

新型高精度温湿度检测箱及其测控系统研制

王庆祝¹, 陈攀峰¹, 马玉泉¹, 林红举¹, 崔丽娜¹, 刘海涛²

(1. 河北科技师范学院机电工程学院, 秦皇岛 066004; 2. 河北建材职业技术学院, 秦皇岛 066604)

摘要: 为了克服传统温湿度检测箱价格昂贵、技术指标精度低、测控参数单一等缺点, 研制了一种可靠性高、造价适中、自动化程度高的温湿度检测设备。该恒温恒湿箱在恒湿系统中采用了内、外双循环结构, 在恒温系统中采用了二次恒温技术和分段测量方案, 并采用了专家 PID 控制策略、硬件双重保护以及软件补偿等方法, 实现了温度和湿度的精确测量和准确控制, 提高了系统的性价比。该系统可广泛地应用于气象、温湿度检定、养殖等生产与科研单位, 并且由于系统的灵活性和模块化, 可以方便地满足其他场合。

关键词: 温度控制, 湿度控制, 检测, 控制系统, 检测箱, 专家 PID

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.02.034

中图分类号: S126, TP273

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-02-0203-05

王庆祝, 陈攀峰, 马玉泉, 等. 新型高精度温湿度检测箱及其测控系统研制[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 203-207.

Wang Qingzhu, Chen Panfeng, Ma Yuquan, et al. Development of high-precision temperature and humidity testing cabinet and its measure and control system[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 203-207. (in Chinese with English abstract)

0 引言

温湿度与科研、生产、人们的生活、植物的生长有密切关系^[1]。温湿度检测箱是具有冷热控制的高精度恒温恒湿设备^[2], 可用于植物培养、育种试验^[3]; 细菌、霉菌、微生物的培养、保存; 也是生物遗传工程、医疗、卫生防疫、药检、农牧水产等科研单位理想的试验设备。目前国外同类测控设备精度较高、运行稳定, 但存在着价格昂贵、操作繁琐、不易维修、配件难买等问题^[4]; 而国内同类测控设备存在精度较低、运行稳定性差、耗能大等问题, 且大都采用电动或电磁仪表, 分辨率低、误差大, 或只能检测一种参数^[5]。总的来看, 对温湿度测控的研究在国内外均有进展和产品, 但目前这类仪器仪表的缺点是只能检测不能控制, 测控参数单一, 价格昂贵, 技术指标低。温湿度测控的发展趋势是智能化、数字化、高精度、多功能^[6-7]。为实现生产和科研的科学化、自动化和科学研究的准确性, 推动中国气象、养殖等生产与科研的进步, 我们研制了一种基于主从结构的恒温恒湿箱, 系统采用了内、外双循环结构的恒湿系统, 二次恒温技术和分段测量方案的恒温系统, 通过主从单片机的协调配合实现了箱内空气的恒温恒湿。

1 检测箱箱体结构设计及工作原理

箱体截面为正方形抹角形式, 分为上箱体和下箱体, 外形尺寸 730 mm×730 mm×1 500 (高) mm; 质量约

150 kg。上箱体为密封良好的温度和湿度室, 其箱体材料采用不锈钢板焊接而成, 四面镶有透明玻璃, 右侧装有调表用的活动窗口。顶部装有可转动并可拆卸的挂架。前门采取双层磁条密封, 密封性好且开关方便。下箱体材料为薄钢板, 除支撑上箱体外, 还装有电磁阀、超声波湿度发生器、液体箱、干燥箱、加热箱、制冷箱和测控系统等部件。

工作原理: 温度和湿度室内的湿度值由温度和湿度传感器采集后, 经测控系统分析计算并显示在箱体面板上为标准温度和湿度。检测时, 根据设定温湿度与标准温湿度比较结果, 测控系统实行升降温度和湿度或稳定状态控制。在恒湿系统中需增湿时, 经自动控制, 加湿电磁阀开启, 加湿器工作, 雾化的湿气经管道直接进入湿度室内, 由风扇搅拌均匀。需降湿时, 加湿电磁阀和加湿器停止工作, 当环境湿度低于箱内湿度时, 用环境降湿阀打开, 干燥剂降湿阀关闭; 当环境湿度高于箱内湿度时, 环境降湿阀关闭, 干燥剂降湿电磁阀打开, 此时湿度室内的湿空气经箱底上的通气孔和通气管道进入干燥箱内, 通过分子筛时水分子被吸收, 由干燥箱内的降湿风扇和搅拌风扇同时作用, 被吸入湿度室内, 如此往复循环使湿度降到设定值, 恒湿气路系统如图 1。在恒温系统中, 采用二次恒温技术, 即直接加热或制冷均对液体箱内液体进行, 被加热或制冷后的液体通过上箱体内管路与液体箱循环, 温度传感器布置在上箱体内, 从而克服了直接加热和直接制冷的波动性, 并使比例-积分-微分 (proportion integration differentiation, PID) 系统更容易控制。

2 测控系统硬件设计

为保证系统的测控精度, 采用分段测量方案, 主机系统 (控制系统及-10~0℃测量系统仪表) 结构框图如

收稿日期: 2010-01-29 修订日期: 2010-03-23

基金项目: 2009年河北省科技厅计划项目 (09827121D); 2004年河北省教育厅计划项目 (20042002)

作者简介: 王庆祝 (1968-), 男, 河北青龙人, 教授, 主要从事计算机测控系统研究。秦皇岛 河北科技师范学院机电工程学院, 066004。

Email: wqzh1010@126.com

图 2 所示,主要由单片机芯片、键盘、数码显示器、传感器、输出控制接口、通信接口等组成;从机系统(0~50℃测量系统仪表)结构框图如图 3 所示,主要由单片机芯片、键盘、数码显示器、传感器、A/D 转换器、看门狗电路、通信接口等组成。二者通过串口相连,将成熟的仪表纳入系统,既提高测控系统的精度,又扩大了测控范围。

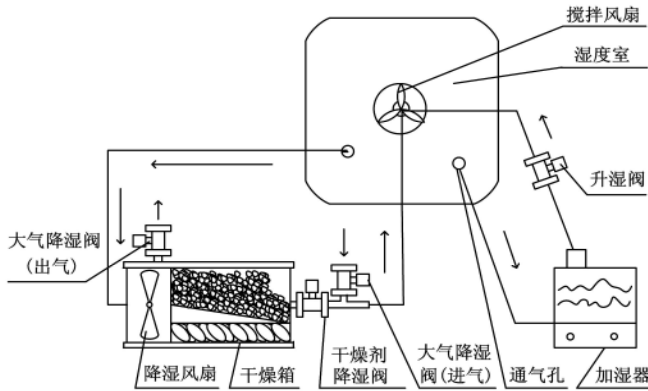


图 1 恒湿气路系统示意图

Fig.1 Schematic of constant humidity gas route system

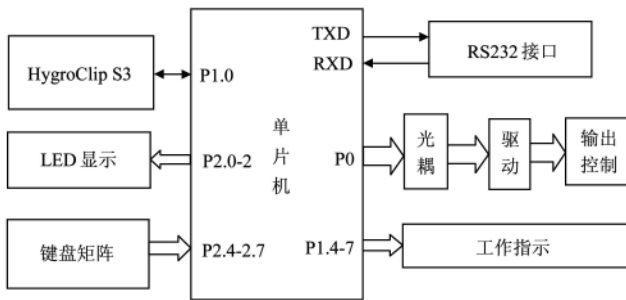


图 2 主机系统原理结构框图

Fig.2 Principle structure diagram of host computer

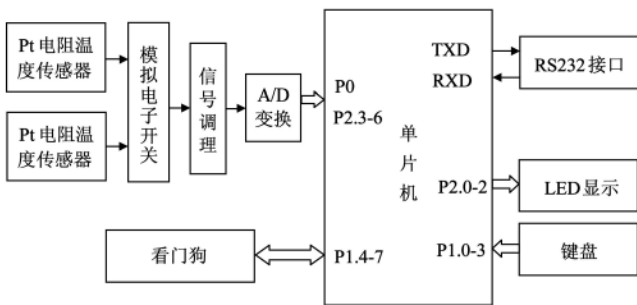


图 3 从机原理结构框图

Fig.3 Structure diagram of slave computer

2.1 传感器

2.1.1 HygroClip S3 型数字式温湿度传感器

为扩展测控范围,在-10~0℃之间采用瑞士罗卓尼克公司生产的 HygroClip S3 型数字式温湿度传感器^[8],其工作范围:湿度为 0~100%RH,温度为-40~85℃;精度为±1.5%RH、±0.3℃;供电为直流 3.5~50 V,推荐 5 V;单总线公开协议数字输出,容易接单片机。在系统中,采用单总线 DIO 与单片机 P1.0 口连接,用于-10~0℃之

间所测区域内空气温度和湿度的数字显示。

2.1.2 Pt 电阻温湿度测量的基本原理

标准铂电阻温度计的精确度高,作为复现国际温标的标准仪器。在系统中,在 0~50℃之间采用 Pt100 温度传感器,对所测区域内空气的干球和湿球温度进行测量,保证系统高精度。

Pt 电阻温度测量原理^[9,10,11]

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (1)$$

式中, R_t 、 R_0 为 Pt 电阻在 t ℃ 和 0℃ 时的电阻值; t 为温度;对于 Pt(100)有 $R_0=100\Omega$, $R_{100}/R_0=1.391\pm 0.0007$ (I 精度等级) $A=3.96847\times 10^{-3}/\text{℃}$; $B=-5.847\times 10^{-7}/\text{℃}^2$ 。

湿度测量原理:在 0~50℃之间,系统采用由 Pt 电阻温度传感器构成的干湿球湿度测量传感器^[12],克服了直接的湿度测量传感器寿命短、价格高、信号调理电路复杂等缺点。采用四线制测量方法,并配合湿球测量风扇,保证了干球和湿球温度检测的高精度,从而实现了高精度的湿度检测。它与微处理器软件运算相结合,完成所测区域内的湿度的检测任务。其转换关系为

$$\log e_w = 10.79574 \times \left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 5.02800 \log \left(\frac{T}{T_1}\right) + 1.50475 \times 10^{-4} \times \left[1 - 10^{-8.2969 \left(\frac{T}{T_1} - 1\right)}\right] + 0.42873 \times 10^{-3} \left[10^{4.76955 \left(1 - \frac{T_1}{T}\right)} - 1\right] + 0.78614 \quad (2)$$

$$e = e_w - AP(t - t_w) \quad (3)$$

$$U = e / e_w \times 100\% \quad (4)$$

式中, T_1 为水的三相点温度 ($T_1=273.6 \text{ K}$); T 为绝对温度 ($T=273.15+t$); e_w 为水平液面饱和和水气压; e 为空气的水气压; A 为干湿表系数,取 $A=6.67 \times 10^{-4}$; P 为大气压力; t 为干球温度; t_w 为湿球温度; U 为相对湿度。

2.2 从机信号变换电路

2.2.1 多路模拟

为完成 Pt 电阻温度传感器的四线制测量,采用多路模拟电子开关 CD4052 周期性地巡回地将采集的干球和湿球温度的数据送到信号调理电路,使硬件电路简单、可靠、降低仪表成本、又满足精度要求。

2.2.2 信号调理电路

信号调理电路采用低温漂运算放大器 OP-07 及外围电路构成仪表放大,完成信号的灵敏度及零位调整,其输出标准信号送入 A/D 变换电路。

2.2.3 A/D 变换电路

综合考虑系统的精度和响应速度的要求,选用 A/D 变转换电路 ICL7135^[14]。它具有 4 位半模数转换器(ADC),具有 50×10^{-6} (1/20 000) 的精度,最大的非线性误差是 1 位。零误差小于 $10 \mu\text{V}$,温漂低于 $0.5 \mu\text{V}/\text{℃}$,非常适合本系统。

2.3 从机看门狗电路模块

X25045 芯片把 3 种常用功能—看门狗定时器、电压监控和 E²PROM 存储器组合在单个封装之内。这种组合

降低了系统成本并减少了对电路板空间的要求。通过对片内 4096 位串行 E²PROM（按 512×8 组织），实现系统智能标定与校准。

2.4 主机输出控制及工作指示

本系统主机中要控制驱动的有超声波加湿器、分子筛除湿器、搅拌电机、电加热丝、压缩机、电磁阀、风扇电机等。输出控制电路由接口电路和过零触发可控硅输出控制电路等构成，完成专家 PID 调节。同时，在系统中还设置了工作状态指示。

在温度控制系统中，采用了硬件双重保护技术，即超低液位保护以及超低温保护，提高了系统的可靠性。

2.5 键盘及显示

在系统主机与从机中均采用 4 个独立按键及中断方式；系统显示均采用静态 LED 显示，为避免闪烁，采用 74HC595。

2.6 通信接口

为方便分段测量，两片单片机均扩展了 RS-232 接口，实现相互通信。在 0~50℃ 温湿度测量采用以 AT89C52 单片机为核心的仪表，采集值传送给主机 STC89C54，并由主机实现控制；在 -10~0℃ 测量与控制均由主机实现；0~50℃ 和 -10~0℃ 测量切换由软件自动实现。

2.7 单片机

系统主机采用 STC89C54RD⁺ 单片机，由深圳宏晶科技公司生产，具有最高时钟频率可达 80 MHz、片内含 16 K Flash 只读程序存储器、1 280 bytes 的 RAM 数据存储器、8 K 的 EEPROM、内置看门狗等特点。系统从机采用 AT89C52 单片机，由 ATMEL 公司生产，具有片内含 8 k bytes 的可反复擦写的 Flash 只读程序存储器和 256 bytes 的随机存取数据存储器（RAM），32 个外部双向输入/输出（I/O）端口，同时内含 2 个外中断口，3 个 16 位可编程定时计数器，2 个全双工串行通信口，兼容标准 MCS-51 指令系统等特点。

3 软件设计

该检测箱测控系统的应用程序在结构上与硬件配置相适应，采用模块化结构。软件的重点和难点就在于在动态过程中营造稳定的温度和湿度环境。主程序根据现场具体情况协调不同硬件配置系统子程序，从而组成完整的实现确定功能的系统测控程序。它主要由主程序、数据巡回采集及处理子程序、显示子程序、键盘、定时中断服务程序、专家 PID 调节程序等组成。所有程序采用 Keil C51 开发。主机主程序流程图如图 4 所示。

系统采用 PID 控制方法^[16]。PID 控制方法的实质就是数据输入的偏差值，按比例、积分、微分的函数关系进行运算，其运算结果用以输出控制。但经过运行，未得到满意的效果，故采用专家 PID 控制。专家控制算法是建立在经典 PID 控制算法基础上的一种控制算法，其实质是基于受控对象和控制规律的各种知识，并以智能的方式利用这些知识来设计控制器。利用专家经验来设计 PID 参数便构成专家 PID 控制，根据偏差及其变化，来设计专家 PID 控制器。专家 PID 程序流程如图 5

所示。

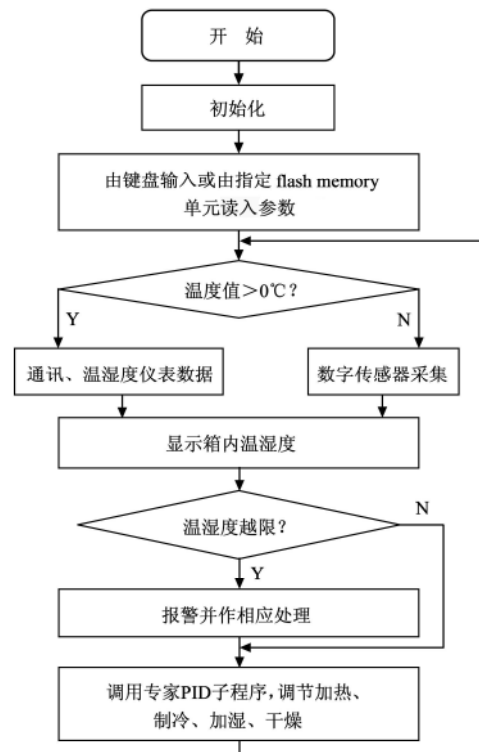
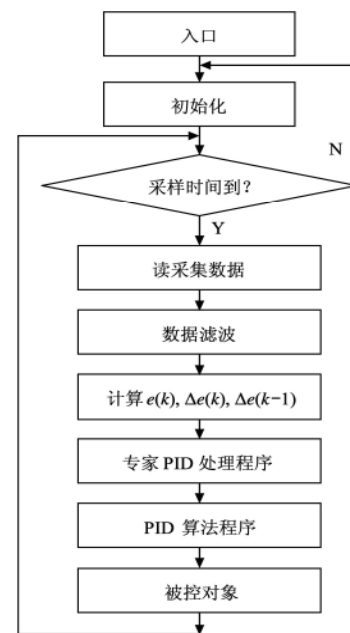


图 4 主机主程序流程图

Fig.4 Main program flow chart of host computer



注： $e(k)$ 为当前采样时刻的误差值； $\Delta e(k)$ 为当前采样时刻的误差变化量； $\Delta e(k-1)$ 为前一采样时刻的误差变化量

图 5 专家 PID 程序流程

Fig.5 Program flow chart of expert PID

4 应用试验

HWS-D 温湿度检测箱样机如图 6。按照有关国家规程和标准的测试布点要求^[7-8]，用 T&H99-2 型高精度温湿度仪和 TS2002-2 型秒表分别给出温度、相对湿度和响应

时间的标准值,对检测箱进行了测试,实测结果平均值列于表1。由表1可计算出,该检测箱温度测量误差 $<0.1^{\circ}\text{C}$;湿度测量误差 $\leq 1.2\%\text{RH}$;其温度控制误差 $<0.3^{\circ}\text{C}$;湿度控制误差 $\leq 2\%\text{RH}$ 。并且系统温度响应时间:10 s,湿度响应时间:13 s。表明该检测箱有效地提高了系统的测控精度、稳定性和工作效率。



图6 HWS-D温湿度检测箱实物照片

Fig.6 Picture of HWS-D temperature and humidity testing cabinet

表1 温湿度检定箱实测结果

Table 1 Experimental results temperature and humidity testing cabinet

标准值		仪器示值		设定值	
温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/ $\%$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/ $\%$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/ $\%$
10.44	15.41	10.5	14.3	10.2	14.2
20.45	37.23	20.5	37.0	20.5	37.9
30.24	58.45	30.2	58.2	30.2	58.8
40.52	86.34	40.6	85.1	40.5	86.0

注:控制误差=设定值-仪器示值,测量误差=标准值-仪器示值。

5 结论

通过实际应用,该温湿度检测箱具有以下特点:

1) 温度测量误差 $<0.1^{\circ}\text{C}$;湿度测量误差 $\leq 1.2\%\text{RH}$;温度控制误差 $<0.3^{\circ}\text{C}$;湿度控制误差 $\leq 2\%\text{RH}$,与传统恒温恒湿系统相比,该检测箱的测控精度、系统的稳定性大大提高。

2) 检测箱的恒温系统中采用了二次恒温技术,抑制了直接制冷和直接加热的波动性。

3) 系统采用数字式温湿度传感器和Pt100电阻温度传感器,实现了 $-10\sim 0^{\circ}\text{C}$ 和 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的分段测量,温湿度控制采用专家PID调节,通过硬件双重保护和软件补偿相结合的方法,实现了温度控制误差 $<0.3^{\circ}\text{C}$ 和湿度控制误差 $\leq 2\%\text{RH}$ 的高精度。

4) 检测箱的恒湿系统采用了干燥剂降湿和干燥通道循环体系。当环境湿度高于箱内湿度时,用干燥剂降湿,当环境湿度低于箱内湿度时,用环境降湿,系统响应时间小于13 s,提高了系统的工作效率,延长了干燥剂的使

用寿命,可以达到传统方法的3倍。

5) 该检测箱操作方便,性价比高,而且测控系统可以分解作为单独仪表使用,扩大了应用范围。在温湿度检测和标定、气象、植物培养、育种、环保等方面具有广泛的推广应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 梁显有,刘定强,李敏毅,等.恒温箱类温度试验设备自动检测系统的设计[J].计量技术,2001(5):15.
Liang Xianyou, Liu Dingqiang, Li Minyi, et al. Design of automatic detection system of temperature testing equipment about thermostatic box class[J]. Measurement Technique, 2001(5): 15. (in Chinese with English abstract)
- [2] 崔剑,张学范,傅兴天,等.试验箱温、湿度校准装置的研制[J].化学分析计量,2006,15(1):50-52.
Cui Jian, Zhang Xuefan, Fu Xintian, et al. Development of temperature and humidity calibration device in test chamber[J]. Chemical Analysis and Meterage, 2006, 15(1): 50-52. (in Chinese with English abstract)
- [3] Oregano Systems.MC8051 IP Core User Guide[Z]. Oregano Systems, 2002.6.
- [4] 彭勇刚,韦巍.人工气候箱温湿度模糊控制[J].农业工程学报,2006(8):166-169.
Peng Yonggang, Wei Wei. Fuzzy control over temperature and humidity of artificial climate chest[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 166-169. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘士光,马继伟,石瑞珍,等.农业设施测控系统的研制[J].农业工程学报,2004(6):242-244.
Liu Shiguang, Ma Jiwei, Shi Ruizhen, et al. Research and development of measuring and controlling system for agricultural facilities[J]. Transactions of the CSAE, 2004(6): 242-244. (in Chinese with English abstract)
- [6] Hassan K. Khalil. Nonlinear Systems[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
- [7] 余永权. ATMEL89系列单片机应用技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002:31-326.
- [8] GJB/J 3827-1999 标准恒温恒湿箱检定规程.
- [9] JJF 1101-2003 环境试验设备温度、湿度校准规范.
- [10] 刘君华.智能传感器系统[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [11] 周兵,马英庆,王文华.智能温湿度调节仪[J].仪表技术与传感器,2002(11):53-54.
Zhou Bing, Ma Yingqing, Wang Wenhua. Intelligent temperature and humidity adjusting instrument[J]. Instrument Technique and Sensor, 2002(11): 53-54. (in Chinese with English abstract)
- [12] 何立民.单片机高级教程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2000.
- [13] 顾敏明,潘海鹏.湿度专家控制系统的设计与实现[J].工业仪表与自动化装置,2007(4):20-22.
Gu Minming, Pan Haipeng. The design and realization of an expert control system for humidity[J]. Industrial Instrumentation and Automation, 2007(4): 20-22. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘士光,刘建民,王剑锋,等.低温恒温箱测控系统的接

- 口设计与 PID 调节[J]. 河北科技师范学院学报, 2004(4): 1—3.
- Liu Shiguang, Liu Jianmin, Wang Jianfeng, et al. Interface design and PID adjustment of low temperature and constant temperature box test and control system[J]. Journal of Hebei Normal University of Science and Technology, 2004(4): 1—3. (in Chinese with English abstract)
- [15] 戴剑锋, 罗卫红, 乔晓军, 等. 基于模型的温室加温控制目标优化系统研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 187—191.
- Dai Jianfeng, Luo Weihong, Qiao Xiaojun, et al. Model-based decision support system for greenhouse heating temperature set point optimization[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 187—191. (in Chinese with English abstract)
- [16] 孟臣, 李敏, 李爱传. I²C 总线数字式温湿度传感器 SHT11 及其在单片机系统的应用[J]. 国外电子元器件, 2004(3): 50—54.
- Meng Chen, Li Min, Li Aichuan. I²C bus digital temperature and humidity sensors SHT11 and in the SCM system application[J]. International Electronic Elements, 2004(3): 50—54. (in Chinese with English abstract)
- [17] 史军勇, 冀捐灶, 杨宝强. 基于 AT89C2051 的温湿度控制仪[J]. 电子技术, 2004(1): 21—23.
- Shi Junyong, Ji Juanzao, Yang Baoqiang. The temperature and humidity control instrument based on AT89C2051[J]. Electronic Technique, 2004(1): 21—23. (in Chinese with English abstract)
- [18] 付立思, 孙晓杰, 吴秀华, 等. 模糊自适应 PID 控制器在太阳能干燥温度控制中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 217—219.
- Fu Lisi, Sun Xiaojie, Wu Xiuhua, et al. Application of fuzzy adaptive PID controller in solar drying temperature control[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(7): 217—219. (in Chinese with English abstract)
- [19] Luo W H, De Zwart H F, Dai J F. Simulation of greenhouse management in the subtropics, part I: model validation and scenario study for the winter season[J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(3): 307—318.
- [20] Chalabi Z S, Bailey B J, Wilkinson D J. A real-time optimal control algorithm for greenhouse heating[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1996, 15: 1—13.

Development of high-precision temperature and humidity testing cabinet and its measure and control system

Wang Qingzhu¹, Chen Panfeng¹, Ma Yuquan¹, Lin Hongju¹, Cui Lina¹, Liu Haitao²

(1. College of Electromechanical Engineering, Hebei normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066004, China;

2. Hebei Vocational and Technical College of Building Materials, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In order to overcome the shortcomings of traditional temperature and humidity testing cabinet, such as high price, low technical indicators, single measurement and control parameter, and so on, the temperature and humidity testing equipment with high reliability, moderate cost, high degree of automation was developed. The constant humidity system of the cabinet used inside and outside double-loop structure, and the constant temperature system used two-time constant temperature technique and sectional measurement scheme. Using the methods such as expert PID control strategy, hardware double protection and software compensation, it realized accurate measurement and control of temperature and humidity, and high performance/cost ratio. The system can be widely applied to the fields of scientific research of meteorological, verification of temperature and humidity, breeding industry and other applications due to its flexibility and modularity.

Key words: temperature control, humidity control, measurements, control systems, testing cabinet, expert PID