

自适应模糊 PID 控制在压射控制系统中的应用^①

宋立业, 彭继慎, 程 英, 李志福

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

摘 要: 压铸机工作环境恶劣, 干扰较多, 使参数发生较大变化, 影响系统的稳定性, 传统的 PID 线性控制在被控对象发生变化时, 控制特性也随即发生变化。针对这个缺点, 采用自适应模糊 PID 控制技术, 并利用模糊控制的智能非线性特点来弥补 PID 控制器, 从而对电液比例阀进行良好的控制, 使系统达到一个最优的控制状态。通过实验仿真可知自适应模糊 PID 控制方法的可行性。

关键词: 自适应; 模糊 PID; 压射控制; 智能非线性; 电液比例阀

Application of Adaptive Fuzzy PID Control to Press-Shoot Control System

SONG Li-Ye, PENG Ji-Shen, CHENG Ying, LI Zhi-Fu

(Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: Die casting machine working in bad environments, with more interferences, making parameters take place great changes, affects the stability of system, in the traditional PID linear control when controlled object changed, the control characteristic changed immediately. According to this shortcoming, this paper using Adaptive fuzzy PID control technology, and by using the nonlinear characteristics of fuzzy control to compensate PID controller, thus to the good control of electrohydraulic proportional valve, making the system to achieve an optimal control state. Through the simulation results we can see that the adaptive fuzzy PID control method is feasible.

Key words: adaptive; fuzzy PID; press-shoot control; intelligent nonlinear; electrohydraulic proportional valve

在压铸过程中, 影响铸件质量的重要参量之一的压射比压, 是压铸室内液体金属单位面积上所受的力。根据不同的合金和铸件结构特性, 应该选择不同的压射比压^[1,2]。由于压射活塞和压射冲头的截面积是确定的, 压射比压决定于蓄能器的作用, 而蓄能器由电液比例阀控制其开口的大小。由此我们可以知道, 通过控制电磁阀的开度, 我们就可以控制蓄能器注入压射室的油量及油压, 从而达到控制压射比压的目的。

电液比例阀, 以液压控制阀为基础, 采用电—机械转换装置, 将电信号转换为位移信号, 按输入电信号指令连续、成比例地控制液压系统的压力、流量或方向等参数^[3,4]。检测电路将这些参数送入处理器进行信号处理。本系统选用的对电液比例阀的控制策略为进行自适应模糊 PID 的闭环控制。根据系统初期设置

一个电液比例阀的位移量与实际的位移量做比较得到的误差信号作为输入信号。采取适当的控制策略输出 4-20mA 的标准电流信号控制电液比例阀的开度, 使蓄能器在压铸过程中保持恒定不变的力值, 也使得压射比压稳定在合理的范围内, 保证铸件的质量。

1 自适应模糊PID控制器的结构

压铸机实时控制系统中自适应模糊-PID 控制器选用二维输入一维输出的结构, 其框图如图 1 所示^[5]。自适应模糊 PID 控制器电液比例阀的阀芯位移量的偏差 e 和偏差变化率 e_c 作为输入信号, 电液比例阀的控制电流 i 作为输出信号。根据系统最初设定的初值与实际传感器测量的值相比较, 得到偏差信号 e , 并对其求导得到偏差化率 e_c , 然后通过模糊处理转变为模

① 基金项目:辽宁省教育厅创新团队项目(LT20100047);辽宁教育厅优秀人才计划项目(2008RC25)

收稿时间:2011-06-20;收到修改稿时间:2011-07-23

糊量 E 和 E_c ，再经过模糊推理过程做出模糊决策，确定 PID 控制器的参数 K_P 、 K_i 和 K_d ，最终根据 PID 控制算法求出电液比例阀的控制电流 i 。自适应模糊 PID 控制器可以满足不同时刻偏差 e 和偏差变化率 e_c 对 PID 参数整定的要求^[6]。PID 参数自整定的基本思想是：先找出 PID 三个参数与偏差 e 和偏差变化率 e_c 之间的模糊关系，在控制中不断检测 e 和 e_c ，再根据模糊控制原理对 PID 的三个参数进行修改，以满足不同 e 和 e_c 情况下对 PID 控制器参数的不同要求，最终根据 PID 控制算法求出电液比例阀的控制电流 i 。从而使系统取得良好的动态和稳态性能。

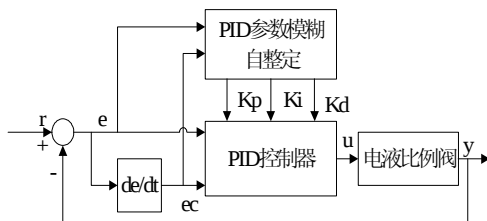


图1 自适应模糊PID控制框图

2 模糊控制器隶属度函数的确定

由图1可知，模糊控制器的输入量为偏差 e 和偏差变化率 e_c ，输出量为PID控制器的参数 K_P 、 K_i 和 K_d 。偏差的语言变量 E 和偏差变化率的语言变量的模糊论域取为 $[-1, 1]$ ，它们的模糊语言变量值都取 NB ， NM ， NS ， ZE ， PS ， PM ， PB 。比例系数语言变量 ΔK_P 、积分系数语言变量 ΔK_i 、微分系数语言变量 ΔK_d 的模糊论域均取为 $[-3, 3]$ ，它们的模糊语言变量值都取 NB ， NM ， NS ， ZE ， PS ， PM ， PB 。具体应用时将自适应模糊PID控制器的输入量通过量化因子 k_e 和 k_{ec} 调整后，模糊化为模糊量供给模糊推理系统使用，模糊推理系统根据控制规则决定的模糊关系，应用模糊推理算法和逆模糊化过程得出PID控制

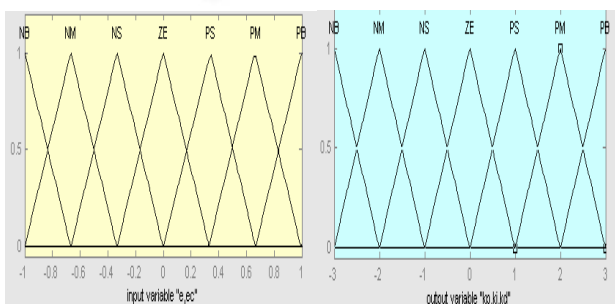


图2 输入输出变量的隶属度函数

器的比例、积分和微分参数的变化量，再将此量乘以量化比例因子 k_{u1} 、 k_{u2} 和 k_{u3} ，得到最终的PID参数变化量，通过和上一次的参数进行线性运算，最后参与实现PID控制。模糊控制器的输入、输出变量的隶属度函数都选择三角形(trimf)函数，如图2所示。

3 PID参数的模糊调整规则

压铸机实时控制系统要完成对压射速度和增压压力的闭环控制，首先要根据检测到的偏差量 e 以及偏差变化率 e_c 输入模糊控制器，依照传统经验对PID参数 K_P 、 K_i 、 K_d 进行模糊规则整定，如表1~3所示：

表1 ΔK_P 模糊规则表

ΔK_P	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	ZE
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZE	ZE
NS	PM	PM	PM	PS	ZE	NS	NS
ZE	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZE	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZE	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZE	ZE	NM	NM	NM	NB	NB

(1) 当位移偏差 $|e|$ 较大时，为了体现实时系统的快速性，应取较大的 K_P ；同时为了避免偏差 e 增大的瞬间，可能出现的微分过饱和而使控制作用超出许可范围，故应选取较小的 K_d ；同时为了防止系统在响应较快时出现较大的超调，产生积分饱和，在快速响应阶段要对积分作用加以限制，通常去掉积分作用，取 $K_i=0$ 。

表2 ΔK_i 模糊规则表

ΔK_i	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZE	ZE
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	ZE	ZE	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB	PB

(2) 当偏差 $|e|$ 和偏差变化率 $|e_c|$ 处于中等大小时，为了使系统响应具有较小的超调， K_P 应取小一些， K_i 取值适当， K_d 的取值对系统影响较大，取值要大小适中，以保证系统的响应速度。

表 3 ΔK_d 模糊规则表

ΔK_d	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	PS	NB	NM	NM	NS	PS
NS	ZE	NS	NM	NM	NS	NS	ZE
ZE	ZE	NS	NS	NS	NS	NS	ZE
PS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PM	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

(3) 当 $|e|$ 较小即接近于设定值时, 为使系统有良好的稳态性能, 应增加 K_P 和 K_i 的取值, 同时为避免系统在设定值附近出现振荡, 并考虑系统的抗干扰性能, K_d 的取值相当重要。一般 $|e|$ 较小时, K_d 取值应该较大些; 当 $|e|$ 较大时, K_d 取值应该较小些。

(4) 偏差变化量 $|e_c|$ 的大小表明偏差的变化率, $|e_c|$ 值较大, K_P 的取值越小, K_i 取值越大。

根据 PID 参数在控制系统中对于响应速度、稳态误差以及超调等方面的作用, 本设计分析了在不同的偏差及偏差变化率下对 PID 参数的要求。也可以认识是在自适应模糊 PID 控制系统中对于不同的偏差和偏差变化率, 参数 ΔK_P 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的自整定原则。

4 模糊推理及清晰化

根据前面的模糊规则, 对于输入偏差和偏差变化率经过推理可以得出相应的输出。

设 x , y 和 z 代表控制器的输入和输出的语言变量 A_i , B_i , C_i 和是语言变量的语言值, 输入量的模糊集合为 A' 和 B' , 输出量的模糊集合为 C' 。则模糊控制规则: IF x is A_i and y is B_i THEN z is C_i 的模糊蕴含关系为 R_i :

$$R_i = (A_i \text{ and } B_i) \uparrow C_i \quad (1)$$

本研究中, $A_i \text{ and } B_i$ 采用求交运算, 蕴含关系运算采用最小运算, 则:

$$A_i \text{ and } B_i = A_i \times B_i = A_i^T \times B_i \quad (2)$$

$$R_i = R'_{A \times B} < C_i \quad (3)$$

49 条模糊控制规则的总的模糊蕴含关系 R 为:

$$R = \bigcup_{i=1}^{49} R_i \quad (4)$$

最后求得推理的结论为:

$$C' = (A' \text{ and } B') \circ R \quad (5)$$

合成运算“ $\circ$ ”采用最大-最小合成法。此推理可以求出 ΔK_P , ΔK_i 和 ΔK_d 在不同偏差和偏差变化率下的所有模糊规则调整的隶属度。

在某一采样时刻, 根据偏差和偏差变化率的测量值可求得 ΔK_P , ΔK_i 和 ΔK_d 的清晰量:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{49} z_i \mu_i(z_i)}{\sum_{i=1}^{49} \mu_i(z_i)} \quad (6)$$

式中, $\mu_i(z_i)$ ($i=1,2,\dots,49$)是由当前偏差 e 和偏差变化率 e_c 的测量值经量化后的 E 和 E_c 对应的隶属度求得的对应用于 ΔK_P , ΔK_i 和 ΔK_d 模糊控制规则表中各种组合的 ΔK_P , ΔK_i 和 ΔK_d 的隶属度。这里采用的清晰化方法为加权平均法。根据上面的公式就可以计算出在不同的偏差和偏差变化率下, PID 参数调整量的输出值, 但这些值还不能用于修正 PID 参数, 还要乘以一个比例因子。PID 参数的整定算式为:

$$K_p = K_{p0} + k_{u1} \Delta K_P \quad (7)$$

$$K_i = K_{i0} + k_{u2} \Delta K_i \quad (8)$$

$$K_d = K_{d0} + k_{u3} \Delta K_d \quad (9)$$

式中 K_{p0} 、 K_{i0} 、 K_{d0} 是 K_P 、 K_i 、 K_d 的初始值, 它们通过常规的方法得到。 ΔK_P , ΔK_i 和 ΔK_d 是模糊控制器的输出, 即 PID 参数的校正量。

5 实验仿真

典型的自适应模糊 PID 控制器的结构如图 1 所示, 电液比例阀是一种接受电气信号, 相应输出调制流量和压力的液压控制阀。设压铸机系统采用流量型电液比例阀, 其二阶近似传递函数为:

$$\frac{Q(s)}{U(s)} = \frac{k}{\frac{s^2}{\omega^2} + \frac{2\zeta}{\omega}s + 1} \quad (10)$$

其中: $Q(s)$ 为输出流量; $U(s)$ 为输入电流; k 为比例阀固有频率; X 为比例阀阻尼比; S 为传递函数中的变量; ω 为振荡频率。由于压射过程油缸活塞所受的阻力很小, 在仿真过程中近似地认为增压压力与进入油缸液压油的体积成正比, 即比例阀的输出流量与最终的增压压之间的传函为比例环节。其 simulink 仿真框图如图 3 所示。

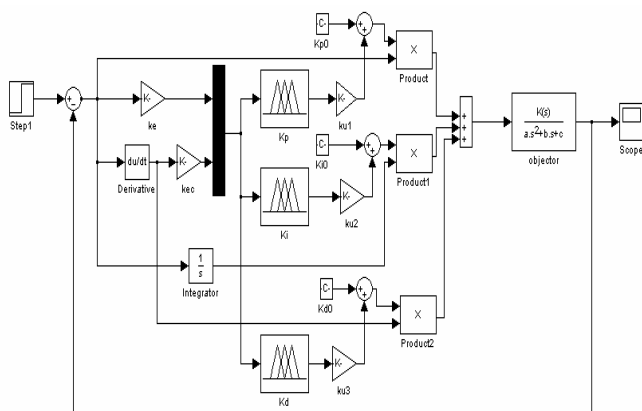


图 3 自适应模糊 PID 控制 SIMULINK 仿真框图

对整个控制系统加上一个幅值为 10 的阶跃激励信号, 采用变步长的 ode45 数值算法。系统仿真结果如图 5 所示。图 4 为采用常规 PID 控制的仿真图形。对比两图可以看出, 采用自适应模糊 PID 控制的仿真曲线能够根据偏差 e 和偏差变化率 e_c 对 PID 算法的三个参数 K_P 、 K_i 、 K_d 进行在线修正, 得到的系统动态响应曲线比常规 PID 的好, 其中超调量小, 响应速度较快, 系统遇到干扰时很快恢复稳态, 能够很好的适应系统突变的要求。

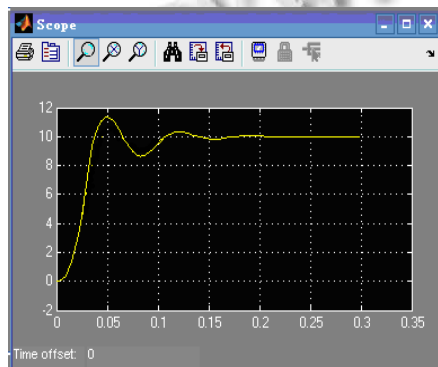


图 4 采用常规 PID 控制的仿真波形图

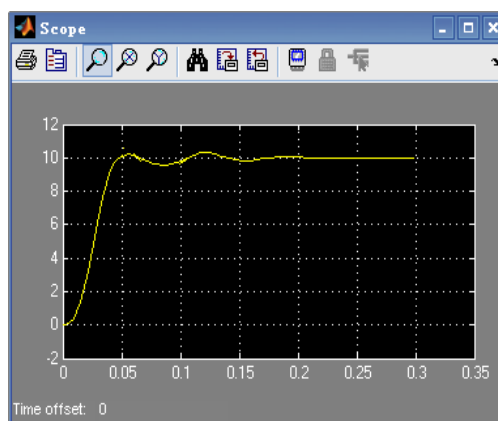


图 5 采用自适应模糊 PID 控制的仿真波形图

6 结论

制不能够保证系统的稳定性, 针对这个缺点, 文中采用自适应模糊 PID 控制技术, 来弥补传统的 PID 控制器对电液比例阀进行良好的控制。最终将常规 PID 控制和自适应模糊 PID 控制的仿真图进行比较, 证明了自适应模糊 PID 控制明显优于常规 PID 控制, 不仅发挥模糊控制的鲁棒性好、动态响应好、上升时间快和超调小的特点, 又具有 PID 控制器的动态跟踪品质和稳态精度, 使系统达到一个最优的控制状态。

参考文献

- 1 Glodak JA. Modeling of Air Venting in Pressure Die Casting Proeess. Jomal of Manufaeturing Science and Engineering, 2004.
- 2 皮志勇. 压铸机规格的确定及锁模力不足解决方法. 压铸模技术, 2007, (3): 38-39.
- 3 Park B. Effect of eavity Pre-fill and geometry on flow patternsand air entrapment in the die eavity in cold chamer dieeasting. Ohio: The Ohio State University, 2001.
- 4 李小龙, 夏琴香, 周思聪, 林叶海, 叶小舟. 电液比例控制技术和策略及其在锻压设备中的应用. 机床与液压, 2010, 38(11): 119-126.
- 5 童正环, 江颖, 张佩许, 伟明. 自适应模糊控制器的实现. 仪器仪表报, 2006, 27(6): 1939-1940.
- 6 Bertoluzza C. Statistical Modeling. Analysis and Management of Fuzzy Data, 2002: 35-67.