样就可以使恒温器内的温度恒定在设定的温度值。

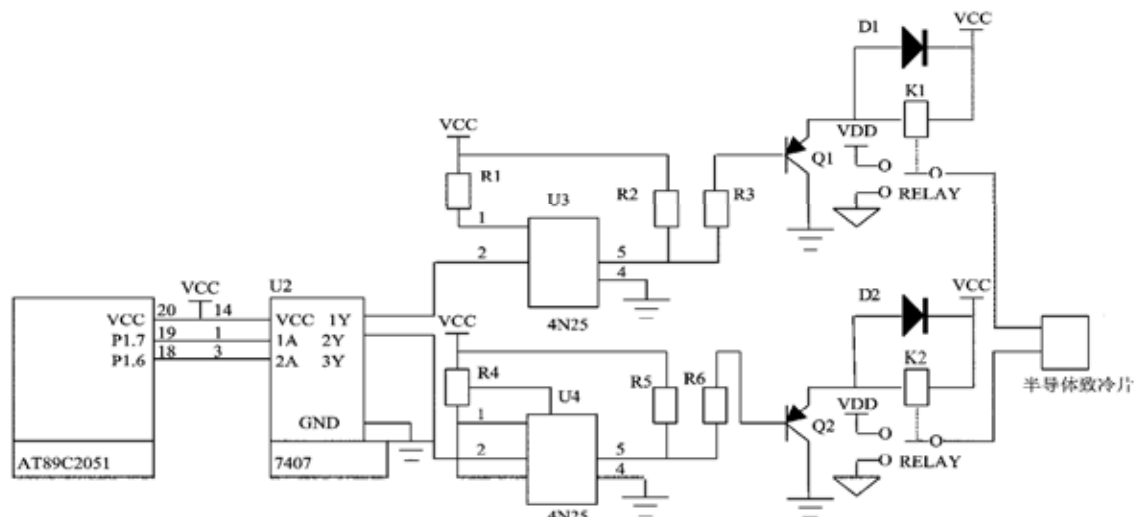


图2 温度控制原理图

Fig.2 Block diagram of temperature control

2.1 温度控制

本装置对温度控制的要求较高,如果采用一般的制冷加热方法效果会很差,精度也达不到要求。鉴于此,本系统采用半导体控温器使工作室达到要求的温度。

半导体控温器的物理基础是温差电现象,1821年德国物理学家塞贝克发现了这种现象:当两种不同的导体(或导电类型不同的半导体)交替连接起来,则当两接头的温度不同时,则两接头间有电动势产生,这种现象称为“塞贝克效应”。在金属中,这种效应较小,常用于测量温度。对于半导体,效应较大,在电子半导体和空穴半导体组成的系统中进行的特别明显,可用来发电。半导体控温器的工作原理如图 3 所示,接通直流电源后,电子由负极出发,首先经过 A 半导体,在此吸收热量,到了 B 型半导体,又将热量放出,每经过一个 AB 模组,就有热量由一边被送到另一边,造成温差,从而形成冷热端<sup>[2]</sup>。

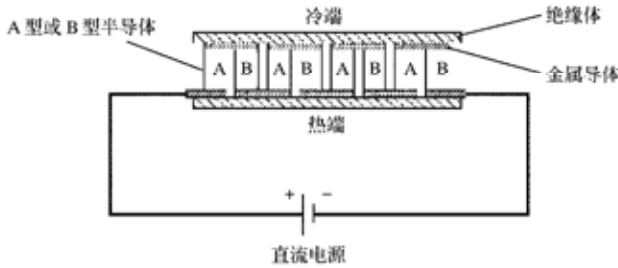


图 3 半导体控温器原理图  
Fig. 3 Block diagram of semiconductor controller

半导体控温器就是基于此将电能直接转化为热能,效率较高。它的工作特点是一面制冷另一面发热,如果电流方向不同,同一面既可发热又可制冷。这样只要将电流方向进行适度调整便可进行高效率的控温工作,操作方便快捷。本系统中所使用的半导体控温器采用的是型号为 TEC1-12705 的半导体致冷片。

使半导体控温器的一端作为工作面与控温箱(不锈钢)的底部接触,水域箱上罩着一个带有可拆卸盖子的金属罩,水域箱罩与金属罩之间放置一层松孔塑料(一种具有很好的隔热性质的材料)。使用温度传感器采集水域箱内水的温度值,利用搅拌器使水域箱内的传热介质温度均匀,由于水的化学性较稳定,并且传热均匀效果好,所以这里采用水作为传热介质。当工作室温度相对于给定的温度过高或过低时,可以适当地改变通过温差电池的电流方向。这样,半导体控温器就可以把水域箱箱内的介质加热或冷却,可以维持水域箱内的温度准确到 0.2℃<sup>[8]</sup>,从而创造饱和和盐溶液所需要的定点温度状态。

2.2 工作室的设计

工作室是饱和和盐法湿度发生器中较为重要的一个器件,从饱和和盐法湿度发生器的工作原理可以知道,要使饱和和盐法湿度发生器达到高的技术指标,在结构和材料选择上都要满足一定的要求。由式 1 可以看到,盐溶液有效表面积越大、工作室气体体积越小,饱和和盐的

平衡时间越短。同时,工作是要保持密封状态,温度均匀,且每次校正的湿度传感器个数要多,提高湿度发生器的工作效率。为了满足以上要求,对工作室的结构形状进行合理设计,设计结果如图 4 所示。

为了保证工作室气密性好,所以要将搅拌器和每个传感器用螺栓与每个孔进行配合安装。

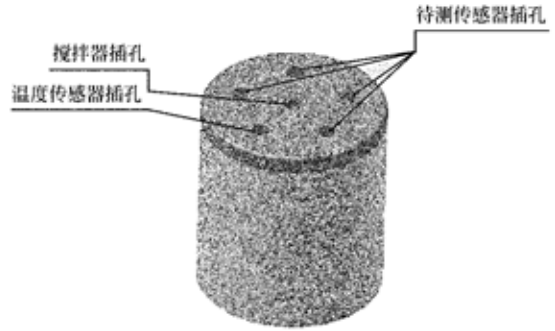


图 4 工作室结构图  
Fig. 4 Structure of workshop

3 误差分析

饱和和盐法湿度发生器的主要误差有:

1) 由于溶液和水汽空气混合物的温差造成的

$$\delta_1 = U_p \left[ 1 - \frac{e^{wT_1}}{e^{w(T_1 + T')}} \right] \quad (2)$$

2) 由于水汽空气混合物的温度测量不精确造成的

$$\delta_2 = K_T \times \delta_T \quad (3)$$

3) 由于工作室温场不均匀造成的

$$\delta_3 = U_p \left[ 1 - \frac{e^{wT_1}}{e^{w(T_1 + T')}} \right] \quad (4)$$

4) 由于建立起来的平衡湿度值为达到造成的

$$\delta_4 = |U_p - U_0| e^{\frac{RT_1 \beta}{MV}} \quad (5)$$

式中  $e^{wT_1}$ —— $T_1$  温度下的饱和水汽压力;  $T'$ ——盐溶液与水汽空气混合物的温差;  $T''$ ——工作室温场的不均匀性;  $K_T$ ——所用盐的温度系数;  $\delta_T$ ——水汽空气混合物温度的测量误差。

由于盐溶液与气体处于同一个工作室中,且温度的调节是通过水传递的,所以式(2)和式(4)中所表示的误差可以忽略。而在系统的温度测量过程中采用精度较高的温度传感器,所以式(3)中所表示的误差可以尽量调到最低。建立饱和和盐溶液上方的水汽空气混合物的平衡湿度的过程为指数曲线,加之任何系统也不大可能做到没有一丝一毫的泄漏,所以不可能也没有必要等到过程的终止。因此,本系统将所有可能产生的误差都控制在最小范围内,系统误差小于 0.87%。

4 结论

1) 密闭容器中,同一种盐的饱和水溶液在不同温度下发生不同湿度的气体,并且产生气体的湿度只是温度的函数。

2) 根据上述原理, 选用 6 种合适的盐饱和溶液, 分别产生不同湿度范围的气体, 通过控制盐溶液的温度, 从而产生 20%~92% 范围内任意湿度点的气体。

3) 经过试验表明此方法可以很方便有效地产生连续湿度值的气体, 产生的湿度稳定、准确, 从而可以作为湿度传感器等湿度测量装置校准的湿度源。

4) 能够产生连续湿度定点的饱和盐法湿度发生器在国内目前尚无类似设备, 还是首创。

#### [参 考 文 献]

- [1] Slight H. A further thoughts on moisture measurement [J]. *Measurement and Control*, 1989, 4(3): 85-85.
- [2] 李英干, 范金鹏. 湿度测量[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 350-351.
- [3] 卢崇考, 周明军, 路琳. 湿度计量基准与标准[J]. 北京: 传感器世界, 2000, 10: 9-14.
- [4] 王勇, 薛锦忠, 张振玲. 智能渗透式标准湿度发生器的研制[J]. 沈阳: 仪表技术与传感器, 2003, 12: 12-14.
- [5] 张文东, 殷龙德, 丁逸民, 等. 双温双压法低露点标准湿度发生器[J]. 上海: 上海计量测试, 2002, 20(1): 24-26.
- [6] 安旭, 曲伟, 孔照宇. 双压法自动测量湿度装置的研制[J]. 哈尔滨: 传感器技术, 2003, 22(6): 21-23.
- [7] 王金钊. 恒湿盐湿度发生器的研制[J]. 北京: 应用气象学报, 1995, 6(4): 429-435.
- [8] M. C. 索敏斯基. 半导体致冷设备[J]. 物理通报, 1958(1-12): 516.

## Intelligent continuous humidity generator with saturated aqueous salt solutions

Qiao Xiaojun<sup>1</sup>, Zhang Yunhui<sup>2</sup>, Du Xiaohong<sup>1</sup>, Jiao Chunyan<sup>1</sup>

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China;

2. Machine Drawing Staff Room, Jilin University, Changchun 130025, China)

**Abstract:** Because there are many disadvantages in traditional humidity generators, based on summarizing and absorbing the research achievements of humidity generator, and relative humidity of the air which in equilibrium state with saturated salt solution is just the function of temperature, the authors researched and developed a humidity generator which could generate gas with continuous value of humidity. In this development, microcomputer control system was used to automatically control the temperature. The research and development of this type of humidity generator filled the equipment gap in China. Therefore, the humidity generator has significant values of research and practicality.

**Key words:** humidity generator; saturated salt; continuous value of humidity; semiconductor temperature controller; singlechip computer