DOI: 10.19825/j.issn.1002-1396.2023.05.11

改进人工蜂群算法在注塑机温控系统中的应用

王 力, 高珣洋, 朱亮宇, 赵志挺

(沈阳化工大学 机械与动力工程学院, 辽宁 沈阳 110021)

摘 要: 为提高注塑机电磁感应加热装置温度控制系统的控制精度和响应速度,提出了一种基于改进人工蜂群算法的电磁加热温度控制策略。该策略在传统人工蜂群算法基础上,向当前种群最优个体和随机个体中增加了学习因子,在目标函数中融入超调量机制。仿真结果表明:与带Smith预估控制的线性二次最优比例积分微分控制方法和粒子群算法相比,采用改进人工蜂群算法温度控制系统升至100℃时的误差小,控制精度高,阶跃响应平滑。

关键词: 注塑机 人工蜂群 比例积分微分控制 温度控制

中图分类号: TQ 320.52 文献标志码: B 文章编号: 1002-1396(2023)05-0051-06

Application of improved artificial bee colony algorithm in temperature control system of injection molding machine

Wang Li, Gao Xunyang, Zhu Liangyu, Zhao Zhiting

(School of Mechanical and Power Engineering, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110021, China)

Abstract: An electromagnetic heating temperature control strategy based on improved bee colony algorithm was proposed to enhance the control accuracy of the temperature control system of injection molding machine and shorten the control time. The learning factor was added to the optimal and random individuals of the current population according to the traditional artificial bee colony algorithm, and the output overshoot mechanism was integrated into the objective function. The simulation results show that the improved artificial bee colony algorithm has a more minor error, higher control accuracy and smoother step response than the linear quadratic optimal proportional—integral—derivative control method with Smith predictive control and particle swarm optimization when the system temperature reaches 100 °C.

Keywords: plastic injection machine; artificial bee colony; proportional-integral-derivative control; temperature control

在塑件成型过程中,注塑机料筒温度是影响塑件质量的重要因素之一。温度太低导致塑料熔化不透彻,塑件不易成型,温度太高导致塑料原料分解,因此对注塑机料筒温度精度的控制要求较高。注塑机的加热方式从原有的电阻式加热逐渐转变为电磁感应加热^[1-2]。电磁感应加热以电能作为能量来源,由于其自身特殊的电磁转换加热原理,感应加热效率可达45%~70%,但存在降温速率慢、温度控制精度低和调节时间长等问题。赵宗彬等^[3]利用水冷和风冷的冷却式注塑机电磁感应加热装置控制料筒温度,结果表明,水冷式电磁加热装置较风冷式控温精确、加热速率快及热

效率高。陶西孟等^[4]提出了一个能使模具快速加热与快速冷却的温度响应系统,在2s内可将模具从25℃升至250℃,且模具及成型塑件冷却时间较短。林辉等^[5-6]研究了注塑机多段料筒温度特性,提出了一种积分分离式不完全微分比例积分微分(PID)控制的方法。结果表明,采用该方法时控制精度高、响应速度快、成本低。胡素红等^[7-8]基于

收稿日期: 2023-03-27; 修回日期: 2023-06-26。 作者简介: 王力, 男, 1986年生, 工学博士, 讲师, 硕士研究生导师, 2018年毕业于东北大学材料加工工程专业, 主要研究方向为机电设备控制系统开发及仿真研究。 E-mail: wanglixsqk@126.com。 Smith预估控制算法提出了一种改进PID算法,提 高了系统的稳定性和鲁棒性。陈凯等[9-10]将Smith 预估控制和PID控制结合对水冷式注塑机料筒电 磁加热系统温度进行控制,结果表明,该控制方 法抑制了纯滞后、时变对料筒温度控制系统动态 特性的影响。目前,注塑机加热装置温度控制系 统常用基于PID控制的改进控制策略(如时间最 优控制策略、Smith预估控制),抑制了温度控制系 统的大时滞、非线性时变等对控制结果的不利影 响,但其控制结果仍可改进。人工蜂群算法是一 种基于蜜蜂采蜜机理的新型的群智能算法。它具 有很强的全局收敛性、贪婪启发式的搜索特征, 以及求解问题的快速性等优越性能[11]。目前,采 用人工蜂群算法通过个体局部寻优行为的较快收 敛速度[12]处理闪蒸罐压力控制过程中的大滞后、 非线性等问题, 使压力控制器的调整时间及控制 系统的稳定性大幅提高[13]。考虑到注塑机加热装 置温度控制系统同样具有上述问题,因此,本工作 提出了一种改进的人工蜂群算法,采用在搜索方 式中引入当前种群最优解学习因子和在执行机构中输出超调量惩罚机制的方法,引导全局搜索向全局最优快速收敛,以优化算法。基于Matlab仿真平台,对改进人工蜂群算法优化PID控制算法的控制性能进行仿真研究,并与带Smith预估控制的线性二次最优PID控制方法和粒子群算法控制的控制性能进行对比,验证改进人工蜂群算法在注塑机加热装置温度控制系统应用中的优势与有效性。

1 电磁加热控制系统模型的建立

低温物料通过装料斗进入水冷式注塑机料筒进行电磁加热熔化,得到高温物料再进行定型。水冷式注塑机电磁加热温度控制系统采用铂电阻温度传感器将料筒内壁温度输入到控制计算机,计算其与设定的目标温度的差值,再通过控制计算机中的比较器判断加热或冷却过程,从而调节电磁加热控制器或伺服阀,使实际温度更快逼近目标温度,以减少超调和振荡。电磁加热温度控制系统结构示意见图1。

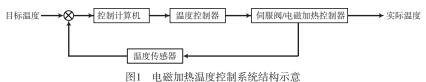


Fig.1 Structure diagram of electromagnetic heating temperature control system

以注塑机料筒温度为控制对象,设定温度为控制目标,电磁感应线圈加热功率为控制量^[14]。通过参数辨识的方法建立水冷式注塑机电磁感应加热装置在加热过程中的控制模型,结合文献[11],建立温度随加热功率变化的数学模型,见式(1)。

$$P = K \cdot dT/dt \tag{1}$$

式中: P为加热功率, kW; K为加热系数; T为加热温度, \mathbb{C} ; t为时间, s。

经Laplace变换,得到式(2)和式(3)。

$$L \left[dT/dt \right] = L \left[P/K \right] \tag{2}$$

$$sT(s) - T(0) = P(s)/K \tag{3}$$

式中: s为复数域; T(s) 为复数域内的加热温度, \mathbb{C} ; P(s) 为复数域内的加热功率, kW; T(0) 为零初始时刻的温度, \mathbb{C} 。

在零初始条件下, 其传递函数表达式见式(4)。

$$H(s) = T(s)/P(s) = 1/K \cdot s \tag{4}$$

式中: H(s) 为零初始条件下温度随加热功率变化的传递函数。

加入时间延迟环节,得到最终加热阶段的数 学模型,见式(5)。

$$H_{\rm b}(s) = (1/K \cdot s) \cdot e^{-\tau s} \tag{5}$$

式中: τ 为时间系数; $H_h(s)$ 为最终加热阶段的传递函数。

对式(5)采用最小二乘法,得到式(6)。

$$H_{b}(s) = (1/9.11s) \cdot e^{-175s}$$
 (6)

由于注塑机所处环境存在基础温度,经验证,加热阶段的最终加热模型见式(7)。

$$H_{\rm h}(s) = (1/9.11s) \cdot e^{-175s} + T_0$$
 (7)

式中: T_0 表示室温初值, ℃。

2 改进的人工蜂群算法

2.1 算法概述

在实际生产过程中,常见的PID参数整定方法主要是经验法、反复凑试或使用0.618法对参数进行优选^[15]。这些方法复杂繁琐且费时,进化算法的出现简化了这一过程。人工蜂群算法是继粒子群算法、蚁群算法后又一被广泛应用于自动控制、生产计划、图像处理等研究领域的遗传算法。算法由雇佣蜂、跟随蜂、侦查蜂和食物源组成,流程为: (1)对每个雇佣蜂和对应的食物源(问题的

可行解)信息进行初始化;(2)每个雇佣蜂基于其标定的食物源,寻找附近新的食物源,计算适应度(即食物源的优劣)并将信息分享至蜂群;(3)跟随蜂基于适应度的高低选择分享的食物源信息;(4)跟随蜂前往选定的食物源,并对邻近的食物源适应度进行评价,最终前往适应度最高的食物源;(5)若雇佣蜂尝试一定的次数后,该蜂的食物源适应度仍未能提升,则废弃该食物源,由雇佣蜂转变为侦察蜂找寻新的食物源;(6)重复步骤1~步骤5,直至达到规定的循环次数。

2.2 改进的人工蜂群算法在PID参数寻优中的应用

使用人工蜂群算法对PID控制器中的比例系数、积分系数和微分系数进行寻优,可视为在三维解空间中寻找最优解向量的问题。

考虑到智能体间的信息交互,基于标准人工 蜂群算法,在当前种群最优个体和种群的随机个 体中添加了学习因子;同时在目标函数中融入了 执行机构输出的超调量惩罚机制,在考虑被控对 象响应过程的同时,限制了输出的超调。改进人 工蜂群算法流程见图2。

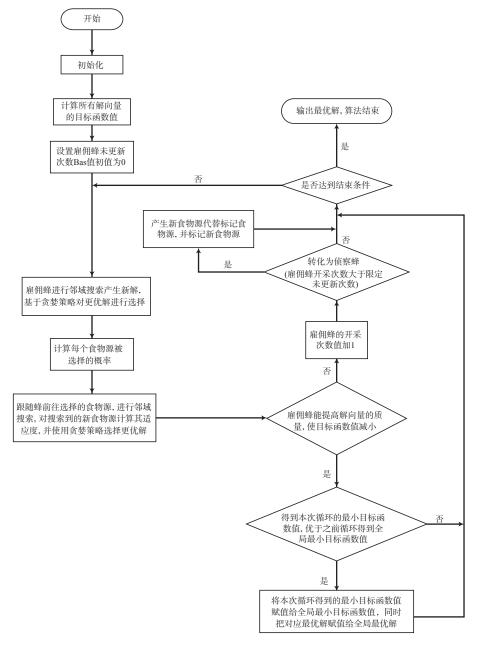


图2 改进人工蜂群算法流程

Fig.2 Opitimized artificial bee colony algorithm flow chart 注: Bas为雇佣蜂未更新次数,次。

1) 初始化参数:设定群体规模、最大迭代次数、限制次数,并使用式(8) 初始化所有解向量。

 X_{ij} =lower(j)+ran d_{ij} (upper(j)-lower(j)) (8) 式中: i=1, 2, …, n, n为食物源的个数; j=1, 2, …, D, D为食物源位置分量个数; upper(j) 和lower(j)分别为第j个位置分量的上限(最大值)和下限(最小值); ran d_{ij} 为第i个食物源的第j个位置分量,取值0~1的随机数。

2)食物源的目标函数常数由PID参数决定的偏差绝对值与时间乘积积分,见式(9)。

$$J=\text{ITAE} = \int_{0}^{\infty} t |e(t)| dt$$
 (9)

式中: J为食物源的目标函数; ITAE为误差积分型指标; t为时间, s; le(t)l为绝对误差。

在目标函数中加入了执行机构输出的超调量 惩罚机制,目标函数变为式(10)。

$$J = \int_{0}^{\infty} t |e(t)| dt + \omega_{\text{act}} \cdot \sigma_{\text{act}}$$
 (10)

式中: σ_{act} 为执行机构输出的最大超调量, %; ω_{act} 为权值。

选定一个连续并且足够大的仿真时间,将其 离散成m份相等的极短时间 Δt ,目标函数表达为 式(11)。

$$J \approx \sum_{i=1}^{m} t(i)|e(i)|\Delta t \tag{11}$$

式中: t(i) 为离散的第i份时间; e(i) 为t(i) 对应的误差值。

3)雇佣蜂进行邻域搜索产生新解的结果由式 (12)决定,利用贪婪策略选择更优解。

 $V_{ij}=X_{ij}+c_1\varphi_{ij1}(X_{ij}-X_{mj})+c_2(1-2\varphi_{ij2})(X_{ij}-X_{kj})$ (12) 式中: V_{ij} 为邻域搜索产生的新解; k为随机数,且 $k\neq i$; c_1 和 c_2 分别为当前种群最优个体的学习因子和种群随机个体的学习因子; X_{mj} 为第m代当前种群最优个体的第j个位置分量; φ_{ij1} 和 φ_{ij2} 分别取值为[0,1]的随机数; j取值为[0,R]的随机数, R为参数个数。如果 $V_{ij}>X_{ij}^{max}$,则将 V_{ij} 的值赋给 X_{ij}^{max} ;如果 $V_{ij}<X_{ij}^{min}$,则将 V_{ij} 的值赋给 X_{ij}^{min} 。

4)每个食物源被选择的概率按式(13)计算。

$$p_i \approx \frac{\text{fit}_i}{\sum_{i=1}^{n} \text{fit}_i} \tag{13}$$

式中: p_i 为第i个食物源被选择的概率; fit_i 为第i个食物源的适应度。

5)食物源的适应度计算见式(14)。

$$fit = \frac{1}{1+J} \tag{14}$$

式中: fit为食物源的适应度。

6) 跟随蜂前往选择的食物源,并进行邻域搜索,该跟随蜂对搜索到的新食物源计算其适应度,并使用贪婪策略选择更优解,最后依照步骤5更新Bas值。

7) 在达到最大循环迭代次数之前,转到步骤4; 到达最大循环迭代次数则循环结束,得到最优的 PID控制参数。

3 结果与讨论

3.1 仿真过程

采用粒子群算法与改进人工蜂群算法对水冷式注塑机料筒电磁感应加热控制系统进行参数寻优的仿真过程中,将人工蜂群算法种群数量设为30,限制次数为40次,最大迭代次数设为100次,决策变量数为3,学习因子 $c_1=c_2=2$ 。粒子群算法惯性因子 $\omega=0.6$,学习因子 $c_1=c_2=2$,待优化参数 $\gamma=2.33$,种群规模为30,最大迭代次数100次。以水冷式电磁加热注塑机料筒温度为研究对象,注塑机的温度预设值一般在100°C左右,以加热过程的温度为被控对象进行仿真,从图3可以看出:利用改进的人工蜂群算法经过100次迭代进化后,得到最优适应度,即fit=4.525 6;利用粒子群算法经过100次迭代进化后的最优适应度,即fit=10.966。

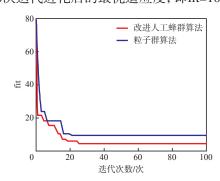


图3 两种算法迭代进化过程单位阶跃响应收敛曲线

 $\label{eq:Fig.3} \mbox{ Convergence curves of unit step response of two algorithms} \\ \mbox{ during iterative evolution process}$

加热功率分别为额定最大加热功率的60%,70%,80%,90%,100%时,加热系统的传递函数表达式见表1。

以水冷式电磁加热注塑机料筒从20 ℃加热至100 ℃过程的温度为对象,加热设定温度作为阶跃信号输入,从图4可以看出:与采用带Smith预估控制的线性二次最优PID控制方法和粒子群算

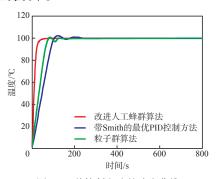
表1 各加热功率下的传递函数

Transfer function at each heating power Tab.1

	0.1
加热功率	传递函数
60%P	$\frac{1}{14.27s}e^{-167s}$
70%P	$\frac{1}{13.41s}e^{-156s}$
80%P	$\frac{1}{11.86s}e^{-158s}$
90%P	$\frac{1}{12.31s}e^{-162s}$
P	$\frac{1}{9.11s}e^{-175s}$

注: P为额定最大功率。

法的阶跃响应输出曲线相比,采用改进人工蜂群 算法的PID控制器时的输出曲线平滑稳定,没有超 调和震荡, 目调节时间最短, 稳定性更好, 具有更 好的控制效果。



三种控制方法的响应曲线

Fig.4 Response curves of three control methods

三种控制算法应用于水冷式注塑机料筒电 磁加热控制,从表2看出:改进人工蜂群算法较带 Smith预估控制的线性二次最优PID控制的上升时 间缩短了40.95%, 较粒子群算法的上升时间缩短 了21.50%, 表明采用改进人工蜂群算法的响应速率 最快;在控制系统到达稳态时,改进人工蜂群算法

的稳态误差小于粒子群算法和带Smith预估控制的 线性二次最优PID控制,表明其控制的精度较好。

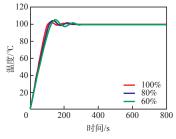
表2 三种控制算法的时域指标

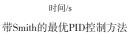
Tab.2 Time domain indicators of three control algorithms

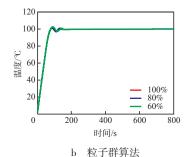
时域指标	粒子群算法	带Smith预估控制的线	改进人工
		性二次最优PID控制	蜂群算法
上升时间/s	79	105	62
调节时间/s	109	220	90
超调量,%	1.1	2.1	0
稳态误差/℃	0.251	0.600	0.163

3.2 鲁棒性验证

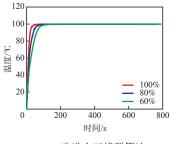
将计算得到的加热过程模型作为被控对象, 分别采用带Smith预估控制的线性二次最优PID 控制方法、粒子群算法和改进人工蜂群算法获得 的控制器参数,即表2的主要性能指标进行PID控 制。此时,不改变控制器的控制参数,而是将被控 对象变成分别为80%P及60%P时的传递函数,得 到三者的系统响应曲线,从图5可以看出:控制器 在被控对象发生变化但控制参数不变时,采用带 Smith预估控制的线性二次最优PID控制器的控制 效果有微小变化,表明其在系统参数发生变化时 适应性和稳定性都有待提高;采用粒子群算法优 化的PID控制器的控制效果仍保持良好,说明其在 系统参数发生变化时适应性较强,但稳定性有待 提高;采用改进人工蜂群算法优化PID控制器的控 制效果基本不变,且明显优于带Smith预估控制的 线性二次最优PID控制器和粒子群算法优化的PID 控制器。这说明采用改进人工蜂群算法优化PID 控制器在系统参数改变时仍能保持系统的稳定 性,体现模型良好的自适应能力,证明了模型突出 的适配能力,以及更好的鲁棒性。同时,系统的抖 震轻微体现了系统良好的稳态特性,验证系统能 够有效实现动态PID参数自整定。











c 改进人工蜂群算法

Fig.5 Response curves for robustness verification of three control algorithms

结论

a) 在传统人工蜂群算法的基础上, 加入了种

群学习因子和输出超调量惩罚机制性能指标加权 的目标函数,对水冷式注塑机料筒电磁加热温度

控制PID控制进行参数寻优。

b)从20 ℃加热至100 ℃过程中,采用改进的 人工蜂群算法优化PID控制器在加热功率发生改 变时,能够通过调整控制参数适应系统的变化, 且模型适配能力和稳定性良好,控制精度、鲁棒 性、自适应能力更优,能够有效实现动态PID参数 自整定。

5 参考文献

- [1] 窦群. 塑料加工中电磁感应加热技术研究[J]. 塑料工业, 2019, 47(10): 18-21.
- [2] 鉴冉冉, 胡力, 杨卫民. 注塑机塑化系统的研究进展[J]. 塑料, 2016, 45(4): 77-80.
- [3] 赵宗彬,朱斌祥,杨大力,等. 电磁加热节能技术在挤塑机加热系统中的应用研究[J]. 塑料工业,2014,42(2):72-74
- [4] 陶西孟, 罗亮, 刘知贵, 等. 基于分段PID的注塑机料筒温度控制算法研究与仿真[J]. 塑料, 2015, 44(3): 68-70.
- [5] 林辉,常继彬. 基于PID控制的温度大滞后系统算法研究 [J]. 甘肃科学学报, 2011, 23(1): 118-121.
- [6] 张平, 苑明哲, 王宏. 大时滞系统自适应模糊Smith控制[J].

- 计算机仿真, 2006, 23(9): 87-90.
- [7] 胡素红, 方建安. 大滞后系统的Smith在线辨识预估控制的研究[J]. 机电工程, 2012, 29(3): 330-333.
- [8] 文定都, 何玲. 基于Smith模糊PID控制算法的炉温控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2009(4): 107-108; 117.
- [9] 陈凯, 赫东锋, 张君安. 水冷式注塑机料筒电磁加热温度的Smith预估控制 [J]. 西安工业大学学报, 2017, 37(5): 426-430.
- [10] 陆萍蓝, 张火明, 毛汝东. 史密斯预估补偿控制与PID控制的比较研究 [J]. 中国计量学院学报, 2009, 20(2): 171-179.
- [11] 曹亚丽, 余牧舟, 杨俊峰, 等. 一种改进的人工蜂群算法研究[J]. 现代电子技术, 2020, 43(12): 133-137; 141.
- [12] Liang J-H, Lee C-H. Amodification artificial bee colony algorithm for optimization problems [J]. Math Probl Eng, 2015, 2015(1): 1-14.
- [13] 程宗政,施一萍,刘瑾,等.基于天牛须蜂群PID算法的闪 蒸罐压力控制[J].传感器与微系统,2021,40(9):108-
- [14] 李国勇, 何小刚, 阎高伟. 过程控制系统 [M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2013: 33-35.
- [15] 蓝益鹏. 计算机控制技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016: 177-180.

中国专利

一种基于废弃聚丙烯的摩擦电再生制品及其 制备方法

本发明公开了一种基于废弃聚丙烯的摩擦电再生制品及其制备方法:利用磨盘形固相力化学反应器将聚丙烯废弃物碾磨粉碎,得到的聚丙烯超细粉体作为主要原料通过双螺杆挤出机混合造粒,再经平板硫化机制备复合材料,最后利用超临界二氧化发泡处理得到摩擦电再生制品。本方法利用固相剪切碾磨技术制备聚丙烯超细粉体,并探索发现了在非常规的特定工艺条件下,可制备具有较佳摩擦电性能的摩擦电再生制品,实现了废弃聚丙烯的高附加值回收利用。

公开号 CN 116120621

公开日 2023年5月16日

申请人 四川大学; 成都普美怡科技有限公司

一种反应-精馏耦合的聚丙烯工艺与装置

本发明涉及一种反应-精馏耦合的聚丙烯工艺与装置,包括丙烯-丙烷塔、蒸汽再沸器、丙烷闪蒸罐、冷凝器、丙烯加热器、聚丙烯反应器等。工艺流程为:丙烯-丙烷塔塔底液相一部分送至聚丙烯反应器撤热部分,加热后经闪蒸返回丙烯-丙

烷塔塔底;丙烯-丙烷塔塔顶气相采出送至冷凝器冷凝后一部分回流,一部分经丙烯加热器预热后送至聚丙烯反应器,聚合过程放出的热量由丙烯-丙烷塔塔底采出的液相丙烷带走。本发明将丙烯聚合放出的热量用于丙烯-丙烷的分离过程,在保证丙烯聚合撤热的同时,实现了反应热的回收利用,有效降低了丙烯-丙烷塔的能耗。

公开号 CN 116159506

公开日 2023年5月26日

申请人 大连理工大学

一种聚丙烯酸橡胶介电弹性体/聚酰亚胺绝缘 复合材料的制备方法及应用

本发明公开了一种聚丙烯酸橡胶介电弹性体/聚酰亚胺绝缘复合材料的制备方法及应用,涉及聚酰亚胺绝缘技术领域。本发明的目的是为了解决传统聚合物复合材料介电常数的增加通常会导致击穿场强降低的问题。本发明制备的聚丙烯酸橡胶介电弹性体/聚酰亚胺绝缘复合材料具有优异的介电性能和击穿性能,并且损耗降低,可以广泛地应用于电气、电子和新能源汽车等领域。本发明制备工艺简单,经济实用,节约了资源,适合大规模工业化生产,为开发聚酰亚胺绝缘复合材料新的应用途径提供了一个很好的策略。

公开号 CN 116218215

公开日 2023年6月6日

申请人 哈尔滨理工大学