

人工气候室计算机控制系统研制

华东交通大学 童祯恭[☆] 罗新梅
南昌市建筑设计研究院 唐国强
同济大学 方永忠

摘要 介绍了人工气候室对室内温湿度控制精度的要求,建立了人工气候室的计算机控制系统,采用 PLC 和微机技术对温湿度进行多级控制。通过对空调机组进行变频调率和采用良好的 PID 调节算法,系统能够达到 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的控温精度要求。

关键词 温度控制 PLC PID 变频调节

Computer control system of artificial climate room

By Tong Zhengong[★], Luo Xinmei, Tang Guoqiang and Fang Yongzhong

Abstract Presents the control precision requirements of the indoor temperature and humidity. Adopting PLC and computer technology to carry on multistage control to the temperature and humidity, establishes the computer control system. The system can realize the temperature control precision up to $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ through adjusting the rate of frequency conversion to the air conditioning units and adopting the good PID algorithm.

Keywords temperature control, PLC, PID, variable frequency adjusting

[★] East China Jiaotong University, Nanchang, China

①

0 引言

人工气候室的作用是模拟各种自然气候,包括温度、湿度和光照强度等气象条件,以便培育、试验和筛选水稻和其他农作物的优良品种。人工气候室对温度、湿度和光照强度的控制要求很高。首先,要像普通恒温、恒湿实验室一样,能将室内温湿度精确地控制在设定值附近,对温度控制精度要求达到 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。据农技员讲,在制种时 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温差就可能造成劣种。其次,要求温度、湿度和光照强度能按设定的变化规律自动改变,最短变化时间为 1 h ,以 1 d 或若干天为周期,可以循环地变化。

由于人工气候室控制精度要求高,目前国内较高水平的农业研究所均从发达国家整套进口人工气候室设备。我国杂交水稻之父袁隆平先生在湖南建立了第一个国产的自动化程度较高的人工气候室,但只有温度实现了自动控制,且控制精度达不到 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度和光照强度仍采用人工控制。在此背景下,笔者建立了一个较高水准的人工气候室,实现了温度、湿度的自动控制。

1 人工气候室空调与采光方案

1.1 空调机组的选择

由于人工气候室对温度控制精度的要求特别高,所以普通工业空调机组不能满足要求。恒温恒湿的工业空调机组可以通过启停控制温度和湿度稳定在设定值附近,但笔者与国内一些工业空调机组生产厂家联系,都不能满足控温精度 ($\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) 要求。试验发现,当室内外温差大且屋顶有强烈的太阳辐射射热进入,或因开门产生热负荷冲击时,在不到 3 min 的时间内,室内温度就会改变 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,这意味着恒温空调机组在 $1\sim 2\text{ min}$ 内可能就要启停一次,这是一般空调机组所不允许的。湖南人工气候室采用多台家用空调机轮换启停控温的方案,笔者认为有三点不足:a) 布风效果差,温度分布不均

① [☆] 童祯恭,男,1972 年 12 月生,在读博士研究生,讲师
330002 江西南昌铁路局电子计算中心胡宁转童祯恭
(0) 13970871808
E-mail: zgtong7212 @163. net
收稿日期:2003 - 03 - 26
修回日期:2004 - 06 - 07

匀,不能满足制种要求;b) 没有湿度控制功能;c) 不便于实现自动控制。

笔者选用了普通工业空调机组,通过加装交流变频器将其改造成变频空调。这一方案有三个优点:a) 能通过变频器对制冷压缩机进行变频调节转速,或在加热时通过变频器对电加热器进行变频变压(变频器在改变频率的同时也可改变电压)调节功率,从而实现温度的连续均匀调节。实践表明,这种控温方案完全可以满足 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的控温精度要求。b) 控制方便,可以实现变温调节。c) 虽然加装变频器需要增加一些费用,但普通机组和恒温恒湿机组的差价更大,所以改造成变频调速机组的方案也是经济的。此外,采用变频空调方案还有机组启停平稳、启动电流小、对电网冲击小、机组寿命长、节能、噪声低等优点。

由于相对湿度控制精度要求不高($\pm 5\%$),所以仍利用普通机组的加湿器加湿,但改由计算机控制加湿器的启停。

1.2 温湿度传感器的选择与安装

普通空调机组自带的温湿度传感器安装于机组回风口内,不能反映室内的平均温湿度,且传感器的精度较低(主要是线性度差),不能满足要求。另外,普通空调机组自带的温湿度传感器未配变送器,信号标准与计算机不匹配。因此,笔者拆除了普通空调机组自带的温湿度传感器,另行购置了一种国产的温湿度检测一体化的高精度传感器。这种传感器温敏元件感温精度误差为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,传感变送综合精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,可以满足人工气候室控温要求。另外,这种传感器温湿度传感功能集成在一起,安装使用方便,还自带有变送器,输出 $0\sim 10\text{ V}$ 标准信号,可以直接由计算机采集。

通过在实际运行状态下检测室内平均温湿度和传感器移位试验,确定将温湿度传感器安装在空调回风口外 $5\sim 10\text{ cm}$ 处最合适。

1.3 采光、保温、通风设计

为了满足制种试验需要,人工气候室设计了自然采光和人工采光两种措施供选用。屋顶安装两层玻璃板,均为全密封的,只透光,不透水漏气。在玻璃板夹层间,安装有能调节光通量的电动百叶。人工采光使用的是多盏高亮度灯,通过分组开关控制光强度。目前这种设计还不能实现光强的连续调节和自动控制,但在设计上考虑了将来实现采光

强度连续自动控制的可能性。

所有外墙为双层 240 墙,内夹 5 cm 厚保温材料,不设窗户,门采用加厚保温,严格密封。屋顶玻璃板夹层间设有通风装置,以排除部分太阳辐射热。

人工气候室也需要适当通风,空调的新风量设计为可调节的,在不使用空调时,也可以用墙上安装的小风机进行通风。为了不影响室内温度控制和造成过大的冷热负荷,要严格控制新风量。

2 计算机控制系统硬件方案

为了实现温湿度的计算机控制,笔者考虑了两个方案:a) 用微机直接控制空调机组的制冷、制热、加湿过程及变频器调速,同时进行温湿度数据设定,这种方案须在微机内部加装 AD 数据采集卡和 DA 数据输出卡;b) 采用 PLC 实现空调机组的制冷、制热、加湿过程及变频器调速,而用微机进行温湿度数据设定。两种方案都要用到微机,因为微机可以提供屏幕显示和键盘输入等人机界面,以便输入数据设定人工气候室温湿度控制曲线。第 1 个方案的优点是较经济,但由于 AD 和 DA 卡可靠性较 PLC 差,且信号隔离处理困难,所以系统的可靠性不高,笔者最后选用了第 2 个方案,其控制系统如图 1 所示。

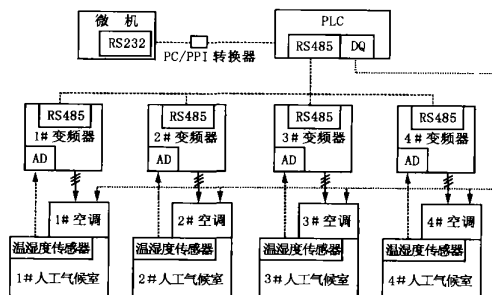


图 1 人工气候室计算机控制系统示意图

图 1 所示的控制系统分为三个层次。第一层适合手动控制,由变频器直接控制空调机组调节温度,空调机组制冷、制热和风机的启停由空调机组面板上的开关控制。选用带 PID 调节和 AD 功能的变频器,将温湿度信号接入变频器的 AD 口,只要设好变频器的 PID 参数,并在变频器面板上设好控制温度后,变频器就可以自动进行频率调节,以保证人工气候室恒温。也就是说,第一层由人工调节空调机组与变频器面板来控制温度,而湿度则无法控制,难以实现变温控制,温度控制精度也不高(会出现摆动现象)。

第二层由 PLC 实现温湿度自动控制。PLC 通过 DQ 口自动控制空调机组制冷、制热、加湿和风机的启停,同时通过 RS485 通讯口控制变频器工作,温度由 PLC 内部的 PID 程序控制。但是,由于 PLC 没有人机接口,温湿度控制数据必须从微机上输入,然后由微机通过 RS232 接口传送给 PLC。PLC 接收数据后可以脱机工作,脱机工作时间可达数日至数月,其间不需要打开微机。

第三层是由微机构成的人机交互与监控界面。它是设定温湿度控制曲线的人机界面,设定好的数据存入硬盘,以后可随时调出下载到 PLC 执行,也可直接下载到 PLC 执行。微机的第二个作用是实时显示人工气候室的温湿度数据和曲线,同时实时显示空调机组的状态、电流、频率等重要数据。由于第二层完全可以独立运行,在微机下载到 PLC 的温湿度数据没有用完之前,若不需监视实时运行数据,则第三层的微机可以关闭。

以上各控制层各司其责,协调工作,由上至下可独立运行,不但提高了系统的可靠性,而且使得手动与自动切换、安装调试、故障处理等非常方便。

3 温度控制算法及参数整定

3.1 温度调节算法的选择

温度的精确控制是人工气候室最关键的技术,也是一个最难解决的问题。笔者就此进行了大量的试验,以确定最佳的温度调节算法。根据传热学理论,可以给出人工气候室温度的微分方程式:

$$C \frac{d\theta}{dt} = (Q_1 + q_n) - (Q_2 + Q_3) \quad (1)$$

式中 C ——温度容量系数,相当于室温每升高 1°C 所储蓄的热量;

$\frac{d\theta}{dt}$ ——人工气候室室内温度变化率;

Q_1 ——单位时间内送风带入人工气候室的热量;

q_n ——单位时间内人工气候室室内设备、照明和人体等的散热量;

Q_2 ——单位时间内回风从人工气候室带走的热量;

Q_3 ——单位时间内人工气候室围护结构的散热量。

由于 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 和 q_n 等的影响因素复杂多变,用理论的方法求解温度调节数学模型是很困难

的,而且,要通过检测众多因素来调节温度也是不现实的。所以,笔者决定采用反馈调节温度的方法,调节系统图见图 2。

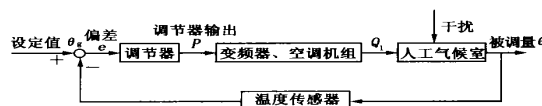


图2 温度调节系统图

为了合理地选择调节器,笔者对被调对象的动态特性进行了试验,先使变频器频率和室内温度保持稳定(至少 1 h),然后将频率突然增大(或减小) 5 Hz,记录室温随时间减小(或增大)的过程。结果如图 3 所示。这显然是典型的具有自平衡能力的

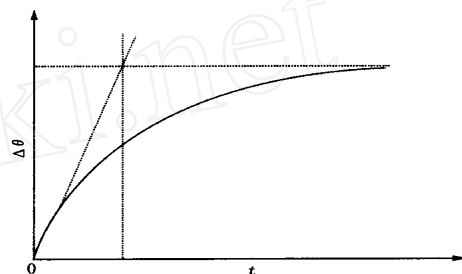


图3 人工气候室温度动态特性

单容对象动态特性曲线。这一特性表明人工气候室的温度调节可以使用 PID 调节器,其算法为:

$$u(k) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

由于采样是非连续的,需将式(2)离散化。Roberts P. D. 于 1974 年提出了梯形积分增量 PID 离散算式:

$$u(k) = K_p \left\{ [e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{2T_i} [e(k) + e(k-1)] + \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\} \quad (3)$$

式(2)、(3)中 u 为控制的输出量, K_p 为放大系数, e 为输入偏差, T 为采样周期, T_i 为积分时间, T_d 为微分时间。

3.2 PID 参数的整定

式(3)给出的 PID 算式中,需要确定 T 、 K_p 、 T_i 、 T_d 等 4 个参数。要同时整定这 4 个参数是十分困难的。根据 Ziegler-Nichle 条件: $T = 0.1 T_u$, $T_i = 0.5 T_u$, $T_d = 0.125 T_u$ (T_u 是现场测得的纯比例作用下的临界振荡周期,可用衰减曲线法测出),式

(3)可化为:

$$u(k) = K_p[2.35e(k) - 3.4e(k-1) + 1.25e(k-2)] \quad (4)$$

式(4)中只有一个待整定的参数,即比例系数 K_p 。整定方法为试探法,通过改用不同的 K_p ,观察控制效果,发现 $K_p = 8 \sim 12$ 时(调节器的输入量为温差,单位采用 $^{\circ}\text{C}$,输出量为频率,单位采用 Hz),具有良好的控制效果。在 PLC 控制程序中,当温度误差小于 1°C 时,取 $K_p = 8$,当温度误差大于等于 1°C 时,取 $K_p = 12$ 。实际运行表明,使用这一 PID 算法与参数值,完全可将温度控制误差限制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内,大多数时候为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

4 PLC 控制程序设计

4.1 PLC 控制程序的功能

PLC 是人工气候室温湿度控制的主体,其软件功能包括:a) 与微机通讯,取得温湿度控制数据,校准 PLC 时钟,同时向微机报送人工气候室温湿度、空调机组状态和变频器电流与频率等数据;b) 与各人工气候室变频器通讯,取得实时温湿度等数据,同时给定变频器频率;c) 进行计时,并定时根据温湿度控制数据修改温湿度控制和设定值;d) 比较温度设定值与实际值,并用 PID 调节算法进行变频器频率调节计算;e) 根据需要控制空调机组制冷、制热、加湿和风机的启停。

4.2 PLC 控制程序与数据结构

PLC 控制程序结构如图 4 所示。这一结构参考了高级语言程序设计思想,采用模块化程序结构,各模块功能明确,特别是中心数据库的使用,基本实现了各模块的数据独立,使得程序设计和调试工作变得容易。

中心数据库又分为三个主要部分:设定数据区、控制数据区、通讯数据区。选用的 PLC 的数据空间共有 4 kB,即 4 096 字节。每个人工气候室使用 1 000 字节作为设定数据区和控制数据区,共占用 4 000 字节,最后 96 字节用作通讯数据区。在每个人工气候室的 1 000 字节中,前 902 个字节为设定数据区,后 98 个字节为控制数据区。设定数据区的前 2 个字节表示该区共有多少个温湿度设定时段,其余 900 个字节存放温湿度设定时段数据,每个时段数据占 3 个字节,最多可设定 300 个时段数据。每个时段数据中,1 个字节表示时段长

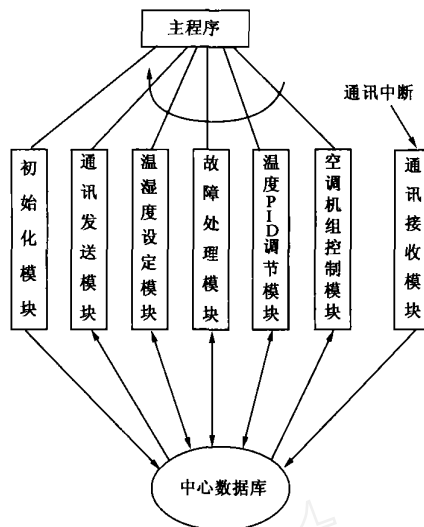


图 4 PLC 控制程序结构

度(min 或 h),另 2 个字节的 9 个位表示设定温度(0.1°C , 7 个位表示设定湿度(%))。

4.3 PLC 通讯程序设计

PLC 需要同时与各控制室的变频器和上位微机进行通讯(如图 1 所示)。

5 微机监控软件设计

温湿度设定数据以项目为单位进行管理,总共允许设定 100 个项目,每个项目有惟一的编号,有可选的项目名称,有一个准备时间(空调机组启动和室内温湿度达到稳定所需要时间),有开停机时间,有循环周期个数最多可达 732 个时段的温湿度设定数据。数据的输入可以直接用数字键,也可使用“+”(增加)、“-”(减少)和“ESC”键(消除)等功能键,非常方便,且输入结果立即在右边的图像控键中用曲线显示出来。

6 结语

通过对空调机组进行变频控制和采用良好的 PID 调节算法,完全可以达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的控温精度要求。而采用 PLC 和微机技术对温湿度进行多级控制,不但使系统可靠性大为提高,而且充分发挥了 PLC 的工业控制优势和微机的人机交互优势,使调试和操作都很方便。该系统整体上达到了国内先进水平。

该系统主要的不足有两点:一是光照强度没有实现计算机自动控制,而它是农业制种的一个重要影响因素;二是湿度采用启停方式控制,控制精度差,启停较频繁。这些有待以后进一步研究和改进。