

人工气候室控制系统设计

杨文豪¹, 林明星¹, 管志光²

(1. 山东大学 机械工程学院, 济南 250061; 2. 山东交通学院 机械工程系, 济南 250023)

摘要: 设计开发了一种基于 PLC 和触摸屏的人工气候室系统, 用来模拟温度、湿度、CO₂ 浓度, 光照强度等自然条件; 详细描述了系统的硬件组成及软件设计, 实现了短信报警、网络监控等扩展功能; 设计了一套逻辑控制算法, 解决了人工气候室惯性、大滞后等问题, 实现了对气象因子的精确控制; 经过实地测试表明, 温度控制精度为 ± 0.5 °C, 湿度控制精度为 $\pm 5\%$ rh, CO₂ 浓度控制精度为 ± 30 ppm, 均达到了控制要求。

关键词: 人工气候室; PLC; 触摸屏; 短信报警; 网络监控

Design of Control System for Artificial Climate Chamber

Yang Wenhao¹, Lin Mingxing¹, Guan Zhiguang²

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250023, China)

Abstract: An artificial climate chamber based on PLC and HMI was designed to simulate nature weather such as temperature, humidity, carbon dioxide concentration and illumination intensity. The hardware composition and the software design was described in details. And the extended function such as message alarm and network monitoring was realized. A kind of logical control algorithm was designed to solve the problem of inertia and large lag. The engineering practice indicates that the control precision of temperature is ± 0.5 °C, the precision of humidity achieves $\pm 5\%$ rh and the precision of carbon dioxide concentration attains ± 30 ppm.

Keywords: artificial climate chamber; PLC; HMI; fuzzy control theory; message alarm; network monitoring

0 引言

人工气候室是用来模拟自然界环境的一种实验设备, 能够控制温度、湿度、CO₂ 浓度、光照强度等诸多气象因子, 并使其维持在一定精度内, 在科学研究、现代农业等方面有着广泛的应用。人工气候室控制系统属于多变耦合系统, 是一种典型的非线性系统, 具有惯性、大滞后、不确定性等问题。

目前, 市面上流行的人工气候室结构简单, 功能单一, 控制方法大多采用传统 PID 控制。而这种控制方式带来的问题有: (1) 依靠经验确定比例、积分、微分系数, 且参数一旦确定, 很难进行修改, 通用性差, 满足不了不同用户的需求; (2) 控制机组动作过于频繁, 对设备机组的寿命有很大的影响。(3) 若用户要求两台及其以上的机组同时控制某一因子, 且有复杂的逻辑关系, 则传统的 PID 控制无法实现^[1]。分析以上问题, 设计了一套控制系统, 从软硬件上进行了详细分析, 并基于一般反馈控制原理, 对各气象因子进行了逻辑控制。经现场运行状况证明, 该系统控制效果好, 运行稳定。

1 系统总体设计

根据控制要求, 系统分为上位机系统与下位机系统。其中上位机选用威纶通 MT8000IH 触摸屏, 下位机主控单元选用西门子 S7-200 PLC, 上下位机之间通过 RS485 串口连接。

收稿日期: 2014-03-09; 修回日期: 2014-04-13。

作者简介: 杨文豪(1989-), 男, 山东莱芜人, 硕士研究生, 主要从事自动化、控制理论与方法方向的研究。

系统采用标准 4~20 mA 电流传感器, 温度、湿度、CO₂ 浓度、光照强度由相应机组设备控制。采用 EM235 模拟量扩展模块以及 EM222 数字量扩展输出模块。系统总体设计如图 1 所示。

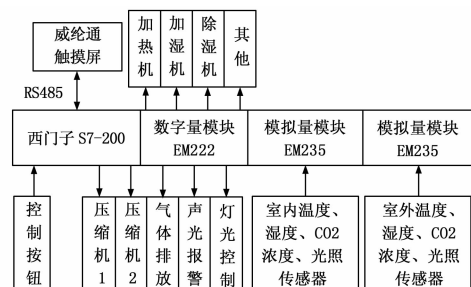


图1 系统总体设计图

2 系统硬件组成

在硬件设计上采用模块化的设计思想, 选用通用的主控单元与模块, 保证系统安装方便, 维护简单; 尽量选用成熟的设备与技术, 保证系统的稳定性与安全性。总体设计思想为:

(1) 结构简单, 易维护。采用模块化的结构设计方案, 思路清晰, 易于理解。

(2) 可靠性。气候室多用于科学实验, 其安全性和可靠性显得尤为重要。系统必须能够稳定得运行在各种干扰环境下。

(3) 准确性。人工气候室系统的核心在于各气象因子的精度必须达到控制要求。传感器的选择以及 A/D 模块位数的选择要适合要求。

基于以上总体设计思想,对系统硬件进行下面的选择与设计。

2.1 上位机和下位机

上位机用于对气候室系统的实时监控,有触摸屏、组态等多种选择,考虑到上位机除数据显示功能外,还有趋势图、报警信息、网络监控等一系列复杂功能要求,因此采用威纶通 MT8000 系列触摸屏。MT8000 系列触摸屏作为一种人机交互界面,使用方便,界面友好;抗干扰能力强,具有强大的数据处理能力和扩展功能,可满足人工气候室上位机系统的所有要求。

下位机的作用在于复杂运算以及逻辑控制,在保证功能实现的前提下,应当着重考虑系统的可靠性。PLC 属于比较成熟的产品,编程简单,控制稳定,能够较好的完成逻辑控制的任务。因此,最终选择西门子 S7-200 CPU224XP。

上下位机之间采用 RS485 串口通信。S7-200 具有 4 种通信方式: PPI 方式、MPI 方式、自由通讯口方式和 PROFIBUS-DP 网络方式。本系统采用 PPI 方式。PPI 是一个主从协议,主站向从站发出请求,从站作出应答。主站通过由 PPI 协议管理的共享连接与从站通讯,从站不主动发出信息,而是等候主站向其发出请求或查询,按要求应答。系统中触摸屏为主站,站号为 0; PLC 为从站,站号为 2。主站通信参数设置如下:波特率为 9 600 bps,数据位为 8 位,停止位为 1 位,偶校验。

2.2 传感器的选择

系统对各气象因子要进行实时检测和反馈控制,传感器的选择对检测精度有直接的影响。系统全部采用 4~20 mA 标准电流传感器。

温度是气候室最重要的气象因子,精度要求非常高。考虑其特点,传感器选用 PT100 铂热电阻,铂丝的电阻值会随着温度的变化而变化,精度高、稳定性好。温度变送器范围为 -50~50 ℃ 之间,满足人工气候室设定温度要求。

湿度检测采用霍尼韦尔 CHT3W1TLD 湿度传感器,测量范围为 0~100%rh,总精度为 5~9%rh,响应时间短,线性度好。

CO₂ 浓度的检测具有大滞后性等特点,要求传感器响应快速。系统采用防护型二氧化碳传感器 ZK-CO₂,技术指标如下: (1) 测量范围: 0~5 000 ppm; (2) 精度: ±3%ppm; (3) 分辨率: 1 ppm;

JL-GZD2 光照度传感器变送器采用灵敏度较高硅蓝光伏探测器,具有测量范围宽,精度高等特点,其测量范围为: 0~200 000 lux,满足系统要求。

2.3 模拟量扩展模块

EM235 是最常用的模拟量扩展模块,它实现了 4 路模拟量输入和 1 路模拟量输出功能,具有 12 位分辨率和多种输入输出范围。本系统采用单极性输入,满量程电流输入为 0~20 mA,对应于数字量范围为 0~32 000。由于系统采用 4~20 mA 标准电流传感器,根据其线性关系,得出对应范围为 6 400~32 000,再根据不同传感器的测量范围,最终得出实测值与数字量之间的关系公式,如表 1 所示。最后根据实测

值,由上位机或下位机进行相应处理和控制在。

表 1 实测值与数字量转换关系表

	实测值	数字量	公式
温度	$Y_1(℃)$	X_1	$Y_1 = (X_1 - 6\ 400) \div 256 - 50$
湿度	$Y_2(\%rh)$	X_2	$Y_2 = (X_2 - 6\ 400) \div 256$
CO ₂	$Y_3(ppm)$	X_3	$Y_3 = (X_3 - 6\ 400) \times 50 \div 256$
光照	$Y_4(lux)$	X_4	$Y_4 = (X_4 - 6\ 400) \times 2\ 000 \div 256$

3 系统软件设计

3.1 上位机软件设计

上位机的作用是实现对气象因子的实时监控和对系统运行的控制。初始化完成之后,上位机等待数值输入和运行指令,响应指令后,上位机通过 RS485 将数据传输到下位机,进行相应的控制。上位机工作流程如图 2 所示。

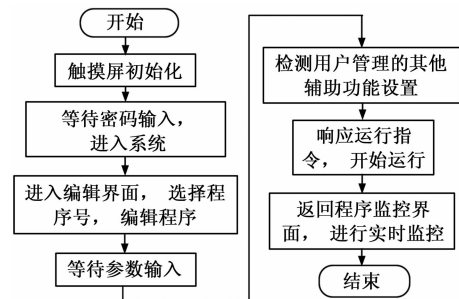


图 2 上位机工作流程

上位机系统分为程序监控、程序选择、程序编辑、用户管理等多个界面,用户可以根据需要在界面之间来回切换。系统包含 10 个程序,每个程序下分为 30 个时段,用来模拟白天或黑夜的气象条件。研究人员可以根据培养对象的习性自由设置。各个时段气象因子的输入参数不一样。设置完成后,时段自动跳转,循环运行。

通过上位机还可以查看实时趋势曲线和历史趋势曲线,查看报警信息,设置三级密码,后台设置输入数值上下限等,功能全面,能够满足绝大多数用户的需要。

3.2 下位机软件设计

下位机采用西门子 S7-200 作为控制器,实现对气象因子的调节控制。系统分为室外阳光气候室和室内人工气候室两种控制模式,可实现同一系统,两种模式之间的切换。模式不同,“设定因子”值不同。举例来说,室内人工气候室模式下,“设定温度”为“输入值”;而室外阳光气候室模式下,“设定温度”为“室外温度与输入值之和”。设置两种可切换的模式,增加了系统的功能,满足了用户的需要,大大的降低了成本。

下位机接收到上位机传输来的数据和指令之后,先判断系统模式,后将上位机传输数据与传感器检测数据比较,依据两者的偏差值相对应的气象因子进行控制。

3.2.1 温度控制

基于一般反馈控制原理^[2],依据“检测温度”与“设定温度”偏差 $e(k)$ 的大小,进行相应的温度控制^[3]。

由两台压缩机来降温,一台加热机来升温。两台压缩机如

何启动是控制的关键。就本系统而言,为保护压缩机,启动间隔必须大于3分钟。若两台压缩机同时启动,同时停止,则停止后3分钟内,温度波动很大。因此系统采用压缩机循环交替启动的方式。设 $e_1(k) > e_2(k) > 0$,若 $e(k) > e_2(k)$,则启动压缩机 i (i 为1或2,循环变动), t 秒内,温度未降低到 $e_3(k)$,则启动另一台压缩机;若 $e(k) > e_1(k)$,则同时启动两台压缩机。其中 $e_1(k)$ 、 $e_2(k)$ 、 $e_3(k)$ 、 t 可根据不同环境由上位机进行设定。

3.2.2 湿度控制

湿度控制与温度控制类似,即根据偏差大小进行控制。但由于湿度受其他因素影响较小,且湿度要求精确度不是很高,所以湿度控制相对简单。湿度采用加湿器和除湿器来进行控制,控制精度符合要求。

3.2.3 CO₂浓度控制

系统通过控制气罐电磁阀的通断来控制CO₂的浓度。考虑其大滞后的特性,系统根据偏差大小,采用分段控制的思想。CO₂排放时间与间隔时间会动态变化,若偏差变大,则排放时间变长;若偏差变小,则排放时间相应变短^[4]。

4 扩展功能

在满足气象因子控制精度的基础上,为了保证系统的安全性,以及获得更好的用户体验,系统创新性的开发了一系列扩展功能。

4.1 短信报警

人工气候室多用于科学实验,培养对象多为珍稀动植物,若系统紊乱,致使温度过高或过低,则会对实验造成不可逆的损失,因此系统的安全性显得尤为重要。本系统设计的短信报警模块,可以在温度异常时,向指定手机号码发送短信报警信息,通知相关人员赶来处理,避免不必要的损失。

短信模块选用驰润达的SM10模块,通过串口与PLC相连。模块的作用就是收发数据,收发方式有两种,一种是有格式的方式,一种是透明方式。本系统选用有格式的方式,发送结构如表2所示。其中手机号码要转换为6字节的8位二进制BCD码。因现行的电话号码均为11位,而6字节能表示12位十进制的BCD数,所以在传输数据时要将电话号码的前面补0以凑足12位。数据长度位要将字节数转化为16进制。数据位要将汉字或字符转换为UNICODE码。

表2 发送数据结构

D7H 字头	01H 控制字	手机号码	数据长度	数据
1字节	1字节	6字节	2字节	未定

当报警条件成立时,PLC会将数据组发送给短信模块,短信模块接收到数据包后进行解析,将内容发给设定的手机号,实现短信报警的功能。

4.2 网络监控

人工气候室多数时间无人看管,若能实现远程监控,则安全性和便捷性都会得到很大的提升。

MT8000系列HMI具有一个以太网接口,并具有VNC功能,藉由Ethernet网络,可以实现对远程人机或者PLC数据

的监控。本系统网络监控分为两种:局域网访问和Internet访问。

局域网访问需要手动设置HMI和PC机的IP地址,通过VNC Viewer输入所连接HMI的IP,就会将该HMI画面程序移植到PC机上显示。

通过Internet网络访问时,则需要在HMI当地的路由器中作一个IP地址和端口号的映射动作。PC机采用VNC Viewer来访问HMI时,需要将5900这个端口号映射到该HMI上。最后输入网络运营商提供的外网IP地址,即可将远程HMI画面显示在计算机上。

5 现场实际运行情况

本系统在现场投入运行,经过实地测试,各项功能和指标都达到了预期效果。

现场测试设有两个时段:时段1设温度为20℃,湿度为50%rh,CO₂浓度为450ppm;时段2设温度为30℃,湿度为40%rh,CO₂浓度为750ppm。系统采样周期为60s,时段1和时段2各运行30分钟,运行趋势图如图3所示。

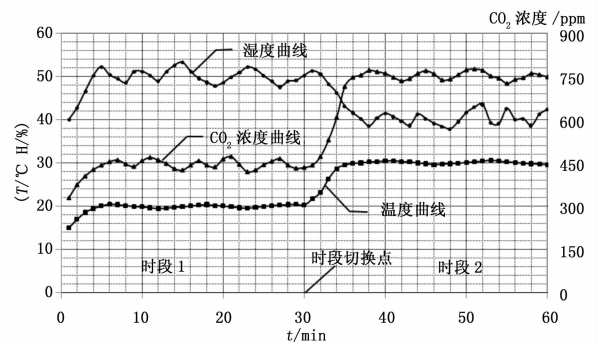


图3 系统运行趋势图

分析趋势图可以看出,温度和CO₂浓度曲线比较平稳,可以控制在±0.5℃和±30ppm范围内;而湿度则有所波动,但也能达到要求,控制在±5%rh范围内。

6 结束语

本系统目前已经投入使用。结果表明,系统控制精度高,各项指标都达到控制要求;系统人机界面友好,操作简单;系统运行稳定,安全系数高,功能强大,具有一定的推广价值。

系统的不足之处在于湿度虽然达到了控制要求,但有一定的波动。如何将湿度控制的更加平稳,有待进一步研究和改进。

参考文献:

- [1] 张盼峰,张泰山. 基于智能控制器的人工气候室自动控制系统的实现[J]. 自动化与仪表, 2004, (3): 47-50.
- [2] Gene F. Franklin. Digital Control of Dynamic Systems [M]. America: Ellis-Kagle Press, 1998.
- [3] 何小宁,肖伸平,等. 多变量模糊控制系统的结构分解及其应用[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13 (5): 452-454.
- [4] 诸静,等. 模糊控制原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1995.