

9-2-2020

Research of Constant Pressure Delivery PID Control System of Flying Ashes

YanJun Xiao

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

Yingpei Sun

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

Xianle Meng

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

Yongcong Li

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Research of Constant Pressure Delivery PID Control System of Flying Ashes

Abstract

Abstract: Comparing to the drawbacks of fly ash constant current conveying system, the advantages of constant pressure delivery system and its conveying theory were introduced. A scientific modeling of the key of PID controller was established. By introducing the fuzzy control algorithm, the fly ash constant pressure conveying fuzzy adaptive PID controller was designed, which could make the auto changes between the fuzzy control and PID controller come true, and the simulation with MATLAB was researched. The results show that fuzzy adaptive PID controller is superior to the conventional PID controller in overshoot, response speed and adjusting time. And fuzzy adaptive PID controller has advantages of static and dynamic performance, intellectuality and robustness. It provides a powerfully theoretical guidance and basis for engineering practice of the followed flying-ashes-system. It is positively significant to further enhance the level of automation.

Keywords

flying ashes, constant pressure conveying, fuzzy control, PID, MATLAB

Recommended Citation

Xiao Yanjun, Sun Yingpei, Meng Xianle, Li Yongcong. Research of Constant Pressure Delivery PID Control System of Flying Ashes[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(1): 171-178.

粉煤灰恒压输送 PID 控制系统研究

肖艳军, 孙英培, 孟宪乐, 李永聪

(河北工业大学机械工程学院, 天津 300130)

摘要: 对比目前国内粉煤灰恒流输送系统存在的弊端, 介绍了恒压输送系统的优点以及输送原理。对其核心 PID 控制器进行了科学的建模, 在此基础上引入了模糊控制算法, 并对粉煤灰恒压输送模糊自适应 PID 控制器进行了设计与 MATLAB 仿真研究, 该控制器可实现模糊控制和 PID 控制的自动切换, 结果表明: 模糊自适应 PID 控制在超调量、响应速度和调节时间方面均优越于常规 PID 控制, 具有良好的静态特性、动态特性、智能性和鲁棒性。为后续粉煤灰恒压输送控制系统的工程实践提供了强有力的理论指导和依据, 对自动化水平的进一步提高具有积极的意义。

关键词: 粉煤灰; 恒压输送; 模糊控制; PID; MATLAB

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 01-0171-09

Research of Constant Pressure Delivery PID Control System of Flying Ashes

Xiao Yanjun, Sun Yingpei, Meng Xianle, Li Yongcong

(School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: Comparing to the drawbacks of fly ash constant current conveying system, the advantages of constant pressure delivery system and its conveying theory were introduced. A scientific modeling of the key of PID controller was established. By introducing the fuzzy control algorithm, the fly ash constant pressure conveying fuzzy adaptive PID controller was designed, which could make the auto changes between the fuzzy control and PID controller come true, and the simulation with MATLAB was researched. The results show that fuzzy adaptive PID controller is superior to the conventional PID controller in overshoot, response speed and adjusting time. And fuzzy adaptive PID controller has advantages of static and dynamic performance, intellectuality and robustness. It provides a powerfully theoretical guidance and basis for engineering practice of the followed flying-ashes-system. It is positively significant to further enhance the level of automation.

Keywords: flying ashes; constant pressure conveying; fuzzy control; PID; MATLAB

引言

气力输送系统因为具有较高的输送速度, 所以会带来高能耗并且伴随着严重的磨损。如何实现低

速输送、降低能耗、又能满足实际生产中的输送效率、保证稳定运行、提升控制系统的性能; 寻求科学合理的设计方法以及设计依据, 以更加严密科学的数据指导生产, 是目前研究气力输送发展的主要趋势^[1]。粉煤灰恒压输送可以有效改善粉煤灰气力输送过程中产生的上述问题, 深入研究其核心 PID 控制器具有重要的实际应用意义, 模糊控制理论结合传统 PID 控制器可达到优良的控制效果。



作者简介: 肖艳军(1976-), 男, 河北沧州人, 博士, 副教授, 研究方向为智能控制; 孙英培(1988-), 男, 河北沧州人, 硕士生, 研究方向为机电一体化研究与仿真技术; 孟宪乐(1989-), 男, 河北沧州人, 硕士生, 研究方向为机电成套设备及其关键技术。

收稿日期: 2014-03-12 修回日期: 2014-06-18

<http://www.china-simulation.com>

1 粉煤灰恒压输送系统的介绍

1.1 粉煤灰恒压输送的优点

国内粉煤灰的气力输送系统多为恒流输送系统,所谓恒流输送系统是指通过节流阀或者孔板进入浓相泵的压缩空气量处于恒定,这样从浓相泵排出的粉煤灰和空气的混合比处于相对稳定。因为在输送阶段压缩空气量不可调节,为防止在输送过程中发生堵塞,混合比在系统设计时取值相对偏低,但输送速度会较高,并且如果输送粉煤灰的特性发生变化,将会导致输送效率降低甚至无法输送。

恒压输送系统区别于恒流输送系统将流量控制概念引入到输送系统当中,压缩空气流量在粉煤灰整个输送过程当中可以动态连续调节,根据输送压力的变化调节压缩空气量及其配比,使输送压力在整个输送过程当中趋于恒定,这样系统可自动适应粉煤灰品质特性的变化,最终实现稳定输送。

粉煤灰恒压输送可实现超低速输送,能够最大程度减小磨损。系统运行参数如排料压力、调节阀开度、吹扫压力、高低限压力等均可从外部直接输入并且可随时调整。通过对运行参数进行调整,混合比取值较高,但输送速度却取值较低,整个系统在临界状态(动压沸腾)下稳定可靠的输送^[2-4]。因为浓相泵本身均流进灰的内部结构致使粉煤灰在输送的起始阶段不会发生堵管,到输送后期的恒压输送可依据压力的变化随时调节压缩空气的进气量,因此这样就确保了系统在正常运行的情况下不可能发生堵管。由于输送粉煤灰的压力降低,密封圈的损坏、管道以及阀门的磨损等一系列维护工作也大大的减小。

1.2 粉煤灰恒压输送的基本原理

粉煤灰恒压输送包括 4 个阶段:

进料阶段: 正常运行仓泵后,打开卸料阀和排气阀,粉煤灰从大库落入仓泵内,当料位计发出料满信号或者达到设定时间时,关闭卸料阀。

流化加压阶段: 打开输送阀和流量调节阀,压缩空气从底部进入气化室,通过流化床进行流化,粉煤

灰在被流化充分的同时,仓泵内的压强也随之增大。

恒压输送阶段: 当仓泵内压强达到设定值时,压力变送器发出信号,排料阀打开,系统进入恒压输送阶段。设定的恒压压力值与输送压力值比较,如果压力值偏高并且有上升,表明了输送阻力增大,灰气浓度比偏高,预示堵管倾向,此时应该增大流量调节阀的开度,增大管道的补气量,降低灰气比浓度;如果压力过低,表明了管道的阻力减小,灰气比浓度偏低,此时应该减小流量调节阀的开度,从而实现减小补气量,提高灰气浓度比,通过 PID 计算得出流量调节阀的具体开度^[5-6]。

吹扫阶段: 当泵内压力减小到某一值时,吹扫阀打开。当泵内粉煤灰输送完毕,管道阻力小,根据恒压输送原理,流量调节阀自动关小直至关闭,压力降低到设定值,吹扫阀、输送阀关闭,在延时一定时间后排料阀关闭,从而完成一次工作循环。

粉煤灰恒压输送的关键在于恒压输送阶段是否稳定可靠,这就对 PID 控制器提出更高的要求。工作需要 PID 控制器进行深入的研究,为工程实践做好充分的准备工作。

2 PID 控制器模型的构建

2.1 PID 控制器模型特性的分析

粉煤灰恒压输送系统的基本结构如图 1。

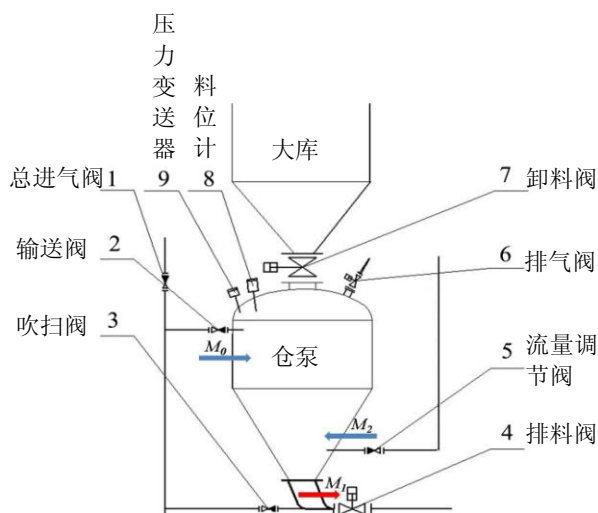


图 1 粉煤灰恒压输送系统的基本机构

(1) 仓泵的特性

仓泵内的压强变化率=从输送阀进入仓泵内的空气量产生的压强+从流量调节阀进入仓泵内的空气量产生的压强-从排料阀排出的物料所减小的压强

C_1 —仓泵的容重

M_0 —由输送阀增加的仓泵气压重度

M_1 —由排料阀导致仓泵减小的气压重度

M_2 —由流量调节阀增加的仓泵气压重度

L_0 —输送阀的送风量 (m^3/s)

L_2 —流量调节阀的送风量 (m^3/s)

L —排料阀的排风量 (m^3/s)

α —增压流化系数

β —排料流化系数

γ_a —空气重度 (kg/m^3)

用数学表达式来描述:

$$C_1 \frac{dL}{d\tau} = M_0 + M_2 - M_1 = \alpha L_0 \gamma_a + \alpha L_2 \gamma_a - \beta L \gamma_a$$

将式移项并整理得:

$$C_1 \frac{dL}{d\tau} + \beta L \gamma_a = \alpha \gamma_a (L_0 + L_2)$$

将方程两边各项乘 $\frac{1}{\beta L}$, 得:

$$\frac{C_1}{\alpha \gamma_a} \frac{dL}{d\tau} + L = \frac{\alpha (L_0 + L_2)}{\beta}$$

令: $T = \frac{C_1}{\alpha \gamma_a}$ —仓泵的时间常数

$K = \frac{\alpha}{\beta}$ —仓泵的放大系数

于是: $T \frac{dL}{d\tau} + L = K(L_0 + L_2)$

两边进行拉氏变换, 可得:

$$(Ts+1)L(s) = K(L_0(s) + L_2(s))$$

于是得到仓泵的传递函数:

$$G(s) = \frac{L(s)}{L_0(s) + L_2(s)} = \frac{K}{Ts+1}$$

(2) 执行器的特性^[7]

在粉煤灰恒压输送 PID 控制系统工作中, 流量调节阀实时调节仓泵中压缩空气的进气量, 根据

流量调节阀的工作特征, 其传递函数可近似为:

$$G(s) = \frac{Q(s)}{V(s)} = \frac{K}{s(Ts+1)}$$

式中: $Q(s)$ 为流量调节阀的输出压缩空气流量的拉氏变换; $V(s)$ 为执行器输入信号的拉氏变换; K 为流量调节阀的放大系数; T 为流量调节阀的时间常数。

当流量调节阀控制流量时, K 可按照下式取值:

$$K = \frac{\Delta(Q/Q_{\max})}{\Delta(A/A_{\max})} \cdot \frac{\Delta(A/A_{\max})}{\Delta V} = \frac{\Delta(Q/Q_{\max})}{\Delta V}$$

式中: $\Delta(Q/Q_{\max})$ 为流量调节阀可调节的最大相对压缩空气流量变化值(%); $\Delta(A/A_{\max})$ 为阀门相对开度的变化范围(%); ΔV 为流量调节阀输入信号的变化范围。

(3) 压力传感器的特性^[8]

压力传感器实时检测压力值的变化, 其动态方程为:

$$C \frac{dp}{d\tau} = \alpha F (p_n - p)$$

式中两边拉氏变换得压力传感器的传递函数为:

$$G(s) = \frac{P(s)}{P_n(s)} = \frac{\alpha F}{Cs + \alpha F} = \frac{1}{Ts + 1}$$

式中: C 为压力传感器的压容; T 为压力传感器的时间常数, $T = \frac{C}{\alpha F}$ 。

连续型 PID 控制的输出算式:

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}]$$

式中: K_p 为比例环节增益; T_i 为积分环节时间常数; T_d 为微分环节时间常数。将上式两边进行拉氏变换, 可得传递函数为:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

式中: $U(s)$ 为 PID 控制器输出拉氏变换; $E(s)$ 为 PID 控制器输入拉氏变换; K_I 为积分增益; K_D 为微分增益。系统中执行器流量调节阀的滞后时间为 τ_2 ; 被控对象浓相泵的滞后时间为 τ_1 。粉煤灰恒压输送 PID 控制框图如图 2。

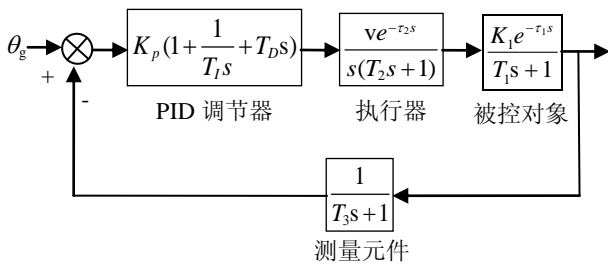


图 2 粉煤灰恒压输送 PID 控制框图

2.2 PID 控制器参数的整定

在粉煤灰恒压输送 PID 控制系统调节过程中, 要想达到良好的控制调节品质, 需要对 PID 控制 3 个待定参数 K_p , K_i 和 K_d 进行整定设置, 其他参数根据实际生产运行情况及相关资料^[9]取值: $T_1=10$ s, $T_2=6$ s, $T_3=4$ s, $v=0.016$ Mpa/s, $\tau_1=4$ s, $\tau_2=4$ s, $K_1=0.2$ 。在 MATLAB 中根据 Ziegler-Nichols 临界比例系数法使用根轨迹函数 `rlocus` 以及 `rlcfind` 命令来确定 K_p , K_i , K_d , Ziegler-Nichols PID 参数整定表如表 1 所示, K_k 为穿越增益, T_k 为系统临界振荡周期, 具体程序如下:

表 1 Ziegler-Nichols PID 参数整定表

调节器	K_p	T_i	T_D
P	$0.5 K_k$	无	无
PI	$0.45 K_k$	$0.85 T_k$	无
PID	$0.6 K_k$	$0.5 T_k$	$0.125 T_k$

```
>> [pnum,pden]=pade(8,4); %对延迟项进行
四阶 padé拟合
```

```
>> num=conv(pnum,[0.016*0.2]); %开环传递
函数的分子
```

```
>> den=conv([1,0],conv([10,1],conv([6,1],conv([
4,1],pden)))); %开环传递函数的分母
```

```
>>rlocus(num,den);
```

```
>> [km, pole]=rlcfind(num,den);
```

```
Select a point in the graphics window
```

```
selected_point =
```

```
-0.0014 + 0.0457i %在图中选择根轨迹与
```

虚轴的焦点为临界稳定时的极点, 图 3 中红 “+” 标记为极点

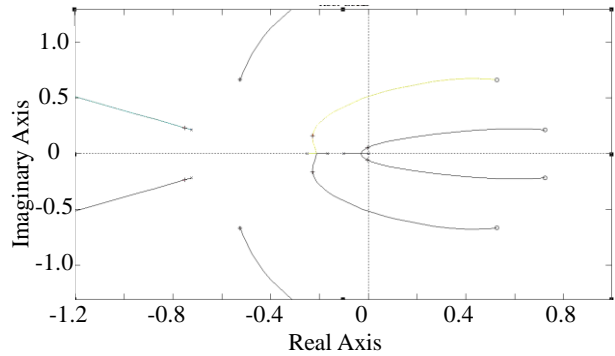


图 3 粉煤灰恒压输送 PID 控制系统的根轨迹

```
>> pole
```

```
pole =
```

```
-0.5252 + 0.6678i
```

```
-0.5252 - 0.6678i
```

```
-0.7475 + 0.2306i
```

```
-0.7475 - 0.2306i
```

```
-0.2282 + 0.1499i
```

```
-0.2282 - 0.1499i
```

```
-0.0074 + 0.0510i
```

```
-0.0074 - 0.0510i
```

```
>> wm=imag(pole(7)) %临界稳定的角频率
```

```
wm =
```

```
0.0510
```

```
>> kp=0.6*km
```

```
kp =
```

```
0.0096
```

```
>> ki=0.5*kp*wm/(2*pi)
```

```
ki =
```

```
3.8847e-005
```

```
>> kd=0.125*kp*wm/(2*pi)
```

```
kd =
```

```
9.7118e-006
```

3 模糊自整定 PID 控制器的设计

常规 PID 控制算法因为实时性好、易于实现、计算量小等特点被广泛运用在过程控制当中, 但对于大惯性、参数漂移大、纯滞后这些非线性分布参数不确定的系统中, 常规 PID 控制器却难以奏效^[10-11]。模糊自整定 PID 控制器将模糊控制和经典控制相结合, 利用模糊规则进行模糊推理, 能

够实现在线自动调整 PID 参数的功能以满足不同 E , EC 对控制参数的不同要求而使被控对象有良好的动、静性能, 对于数学模型繁琐、复杂的非线性系统能够达到很好的控制效果。粉煤灰恒压输送模糊自适应 PID 控制框图如图 4。

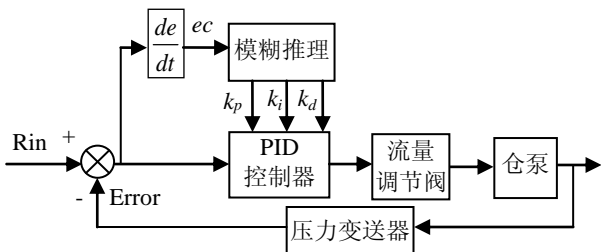
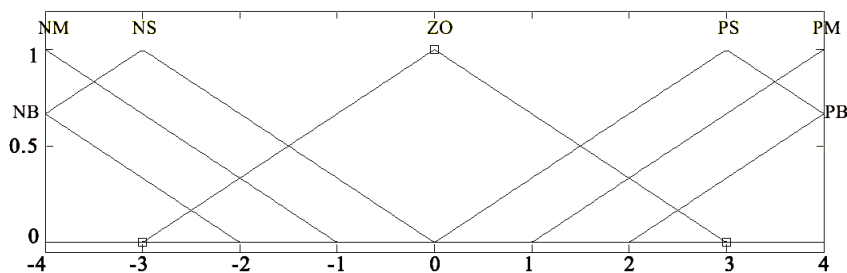


图 4 粉煤灰恒压输送模糊自适应 PID 控制框图

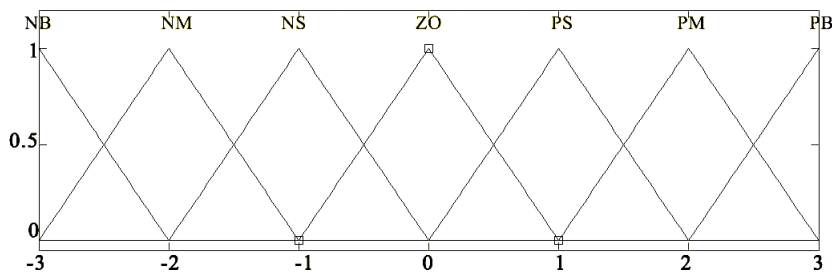
3.1 隶属度函数的建立

粉煤灰恒压输送模糊自适应 PID 控制器采用

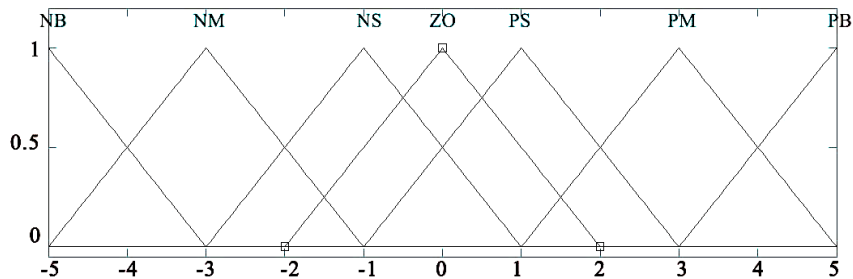
双输入、三输出的控制器, 将误差 E 和误差的变化率 EC 作为输入, 将 PID 的 3 个参数 K_p , K_i , K_d 作为输出。设定输入 E 的论域值为 $(-4, 4)$, 输入 EC 的论域值为 $(-3, 3)$, 输出的论域值均为 $(-5, 5)$ 。在相应论域上的语言值为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$, 各元素分别代表负大, 负中, 负小, 0, 正小, 正中, 正大。各变量的隶属度函数均选择三角函数, 如图 5 所示。由于气固两相紊流的存在, 每次检测的压力值会具有一定的波动, 为了保证压强稳定在误差允许的范围之内, 容许误差 E 可以有较小的偏差, 因此设置误差 E 两端密、中间疏的隶属函数。为了使偏差小时减小超调量、提高响应精度, 偏差大时又要增大响应速度, 所以设置中间密、两头疏的输出量隶属函数^[12]。



(a) 输入变量 E



(b) 输入变量 EC



(c) 输出变量 K_p, K_i, K_d

图 5 各变量的隶属度函数

3.2 模糊控制规则的建立

如果系统误差产生, PID 控制器就会马上起到作用使控制对象向着误差减小的方向变化。\$K_p\$ 制约着控制作用的强弱, \$K_p\$ 增大可以减小静差, 加快系统的响应速度和提高系统的调节精度, 但是 \$K_p\$ 太大容易增大系统的超调量, 从而影响动态性能。\$K_i\$ 具有消除系统稳态误差的作用, 同时具有滞后特性, \$K_i\$ 增大越能较快的消除静态误差, 但是 \$K_i\$ 过大容易产生较大超调和积分饱和的现象, 从而影响系统的稳定性。\$K_d\$ 的作用是改善系统的动态特性, 对偏差的变化进行提前预报来抑制偏差向任何方向变化。但 \$K_d\$ 过大会提前制动响应过程从而延长调节时间, 并且会降低系统抗干扰能力^[13]。在整定 PID 的 3 个参数时, 必须考虑到它们在不同时刻的作用以及相互之间的联系。根据实际操作经验和总结工程设计人员的技术知识, 列出模糊规则表如表 2~4 所示。模糊子集 \$E, EC\$ 服从正太分布, 根据各输入参数模糊控制模型的测量值和各模糊子集隶属度函数的赋值, 应用 Mamdani 模糊控制合成并应用反模糊化加权平均算法对 \$K_p, K_i\$ 和 \$K_d\$ 进行模糊判决, 最终得出输出参数 \$K_p, K_i\$ 和 \$K_d\$ 的精确值如下:

$$K_p = K_p' + \frac{\sum_{j=1}^7 u_j(e, ec) \cdot \Delta K_{pj}}{\sum_{j=1}^7 u_j(e, ec)}$$

$$K_i = K_i' + \frac{\sum_{j=1}^7 u_j(e, ec) \cdot \Delta K_{ij}}{\sum_{j=1}^7 u_j(e, ec)}$$

$$K_d = K_d' + \frac{\sum_{j=1}^7 u_j(e, ec) \cdot \Delta K_{dj}}{\sum_{j=1}^7 u_j(e, ec)}$$

表 2 \$K_p\$ 模糊规则表

E \ EC	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 3 \$K_i\$ 模糊规则表

E \ EC	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 4 \$K_d\$ 模糊规则表

E \ EC	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

在 MATLAB 中调用 FIS 编辑器, 并进行相应的模糊控制器编辑, 在 Rule Editor 窗口中建立 \$7*7=49\$ 条的模糊控制规则。通过用 If...Then... 条件语句来表示模糊控制规则如下。

.....

If(E is PM)and(EC is NS)then(Kp is NS)(Ki is PS)(Kd is PS)

If(E is PM)and(EC is ZO)then(Kp is NM)(Ki is NM)(Kd is PS)

If(E is PM)and(EC is PS)then(Kp is NM)(Ki is

PM)(Kd is PS)

.....

.....

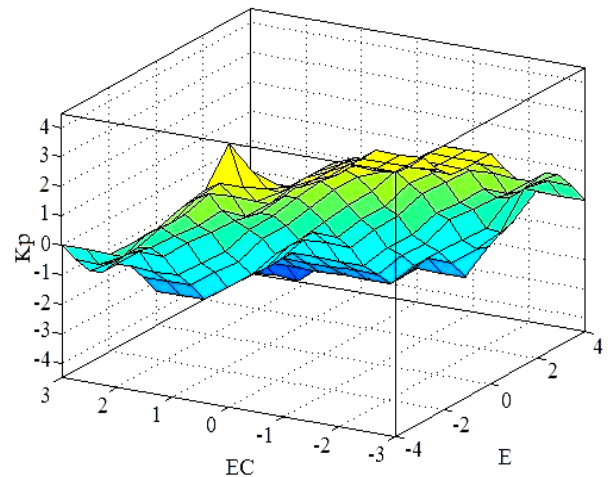
If(E is PM)and(EC is PB)then(Kp is NB)(Ki is PB)(Kd is PB)

模糊控制器按照相应规律对 K_p , K_i , K_d 进行调节, 参数调节的模糊规则控制曲面如图 6 所示。

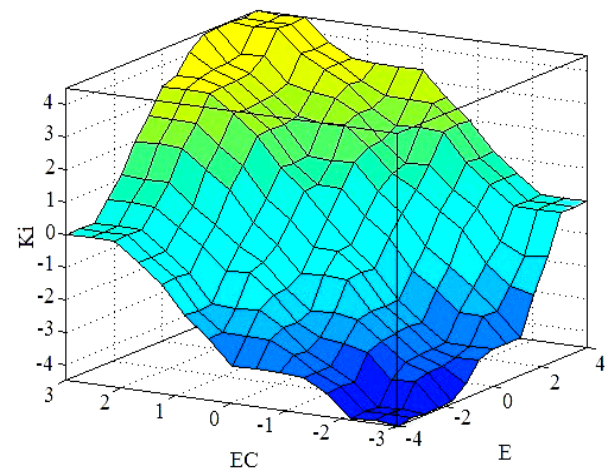
4 模糊 PID 控制器的仿真研究

运用 MATLAB 中的 Simulink 编辑框进行粉煤灰恒压输送 PID 控制模拟仿真实验。在 Simulink 中建立的仿真框图如图 7 所示。通过 MATLAB 应用根轨迹函数已确定 PID 控制的三个参数的初始值 $K_p=0.0096$, $K_i=3.8847e-005$, $K_d=9.7118e-006$ 。在模糊控制器中, 误差 E 的量化因子 K_e 和误差变化率的量化因子 K_{ec} 对系统动态性能有较大影响。系统会随着 K_e 值增大, 延长过渡时间, 增大超调量; 随着 K_{ec} 值增大, 超调量会减小, 响应速度也会减小。事实上 K_e 和 K_{ec} 两者之间也会互相影响。根据模糊自整定 PID 控制系统选择的输入、输出的基本论域与模糊论域, 通过采样多组量化因子使系统处于较好的控制状态设置: $K_e=1.2$, $K_{ec}=1.5$ 。在单位阶跃信号为输入, 采样时间是 1ms 的条件下, 模糊自适应 PID 与常规 PID 的仿真控制结果如图 8 所示。

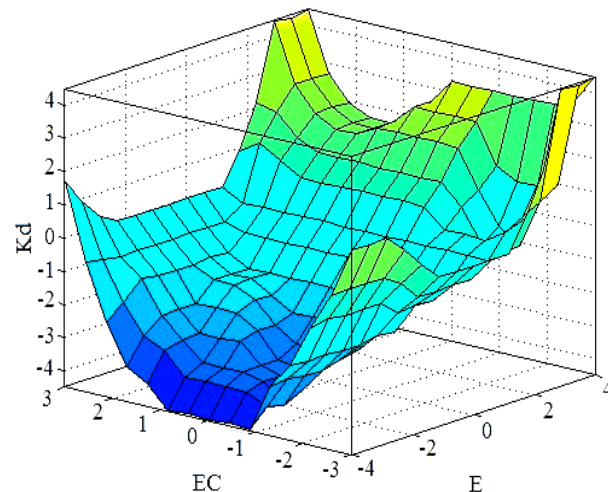
对比 2 种控制方法, 从粉煤灰恒压输送 PID 控制仿真结果曲线上可以看出: 在采用传统 PID 控制时, 上升时间 $t_r=6.67$ s; 峰值时间 $t_p=11.67$ s; 最大超调量 $\sigma_p=60\%$; 允许稳态误差范围在 $\pm 5\%$ 内, 调节时间 $t_s=36.5$ s。在应用模糊自适应 PID 控制时, 上升时间 $t_r=5.45$ s; 峰值时间 $t_p=8.4$ s; 最大超调量 $\sigma_p=19\%$; 允许稳态误差范围在 $\pm 5\%$ 内, 调节时间 $t_s=26.25$ s。模糊自适应 PID 控制器应用在线性系统中调节时间短、超调量明显减小、响应速度增快, 相比传统 PID 控制器的静态特性和动态特性都有显著的提高。



(a) K_p 的模糊控制曲面



(b) K_i 的模糊控制曲面



(c) K_d 的模糊控制曲面

图 6 模糊控制曲面

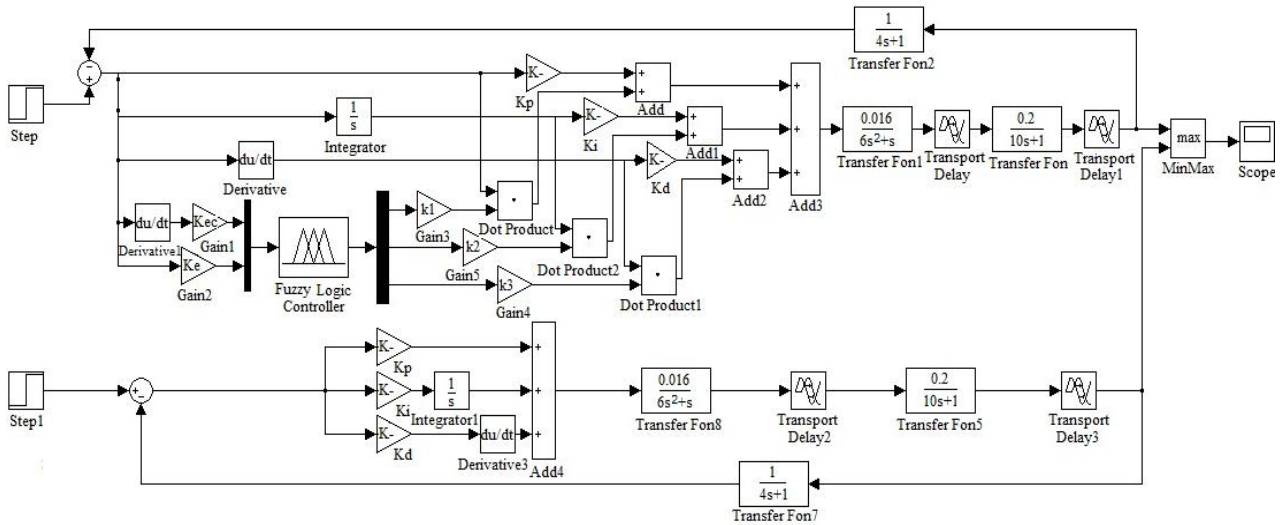
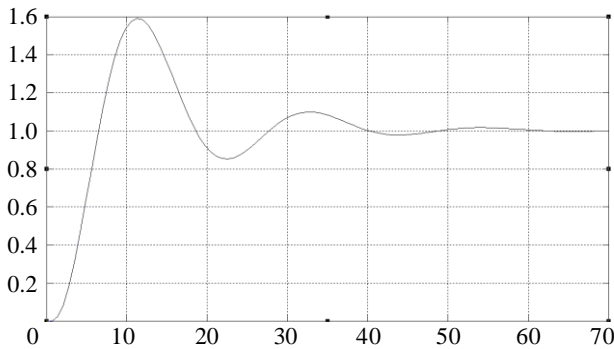
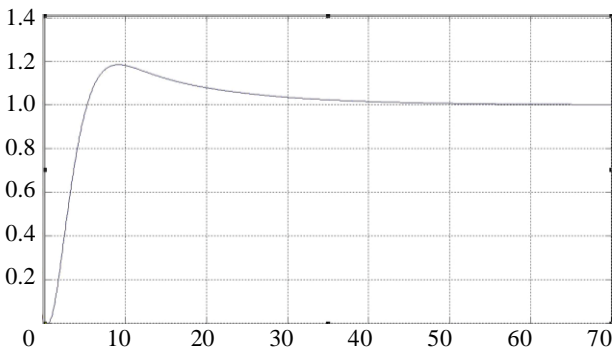


图 7 粉煤灰恒压输送模糊自适应 PID 控制的仿真系统



(a) 常规 PID 控制



(b) 模糊自适应 PID 控制

图 8 粉煤灰恒压输送 PID 控制仿真曲线

5 结论

本文对粉煤灰恒压输送系统的核心 PID 控制器进行了深入的研究, 对其建立了传递函数模型。结合模糊控制理论在传统 PID 控制器的基础上, 引入了具有良好灵活性和鲁棒性的模糊自适应 PID 控制器, 并应用 MATLAB 软件中的 Simulink

对 2 种 PID 控制方式进行了仿真研究。仿真结果证明把模糊控制算法应用到粉煤灰恒压输送控制中具有相当明显的优势, 粉煤灰恒压输送模糊自适应 PID 控制器突显出其良好的静态特性、动态特性、抗干扰性以及智能性、稳定性和鲁棒性, 能更好地满足粉煤灰恒压输送非线性系统的应用要求。这为粉煤灰恒压气力输送控制系统后续的基于 PLC 的自适应 PID 控制系统的工程实践提供了可靠的理论指导和依据。

参考文献:

- [1] 楼建勇, 林江. 气力输送系统的研究现状及发展趋势 [J]. 轻工机械, 2008, 26(3): 4-7.
- [2] 肖艳军, 孙英培, 李永聪, 孟宪乐. 双泵式粉煤灰恒压输送系统的研究与应用 [J]. 煤炭工程, 2014, 46(7): 121-123.
- [3] Evgeny Rabinovich, Haim Kalman. Threshold velocities of particle-fluid flows in horizontal pipes and ducts: literature review [J]. Reviews in Chemical Engineering (S0167-8299), 2011, 27(5): 215-239.
- [4] S K Jain, S S K Titus. Performance of a piezoelectric force actuator in low force measurement application [J]. Journal of Mechatronics (S2326-2885), 2013, 1(2): 109-111.
- [5] S B Kuang, A B Yu. Micromechanic modeling and analysis of the flow regimes in horizontal pneumatic conveying [J]. AIChE Journal (S0001-1541), 2011, 57(10): 2708-2725.