

# 基于改进人工蜂群算法的PID参数整定研究\*

商建平<sup>1</sup>,俞树荣<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>兰州石化职业技术学院机械工程系 甘肃兰州,730060)  
(<sup>2</sup>兰州理工大学石油化工学院 甘肃兰州,730030)

**摘要:**针对目前PID参数整定方法收敛精度低和收敛速度慢的问题,提出了在PID参数整定中引入向当前种群最优解学习的改进人工蜂群算法,不仅可以保持种群的多样性,防止算法陷入局部最优,而且可以缩短运算时间。仿真实验结果表明,改进人工蜂群算法的收敛精度和收敛速度均优于标准人工蜂群算法。

**关键词:**PID参数整定;标准人工蜂群算法;改进人工蜂群算法;MATLAB

**DOI编码:**10.14016/j.cnki.1001-9227.2015.11.166

**Abstract:** Aiming at the low convergence precision and the slow convergence speed problem in the PID parameter tuning, this paper introduces the information of the current population optimal solution into the search of the improved artificial bee colony algorithm. Not only can maintain the diversity of the population and prevent the algorithm falling into a local optimum, but also can save operation time. The simulation experiment results show that the convergence precision and the convergence speed of the improved artificial bee colony algorithm are better than standard artificial bee colony algorithm.

**Key words:** PID parameter tuning; Standard artificial bee colony algorithm; Improved artificial bee colony algorithm; MATLAB

中图分类号: TP389.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-9227(2015)11-0166-03

## 0 引言

在自然界中,许多动物群体所表现的行为很值得人类去研究。人们常将“受社会性动物群体的集体行为所启发,从而设计出的算法”称为群智能算法。人工蜂群算法(Artificial Bee Colony algorithm,简称ABC算法)是土耳其学者Karaboga借助蜜蜂在采蜜过程中表现出来的集体智能行为,在2005年提出的模拟蜜蜂采蜜过程的智能算法。由于人工蜂群算法实现简单、易于计算、鲁棒性强、控制参数少等特点,越来越被人们所关注,并已经被应用到约束数值优化问题、多目标优化问题、训练人工神经网络和动态路径选择等领域,都取得了较好的研究成果。不过作为一种新型算法,其算法模型还不是很成熟,使得很多学者从多方面对算法进行了改进。标准人工蜂群算法在处理优化问题时易于陷入局部最优,不仅收敛精度过低,而且收敛速度过慢。本文提出的改进人工蜂群算法在搜索方式中引入了向当前种群最优解学习机理,可以有效地引导搜索向全局最优快速收敛。仿真实验证实,改进人工蜂群算法非常适合PID参数整定问题,这为提高人工蜂群算法解决优化问题的能力和扩大人工蜂群算法的应用范围有着重要的意义和实用价值。

## 1 自然蜂群采蜜方式

蜜蜂是具有很强集体主义精神的社会群居性昆虫。工蜂在采蜜过程中,根据各自所起的作用不同,充当着采蜜蜂、观察蜂或侦察蜂的角色。当采蜜过程发生变化时,工蜂可以转变其充

当的角色。每天采蜜之前,所有工蜂都围绕着蜂巢。在饥饿的驱使下,有一部分工蜂首先离开蜂巢,随机到离蜂巢较远的地方去寻找蜜源,这些工蜂被称为侦察蜂。侦察蜂一旦发现蜜源便开始采蜜,其角色由侦察蜂转变为采蜜蜂。为能采到更多的食物,采蜜蜂还会在蜜源附近寻找更好的蜜源。采完蜜的采蜜蜂分别携带着自己的食物返回蜂巢,并在蜂巢附近特定舞蹈区内跳着各自的舞蹈,这些舞蹈表达着与采蜜有关的各种信息,例如蜜源的蜜量大小和蜂巢到蜜源的距离等。留在蜂巢观看采蜜蜂跳舞的工蜂称为观察蜂,它们通过观察采蜜蜂的舞蹈,获得与采蜜有关的信息,并且判断应该跟随哪一个采蜜蜂,去哪一个蜜源。这种判断具有一定的随意性,不过含有大量蜜量和距离近的蜜源被选择的几率较大。当观察蜂决定跟随采蜜蜂到达蜜源并开始采蜜时,它们的角色将由观察蜂转变为采蜜蜂。新来的采蜜蜂同样遵循着采蜜蜂的采蜜方式,先采蜜再局部寻找更好的蜜源。当某一蜜源的食物被开采殆尽时,采蜜蜂将放弃此处的蜜源,此时的采蜜蜂将转变为侦察蜂。通过工蜂蜂群的努力,最终在蜂巢周围广大区域内可以寻找到最优的蜜源和采到最多的食物。

## 2 标准人工蜂群算法

### 2.1 蜜源的位置初始化

蜜源的位置分量分别为PID参数整定问题中的比例系数 $K_p$ 、积分时间系数 $K_i$ 和微分时间系数 $K_d$ 三个决策变量。由于侦察蜂的随意性,侦察蜂侦察到的蜜源在整个搜索空间内是随机产生的,则第 $i$ 个蜜源的第 $j$ 个位置分量在其取值范围内的初始值为:

$$x_{ij} = x_j^{\min} + r_{ij}(x_j^{\max} - x_j^{\min})$$

其中,  $i=1,2,\dots,n$ ,  $n$  为蜜源的个数;  $j=1,2,\dots,D$ ,  $D$  为蜜

收稿日期:2015-07-25

\*基金项目:甘肃省教育厅科研基金资助项目(0915B-2),兰州石化职业技术学院院内资助项目(K09-07)

作者简介:商建平(1966-),男,江苏泰兴人,工程硕士,副教授,主要从事化工过程机械的教学与优化设计研究工作。

源的位置分量个数;  $x_j^{\min}$  和  $x_j^{\max}$  分别为第  $j$  个位置分量的最小值和最大值;  $r_{ij}$  为第  $i$  个蜜源的第  $j$  个位置分量取值的随机数, 其取值范围为  $[0, 1]$ 。

## 2.2 蜜源的适应度

蜜源的目标函数常取为由 PID 参数决定的偏差绝对值与时间乘积积分:

$$J = ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt$$

为便于应用 MATLAB 软件近似计算  $ITAE$  值, 可选定一个足够大的仿真时间  $T$ , 将连续时间  $T$  按相等的极短时间  $\Delta t$  离散为  $m$  份<sup>[1]</sup>, 则目标函数近似等于:

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

蜜源的适应度可通过以下算式进行计算:

$$fit_i = \frac{1}{1+J}$$

## 2.3 采蜜蜂的搜索

采蜜蜂获得蜜源适应度函数值后, 还要在该蜜源附近进行局部搜索, 并用同样的方式获得新蜜源的适应度函数值。第  $i$  个新蜜源的第  $j$  个位置分量为:

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj})$$

其中,  $x_{ij}$  为第  $i$  个原蜜源的第  $j$  个位置分量;  $x_{kj}$  为第  $k$  个原蜜源的第  $j$  个位置分量,  $k$  为除  $i$  外在  $n$  以内随机产生的数;  $\varphi_{ij}$  为取值范围为  $[0, 1]$  的随机数。如果  $v_{ij} > x_{ij}^{\max}$ , 则  $v_{ij} = x_{ij}^{\max}$ ; 如果  $v_{ij} < x_{ij}^{\min}$ , 则  $v_{ij} = x_{ij}^{\min}$ 。

若新蜜源的适应度高于原蜜源的适应度, 采蜜蜂则保存新蜜源的位置分量和适应度; 否则, 采蜜蜂仍保留原蜜源的位置分量和适应度。

## 2.4 观察蜂的搜索

留在蜂巢的观察蜂数量与采蜜蜂数量相等, 不同的是观察蜂事先没有获得蜜源。采蜜蜂获得较好的适应度后便返回蜂巢, 并将蜜源的适应度信息传递给观察蜂。观察蜂通过分析采蜜蜂传递的信息, 按照概率轮盘策略选择一个蜜源, 并跟随对应的采蜜蜂返回蜜源, 从而拥有自己的蜜源。第  $i$  个蜜源的概率计算式为:

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^n fit_i}$$

其中,  $fit_i$  为第  $i$  个蜜源的适应度值。一旦观察蜂依附于一个蜜源, 观察蜂便转变为采蜜蜂, 并且按采蜜蜂的搜索方式进行搜索, 同时获得新蜜源的适应度函数值。由所有采蜜蜂的适应度函数值可以得到当前种群最优解。

## 2.5 蜜源的淘汰

在迭代运算中选择新的采蜜蜂群时, 为防止蜜源多次被选择, 避免无用的重复运算, 可以在选择运算中增加淘汰运算。所谓淘汰运算就是屏弃枯竭的蜜源, 如果某一个蜜源被选择的次数超过了设定的数值, 这个蜜源便认为已经枯竭。该蜜源的采蜜蜂便成为侦察蜂, 新的蜜源由侦察蜂随机产生, 这就增强了算法的全局搜索的能力。

## 3 改进人工蜂群算法

### 3.1 采蜜蜂搜索方法的改进

标准人工蜂群算法的搜索运算中没有考虑当前种群最优解, 致使搜索迭代速度放慢。改进人工蜂群算法在标准人工蜂群算法的基础上, 增加了向当前种群最优个体学习因子  $c_1$  和向随机个体学习因子  $c_2$ 。新蜜源的位置分量改为

$$v_{ij} = x_{ij} + c_1 \varphi_{ij1}(x_{ij} - x_{gj}) + c_2(1 - 2\varphi_{ij2})(x_{ij} - x_{ij})$$

其中,  $x_{gj}$  为第  $g$  代当前种群最优个体的第  $j$  个位置分量;  $\varphi_{ij1}$  和  $\varphi_{ij2}$  分别为取值范围为  $[0, 1]$  的随机数。

### 3.2 目标函数的改进

目标函数为偏差绝对值与时间乘积积分、 $3 \times 10^4$  倍的最大超调量和  $1 \times 10^7$  倍终了偏差绝对值之和。

$$J \approx \sum_{i=1}^m t(i) |e(i)| \Delta t + 3 \times 10^4 \delta + 1 \times 10^7 d$$

其中,  $\delta$  为最大超调量;  $d$  为仿真结束时的偏差绝对值。

## 4 实际算例

以双容水箱作为被控对象, 文献[2]中辨识出的 CS4000 型过程实验装置双容水箱数学模型为:

$$G(s) = \frac{6.081}{46904.4s^2 + 496.3s + 1} e^{-5s}$$

文献[3]采用粒子群算法进行了 PID 参数整定。四种算法得到的单位阶跃响应比较图如图 1 和图 2 所示。

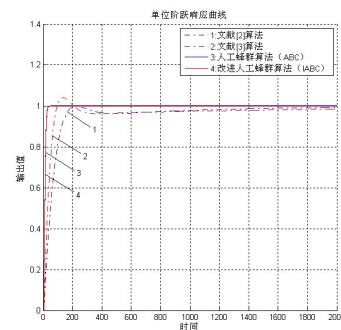


图1 单位阶跃响应比较图

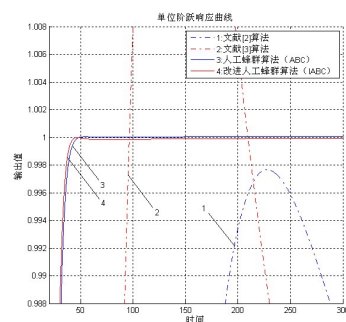


图2 单位阶跃响应比较放大图

四种算法获得的全局最优解和主要控制性能指标, 如表 1 所示。

表 1 全局最优解和主要控制性能指标

算法	$K_p$	$K_i$	$K_d$	$J$	$ITAE$	$\delta$
文献[2]	1.5	0.0016	100	$1.0994 \times 10^5$	$3.528 \times 10^4$	$2.341 \times 10^{-3}$
文献[3]	2.9083	0.0015	163.8888	$2.0674 \times 10^5$	$4.6184 \times 10^4$	$4.0669 \times 10^{-2}$
ABC	6.3378	0.0128	598.9663	$1.2374 \times 10^2$	$1.1658 \times 10^2$	$4.6854 \times 10^{-5}$
IABC	6.418	0.0129	607.508	$1.1879 \times 10^2$	$1.1399 \times 10^2$	$4.7869 \times 10^{-7}$

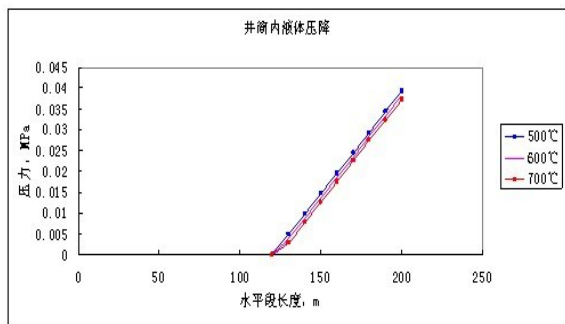


图6 火驱前缘温度对井筒内压力变化的影响

从图中可以看出,不同火驱前缘温度情况下井筒内温度分布的趋势基本一致,火驱前缘温度越高,井筒温度下降的相对幅度越大,但火驱前缘温度越高,水平段跟端的温度相应也越高,井筒内压降也越小。

(4)产液量的影响

假设地层温度分别为20°C、40°C、60°C、100°C时,水平段长度200m,火烧前缘以从水平井趾端向前推进了120m,火烧前缘温度700°C,地层温度40°C,产液量30m<sup>3</sup>/d,气油比20m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,结合油藏的温度分布,利用散热模型,可以计算得到水平井筒内温度、压力变化分别如图7和图8所示。

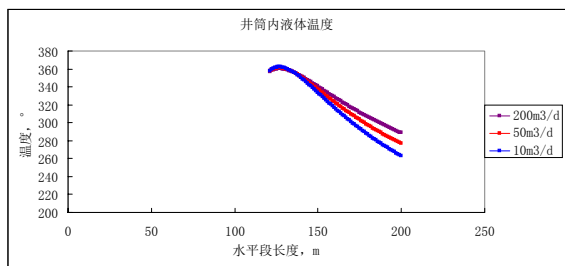


图7 不同产液量水平段温度变化

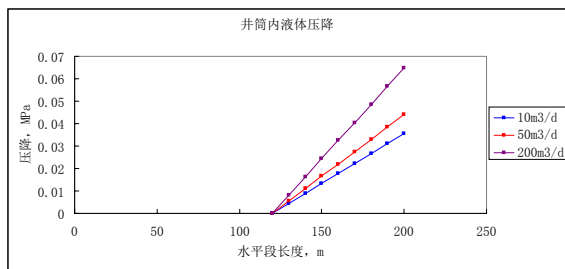


图8 不同产液量水平段压力变化

产液量越大,液体流速越高,相同条件下井筒内的温度越高,但是产液量越大,井筒内压降越大,由于200m水平井筒在不同流速情况下的井筒温度较高,粘度差别带来的影响相对较小,因此,流速越大,井筒内压降越大。

5 结论

(1)本文充分考虑了水平井燃烧泄油端到井口的油藏温度场、井筒流量随时间的变化的基础上,建立火驱水平井水平段温度分布计算模型;

(2)本文充分考虑沿水平段温度变化、油气水组成、气体滑脱效应的影响,建立火驱水平井水平段压力分布计算模型;

(3)在火驱水平井水平段温度、压力分布计算模型的基础上,分析了水平段长度、管柱结构和尺寸、油气水组成变化、火驱前缘温度、地层温度、产液量等一系列因素对火驱水平井水平段温度、压力变化的影响规律。

参考文献

- [1] 刘其成,刘宝良,程海清.超稠油油藏火驱辅助重力泄油技术实验研究[J].特种油气藏,2015,01:84-87+154.
- [2] 梁金中,关文龙,蒋有伟,席长丰,王伯军,李晓玲.水平井火驱辅助重力泄油燃烧前缘展布与调控[J].石油勘探与开发,2012,06:720-727.
- [3] 蒋汉青,陈静惠,卢祥国.井筒两相流传热计算——地层温度[J].国外油田工程,1993,02:34-36.
- [4] 王小秋,徐静,汪志明.水平井筒变质量流动规律的研究进展[J].天然气工业,2005,04:92-94+15.
- [5] 聂延波,李晓平,王金明.水平井筒压降计算理论与方法综述[J].国外油田工程,2010,12:32-36.

上接第167页

从图1、图2和表1中可知,改进人工蜂群算法得出的目标函数J最小,同时偏差绝对值与时间乘积积分ITAE和最大超调量δ也为最小。由此得出,改进人工蜂群算法不但优于人工蜂群算法,更优于文献[2]和文献[3]的算法。所以,在以上四种PID参数整定方法中改进人工蜂群算法是最优的方法。

5 结论

PID参数整定方法的研究越来越被广泛关注。改进人工蜂

群算法不仅提高了收敛精度,而且也提高了收敛速度,是行之有效的PID参数整定方法。

参考文献

- [1] 刘金琨.先进PID控制MATLAB仿真[M].北京:电子工业出版社,2014:76-80.
- [2] 葛薇.智能PID研究及其在液位控制系统中的应用[D].安徽农业大学硕士学位论文,2008.
- [3] 刘道.基于改进粒子群优化算法的PID参数整定研究[D].南华大学硕士学位论文,2012.