

# 冰箱型式试验室温湿度模糊控制系统

郭 君 柱

**摘要** ] 描述了量化因子自调整 Fuzzy-PI 控制技术在由 IBM 586 微机和 PLC 组成的冰箱型式试验室温湿度控制系统中的运用。

**关键词** 温度, 模糊控制, 微机, PLC

## 1. 引言

电冰箱型式试验为电冰箱进行型式试验提供一个符合国标要求的标准环境工况, 试验室的性能指标为:

(1) 环境温度调节范围:  $(10 \sim 43)^{\circ}\text{C}$  可

调

(2) 相对湿度调节范围:  $(45\% \sim 75\%)$

$\text{RH} \pm 3\% \text{ RH}$

表 3 不同供电方式的线损

供电方式	损耗 %
单相二线	100
两相三线	56
三相四线	28

从表 3 中数据可知, 三相四线式供电比其他供电方式线路损耗小得多。因此, 照明系统应尽可能采用三相四线制供电。

有时, 工厂选用照明线路导线截面积仅考虑安全载流量和机械强度, 而线路运行后负载不断增加, 使导线电流密度远大于经济电流密度, 线损大大超过正常值。有的照明线路老化, 导线接头多, 接触不良, 以致线路压降有时超过电源电压的 20%。工厂对不符合要求的照明电路要及时改造, 照明线路电流密度应小于经济电流密度。

自动控制室外照明可减少无效照明时间, 保证必要的有效照明。其控制方式有两种, 一种是利用时间控制装置定时开关, 这种方式无法区分因天气变化而引起的光照差别。另一种方式是利用光电自动控制装置, 它利用光敏元件在自然光照下的变化, 使装置发出指令, 控制电灯亮灭。

工厂昼夜电压变化幅度常在  $5\% \sim$

12%。午夜后, 线路电压高于额定值  $3\% \sim 5\%$ , 此时运行的照明灯功率常超过额定值 10%。高电压不仅浪费了电能, 而且明显缩短了灯泡的使用寿命。为消除这种现象可采用限压措施。限压措施有两种, 一种利用电抗器限压。电抗器的电抗值应由午夜线路电压, 限制目标电压, 照明负荷阻抗值运用矢量法计算求得。电抗器制作时, 可多出抽头以备电抗值调整时使用。电抗器的接入或退出, 可人工控制, 也可利用石英定时开关钟或其他定时器控制。另一种限压措施是利用晶闸管控制。晶闸管的触发电路可由定时器控制, 也可用电压比较信号控制。

高压钠灯等气体放电光源, 应实行单灯电容补偿, 将功率因数提高到 85% 以上, 降低无功损耗。荧光灯镇流器的损耗占用电量  $20\% \sim 30\%$ , 采用电子镇流器可减少这部份损耗。

以上照明节电的途径, 有的不需要增加投资, 有得无失; 有的虽需一些投资, 但一般两年内可收回投资, 无论从节能的观点, 还是从经济的观点看, 都是合算的。

(3) 温度控制精度: 对任意设定温度的稳态误差  $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$

(4) 环境风速  $\leq 0.25\text{m/s}$

(5) 环境温度梯度:  $\leq 2^{\circ}\text{C/m}$

试验室采用聚氨酯保温库板拼装的围护结构, 顶部全面积孔板送风和后侧下部回风的送、回风方式。试验室温湿度控制系统采用两套全封闭压缩机组提供冷量, 两组用加热气流的不锈钢电热管产生热量, 两组电热

加湿器提高气流湿度。由于相对湿度可由干球温度和湿球温度运算得到, 而干球温度和湿球温度可以直接测到, 因此, 试验室环境湿度和相对湿度的控制通过控制干球温度和湿球温度来达到。

### 2 硬件结构

本控制系统采用 IBM 586微机为上位控制主机, 三菱可编程控制器 FX2-48MR 外加可控硅输出和温度输入扩展模块作为下位控制机。上位机负责干球温度和湿球温度的设定、人机对话及控制算法的运算, 控制量的给出。下位机接受上位机的指令并作出具体的响应, 以及干、湿球湿度的检测和上报上位机, 其结构框图如图 1。

### 3. 设计思想

电冰箱型式试验室在使用过程中, 一方面需要同时控制干球温度和湿球温度两个相互耦合的变量, 确定变量耦合关系的难度是比较大的; 另一方面, 每次试验的冰箱数量、型号、大小都不相同, 试验室所处的环境温湿度也是变化的, 因此, 作为控制对象的试验室干球温度和湿球温度的数学模型是难以得到的。从提高生产效率的角度来说, 要求试验室在开启后, 其干、湿球温度能尽快地达到试验要求的温度。综合系统的这些特点和要求,

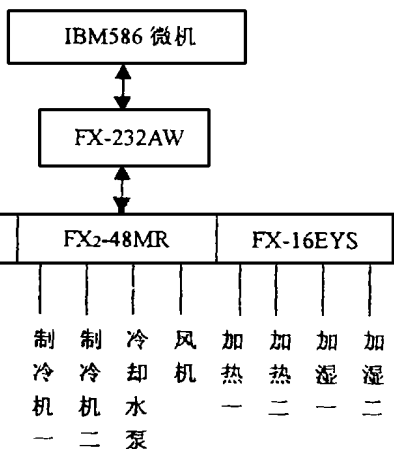


图 1 控制系统硬件结构图

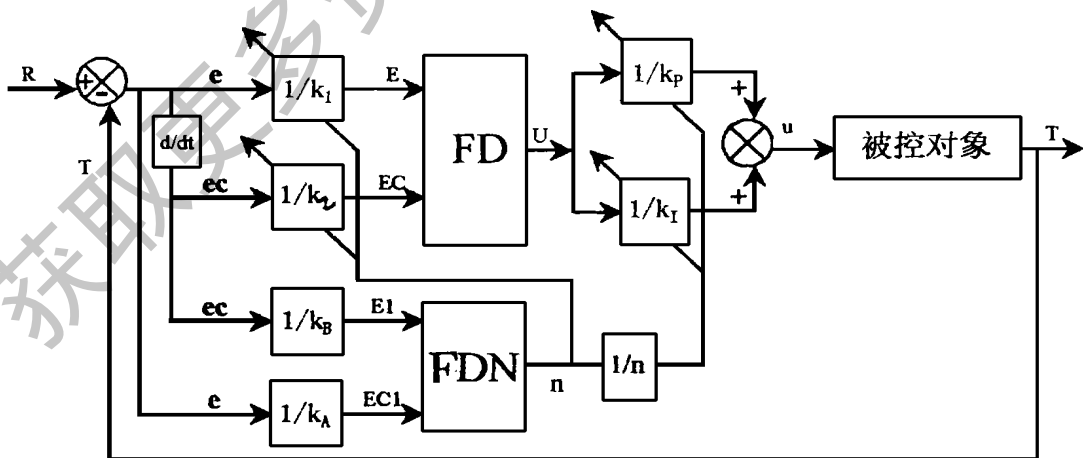


图 2 量子因子自调整 Fuzzy-Pi 控制系统框图

采用模糊控制技术对试验室干球温度和湿球温度进行控制是比较合适的。模糊控制技术不仅具有响应速度快、过渡过程短,对控制对象参数变化不敏感等特点,而且无需了解被控对象的确切数学模型,而是直接根据用语言表达的对象模型设计成基于规则的控制

器。由于湿球温度的控制算法与干球温度的控制算法基本一样,下面只针对干球温度进行讨论,图 2是冰箱试验室干球温度量化因子自调整 Fuzzy-PI控制系统框图。图 2中:

R——设定的干球温度  
T——实测干球温度  
 $e$ ——被控参数偏差 ( $R-T$ )  
 $ec$ ——被控参数偏差变化率  
 $k_b, k_3, k_A, k_F$ —— $e$ 及  $ec$ 的量化因子,使精确量转变为模糊量  
 $k_R, k_I$ ——控制器输出  $U$ 的量化因子,使模糊量转变为精确量

$E, EC, U$ ——偏差、偏差变化率、控制器 FD输出的模糊变量

$u$ ——输出的精确量  
 $\pi$ ——量化因子的修正比例  
FDN——量化因子修正决策表  
FD——模糊决策表

图 2在普通 Fuzzy-PI调节器的基础上增加了量化因子。Fuzzy调整器实现对量化因子的在线自调整,使控制器一方面能够在  $e$ 和  $ec$ 较大时放大  $k_b, k_2$ 及  $k_R, k_I$ ,以降低控制器对  $e$ 和  $ec$ 的分辨率,采用较大的控制增量,提高系统的动态性能,另一方面,在  $e$ 和  $ec$ 较小时,也就是系统接近稳态时缩小  $k_b, k_3, k_R, k_I$ ,提高控制器对  $e$ 和  $ec$ 的分辨率,采用比较小的控制增量,使系统能够达到较高的控制精度。这里  $k_b, k_3, k_R, k_I$ 采用相同的放

大(或缩小)的倍数,从而简化了量化因子调整器的设计。

#### 4. 控制器的设计

##### 4.1 划分 Fuzzy子集

选取语言变量的语言值为 NB(负大), NM(负中), NS(负小), NO(负零), ZO(零), PO(正零), PS(正小), PM(正中), PB(正大)九个模糊状态,并把偏差  $e$ 、偏差变化率  $ec$ 及控制增量  $\Delta u$ 的语言变量分档为

$$E = \{NB, NM, NS, NO, PO, PS, PM, PB\}$$

$$EC = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

$$U = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

相应地把划分  $e, ec$ 及  $\Delta u$ 的等级为

$$e = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$$

$$ec = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5\}$$

$$\Delta u = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7\}$$

##### 4.2 Fuzzy-PI控制器的设计

根据对控制对象输入输出关系的分析观测并用模糊集合处理其结果,得到控制过程输入输出的模糊关系矩阵

$$R = \bigvee_{i=1}^{56} R_i$$

( $R_i$ 为表达第  $i$ 个控制规则的 Fuzzy关系)

其维数为  $14 \times 13$ ,在此基础上,根据模糊推理合成规则

$$U = (E \circ C) R$$

计算出对应  $E, C$ 各论域的输出  $U$ ,用最大隶属度法判决出实际的输出量,关系矩阵经离线计算,制成控制决策表(如表 1),存放在计算机内存中,因此计算机在实际控制过程中只需要不断地查取决策表即可。

表 1 Fuzzy 控制表

U <sub>e</sub>	ec	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6		7	7	7	7	7	7	7	7	4	2	0	0	0
-5		7	7	7	7	7	7	7	6	4	2	0	0	0
-4		7	7	7	7	7	6	4	4	3	1	0	0	0
-3		7	7	7	7	6	4	4	3	1	0	-1	-2	-2
-2		6	6	6	6	4	4	3	1	0	-1	-1	-2	-2
-1		4	4	4	4	3	3	1	0	-1	-2	-2	-3	-3
-0		4	4	3	3	3	2	0	-1	-2	-3	-3	-3	-3
+0		3	3	3	3	2	1	0	-2	-3	-3	-3	-4	-4
+1		3	3	2	2	1	0	-1	-3	-3	-4	-4	-4	-4
+2		2	2	1	1	0	-1	-2	-4	-4	-6	-6	-6	-6
+3		2	2	1	0	-1	-3	-4	-4	-6	-7	-7	-7	-7
+4		0	0	0	-1	-3	-4	-4	-6	-7	-7	-7	-7	-7
+5		0	0	0	-2	-4	-4	-6	-7	-7	-7	-7	-7	-7
+6		0	0	0	-2	-4	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7

由 Fuzzy 控制表得到 Fuzzy 控制器输出控制增量的模糊值  $U_m$  之后,经量化因子  $k_R$   $k_I$  量化和 PI 运算,得出整个 Fuzzy-PI 控制器精确控制量

$$u(m) = k_p U_m + k_i \tau \sum_{i=0}^m U_i$$

式中:

$u(m)$ ——为第  $m$  个采样周期时 Fuzzy-PI 控制器输出的精确控制量

$U_i$ ——为第  $i$  个采样周期时 Fuzzy 控制器输出控制增量的模糊值

$U_m$ ——为第  $m$  个采样周期时 Fuzzy 控制器输出控制增量的模糊值

$\tau$ ——为采样周期

$k_R$   $k_I$ ——为放大或缩小后的量化因子

### 4.3 量化因子 Fuzzy 调整器的设计

为了简化设计,量化因子  $k_R$   $k_I$  放大(或缩小)的倍数采用与  $k_R$   $k_I$  缩小(或放大)相同的倍数,这样,就可以只针对某一量化因子来设计其调整器了。放大倍数的语言变量  $N$  划分为 7 个 Fuzzy 子集,  $N = \{ \text{高放, 中放, 低放, 不变, 小缩, 中缩, 大缩} \}$ , 用符号表示为:

$N = \{ \text{AB, AM, AS, OK, CS, CM, CB} \}$

放大倍数的论域规定为:  $N = (1/8, 1/$

$4, 1/2, 1, 2, 4, 8)$

量化因子调整规则如表 2, 同样经过离线推理合成运算可得出量化因子调整修改表如表 3

这样,自调 Fuzzy-PI 控制器的工作过程就是首先用  $k_A$   $k_B$  作量化因子对  $e$  和  $ec$  进行量化,查表 3, 得出  $k_R$   $k_I$  (或  $k_I$   $k_P$ ) 应放大(缩小)的倍数  $n$ , 计算放大(缩小)后的量化因子  $k_R$   $k_I$   $k_R$   $k_I$ , 再以其作为 Fuzzy 控制器的量化因子对  $e$  和  $ec$  进行量化并查表 1, 得出对应的输出控制增量  $U$ , 再经放大或缩小后的量化因子  $k_R$   $k_I$  进行量化和 PI 运算, 最终得出精确的输出控制量  $u$

表 2 量化因子调整规则表

N	ec	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
e	NB	CB	CM	CS	OK	CS	CM	CB
	NM	CM	CS	OK	OK	OK	CS	CM
	NS	CS	OK	OK	AS	OK	OK	CS
	NO	OK	OK	AM	AB	AM	OK	OK
	PO	OK	OK	AM	AB	AM	OK	OK
	PS	CS	OK	OK	AS	OK	OK	CS
	PM	CM	CS	OK	OK	OK	CS	CM
	PB	CB	CM	CS	OK	CS	CM	CB

表 3 量化因子调整修改表

$\begin{matrix} n \\ e \\ e_c \end{matrix}$	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	+ 5	+ 6
- 6	1/8	1/8	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1/2	1/4	1/8	1/8
- 5	1/8	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1/2	1/4	1/8
- 4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/2	1/4
- 3	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/2
- 2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
- 1	1	1	1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1
- 0	1	1	1	1	2	4	8	4	2	1	1	1	1
+ 0	1	1	1	1	2	4	8	4	2	1	1	1	1
+ 1	1	1	1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1
+ 2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
+ 3	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/2
+ 4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/2	1/4
+ 5	1/8	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1/2	1/4	1/8
+ 6	1/8	1/8	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1/2	1/4	1/8	1/8

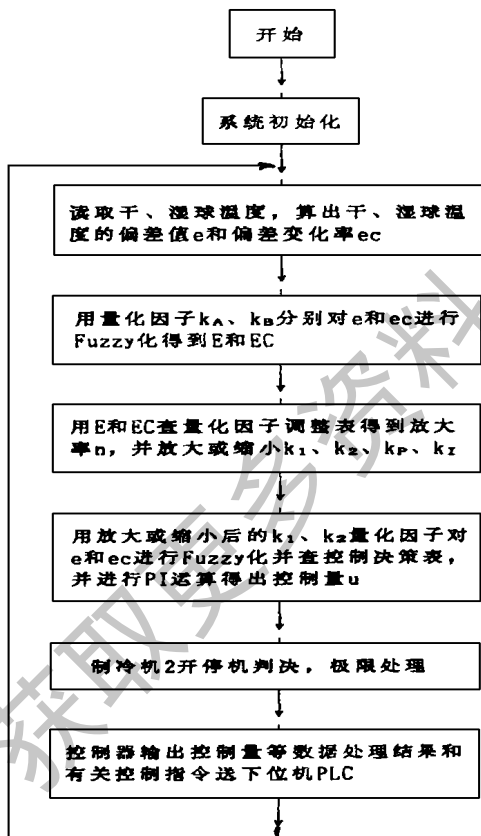


图 3 微机控制系统的软件流程图

### 5. 软件设计

考虑到系统的作用机制是制冷机 1 制冷机 2 只能是开机或停机,冷量的输出不能连续可调,系统调节主要通过控制加热器的加热功率来平衡冷机产生多余的冷量及系统的外来干扰。为了减小系统的能耗,制冷机 2 只有在系统需要降温或除湿且实测量与设定值相差较大时才开启。这样,量化因子自调整 Fuzzy-PI 控制微机系统的软件流程如图 3

### 6. 结论

本控制系统在实际使用中经过几次对有关量化因子初始值的修正后,系统的动静态性能得到了很好的满足。现场调试结果表明,对试验室温湿度的控制来说,使用本文介绍的量化因子自调整 Fuzzy-PI 控制器方法比以往使用两个 PID 调节器的方法具有更好的控制效果。