

文章编号: 2095-4980(2013)04-0629-05

基于 T-S 模型模糊混合前馈的卷烟工艺风力控制

谢钟翔¹, 成佳庆², 张立勋³, 张振峰¹

(1.南华大学 三力公司, 湖南 衡阳 421001; 2.山东中烟工业有限责任公司 青州卷烟厂, 山东 青州 262500;
3.安徽中烟工业有限责任公司 阜阳卷烟厂, 安徽 阜阳 236020)

摘要: 为解决扁式布袋除尘器中脉冲喷吹对工艺风力除尘系统管道的负压造成的定时扰动问题, 提出一种基于 T-S 模糊模型的模糊控制结合脉冲喷吹和压力波动前馈的混合前馈控制方法。从山东和其他一些地方的集中工艺风力系统生产环境中的运行效果可以看出, 它有效地减弱了脉冲喷吹对于管道负压造成的扰动, 简化了控制, 具有良好的稳定性和鲁棒性。

关键词: T-S 模糊模型; 除尘器系统; 脉冲喷吹; 喷吹前馈补偿

中图分类号: TN911.7

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201304.0629

Wind control of cigarette process based on T-S model combined with feed-forward

XIE Zhong-xiang¹, CHENG Jia-qing², ZHANG Li-xun³, ZHANG Zhen-feng¹

(1.Sunny R&D High Tec Company, University of South China, Hengyang HuNan 421001, China;
2.Qingzhou Cigarette Factory, China Tobacco Shandong Industrial Co.,Ltd., Qingzhou Shandong 262500, China;
3.Fuyang Cigarette Factory, China Tobacco Anhui Industrial Co.,Ltd., Fuyang Anhui 236020, China)

Abstract: A mixed feed-forward control method based on T-S fuzzy model combined with pulse jet and pressure fluctuation feed-forward is proposed to decrease the timing disturbance on the negative pressure of wind dust removal pipeline caused by pulse jet in flat bag dedusting system. The proposed method is applied in the practical production environments with concentrated wind power processes in Shandong and other provinces. The operation results indicate that, it can effectively weaken the disturbance on pipeline negative pressure caused by pulse jet, and simplify the control with good stability and robustness.

Key words: T-S fuzzy model; dedusting system; pulse jet; injection feed-forward compensation

通风除尘系统采用的扁式布袋除尘器一般带有定时的脉冲喷吹清灰控制, 依靠脉冲喷吹释放一股压缩空气进入除尘布袋, 让布袋膨胀变形, 使附着在布袋上的粉尘落下来。脉冲喷吹对系统负压有明显干扰现象, 而且这种干扰呈现时间短、周期性强的特点, 在这种情况下使用反馈控制方式难以消除干扰对系统负压的影响。由于卷烟机集中工艺风力除尘系统要求系统负压稳定, 本文将定时的脉冲喷吹与前馈控制方式相结合, 融入到控制系统中, 通过实验, 可极大改善前馈控制的精确度和系统负压的稳定性。

1 控制方案

卷烟机集中工艺风力除尘系统是一套由控制器、变频器、压力传感器、风机、除尘器及风管等设备组成的系统, 现在使用的反馈控制是通过压力传感器检测压力, 反馈给可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC), 再由 PLC 对变频器进行控制, 控制流程如图 1 所示。图中: P —目标值; E —误差; U —控制; Y —输出值; F —反馈值; Q —扰动值; I —实际输出值。

在理想状态下系统无扰动时, 通过反馈控制系统能让系统快速稳定达到控制目标。然而在实际应用中, 卷烟机的工作状态变动, 变频器调速的响应滞后, 除尘器的定时喷吹等会给系统负压带来扰动。假设除尘器的定时喷吹为主要的扰动源, 视喷吹为周期脉冲, 脉冲大小符合高斯分布, 这种情况下, 前馈控制将扰动直接加入到控制中, 可以从理论上消除扰动带来的影响。

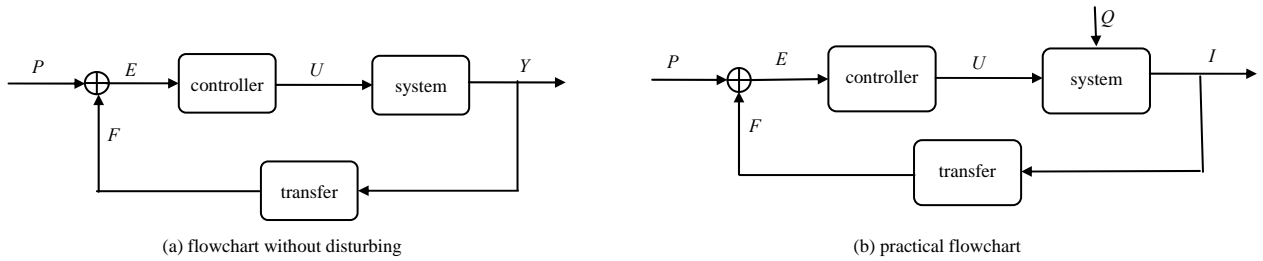


Fig.1 Flow of constant pressure control system for wind control in the process of cigarette production
图 1 卷烟机工艺风力恒压控制系统流程图

将除尘器、变频器及风管视为一个系统，变频器、风机和管网构成的系统如图 2 所示。

图中 I 为电流输入， $n=I \times D(s)$ ， $D(s)$ 为变频器与电机的数学模型， n 为电机输出转速，一般与输入电流 I 成正比关系。 G_1 为风机转速与流量的数学模型， G_2 为管道中流量与压力的数学模型。

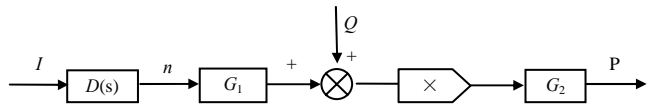


Fig.2 Open loop diagram of frequency converter, fan, dust collector and pipe network
图 2 变频器、风机除尘器及管网开环框图

假设风机尺寸和气体密度不发生改变，风机轴直径为 D_1 ，风机叶轮外沿直径为 D_2 ，直径比 $\varepsilon = D_2/D_1$ ，风机叶轮外沿转速 $\mu_2 = \varepsilon n$ ，风机流量系数为 φ ，根据文献[1]可知：

$$\varphi = \frac{Q}{\frac{\pi D_2^3}{4} \mu_2} \tag{1}$$

$$Q_c = Q \frac{\mu_{2c}}{\mu_2} \tag{2}$$

式中 Q_c 和 μ_{2c} 表示流量 Q 和转速 μ_2 的改变值，结合式(4)和式(5)可简化 G_1 为：

$$\frac{Q(s)}{\mu_2(s)} = \frac{K_b}{S + K_a} \tag{3}$$

式中： K_a 为延迟系数； K_b 为阻力系数。在确定管道阻尼系数 η 后，管道压力的数学模型可定义如下：

$$P = \eta Q^2 \tag{4}$$

喷吹视为对管道压力的扰动，对喷吹的流量进行补偿，补偿后系统根据管道压力做闭环反馈控制，控制框图如图 3 所示。

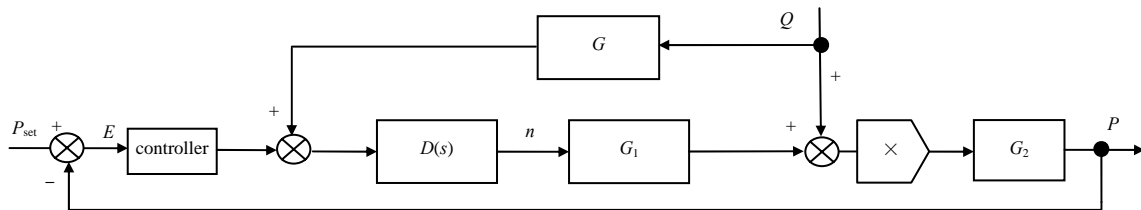


Fig.3 Flow chart of feed-forward control for dust removal system
图 3 除尘系统前馈控制框图

图中 G 为前馈补偿，要抵消喷吹加入的多余流量， $G(s)$ 必须满足如下公式^[2]：

$$G(s)D(s)G_1(s) + 1 = 0 \tag{5}$$

这里变频器设置为线性比例关系， $D(s) \approx \frac{I}{I_{max}} n_{max} = k$ ， I_{max} 是输入电流最大值， n_{max} 为最大转速。

由于管道压力与流量成平方关系，这里设计前馈控制器为 $G(s) = (t_1 s + 1)/(t_2 s + 1)$ ，只起到动态补偿作用。

本文系统的压力闭环控制器采用模糊控制器，模糊控制器的设计基于 T-S 模糊规则。由于系统在正常工作时压力的变化率小，为了最大化简化控制器的学习，将压力实际值与目标值之间误差的变化率作为前馈补偿与喷吹

流量的前馈补偿, 与模糊网络(Fuzzy Neural Network, FNN)的输出相加, 作为系统控制量的改变量 Δu 。

$$u(t) = u(t-1) + \Delta u(t) \tag{6}$$

Takagi-Sugeno^[3]提出的模糊规则后件是输入变量的线性规则, 即

$$R^i: \text{if } x_1 \text{ is } A_1^i, x_2 \text{ is } A_2^i, \dots, x_n \text{ is } A_n^i \tag{7}$$

$$\text{then } y^i = p_0^i + p_1^i x_1 + p_2^i x_2 + \dots + p_n^i x_n$$

用 $\mu_k^i(x_k)$ 表示当 x_k 属于 A_k^i 的隶属度函数, 通过 1 组输入 $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ 可以满足规则 R^i 的适应度:

$$\mu^i = \prod_{k=1}^n \mu_k^i \tag{8}$$

式中 Π 为模糊算子, 通常采取最小或乘积运算^[4]。

由诸规则输出加权平均可以得到总输出为:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^m y^i \mu^i}{\sum_{i=1}^m \mu^i} \tag{9}$$

2 基于前馈加反馈的复合控制实施方案

首先测量管道的压力和喷吹的流量数据, 再根据管道的实测负压与目标负压的比较值送入单输入单输出的 FNN, 管道和风机的参数由实际中的管道和风机来确定。Matlab 中建立的仿真框图如图 4 所示。

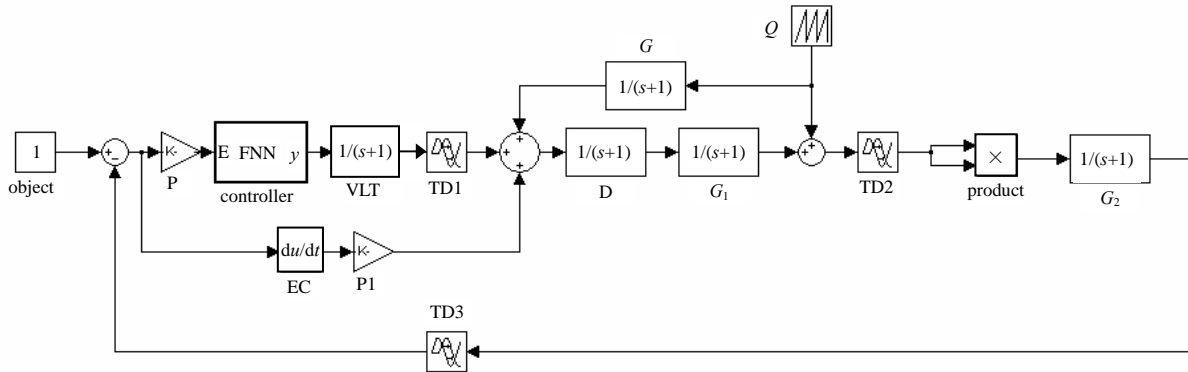


Fig.4 Simulation in Matlab
图 4 Matlab 中仿真控制框图

采集管道的压力数据可知, 管道压力在正常工作时所需的压力范围在 -10 500 Pa~-12 500 Pa 之间, 采用 FCM 模糊 C-均值(Fuzzy C-Means, FCM)方法^[5]辨识前件可得:

$$\begin{cases} \text{if } y^1(k) \in A1 & \text{then } y^1(k) = P_{01} + P_{11}x_1 + \dots + P_{r1}x_r \\ \text{if } y^2(k) \in A2 & \text{then } y^2(k) = P_{02} + P_{12}x_1 + \dots + P_{r2}x_r \\ \text{if } y^3(k) \in A3 & \text{then } y^3(k) = P_{03} + P_{13}x_1 + \dots + P_{r3}x_r \end{cases} \tag{10}$$

语言变量 $y(k)$ 为压力目标值与实际值之间的差值相对于目标值的百分比, 隶属于 $A1, A2$ 和 $A3$ 三个模糊子集。论域为 $[-10, 10]$ 之间, 隶属度函数如图 5 所示。

通过采集数据离线辨识可以得到:

$$\begin{cases} \text{if } y(t) \in A1 & \text{then } y^1(t) = 0.654y(t-1) - 0.08092y(t-2) + 0.4422u(t-1) \\ \text{if } y(t) \in A2 & \text{then } y^2(t) = 0.4522y(t-1) - 0.3092y(t-2) + 0.2371u(t-1) \\ \text{if } y(t) \in A3 & \text{then } y^3(t) = 0.1251y(t-1) - 0.3532y(t-2) + 0.4959u(t-1) \end{cases} \tag{11}$$

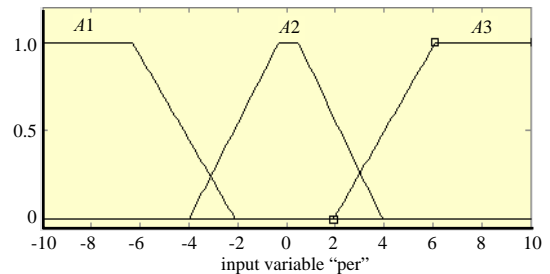


Fig.5 Membership function
图 5 隶属度函数

离线采集 170 组压力数据。仿真结果见图 6。

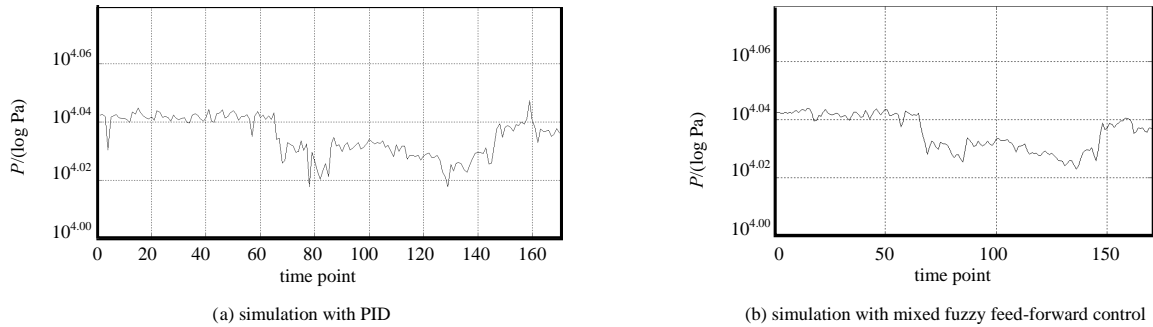


Fig.6 Comparison of simulation
图 6 仿真实验对比结果

图 6 的仿真结果表明，PID 控制结果的波动明显比模糊前馈控制大，对扰动的响应滞后于前馈控制，且振荡幅度高于模糊前馈。

实际工业运行环境中，由于生产情况，无法做多种方案比较，表 1 列出在实际运行情况下单机的压力采样数据以及阀门的控制效果，使用单位为山东某烟厂，图 7 为现场环境。

表 1 现场压力数据采样部分结果

Table1 Part of field sample data

pressure object	sampling time	P/Pa	pressure object	sampling time	P/Pa
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:31 AM	-9 653	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:46 AM	-10 706
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:32 AM	-9 665	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:47 AM	-10 706
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:33 AM	-9 699	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:48 AM	-10 683
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:34 AM	-9 815	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:49 AM	-10 162
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:35 AM	-9 931	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:50 AM	-9 665
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:36 AM	-10 047	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:51 AM	-9 942
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:37 AM	-9 954	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:52 AM	-10 093
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:38 AM	-10 579	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:53 AM	-10 093
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:39 AM	-10 533	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:54 AM	-10 128
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:40 AM	-10 591	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:55 AM	-10 000
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:41 AM	-10 591	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:56 AM	-10 104
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:43 AM	-10 591	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:57 AM	-10 128
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:44 AM	-10 683	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:58 AM	-10 162
IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:45 AM	-10 683	IOP.FC_01.BVEP[1]	6/9/2010 11:25:59 AM	-9 526



(a) dust removal room



(b) dust catcher and fan

Fig.7 Environment
图 7 现场环境

实际使用的系统配置西门子 S7-400 系列 PLC，采用工业以太网与现场控制子站连接，控制程序采用西门子 SCL 语言编写。现场中控系统监控画面某系统压力趋势截图见图 8。从图 8 可知，当压力曲线出现扰动和变化时，阀门响应动作迅速，压力变化稳定。

3 结论

通过仿真结果表明,与普通反馈控制方式(如传统 PID 方式)相比,模糊混合前馈控制方式使系统波动较小,更加平滑,响应速度有所提高,并且有效抑制了喷吹的干扰。该系统控制结构容易实现,非线性适应性更强,适合集中工艺风力系统负压的稳定控制。

参考文献:

- [1] 续魁昌. 风机手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1999. (XU Kuichang. Fans Handbook[M]. Beijing:Mechanic Industry Press, 1999.)
- [2] 方康玲. 过程控制系统[M]. 武汉:武汉理工大学出版社, 2007. (FANG Kangling. Process Control System[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2007.)
- [3] Takagi T, Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control[J]. IEEE Trans. Syst. Man Cybern., 1985, SMC_15(1):116-132.
- [4] 李少远, 李柠. 复杂系统的模糊预测控制及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2003. (LI Shaoyuan, LI Ning. Application of fuzzy control and prediction of complex systems[M]. Beijing:Science Press, 2003.)
- [5] 邢宗义, 胡维礼, 贾利民. 基于 T-S 模型的模糊预测控制研究[J]. 控制与决策, 2005, 20(5):495-499. (XING Zongyi, HU Weili, JIA Liming. Fuzzy predictive control based on T-S model [J]. Control and Decision, 2005, 20(5):495-499.)

作者简介:



谢钟翔(1983-), 男, 湖南省衡阳市人, 硕士, 从事卷烟厂集中风力系统电气控制设计工作. email: xzx0606@126.com.

成佳庆(1974-), 男, 山东省寿光市人, 工程师, 主管技术改造.

张立勋(1974-), 男, 安徽省利辛县人, 工程师, 从事仪表相关工作.

张振峰(1973-), 男, 湖南省衡阳市人, 高级工程师, 从事卷烟厂集中风力系统电气控制设计工作.

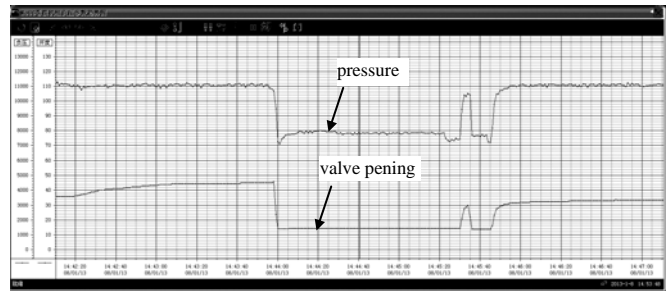


Fig.8 Monitor screen
图8 上位机监控画面