

文章编号: 1000-8055(2015)11-2746-07

doi:10.13224/j.cnki.jasp.2015.11.024

# 货运飞船智能温湿度测量系统构建和实验

陈俊光<sup>1</sup>, 李运华<sup>1</sup>, 李运泽<sup>2</sup>, 张红生<sup>2</sup>, 钟铭亮<sup>2</sup>

(1. 北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191;

2. 北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100191)

**摘 要:** 根据货运飞船热平衡实验中对温湿度测量的需求, 设计并搭建了一种以控制器局域网络 (CAN) 总线通信技术和智能温湿度传感器 SHT15 为核心的分布式测量系统, 温湿度测量模块将采集到的温湿度数据通过 CAN 总线经分线器传递给下位机, 进一步传输给上位机, 实现了对数据的补偿、显示和保存等功能, 给出了系统中软件的设计思路和流程图. 并对该系统进行了真空贮存实验和标定实验, 实验结果表明: 该系统具有高可靠性和高测量精度, 相对湿度的测量误差在 2% 以内, 且使用方便, 易于扩展节点, 现已成功运用于实际的测量工作中.

**关 键 词:** 货运飞船; 温湿度测量系统; 控制器局域网络 (CAN) 总线;  
高性能精简指令集计算机 (ARM) 微控制器; 数据传输

中图分类号: V444.3<sup>+</sup>4

文献标志码: A

## Construction and experiment of intelligent temperature and humidity measurement system for freight spacecraft

CHEN Jun-guang<sup>1</sup>, LI Yun-hua<sup>1</sup>, LI Yun-ze<sup>2</sup>,

ZHANG Hong-sheng<sup>2</sup>, ZHONG Ming-liang<sup>2</sup>

(1. School of Automation Science and Electrical Engineering,  
Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;

2. School of Aeronautic Science and Engineering,  
Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract:** According to the requirement for temperature and humidity measurement in thermal equilibrium experiment of a freight spacecraft, a distributed measuring system based on controller area network (CAN) bus and SHT15 intelligent temperature and humidity sensor was designed and constructed. The collected data of measurement modules were transferred to the slave computer (SC) through concentrator, then sent to the personal computer (PC). Data calibration, display and storage were realized. The design concept and flow chart of software in the system were provided. Experiments of vacuum storage and calibration were conducted. The results show that the system has high reliability and accuracy. Measurement errors of relative humidity are less than 2%. Furthermore, the system is convenient to use and increase nodes. The system has been used in actual measurement.

**Key words:** freight spacecraft; temperature and humidity measurement system;

收稿日期: 2014-04-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2014CB046403)

作者简介: 陈俊光 (1991—), 男, 四川南充人, 硕士生, 主要研究方向为机电控制与自动化.

通讯作者: 李运华 (1963—), 男, 河北邢台人, 教授、博士生导师, 博士, 主要研究领域为机电控制与自动化, 运动体电子液压控制等. E-mail: yhli@buaa.edu.cn

controller area network (CAN) bus;

advanced reduced instruction set computing (RISC) machines (ARM)

micro-controller; data transmission

相对湿度是指湿空气中水蒸气分压与同一温度、压力下纯水表面的饱和水蒸气压之比,它是一项重要的环境参数,湿度测量最早用于气象方面,现在已扩展到科学研究、工业、农业、仓储运输、日常生活等各个领域<sup>[1]</sup>,由于货运飞船内部电子设备的工作条件十分苛刻,在设计时需要对其进行环境模拟实验,根据实验数据对飞船的设计进行修正,而温湿度值又是极为重要的环境参数,且湿度并不是一个容易测量的量<sup>[2]</sup>,因此在实验过程中准确而可靠地测量温度和相对湿度值对环境模拟实验具有十分重要的意义。

湿度测量不同于其他物理量的测量,湿度本身并不是一个独立的测量参数,它受到很多因素的制约,由相对湿度的定义可知,它不仅与空气中的水蒸气分压有关,还与测量时的压力和温度有关,且各影响量之间相关,这造成了测量准确度不能得到有效的提高,湿度的测量方法很多,如质量法、双温双压法、露点法、干湿球法等<sup>[3]</sup>,但每种测量方法都有其局限性.针对准确测量相对湿度的需求,本文设计了一种以智能温湿度传感器 SHT15 为核心的温湿度测量系统,实现了对特定环境中温湿度的多点实时测量,并具有较高的可靠性和测量精度。

## 1 系统设计思路

测量系统由温湿度测量模块、分线器、下位机和上位机等几部分组成,其结构如图 1 所示.温湿度测量模块对采集到的温湿度原始数据进行温度补偿和非线性补偿,并将处理过的数据通过分线

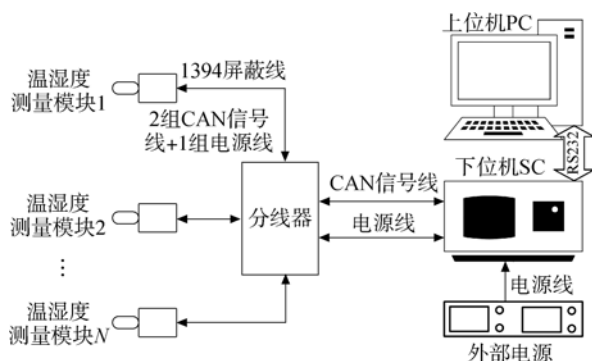


图 1 测量系统组成结构

Fig. 1 Structure of measurement system

器传输给下位机,下位机对接收到的数据和整个系统的运行状态进行监测,确认无误后,下位机将数据传递给上位机,上位机运行专用的应用程序对数据进行处理、存储和显示.其中,温湿度测量模块和下位机均通过 CAN 总线通信,考虑到使用场合可能具有较恶劣的电磁环境,对 CAN 信号线进行双冗余备份,两组信号线与一组电源线使用了具有较强抗干扰能力的六芯 1394 屏蔽线;下位机与上位机之间通 RS232 串口通信;温湿度测量模块与下位机之间设计了一个分线器用于系统中测量模块的扩展、线路的布置和电源管理;为了便于传感器的存储和维护,将传感器探头设计成了可插拔的形式,在不使用的情况下可以单独保存;系统的供电由外部电源经下位机和分线器到达各测量模块,为了提高系统的可靠性,设计了外接 DC24 V 和 AC220 V 两种供电方案。

## 2 硬件实现方案

### 2.1 温湿度测量模块

在测量系统中,每一个温湿度测量模块作为一个 CAN 总线节点,其结构如图 2(图中 TX 表示 CAN 控制器接收信号,RX 表示 CAN 控制器发送信号)所示.温湿度测量模块作为一个集成电路,最下层为 CAN 总线收发器,用来控制从 CAN 控制器到总线物理层或相反的逻辑电平信号.上面一层是一个 CAN 控制器,它执行在 CAN 规范里规定的完整的 CAN 协议,通常用于

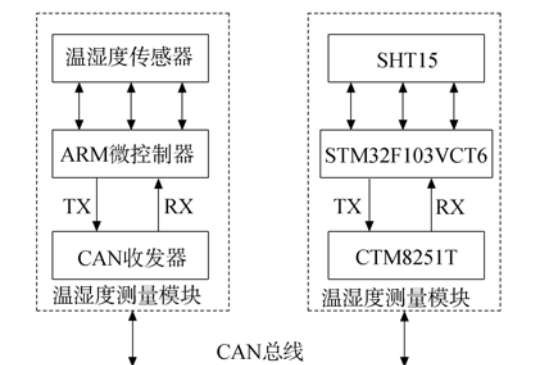


图 2 温湿度测量模块组成结构

Fig. 2 Structure of temperature and humidity measurement modules

报文缓冲和验收滤波.而所有这些 CAN 功能都由一个模块控制器控制,它负责执行应用的功能.如发送指令、读传感器、传输数据等.

### 2.1.1 ARM 微控制器

温湿度测量模块中的控制器选用 Atmel 公司的大容量增强型芯片 STM32F103VCT6,它使用高性能的 ARM<sup>®</sup> Cortex<sup>™</sup>.M3 32 位的 RISC 内核,工作频率为 72MHz,内置高速存储器(具有 512K 字节的闪存和 64K 字节的静态随机存取存储器(SRAM)),具有丰富的增强输入/输出(I/O)端口和联接到两条外围总线(advanced peripheral bus, APB)外设.供电电压为 2.0~3.6V,工作温度为 -40~105℃<sup>[4-5]</sup>.具有低功耗、高性能和便于扩展外设等特点.

### 2.1.2 智能温湿度传感器

相对于传统的湿度测量方法,使用数字式智能温湿度传感器不仅可以避免使用其他元件进行信号隔离和调理,简化系统的结构,而且可以通过程序实现对数字信号的补偿,极大地提高测量的精度.根据电子元件不同,湿度传感器可分为电阻式和电容式两种类型.基本形式都是在基片上涂覆感湿材料形成感湿膜,空气中的水蒸气吸附于感湿材料后,元件的阻抗、介电常数发生变化,从而制成湿敏元件.湿敏电容采用高分子薄膜电容制成,高分子材料一般有聚苯乙烯、聚酰亚胺<sup>[6]</sup>、醋酸醋酸纤维等<sup>[7-8]</sup>.当环境湿度发生改变时,湿敏电容的介电常数发生变化,使其电容量也发生变化,其电容变化量与相对湿度成正比.

温湿度传感器选用 Sensirion 公司的 SHT15 芯片,传感器将传感元件和信号处理电路集成在一块微型电路板上,输出完全标定的数字信号,包括一个电容性聚合体测湿敏感元件、一个用能隙材料制成的测温元件,与 14 位的模数转换器以及串行接口电路实现无缝连接.每个 SHT15 在出厂前,都在精确的湿度腔室中进行标定,标准系数以程序形式储存在动态口令(one-time password, OTP)内存中,用于内部的信号校准.与传统的温湿度传感器相比,最大的优势在于 SHT15 可以在不连接外部电路的情况下自动对数据进行第 1 次修正,并将其转换为数字信号,这是该传感器被称为智能数字式传感器的主要原因,使用 SHT15 极大地简化了与控制器之间的连接电路,提高了系统的稳定性, SHT15 与控制器的连接如图 3(图中 DATA 表示信号线, SCK 表示时钟线,

VDD 表示 SHT15 的供电电压, GND 表示接地端, NC 表示悬空端, R 表示 10 kΩ 的电阻)所示<sup>[9-10]</sup>.

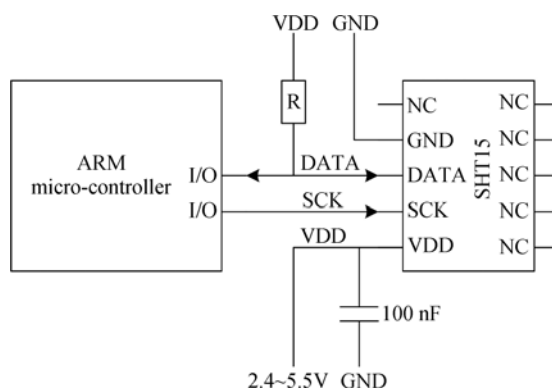


图 3 控制器与 SHT15 连接电路

Fig. 3 Circuit of controller and SHT15

### 2.1.3 隔离 CAN 收发器

CAN 总线是 20 世纪 80 年代初德国 BOSCH 公司提出的为解决汽车内部众多控制器与测量设备之间的数据交换而开发的一种串行数据通信总线<sup>[11]</sup>,是一种有效支持分布式控制系统或实时控制的串行通信网络<sup>[12]</sup>.其通信速率最高可达 1 MB/s(40 m 以内),最长传递距离达 10 km(速率为 5 kbps 以下)<sup>[13]</sup>,抗干扰能力强, CAN 总线是基于发送报文的编码,而不是基于 CAN 节点的编码,因此增添或删除 CAN 总线上的节点不会对系统造成太大的影响<sup>[14]</sup>,这种特点对于分布式测量系统来说至关重要,可根据测量环境的实际需求布置测量节点,这样既节约了系统成本也不会影响系统的整体结构,大大提高了系统对测量环境的适应能力.

总线电缆上若出现不需要的电流和电压,可能会导致严重问题.为防范此类潜在性的破坏,总线上以及连接至总线的系统上的所有设备都必须参考同一地线.要实现 CAN 总线电源和信号的隔离,可以使用额外的电气隔离芯片(如高速光耦 6N137)<sup>[15]</sup>,为了简化电路,系统选用了自带隔离的 CTM8251T,具有对 CAN 控制器与 CAN 总线之间的隔离作用,对电磁干扰有高抗干扰性<sup>[16]</sup>.而在以往的设计方案中一般需要光耦、电源隔离装置、CAN 收发器等其他元器件才能实现带隔离的 CAN 收发电路,而 CTM8251T 在实现隔离功能的前提下尽可能地简化了系统的电路连接,如图 4(图中, RXD 表示 ARM 微控制器的接收信

号, TXD 表示 ARM 微控制器的发送信号, CANH 和 CANL 是 CAN 总线的两根信号线, VIN 表示 CTM8251T 的供电电压, R 表示 120  $\Omega$  的电阻)所示。

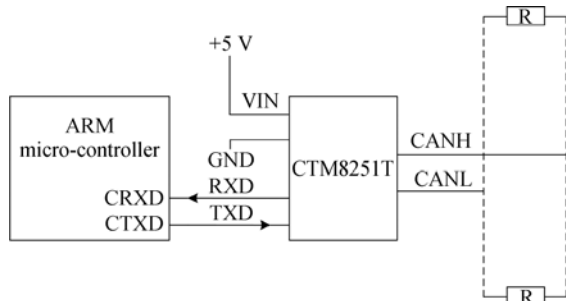


图 4 控制器与 CTM8251T 连接电路

Fig. 4 Circuit of controller and CTM8251T

## 2.2 下位机

下位机一方面实现温湿度测量系统的电源管理、安全诊断、状态监测,另一方面接入 CAN 总线网络,向各个传感器节点发送指令并接收测得的温湿度值,同时通过触控屏完成各节点温湿度测量结果的实时显示任务,并可通过触控屏进行通道选择,便于各个通道数据的显示和对比,下位机的功能模块如图 5 所示。

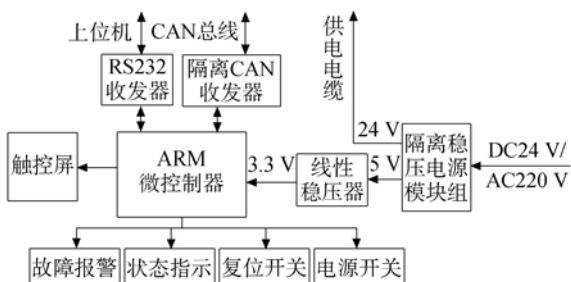


图 5 下位机组成结构

Fig. 5 Structure of slave computer

## 3 软件实现方案

由于系统中测量模块众多,为了避免总线上数据的拥堵,保证数据的实时性,对每一个测量模块进行编号,编号从 1~N(模块最大值),并固化在其程序中,下位机依次将各个模块的编号发送到总线上,测量模块接收到自己所对应的编号后再将当前采集到的数据回传给下位机。由于温湿度传感器测量速度的限制,系统最快可达到 10 模块/s 的采集速度。

### 3.1 测量模块程序及数据补偿方案

为了降低功耗,避免不必要的发热,各温湿度测量模块在初始化完成以后均处于等待的状态,当下位机将编号发送到 CAN 总线上以后,各测量模块的控制器均产生中断,并将此编号与测量模块自身的编号进行对比,如果一致则表示下位机请求的是本模块的数据,此时控制器对传感器写指令开始测量工作,完成后控制器将测量数据通过 CAN 总线回传给下位机,测量模块工作完成后再次进行等待状态,其程序流程如图 6 所示。

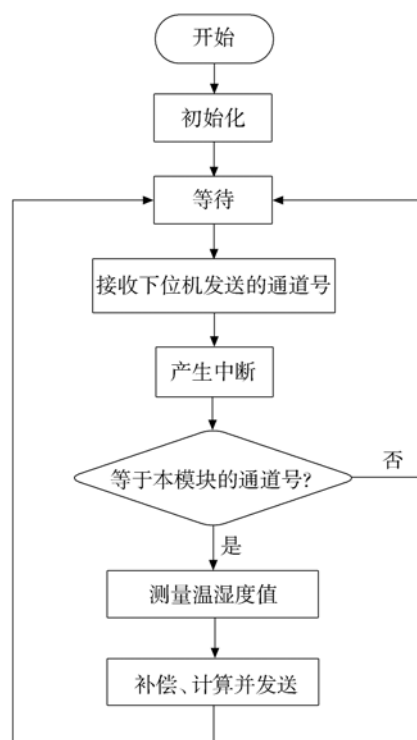


图 6 测量模块程序流程图

Fig. 6 Flow chart of measurement modules' software

直接从传感器寄存器中读取的数据虽然经过了传感器内部的补偿,但实际测量环境和传感器出厂标定的环境往往有很大的区别,故其自身的补偿系数不能满足实际需求,因此在程序中对数据进行二次补偿就显得尤为重要。对相对湿度数据的补偿主要有两个方面。首先,由于读取的数据与实际的相对湿度值并不是严格的正比关系,且 99% 以上的相对湿度已经接近饱和必须经过处理显示为 100%,这就需要使用式(1)进行相对湿度的非线性补偿<sup>[17]</sup>。

$$R_{h, \text{linear}} = c_1 + c_2 S_r + c_3 S_r^2 \quad (1)$$

式中  $R_{h, \text{linear}}$  是经过非线性补偿的相对湿度值;  $S_r$

是从寄存器中直接读取到的数据;  $c_1, c_2, c_3$  为补偿系数. 然后, 由于实际温度与测试参考温度  $25^\circ\text{C}$  可能会有很大的不同, 湿度信号需要根据式(2)进行温度补偿.

$$R_{h, \text{ture}} = (t - 25)(k_1 + k_2 S_t) + R_{h, \text{linear}} \quad (2)$$

式中  $R_{h, \text{ture}}$  为经过温度补偿的相对湿度值;  $t$  为温度传感器测得的温度值;  $k_1, k_2$  为温度补偿系数. 传感器中由能隙材料制成的测温元件具有很好的线性, 使用式(3)将数字输出信号转换为温度值.

$$t = d_1 + d_2 S_t \quad (3)$$

式中  $S_t$  为数字输出信号,  $d_1$  为对应于不同供电电压的常系数,  $d_2$  为对应于不同输出信号格式的常系数. 虽然传感器并不直接测量露点值, 但可以通过温度和湿度数据计算得到, 对于  $-40 \sim 50^\circ\text{C}$  的温度范围, 可使用式(4)计算露点值.

$$t_d(R_{h, \text{true}}, t) = p_1 \frac{\ln R_{h, \text{true}} + \frac{p_2 t}{p_1 + t}}{p_2 - \ln R_{h, \text{true}} - \frac{p_2 t}{p_1 + t}} \quad (4)$$

式中  $t_d(R_{h, \text{true}}, t)$  是在相对湿度为  $R_{h, \text{true}}$ , 温度为  $t$  的条件下的露点温度值;  $R_{h, \text{true}}$  和  $t$  为经过线性处理和补偿的湿度和温度值;  $p_1$  和  $p_2$  为对应于不同温度范围的常系数.

### 3.2 下位机程序方案

下位机程序需要完成的工作主要有发送模块编号到 CAN 网络上, 接收温湿度测量模块回传的数据, 将数据传递给上位机, 对每一个测量模块的运行状态进行监控, 实现智能化故障提示和排除功能等. 系统设计并采用了以下方法来实现上述智能化功能: 一个测量周期内每一个模块所需的时间大约是  $100\text{ms}$ , 下位机程序在发送模块编号后定时器开始工作, 若接收到回传数据则停止计时, 从下一个模块编号发出后再开始新一次的计时, 如果发送某一模块编号后定时器计时达到了  $1\text{s}$ , 表示  $1\text{s}$  时间内下位机还没能接收到此模块回传的数据, 此时则认为此模块出现故障, 故障指示灯闪烁一次, 实现故障提示功能; 同时下位机发送下一个模块编号, 系统继续运行, 在不能及时排除硬件故障的情况下最大程度地实现智能排错功能. 当模块编号超过模块数量, 将编号置 1, 进行下一次循环. 其程序流程如图 7 所示.

### 3.3 上位机应用软件

上位机应用软件主要包括界面及程序控制子

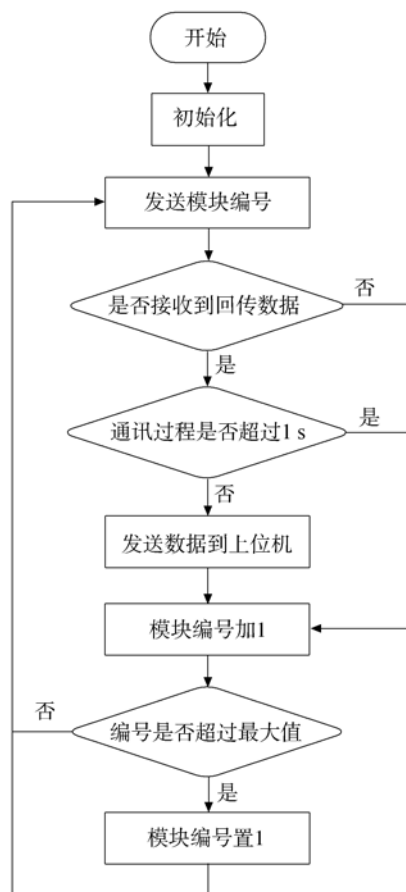


图7 下位机程序流程图

Fig. 7 Flow chart of slave computer's software

系统、通信控制子系统及数据管理子系统. 实现的主要功能有: 显示各个测点的温湿度测量数据以及由此计算出来的露点温度数据; 对温湿度值和露点温度值进行实时曲线显示; 不同数值范围的湿度值用不同颜色加以区分, 且用户能够自定义各种颜色对应的数值区间; 与下位机进行通讯设置; 对各个测量模块进行状态检测; 保存并管理测量数据; 对历史数据进行回放等. 其结构组成如图 8 所示.

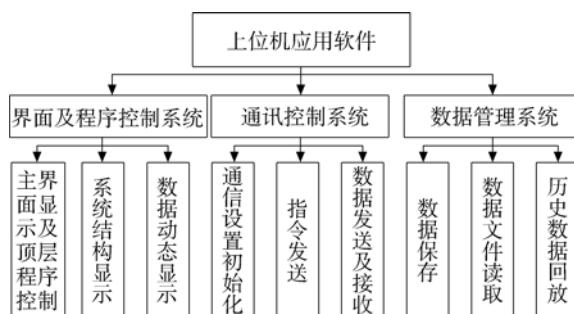


图8 上位机应用软件组成结构

Fig. 8 Structure of personal computer's software

## 4 实验研究

### 4.1 真空贮存实验

为了了解真空环境对传感器的影响,随机抽取了两路温湿度测量模块进行了 29 h 的真空贮存实验,真空罐内的压力保持在 5~100 Pa 范围内.在真空实验前后分别将两个测量模块放置在封闭环境中进行了湿度测量,待数值稳定后选取了其中 1 min 内的测量结果,同时将其与标准值进行对比,测量结果的差值如图 9 所示.

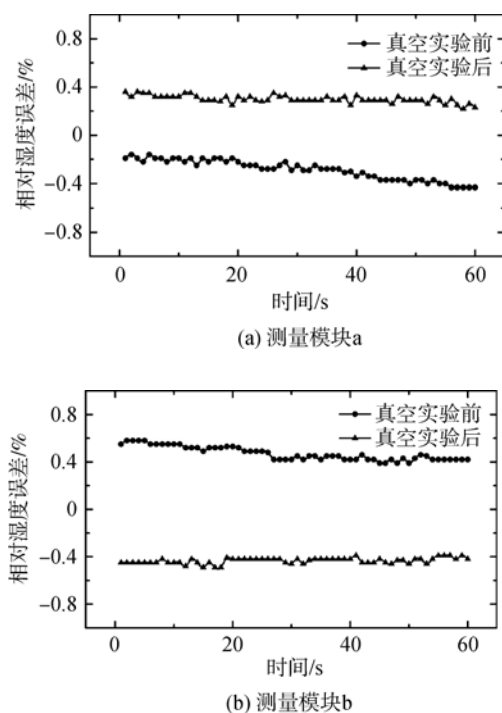


图 9 真空实验前后测量结果的误差

Fig. 9 Measurement errors of results before and after vacuum experiment

从图 9 中可以看出,两个测量模块在真空实验前后所测得的相对湿度与标准值的差值均在  $\pm 0.5\%$ ,传感器测量结果的一致性较好,该系统不仅可以准确地测量常规环境下的温湿度值,也可以用于真空等极端环境下,并保持很好的测量精度,具有很好的可靠性.

### 4.2 标定实验

为了了解系统的相对湿度测量精度,依据《JJF1076-2001 湿度传感器校准规范》对测量模块 a 和测量模块 b 进行了标定实验,分别在 5℃ (标准相对湿度 5%, 40%, 90%), 20℃ (标准相对湿度 5%, 20%, 40%, 60%, 80%) 和 40℃ (标准相对湿度 5%, 40%, 60%, 80%) 的条件下进行了测

量,测量误差如图 10 所示.

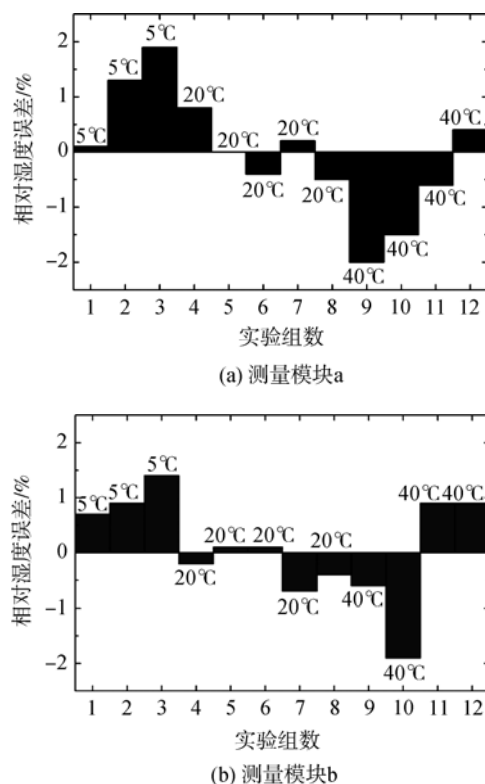


图 10 标定实验中的测量误差

Fig. 10 Measurement error of calibration experiment

从图 10 中可以看出,相对湿度的测量精度可达到  $\pm 2\%$ ;在常温 (20℃) 下的精度能达到  $\pm 1\%$ ,且明显高于低温和高温环境下的测量精度;在某些极端环境 (如低温高湿、高温低湿等) 下,测量精度较差.未来的工作重点应放在如何提高极端环境下的测量精度上.

## 5 结 论

该系统以 ARM 控制器为核心,利用 CAN 总线进行通信,具有以下特点:

- 1) 下位机与测量模块既可单独使用进行现场测量,也可搭配专用的上位机应用软件进行测量.
- 2) 传感器一致性好,任意挑选的两支传感器相对湿度测量结果差值在  $\pm 1\%$  以内.
- 3) 系统可靠性较好,真空环境对测量结果的影响偏差在  $\pm 0.5\%$  以内.
- 4) 系统在极端环境下的测量精度较差.

## 参考文献:

- [1] 李占元,杨菊.低温环境相对湿度的测量[J].中国计量,2005,10(7):62-63.

- LI Zhanyuan, YANG Ju. Measurement of relative humidity in low temperature environment[J]. China Metrology, 2005, 10(7): 62-63. (in Chinese)
- [2] 易洪. 湿度测量的新进展[J]. 计测技术, 2008, 28(B10): 1-3.  
YI Hong. New progress of humidity measurement[J]. Measurement and Testing Technology, 2008, 28(B10): 1-3. (in Chinese)
- [3] 封海兵. 关于湿度测量技术的探讨[J]. 计量与测试技术, 2007, 34(7): 56-57.  
FENG Haibing. Discussion on humidity measurement[J]. Metrology and Measurement Technique, 2007, 34(7): 56-57. (in Chinese)
- [4] 孙启富, 孙运强, 姚爱琴. 基于 STM32 的通用智能仪表设计与应用[J]. 仪表技术与传感器, 2010, 47(10): 34-36.  
SUN Qifu, SUN Yunqiang, YAO Aiqin. Design and application of general intelligent instrument based on STM32[J]. Instrument Technique and Sensor, 2010, 47(10): 34-36. (in Chinese)
- [5] 张旭, 亓学广, 李世光, 等. 基于 STM32 电力数据采集系统的设计[J]. 电子测量技术, 2010, 33(11): 90-93.  
ZHANG Xu, QI Xueguang, LI Shiguang, et al. Design of electric power data acquisition system based on STM32[J]. Electronic Measurement Technology, 2010, 33(11): 90-93. (in Chinese)
- [6] 陈翠萍, 蒋波, 谢光忠, 等. 高分子湿度传感器的研制[J]. 仪表技术与传感器, 2006, 43(10): 4-5.  
CHEN Cuiping, JIANG Bo, XIE Guangzhong, et al. Research on high polymer capacitive humidity sensor[J]. Instrument Technique and Sensor, 2006, 43(10): 4-5. (in Chinese)
- [7] Ralston A R K, Klein C F, Thoma P E, et al. A model for the relative environmental stability of a series of polyimide capacitance humidity sensors[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1996, 34(1): 343-348.
- [8] 韩悦文. 几种典型湿度传感器的原理和概要分析[J]. 江汉大学学报: 自然科学版, 2009, 37(1): 33-36.  
HAN Yunwen. Development and principle analysis of several humidity sensors[J]. Journal of Jianghan University: Natural Sciences, 2009, 37(1): 33-36. (in Chinese)
- [9] 张艳丽, 杨仁弟. 数字温湿度传感器 SHT11 及其应用[J]. 工矿自动化, 2007, 30(3): 113-114.  
ZHANG Yanli, YANG Rendi. Digital temperature and humidity sensor SHT11 and its application[J]. Industry and Mine Automation, 2007, 30(3): 113-114. (in Chinese)
- [10] 姜连祥, 许培培. 温湿度传感器 SHT11 的感测系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2007, 7(4): 49-51.  
JIANG Lianxiang, XU Peipei. Design of sensing system based on temperature and humidity sensor SHT11[J]. Microcontrollers and Embedded System, 2007, 7(4): 49-51. (in Chinese)
- [11] 梁绒香. 一种基于 CAN 总线的智能湿度传感器设计[J]. 宝鸡文理学院学报: 自然科学版, 2007, 27(2): 150-152.  
LIANG Rongxiang. A design of intelligent humidity sensor based on the CAN bus[J]. Journal of Baoji University of Arts and Sciences: Natural Science, 2007, 27(2): 150-152. (in Chinese)
- [12] 王桂荣, 钱剑敏. CAN 总线和基于 CAN 总线的高层协议[J]. 计算机测量与控制, 2003, 11(5): 391-394.  
WANG Guirong, QIAN Jianmin. CAN bus and the higher layer protocol based on CAN protocol[J]. Computer Measurement and Control, 2003, 11(5): 391-394. (in Chinese)
- [13] 鲍官军, 计时鸣. CAN 总线技术、系统实现及发展趋势[J]. 浙江工业大学学报, 2003, 31(1): 58-61.  
BAO Guanjun, JI Shiming. CAN fieldbus technology, system realization and its developing direction[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2003, 31(1): 58-61. (in Chinese)
- [14] 陈杨, 刘曙生. 基于 CAN 总线的数据通信系统研究[J]. 测控技术, 2000, 19(10): 53-55.  
CHEN Yang, LIU Shusheng. Research on communication system based on CAN bus[J]. Measurement and Control Technology, 2000, 19(10): 53-55. (in Chinese)
- [15] 张天宏, 牟路勇, 丁毅, 等. 基于 DSP 和 CAN 总线的发动机电子控制器核心电路模块研究[J]. 航空动力学报, 2005, 20(1): 130-135.  
ZHANG Tianhong, MOU Luyong, DING Yi, et al. Study of an engine electronic controller's core circuit module based on DSP and CAN[J]. Journal of Aerospace Power, 2005, 20(1): 130-135. (in Chinese)
- [16] 纪文志, 陈国忠, 寇如山. 基于 CAN 总线智能节点的设计与实现[J]. 微型机与应用, 2012, 31(2): 44-46.  
JI Wenzhi, CHEN Guozhong, KOU Rushan. Design and implementation of intelligent node based on CAN bus[J]. Microcomputer and its Applications, 2012, 31(2): 44-46. (in Chinese)
- [17] 王冬霞, 张玉辉, 洪耀球. 温湿度传感器 SHT15 及其在嵌入式系统中的应用[J]. 电子设计工程, 2011, 19(2): 40-43.  
WANG Dongxia, ZHANG Yuhui, HONG Yaoqiu. Temperature and humidity sensor SHT15 and its application in embedded system[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(2): 40-43. (in Chinese)

(编辑: 叶 青)