

基于 PID 模糊控制中央空调控制系统的设计

陈红亮

(国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 211500)

摘 要: 传统的中央空调系统是依据最大冷负荷进行设计的。一般情况下, 为了满足最大负荷的需要, 空调主机、水泵和风机的容量都选取的偏大。但是, 空调负荷是变化的, 经常处于部分负荷状态下运行, 末端设备所需要的冷冻水量也经常小于设计流量, 如果采用定水量系统, 除了造成能源浪费外, 也容易造成空调区域的过冷状况。如何在满足负荷要求的前提下尽可能节能是中央空调系统研究需要解决的问题。

关键词: 模糊控制器; PID; 自适应; 中央空调系统参考模型; 强耦合非线性

0 引言

中央空调系统是一个复杂系统, 其能耗占整个建筑能耗的 50% 以上, 是耗能大户, 目前的控制方式一般都采用传统的 PID 控制算法, 其控制效果并不令人满意, 浪费能源的现象严重, 在系统的控制精度、稳定性和可靠性等性能方面, 难以满足用户的需求。本文以利港电厂中央空调系统为背景, 讨论中央空调系统这个典型的多输入多输出、具有大滞后特性的非线性系统的控制问题。由于该系统是复杂系统, 难以建立精确的数学模型, 显然采用 PID 方式控制是不恰当的。文章提出采用基于自学习的模糊 PID 参数自整定技术, 借助 PID 参数的在线模糊自整定, 实时修改 PID 参数, 确保系统在运行过程中始终处于优化状态, 既满足系统技术性能指标要求又能最大限度地节约能源。以下是对某些关键技术问题的粗略讨论。

1 中央空调的系统结构

中央空调系统包括制冷机、风机及盘管系统、水系统及相应的控制系统。制冷机主要由压缩机、蒸发器和冷凝器组成; 风机盘及管系统为空调区域的末端设备; 水系统由冷冻水循环系统、冷却水循环系统组成。典型中央空调系统的结构如图 1 所示。

其中冷冻水循环系统由冷冻水泵、制冷机组、风机盘管和冷冻水管道组成。从制冷机流出的冷冻水, 由冷冻水泵加压送入冷冻水管道, 通过各空调区域的空调机组和风机盘管, 带走空调区域内的热量, 使空调区域内的温度下降。从制冷机主机流出

后进入空调机组管路内的冷冻水称为供水, 流经所有空调区域后回到制冷机的冷冻水称为回水。

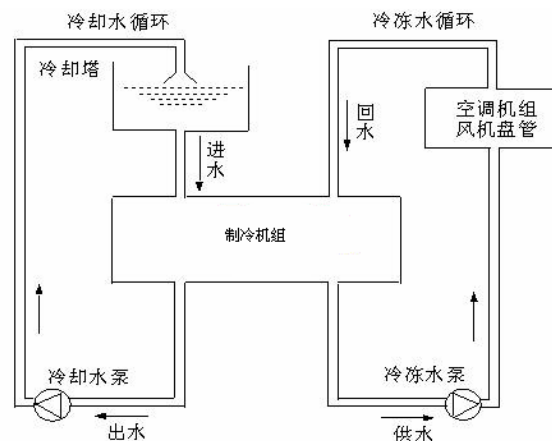


图 1 中央空调的系统结构

2 PID 各参数对系统控制特性的影响

经典控制算法 PID 是传统的调节方式, 也是当前中央空调系统采用的主要控制方法, 要改进中央空调系统的性能, 必须研究 PID 控制算法中各个参数对控制系统特性的影响, 下面就 PID 调节的三个环节分别说明 PID 各参数对系统动、静态性能的影响。比例环节的作用是减少偏差。比例系数增大可以加快响应速度, 减小系统稳态误差, 提高控制精度。但过大会产生较大超调, 导致系统不稳定; 取得过小, 可减少系统的超调量, 使系统的稳定裕度增大, 但会降低系统的调节精度, 使系统的过渡过程时间延长。积分环节用于消除系统的静态误差, 提高系统的无差度, 但会使系统响应速度变慢, 使系统的超调量变大, 并且可能导致系统产生振荡。加大积分系数有利于减小系统静差, 但过强的积分

作用会使系统的超调量加剧，甚至引起振荡；减小积分系数虽然有利于系统的稳定，避免系统产生振荡，减小系统的超调量，但对消除系统的静差是不利的。微分环节能反映偏差信号的变化趋势，能在偏差信号值变得太大之前，引入一个有效的早期修正信号，有助于系统减小超调，克服振荡，使系统快速趋于稳定，提高系统的响应速度，减小调整时间，从而改善系统的动态特性。其缺点是抗干扰能力差，微分系数的值对响应过程影响大，若增大，有利于加快系统响应，使超调量减小，增加稳定性，但会带来扰动敏感，抑制干扰能力减弱，若过大则会使响应过程过分提前制动从而延长调节时间；反之，若微分系数过小，系统调节过程的减速就会滞后，超调量增加，使系统响应速度变慢，导致系统的稳定性变差。

3 模型参考自适应模糊控制系统

参考模型自适应模糊控制系统(Fuzzy Model Reference Adaptive System, 简称 FMRAS), 其功能方块图如图 2 所示。它由被控对象、参考模型、模糊控制器和模糊自适应机构等 4 个部分组成。在 FMRAS 中, 模糊自适应机构实时地观察来自于模糊控制系统的数据(如 $r(kT)$ 和 $y(kT)$), 根据这些数据得出系统实时的性能并调节模糊控制器以使系统达到预定的控制效果。类似于传统的 Mrac, Fmras 中的模糊自适应机构在线的调整模糊控制器的结构, 使 $y(kT)$ 和 $y_m(kT)$ 基本相同。

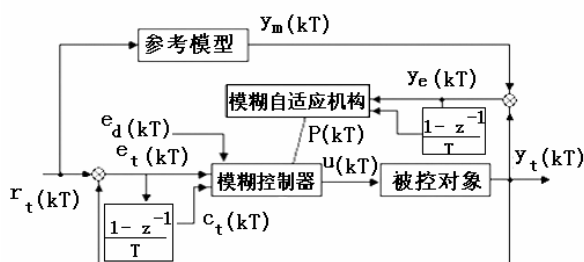


图 2 参考模型自适应模糊控制系统

(1) 模糊控制器

模糊控制的输入为偏差 $\Delta e(kT)$ 和偏差变化率的 $d/\Delta e(kT)$, 其中模糊规则为,

$$e(kT) = r(kT) - y(kT), e_d(kT) = \frac{r(kT) - y(kT)}{T}$$

$$\text{if } y_c(kT) = \frac{y_m(kT) - y_d(kT)}{T} \text{ is } \bar{E} \text{ and } \bar{c} \text{ is } \bar{c}_i \text{ then}$$

\bar{u}_{is}^m 其中 \bar{e} 和 \bar{c} 是控制器输入量 $e(kT)$ 和 $c(kT)$ 的语言变量, \bar{u} 是控制器输出 $u(kT)$ 的语言变量。 \bar{E} ,

(\bar{c}_i) 代表了第 j (第 i) 个与 \bar{e} (\bar{c}) 相关的语言值。

输入隶属度函数定义了不同环境下输出规则的前提。在 FMRAS 中, 输入隶属度函数将作为常量不进行调整, 而输出隶属度函数被认为是未知的。因此, FMRAS 试图确定由一些已知条件定义的多种环境下的控制规律。在对 FMRAS 设计时, 首先要确定输出隶属度函数的初始化值。如图 3 所示, 例如定义输出范围为 $[-1, 1]$, 选择宽度为 0.4, 中心点位于 0 的三角隶属度函数。这种对输出隶属度函数的选择代表控制器在控制起点并不知道输出量的控制规律。当然, 对中心点的选取可以是任意的, 可以根据被控对象的稳态性质确定中心点, 但一般这样的选取对控制的设计并不是最优的。由于难以得到被控对象的数学模型, 因而选择零点为中心点有利于自适应模糊机构对其进行修正。

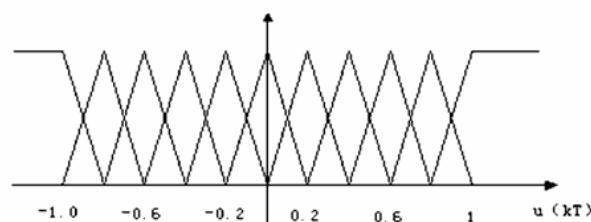


图 3 输入隶属度函数

(2) 参考模型

对参考模型的选择, 一般期望能达到理想的控制效果, 并且要求结构合理。由于被控对象某些特性的限制, 以及对对象特性了解不充分, 选取一个合理的参考模型显然是必要的。一般来说, 参考模型可以是离散的或连续的, 线性的或非线性的, 时不变的或时变的等。假设取参考模型为

$$G(s) = \frac{1}{s+1}, \text{ 采样时间为: } T=0.1s, \quad t = \frac{2z-1}{Tz+1},$$

得到参考模型的离散传递函数

$$\frac{Y_m(z)}{R(z)} = H(z) = \frac{1}{Z-1} \frac{(z+1)}{s-\frac{19}{21}}, \text{ 其中 } Y_m(z)、R(z) \text{ 是}$$

$Y_m(kT)$ 和 $r(kT)$ 的 Z 变换。因此, 可以得到离散状态方程

$$ym(kT+T) = \frac{19}{21} ym(kT) + \frac{1}{21} r(kT+T) + \frac{1}{21} r(kT)$$

模糊自适应机构的输入量 $ye(kT) = ym(kT) - y(kT)$, 其中 $ym(kT)$ 是参考模型的输出量, $y(kT)$ 是模糊控制系统输出量。 $ye(kT)$ 表征参考模型理想输出与被控对象输出的差值, 即当被控对象结构发生变化或参数偏离时, 目标输出与实际输出的偏差。当选择合理的参考模型以及恰当的学习机理后, 不管被控对象的参数如何变化, $ye(kT)$ 的值都接近于零。当 $ye(kT)$ 值较小时, 模糊自适应机构对模糊控制器结构的修改是微小的。当 $ye(kT)$ 为较大值时, 模糊自适应机构对模糊控制器结构进行较大范围的修改, 以使被控对象的性能指标与参考模型的输出相符。

(3) 模糊自适应机构

模糊自适应机构的主要作用就是修改模糊控制的规则库, 使闭环控制系统的输出与参考模型的输出相同。如图 4 所示, 模糊自适应机构由模糊逆向模型和规则修改器两部分组成。

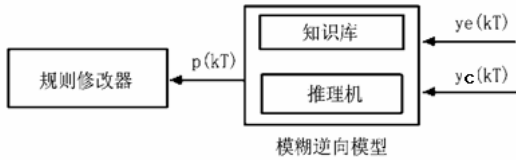


图 4 模糊自适应机构

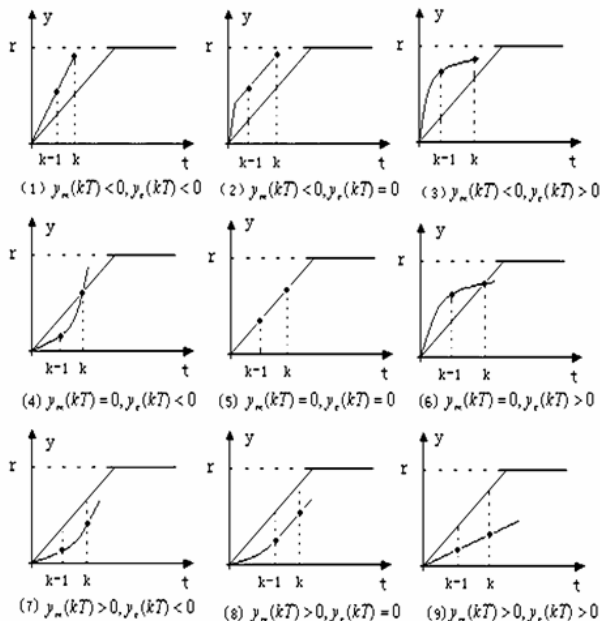


图 5 对象瞬态响应与参考模型之间的 9 种关系

模糊逆向模型实际上也是一个模糊控制器, 输入量为 $ye(kT)$ 和 $yc(kT)$, 输出为 $p(kT)$ 。模糊规则为:

if y_e^0 is y_e^0 and y_c^0 is y_c^0 then p^0 is p^0 , 其中 y_e^0 和 p^0 代表语言变量值, 代表第 m 条规则的输出模糊集。由于对象参数变化, 给定突变, 或出现状态干扰等情况, 使参考模型和对象瞬时响应之间的关系会出现如图 5 所示的 9 种情况。

$ym(kT) < 0, ye(kT) < 0$, 过程输出大于目标输出, 且误差增大趋势;

$ym(kT) < 0, ye(kT) = 0$, 过程输出大于目标输出, 且误差变化趋势为 0;

$ym(kT) < 0, ye(kT) > 0$, 过程输出大于目标输出, 且误差减少趋势;

$ym(kT) = 0, ye(kT) < 0$, 过程输出等于目标输出, 且误差增大趋势;

$ym(kT) = 0, ye(kT) = 0$, 过程输出等于目标输出, 且误差变化趋势为 0;

$ym(kT) = 0, ye(kT) > 0$, 过程输出等于目标输出, 且误差减少趋势;

$ym(kT) > 0, ye(kT) < 0$, 过程输出小于目标输出, 且误差减少趋势;

$ym(kT) > 0, ye(kT) = 0$, 过程输出小于目标输出, 且误差变化趋势为 0;

$ym(kT) > 0, ye(kT) > 0$, 过程输出小于目标输出, 且误差增大趋势。

根据上述的 9 种关系, 可以写出模糊自适应机构的模糊规则, 选择适当的隶属度函数以及解模糊方法就可等到满足控制要求的 $P(kT)$ 。规则修改器根据 $P(kT)$ 的值修改模糊控制器的规则库, 使得 Ye 的值为零, 即目标输出与过程输出基本相等。假设模糊控制器输出隶属度函数取对称的三角形函数, b_m 代表第 m 条规则的中心点, 规则修改器根据

$P(kT)$ 的值修改bm从而改变模糊控制器的结构及输出值。

4 系统设计

模糊控制系统设计可分为两类：直接综合法和分析综合法。参考模型自适应模糊控制系统是基于分析综合法实现的。

4.1 自适应模糊控制系统结构设计

根据要求，空调系统的执行机构有表冷器、蒸汽加湿器、加热器。系统的被控对象是室内温度和湿度。温度控制回路的执行机构为表冷器、加热器，湿度控制回路的执行机构为表冷器和蒸汽加湿器。温度模糊控制器输入如图 6 所示。

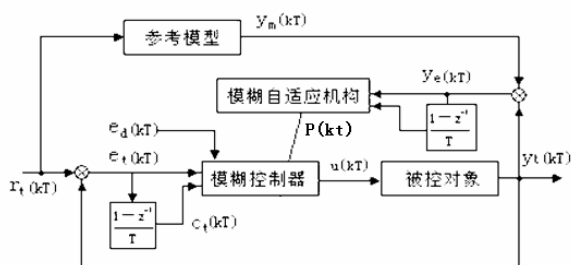


图 6 温度控制回路结构

温度控制回路中的模糊控制器为三维结构，输入变量为温度误差 $e_t(kT)$ 、温度误差变化率 $c_t(kT)$ 、相对湿度误差 $e_d(kT)$ ，输出变量为 $u(kT)$ 。相对湿度误差 $e_d(kT)$ 的引入有利于对表冷器的控制以及更好的体现对 8 种空气变化过程的控制。

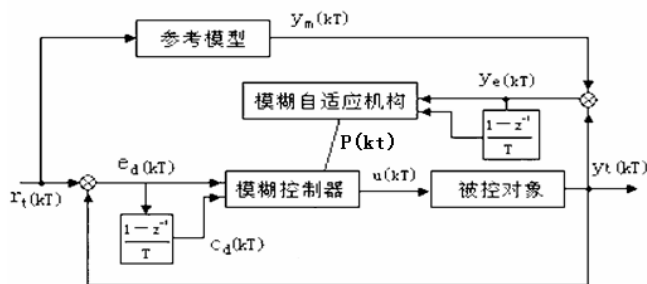


图 7 湿度控制回路结构

湿度控制回路中的模糊控制器为二维结构，如图 7 所示。输入变量为相对湿度误差 $e_d(kT)$ 、相对湿度误差变化率 $c_d(kT)$ 、输出变量为 $u(kT)$ 。由于在温度模糊控制器中引入了相对湿度的误差，从而解决了温湿度控制回路的耦合问题，因此湿度模糊控制器采用二维结构就能达到很好的控制效果。

4.2 中央空调系统参考模型的确定

根据工程设计要求，温度的调整时间 $t_s=10\text{min}$ ，误差范围 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，设定温度为 25°C ；相对湿度的调整时间 $t_s=1\text{min}$ ，误差范围 $\pm 5\%$ ，设定湿度为 60% 。

由分析可知，房间空气温度的传递函数可表示为一阶惯性环节，因此温度的参考模型的维数应该为二维以上。为了便于对系统的性能参数进行分析讨论，取参考模型为

$$G_m(s) = \frac{wt^2}{s^2 + 2\zeta_t wt + wt^2} \quad (1)$$

$$G_t(s) = \frac{wt^2}{s^2 + 2\zeta_i wt + wt^2} \quad (2)$$

其中式(1)为室内温度参考模型的传递函数，式(2)为室内湿度参考模型的传递函数。

设计二阶系统时，一般选取 $\zeta=0.707$ 为最佳阻尼比，因此取 $\zeta_i = \zeta_t = 0.707$ 。根据系统设计要求的 $t_s=10\text{min}$ ，二阶系统对调整时间的近似公式(达到稳态值的 95%的近似公式)

$$t_s = \frac{3}{\zeta ws} \quad (3)$$

由式(3)可得：

$$ws = \frac{3}{\zeta t_s} = \frac{3}{0.707 \times 10 \times 60} = 0.00707$$

同理，对于相对湿度 $t_s=1\text{min}$ 可得：

$$wt = \frac{3}{\zeta t_s} = \frac{3}{0.707 \times 60} = 0.0707$$

因此，温度参考模型的传递函数为

$$G_m(s) = \frac{0.00005}{s^2 + 0.001s + 0.00005} \quad (4)$$

湿度参考模型的传递函数为

$$G_t(s) = \frac{0.005}{s^2 + 0.01s + 0.005} \quad (5)$$

对于上述两个参考模型的阶跃响应仿真如图 8、图 9 所示。从仿真结果看出，都能达到设计的要求。

4.3 温、湿度模糊控制规则的确立首先定义 4 个变量温度误差

$$G_s(kT) = r_i(kT) - y_i(kT) \quad (6)$$

温度误差变化率:

$$Gr(kT) = \frac{er(kT) - er(kT - T)}{T} \quad (7)$$

相对湿度误差:

$$Gd(kT) = rd(kT) - yd(kT) \quad (8)$$

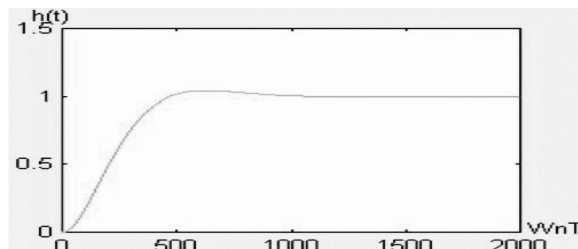


图 8 温度参考模型的阶跃响应

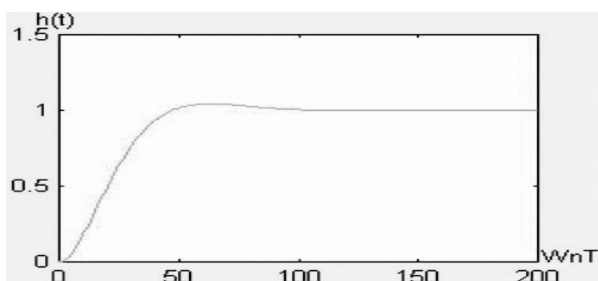


图 9 湿度参考模型的阶跃响应

相对湿度误差:

$$Gd(kT) = \frac{ed(kT) - ed(kT - T)}{T} \quad (9)$$

温度模糊控制器为三维结构, 输入变量为温度误差 $et(kT)$ 、温度误差变化率 $ct(kT)$ 、相对湿度误差 $ed(kT)$, 输出变量为 $u(kT)$ 。由于输入量为精确量, 必须进行模糊化。根据专家经验得知, 温度误差 et 论域取 $[-3, +3]$, 其温度变化率 ct 的论域取 $[-1, +1]$, 输出变量论域取 $[-100, 100]$ 。

模糊变量的论域均取为

$$\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \quad (10)$$

温度误差的量化因子为 $Ke = 6/3 = 2$, 温度误差变化率 $Kc = 6/1 = 6$ 。对上述两个变量和输出变量均取七个模糊子集, 其中 NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB 分别代表负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大。

$$\Delta Et \in \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\} \quad (11)$$

$$\Delta Ct \in \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$$

$$\Delta Ut \in \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\} \quad (12)$$

由于温度变化过程较慢, 并且考虑到实际应用过程计算的方便, 因此对温度误差、温度误差变化

率和输出量隶属函数采用对称三角型函数, 如图 10 所示。

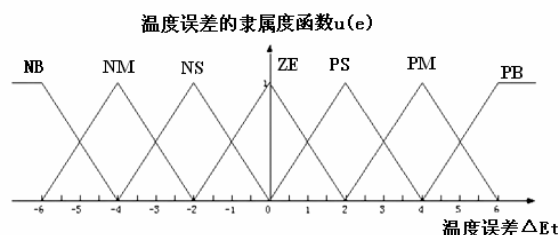


图 10 模糊变量 ΔEt 的隶属度函数

相对湿度误差 $ed(kT)$ 的引入主要解决温度、湿度模糊控制器同时对表冷器控制的问题。对于加湿工况, 对温度控制的影响不大, 而减湿工况下, 应首先考虑除湿操作, 因此对于相对湿度误差的取五个模糊子集, 其隶属度函数如图 11 所示:

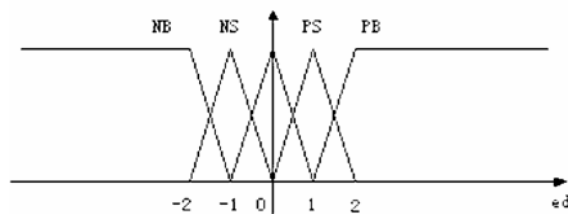


图 11 模糊变量 ΔEd 的隶属度函数

$$\Delta Ed \in \{NB, NS, ZE, PS, PM\} \quad (13)$$

为了进一步分析相对湿度误差引入的作用, 下面列出 8 种空气处理过程。

第 1 种控制过程—降温除湿控制。降温控制就是增大表冷器的进水阀开度。同样, 除湿控制也要求增大表冷器开度。当温差较小时, 空气经过表冷器后, 可能需要进行加热处理。

第 2 种控制过程—降温等湿控制。当温度误差不大时, 控制表冷器表面温度在露点温度以上, 降温控制对湿度没有影响。当温度误差较大时, 表冷器表面温度达到露点温度, 空气中的含湿量减少, 可能要进行加湿处理。

第 3 种控制过程—降温加湿控制。此时, 温度控制和湿度控制影响不大。

第 4 种控制过程—升温除湿控制。除湿过程是一个冷却的过程, 此时控制表冷器达到露点温度, 因此加热器需要抵消表冷器的温降。

第 5 种控制过程—升温等湿控制。此时, 温度控制和湿度控制影响不大。

第 6 种控制过程—升温加湿控制。系统用干蒸汽加湿处理，近似于一个等温过程，温度控制和湿度控制影响不大。

第 7 种控制过程—等温除湿控制。控制过程与第 4 种情况类似，但加热器的输出要小的多。

第 8 种控制过程—等温加湿控制。此时，温度控制和湿度控制影响不大。

温度模糊控制器对表冷器和加热器进行控制，由于同一个输出信号对两个设备进行控制，一般采用互斥的方法，即同一时刻只能控制一个设备。如果要实现第 1 种控制，即既要调节表冷器又调节加热器，一般单回路模糊控制器无法实现。引入相对湿度误差，把控制规则分为五大部分从而很好地体现了 8 种空气变化过程。根据专家和经验丰富的操作人员，温度模糊控制器模糊规则如表 1 所示。类似地可以得到其它模糊控制器模糊规则。

表 1 温度模糊控制表

$\Delta E_d=ZE$ 控制输出 U_t		温度误差变化率 ΔC_t						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
ΔE_t	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NS
	NS	NB	NM	NM	NS	NS	ZE	ZE
	ZE	NM	NM	NS	ZE	ZE	ZE	PS
	PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
	PM	NS	ZE	PS	PS	PM	PM	PB
	PB	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PB

以下选择部分规则详细说明，如：

Rule1: IF $\Delta E_t=NB$ AND $\Delta C_t=NB$ AND $\Delta E_d=ZE$ THEN $U_t=NB$ 。规则 1：如果温度负偏差很大、温度误差变化率负向很大，且相对湿度误差为零，则输出负大。这里描述的控制过程为降温等湿过程，室内温度比设定温度高很多且升温的趋势很大，因此表冷器的冷冻水阀门应该增加开度。

规则 223: IF $\Delta E_t=ZE$ AND $\Delta C_t=PM$ AND $\Delta E_d=NB$ THEN $U_t=PM$ 规则 223：如果温度正偏差为零、温度误差变化率正向中大，且相对湿度误差为负大，则输出正向中大。这里描述的控制过程为等温减湿过程，室内相对湿度误差比设定值要高很多，因此表冷器的冷冻水阀门控制由湿度模糊控制器控制，为了保持温度不变，加热器的开度为正中大。

规则 237: IF $\Delta E_t=PM$ AND $\Delta C_t=PM$ AND $\Delta E_d=NB$ THEN $U_t=PB$ 规则 237：如果温度正偏差

中大、温度误差变化率正向中大，且相对湿度误差为负大，则输出正大。这里描述的控制过程为升温减湿过程，室内温度比设定温度低且降温的趋势较大，且室内相对湿度误差比设定值要高很多，因此表冷器的冷冻水阀门控制由湿度模糊控制器控制，应进一步加大加热器的加热量。温度模糊控制的规则总数为 $7 \times 7 \times 5 = 245$ 。虽然模糊规则数较大，但因为这里选择的输入隶属度函数为对称三角函数，模糊推理方法使用最小值法，去模糊采用加权平均法，因此在一次模糊推理过程中，只需 $2 \times 2 \times 2 = 8$ 条规则。 $\{NB,NM,NS,ZE,PS,PM,PB\}$ 等价于 $\{1,2,3,4,5,6,7\}$ 根据模糊集合对应的数值重新对规则库序号定义，三个输入量对应的模糊集语言变量用数值表示，并将这个数作为规则的序号。如规则: IF $\Delta E_t=ZE$ AND $\Delta C_t=PM$ AND $\Delta E_d=NB$ THEN $U_t=PM$ 。由于输入变量仅且只有属于两个模糊集，因此设定两个中间变量纪录输入变量所属的模糊集。根据三个输入变量所得的数值就能很快地查出进行模糊推理的八条规则。对于温度模糊控制器，模糊推理方法采用最小值法，去模糊采用加权平均法。湿度模糊控制器为二维结构，其模糊控制规则与温度模糊控制规则类似，这里不必提及了。

5 知识库

修改机制模糊自适应机构是一个模糊控制器，它是根据输入变量的变化修改模糊控制的规则库，使得闭环控制系统的输出与参考模型的输出相同，如图 12 所示。

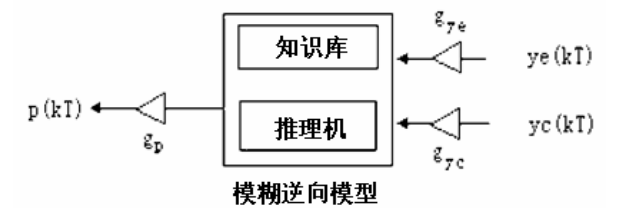


图 12 模糊自适应机构结构图

输入变量的定义：

$$ye(kT) = ym(kT) - y(kT)$$
(14)

$$yc(kT) = \frac{ym(kT) - yd(kT)}{T}$$
(15)

其中：ym(kT)，参考模型的输出；ye(kT)，模糊自适应机构的输入量；y(kT)，被控制对象输出；

$y_c(kT)$, 模糊自适应机构输入量的变化率。以下是温度模糊控制器的自适应机构的设计。 y_e 论域取 $[-1,+1]$, 其变化率 y_c 的论域取 $[-1,+1]$, 输出变量论域取 $[-1,+1]$ 。模糊变量的论域均取为

$$\{NH,NL,NB,NM,NS,ZE,PS,PM,PB,PL,PH\} \quad (16)$$

相对湿度误差的量化因子为 $K_e=5/1=5$, 温度误差变化率 $K_c=5/1=5$ 。对上述两个输入变量和输出变量均取 11 个模糊子集:

$$\Delta E_d \in \{NH,NL,NB,NM,NS,ZE,PS,PM,PB,PL,PH\} \quad (17)$$

$$\Delta C_d \in \{NH,NL,NB,NM,NS,ZE,PS,PM,PB,PL,PH\} \quad (18)$$

$$\Delta U_d \in \{NH,NL,NB,NM,NS,ZE,PS,PM,PB,PL,PH\} \quad (19)$$

对 y_e 、 y_c 和输出量的隶属函数采用对称三角型函数, 如图 13 所示。

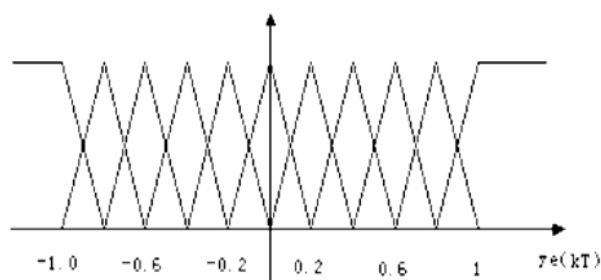


图 13 模糊自适应机构输入隶属度函数

下面给出自适应机构模糊规则库, 如表 2 所示。

表 2 自适应模糊控制表

控制输出 P		y_c										
		NH	NL	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PL	PH
y_e	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZE
	NL	NH	NH	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZE	PS
	NB	NH	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
	NM	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
	NS	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PL
	ZE	NH	NL	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PL	PH
	PS	NL	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PL	PH	PH
	PM	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH
	PL	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH
	PB	NS	ZE	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH	PH
	PH	ZE	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH	PH	PH

如 Rule61: IF $Y_e=ZE$ AND $Y_c=ZE$ THEN $P=ZE$
 规则 61: 如果输入量为零、输入量变化率为零, 则输出为零。这里描述的控制过程为被控对象的输出与参考模型输出相等, 那么自适应机构的输出为零, 即不需要对温度模糊控制结构器进行调整。如 Rule85: IF $Y_e=PM$ AND $Y_c=PS$ THEN $P=PB$ 规则

85: 如果输入为正向中大、误差变化率正小, 则输出正向中大。这里描述的控制过程为 $Y_e > 0$, 即此刻的温度比参考模型的输出要小, 为了使室内温度跟踪参考模型的输出, 因此应该加大温度模糊控制器的输出量。

温度自适应模糊控制的规则总数为 $11 \times 11 = 121$ 。虽然模糊规则数较大, 但这里选择的输入隶属度函数为对称三角函数, 模糊推理方法使用最小值法, 去模糊采用加权平均法, 因此在一次模糊推理过程中, 只需 $2 \times 2 = 4$ 条规则。经过模糊推理后得到输出量 $p(kT)$, 由于模糊自适应机构在 kT 时刻的输出是 $(kT-T)$ 时刻温度模糊控制器输出的结果, 因此 kT 时刻对温度模糊控制器规则的修改主要是在 $(kT-T)$ 时刻参与模糊推理的规则。由分析可知, 参与模糊推理的规则数仅且只有 8 条。

6 结束语

上述基于分析综合设计方法, 在剖析模糊控制系统和模糊控制器的基础上, 对中央空调温度控制系统进行了模糊控制设计。设计了自适应模糊控制器的结构、输入输出变量的选取与量化, 着重讨论了温度模糊控制规则库, 并分析了规则库中如何体现空气调节中的 8 种控制过程。根据专家的经验给出了控制规则, 讨论了自适应机构修改温度模糊控制器的过程, 采用常规 PID 控制器对中央空调系统进行控制会出现振荡等情况, 而基于自学习的参数自整定模糊 PID 系统具有良好的适应能力, 相对于常规 PID 控制而言, 在系统的鲁棒性、稳态精度等方面具有明显的优势, 更能满足高精度要求的工况需求, 该系统未通过实际运行, 只是在 MATLAB 中进行仿真得到了较好的控制效果, 有一定的工程参考意义。

参考文献:

- [1] 梁春生, 智勇. 中央空调变流量控制节能技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 於仲义. 变水量空调系统智能解耦控制研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [3] 李士勇. 模糊控制·神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996.
- [4] 高军. 空调变频器自适应模糊控制器的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2003.

- [5] 孙增圻. 智能控制理论与技术[M]. 北京: 清华大学出版社,1997.
- [6] 付少波,陈曦,张涛,孙英科.模糊控制器在中央空调系统温度控制中的应用[J].微计算机信息, 2005(4): 36-37.
- [7] 楼顺天,胡昌华,张伟. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——模糊系统[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社,2002.
- [8] 马宝萍,徐活皋. 在线自调整比例因子的模糊控制器[J]. 自动化仪表, 2002(8),21(8):25-28.
- [9] 赵延栋. 模糊控制器的分析和改进[D]. 沈阳: 东北大学,2002.
- [10] 李家炜. 一种新的模糊控制器优化方法[J]. 控制理论与运用, 2002, 19(2):279-281.
- [11] 廉小亲. 模糊控制技术[M]. 北京: 中国电力出版社,2003.
- [12] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
-
- 作者简介:**
陈红亮(1982-), 男, 江苏南京人, 工程师, 主要从事电力自动化工作, E-mail: chenhongliang1020@126.com。