

模糊 PID 控制器在浸出车间石蜡加热器温度 闭环控制中的应用

闫茂里¹, 李肖¹, 王伟², 刘宝友¹, 李庆卓³, 李昌俊¹

(1. 山东凯斯达机械制造有限公司, 山东 济宁 272000; 2. 济宁市机械设计研究院, 山东 济宁 272000;

3. 山东省科学院激光研究所, 山东 济宁 272000)

摘要:石蜡加热器是浸出车间石蜡尾气回收工艺中的重要设备, 石蜡加热器温度闭环系统是典型的非线性、时变、不确定性系统, 难以建立精确的数学模型。为提高石蜡加热器电动调节阀温度闭环控制效果, 以检测石蜡加热器的温度偏差(e)和温度偏差变化率(e_c)为输入, 模糊 PID 控制器的 K_p 、 K_i 、 K_d 为输出, 构造了二输入三输出的模糊 PID 控制器。以西门子 S7-300 PLC 为下位机, WINCC 组态软件为上位机, 采用 STEP 7 软件编写模糊 PID 控制的算法程序, 并将程序下载到 S7-300 PLC 存储卡中, 利用 S7-300 PLC 对电动调节阀开度进行调节, 从而实现石蜡加热器温度闭环控制。模糊 PID 控制器应用于浸出车间石蜡加热器温度闭环控制系统可以减少系统超调量, 具有响应速度快、稳定性高等优点, 提高了石蜡加热器温度闭环控制系统的运行效率。

关键词:模糊控制; PID; PLC; WINCC; 石蜡加热器

中图分类号: TP273.4; TQ647 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7969(2022)07-0098-06

Application of fuzzy PID controller in temperature closed-loop control of paraffin heater in leaching workshop

YAN Maoli¹, LI Xiao¹, WANG Wei², LIU Baoyou¹, LI Qingzhuo³, LI Changjun¹

(1. Shandong Chemsta Machinery Manufacturing Co., Ltd., Jining 272000, Shandong, China; 2. Jining

Machinery Design and Research Institute, Jining 272000, Shandong, China; 3. Laser Research

Institute of Shandong Academy of Sciences, Jining 272000, Shandong, China)

Abstract: Paraffin heater is an important equipment of paraffin vent gas recovery process in leaching workshop. The temperature closed-loop system of paraffin heater is a typical nonlinear, time-varying and uncertain system, which is difficult to establish an accurate mathematical model. In order to improve the temperature closed-loop control effect of electric regulating valve of paraffin heater, taking the temperature deviation e and temperature deviation change rate e_c of paraffin heater as inputs and K_p , K_i and K_d of fuzzy PID controller as outputs, a two input three output fuzzy PID controller was constructed. Taking Siemens S7-300 PLC as the lower computer and WINCC configuration software as the upper computer, the algorithm program of fuzzy PID control was compiled with STEP 7 software, and the program was downloaded to S7-300 PLC memory card. S7-300 PLC was used to adjust the opening of electric regulating valve, so as to realize the temperature closed-loop control of paraffin heater. The fuzzy PID controller applied to the temperature

closed-loop control system of paraffin heater in leaching workshop can reduce the overshoot of the system, and has the advantages of fast response speed and high stability, thus improving the operating efficiency of the temperature closed-loop control system of paraffin heater.

Key words: fuzzy control; PID; PLC; WINCC; paraffin heater

收稿日期: 2022-01-24; 修回日期: 2022-04-19

基金项目: 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2021CXGC010808); 济宁市重点研发计划项目(2021KJH2022)

作者简介: 闫茂里(1986), 男, 工程师, 硕士, 主要从事油脂工程技术的电气设计与工程安装(E-mail) WL18796000807@163.com。

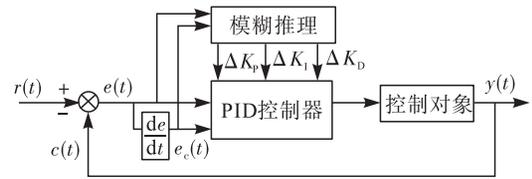
石蜡加热器是植物油厂浸出车间石蜡尾气回收工艺中非常重要的加热设备,对石蜡加热器温度闭环控制的优劣直接影响石蜡利用效率和溶剂的回收效率。石蜡加热器温度闭环系统是典型的非线性、时变、不确定性系统,石蜡加热器温度闭环控制常规采用传统的 PID 控制器,存在控制对象的数学模型参数不易建立、PID 参数整定麻烦、控制精度低、控制过程易受外界干扰等缺点,因此需要采用智能控制方法弥补现有温度闭环控制过程中出现的问题。美国控制论专家率先研究模糊数学理论,经过若干年发展,模糊理论不断完善并逐渐用于工程控制领域。模糊控制的基础是模糊逻辑,其具有对现实不明确或近似知识的取得能力,类似于人的思维方式和言语表达方式^[1]。专家知识用于自动控制领域是模糊控制的一大特点,模糊控制是智能控制的一种。模糊隐含概念和模糊推理规则是模糊控制的基本理论。模糊算法具有响应速度快、不依赖系统数学模型、稳定性良好等诸多优点,被广泛应用于工业控制领域。因此,可采用模糊算法和 PID 控制器相结合生成模糊 PID 控制器用于石蜡加热器温度闭环控制^[2]。目前,模糊 PID 控制器在浸出车间石蜡加热器温度闭环控制中还未有应用。本文首先设计了模糊 PID 控制器,然后进行了模糊 PID 控制系统的仿真,最后介绍了模糊 PID 控制器在 S7-300 PLC 中实现方法,以期将模糊 PID 控制器应用于浸出车间石蜡加热器温度闭环控制中,提高石蜡加热器温度闭环控制系统的运行效率,进而提高石蜡利用效率和溶剂的回收效率,从而提高浸出车间的经济效益。

1 模糊 PID 控制器设计

1.1 模糊 PID 控制器的构造

模糊自整定 PID 控制器是以偏差和偏差变化率当作输入量的模糊控制器,可以称之为模糊 PID 控制器。石蜡加热器温度闭环控制中常常需要对温度偏差(e)和温度偏差变化率(e_c)实时调整,正是因为模糊 PID 控制器具有良好的在线参数调整能力,使得其能随时对 e 和 e_c 进行在线调整,从而保证了参数在线调整的控制要求,满足了控制的实时性,保证了控制精度^[3]。模糊 PID 控制器构造见图 1。

如图 1 所示:由规则库及模糊算法可以对 PID 的 3 个参数(K_p, K_i, K_d)进行在线调整,通过其与 e_c 和 e 之间的模糊关系,实时连续检测 e_c 与 e 的值,可以提高系统的控制效果,从而实现 e_c 和 e 对参数的控制目标^[4]。



注: K_p, K_i, K_d 分别代表 PID 最终实际输出的比例增益、积分时间、微分时间; $r(t)$ 是给定值, $c(t)$ 是实际输出值, $e(t)$ 是给定值与实际输出值之间的偏差, $e_c(t)$ 是给定值与实际输出值之间的偏差变化率

图 1 模糊 PID 控制器构造

1.2 模糊控制规则表的建立

模糊控制规则表是通过思维和推断并采用经验归纳法进行归纳总结,是建立在人们对控制对象抽象推理的基础上生成的控制规则。通过推理合成的方法,并结合实际控制经验构建被控对象的模糊控制规则表^[5]。 $\Delta K_p, \Delta K_i$ 及 ΔK_d 的模糊控制规则表分别见表 1~表 3。

表 1 ΔK_p 的模糊控制规则表

项目	ΔK_p	E_c						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
E	NB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZE
	NM	PB	PB	PB	PM	PS	ZE	NS
	NS	PB	PM	PM	PM	PS	ZE	NS
	ZE	PM	PM	PS	PS	ZE	NS	NM
	PS	PM	PS	ZE	ZE	NS	NM	NM
	PM	ZE	ZE	NS	NS	NM	NM	NB
	PB	ZE	ZE	NS	NM	NM	NB	NB

注: E 代表偏差论域, E_c 代表偏差变化率论域,NB代表负大,NM代表负中,NS代表负小,ZE代表零,PS代表正小,PM代表正中,PB代表正大。下同

表 2 ΔK_i 的模糊控制规则表

项目	ΔK_i	E_c						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
E	NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZE
	NM	NB	NM	NM	NS	NS	NS	ZE
	NS	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE	PS
	ZE	NM	NS	NS	ZE	PS	PM	PM
	PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
	PM	ZE	ZE	ZE	PS	PM	PB	PB
	PB	ZE	ZE	PS	PS	PM	PB	PB

表 3 ΔK_d 的模糊控制规则表

项目	ΔK_d	E_c						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
E	NB	PS	NS	NM	NB	NB	NM	ZE
	NM	PS	NS	NB	NM	NS	NS	ZE
	NS	ZE	NS	NM	NM	NS	ZE	ZE
	ZE	ZE	NS	NS	NS	NS	ZE	ZE
	PS	PS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PM	PB	PS	PS	PS	PS	PM	PB
	PB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	PB

1.3 清晰化运算

模糊量是通过模糊推理后输出的控制量,模糊量是抽象的量不能应用于被控制对象,所以还需要把模糊量变成清晰量,这一过程就是清晰化。如今模糊控制理论中有众多清晰化方法,采用最多的是平均最大隶属度法和加权平均法^[6]。将加权平均法应用到石蜡加热器温度闭环模糊 PID 控制系统。 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的清晰化计算分别见式(1)~式(3)。

$$\Delta K_p = \frac{\sum_{m=1}^{13} \Delta K_{p_m} \cdot \mu_A(\Delta K_{p_m})}{\sum_{m=1}^{13} \mu_A(\Delta K_{p_m})} \quad (1)$$

$$\Delta K_i = \frac{\sum_{m=1}^{13} \Delta K_{i_m} \cdot \mu_A(\Delta K_{i_m})}{\sum_{m=1}^{13} \mu_A(\Delta K_{i_m})} \quad (2)$$

$$\Delta K_d = \frac{\sum_{m=1}^{13} \Delta K_{d_m} \cdot \mu_A(\Delta K_{d_m})}{\sum_{m=1}^{13} \mu_A(\Delta K_{d_m})} \quad (3)$$

式中： ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 为清晰化的值； $\mu_A(\Delta K_{p_m})$ 、 $\mu_A(\Delta K_{i_m})$ 、 $\mu_A(\Delta K_{d_m})$ 分别表示 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 在模糊离散论域内的值所对应的隶属度。

ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 通常可以利用 MATLAB 计算出来,在 PLC 编程软件 STEP 7 中编写模糊 PID 控制算法程序,编写 PID 指令时结合模糊控制的特点,使模糊算法和 PID 控制完美结合达到更高的控制目标,模糊 PID 控制在 PLC 中便是这样实现的。由于模糊 PID 控制有智能控制的因素,所以此种控制方法比常规的 PID 控制效果更好。 K_p 、 K_i 、 K_d 最终实际输出值可由式(4)表示。

$$\begin{cases} K_p = K'_p + \Delta K_{up} \cdot \Delta K_p \\ K_i = K'_i + \Delta K_{ui} \cdot \Delta K_i \\ K_d = K'_d + \Delta K_{ud} \cdot \Delta K_d \end{cases} \quad (4)$$

式中： ΔK_{up} 、 ΔK_{ui} 、 ΔK_{ud} 分别对应代表 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的比例因子； K'_p 、 K'_i 、 K'_d 表示 PID 的初始值。

采用隶属度函数曲面的方法使清晰化运算更直观地展示优化结果。图 2 是 ΔK_p 的隶属度函数曲面,图 3 是 ΔK_i 的隶属度函数曲面,图 4 是 ΔK_d 的隶属度函数曲面。

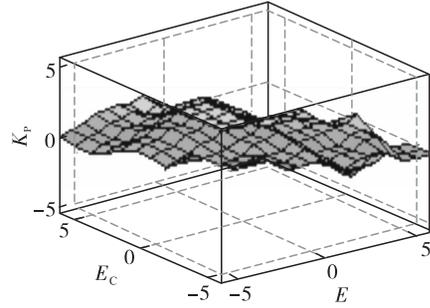


图 2 ΔK_p 的隶属度函数曲面

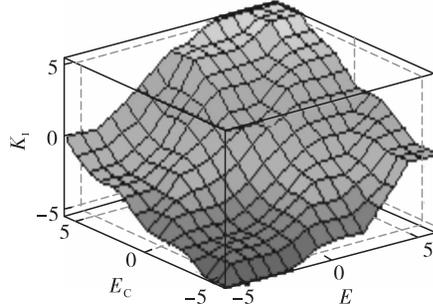


图 3 ΔK_i 的隶属度函数曲面

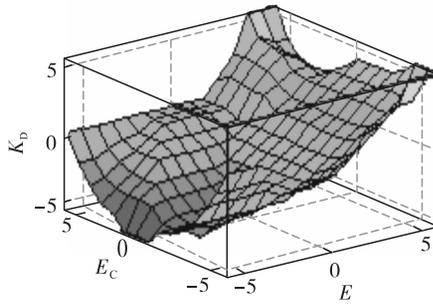


图 4 ΔK_d 的隶属度函数曲面

2 模糊 PID 控制系统的仿真

2.1 模糊 PID 控制系统仿真模型构成

把本模糊 PID 控制系统命名为 CHUCHEN,然后在 MATLAB 的窗口中输入命令 CHUCHEN = readfis('CHUCHEN.fis'),双击 Fuzzy Logic Controller 仿真模型模块,在对话框中输入 CHUCHEN,就建立了模糊控制器与模糊推理系统的连接。为了更直观地对比模糊 PID 控制系统和 PID 控制系统控制效果的优劣,仿真模型由两部分构成,上半部分为模糊 PID 控制系统仿真模型,下半部分为 PID 控制系统仿真模型,如图 5 所示。

在图 5 中,模糊 PID 控制系统的 K_p 为 2, K_i 为 0.5, K_d 为 2。 ΔK_p 的比例因子增益 Gain3 的值为 1.2, ΔK_i 的比例因子增益 Gain4 的值为 0.12, ΔK_d 的比例因子增益 Gain5 的值为 0.06。仿真模型的传递函数选为 $0.2/(S^2 + S)$ 。在 MATLAB 中运行仿真模型能够分别获得两种控制方法的阶跃响应波形图。

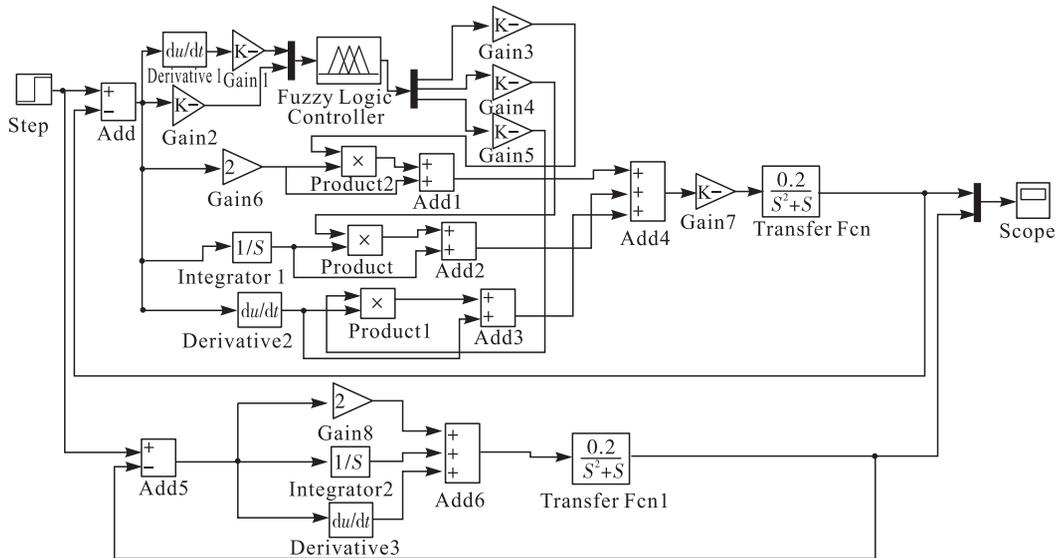


图5 模糊PID控制系统和PID控制系统的仿真模型

2.2 模糊PID控制和PID控制的阶跃响应仿真曲线对比

图6为模糊PID控制和PID控制的阶跃响应仿真曲线。

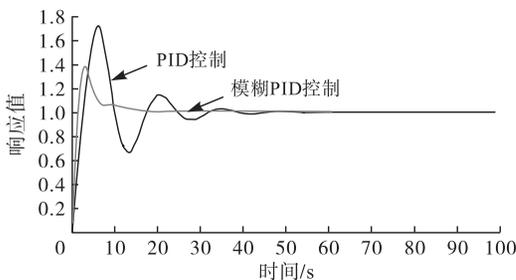


图6 模糊PID控制和PID控制的阶跃响应仿真曲线

从图6可以看出:PID控制下上升时间为8s,调整时间为40s,超调量为65%;模糊PID控制下上升时间为4s,调整时间为17s,超调量为37%。与PID控制相比较,模糊PID控制的系统具有响应速度更快、调整时间更短、超调量更小等优点,比PID控制更有优势。

3 S7-300 PLC中实现模糊PID控制

3.1 控制表程序查询设计

模糊PID控制的关键是模糊控制程序查询表,采用合适的模糊控制程序查询表就会加快程序的运行效率。由于原模糊输入论域中的元素{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}有负数,这给程序设计及程序运行带来不便,本着简化运算的原则,把原模糊输入论域中的元素转变成{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}, DB6数据块内按从左到右、从上到下的顺序存放表1、表2、表3对应的模糊控制程序查询表内的值。依据相应的 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的值对应相应的 E_c 和 E 的值。

3.2 模糊PID在线设计

在STEP 7的DB6数据块中存放 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 相对应的模糊控制查询表,方便查表时调用。DB6

数据块中储存 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 分别相对应的比例因子。 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的清晰量是依据 E_c 和 E 的实际值查询得到, K_p 、 K_i 、 K_d 最终值就是 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 清晰化量与其对应的比例因子相乘后再与PID的初始值相加后得到。STEP 7中的PID功能块FB41接收 K_p 、 K_i 、 K_d 值,FB41功能块依据 K_p 、 K_i 、 K_d 的实际值,经功能块各参数运算后把控制信号输出到S7-300 PLC的AO模块,AO模块输出4~20 mA电流信号调节石蜡加热器电动调节阀的开度,进而调节石蜡加热器的温度,从而使温度偏差值在允许范围内变化,实现温度闭环控制的要求。图7为在STEP 7内实现模糊PID控制流程图。

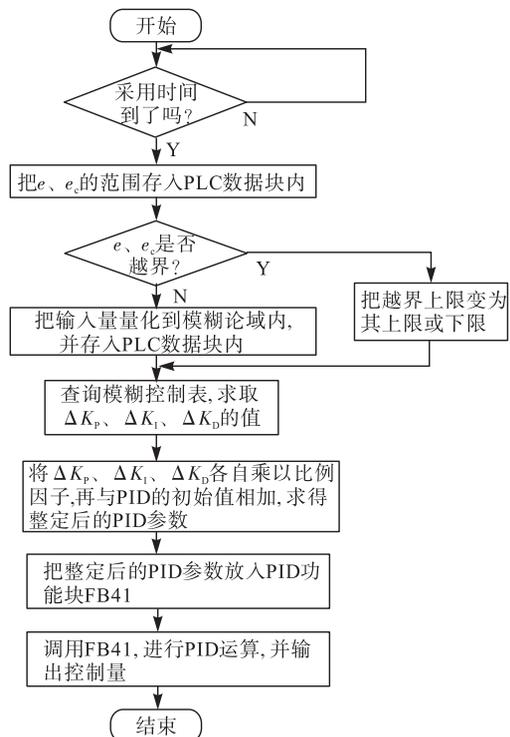


图7 STEP 7内实现模糊PID控制流程图

3.3 模糊 PID 程序功能块设计

线性化编程是广泛运用的一种编程思想,在线性化编程中一个程序任务由一个功能块完成,此种编程方法可以加快程序运行速度,提高程序运行效率。线性化编程也在模糊 PID 程序功能块设计中使用。模糊 PID 程序功能块在 STEP 7 中的调用图见图 8。

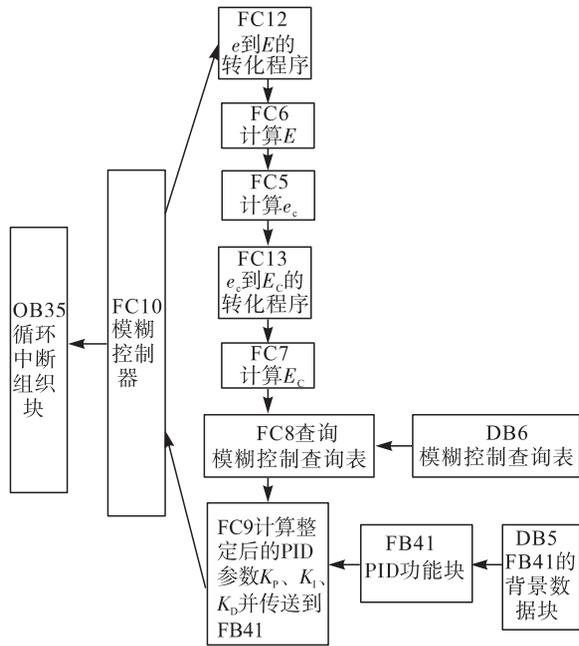


图 8 模糊 PID 程序功能块在 STEP 7 中的调用图

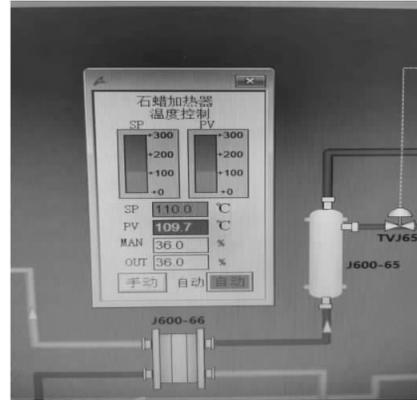
如图 8 所示,OB35 循环中断组织块中存放 FC10 模糊控制器程序,OB35 的循环中断周期设定成 200 ms,FC12、FC6、FC5、FC13、FC7、FC8、FC9 功能块都存放在 FC10 内。FC12 的作用是把温度偏差 (e) 依据公式 5 转变到 [-6,6] 区间内。FC6 的功能是把 FC12 的输出变成 [-6,6] 区间内离散模糊论域中的值,采用四舍五入法进行计算。FC5 的功能是对 e_c 的值进行计算,由此次偏差与上次偏差相减得到。FC13 的作用是把温度偏差变化率 (e_c) 依据公式 5 转变到 [-6,6] 区间内。FC7 的作用是把 FC13 的输出变成 [-6,6] 区间内离散模糊论域中的值,采用四舍五入法进行计算。FC8 的功能是依据 E_c 和 E 的值查询得到 ΔK_p、ΔK_i、ΔK_d 的值,FC8 查询使用 DB6 内存放的模糊控制查询表。FC9 的作用是将 K_p、K_i、K_d 的最终值传送给 FB41 并输出控制量。FC12、FC13 依据式(5)计算。

$$y = \frac{12}{b-a} \times (x - \frac{b+a}{2}) \quad (5)$$

式中:b 为 e_c 或 e 的上限;a 为 e_c 或 e 的下限;x 代表实际变化范围为 [a,b] 区间的精确量;y 代表将 [a,b] 区间精确量转换为 [-6,6] 区间的变化量。

4 模糊 PID 控制在石蜡加热器温度闭环控制中的应用效果

在 WINCC 监控软件中建立了监控画面和输出量趋势图,可以实时监测石蜡加热器的温度变化趋势,实时调整控制的电动调节阀开度。石蜡加热器温度控制设定窗口见图 9。从图 9 可以看出,当温度设定值 (SP) 为 110.0℃ 时,温度实际值 (PV) 为 109.7℃,这说明设定值和实际值非常接近,这是因为 S7-300 PLC 经过模糊 PID 控制输出的 4~20 mA 信号给石蜡加热器的电动调节阀使之在设定值附近自动调节,从而使实际值趋近于设定值。



注:SP 是温度设定值,PV 是温度实际值

图 9 石蜡加热器温度控制设定窗口

石蜡加热器模糊 PID 输出量历史趋势见图 10。从图 10 可以看出,控制输出量在 0.6 左右波动,这体现了经模糊 PID 控制算法后输出量比较平稳,超调量较小等优点。

通过以太网实现 S7-300 PLC 与 WINCC 之间的数据通讯,把集中控制级与现场设备级进行有机结合,加强了系统的人机交互性,有利于操作人员的操作与监控。

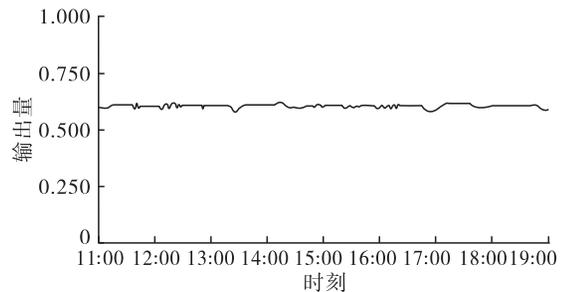


图 10 石蜡加热器模糊 PID 输出量历史趋势

5 结论

将模糊 PID 控制器应用于浸出车间石蜡加热器温度闭环控制中,通过模糊 PID 控制器输出控制量对电动调节阀开度进行调节,可实时调整控制石蜡 (下转第 120 页)

油。 V_c 对 Fe^{2+} 螯合能力最大,在质量浓度为0~0.3 mg/mL范围内 Fe^{2+} 螯合率随其质量浓度的增加而快速增长,0.3 mg/mL后增长速度趋缓,最高约为92%,高于添加TP的鳄鱼油的。TP对金属离子具有很强的结合作用和沉淀功能^[16],因此经TP处理后显著提高了鳄鱼油的还原能力和 Fe^{2+} 螯合能力。

3 结 论

采用Schaal烘箱法探明了添加天然抗氧化剂TP、 V_E 和植酸对鳄鱼油氧化稳定性的影响,发现三者对鳄鱼油抗氧化效果强弱为TP> V_E >植酸。添加TP后鳄鱼油对DPPH自由基、羟自由基及超氧自由基清除能力显著提高, Fe^{2+} 螯合能力和还原能力也增强,表明TP能有效切断引起鳄鱼油自动氧化的自由基链式反应,提高鳄鱼油的抗氧化活性。

参考文献:

- [1] 陈弘培,赵慧,董诗婷,等. 鳄鱼综合加工与高值化利用研究进展[J]. 农产品加工,2017(20):62-67.
- [2] 李海航,罗嘉玲,倪贺. 鳄鱼资源开发和生物活性物质研究进展[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),2014,46(3):10-17.
- [3] 李慧,张雅文,罗翔宇,等. 人工养殖鳄鱼油的提取与精制工艺研究[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),2017,49(6):71-76.
- [4] 王苗苗,罗庆华,宋英杰,等. 天然抗氧化剂对大鲵油的抗氧化研究[J]. 中国油脂,2015,40(12):53-56.
- [5] CAROCHO M, FERREIRA I C F R. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives[J]. Food Chem Toxicol, 2013, 51(1):15-25.
- [6] 高彤彤,晏志勇. 绿茶提取物茶多酚在化妆品中的抗氧化效果研究[J]. 中国美容医学,2015(24):26-29.

(上接第102页)

加热器电动调节阀开度,从而实现石蜡加热器温度闭环自控,减少了超调量,在响应速度、稳定性等方面均优于传统PID控制器,具有良好的鲁棒性,稳态精度又优于常规模糊控制器,提高了石蜡加热器温度闭环控制系统的运行效率。

参考文献:

- [1] 诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 张铭钧. 智能控制技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出

- [7] 刘艳红,唐嘉雯,李雪竹. 抗氧化剂的机理及其在化妆品中应用的研究进展[J]. 广州化工,2020,48(2):32-34,44.
- [8] DOUNY C, RAZANAKOLONA R, RIBONNET L, et al. Linseed oil presents different patterns of oxidation in real-time and accelerated aging assays[J]. Food Chem, 2016, 208:111-115.
- [9] MENEZES B B D, FRESCURA L M, DUARTE R, et al. A critical examination of the DPPH method: mistakes and inconsistencies in stoichiometry and IC_{50} determination by UV-Vis spectroscopy[J/OL]. Anal Chim, 2021, 1157(1):338398[2021-06-23]. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2021.338398>.
- [10] 王寒,罗庆华,魏梦雅,等. 大鲵油体外抗氧化活性研究[J]. 中国油脂,2018,43(9):149-153.
- [11] 高延芬,徐虹,宋焕禄. 植酸及其生理活性研究进展[J]. 食品工业科技,2013,34(1):368-371.
- [12] CROFT K D. Dietary polyphenols: antioxidants or not? [J]. Arch Biochem Biophys, 2016, 595:120-124.
- [13] SAHIN S, KURTULBAS E, TOPRAKCI I, et al. Determination of lipid oxidation in sunflower oil treated with several additives [J/OL]. Biomass Convers Bior, 2021:1-9[2021-06-23]. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01345-9>.
- [14] 李清清,余旭亚,耿树香,等. 复合核桃油的体外抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业,2020,46(24):31-36.
- [15] 王肖行,余旭亚,耿树香,等. 美藤果油体外抗氧化性能研究[J]. 中国油脂,2021,46(4):63-67.
- [16] ELAVARASAN K, SHAMASUNDAR B A. Antioxidant properties of papain mediated protein hydrolysates from fresh water carps (*Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhinus mrigala*) and its application on inhibition of lipid oxidation in oil sardine mince during ice storage[J]. J Food Sci Tech, 2021, 59(2):636-645.

版社,2006.

- [3] 李洪兴. 模糊控制器与PID调节器的关系[J]. 中国科学:E辑,1999,29(2):136-145.
- [4] 汤兵勇,路林吉. 模糊控制理论与应用技术[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [5] 江春红. 基于PLC的液位模糊控制系统设计[D]. 合肥:合肥工业大学,2007.
- [6] 王力,钱林方,高强,等. 基于灰预测模糊PID的随动系统负载模拟器力矩控制研究[J]. 兵工学报,2012,33(11):1379-1386.