

洁净室的温湿度控制系统

A temperature and humidity control system of clean rooms

李小遐 杨云 (陕西科技大学计算机与信息工程学院 712081)

刘瑞霞 (山东省计算中心 250014)

摘要:本文以药厂洁净室的温湿度控制为例,设计了一套基于 PID 参数模糊自调整、串级控制和分段控制的洁净室温湿度控制系统。该系统不仅适用于药厂洁净室的恒温恒湿控制,也可用于各种制造行业的室内温湿度控制。

关键词:PID 参数模糊自调整 串级控制 洁净室 温湿度

1 引言

药厂洁净室的温湿度控制系统不同于一般的空调控制系统。药厂洁净室内的温湿度要求控制精度比较高,其室内温度与湿度之间存在交叉耦合情况,即温度控制会引起湿度变化,湿度控制也会引起温度变化。因此,药厂洁净室的温湿度控制是一种非线性的、滞后的、时变的复杂过程,这种系统若采用传统的 PID 控制来实现显然是不适宜的。现有的研究和实践表明,对于无法取得精确数学模型或数学模型相当粗糙的系统,采用模糊控制可以达到令人满意的效果。本文就是针对药厂洁净室的温湿度控制,提出了一种串级控制的 PID 参数模糊自调整方法,并采用了分段的控制方法,设计出一套洁净室的温湿度控制系统,该系统能显著提高洁净室空调系统的运行效果和经济性。

2 系统原理

温湿度控制系统的被控参数是洁净室的温度和湿度。温度与湿度通过温度传感器与湿度传感器输出的电信号送到控制器(PLC)后,经过 A/D 转换。控制器根据 A/D 转换后的温湿度偏差和温湿度偏差变化率,经过模糊自调整 PID 的调节,然后通过送风温度、回风温度的串级控制和分段控制,并设置了 PID 控制容限,将 PID 的输出分成加热、制冷或加湿信号,来分别控制热水阀、冷水阀和加湿阀的开度,从而实现了对室内温湿度的控制。

3 系统的设计

该系统设计目标就是根据上述原理来实现对洁净室的温湿度进行监控与控制:在洁净室内可根据需要调节温湿度,或在远程机房内对洁净室内的温湿度进行远程控制,以保证室内温湿度的恒定。基于 PID 参数模糊自调整、串级控制和分段控制的洁净室温湿度控制系统结构图如图 1 所示。

下面就该系统中所采用的 PID 参数模糊自调整机构的设计和串级控制、分段控制的实现过程进行描述。

3.1 PID 参数模糊自调整机构的设计

PID 参数模糊自调整机构的设计思想是首先找出 PID 三个参数与偏差 e 和偏差变化率 Δe 之间的模糊关系,并在运行中通过不断检测 e 和计算 Δe ,然后根据模糊控制原理来对三个参数进行在线修改以满足在不同 e 和 Δe 时对控制器参数的不同要求,从而使被控对象具有良好的动、静性能。PID 参数模糊自调整机构如图 1 所示。

PID 参数模糊自调整机构设计过程:

常规 PID 控制器的传递函数为:

$$G(s) = K_p + K_i/s + K_d s \quad (1)$$

其中, K_p 、 K_i 、 K_d 分别称为比例增益、积分增益和微分增益。

将(1)式转化为另一种等价的形式为:

$$U(t) = K_p [e(t) + (\int e(t) dt) / T_i + T_d \times de(t) / dt]$$

其中, $T_i = K_p / K_i$ 、 $T_d = K_d / K_p$ 分别称为积分时间常数、微分时间常数。

K_p 和 K_d 的变化范围为 $[K_{p, \min}, K_{p, \max}]$ 和 $[K_{d, \min}, K_{d, \max}]$, 这个范围可以根据经验或实验结果来确定。为了方便, K_p 和 K_d 通过以下线性变换, 归一化到 0 和 1 之间的参数 K_p' 和 K_d' :

$$K_p' = (K_p - K_{p, \min}) / (K_{p, \max} - K_{p, \min})$$

$$K_d' = (K_d - K_{d, \min}) / (K_{d, \max} - K_{d, \min})$$

在参数调整时, 根据当前的偏差 e 和偏差变化率 Δe 来确定参数, 积分时间常数由微分时间常数决定: $T_i = a T_d$

$$\text{积分增益 } K_i = K_p / (a T_d) = K_p^2 / (a K_d)$$

其中参数 K_p' 和 K_d' 和 a 由一组模糊规则得到。

利用模糊推理的方法, 可以得到三组控制表:

其中: 论域定为: $\{-6, -4, -2, 0, 2, 4, 6\}$, 模糊词集为: $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。隶属函数取为三角形隶属

函数,通过隶属函数可方便的求得输入变量的赋值表,利用赋值表及模糊控制规则,通过拉森算法,可得到模糊控制规

则表如下所示。

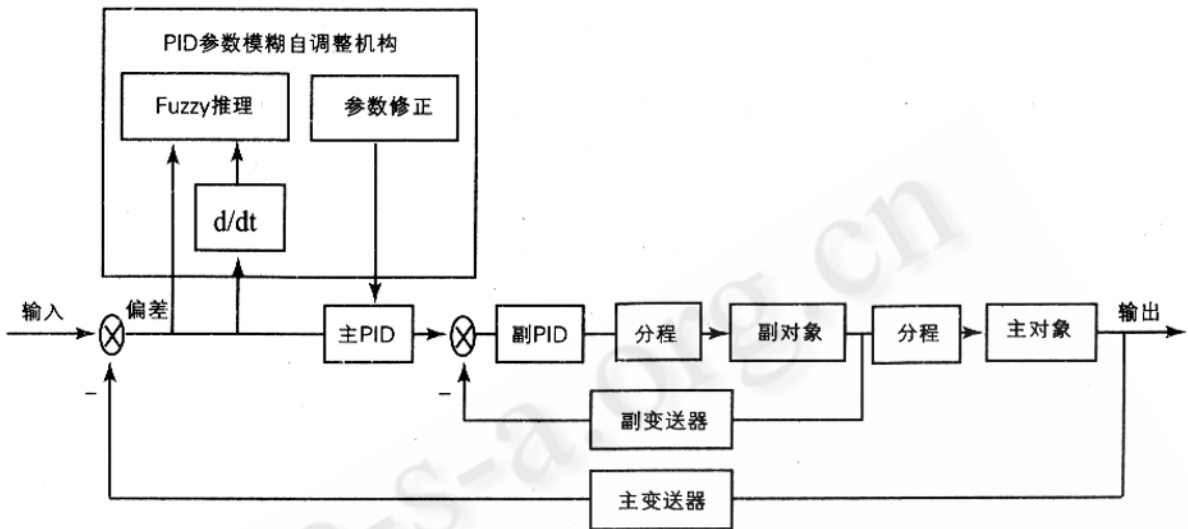


图 1 系统结构图

K_p' 和 K_d' 的论域为 $\{0,1\}$, 模糊词集为: $\{BB,SS\}$ 。

a 的论域为 $[2,3,4,5]$, 模糊词集为 $\{SS,MS,MM,BB\}$ 。

表 1 K_p' 控制规则表

Δe K_p'	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB
NM	SS	BB	BB	BB	BB	BB	SS
NS	SS	SS	BB	BB	BB	SS	SS
ZO	SS	SS	SS	BB	SS	SS	SS
PS	SS	SS	BB	BB	BB	SS	SS
PM	SS	BB	BB	BB	BB	BB	SS
PB	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB

表 3 a 控制规则表

Δe a	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
NM	MS	MS	SS	SS	SS	MS	MS
NS	MM	MS	MS	SS	MS	MS	MM
ZO	BB	MM	MS	MS	MS	MM	BB
PS	MM	MS	MS	SS	MS	MS	MM
PM	MS	MS	SS	SS	SS	MS	MS
PB	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS

表 2 K_d' 控制规则表

Δe K_d'	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
NM	BB	BB	SS	SS	SS	BB	BB
NS	BB	BB	BB	SS	BB	BB	BB
ZO	BB	BB	BB	BB	BB	BB	BB
PS	BB	BB	BB	SS	BB	BB	BB
PM	BB	BB	SS	SS	SS	BB	BB
PB	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS

一旦得到 K_p' 、 K_d' 和 a 后,按下式就可计算出 PID 的各个参数如下:

$$K_p = (K_{p,max} - K_{p,min}) K_p' + K_{p,min}$$

$$K_d = (K_{d,max} - K_{d,min}) K_d' + K_{d,min}$$

$$K_i = K_p^2 / (a K_d)$$

对于不同的过程, K_p 和 K_d 的范围可定义为:

$$K_{p,min} = 0.32 K_u, K_{p,max} = 0.6 K_u, K_{d,min} = 0.08$$

$$K_u T_u, K_{d,max} = 0.15 K_u T_u$$

式中 K_u 和 T_u 分别是在比例控制下增益和振荡周期。

我们在控制系统的软件中通过应用上述算法,使这种模糊自调整机构按偏差信号及其变化趋势的大小、方向等特

征,通过模糊推理对 P、I、D 参数做出了相应的调整,从而提高了系统的控制精度。

3.2 串级控制

洁净室温湿度控制是一种典型的大惯性大延时系统,对于这种过程控制中存在大迟延的系统,我们采用了串级 PID 控制。系统中主回路控制的是一个大迟延的对象(回风温度),其对控制品质要求较高,用传统 PID 控制往往很难达到满意效果。为此,我们在主回路的 PID 控制中嵌入 PID 参数模糊自调整机构(见图 1),其副回路是一个快速对象,而且控制精度要求不高(送风温度),我们保持传统的 PID 控制,用比例 P 控制,参数调整用传统的(Ziegler-Nichol)方法即可。这样控制的目的是:为使房间温度离设定值很远时,加大阀的动作,偏差较小时,减慢阀的动作,从而可以避免冷、热水阀频繁的开关。

3.3 分段控制

考虑到节能的需要,为了避免冷、热水阀同时打开,我们在洁净室的温湿度控制系统中在控制冷、热水阀时采用了分段控制的方法,其控制过程为:控制器的输出我们在软件中可以转换为一个对称的区间范围,例如 -100% 到 100%,通过分段过程后分成两个信号的输出,即 -100% 到 -5% (可以根据实际情况来设置),5% 到 100%,由于冷热水阀不能切换的太快,所以有一个延时过程,通过这两个信号来分别控制热水阀和冷水阀的开启度。冷水阀和加湿阀的分段控制原理与热水阀和冷水阀的原理相同,这里就不再赘述了。系统中的分段控制是通过在软件中采用 Saia 公司的 PG5 软件的 SEQ-HC 模块来实现的。冷水阀和热水阀的分段控制过程示意图如图 2 所示。

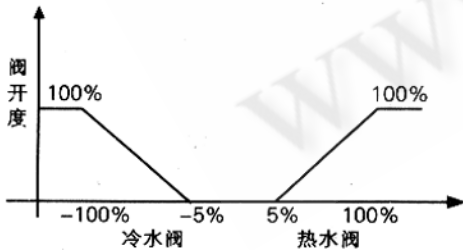


图 2 分段控制

在图 2 中: X 轴表示通过分段控制模块分出的两个输出信号, Y 轴表示两个输出信号控制的阀的开启度。

实际实现过程为:送风和回风温度串级控制输出后再经

过分段控制,把 -100% 到 -5% 的信号和湿度控制经过分段后的 -100% 到 -5% 的信号叠加来共同控制冷水阀,温度分段后的 5% 到 100% 的信号则直接控制热水阀的开启度,湿度分段后的 5% 到 100% 的信号则控制加湿阀的开启度。

4 系统应用

在实际应用中,该系统的下位机采用了瑞士 Saia 公司的智能控制器 PCD,系统自动根据房间回风温度、送风温度与送风湿度的串级调节,进行模糊 PID 调节,分段控制冷、热水阀的开启度,保证房间温湿度在控制范围内。现场控制柜采用 Easyview 的触摸屏,可以方便的监控温湿度值、压力值、阀的开启度、报警,或在线修改 PID 参数等,方便了现场的调试和维修。上位监控界面是利用开物 2000 开发的基于 web 方式的应用界面,可实现远程的监控各空调机组的运行状态。下位机采用 Saia 公司的 M520 通信卡,以 RS232 通信方式实现上位机与各空调机组通信。而且,该系统采用了网络冗余的方法,提高了系统的可靠性。

5 结束语

该系统经过一段时间的运行表明,系统超调量小,控制性能稳定,抗干扰能力强,达到了用户的要求,控制误差在 ± 1 度,相对湿度在 $\pm 5\%$ 以内,取得了满意的效果,操作也比较简便,达到了药厂洁净室运行高效率、低成本的目的。

参考文献

- 1 金以替,过程控制,清华大学出版社,2001.7。
- 2 陈焕新、周雄辉,智能建筑中暖通空调系统控制方法初探,暖通空调,2003.6(3)30-32。
- 3 郭宗仁、吴亦锋、郭永,可编程序控制器应用系统设计及通信网络技术,人民邮电出版社,2002.9。
- 4 Lo S M, Chen D, Yuen K K, et al. A numerical study of external smoke spread in designated refuge floor. Building and Environment 2002, 37: 257-268