

基于模糊 PID 控制的烘干房温度控制设计*

郝文彬¹, 冯天玉¹, 黄世明¹, 程捷¹, 朱望武²

(1. 湖北工业大学机械工程学院, 武汉市, 430068; 2. 武汉市红之星农牧机械有限公司, 武汉市, 430000)

摘要:为解决生猪运输车传统的晾干消毒所需时间周期较长问题,设计汽车烘干房,以气体热量进行交换,控制室内温度达到目标温度成为关键的问题。针对温度控制具有惯性大、滞后性等突出的特点特性,提出模糊 PID 的自适应模糊控制算法,该算法依据经验模糊控制规则,实时优化 PID 系数调教参数 K_p 、 K_i 、 K_d ,有效改善控制系统。根据试验可以看出,模糊 PID 控制的实际温度比目标温度最大温差为 2.5℃,超调量为 3.5%,而传统的 PID 与目标温度最大温差为 5.1℃,超调量为 7.1%。模糊 PID 与传统的 PID 控制相比较,具有较小的超调量而且在受到外界干扰反应速度也很快。

关键词: Matlab; 模糊 PID; 温度控制; 烘干房

中图分类号: TP273.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553 (2021) 12-0101-06

郝文彬, 冯天玉, 黄世明, 程捷, 朱望武. 基于模糊 PID 控制的烘干房温度控制设计[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(12): 101-106

Hao Wenbin, Feng Tianyu, Huang Shiming, Cheng Jie, Zhu Wangwu. Temperature control design of drying room based on fuzzy PID control [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(12): 101-106

0 引言

随着国家经济水平的不断提高和人民生活水平的提高,人民对于猪肉类食品的需求量也在逐年攀升^[1]。我国的养猪行业也由以前的农村散户的模式转化为集中、专业化、集团规模化模式。规模化的养殖不仅可以生猪的养殖集中化管理,而且提高了生猪的生产效益,并降低了养殖周期。同时,对预防疾病的传播,也逐步完善了一系列措施。对于非洲猪瘟的影响,各个企业都引起对消毒烘干的重视,烘干房得以快速发展起来,烘干房对于温度有特别高的要求,要求其房内温度保持在一定温度区间和时长,这就需要系统去进行加以控制。目前传统的 PID 控制精度难以满足条件需求,所以提出了模糊 PID 的自适应模糊控制算法^[2-3],能够对采集的信息实时进行优化^[4],反应迅速,确保烘干房内的温度保持在设定的范围,在其温度范围内达到烘干消毒的目的。

本设计是针对大型运输生猪汽车烘干房系统,以烘干房内的温度为控制目标,设计了基于模糊 PID 控制算法,在工作过程中实时的优化 PID 参数,使房内温度得到更好地控制。

1 烘干房的物理模型

在实际的生产工作中烘干房如图 1 所示,由保温墙体、送风系统、回风系统、加热系统等组成。地面是 C20 混凝土工艺,厚度 50 mm,保温墙体采用的是泡沫保温材料,厚度为 150 mm,加热系统是高温型直燃烘干机,功率是 80 kW,同时内置一台送风机,风量为 3 500 m³/h,回风系统采用直径 300 mm 圆形管道。整体烘干房的结构尺寸为 12 m×5 m×4.8 m。



图 1 烘干房实物图

Fig. 1 Drying room physical drawing

由于烘干房体积较大,为保障快速升温,提高烘干的效率,故采用 6 个相同的高温型直燃烘干机,烘干房体积较大,温度不均匀性比较突出,所以前期先行对烘

收稿日期:2020 年 12 月 28 日 修回日期:2021 年 3 月 11 日

* 基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0500700)

第一作者:郝文彬,男,1992 年生,安徽淮北人,硕士研究生;研究方向为农业机械装备。E-mail: 735209461@qq.com

通讯作者:冯天玉,男,1963 年生,安徽南陵人,教授;研究方向为农业机械装备。E-mail: 615971302@qq.com

干房结构模型进行了温度分部均匀性进行了优化,优化其结构,在对其进行温度控制设计。烘干房内布置了温度监测点,交叉符号是温度监测点,分布如图 2。

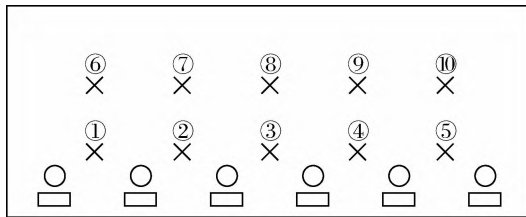


图 2 温度监测点

Fig. 2 Temperature monitoring point

温度监测点分布在烘干房两侧墙壁上,一侧墙壁上①—⑩的点,在另一侧墙壁上也有 10 个监测点,总共 20 个监测点,具体位置参数见表 1。最终的采集温度值为这些温度监测点的平均值作为输入值。对整个烘干房烘干系统进行简化,简化后系统如图 3 所示。

表 1 监测点位置参数

Tab. 1 Location parameters of monitoring points

序号	坐标	序号	坐标
①	(0, 2, 1.5)	⑪	(5, 2, 1.5)
②	(0, 4, 1.5)	⑫	(5, 4, 1.5)
③	(0, 4, 1.5)	⑬	(5, 6, 1.5)
④	(0, 8, 1.5)	⑭	(5, 8, 1.5)
⑤	(0, 10, 1.5)	⑮	(5, 10, 1.5)
⑥	(0, 2, 3)	⑯	(5, 2, 3)
⑦	(0, 4, 3)	⑰	(5, 4, 3)
⑧	(0, 6, 3)	⑱	(5, 6, 3)
⑨	(0, 8, 3)	⑲	(5, 8, 3)
⑩	(0, 10, 3)	⑳	(5, 10, 3)

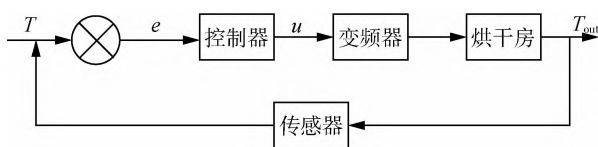


图 3 烘干房控制系统结构图

Fig. 3 Control system structure of dryingroom

T 是设定的目标温度值, T_{out} 是烘干房实际温度值为输出值,在输入控制器;控制器对比目标温度 T 和实际温度 T_{out} , 求出温度差 e 和温度变化率 $ec^{[5]}$, 在对其进行模糊推理, 得到 PID 控制参数, 运算输出 u , 再将 u 输送变频器^[6], 变频器控制直燃烘干机的输出功率, 从而达到控制烘干房内部温度的效果。

2 硬件设计

该烘干房硬件系统的组成有 SIMATIC S7—200PLC、EM235 输入模块、EM222 输出模块、SIMENS TP277 显示屏,如图 4 所示。系统流程如图 5 所示。

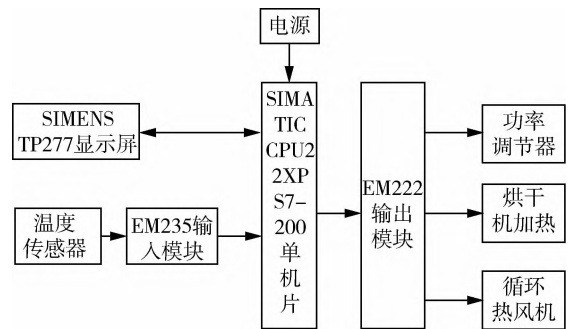


图 4 控制系统硬件图

Fig. 4 Hardware diagram of control system

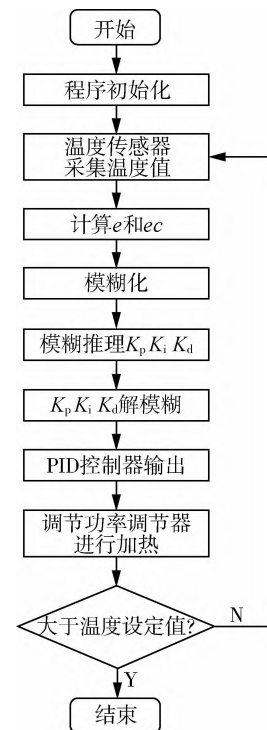


图 5 系统流程图

Fig. 5 System flow chart

系统主控模块:选择是西门子 S7—200 主控模块 CPU22XP, 输入量为 14 数字, 输出数字量 10 个配有 2 个 RS485 通讯接口, 可连接最大扩展接口 7 个。

输入模块:温度传感器要把采集的温度信息模拟量传入到主控模板, 控制系统选用 EM235, 其为 4 路模拟量输入, 输出信号为电压或电流信号。

输出模块:输出指令经输出模块以输出数字信号控制加热烘干机和功率调节器、循环热风机, 选用 EM222, 其为 8 路继电器输出型。

人机接口设备:选用 SIMENS TP277 显示屏, 与 S7—200 PLC 连接, 能实现操作人员方便进行参数设定。

执行机构:主要有功率调节器、烘干机、循环热风机。温度采集出入主控模板, 经过分析通过输出模块发出指令, 烘干机进行加热工作, 随着烘干房内温度与设定温度差值减小, 功率调节器开始调节加热功率, 减

少能耗,当温度达到设定温度循环热风机开始工作,对生猪运输汽车进行热风循环吹干。

3 模糊 PID 控制设计

模糊 PID 算法主由两部分组成,一部分是 PID 控制器,一部分是模糊控制器,模糊控制器以温度误差 e 和误差变化 ec 作为输入量^[7],利用模糊规则对 PID 控制器的参数 K_p 、 K_i 、和 K_d 进行整定,使被控对象保持在较好的动态和静态稳定情况^[8]。其模糊自适应 PID 方框图如图 6 所示。

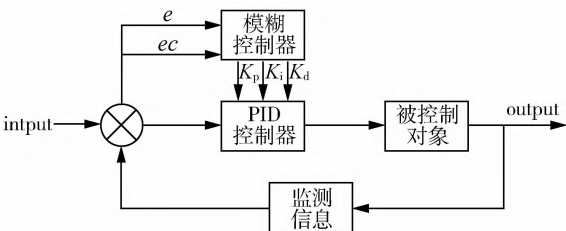


图 6 控制工作原理
Fig. 6 Working principle of the control

3.1 PID 控制器

PID 控制器(比例—积分—微分控制器)是工业控制应用常见的回路部件,控制器把收集数据与参考值进行比较,然后把差值作为新的输入值,新的输入值得目的就是让系统始终维持在参考值范围内。PID 控制器算法如式(4)所示。

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\}$$

(1)

式中： $u(k)$ ——输出；
 $e(k)$ ——输入即偏差值；
 T ——采样周期；
 T_i ——积分时间；
 T_d ——微分时间。

3.2 模糊控制器

3.2.1 模糊化处理及隶属度函数确定

将温度差 e 和温度误差变化率 ec 变化范围定义为模糊集上的论域

$$e, ec, K_p, K_i, K_d = [-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]$$

其模糊子集为

$$e, ec, K_p, K_i, K_d = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

子集中元素——对应(负大、负中、负小、零、正小、正中、正大)。

输入量为偏差 e 和温度偏差变化率 ec ,以 PID 参数的自整定来实现控制信号 u 的输出。考虑算法的简便和实用性,选择用三角形隶属度函数作为输入和输

出变量的模糊隶属度函数^[9]。

3.2.2 给定语言变量赋值表和建立模糊控制规则

根据迷糊子集在语言变量论域确定规则,选取 NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB 作为语言变量 e, ec, u 语言变量值,其论域元素(-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6), e, ec, K_p, K_i, K_d 的赋值表如表 2~表 4 所示。

表 2 语言变量 e 赋值表
Tab. 2 Language variable e assignment table

e	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NB	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NM	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

表 3 语言变量 ec 赋值表
Tab. 3 Language variable ec assignment table

ec	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NB	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NM	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

表 4 语言变量 K_p, K_i, K_d 赋值表
Tab. 4 Language variable K_p, K_i, K_d assignment table

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NB	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NM	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

依据 K_p, K_i, K_d 对系统输出影响的特性,总结出对不同情况 e 和 ec 变化,参数 K_p, K_i, K_d 的自整定原则^[10]。(1) 对于偏差较大的情况,为加快系统的响应速度,同时避免偏差瞬间变大而引起微分饱和超出控制的范围^[11],应选取 K_p 较大值和 K_d 较小值。另外为避免积分饱和,一般取 $K_i=0$ 。(2) 在偏差的变化在中等大小时,为达到系统具有较小的超调量和特定的响应速度, K_p 应取较小值^[12]。在这种情况下, K_d 对系统影响很大,应取较小值, K_i 应选取适当的值。(3) 在偏差变化较小的情况下,为使系统有很好稳定性, K_p, K_i

的值应取较大一些,为减小响应值的振荡,应恰当选取 K_d ^[13]。规则是:当偏差变化小时, K_d 取大值,当变化较大时,取小值。根据自整定规则,建立合适的 e 、 ec 、 K_p 、 K_i 、 K_d 的模糊规则控制表如表 5~表 7^[14]。

表 5 K_p 的模糊规则控制表

Tab. 5 Fuzzy rule control table of K_p

e	ec						
	NB	MN	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	ZO
NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PS	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	ZO	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	NS	NS	NM	NM	NB	NB

表 6 K_i 的模糊规则控制表

Tab. 6 Fuzzy rule control table of K_i

e	ec						
	NB	MN	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NM	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NS	NM	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NS	NS	ZO	PS	PS	PM
PS	NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
PM	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 7 K_d 的模糊规则控制表

Tab. 7 Fuzzy rule control table of K_d

e	ec						
	NB	MN	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	PS	ZO	ZO	ZO	PB	PB
NM	PS	NS	NS	NS	ZO	NS	PM
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NM	NM	NS	ZO	PS	PM
PS	NB	NM	NS	NS	ZO	NM	PS
PM	NM	ZO	NS	NS	ZO	NM	PS
PB	PS	ZO	ZO	ZO	ZO	NB	NB

K_p 、 K_i 、 K_d 系数调教参数控制曲面如图 7~图 9。

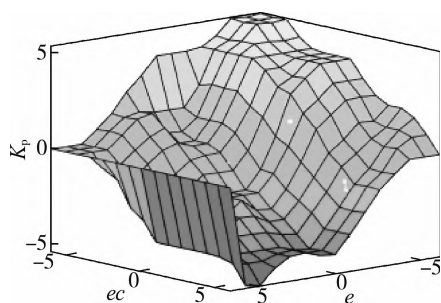


图 7 K_p 系数调教参数控制曲面图

Fig. 7 Surface diagram of K_p coefficient adjustment parameter control

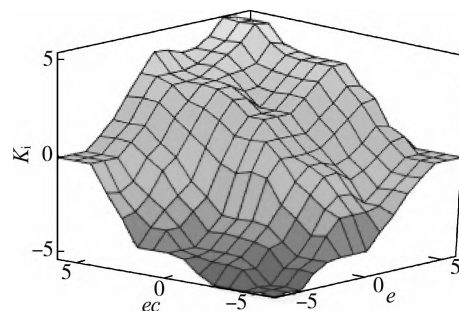


图 8 K_i 系数调教参数控制曲面图

Fig. 8 Surface diagram of K_i coefficient adjustment parameter control

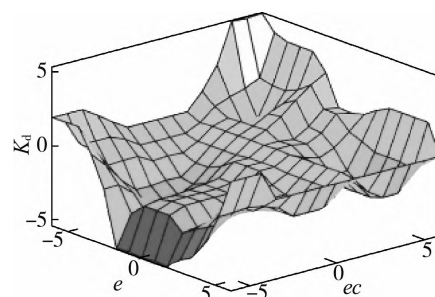


图 9 K_d 系数调教参数控制曲面图

Fig. 9 Surface diagram of K_d coefficient adjustment parameter control

3.2.3 解模糊化

去模糊化有 3 种方法,分别是最大隶属度、重心法和加权平均^[15]。本设计选取重心法对控制器的模糊输出进行反模糊化,求出各个模糊化系数的增量,将得到的反模糊化值乘以比例因子,最终转化为实际论域的变化量。

4 仿真测试试验

为有效地控制烘干房内温度,需对系统进行仿真试验,建立被控制系统的传递函数。运用的是阶跃响应来识别系统的方法。对烘干房进行加热达到某一稳定值后,控制加热功率使其保持稳定,记录烘干房的温度上升曲线一直到达到稳定值,提取数据并保存。导入 Matlab 工具箱中进行识别模型。选用一阶惯性环节纯滞后模型对系统识别,烘干房的数学模型如式(2)所示。

$$G(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{Ts + 1} = \frac{1.87}{160s + 1} e^{-117s} \quad (2)$$

根据以上模糊控制规则和烘干房的数学模型,基于 Matlab 的 Simulink 创建烘干房温度模糊 PID 控制系统模型,如图 10 所示。

模拟烘干系统设定目标温度是 70 °C,假设烘干房的初始温度是 0 °C,得到 PID 控制和模糊 PID 控制仿真结果如图 11 所示。可以发现:从室内初始温度达到设定温度 70 °C 中,PID 控制方案下超出设定温度约

7℃,超调量比较大;而模糊 PID 控制达到 70℃后,系统保持其设定温度,系统保持稳定状态,而且到达稳定

所用的时间明显缩小,结果表明模糊 PID 控制精度高,系统超调量小。

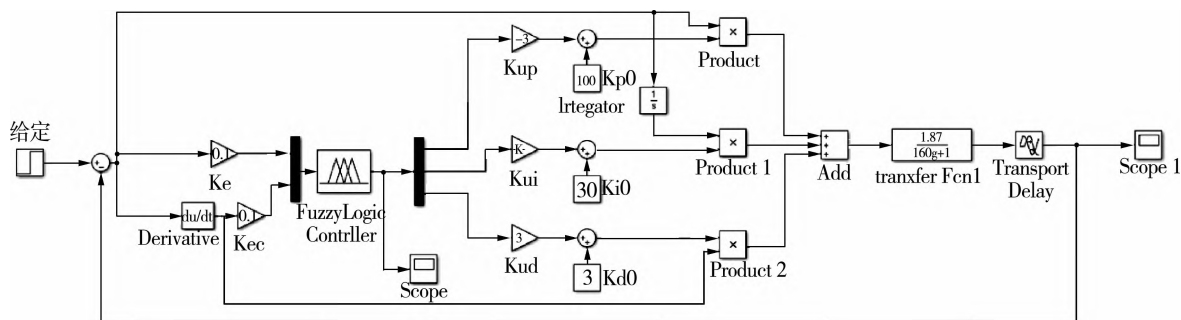


图 10 模糊 PID 控制系统模型

Fig. 10 Fuzzy PID control system model

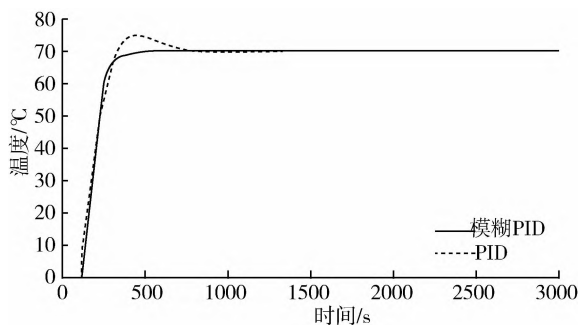


图 11 仿真响应曲线图

Fig. 11 Simulation response curve

5 试验与结果分析

为了验证模糊 PID 控制相对于 PID 控制具有优越性,对该设计系统进行对比试验,对比试验采用相同烘干房,其外部环境因素均相同,设置相同温度目标值为 70℃,初始环境温度为 21℃,每隔 60 s 记录一次烘干房内当前的温度。在系统运行到 960 s 时,开启烘干房的前后门进行扰动,开门持续时间为 240 s。全部试验的数据图形如图 12。

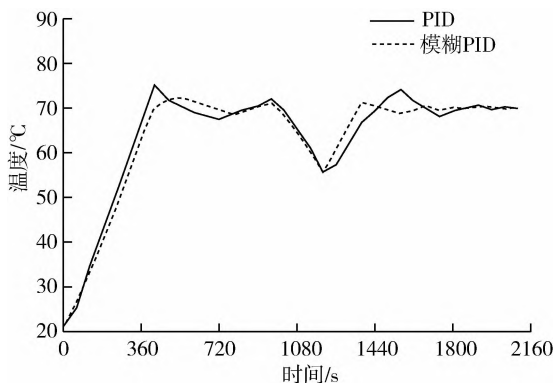


图 12 对比试验

Fig. 12 Comparison test

模糊 PID 控制,在时间 420 s 达到温度目标值,超调量为 3.5%,其调节时间 420 s,到达温度设定值,一直趋于稳定状态;而 PID 控制在时间 380 s 达到目标

值,但其调节时间为 720 s 超调量为 7.3%。在加入干扰系统后,模糊 PID 控制比 PID 控制调节时间少用 240 s。从整个烘干房温度控制效果来看,模糊 PID 控制更具有稳定性,控制温度差值更小,反应更迅速。

6 结论

生猪运输汽车烘干房是非瘟防疫中十分重要的环节,而对于烘干房内温度这一参数,提出设计模糊 PID 温度控制系统。目的在于准确控制烘干房内温度,减少能源损耗。

1) 经过仿真试验,可以看出模糊 PID 控制系统相对于 PID 控制系统,具有较小超调量,控制精度高。对于具有非线性和时变等特点的不确定模型,模糊 PID 具有非常好的控制作用。

2) 由试验数据处理可以看出:经过模糊 PID 参数自我整定,温度的惯性和滞后性有了较大改善,在温度升到目标温度,仅比目标温度高 2.5℃,而且在受到外界干扰条件下,反应速度快,相对于 PID 控制,达到稳定状态节省了 180 s。

参 考 文 献

- [1] 马建民. 试论影响生猪价格的因素[J]. 消费导刊, 2019 (26): 205.
- [2] 冯江, 林升峰, 王鹏宇, 等. 基于自适应模糊 PID 控制的猪舍温湿度控制系统研究[J]. 东北农业大学学报, 2018, 49(2): 73-86.
Feng Jiang, Lin Shengfeng, Wang Pengyu, et al. Piggery temperature and humidity control system based on adaptive fuzzy PID control [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2018, 49(2): 73-86.
- [3] 蒋妍妍, 李洪林. 基于变论域模糊 PID 的分解炉温度控制研究[J]. 测控技术, 2014, 33(10): 72-75.
Jiang Yanyan, Li Honglin. Research on the temperature control of decomposing furnace based on variable universe fuzzy PID [J]. Measurement & Control Technology,

- 2014, 33(10): 72—75.
- [4] 孙洪伟 宋晓君. 模糊控制的现状与发展[J]. 黑龙江科技信息, 2014(32): 130.
- [5] 桑静静. 基于模糊 PID 控制器的温度控制系统的设计[J]. 科学技术创新, 2018(2): 153—154.
- [6] 童克波. 基于 USS 通信的变频调速恒压供水系统的设计及实现[J]. 电气自动化, 2013, 35(5): 104—106.
Tong Kebo. Design and implementation of variable frequency speed regulation for constant pressure water supply system based on USS communication [J]. Electrical Automation, 2013, 35(5): 104—106.
- [7] 弓正, 张昊, 胡欣宇. 基于模糊 PID 控制的温室环境控制系统研究[J]. 物联网技术, 2018(8): 98—100.
- [8] 马金祥, 余发山, 董爱华, 等. 一种模糊自适应 PID 控制器的设计与仿真[J]. 焦作工学院学报(自然科学版), 2002, 21(3): 197—200.
- [9] 陈忠华. 基于自适应遗传算法的模糊控制器优化设计[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2011.
Chen Zhonghua. Optimal design of fuzzy logic controller based on adaptive genetic algorithm [D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2011.
- [10] 张涛, 李家后. 基于参数自整定模糊 PID 控制器的设计与仿真[J]. 交通信息与安全, 2001, 19(z1): 27—30.
- [11] 张巍. 基于 PLC 的液位控制系统设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
Zhang Wei. Design and implementation of liquid level control system based on PLC [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017.
- [12] 杨坤, 孙晓楠, 张正. 航空发动机模糊自适应 PID 控制系统仿真研究[J]. 自动化与仪表, 2019(8): 90—94.
Yang Kun, Sun Xiaonan, Zhang Zheng. Simulation research on fuzzy adaptive PID control system for aeroengine [J]. Automation & Instrumentation, 2019(8): 90—94.
- [13] 曾光奇, 胡均安, 王东. 模糊控制理论与工程应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006.
- [14] 王丁磊, 冯冬青. 基于模糊控制的 PID 参数的整定[J]. 安阳工学院学报, 2006(1): 15—18.
- [15] 曹竞豪, 黄欢, 张帅, 等. 基于模糊 PID 的整平机姿态控制算法设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(7): 85—88.
Cao Jinghao, Huang Huan, Zhang Shuai, et al. Design and implementation of attitude control algorithm for leveling machines based on fuzzy PID [J]. Journal of Computer Measurement & Control, 2019, 27(7): 85—88.

Temperature control design of drying room based on fuzzy PID control

Hao Wenbin¹, Feng Tianyu¹, Huang Shiming¹, Cheng Jie¹, Zhu Wangwu²

(1. School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan, 430068, China;

2. Wuhan Red Star Agricultural and Animal Husbandry Machinery Co., Ltd., Wuhan, 430000, China)

Abstract: To solve the problem of the long time required for the traditional drying and disinfection of pig transport vehicles, the design of the car drying room, exchange of heat & gas, and controlling the indoor temperature to reach the target temperature have become a key issue. Aiming at the outstanding characteristics of temperature control, such as large inertia and hysteresis, an adaptive fuzzy control algorithm of fuzzy PID is proposed. The algorithm is based on empirical fuzzy control rules to optimize the PID coefficient tuning parameters K_p , K_i , and K_d in real-time and effectively improves the control system. According to the conclusion, it can be seen that the maximum temperature difference between the actual temperature of fuzzy PID control and the target temperature is 2.5 °C, and the overshoot is 3.5%. While the maximum temperature difference between the traditional PID and the target temperature is 5.1 °C, and the overshoot is 7.1%. Compared to the traditional PID control, the fuzzy PID has a smaller overshoot, and the response speed is very fast when interfered with by the outside world.

Keywords: Matlab; fuzzy PID; temperature control; drying room