

# 基于虚拟仪器的换热器智能控制系统设计

王双红, 付邦胜, 岳学彬

(中原工学院 电子信息学院, 郑州 450007)

**摘要:** 换热器广泛应用于建筑工程领域及工业过程中, 其出口介质温度的有效控制是保证质量、节能和安全生产的重要条件, 因此换热器出口水温的控制是过程控制中的重要课题; 文章以西门子 SMPT1000 换热器温度控制系统为研究对象, 建立基于虚拟仪器的智能温度控制平台; 该平台在实现传统 PID 控制的基础上, 又增加了智能控制算法, 史密斯控制和模糊控制; 实验证明该智能控制平台具有修改参数简易方便、曲线准确的优点, 具有良好的动静态特性, 且市场应用价值高。

**关键词:** Labview; 换热器; 模糊控制; 史密斯控制; 仿真

## Intelligent Control System Design of Heat Exchanger Based on Virtual Instrument

Wang Shuanghong, Fu Bangsheng, Yue Xuebin

(Dept. of Electronic Information, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** Long term practical utilities of the heat exchanger has been established extensively in construction engineering as well as industrial process. Existing challenges within this domain, consequently, lie in the effective controller design of the medium temperature of the outlet, which is the essential requirement in quality guarantee, energy conservation and safety production. To investigate the control issue of the water temperature of the heat exchanger outlet, in this paper, SMPT-1000 heat exchanger temperature control system is adopted as the research object to establish the intelligent temperature control platform using virtual instrument. The proposed platform is demonstrated usefully and effectively of being a benchmark for several control techniques, like PID control, Smith control and Fuzzy control, giving rise to a simpler modification of the system parameters, a more accurate demonstration of the curves as well as a higher potential value of the market application.

**Keywords:** Labview; heat exchange; fuzzy control; Smith control; simulation

## 0 引言

换热器作为工艺过程中必不可少的单元设备, 广泛地应用于石油、化工、动力、轻工、机械、冶金、交通、制药等工程领域中。目前, 换热器控制中大多数仍采用传统的 PID 控制, 以加热(冷却)介质的流量作为调节手段以被加热(冷却)工艺介质的出口温度作为被控量构成控制系统, 对于存在大的负荷干扰且对于控制品质要求较高的应用场合<sup>[1]</sup>。

目前, 对温度的控制大部分采用 PID 控制器。但是, 由于换热系统的被控对象具有纯滞后、大惯性的特点, 而且整个控制过程与环境条件密切相关, 是个典型的非线性系统, 传统的 PID 控制往往不能满足其静态、动态特性的要求, 因此采用先进的控制方法对其进行控制显得尤为重要。本文在传统的 PID 控制的基础上, 设计了史密斯控制器和模糊控制器, 并以 Labview 软件作为系统平台的开发软件, 后台仿真程序使用 MATLAB 软件, 实现了 Labview 与 MATLAB 的动态链接<sup>[2]</sup>。

## 1 系统结构及原理

本文以西门子 SMPT1000 换热器温度控制系统为研究对象。通过对冷水阀门的控制来控制进入冷却水流量的大小  $Q$ ,

来达到对热流出温度  $t$  的控制。在保持热流出口开度大小不变的情况下, 通过改变冷水进口的的开度来获得换热器的特性曲线, 由此可得该系统模型为:

$$W_o(s) = \frac{30}{(13s+1)(27s+1)} e^{-68s} \quad (1)$$

该系统具有非线性、大惯性、纯滞后, 参数时变等不利于控制的特性。传统的 PID 控制往往不能满足其动态、静态特性的要求, 因此, 采用一种先进的控制方法对其进行控制尤为重要。

## 2 智能控制器设计

### 2.1 PID 控制器设计

PID 调节器的控制规律为:

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

其中:  $K_p$  为比例系数;  $T_I$  为积分时间常数;  $T_D$  为微分时间常数;  $u(t)$  为控制器输出;  $e(t)$  为控制器输入。

为使系统获得良好的控制品质, 需要确定 PID 控制器的 3 个控制参数, 而这 3 个参数很难由计算获得, 在用 Simulink 仿真时, 不会遇见这样的情况。基于 MATLAB/Simulink 仿真环境下的稳定边界法 PID 参数校正, 其优点是直观, 完全可视化操作, 省去了编程的工作量。

利用 Simulink 构建系统框图模型, 系统模型如图 1 所示。得出整定的 PID 参数为:  $K_p = 0.02, K_I = 0.003 s, K_D = 1 s$ 。

收稿日期: 2014-11-10; 修回日期: 2014-12-17。

基金项目: 国家自然科学基金项目(61074022)。

作者简介: 王双红(1978-), 女, 河南长垣人, 讲师, 硕士, 主要从事控制理论与控制工程, 信号分析处理方向研究。

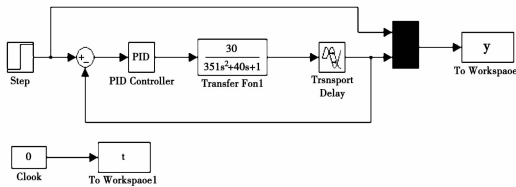


图 1 PID 控制 Simulink 仿真系统结构图

2.2 史密斯预估控制

史密斯预估控制器是建立在模型基础上的一种控制算法, 它能使具有大滞后的系统拥有更好的控制性能。该控制器的特点是预先估计出过程在基本扰动下的动态特性, 然后由预估器进行补偿, 力图使被延迟的被控量超前反映到控制量, 使控制提前动作, 从而明显减小超调量, 并加速调节过程<sup>[3]</sup>。其结构图如图 1 所示。

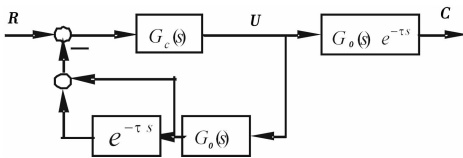


图 2 史密斯预估控制系统结构图

$G_0(s)e^{-\tau}$  为被控对象的传递函数,  $\tau$  为纯滞后时间,  $G_c(s)$  为 PID 控制器的传递函数, 在结构图化简的基础上, 可得出史密斯补偿函数  $G_0(s)(1 - e^{-\tau s})$ 。从图 2 可得到:

$$F = UG_0(s)e^{-\tau s} + UG_0(s)e^{-\tau s}(1 - e^{-\tau s}) = UG_0(s) \quad (3)$$

由式 (3) 可知, 当设置史密斯补偿函数后, 反馈信号  $F$  中已不存在时间滞后, 仅与  $G_0(s)$  与  $U$  有关, 因此起到了补偿作用, 得出整定的 PID 参数为:  $K_p = 0.06, K_i = 0.01s, K_d = 0.3$ 。

2.3 模糊控制器

自适应模糊 PID 控制器以误差  $E$  和误差变化  $EC$  作为输入 (利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改), 以满足不同时刻的  $E$  和  $EC$  对 PID 参数自整定的要求<sup>[4]</sup>。自适应模糊控制器结构如图 3 所示。

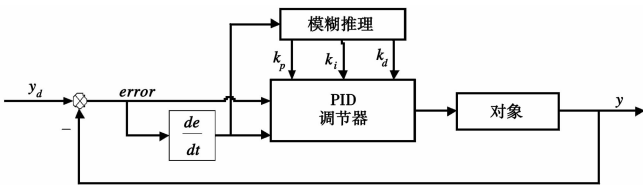


图 3 自适应模糊控制器结构图

定义输入偏差和偏差的变化率为模糊控制器的语言变量。并且把他们的论域定义为:

$$E, EC = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$$

它们的模糊集为:

$$E, EC = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\}$$

其含义依次为负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。

输出变量  $K_p, K_i, K_d$  用以确定控制量, 并规定其论域为:

$$K_p, K_i, K_d = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$$

输出量的语言变量模糊集为:

$$K_p, K_i, K_d = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\}$$

各个语言值的定义分别由给出的三角形隶属函数曲线来描述。

根据以上规则可以确定  $K_p, K_i, K_d$  的模糊规则表, 如表 1, 表 2, 表 3 所示。

表 1  $K_p$  模糊规则表

$\Delta K_p$ $E$ \ $EC$	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	O
NM	PB	PB	PB	PB	PM	O	O
NS	PM	PM	PM	PM	O	PS	PS
O	PM	PM	PS	O	NS	NS	NM
PS	PS	PS	O	NS	NM	NM	NM
PM	PS	O	NS	NM	NM	NM	NB
PB	O	O	NM	NM	NM	NB	NB

表 2  $K_i$  模糊规则

$\Delta K_i$ $E$ \ $EC$	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	MS	O	O
NM	NB	NB	NM	NS	NS	O	O
NS	NB	NM	NS	NS	O	PS	PS
O	NM	NM	NS	O	PS	PM	PM
PS	NM	NS	O	PS	PS	PM	PB
PM	O	O	PS	NM	PM	PB	PB
PB	O	O	PS	PM	PM	PB	PB

表 3  $K_d$  模糊规则

$\Delta K_d$ $E$ \ $EC$	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	MB	NM	NM	NS	O
NS	O	NS	NM	NM	NS	NS	O
O	O	NS	NS	NS	NS	NS	O
PS	O	O	O	O	O	O	O
PM	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

根据模糊规则表修正 PID 参数。计算公式如下:  $K_p = K'_p + \Delta K_p$ ;  $K_i = K'_i + \Delta K_i$ ;  $K_d = K'_d + \Delta K_d$ , 其中  $K_p, K_i, K_d$  为原先定好的初始 PID 参数。 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  为模糊控制器的 3 个输出参数, 可根据被控对象的状态自动调整 PID 的 3 个控制参数的取值。

3 LabVIEW 界面设计

3.1 LabVIEW 与 MATLAB 的动态链接

本文将 LabVIEW 软件与 MATLAB 软件结合起来, 应用 LabVIEW 软件开发系统的界面, MATLAB 主要进行后台的运算。利用 MATLAB 提供的强大的数学计算, 为 LabVIEW 做好服务, 以此为基础开发实验界面<sup>[5]</sup>。

NI 公司提供的 MatlabScript 节点使得用户可以将 MATLAB 程序导入到 LabVIEW 程序流程图中, 又可以在流程图中根据 MATLAB 程序的语法编辑 MATLAB 程序, 选择该节点

的操作是：

Functions >> Mathematics >> Scripts&Formulas >> Script Nodes >> MATLAB ScriptNode。点击后在程序面板的子选项卡中找到 MATLAB ScriptNode。MATLAB 脚本程序可以在 MATLAB 环境下调试，再在 MATLAB ScriptNode 上导入 MATLAB 脚本。同时也可以直接在 MATLAB ScriptNode 中编写控制程序。但是要注意 MATLAB 脚本节点的数据类型要一致，否则在 LabVIEW 运行时将产生错误或错误信息提示<sup>[6]</sup>。

### 3.2 系统界面

在该界面上设计有平台简介选择按钮、PID 控制选择按钮、斯密斯预估控制选择按钮、模糊控制选择按钮以及退出按钮，点击相应按钮跳转进入下一个操作界面，实现了动画显示，选择方便。界面及程序如图 4 所示。

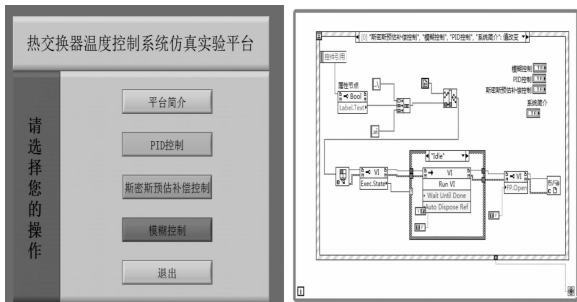
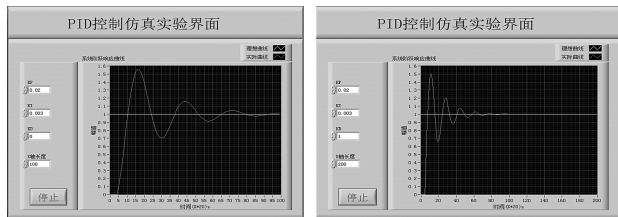


图 4 仿真实验选择前面板及程序框图

### 4 系统运行结果及分析

在 PID 控制界面的数值输入控件中分别输入 PID 参数，在图形显示界面可以观察到系统的响应曲线。图 5 分别是在  $K_p = 0.02, K_i = 0.003$  和  $K_p = 0.02, K_i = 0.003, K_d = 1$  时的响应曲线。



$K_p = 0.02, K_i = 0.003$  (b)  $K_p = 0.02, K_i = 0.003, K_d = 1$

图 5 响应曲线

由此可以看出在 LabVIEW 软件所开发的界面上，可以任意修改参数，也可实现响应曲线的实时变化，非常的方便，实际应用价值较高。

史密斯预估控制器的运行结果如图 6 所示。模糊控制的运行结果如图 7 所示。

由上述响应结果可以看出，引入史密斯预估控制，能够抑制系统的超调，进而改善系统的动态特性。在提高响应速度的同时，不产生过大的超调。将史密斯预估控制与智能模糊控制器结合，这样既能兼顾到系统的响应速度，又能兼顾到超调量的问题，是解决系统的响应速度与超调量这一矛盾的有效途径。

传统的温度控制系统在控制过程中，无法修改参数，该系统应用 LabVIEW 软件开发界面，并在界面上可以设置任何的参数控制量，在实现两种软件有效的动态链接的前提下，在系

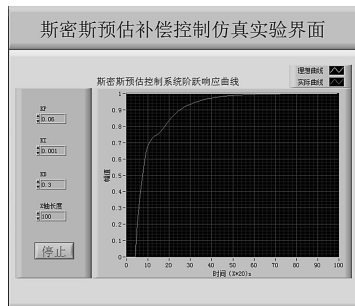


图 6 斯密斯预估控制响应结果

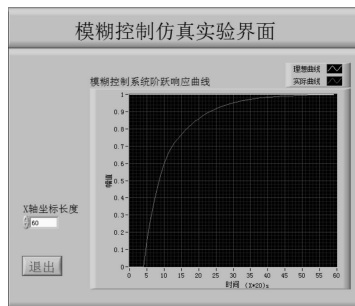


图 7 模糊控制运行结果

统界面上可以随时调用后台的 MATLAB 程序，程序中的参数也可以随时跟随界面的设定而改变，从而实时显示系统的响应曲线。

### 5 结语

从仿真结果得知，对于本文中的研究对象，由于本身的大滞后、大惯性的缺点，而且在控制的过程中，控制对象的参数会发生变化，这就提高了控制的难度。因此，本文分析了多种控制方法，得出智能模糊控制及史密斯预估控制在换热器控制系统中可取得良好的控制效果，具体表现在系统的动态响应快，且无超调，稳态精度高。在实际应用中，要估计被控对象的滞后时间范围，选择合适的控制方法，以达到更好的控制效果。

本系统采用 LabVIEW 软件开发设计界面，方便参数的调整，操作建议方面，精度高。

### 参考文献：

- [1] 强明辉, 马春岭, 热交换器检测系统智能控制系统方法研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2013 (5): 27-29.
- [2] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [3] 夏远, 程大章, 基于智能控制技术的换热器控制系统研究 [J]. 低压电气, 2007 (24): 127-139.
- [4] 李恒, 模糊-PID 控制在复杂控制系统中的研究 [J]. 工业控制计算机, 2010, 2 (3): 88-90.
- [5] 黄松岭, 吴静. 虚拟仪器设计基础教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [6] 李宁, 张元培, 朱立军. 在 LabVIEW 中使用 MATLAB 脚本节点 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2003 (5): 17-19.
- [7] 赵玲, 苏维均. 一种 LabVIEW 调用 MATLAB 的方法 [J]. 北京工商大学学报 (自然科学版), 2009 (2): 73-80