

文章编号: 1007-6735(2005)04-0327-04

基于 PID 控制的 4 工位冰箱性能测试试验室研制

段雪涛, 邬志敏, 王芳, 黄超, 杜世春

(上海理工大学 动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 介绍了 PID 控制技术在冰箱试验室的温湿度控制中的应用. 依据国家标准 GB/T8059.2-95 要求, 设计并建造了一套全自动电冰箱热工性能测试的试验系统. 完成试验室空气处理系统、工况参数 PID 控制系统和电气系统设计以及软件编程等工作, 并进行了调试电冰箱热工性能测试项目的试验.

关键词: 电冰箱; PID 控制; 热工性能; 测试

中图分类号: TB 663 **文献标识码:** A

Application of PID control system in a four location refrigerator-testing laboratory

DUAN Xue-tao, WU Zhi-min, WANG Fang, HUANG Chao, DU Shi-chun

(College of Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The application of temperature and humidity PID control technology in the refrigerator-testing laboratory is described. Based on GB/T8059.4-95, this project features the design and construction of an experiment system measuring the thermal properties of refrigerator. All the work done includes providing a system solution for air-conditioning, control and electric units, software development, debugging for the whole system and a series of tests required for laboratory quality regulation.

Key words: refrigerator; PID control; thermal property; testing

在我国, 电冰箱应用十分广泛. 为保证电冰箱的质量, 国家制定了一系列的标准, 规定每个厂家在冰箱出厂前必须进行性能测试^[1]. 检测系统的可靠性直接影响检测质量, 如果检测系统可靠性差, 出厂产品合格率不能得到保证, 既给消费者带来麻烦, 又给生产厂家带来不利影响. 电冰箱测试技术的发展已由最初的手工操作发展到了目前国外先进的全自动测试. 在冰箱试验室中, 温湿度是最重要的工况参数. 对于温湿度大多使用按偏差的比例 (proportional)、积分 (integral)、微分 (differential) 控制, 简称 PID 控制. PID 控制器的结构简单, 参数易于调整.

一组整定好的参数有较好的控制效果. 本文介绍 4 工位冰箱性能测试试验室的温湿度控制系统以及测控系统的设计.

1 PID 控制原理

PID 控制是实际应用领域最为常见的一种控制方法. 对于模型未知对象, PID 控制中参数的调节十分重要^[2]. 本试验采用数字 PID 调节器, 调节器输入与输出间的关系为

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

收稿日期: 2004-12-13

作者简介: 段雪涛 (1973-), 女, 博士研究生.

式中 $u(t)$ ——PID 调节器输出
 $e(t)$ ——PID 调节器输入
 K_p ——比例系数
 T_i ——积分时间常数
 T_d ——微分时间常数

计算机控制系统中常常使用的是数字 PID 调节器,就是在选择合适的采样周期 T 时,对输入与输出关系进行离散化,此时令

$$\left. \begin{aligned} u(t) &= u(kT) \\ e(t) &= e(kT) \\ \int_0^t e(t)dt &= T \sum_{j=0}^k e(jT) \\ \frac{de(t)}{dt} &= \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

得出数字 PID 调节器的第一种表达形式,被称为位置式 PID

$$u(kT) = K_p \left\{ e(kT) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(jT) + \frac{T_d}{T} [e(kT) - e(kT - T)] \right\} \quad (3)$$

上式经过 Z 变换得出数字 PID 调节器的传递函数

$$D(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = K_p + K_i \frac{1}{1 - z^{-1}} + K_d(1 - z^{-1}) \quad (4)$$

式中 K_i ——积分系数, $K_i = K_p T / T_i$
 K_d ——微分系数, $K_d = K_p T_d / T$

2 试验室空气温湿度处理系统设计

根据国家标准规定,对电冰箱进行性能检测时,必须在恒温恒湿室中进行.冷藏室和冷冻室的温度往往是衡量电冰箱性能指标的重要依据.

环境试验室采用全自动控制系统,以环境室内的温度、相对湿度等参数为控制对象,通过工况的转换与空气处理过程,使温度和相对湿度在各种干扰条件或负荷变化条件下,与设定值的偏差能保持在空气处理工艺要求范围之内.当温度作为被调节量时,通过对电加热器的热量输出的调节,平衡环境室内的热量输出和制冷机组的冷量输出,得到环境室设定的温度;当相对湿度作为调节量时,通过对加湿器蒸汽输出的调节,平衡环境室内的散湿量和制冷机组的除湿量.

若忽略外部扰动的影(实际控制中外部的影响较控制通道的作用而言可以忽略),则试验系统的

控制问题完全可以当成两个单输入单输出的控制回路来处理.针对不同的执行与调节机构,以及测量元件,分别给出了这两个控制回路的方框图,如图 1 和图 2 所示.

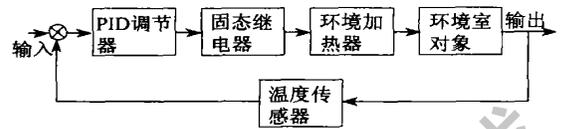


图 1 环境室温度控制回路方框图

Fig. 1 Frame diagram for Text room's temperature control



图 2 环境室湿度控制回路方框图

Fig. 2 Frame diagram for Text room's temperature grads

3 控制系统

3.1 自动控制系统

与一般的过程控制相比,冰箱性能试验台参数自动控制系统具有自己的特点.4 个工位冰箱的运行状态各自独立,可能处于运行状态,也可能处于停机状态,所以对系统的热量平衡扰动较大,要求整个测试系统有较快的响应速度.这样,不但要求控制精度高,而且对响应速度也提出很高的要求.

环境试验室内空气工况控制系统是一个多输入多输出的控制系统³,硬件主要由计算机主机、外部设备和工业自动化仪表组成,其总体结构框图如图 3 所示.

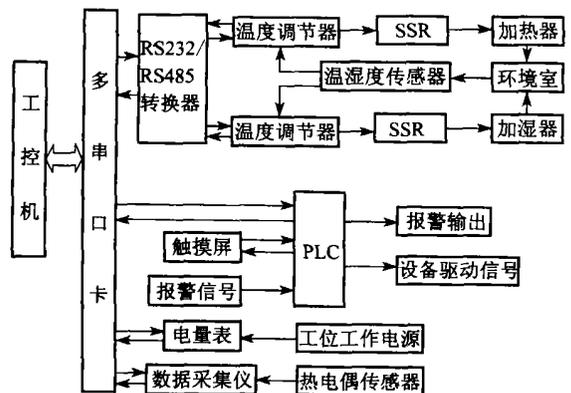


图 3 测控系统硬件组成

Fig. 3 Hardware structure for measure and control system

计算机是测控系统的核心,通过实时地执行测

试程序. 依赖程序自身设定的条件, 对外部的输入信号进行判断和处理, 实时地控制各个设备的运行, 从而达到对整个系统的控制⁴. 另外, 主机还连接一些外部设备, 如过程输入输出设备、人机联系设备和外存储器.

检测系统分为两级结构, 采用分布式监控系统的控制方式, 使系统信息集中、功能分散的优点得以充分发挥. 前级是数据采集系统, 采集测试冰箱温度、环境温度、运行时间和电气强度等; 后级是工控机、HP 打印机等上层数据管理系统. 完成数据处理、数据储存、智能诊断和曲线显示各种参数等功能. PLC 功能完善, 通用性强, 使用方便及可靠性高, 强大的 I/O 功能和逻辑运算能力用以现场的电气控制. 触摸屏的人机友好界面使操作者使用起来简单方便. 由于工控机和触摸屏都可以对 PLC 进行操作, 使得远程控制和现场控制都成为可能.

3.2 测试软件设计

冰箱性能测试软件是 Windows 98/ ME/ 2000/ XP 或 Windows NT 下的一个应用程序. 由目前应用较多的 Visual Basic 6.0 编写.

程序按照图 4 所示进行编写, 运行测试工位时, 可以根据需要设置参数, 也可直接按开始按钮进行测试.

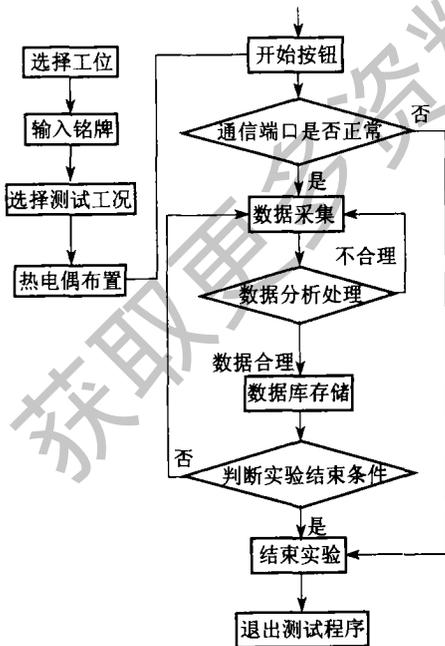


图 4 冰箱测试程序框图

Fig. 4 Frame diagram for refrigerator testing program

由于测试系统用了两套 ADAM 5000E, 其与主机连接时通讯端口 M scomm1 和 M scomm2 需要处

于 open 状态. 在程序测试开始时, 测试程序首先对端口进行测试. 如果端口未打开, 程序自动将端口打开; 如果是硬件上的原因, 无法将设备正常打开, 测试系统会提醒客户检查设备运转是否正常. 每两个测试工位共用一个通讯端口, 而每个测试工位在执行过程中都各用一个 time 时钟控制, 所以在测试中, 每个工位各自独立, 采集的数据也互不干扰, 提高了测试系统的精确性和稳定性.

4 试验分析

4.1 制冷工况试验

根据国家标准规定, 冰箱实验室的环境温度要在 10 ~ 43 °C 范围内可调, 环境相对湿度应保持在 45% ~ 75%. 因此, 它需对试验系统的降温能力进行测试.

由图 5、图 6 可见, 系统完全有能力在 1h 左右将试验室温度 t 维持在 10 ± 0.5 °C 的范围内, 试验室湿度 ϕ 保持在 75% 左右, 其振幅在 $\pm 4\%$ 之间, 完全符合国标要求.

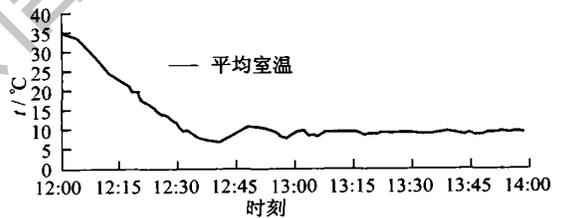


图 5 极限试验试验室温度控制曲线

Fig. 5 Text room's temperature curve under the utmost experiment

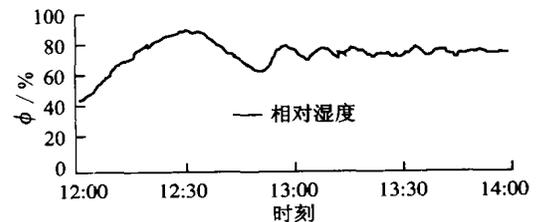


图 6 制冷工况环境室相对湿度控制曲线

Fig. 6 Text room's relative humidity curve under the cooling experiment

4.2 制热工况试验

在室外温度较低的情况下, 冰箱环境室在规定的时间内是否能够达到温度要求, 主要是考核环境加热器的能力. 在冬天较低的温度下进行试验, 显然要受到客观条件的限制, 所以需要找到替代试验来

说明. 本文利用制冷工况试验结束时环境室温度为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度为 75% 的条件, 进行制热工况试验.

试验进行 1 h 后, 温湿度基本在设定范围内波动, 可以认为试验在指定的时间内达到了工况要求.

4.3 温度场均匀性试验

冰箱性能试验室对温度均匀性要求比较高, 其同一水平面温度分布要基本一致, 在垂直方向温度梯度为 2 K/m , 所以有必要进行均匀性试验, 以保证试验室的测量精度.

为了保证试验的普遍性, 应进行标准工况试验, 也就是要先将试验室的温度控制在 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 相对湿度控制在 60% 左右.

在进行试验之前, 先要布置均匀性试验的温度测量点, 由于冰箱性能试验室温度测点比较多, 选用其中 16 个测点进行布置, 在与地面相距 0.8 m 的地方作为水平面 1, 然后沿垂直向上的方向, 距地面 1.8 m 的地方作为水平面 2, 每个水平面共布置 8 个测点, 如图 7 所示.

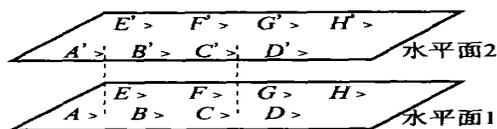


图 7 均匀性试验温度测点布置

Fig. 7 Position of measure point for temperature equality text

考核垂直方向温度分布是否合理, 是看垂直方向上的温度梯度. 理论上需要在垂直方向布置多个测点, 根据试验的结果, 考核沿着垂直方向各点的温度梯度随着时间的变化关系, 在但考虑到冰箱测试过程中, 所利用的空间高度不到 2 m , 以及环境室的风速比较低, 对温度梯度影响比较小等特点, 在特征点的垂直方向上只布置了两个测点, 考核其平均值与时间的变化关系. 在温度场均匀性试验中, 本文共选择了 8 个特征点, 现以 $A-A'$ 和 $C-C'$ 特征点所在的垂直方向进行分析.

由图 8、图 9 可知, 温度梯度 $\text{grad } t$ 在 2 K/m 范围内, 同样对其他几个测点观察, 发现温度梯度均在 2 K/m 范围, 达到国标要求.

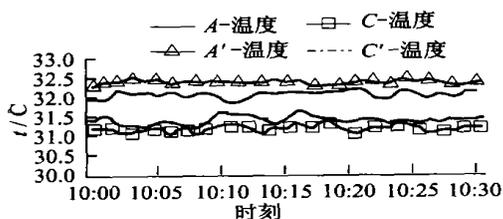


图 8 温度场均匀性试验曲线

Fig. 8 Text room's curve under the temperature field uniformity experiment

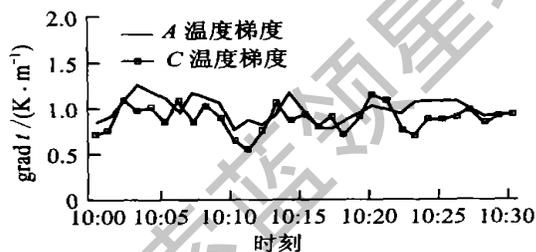


图 9 温度梯度随时间变化曲线

Fig. 9 Text room's temperature grads curve changed by time

通过两次恶劣工况和均匀性试验, 试验工况进入稳定状态比较快, 环境室温湿度分布比较均匀. 在工况稳定过程中, 对环境室的加湿量得到了有效的控制, 有利于整个系统的节能.

5 结束语

将 PID 控制引入冰箱性能试验室设计中, 从而使控制系统的设计简化, 具有实用价值. 试验结果表明, 在冰箱试验室对温湿度、测控系统利用 PID 控制, 对提高工况的稳定性和控制精度、缩短工况稳定时间是一种行之有效的方法, 并且降低了试验室运行成本, 值得推荐.

参考文献:

- [1] 国家标准委员会. GB/T 8059. 2—95, 家用制冷器具冷藏冷冻箱[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [2] 彭云丰, 邬志敏, 龚阳. 新型冷冻集装箱热工性能试验系统研究[J]. 上海理工大学学报, 2000, 22(2): 180~184.
- [3] 刘楚芸, 周泽魁, 邹滢. 电冰箱检测微机应用系统[J]. 低温工程, 2003, (115): 48~51.
- [4] 周明德. 微型计算机系统原理及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.