

# 模糊 PID 控制在曲料混合系统中的应用

张洪霞,寇子明

(太原理工大学机械工程学院,山西省矿山流体控制技术研究中心,山西 太原 030024)

**摘要:** 针对目前所压制的曲块含水率不稳定,以模糊控制原理为基础,通过模糊推理和 PID 控制相结合,设计了 Fuzzy-PID 控制器,应用 Matlab/Simulink 进行了仿真。结果表明,模糊 PID 控制器与 PID 控制器相比,表现出良好的动态响应特性、抗干扰性、稳态性,实现了曲块的含水率在线自适应调节。(孙悟)

**关键词:** 大曲; 模糊 PID 控制; 曲料混合系统; 曲块水分含率; 应用

中图分类号: TS261.1; TP27; TQ925.7 文献标识码: B 文章编号: 1001-9286(2010)01-0060-03

## Application of Fuzzy PID Controller in Starter Materials Mixing System

ZHANG Hong-xia and KOU Zi-ming

(College of Mechanical Engineering, Taiyuan Technical Institute, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

**Abstract:** In view of unstable moisture content in caky starter, Fuzzy-PID controller was designed based on fuzzy control principles by the combination of fuzzy reasoning and PID control. Furthermore, the simulation test was operated by Matlab/Simulink. The results showed that fuzzy PID controller had better performance in dynamic response, anti-interference and stability compared with PID controller and its use could realize on-line adaptive regulation of moisture content in caky starter.

**Key words:** fuzzy PID controller; starter materials mixing system; moisture content in caky starter; application

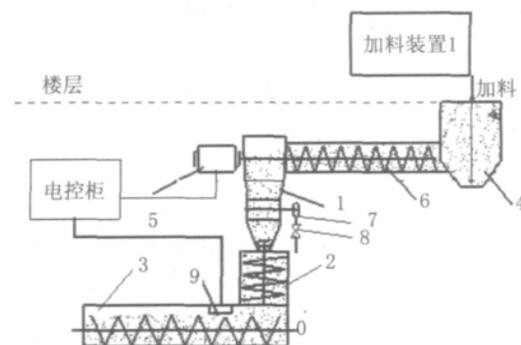
在清香型酒曲块的发酵过程中,曲块中水料比例失调与否将直接影响曲块中微生物的生长繁殖以及各种酶的生化性能,从而制约清香型酒的质量品质。所以,国内的制曲厂家基本上都相应改进了其曲料混合系统,使曲料混合系统无论在自动化水平还是在曲块含水率调节上都得到了相应的提高,但是系统的快速动态跟随性和抗干扰能力仍不够理想。

针对以上问题,本文提出了基于 PLC 的模糊 PID 控制系统,通过对曲料的含水率在线实时检测和反馈控制,目的在于使曲块的含水率均匀稳定在设定值附近,从而保证微生物在最佳的水质条件下滋生和孕育,以便在酿酒时提供足量的霉素和微生物代谢产物,使清香型酒具有优异的独特品质<sup>[1]</sup>。

### 1 曲料混合系统的结构及工作原理

此系统主要由水料混合装置以及控制系统组成。水料混合装置主要由给料器、水料混合机、截止阀及稳流阀组成;控制系统主要由非接触式在线水分检测仪、PLC、变频器、电机组成。其结构示意图见图 1。

该系统主要以 PLC 为控制核心,以电机为执行机构,以非接触式在线水分检测仪为反馈装置。其工作原理是:压力水源经截止阀与来源于给料器的物料在水粉混



1.给料器,2.水料混合机,3.水平绞龙,4.料仓,5.电机,6.水平绞龙,7.稳流阀,8.截止阀,9.非接触式在线水分检测仪。

图 1 曲料混合系统结构示意图

合器中混合,经高度搅拌后,形成含水量稳定的物料。曲料通过水平绞龙运出进入下一个工序。当物料经过非接触式在线水分检测仪时,非接触式在线水分检测仪将对物料的含水量进行采集,并把采集到的含水量信息传送给 PLC,PLC 将检测到的信号进行分析处理后,通过变频器自动调节电机的频率来控制水平绞龙的转速,从而实现增加或减少加料量。

### 2 模糊 PID 控制器的设计

PID 控制需要建立精确的数学模型,而对于一个时

收稿日期:2009-10-15

作者简介:张洪霞(1984-),女,山东滨州人,在读硕士研究生。

变、非线性的复杂的控制系统,精确的数学模型难以建立,则需要建立一个不确定的模糊模型来解决实际问题。而模糊控制正是运用模糊集合论模拟现场操作人员的作用和决策而实现自动控制。同时,传统的 PID 控制动态跟随特性控制效果差,因此,本文将 PID 参数的调节规律与模糊控制的原理相结合,形成模糊 PID 控制,能很好地克服系统负载扰动,从而有效改善了系统的动态特性,模糊 PID 控制逻辑如图 2 所示。

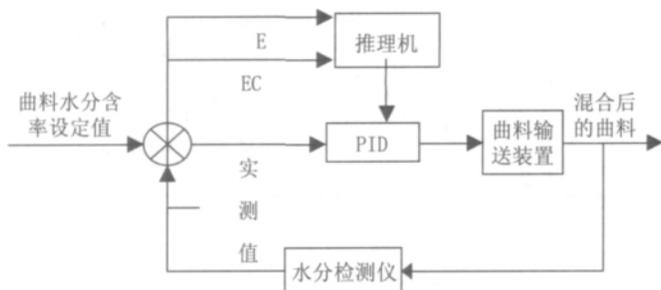


图 2 模糊 PID 控制逻辑图

模糊 PID 控制工作原理为:计算机算出实测值与设定值(40%)的偏差 E 以及偏差的变化率 EC。在模糊控制系统中,经过模糊量化后的 E 和 EC 借助于模糊经验(规则库)进行模糊推理,来实现 PID 控制参数的最优化,以便达到物料中水分含量的实时在线动态跟踪。

显然,模糊推理机是该控制器的关键部分,主要由输入量的模糊化、规则库、模糊决策、模糊判决等部分构成。输入为系统实测值与给定值的偏差 E 和偏差变化率 EC,输出为 PID 控制器参数的修正量:比例系数增量  $\Delta K_p$ ,积分系数增量  $\Delta K_i$ ,微分系数增量  $\Delta K_d$ ,PID 控制器的实际参数为:

$$K_p = k_{p0}(1 + \Delta K_p) \quad (1)$$

$$K_i = k_{i0}(1 + \Delta K_i) \quad (2)$$

$$K_d = k_{d0}(1 + \Delta K_d) \quad (3)$$

其中  $k_{p0}$ :比例系数原值, $k_{i0}$ :积分系数原值, $k_{d0}$ :微分系数原值,系统设计者根据经验输入  $k_{p0}$ 、 $k_{i0}$  和  $k_{d0}$  的值。

模糊 PID 控制器的设计主要由软件实现。首先需要根据输入量 E 和 EC 实际论域,把连续值进行量化:

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

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

利用隶属函数将量化的数值与规则库中的模糊语言进行一一对应,模糊语言值均取 7 个,见表 1。隶属函数在论域上的覆盖范围为  $\omega = 4$ ,采用三角形对称结构,如图 3 所示。

表 1 模糊语言表

NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
负大	负中	负小	零	正小	正中	正大

含水率偏差 EC 的隶属度函数与含水率偏差 E 相

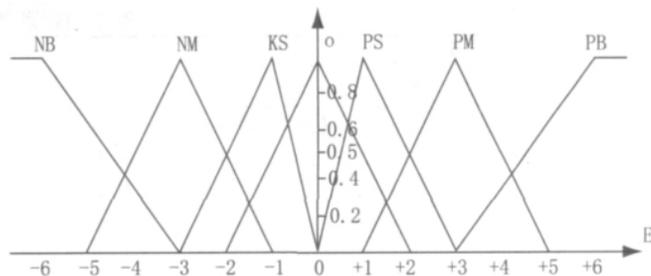


图 3 含水率偏差 E 的隶属函数

同。

根据模糊控制规则 IF、A、AND、B、THEN、C,例如,IF E=PM,AND EC=PB,THEN  $\Delta K_p=NM$ 。据此可以推出相应的模糊控制规则表,如表 2 所示。

表 2 模糊控制规则表 (E)

EC	$\Delta K_p$						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	ZE	NS	NM	NM	NM	NB	NB
PM	ZE	ZE	NS	NM	NM	NM	NB
PS	PM	PS	ZE	NM	NM	NM	NM
ZE	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
NS	PB	PB	PM	ZE	ZE	NS	NS
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZE	ZE
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	ZE

最后利用加权平均法进行解模糊化,把算出的模糊控制量 C 转化成相应的输出控制量,模糊控制查询表见表 3。

微分系数增量和积分系数增量的最终结果虽然与此有差异,但是计算过程与此相类似,因此,不再详细叙述。通过公式(1)、(2)和(3)可以计算出不同偏差 E 和偏差变化速度 EC 不同组合情况下的比例系数,积分系数  $K_i$  和微分系数  $K_d$ ,做成表格存储起来。在水料混合系统实时控制过程中,根据当前实际 E 和 EC 的输入值查表,最终根据得出的  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  计算出控制量的增量  $\Delta U_i$ ,并将其附加到前一时刻的控制量  $U_{i-1}$  上,即可得到当前时刻的电机的电压。

### 3 模糊 PID 控制系统的仿真

#### 3.1 变频器环节

实验系统中采用西门子变频器,变频器输入的控制采用 V/F 方式。变频器的输入控制电压  $U_c$ 、相对应的电源频率  $f_1$  之间的关系式为:

$$f_1 = K_U U_c \quad (4)$$

其中,输入控制电压  $U_c$  的范围设定为:0~5 V;电源频率  $f_1$  的范围为:0~50 Hz,所以输入电压频率转换系数  $K_U = 10 \text{ Hz/V}$ 。

#### 3.2 电机的数学模型

表3 模糊控制查询表(E)

EC	$\Delta K_e$													
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	
-6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	0	0	0	0	
-5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	0	0	0	0	
-4	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	0	0	0	0	
-3	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	0	0.1	0.1	0.1	
-2	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	-0.1	-0.1	0	0.2	0.2	0.2	0.2	
-1	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	
0	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.1	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	
+1	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	0	0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	
+2	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2	0	0	0.1	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	
+3	-0.2	-0.2	-0.2	0	0.1	0	0.1	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	
+4	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	
+5	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	
+6	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	

交流异步电机是一个非线性、高阶、强耦合的多变量系统,因此它的数学模型比较复杂,但是在系统仿真中只需要控制电机的频率,所以为了达到整个系统的简单化,只采纳简单的线性化模型即可。

在此试验中,利用电机的转速  $n_1$  和变频器输出的频率  $f_1$  的关系如下:

$$n_1 = 60 \frac{f_1}{n_p} (1-s) \quad (5)$$

$$\text{则电机的传递函数简化为: } G1 = 60 \frac{(1-s)}{n} \quad (6)$$

最后电机的转速与曲料含水率的转换关系为:

$$G2 = \frac{1-40\%}{300} = 0.002 \quad (7)$$

所以交流异步电机最后的传递函数为:

$$G = G1 \times G2 = 0.06 \quad (8)$$

### 3.3 仿真模型构造

根据上面的传递函数通过 Matlab/Simulink 强大的仿真功能,建立了系统的仿真模型。根据经验,当曲料中水分含量被设置为 40%,曲块的发酵效果最好,所以在系统的输入端使用阶跃信号使信号达到 40%附近,仿真模型示意图见图 4。

### 3.4 仿真结果

系统所用的参数:磁极对数  $n_p=2$ ,  $s=0$ 。仿真实验结果表明,模糊 PID 控制器与 PID 控制器相比在系统开始启动时表现出良好的动态响应特性,可以实现小超调量控制;在启动后 2~10 t 内模糊 PID 控制的水分混合系统具有良好的灵活性、跟随性和抗干扰性能;在随后的稳态过程中模糊 PID 控制器表现出良好的静态性能,能有效

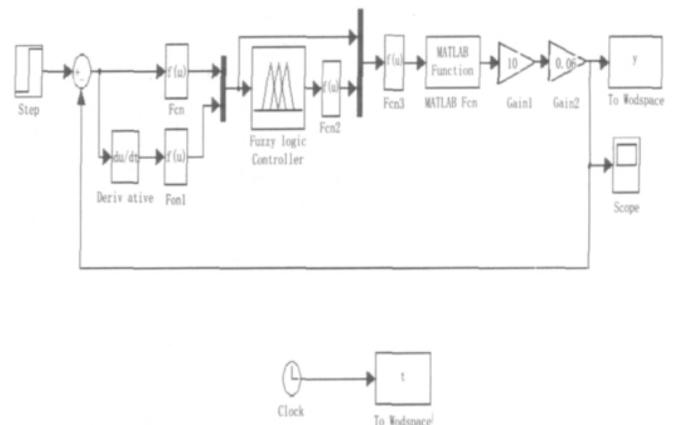


图4 Simulink 仿真模型示意图

及时地消除稳态误差。同时这种控制器设计简单,易于模块化设计。

## 4 结论

4.1 设计了 Fuzzy-PID 控制器,应用 Matlab/Simulink 进行了仿真,仿真结果表明,模糊 PID 控制器与 PID 控制器相比,表现出良好的动态响应特性,抗干扰性能并且在稳态时具备了 PID 控制器的良好稳态性能——削弱稳态误差<sup>[2]</sup>。

4.2 本控制算法已经应用于压曲机曲料输送系统,实现了曲块的含水率在线自适应调节,具有良好的发展前景。

### 参考文献:

- [1] 许德富,沈才萍.制约大曲质量品质的条件剖析及前景展望[J].酿酒,2003,(5):24-25.
- [2] 杨霞,郭庆鼎,李强.基于模糊 PID 复合控制交流伺服系统的研究[J].伺服控制,2005,(5):37-39.

《 酿酒科技 》 酒 圃 曲 苑