

微环境温湿度检测装置的研制

李迪凡, 许文清, 杨万均, 刘俊, 封先河

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 研制一种包装容器微环境温湿度测试和记录装置, 实现对包装容器微环境温度和湿度试验数据的检测。**方法** 基于RS485通讯接口的微环境数据采集与记录装置, 将装置分为硬件和软件两个部分, 硬件主要包含人机界面、存储器、传感器、RS485Hub和电源五个部分, 软件包括数据采集与处理程序和可视化界面两个部分, 从而实现对微环境温湿度试验数据的检测和记录。**结果** 利用研制的装置对贮存环境下包装容器样品微环境温湿度进行了一段时间的测试, 将测试结果与计量合格的温湿度的所测结果进行了对比分析。**结论** 研制微环境温湿度测试和记录装置性能稳定, 尺寸较小, 携带方便, 能同时测量32组试验样品的微环境温湿度, 具有较高的测量精度和广阔的应用范围。

关键词: 微环境; 温湿度; 检测装置

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.08.016

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2019)08-0086-05

Development of Temperature and Humidity Detection Device for Microenvironment

LI Di-fan, XU Wen-qing, YANG Wan-jun, LIU Jun, FENG Xian-he
(Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To develop a device for measuring and recording microenvironment temperature and humidity of packaging containers, to detect the microenvironment temperature and humidity test data of packaging containers. **Methods** Based on RS485 communication interface, the microenvironment data acquisition and recording device was divided into two parts: hardware and software, hardware includes five parts: human-machine interface, memory, sensor, RS485Hub and power supply; software includes two parts: data acquisition and processing program and visual interface, thus the test and record of temperature and humidity test data in microenvironment can be realized. **Results** The microenvironment temperature and humidity of packaging containers samples in storage environment were tested for a period of time with the developed device. The test results were compared with those measured by qualified thermohygrometer and the error analysis was made. **Conclusion** The microenvironment temperature and humidity measuring and recording device developed has the advantages of stable performance, small size, convenient carrying, and can simultaneously measure the microenvironment temperature and humidity of 32 groups of test sample. It has high measuring accuracy and wide application range.

KEY WORDS: microenvironment; temperature and humidity; detection device

包装容器内装备等产品大多采用密封包装方式进行长期贮存, 在其周围以及内部形成了一个相对密闭的空间, 与贮存环境相对应, 这一密闭空间称为微环境。微环境的温度和湿度是影响包装容器内装备性

能的两项重要参数。装备在长期贮存过程中, 由于外界贮存环境的影响, 微环境温湿度定会发生变化, 会使微环境的湿度增大, 从而使容器内装备产生腐蚀、变质和破坏等现象。如使弹药的点火具、发射药、引

信等火工品受潮变质,甚至使装备中电子电路和仪器仪表因为湿度的增加而失效,会严重影响装备战技性能的发挥。随着电子技术、计算机和通信技术的发展,高度集成的多用途综合传感器成功开发,并实现了监测数据无线传输,国外对微环境实时监测进入了实际应用阶段。其中以美国的应用最为突出,如美国的爱国者导弹密封防护包装箱内就安装了温湿综合传感器,并实时将监测数据通过无线网络传入美军导弹司令部,美军导弹司令部可以实时了解和掌握部署于世界各地每一发爱国者导弹所承受的环境应力,以便及时发现问题,为爱国者导弹战斗力的发挥提供强有力的保证。我国对微环境温湿度检测装置的研究相对较少。文中研制了一种微环境温湿度检测装置,可用于微环境温度和湿度两个参数的实时监测、数据管理及传输等。装置由传感器组成传感系统分别采集每一组样品内微环境的温湿度试验数据,并存入数据存贮系统,通过编程实现可视化的人机交换,还具有设置日历、时间、地址修改、数据修正等功能,最高可同时检测 32 个样品的温湿度数据,具有很高的推广价值^[1-12]。

1 装置的功能设计要求和技术指标

为了满足装备包装容器微环境温湿度测试需求,研制的装置必须方便携带,能同时实现对温度和湿度的采集、显示存贮和传输功能,并可以采用交流和电

池两种方式对装置供电。为此设计了一套基于 RS485 通讯接口的微环境数据采集与记录装置,实现微环境的温度和湿度检测和数据记录,研制的装置的主要技术指标如下。

1) 采集范围和精度。温度: $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\leq \pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ @ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 相对湿度: $25\%\sim 98\%$, $\leq \pm 3\%$ 。

2) 数据记录。数据记录间隔: 不高于 10 min /次,连续可调;数据存贮深度: 仪器设定每分钟记录一次时,数据记录最大可存 365 天;掉电能保存数据;数据格式: EXCEL 或 TXT;

3) 显示要求: 实时显示各路采集值。

4) 通讯要求: 仪器与计算机的通讯接口采用 USB 方式。

2 装置方案设计

2.1 总体设计

微环境温湿度检测与记录装置包含了人机界面、存储器、传感器、RS485Hub 和电源等五个部分。电源采用交流供电方式为 220 V 交流电,通过开关电源变换后,向系统为微处理器、存储器、传感器模块等提供所需的电压。微处理器通过 I/O 口与传感器模块进行数据交换。温湿度测量系统的硬件如图 1 所示。

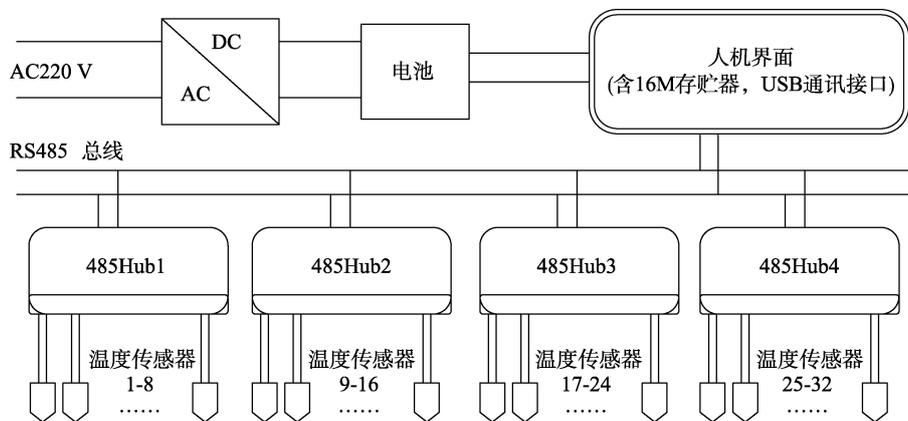


图 1 温湿度测量系统的硬件

2.2 人机界面

人机界面 (HMI) 是人与计算机之间传递、交换信息的媒介和对话接口,是本微环境温湿度测试与记录装置的核心部件,报告采用了台湾台达公司的 DOP-B07S411 人机界面,如图 2 所述。该人机界面包括 16 位处理器、7 寸 16 位彩色液晶触摸屏、RS232/RS485/USB 通讯接口、16M 数据存贮器,采用 Dopsoft 可视化软件编程。

2.3 传感器

温湿度传感器作为本系统的一个关键部件,选择



图 2 DOP-B07S411 人机界面

了由瑞士 Sensirion 公司生产的一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器 SHT75。该传感器基于工业 MODBUS-RTU 协议,实现低功耗温湿度状态在

线监测, 通信距离延长到最长 1000 m, 可以有效解决传输距离造成的信号畸变问题。该传感器包括一个电容式聚合物测湿元件和一个能隙式测温元件, 并与一个 14 位的 A/D 转换器以及串行接口电路在同一芯片上实现无缝连接。SHT75 采用串行接口, 它的分辨率可以根据对现场的采集速率而进行调整。一般情况下, 默认的测量分辨率分别为 14 bit (温度)、12 bit

(湿度), 如果在高速采集中就可分别降至 12 bit 和 8 bit。对温度的量程范围为-40~123.8 °C, 相对湿度的量程范围为 0~100%。它操作比较简单, 只需用一组“启动传输”时序, 就能实现传感器数据传输的初始化。同时, 在测量和通讯结束后, SHT75 会自动转入休眠模式, 这大大减少了功耗。该传感器结构框图如图 3 所示。

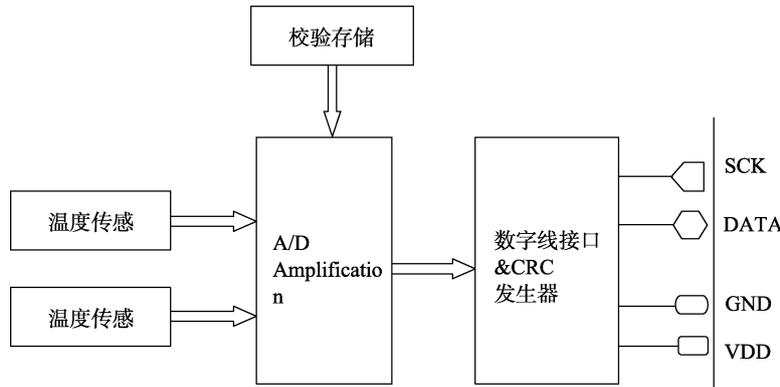


图 3 SHT75 结构

SHT75 传感器的引脚分布见表 1, 通过 C8051F120 的两个 I/O 口来分别与传感器的 SCK 引脚和 DATA 引脚相连, 来实现数据的交换, VDD 与 3.3 V 电压相连。为避免信号冲突, 微处理器应在低电平驱动 DATA, 所以还必须在 I/O 电路中。DATA 引脚上加一个上拉电阻将信号提拉至高电平, 用一个 10 kΩ 的电阻接至 3.3 V 电压, 其外围电路如图 4 所示。

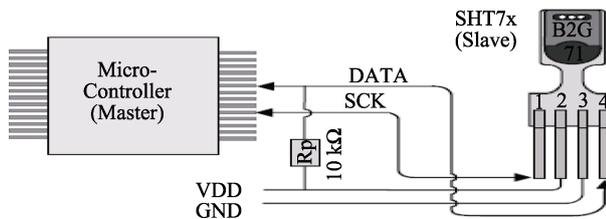


图 4 传感器检测电路

表 1 引脚说明

引脚	名称	描述
1	SCK	串行时钟, 输入口
2	VDD	电源
3	GND	地
4	DATA	串行数据, 双向

对于采集的相对湿度, 首先按式 (1) 进行了非线性补偿, 相对湿度完成非线性补偿后, 再进行温度校正。

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (1)$$

式中: RH_{linear} 为非线性补偿后的相对湿度数据; c_1 、 c_2 、 c_3 为相对湿度非线性补偿系数, 取值见表 2; SO_{RH} 为传感器相对湿度采集位数。

表 2 温湿度传感器相对相对湿度非线性补偿系数

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955×10^{-5}
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845×10^{-4}

由于实际温度与测试参考温度 25 °C 显著不同, 相对湿度信号按式 (2) 进行了温度补偿。温度补偿校正系数对应于 0.12%RH/°C@50%RH。

$$RH_{true} = (T - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear} \quad (2)$$

式中: RH_{true} 为温度校正后得到的相对湿度测试值; T 为测试温度; t_1 、 t_2 为相对湿度的温度补偿系数, 取值见表 3。

表 3 温湿度传感器相对相对湿度温度校正系数

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.000 08
8 bit	0.01	0.001 28

该传感器采用能隙材料 PTAT (正比于绝对温度), 温度传感器具有极好的线性。可用式 (3) 将数字输出(SO_T)转换为温度值, 温度转换系数见表 4。

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T \quad (3)$$

式中: T 为测试的温度值; d_1 、 d_2 为转换系数, 取值见表 4; SO_T 为传感器输出数据。

表 4 温湿度传感器的温度转换系数

因素	5 V	4 V	3.5 V	3 V	2.5 V	12 bit	14 bit
d_1	-40.1	-39.8	-39.7	-39.6	-39.4	—	—
d_2	—	—	—	—	—	0.04	0.01

传感器采用冶金粉末烧结壳体进行了封装, 形成的传感器实物如图 5 所示。



图 5 制作的传感器实物

2.4 电源

系统采用交、直流两种供电方式。交流供电方式为 220 V 交流电，通过直流开关电源变换后向系统供电。直流供电方式为通过锂离子电池向系统供电。

2.5 人机交互软件设计

人机交互软件包括两个部分：数据采集与处理程序，可视化界面。数据采集与处理程序采用 DOPSoft 宏指令编写，多个传感器采用巡检方式，程序完成数

据读取、校正、端口有效判断、数据错误判断等功能。一个通道的读取示例如下：

```
#读取传感器测量值
IF $M180.0 == ON /端口有效判断
$100 = ({Link2}1@RW-A) (DW) /数据读取
$M100 = $100 + $M900 /温度校正
$M101 = $101 + $M901 /相对湿度校正
IF $M101 >= 1000 /数据错误判断
$M101 = 1000 /数据错误标识
ENDIF
ELSE
$100 = 0
$101 = 0
$M100 = $100 /温度存贮
$M101 = $101 /相对湿度存贮
ENDIF
Delay(10)
```

可视化界面主要包含参数输入、显示、数据查询等功能，分为数据监控、历史数据、地址修改、仪器校准和系统时间校准等界面，如图 6 所示。



图 6 人机交互的可视化界面

2.6 装置试验

利用该温湿度检测装置对同一贮存条件下的不同密封包装样品微环境温湿度进行了测量，测量的部分数据见表 5。分析可知，该装置温度的误差均值在 1 °C 以内，相对湿度的误差均值在 ±3% 以

内。经过 2 年多各试验站户外和库房实际试验表明，该装置工作稳定，能实时测量、存储及故障报警等功能。采用锂电池向装置供电，避免了频繁更换电源的现象，工作时间长，制作完成后的温湿度测试与记录装置如图 8 所示。

表 5 微环境温湿度测试数据

采样时间	采样日期	通道 1		通道 2		通道 3		通道 4	
		温度/°C	相对湿度/%	温度/°C	相对湿度/%	温度/°C	相对湿度/%	温度/°C	相对湿度/%
17:12:07	2015-10-30	30.4	57.7	30.1	56.4	30.3	57.9	30.1	59.4
17:22:00	2015-10-30	30.7	57.1	30.3	55.6	30.6	57.2	30.4	58.7
17:32:01	2015-10-30	30.8	56.6	30.5	55.2	30.7	56.7	30.5	58.3
17:42:01	2015-10-30	30.9	56.3	30.6	55.0	30.8	56.4	30.6	58.1
17:53:00	2015-10-30	31.0	56.2	30.6	54.8	30.8	56.3	30.6	57.9
18:02:01	2015-10-30	31.0	56.1	30.6	54.7	30.9	56.1	30.7	57.8
18:12:01	2015-10-30	31.1	55.9	30.7	54.6	30.9	56.0	30.7	57.6
18:22:00	2015-10-30	31.1	55.8	30.8	54.5	31.0	55.9	30.8	57.5
18:32:01	2015-10-30	31.1	55.7	30.8	54.4	31.0	55.8	30.8	57.4
18:42:00	2015-10-30	31.1	55.6	30.8	54.3	31.0	55.7	30.8	57.3
18:52:01	2015-10-30	31.2	55.6	30.8	54.2	31.0	55.6	30.9	57.2
19:02:00	2015-10-30	31.2	55.5	30.8	54.2	31.0	55.6	30.9	57.2
18:12:01	2015-10-30	31.2	55.4	30.8	54.1	31.0	55.5	30.9	57.2

测量前对装置的每一个通道的温湿度传感器进行了校准,校准结果如图8所示。从温湿度偏差曲线可以看出,温度测试精度在40℃时为+0.2℃,相对湿度精度为-3%,满足技术要求。

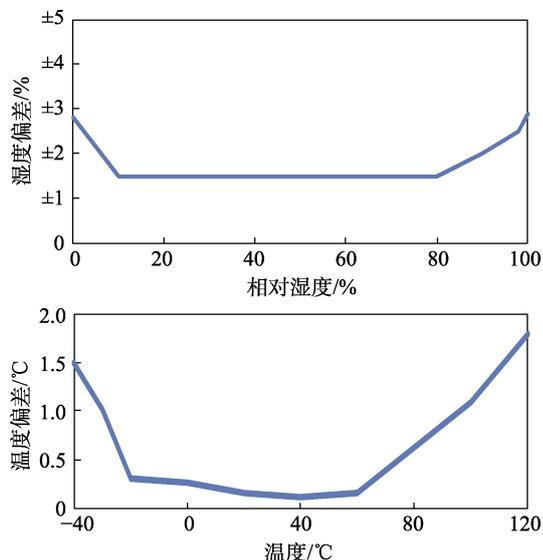


图8 温相对湿度偏差曲线

3 结语

结合计算机技术和传感器技术,设计了一套便携式微环境温湿度检测装置,实现了对温度和相对湿度的实时监控。通过软件功能设置,可以完成对温湿度的补偿、数据的存储和调用,也可以根据需求,合理选择采集周期,最低可实现1 min/次,与传统和市场上温湿度检测装置相比,具有先进性。该装置测量精度较高,测量范围较广,体积小,携带方便,最多可同时检测32组样品的微环境温湿度,并绘制温湿度曲线,具有创新性。装置在常温和低温状态下工作时稳定性能强,一致性好,经多年连续检测使用,证明

装置设计合理,运行稳定,能满足不同类型样品的试验检测要求。目前我国这类仪器较少,需求量较高,具有广阔的市场前景与发展潜力^[5-10]。

参考文献:

- [1] 李迪凡, 吴护林, 刘俊, 等. 玻璃钢密封包装容器透湿度试验研究[J]. 包装工程, 2018, 39(23): 242-246.
- [2] 杨万均, 魏小琴, 肖敏, 等. 基于传感技术的密封包装容器透湿度测试方法研究[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 45-47.
- [3] 李金龙, 杨万均, 虞健美, 等. 复合材料发射器透视率试验研究[J]. 弹箭与制导学报, 2014(3): 206-208.
- [4] 张树军, 丛秋梅, 蒋丹丹. 温室室内温湿度检测系统设计[J]. 应用天地, 2017, 36(10): 119-122.
- [5] 王秋鹏. 基于 ZigBee 技术高速动车组温湿度监测系统的设计[J]. 电子设计工程, 2018, 26(16): 63-66.
- [6] 于彤, 张天擎, 徐美德, 等. 多环境量检测系统设计与制作[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(3): 73-75.
- [7] 郭峰. 基于西门子 S7-300 系列 PLC 的温湿度检测仪的设计研究[J]. 电子设计工程, 2016, 24(19): 38-40.
- [8] 周茜, 马军平. 一种便携式仓储温湿度检测仪的设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(11): 45-48.
- [9] 王建成, 宋华文, 陆凯. 弹药最优装载建模及其可视化仿真实现[J]. 装备指挥技术学院学报, 2000, 11(6): 39-43.
- [10] 孟臣, 李敏. 多通道智能温湿度测试仪的研制[J]. 电子设计应用 2003(5): 44-46.
- [11] YAMAMOTO K. Development of Mechanical Stress Simulator for Surface-Mount Devices[J]. Japanese Journal of Applied Physics, 1995, 34(4A): 2043-2048.
- [12] LIU Y. Automated Simulation System of Moisture Diffusion and Hygrothermal Stress for Microelectronic Packaging[M]. US: Springer, 2010: 479-501.