

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.11.017

基于自适应神经网络模糊 PID 的 PTFE 电缆线径控制系统

周克良¹, 韩李珂², 胡梁眉¹

(1. 江西理工大学电气工程与自动化学院, 江西赣州 341000; 2. 江西理工大学机电工程学院, 江西赣州 341000)

摘要: 常见的聚四氟乙烯 (PTFE) 卧式通讯电缆推挤系统中存在非线性、时变性、滞后性, 传统的 PID 控制方式难以获得较理想的控制效果。在此基础上采用一种基于自适应神经网络模糊 PID 的电缆线径控制方法, 通过构建 PTFE 卧式通讯电缆推挤系统的数学模型, 利用神经模糊系统逼近推挤机系统的非线性动态, 从而逼近于整个推挤机对象系统, 通过推挤机系统模口线径值与目标线径之间的误差, 经过控制系统得出当前牵引电机的最优控制量, 使整个生产控制过程中具有更好的自适应性和智能化。仿真实验与现场调试数据分析表明, 采用自适应神经网络模糊 PID 控制算法具有响应速度更快, 调节时间更短, 线径波动更小等优点。

关键词: 电缆推挤系统; 自适应神经网络; 模糊 PID 控制; 线径控制

中图分类号: TP273+.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)11-0078-06

PTFE Cable Diameter Control System Based on Adaptive Neural Network Fuzzy PID

Zhou Kelian¹, Han Like², Hu Liangmei¹

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. School Mechanical of Electrical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract : There are nonlinear, time-varying and hysteresis in the common PTFE horizontal communication cable extrusion system. The traditional PID control method was difficult to obtain a better control effect. On this basis, a cable diameter control method based on adaptive neural network fuzzy PID was adopted. By constructing the mathematic model of PTFE horizontal communication cable extrusion system, the nonlinear dynamics of the extruder system was approached by using neural fuzzy system, and the whole object system of the extruder was approached by the extruder system port line. The error between the diameter value and the target line diameter was obtained through the control system. The optimal control quantity of the current traction motor was obtained, which makes the whole production control process more adaptive and intelligent. Simulation experiments and field debugging data analysis show that the adaptive neural network fuzzy PID control algorithm has the advantages of faster response speed, shorter adjustment time, and smaller diameter fluctuation.

Keywords : cable push system ; adaptive neural network ; fuzzy PID control ; wire diameter control

在通信电缆的生产过程中通常有多个工作过程相互协调工作, 通过牵引电机带动电缆铜芯运动的同时通过推挤电机挤出聚四氟乙烯 (PTFE) 胚料使其裹在电缆铜芯上, 通过加热冷却使 PTFE 胚料在电缆铜芯线上形成绝缘层, 绝缘层的厚度直接影响通信电缆的品质。

国外的 PTFE 电缆生产系统一般使用液压机构提供系统动力, 整个系统形成闭环回路, 进行误差前

馈, 有利于电缆线径的定值控制、生产设备中牵引电机速度稳速控制, 线径控制精度较高, 制造的通信线缆线径能够跟随目标线径, 且波动较小, 但是存在的不足是成本太高, 系统保养需专人操作, 不便于设备维护。

国内的 PTFE 电缆生产系统分为卧式、立式推挤系统, 立式推挤系统存在上料困难, 设备装配不方便等问题已逐渐被淘汰。在生产过程中, 一般会填

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61363011), 江西省自然科学基金项目 (20151BAB207024)

通讯作者: 周克良, 教授, 硕士研究生导师, 主要研究领域为过程控制与网络集成自动化、智能仪器等 E-mail : 1214780904@qq.com

收稿日期: 2018-09-11

引用格式: 周克良, 韩李珂, 胡梁眉. 基于自适应神经网络模糊 PID 的 PTFE 电缆线径控制系统 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(11) : 78-83.

Zhou Kelian, Han Like, Hu Liangmei. PTFE cable diameter control system based on adaptive neural network fuzzy PID[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(11) : 78-83.

充两根 PTFE 胚料,在电缆生产过程中由于两根胚料之间的缝隙或受力情况不均等问题会严重影响线径大小,且由于控制较难所以在大部分生产现场都通过操作人员人工调节牵引电机或推挤电机速度来控制线径大小,生产效率低,且控制精度远远不够。

随着国内外电缆行业发展水平的不断提升对于电缆生产过程中的线径控制精度要求也不断增强。现阶段一些国内外研究学者在线径控制系统中引入了先进控制算法,希望电缆生产效率和控制精度都满足需求。

李爱莲等^[1]采用了动态矩阵,能够有效抑制滞后现象,但调节速度较慢,在实际生产过程中实际电缆线径达到目标线径时间较长。

于强强等^[2]在常规 PID 控制中采用蚁群卡尔曼滤波 PID 控制算法,系统调节速度较快,抗干扰能力较强,但有一定的滞后。

周克良等^[3]在自适应模糊 PID 中加入 Smith 预估器,抗干扰能力较强,抑制扰动能力较好,系统超调小,但是响应速度不快。

在实际生产中,推挤设备中会填充两根 PTFE 胚料,在胚料接头处由于胚料接触程度、干湿情况、种类均有所不同,对线径生产影响较大,所以对控制系统响应速度与抗干扰性能都有较高的要求。

针对上述要求,笔者采用自适应神经网络模糊 PID 控制,将常规 PID 控制、模糊推理规则以及神经网络策略的三者优势集中起来,设计出满足需求的自适应神经网络模糊 PID 控制器^[4],可以较好地处理电缆生产过程中面临的问题。

1 推挤机线径控制系统

1.1 线径生产工艺流程

PTFE 电缆的生产过程一般有绝缘层的生产过程与电缆的放电检测、印字等辅助环节。绝缘层的生产过程即笔者研究的控制重点。其生产过程为通过放线架对电缆铜芯线放出,通过牵引电机带动芯线前行,推挤电机通过螺杆旋转推进,挤出 PTFE 胚料使之均匀附着于铜芯线上。模口测径仪用来测量附着绝缘外皮后的金属线芯的直径。由于 PTFE 胚料中存在催化物质,所以还需要通过高温炉使其蒸发,线径也会降低。因为模口线径与通过高温烘干后测得的收卷线径呈线性关系,且收卷测径仪与控制器之间存在一定滞后,所以在实验中一般采用模口线径为实际线径。最后,通过火花机放电检测,判断电缆生产过程中是否存在绝缘层开裂等问题。

PTFE 推挤机生产工艺流程如图 1 所示。

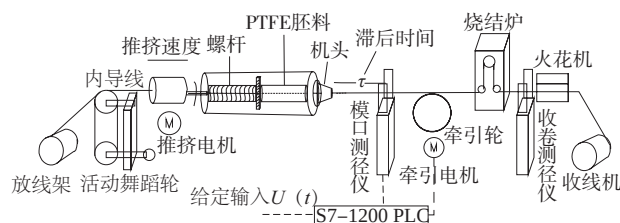


图1 PTFE 推挤机生产工艺流程图

1.2 线径生产控制过程

在电缆线生产过程中,推挤电机挤出 PTFE 胚料如果较快,会使得胚料在电缆单位长度中堆积较厚,实际电缆线径较粗,相反线径会较小。若牵引电机速度较快,会带动铜芯线较快向前移动,在相同时间内挤出的 PTFE 胚料较少,会导致电缆绝缘层较薄,难以达到实际要求的效果,反之会超出目标线径。所以可以通过控制牵引电机速度或推挤电机速度以及两者共同控制来控制线径大小。

经过实验分析,控制过程中改变推挤速度来调节线径大小时,响应较慢。因此保持推挤电机速度使其均匀推动 PTFE 胚料运动,通过控制器与控制策略调节牵引电机调速器来实现电缆线径的控制。在控制系统中,使用西门子 S7-1200PLC 作为控制器,通过编程实现控制算法,控制系统根据实际线径值 y 与目标线径值 r 的偏差给出合适的控制量 u ,控制量作用于生产现场中的牵引电机,能够实现牵引电机的调速。

1.3 牵引系统数学模型

通过对电缆生产工艺流程与生产控制过程分析,可以不考虑其它设备或生产环节对电缆线径的影响,只分析牵引电机速度对电缆线径的作用。牵引电机调速装置是一个闭环调速系统,用二阶惯性环节表示,而牵引轮装置用一阶惯性加纯滞后环节表示^[5]。参考文献[1-2]结合现场实际生产数据建立电缆生产控制系统数学模型如式(1):

$$G(s) = \frac{0.58e^{-1.2s}}{(0.89s + 1)(1.58s + 1)} \quad (1)$$

2 基于自适应神经网络模糊PID控制系统设计

2.1 系统框图设计

在推挤过程中,两根 PTFE 胚料接头处由于胚料接触程度、干湿情况、种类均有所不同对线径生产影响较大。线径波动是先慢慢变小,然后突然变大,且增大幅度明显。这些情况可看成是某个扰动信号。针对推挤机系统的特点,设计出基于自适应神经网络

络模糊 PID 线径控制框图,如图 2 所示。

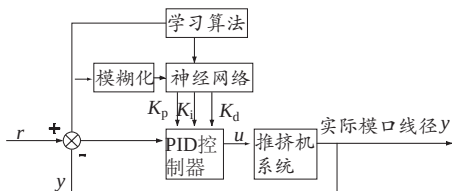


图 2 基于自适应神经网络模糊 PID 线径控制框图

图 2 中, r 为目标线径值, y 为实际模口线径, u 为控制器输出的控制量, 作用于推挤机系统中。

自适应神经网络模糊 PID 线径控制由神经网络通过学习算法逼近模糊规则和 PID 控制部分复合而成, 其中神经模糊部分通过利用神经模糊系统逼近推挤机的非线性动态, 从而逼近于整个推挤机对象系统, 其目的是通过当前时刻线缆模口线径值与理想目标线径之间的误差, 经过控制系统得出当前牵引电机的最优控制量^[6]。控制部分采用常规 PID 算法, 目的是使推挤机对象的输出预测值较快地靠近目标线径值。根据系统的运行状态, 得到的线径误差值 e 和线径误差变化率 e_c 作为模糊神经网络的输入, 通过神经网络的自学习和加权系数的调整不断逼近模糊控制规则对 K_p , K_i 和 K_d 进行在线调整, 增强线径控制系统的自适应能力, 使控制系统的某种性能指标达到最优化^[7]。

2.2 自适应神经网络模糊 PID 控制器设计

(1) 模糊 PID 控制。

针对推挤机对象特点, 初始控制算法采用常规 PID 控制和模糊控制相结合的复合算法。通过建立的模糊推理规则实时对 PID 的 3 个参数 K_p , K_i 和 K_d 进行整定, 设计出模糊自适应 PID 控制器。模糊控制部分的两个输入量分别为目标线径与实际模口线径之间误差 e 和误差变化率 e_c , 控制器得到的三个输出量分别为 ΔK_p , ΔK_i 和 ΔK_d 。通过控制器得到的变化量与根据常规 PID 控制参数整定方法得出的 K_p , K_i 和 K_d 进行运算, 得出最优控制量^[8]。根据实际控制要求, 确定所有输入输出量的模糊论域, 采用同样的隶属度函数, 如图 3 所示。模糊控制器中量化因子能够把目标线径与实际模口线径之间误差 e 和误差变化率 e_c 的实际取值范围转化为控制系统模糊化论域^[9]。而比例因子是为了把经过模糊规则得出的输出变为电缆线径控制系统中的真实输出量。量化因子以及比例因子取值由实验分析和经验值决定。

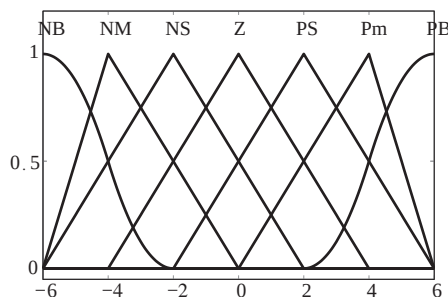


图 3 隶属度曲线函数

在多次实验中不断改变量化因子和比例因子, 观察实验结果, 最终可选取最优化的量化因子 $K_e=3$, $K_{ec}=1$, 比例因子 $\Delta K_p=0.01$, $\Delta K_i=0.16$, $\Delta K_d=0.02$ 。

采用临界比例度法得到 PID 初始参数。初始参数为 $K_p=0.8$, $K_i=0.8$, $K_d=2.1$ 。通过公式 (2) 不断改变 PID 参数大小, 而 PID 参数变化量通过模糊规则根据线径误差与变化率做出调整。相应的模糊规则见参考文献 [10]。

$$\begin{cases} K_p' = K_p + \Delta K_p \\ K_i' = K_i + \Delta K_i \\ K_d' = K_d + \Delta K_d \end{cases} \quad (2)$$

(2) BP 神经网络算法。

BP 网络是采用了误差的反向传播且网络内部的权值不断调整的神经网络, 内部含有多个能够将误差进行前向反馈的隐含层, 采用了梯度搜索技术^[11], 可以通过误差的前向传递调整各个隐含层单元的权值。在推挤机系统中采用 BP 学习算法不断逼近模糊推理规则时, 分为输入信号的正向传播与系统误差的反向传递。输入信号正向传播通过隐含层的逐层处理后将结果传送给输出单元, 如果输出单元得到的结果并不是期望输出, 则通过误差信号的反向传播, 通过修改各层之间连接权值, 使实际输出不断逼近期望输出。

根据 BP 网络原理, 只要在网络内部有足够多的隐含层和隐含节点, 就能够实现较为复杂的映射关系^[12]。

在 BP 网络的训练阶段中, 假设有 M 个训练样本, 使用训练样本中的样本 P 对网络权值进行调整, 假设输入节点数为 N , 激活函数选用 Sigmoid 函数 $f(x)=1/(1+e^{-x})$, 此时隐含层第 j 个神经元在样本 P 的作用下的输入记为 α_{pj} , 输出记为 o_{pj} ^[13], 则有:

$$\alpha_{pj} = \sum_{i=1}^N \omega_{ji} o_{pi} \quad (3)$$

$$O_{pj} = f(\alpha_{pj}) = 1/(1 + e^{-\alpha_{pj}}) \quad (4)$$

式中: α_{pj} ——隐含层第 j 个神经元在样本 P 的作用下的输入;

ω_{ji} ——神经元 i 到神经元 j 的权值;

O_{pj} ——神经元 j 的实际输出。

由于神经网络建立时内部隐含层之间的连接权值是任意设置的,所以在神经网络模型中实际输出与期望输出存在一定误差^[14],定义模型误差为:

$$E = \sum_p E_p \quad (5)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (d_{pj} - O_{pj})^2 \quad (6)$$

式中: d_{pj} ——神经元 j 的期望输出。

按照使误差函数减小最快的方向调整权值,则 BP 算法的权值修正公式可以统一为:

$$\omega_{ji}(t+1) = \omega_{ji}(t) + \eta \delta_{pj} O_{pj} \quad (7)$$

$$\delta_{pj} = \begin{cases} (d_{pj} - O_{pj}) * f'_{(\alpha_{pj})} \\ f'_{(\alpha_{pj})} * \sum_k (\delta_{pk} * \omega_{kj}) \end{cases} \quad (8)$$

式中: η ——神经网络学习速率;

δ_{pj} ——隐含单元的误差修正量;

$f'_{(\alpha_{pj})}$ ——激活函数的导数项。

由于 BP 网络对于系统模型的依赖性并不强,输入与输出之间的一些关联信息分散在各层的连接权值之间,单个神经元对于 BP 网络的输出影响较小。因此 BP 网络有较好的容错性能^[15]。

(3) 自适应神经网络模糊控制器结构。

自适应神经网络模糊系统属于局部逼近网络,是按照模糊系统模型建立的,模糊系统的建立需要依靠丰富的经验知识,利用神经网络的优秀学习算法可以有效地逼近输入输出的非线性映射,网络内部权值的学习与调整都能够轻易实现。

为了使推挤机系统得到更优的控制,在仿真实验过程中分别采用三个 BP 网络,自适应神经网络模糊控制器结构如图 4 所示。输入分别对应推挤机系统中线径误差值 e 和线径误差变化率 e_c ,输出对应 PID 控制的三个参数变化量^[16]。

通过设置线径误差值 e 和线径误差变化率 e_c ,以及 3 个 BP 网络的输出变量 ΔK_p , ΔK_i 和 ΔK_d 的模糊论域,对模糊控制规则进行训练^[17]。

在实际模型中,线径误差值 e 和线径误差变化率 e_c 对应图 4 中的 x_1 和 x_n ,即输入部分。图中的 μ_m 表示的是模糊集合的隶属函数, α_m 表示的是模

糊规则适用度, $\bar{\alpha}_m$ 表示的是归一化操作, ω_i 表示的是清晰化操作第 i 个操作对应的某个模糊语言的隶属度函数中心值。

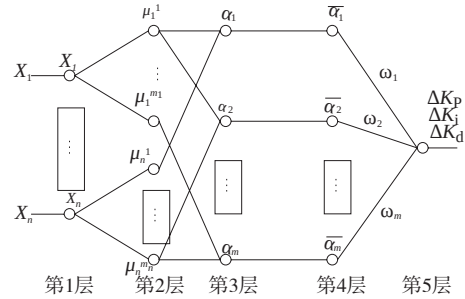


图 4 自适应神经网络模糊控制器结构

3 系统仿真及结果分析

利用 MATLAB 的神经网络工具箱函数,建立上述的自适应神经网络模糊系统。训练完毕后可以得到以 ΔK_p , ΔK_i 和 ΔK_d 为输出的 BP 网络训练过程,如图 5~图 7 所示。由图可知 ΔK_p 在 5000 次训练过程中最小误差为 0.73492, ΔK_i 为 0.73578, ΔK_d 在 7000 次训练过程中最小误差为 0.040887。

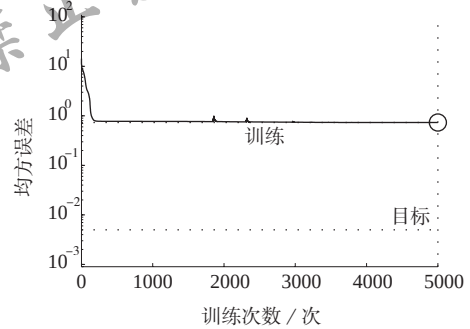


图 5 K_p 网络训练过程

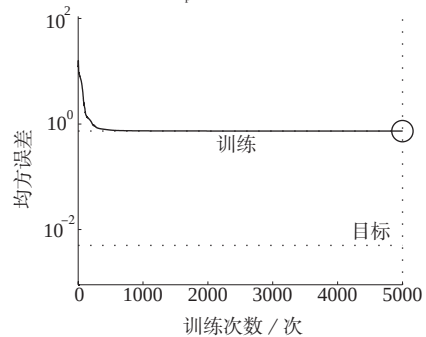


图 6 K_i 网络训练过程

在 Matlab 中进行仿真实验,仿真结果如图 8 所示,横坐标表示时间,纵坐标表示在阶跃响应下三种控制算法得到的实际线径。

从图 8 曲线可知,采用常规 PID 控制算法,实际峰值可达到 4.1 左右,超调量约为 13.89%,调节时间约为 21 s,超调较大;采用模糊 PID 复合算法,系

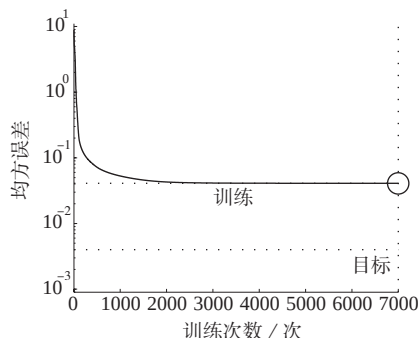
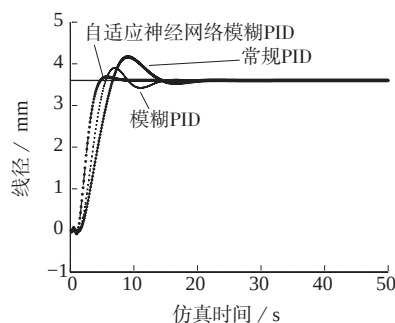
图7 K_d 网络训练过程

图8 仿真曲线图

统超调量约为 6.9%, 调节时间为 16 s, 与 PID 控制相比线径波动更小。采用自适应神经网络模糊 PID 算法, 系统超调量约为 4.1%, 调节时间约为 8 s, 系统响应速度最快, 线径波动最小, 调节时间最短。

仿真结果表明: 自适应神经网络模糊 PID 在电缆线径控制系统中产生的超调最小, 响应速度最快, 调节时间最短, 控制效果比另外两种控制方式更好。

4 现场测试与数据分析

在现场生产过程中, 在西门子 S7-1200PLC 中进行编程, 采用三种控制方法对系统进行控制, 通过现场调试、数据采集, 针对生产数据进行分析研究。

两根 PTFE 胚料接头处线径波动较大, 控制较难实现。在正常生产时, 随机抽取一组数据, 确定过接头时推挤行程位置, 便于在过接头处使用三种控制方法进行比较分析。随机数据拟合图如图 9 所示。

由图 9 可知在生产过程中, 当推挤行程达到 550~600 mm 时, 胚料接头处开始挤出, 此时线径波动较大。在推挤行程达到胚料接头处, 分别使用三种方法, 线径波动如图 10 所示。

通过现场实验数据分析可得, 胚料接头处在自适应神经网络模糊 PID 控制策略中整体标准差为 0.00730742, 线径均值为 3.580 mm, 在模糊 PID 控制策略中标准差为 0.010946005, 线径均值为 3.582 mm, 使用常规 PID 标准差为 0.015855582,

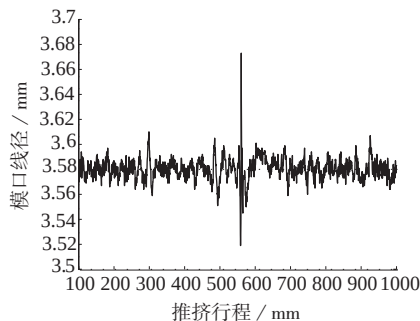


图9 推挤数据拟合

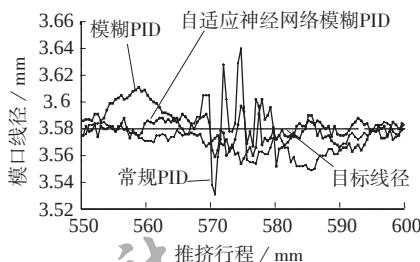


图10 三种控制方法下的线径波动

线径均值为 3.574 mm。对比分析可知, 胚料接头处使用自适应神经网络模糊 PID 控制策略线径误差最小, 波动最为平缓, 控制效果优于另外两种算法。

5 结论

针对 PTFE 推挤机线径控制系统的时变性、非线性、大滞后等特点, 笔者采用了基于神经网络、模糊 PID 控制和传统 PID 控制相结合的适用于推挤机线径控制系统的自适应神经网络模糊 PID 控制算法, 在 MATLAB 的仿真系统对 3 种控制算法的阶跃响应进行分析比较, 并在现场生产过程中对 3 种算法进行编程调试, 采集数据后进行对比分析。结果均表明, 在电缆线径控制系统中, 自适应神经网络模糊 PID 能够实现线缆线径在目标线径附近 3.58 mm 小范围波动, 有较好的快速响应能力, 能够满足线缆实际生产需求。

参考文献

- [1] 李爱莲, 张淑凤, 陈彦茹. 动态矩阵控制在直径控制系统中的应用[J]. 冶金自动化, 2009(S1):775-777.
Li Ailian, Zhang Shufeng, Chen Yanru. Application of dynamic matrix control in diameter control system[J]. Metallurgical Automation, 2009(S1):775-777.
- [2] 于强强. 电线电缆生产线线径控制系统研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2017.
Yu Qiangqiang. Research on wire diameter control system of wire and cable production line[D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2017.
- [3] 周克良, 王荡荡, 韩李珂. 基于 Smith 预估器的自适应模糊 PID

- 在电缆线径控制系统中的应用[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版,2018,32(6):175-181.
- Zhou Kelian, Wang Dangdang, Han Like. Application of self-adaptive fuzzy-pid based on smith predictor in cable wire size control[J]. Journal of Chongqing University of Technology:Natural Science Edition,2018(6):175-181.
- [4] 梁娟,赵开新,陈伟. 自适应神经模糊推理结合 PID 控制的并联机器人控制方法[J]. 计算机应用研究,2016,33(12):3586-3590.
- Liang Juan, Zhao Kaixin, Chen Wei. Parallel manipulator control method based on adaptive network fuzzy inference system and PID control[J]. Journal of Computer Applications,2016,33(12):3586-3590.
- [5] Li Hui, Yu Qiangqiang. The wire beltline diameter aco-kf-pid control research[C] // Prognostics and system health management conference.Newyork:IEEE,2017:1-6.
- [6] 马泳娟,陈小强,侯涛. 基于模糊预测控制的高速列车速度控制研究[J]. 计算机测量与控制,2013,21(1):96-99.
- Ma Yongjuan, Chen Xiaoqiang, Hou Tao. Study on the speed control of high-speed train based on fuzzy predictive control[J]. Computer Measurement and Control,2013,21(1):96-99.
- [7] 欧艳华. 基于神经网络的自适应 PID 控制器设计[J]. 机械设计与制造,2014(6):263-265.
- Ou Yanhua. The design of adaptive PID controller based on neural network[J]. Mechanical Design and Manufacturing,2014(6):263-265.
- [8] 吴勇,赵勇,黄堃. 基于模糊免疫 PID 的饲料加工试验机温度控制研究[J]. 饲料工业,2013,34(11):8-10.
- Wu Yong, Zhao Yong, Huang Di. Temperature control of feed processing testing machine based on fuzzy immune PID[J]. Feed Industry,2013,34(11):8-10.
- [9] 胡国华,杨艳,金贤锋. 基于 MATLAB 逆变点焊电源模糊 PID 控制研究[J]. 青岛大学学报:工程技术版,2014,29(4):23-26.
- Hu Guohua, Yang Yan, Jin Xianfeng. Induction fuzzy PID control of resistance spot welding based on MATLAB[J]. Journal of Qingdao University:Engineering Technology Edition,2014,29(4):23-26.
- [10] 过振宇. 基于模糊预测 PID 的 PTFE 电线电缆线径控制系统研究与设计[D]. 赣州:江西理工大学,2018.
- Guo Zhenyu. Research and design of PTFE wire and cable diameter control system based on fuzzy predictive PID[D]. Ganzhou:Jiangxi University of Science and Technology,2018.
- [11] 谢静. 基于神经模糊 PID 混合控制的恒压供水系统[D]. 西安:西安科技大学,2011.
- Xie Jing. Constant pressure water supply system based on neuron-fuzzy PID control[D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology,2011.
- [12] 朱坚民,沈正强,李孝茹,等. 基于神经网络反馈补偿控制的磁悬浮球位置控制[J]. 仪器仪表学报,2014,35(5):976-986.
- Zhu Jianmin, Shen Zhengqiang, Li Xiaoru, et al. Magnetic levitation ball position control based on neural network feedback compensation control[J]. Journal of Instruments and Instruments,2014,35(5):976-986.
- [13] 王丽萍. 基于 BP 神经网络工具箱实现函数逼近[J]. 湖南农机,2011,38(9):29-31.
- Wang Liping. Realization based on BP neural network toolbox function approximation[J]. Hunan Agricultural Machinery,2011,38(9):29-31.
- [14] 陈家顺. 基于人机交互的机器人动作模仿学习[D]. 广州:华南理工大学,2015.
- Chen Jiashun. The robot's motor learning by imitation based on human-computer interaction[D]. Guangzhou:South China University of Technology,2015.
- [15] 郝彦琴,龙春光. 基于 BP 神经网络和遗传算法的机箱壳注塑工艺参数多目标优化[J]. 工程塑料应用,2018,46(3):69-75,111.
- Hao Yanqin, Long Chunguang. Multiple objective optimization of injection molding parameters for chassis shell based on BP neural network and Genetic algorithm[J]. Engineering Plastics Application,2018,46(3):69-75,111.
- [16] 刘亚伟,薛鹏. 基于模糊自适应 PID 控制的温室大棚控制策略研究[J]. 科技与创新,2018(4):41-43.
- Liu Yawei, Xue Peng. Control strategy of greenhouse based on fuzzy adaptive PID control[J]. Science and Technology & Innovation,2018(4):41-43.
- [17] 张奎,雷勇. 无刷直流电机智能 PID 控制系统建模与仿真[J]. 测控技术,2015,34(4):81-84.
- Zhang Kui, Lei Yong. Modeling and simulation of brushless DC motor intelligent PID control system[J]. Measurement and Control Technology,2015,34(4):81-84.

路博润公司推出新型医用热塑性聚氨酯材料

位于俄亥俄州 Wickliffe 的路博润公司 (Lubrizol) 最近推出了一种新型医用热塑性聚氨酯 (PUR-T) 材料 Tecobax。应用工程师 Walid Qaqish 表示,该材料具有医疗市场所需的强度、多功能性和生物相容性等性能。

根据定义, Tecobax 是一款脂肪族聚醚 PUR-T。Qaqish

补充说,它的热容量高于典型的芳香族 PUR-T。可用于挤压和注射成型。

Tecobax 材料可应用于导管及其它医疗应用,在这些应用中,该材料可以满足医疗客户所需的非软化、热加工性和抗扭结性能。Qaqish 表示,Tecobax 还具有可扭转性,这是影响导管通过人体血管系统的能力的重要特性。(PUWORLD)