

基于改进粒子群优化 IPSO 算法的 茶叶烘干机温度控制策略

A strategy of temperature control in tea dryer based on improved
particle swarm optimization (IPSO)

乌兰¹ 刘雅荣²

WU Lan¹ LIU Ya-rong²

(1. 内蒙古民族大学机械工程学院, 内蒙古 通辽 028043; 2. 长春职业技术学院, 吉林 长春 130000)

(1. College of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028043, China; 2. Changchun Vocational Institute of Technology, Changchun, Jilin 130000, China)

摘要:针对茶叶烘干机热效率低, 温度不稳定、茶叶品质不易保证的问题, 对燃煤式热风干炉进行研究, 通过对粒子群算法(PSO)进行混沌处理, 得出了一种改进粒子群算法(IPSO), 然后通过 IPSO 对模糊 PID 控制器的参数进行优化, 以解决粒子群算法易早熟、寻优效率低以及 PID 参数无法实时在线调整的缺点。根据热风炉的实时温度, 自动调节热风炉的排烟量, 以实现烘干机的温度恒定。同时, 采用优化后的模糊 PID 控制策略对系统进行了仿真和测试。结果表明, 该研究所用方法能根据烘干机温度有效控制热风炉排烟量, 从而实时控制热风温度, 实现恒温控制的目的。

关键词:茶叶烘干机; 改进粒子群算法; 模糊 PID 控制; 优化

Abstract: Aiming at the problems of low thermal efficiency, unstable temperature and difficult guarantee of tea quality of tea dryer, the coal-fired hot air-drying furnace was studied in order to find an effective constant temperature control method. An improved particle swarm optimization (IPSO) algorithm was proposed by chaotic processing of particle swarm optimization (PSO). Then the parameters of fuzzy PID controller were optimized by IPSO to overcome the shortcomings of PSO, including premature, low optimization efficiency and real-time on-line adjustment of PID parameters. According to the real-time temperature of the hot blast stove, the amount of smoke discharged from the hot blast stove could be adjusted automatically to realize the constant temperature of the dryer. Moreover, the optimized fuzzy PID control strategy was used to simulate and test the system. The results showed that the method used in this study could effectively control the amount of smoke exhausted from the hot-blast stove according to the temperature of the dryer, so as

to control the temperature of the hot-blast in real time and achieve the goal of constant temperature control. This method solved the traditional issues in controlling the temperature and reducing the energy consumption, and improved the thermal efficiency of the dryer and resulted in the guarantee of the good tea quality.

Keywords: tea dryer; improved particle swarm optimization algorithm; fuzzy PID control; optimization

烘干是茶叶加工的最后一道工序, 是增加茶叶口感、促进茶叶色、香、味等有机物质形成的重要步骤^[1-2]。目前, 茶叶烘干机多采用燃煤式热风炉作为热源, 而热风温度是茶叶品质优劣的重要因素, 因此对热风温度的控制是茶叶烘干的关键^[3-4]。目前常采用人工控制排烟机和引风机的开启, 这种方法劳动强度大, 燃煤利用率低, 能源严重浪费, 而且温度控制效果也不理想, 严重影响了茶叶的品质。为得到恒定的热风温度, 学者们不断致力于对热风炉温度控制的研究。文献[5]针对传统 PID 控制时温度控制精度低, 鲁棒性差等问题, 设计了一种基于动态矩阵控制的茶叶烘干机, 并提出 DMC-PID 串级温度控制方法, 提高了温度控制系统的动态响应能力与鲁棒性。文献[6]认为通过调节风机转速或进气风门开度, 来调节热风炉进风量的办法改变热风温度, 从而实现恒温控制。文献[7]提出一种基于模糊 PID 的恒温控制方法, 利用模糊规则规范 PID 参数, 以适合温度的实时变化。

基于此, 本研究设计了一种基于改进粒子群的模糊 PID 控制算法, 通过对粒子群算法(PSO)进行改进处理, 得出一种改进粒子群算法(IPSO), 然后通过 IPSO 对模糊 PID 控制器的参数进行优化, 以期实现系统参数的实时在线整定。在热风炉的引烟机上应用智能化变频技术, 根据热风炉的实时温度, 自动调节热风炉的排烟量, 以实现热风温度的恒定, 从而保证烘干效果。

基金项目: 内蒙古自治区科技创新引导项目(编号: KCBJ2018028)

作者简介: 乌兰(1982—), 女, 内蒙古民族大学讲师, 硕士。

E-mail: wlimun@163.com

收稿日期: 2018-06-02

1 燃煤热风炉烘干原理与节能途径

燃煤热风炉主要由烘干箱、炉管、风机、引烟机等部件组成,其原理是利用煤燃烧加热炉管,通过热传递作用,把引入的空气加热,并送入烘干箱内蒸发茶叶内部的水分,实现烘干的目的。风机用于茶叶热风的输送,引烟机使烟气自内向外流动,使炉膛压力降低,外界空气在负压作用下进入炉膛。燃煤热效率是燃煤热风炉式茶叶烘干机的主要生产指标,采用人工控制的热风炉能耗高,热效率低,其中仅排烟损耗就占热风炉热损耗的 70%左右,影响排烟热损失的主要因素就是排烟温度和排烟量^[8-10]。热风炉的热风温度实时变化,难以达到恒定,从而使茶叶烘干品质难以保证。

对热风温度的控制通常采用控制烘干机的引风量以及热风炉的排烟量。前者是根据热风炉进风温度的高低,通过引风机调节送往烘干机的引风量,该方法简单易行,但引风量的变化会使燃煤热风炉的供热量发生变化,影响茶叶的烘干品质。后者是根据进风温度的大小,调节排烟风机的排风量,使热风温度始终控制在一定范围内,达到稳定热风温度和节能减排效果,该方法燃煤利用率高,经济性好,烘干效果较好。

2 恒温控制策略

目前,中国对于热风炉燃烧控制的方法大多还处于人工手动控制,排烟风机和引风机转速和频率都是恒定的,只能人为频繁关闭和开启引烟机,以此控制热风温度。不仅增加劳动强度、浪费能源,控制效果也受到很大影响,因此需要采用一种智能方法,使热风温度控制在一定范围内。

2.1 改进粒子群算法(IPSO)

(1) 传统的粒子群算法基本理论:粒子群算法(PSO)是由鸟类群体行为启发而提出的一种全局优化算法,是从随机解出发,通过迭代寻求最优解并通过适应度来评价解的品质^[11-15]。每个粒子代表一个可能的解向量,通过跟踪两个最优解来更新自己的速度和位置,实现全局寻优。在 N 维空间中,粒子 i 的空间位置和飞行速度可表示为:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}), \tag{1}$$

$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id}), \tag{2}$$

式中:

X_i —— 粒子 i 的空间位置;

V_i —— 粒子 i 的飞行速度。

给定一个目标函数,每个粒子的位置对应一个由该函数决定的相应值,更新策略为:

$$V_{id}^{(t+1)} = \omega \times V_{id}^{(t)} + c_1 r_1 [p_{id}^{(t)} - X_{id}^{(t)}] + c_2 r_2 [p_{gd}^{(t)} - X_{id}^{(t)}], \tag{3}$$

$$X_{id}^{(t+1)} = X_{id}^{(t)} + V_{id}^{(t+1)}, \tag{4}$$

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{t_{\max}} \times t, \tag{5}$$

式中:

$p_{id}^{(t)}, p_{gd}^{(t)}$ —— 分别为 t 时刻个体最优解和全局最优解;

ω —— 惯性权重;

c_1, c_2 —— 学习因子;

$\omega_{\max}, \omega_{\min}$ —— 分别为 ω 的最大值和最小值;

d —— 决策变量的维数;

r_1, r_2 —— $(0,1)$ 之间均匀分布的随机数;

t_{\max}, t —— 分别为最大和当前迭代次数。

(2) 改进的粒子群算法:传统的粒子群算法容易陷入局部最优,出现早熟现象。因此在算法迭代的过程中,为提高粒子的认知能力,可以保留粒子的个体最优位置,并利用向量 θ 进行存储。

对于粒子群中的粒子 i ,任意选择另外一个粒子 j ,按式(6)计算向量:

$$\theta = P_i - x_j, \tag{6}$$

式中:

P_i —— 粒子 i 自身的最优位置;

x_j —— 粒子 j 在该时刻的位置。

为增加粒子的搜索范围,避免粒子群出现早熟的缺陷,现对 PSO 算法进行如下改进:

$$V_{id}^{(t+1)} = \begin{cases} \omega \{V_{id}^{(t)} + c_1 r_1 \theta + c_2 r_2 [p_{gd}^{(t)} - X_{id}^{(t)}]\}, & \text{rand}(0,1) < CR \\ \omega \{V_{id}^{(t)} + c_1 r_1 [p_{id}^{(t)} - X_{id}^{(t)}] + c_2 r_2 [p_{gd}^{(t)} - X_{id}^{(t)}]\}, & \text{other} \end{cases}, \tag{7}$$

式中:

CR —— 交叉率,取值范围为 $[0,1]$ 。

2.2 改进 PSO 优化模糊 PID 参数

用改进 PSO 算法优化模糊 PID 控制器参数,基本步骤:

(1) 初始化 PSO 算法的参数:学习因子、最大迭代次数、粒子的初始位置和速度等。

(2) 种群初始化,计算各粒子的适应度值。将各粒子的当前适应度值与该粒子的最优适应度值进行对比,如果更优,则将当前位置作为该粒子的最优位置。

(3) 用式(5)计算惯性权重,用式(3)、(4)和(7)更新粒子的速度和位置。

(4) 判断是否满足寻优终止条件(设定的最大迭代次数或精度),如果满足则求出最优解,如果不满足则转至步骤(2)。流程如图 1 所示。

3 基于改进粒子群的模糊 PID 控制

3.1 PID 控制

PID 控制即比例、积分、微分的控制方式,表达式为:

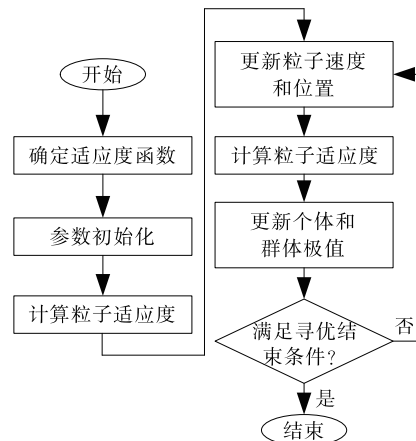


图 1 改进 PSO 优化模糊 PID 参数的基本流程

Figure 1 Basic flow of improving PSO optimization fuzzy PID parameters

$$u(t) = K_p \left\{ e(t) + \frac{1}{K_i} \int_0^t e(t) dt + \frac{K_d de(t)}{dt} \right\}, \quad (8)$$

式中:

K_p 、 K_i 、 K_d ——分别为比例、积分和微分系数;

$r(t)$ 、 $u(t)$ 、 $e(t)$ ——分别为输入、输出和误差信号。

3.2 基于改进粒子群的烘干机模糊 PID 控制

传统 PID 控制器结构简单,易实现,但是由于控制器参数不能自动调节,使其应用范围受到一定限制^[16-17]。把模糊推理运用于 PID 参数的整定,可以实时对 PID 参数进行调节,目前应用比较广泛,但模糊规则的制定一般以经验为主,过程复杂。基于粒子群算法的模糊隶属函数优化方法,通过改进粒子群优化算法可以大幅提高系统收敛速度,解决传统粒子群优化寻址效率低的问题,提高系统的控制性能。

利用模糊规则建立误差及误差变化率与 PID 参数之间关系。在式(7)的基础上,将系统的误差作为粒子群优化算法的评价函数,计算函数的适应度,以此来调整模糊论域的量化范围,对模糊控制器的参数进行调节,使系统的控制性能达到最优,其结构如图 2 所示。

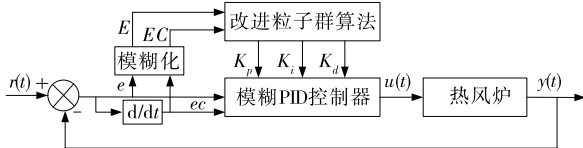


图 2 基于改进粒子群的模糊 PID 控制器结构

Figure 2 Fuzzy PID controller structure based on improved particle swarm

将实际热风温度与设定温度的偏差 E 和偏差变化率 EC 为控制器的输入变量, ΔK_p 、 ΔP_i 、 ΔP_d 为输出变量。定义输入、输出变量的模糊子集分别为 $\{NB, NS, ZE, PS, PB\}$, 分别代表{负大、负小、零、正小、正大}。将每个模糊变量在其论域内分成 5 个量化区间,在加入改进粒子群优化算法后,每个论域的最终量化区间为:

$$\begin{cases} E = Ta_1 \{[-1, -1, -0.5], [-1, -0.5, 0], \\ \quad [-0.5, 0, 0.5], [0, 0.5, 1], [0.5, 1, 1]\}; \\ EC = Ta_2 \{[-1, -1, -0.5], [-1, -0.5, 0], \\ \quad [-0.5, 0, 0.5], [0, 0.5, 1], [0.5, 1, 1]\}; \\ U = Ta_3 \{[-1, -0.5, 0, 0.5, 1]\}, \end{cases} \quad (9)$$

式中:

Ta_i ($i = 1, 2, 3$) ——经改进粒子群优化后的输出值,对应的模糊规则如表 1 所示。

4 仿真分析

把改进粒子群优化模糊 PID 控制器应用于烘干机热风炉恒温控制系统中,并在 MATLAB 软件中建立恒温系统 (T-S) 的仿真模型,如图 3 所示。

设定粒子优化算法中迭代次数为 30,粒子数为 10,优化范围为 0~1 000。设置仿真时间为 150 s,阶跃为 400,分别采用人工控制、模糊 PID 控制以及改进粒子群优化模糊 PID 控制算法进行仿真分析,仿真结果如图 4 所示。

可见,与其它 2 种控制方法相比,IPSO 优化模糊 PID 控

表 1 输出的模糊规则

Table 1 Fuzzy rules output

EC	E				
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	PB	PB	PS	PS	ZE
NS	PB	PS	ZE	ZE	PB
ZE	PS	ZE	ZE	ZE	PB
PS	ZE	ZE	NS	NS	PS
PB	NB	NS	NB	NB	NB

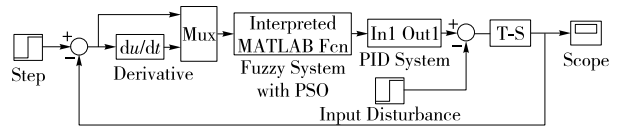


图 3 恒温控制系统仿真模型

Figure 3 Thermostatic control system simulation model

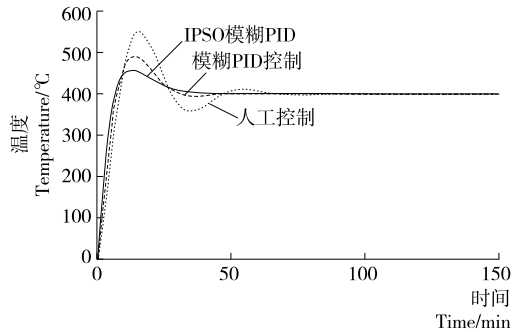


图 4 不同控制方式仿真结果

Figure 4 Simulation results of different control methods

制超调量小,响度速度快,达到稳态时间短,控制效果更好,更适合茶叶烘干机恒温控制系统。

5 实验验证

对某茶厂燃煤热风炉式茶叶烘干机采用不同方式进行控制效果对比。理想热风温度设定为 170 °C 时,周期为 80 min,每 5 min 采集 1 次数据,引烟机转速为 1 350 r/min,手动过程中引烟机频率为 50 Hz。具体实验条件如下:

(1) 实验材料:普洱茶。

(2) 实验设备:某茶厂燃煤热风炉式茶叶烘干机。

(3) 实验方案:分别采用人工控制、模糊 PID 以及 IPSO 模糊 PID 3 种控制方法进行测试,分别以热风温度、排烟温度以及引烟机频率作为研究指标,测试结果如图 5~7 所示。

可见,当理想热风温度值为 170 °C 时,采用人工控制时最高热风温度为 210.6 °C,最低热风温度为 134.9 °C,最大波动幅度为 75.5 °C;采用模糊 PID 控制时最高热风温度为 177.8 °C,最低热风温度为 163.9 °C,最大波动幅度为 13.9 °C;采用 IPSO 优化模糊 PID 控制时最高热风温度为 174.9 °C,最低热风温度为 167.3 °C,最大波动幅度为 7.6 °C。

从结果可以看出,采用人工控制方法时热风温度以及排烟温度变化幅度较大,温度调节速度较慢,烘干效果较差,同时引烟机的频率为固定值,只能手动关闭或开启风机和引烟机,造成大量电能的损耗;与人工控制相比,IPSO 优化模糊 PID 和模糊 PID 控制都能根据热风温度实时自动调节风机

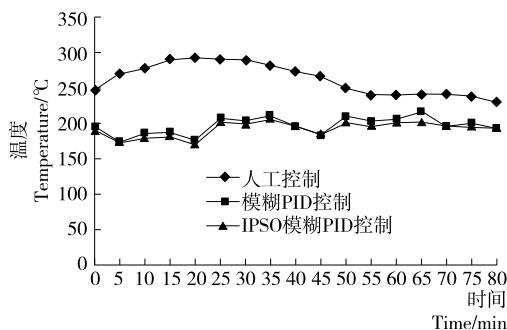


图5 不同控制方式排烟温度变化曲线

Figure 5 Smoke temperature curve of different control methods

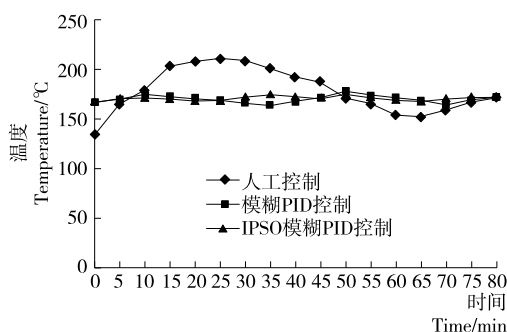


图6 不同控制方式热风温度变化曲线

Figure 6 Hot air temperature curve of different control methods

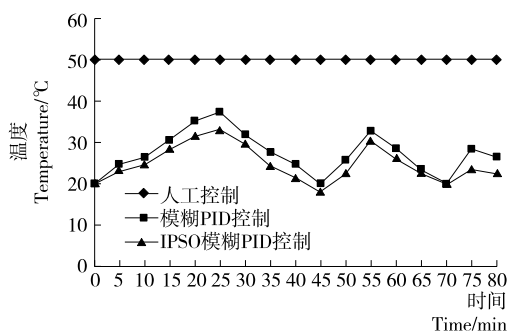


图7 不同控制方式引风机频率变化曲线

Figure 7 Frequency control curve of smoke control machine with different control methods

和引风机的频率与转速,将热风温度控制在一定的范围内,达到恒温控制的目的,在满足温度条件的同时减少了能量损耗,达到节能减排的目的,其中 IPSO 优化模糊 PID 控制时温度变化幅度小,可以获得更优的控制效果。

6 结论

对热风炉温度的有效控制是燃煤式茶叶烘干机的重要问题,也是增加茶叶口感,提高茶叶品质的关键。针对传统人工控制方法的局限性以及热风炉温度的时变性,以燃煤热风炉式烘干机作为研究对象,恒温控制为目标,寻求有效控制方法。

(1) 针对粒子群算法易早熟、且在寻优过程中全局搜索能力差和寻优效率低的缺点,设计了一种基于改进粒子群的模糊 PID 控制算法,实现模糊 PID 参数的有效优化,以解决

PID 参数无法在线整定的问题。

(2) 将改进粒子群优化模糊 PID 控制算法应用于热风炉温度控制系统,当热风温度与设定温度出现偏差时,采用智能化变频技术自动控制引风机的转速和频率,以此保持热风温度的恒定。

(3) 与其它算法相比,改进粒子群优化模糊 PID 控制算法可以获得很好的烘干效果,具有控制精度高、收敛速度快、抗干扰能力强等特点,在提高茶叶品质的同时,提高了工作效率,减小了能量损耗。

本文只对燃煤式茶叶烘干机的温度控制策略进行了研究,但并未进一步探讨温度波动对茶叶成分和品质的影响,下步将从该角度进行研究,以期控制策略的应用提供更有有力论据,进一步说明所用方法在提高燃煤经济性的同时,提高茶叶烘干品质。

参考文献

- [1] 邓小盾. 利用计算机技术控制茶叶烘干实践的策略分析[J]. 福建茶叶, 2016, 38(1): 15-16.
- [2] 吴泽球, 陶中南. 茶叶烘干机械的技术现状及研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 63-265.
- [3] FENG Yan-ling, HUANG Xin. Design of constant temperature control system based on fuzzy control[J]. Modern Electronics Technique, 2010(19): 135-138.
- [4] FUDHOLIA, SOPIAN K, RUSLAN M H, et al. Review of solar dryers for agricultural and marine products[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014(1): 1-30.
- [5] 李兵, 孙长应, 李为宁, 等. 基于 DMC-PID 串级控制的茶叶远红外烘干机设计与试验[J]. 茶叶科学, 2018, 38(4): 410-415.
- [6] 胡景川. 热风炉温度的可调控性能[J]. 茶叶机械杂志, 2002(2): 11-14.
- [7] 吴晓强, 李亚莉, 周红杰, 等. 基于模糊 PID 的茶叶烘干机恒温控制系统研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 111-113, 255.
- [8] 张秦权, 文怀兴, 袁越锦. 远红外联合低温真空干燥设备研究与设计[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 157-150.
- [9] 赵永洁, 黄云战, 周红杰, 等. 普洱茶发酵车间测控系统的设计与实现[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 98-101.
- [10] 黄家春. 茶叶烘干机智能恒温控制系统应用研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 33-36.
- [11] 王彦, 邓勇, 王超. 基于改进粒子群算法的模糊神经网络 PID 控制器设计[J]. 控制工程, 2012, 19(5): 761-764.
- [12] 黄麟, 荆萃, 赵翱东. 基于改进粒子群算法的主动悬架模糊 PID 控制研究[J]. 煤矿机械, 2012, 33(10): 39-41.
- [13] 张丽, 刘维东. 基于改进粒子群算法的水轮机调速系统参数优化研究[J]. 大电机技术, 2017(3): 79-82.
- [14] 王国宇, 黄植功, 戴明. 基于改进粒子群算法的无刷电机模糊控制研究[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2016, 34(2): 21-27.
- [15] 姜宏伟, 赵耀. 基于改进粒子群优化的主动磁悬浮轴承模糊 PID 控制[J]. 科技创新与应用, 2016(32): 35-36.
- [16] 黄耀珍. 基于改进粒子群算法优化的 CCHP 系统中冷冻水循环系统的模糊 PID 控制[D]. 重庆: 重庆大学, 2015: 20-22.
- [17] 魏诗琴, 金心怡, 黄家春, 等. 烘干机温度 PID 控制系统及大红袍烘焙效果试验[J]. 茶叶科学, 2014, 34(6): 557-564.