

# Smith—Fuzzy—PID 在集中供热控制系统中的应用研究

解英杰, 尤洋, 谢慕君

(长春工业大学 电气与电子工程学院, 长春 130012)

**摘要:** 供热过程存在的大惯性, 时变性, 滞后性等特性, 严重影响了供热过程的控制性能; 为了解决上述问题, 针对二次网进行了基于温度的流量调节; 并且分别针对滞后特性在 PID 的基础上加入了 Smith 算法, 针对时变特性又在 Smith 和 PID 基础上加入模糊控制, 分别就所建模型和由于扰动等外界因素造成的系统参数变化后的模型设计了 Smith—Fuzzy—PID 控制器并进行了仿真研究; 仿真结果表明, Smith—Fuzzy—PID 在模型精确和外界扰动两种情况下均能达到很好的控制效果, 方法可行有效。

**关键词:** 集中供热; 流量调节; Smith 预估控制; Smith—Fuzzy—PID 控制

## Applications Study of Smith—Fuzzy—PID in Central Heating System

Xie Yingjie, You Yang, Xie Mujun

(Chang Chun University of Technology, ChangChun 130012, China)

**Abstract:** The big inertia, time-varying delay, hysteresis characteristics of the heating process seriously affect the control performance. In order to solve the above problems design the flow adjustment based on temperature for the secondary network. And respectively for hysteresis characteristic join the Smith algorithm on the basis of the PID algorithm, and in view of time-varying delay characteristic join fuzzy control on the basis of Smith and PID control. Separately on the model we set up and the changed model due to external factors such as the disturbance designs a Smith—Fuzzy—PID controller and simulates the control effects. The simulation results show that Smith—Fuzzy—PID algorithm on the original model and changed model can achieve good control effect. And the method is feasible and effective.

**Keywords:** central heating; flow adjustment; Smith predictor; Smith—Fuzzy—PID

## 0 引言

集中供热系统由热源, 换热站, 热网和热用户组成。各组成部分中前三者的良好控制不仅影响着用户的采暖质量同时涉及到能源的最大限度节约。因此, 如何使采暖质量优质和节约能源达到双赢至关重要。集中供热系统中被控量温度和流量的特性决定了此系统具有工业过程控制中存在的大惯性, 纯滞后, 非线性等特性。针对纯滞后的特性王云飞<sup>[1]</sup>等针对非最小相时滞系统超调较大难以抑制的问题, 提出了一种基于 Smith 预估的 PID 控制方法, 在基于实验室 PLC 的油水分离器控制系统中体现了良好的控制效果; 安连祥<sup>[2]</sup>等人针对时滞引起失控等问题提出了一种改进的模糊 Smith 方法, 充分发挥了开关控制, 模糊控制和 PID 控制的作用, 收到了良好的控制效果; 张燕红<sup>[3]</sup>针对工业加热炉温度控制系统中加热炉出口温度的非线性, 时变性及滞后性的特点, 提出一种基于模糊 PID 和 Smith 预估器的串级控制器, 该控制器具有较好的鲁棒性, 提高了系统的动, 静态指标; 齐雪莲<sup>[4]</sup>等人在供暖调节系统中针对供热过程的大惯性, 时变性以及不确定性分别对预测模糊控制和 Smith 进行了仿真研究, 表明了广义预测模糊控制系统的良好控制效

果。借鉴前述作者的思想, 针对集中供热系统的时变和滞后特性, 本文在基于温度的流量调节系统中针对滞后问题拟采用在经典 PID 控制的基础上, 加入 Smith 预估控制, 针对过程中参数时变而 Smith 对参数较敏感的问题, 又引入模糊控制, 将 PID 控制与 Smith 控制以及模糊控制相结合来对集中供热过程进行控制。

## 1 集中供热原理概述

集中供热系统结构图如图 1 所示, 热源通过一次网将高温热水送往换热站, 在换热站进行热交换, 经二次网输送到热用户供热用户取暖。一次网的各参数一般由热电厂决定, 因此对换热站和二次网进行合理的运行调节和控制相当重要。目前二次网的运行调节方式包括质调节, 量调节, 分阶段变流量质调节, 质量流量调节和间歇调节<sup>[5]</sup>。鉴于我国国情, 应用最广泛的调节方式是质调节, 然而质调节存在着耗能较大的缺陷。随着技术的进步和节能环保的要求增高, 后几种调节方式也在一些区域陆续投入试行。本文采用基于温度的流量调节的方式, 即保持一次网电动调节阀基本不变, 通过调节二次网循环泵变频器的频率来改变二次网的流量从而保持二次网的回水温度不变。此种调节方法避免了目前应用较多的质调节功耗过大的缺点, 采纳了流量调节节能的优势, 也结合了我国国情, 即基于温度对流量进行调节控制。

## 2 控制系统仿真模型建立

### 2.1 控制系统 Simulink 仿真框图设计

针对工业过程中被控对象存在的纯滞后特性, Smith 提

收稿日期: 2014-06-23; 修回日期: 2014-08-01。

基金项目: 吉林省科技支撑重大项目(20126040)。

作者简介: 解英杰(1985-), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 主要从事现代节能技术方向的研究。

谢慕君(1969-), 女, 吉林磐石人, 教授, 博士, 主要从事现代节能技术和智能机械与机器人技术等方向的研究。

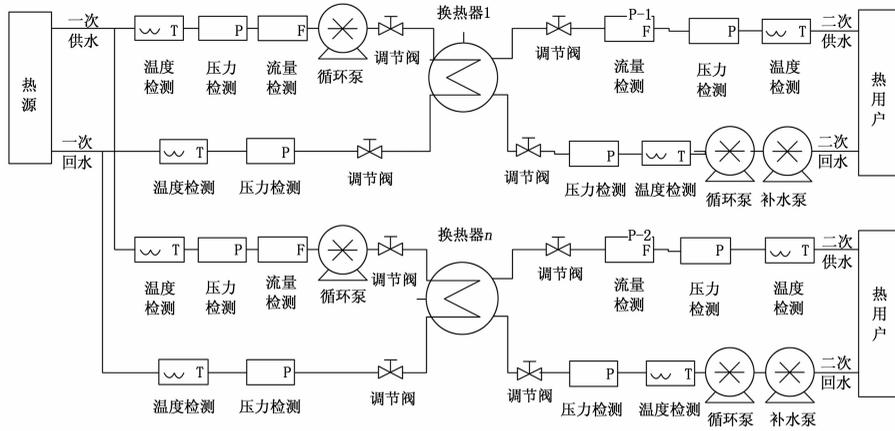


图 1 集中供热过程框图

出了一种纯滞后补偿模型，其原理为：与 PID 并接一补偿环节，该补偿环节即为 Smith 预估器<sup>[6]</sup>。实际上是利用人造模型的方法将 Smith 预估器反向并联在 PID 控制器上，实现将纯延

迟的环节转移到控制回路之外从而改善控制效果。针对集中供热系统控制框图，采用 MATLAB 的 simulink 建立基于 PID 控制算法以及 Smith-Fuzzy-PID 控制算法的控制系统仿真模型。其中二次网基于温度的流量调节结构框图如下图 2 所示，PID 与 Smith-Fuzzy-PID 控制算法的控制系统仿真模型如图 3 所示。

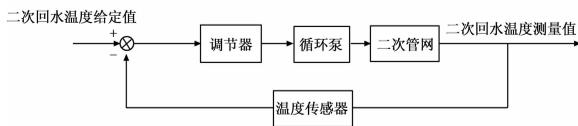


图 2 基于温度流量调节框图

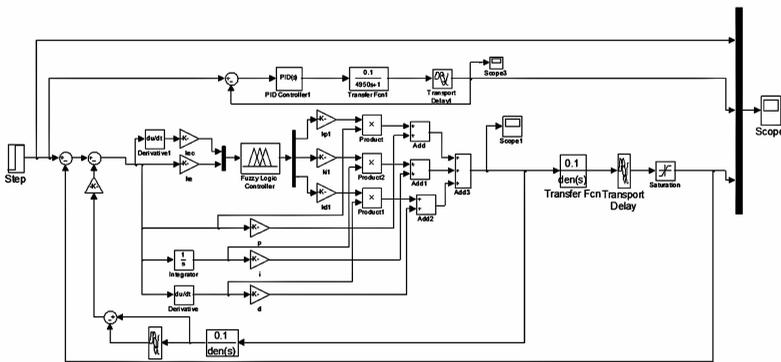


图 3 Smith-Fuzzy-PID 控制系统仿真模型

### 2.2 Smith-Fuzzy-PID 控制器设计

本设计中模糊控制器的输入为二次网回水温度的偏差  $e$  及偏差变化率  $ec$ ，输出为 PID 的 3 个参数  $k_p, k_i, k_d$ 。如此确定了一个双输入三输出的模糊控制器。控制器的模糊决策采用 Mamdani 型算法。控制器输入语言变量误差  $e$  和误差变化率  $ec$  及输出变量的模糊集都取 7 个变量  $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。设误差  $e$  和误差的变化  $ec$

的模糊子集的论域为  $\{-7, 7\}$ ； $k_p, k_i, k_d$  模糊子集的论域分别为  $\{-2, 2\}, \{-0.4, 0.4\}, \{-0.06, 0.06\}$ 。采用三角形隶属度函数及 Zadeh 推理，解模糊采用重心法。如表 1 所示。

### 3 仿真实验研究

#### 3.1 系统模型

本文结合课题组采用的长春市某换热站的实际情况，通过调节二次网循环泵变频器的频率来改变流量，使流量值从 173.21 (t/h) 增加至 206.11 (t/h)，每隔 600 s 采集二次网回水温度值，采用飞升曲线的方法建立被控对象的数学模型为<sup>[1]</sup>

$$G(s) = \frac{0.1}{4950s + 1} e^{-750s}$$

#### 3.2 基于系统模型的仿真

常规 PID 控制的 3 个参数分别为  $k_p = 30, k_i = 0.0061, k_d = 6.4$ ；Smith-Fuzzy-PID 控制算法中 PID 的 3 个参数的初值分别为  $k_{p0} = 0.005, k_{i0} = 0.005, k_{d0} = 0.005$ 。量化因子分别为  $k_e = 0.075, k_{ec} = 0.75$ 。基于所建立的模型，阶跃指令信号取 1，常规 PID 和 Smith-Fuzzy-PID 控制的 simulink 仿真结果如图 4 所示。

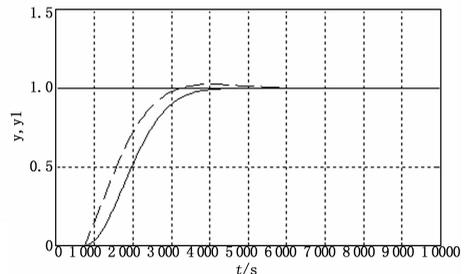


图 4 模型精确时 PID 和 Smith-Fuzzy-PID

通过响应曲线可知，PID 和 Smith 控制算法的各项指标如表 2 所示。

由上表可知，在控制系统预测模型准确的情况下，对于本文的大滞后系统，Smith-Fuzzy-PID 控制无超调，并且达到稳态的时间只有 4300 s，可以起到很好的控制效果。

表 1 模糊控制规则表

$\Delta k_p / \Delta k_i / \Delta k_d$	$ec$							
$e$		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB		PB/NB/NS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PM/ZO/ZO	PS/NS/NB	ZO/ZO/NB
NM		PB/NB/NS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/ZO/ZO
NS		PM/NB/ZO	PM/NB/NS	PM/NM/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PM/NS	NS/PM/ZO
ZO		PB/NB/NM	PB/NB/NM	PM/NS/NM	ZO/ZO/NM	NM/PM/NM	NB/PB/NM	NB/PB/ZO
PS		PB/NB/PB	PM/NB/PB	PM/NM/PB	ZO/PS/PB	NM/PM/PB	NS/PB/PB	NS/PB/PB
PM		PB/PB/PB	PB/PB/PB	PM/PB/PB	NM/PB/PB	NM/PB/PB	NM/PB/PB	NB/PB/PB
PB		NM/ZO/PB	NM/ZO/PB	NB/PS/PB	NB/PM/PB	NB/PM/PB	NB/PM/PB	NB/PB/PB

3.3 基于系统参数变化模型的仿真

当控制系统数学模型由于外界扰动等原因与预测模型存在一定误差时, 即将模型增益增大 80%, 滞后时间增大 30%。PID 控制和 Smith-Fuzzy-PID 仿真结果如图 5 所示。

表 2 PID 和 Smith-Fuzzy-PID 控制指标分析

	PID	Smith-Fuzzy-PID
超调/%	2.5	0
稳定时间/s	7 000	4 300
稳态误差	0	0

3.3 基于系统参数变化模型的仿真

当控制系统数学模型由于外界扰动等原因与预测模型存在一定误差时, 即将模型增益增大 80%, 滞后时间增大 30%。PID 控制和 Smith-Fuzzy-PID 仿真结果如下图 5 所示。

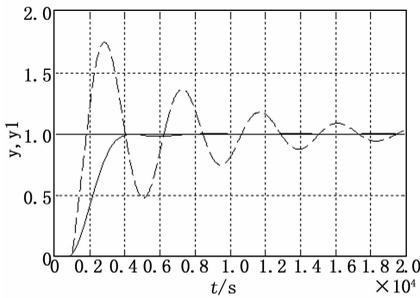


图 5 PID 和 Smith Fuzzy-Smith 图

通过响应曲线可知, PID 和 Smith-Fuzzy-PID 控制算法的各项指标如表 3 所示:

由表 3 可知, 当扰动的存在使得预测模型与实际模型有误差时,

PID 控制超调高达 74.5%, 而加入 Smith 预估和模糊控制后的 Smith-Fuzzy-PID 控制, 控制超调仅为 2.5%, 因此对时变滞后系统有很好的控制效果。

表 3 PID 和 Smith-Fuzzy-PID 指标分析

	PID	Smith-Fuzzy-PID
超调/%	74.5	2.5
稳定时间/s	46 000	8 000
稳态误差	0.000 5	0.000 16

4 结论

由以上分析可知, 当预测模型精确或当外界扰动等原因使得预测模型与实际模型存在偏差时, Smith-Fuzzy-PID 的响应速度快, 超调小, 达到稳态的时间短。即仿真结果表明此方法对时变滞后系统的控制可行有效。

参考文献:

[1] 王丽飞, 田学民. PID 控制器参数整定方法研究 [D]. 青岛: 中国石油大学 (华东), 2008.  
 [2] 安连祥, 马华民, 刘永刚, 等. 基于改进 Smith 预估器的二阶时滞系统 [J]. 计算机仿真, 2011, 28 (1): 198-233.  
 [3] 张燕红. 模糊 PID-Smith 串级控制在加热炉温度控制系统中的应用 [J]. 化工自动化及仪表, 2012, 39 (8): 979-981.  
 [4] 齐雪莲. 供热系统用户端温度控制研究 [D]. 石家庄: 河北科技大学, 2013.  
 [5] 黄晓童. 基于质量并调方式的热网控制技术 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.  
 [6] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.

(上接第 2822 页)

[11] Sulaiman No, Mohamad-Saleh Ja, Abdul Ghani Abro. A Modified Artificial Bee Colony (JA-ABC) Optimization Algorithm [A]. International conference on Applied Mathematics and Computational Methods in Engineering [C]. 2013, 74-79.  
 [12] Bao L, Zeng J C. Comparison and Analysis of the Selection Mechanism in the Artificial Bee Colony Algorithm [A]. Ninth Interna-

tional Conference on Hybrid Intelligent Systems, [C]. 2009, 411-416.  
 [13] Storn R, Price K. Differential evolution a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces, [R]. Technical Report TR-95-012, ICSI, ftp://icsi.berkeley.edu, 1995.