

# 基于遗传算法的蓄热式镁还原炉温度控制优化

肖庆玲<sup>1</sup>, 于军琪<sup>2</sup>, 王海峰<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学建筑设计研究院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学信控学院, 陕西 西安 710055)

**摘 要:**蓄热式镁还原炉是复杂的受控对象, 其中温度是最主要的影响因素. 为了满足系统要求, 改善控制系统性能, 利用遗传算法优化 PID 控制器的三个参数, 使其温度达到最佳性能指标. 仿真试验结果表明, 采用此算法改善了蓄热式镁还原炉温度控制系统的性能, 增强了蓄热式镁还原炉中温度调节的平滑性, 提高了原料在此系统上的利用效率, 节省了常规能源.

**关键词:**蓄热式镁还原炉; 温度; 遗传算法

**中图分类号:** TP202+.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2012)04-0605-04

蓄热式镁还原炉是镁粉还原过程中最重要的设备, 其中还原炉的温度是影响出镁率的主要因素, 炉膛的温度应控制在 1 250~1 300 °C 时为最佳的还原温度, 同时炉子还受到排烟和换罐等干扰因素的影响. 还原炉温度的调节主要是对煤气流量的调节, 在工业现场中通过 PLC 来实现. 在 PLC 上采用传统 PID 控制, PID 参数选择对温度的精确控制有着重要的影响, 而温度控制对于提高镁产量, 降低能耗, 减少污染有着重要的意义, 本文把遗传算法应用于 PID 参数寻优, 来实现对温度的控制.

PID 控制是最早发展起来的控制策略之一, 因其设计方法及控制结构简单易行, 至今仍在工业过程控制中得到广泛应用. 在 PID 控制中, 控制效果的好坏完全取决于 PID 参数的整定与优化. 目前, PID 参数的整定与优化方法有很多, 如 Z-N 法、继电型自整定法、最优设计法及梯度法、单纯形法. 但各有其弊, 前几种整定方法带有经验性并且不是最优解, 后两种极易陷入局部最优点. 而遗传算法是一种寻求全局最优且不需任何初始信息的高效优化方法. 本文把遗传算法应用于 PID 参数寻优, 通过仿真验证, 效果很好.

## 1 生产工艺

镁的生产方法多采用皮江法炼镁即热还原法, 将白云石、硅铁和萤石按照一定的比例混合装入还原罐中, 进行氧化还原反应, 产生粗镁. 生产工艺如图 1 所示.

还原炉炉膛内两侧分别布置有 8 个烧嘴, 一侧的进气管和煤气管经空气换向阀和煤气换向阀向烧嘴内注入空气与煤气, 混合气体加热后由烧嘴喷射火焰直接辐射加热炉内的耐热钢还原罐, 燃烧产生的烟气余热通过两个蓄热室交替切换工作状态来回收热量. 具体状态是左侧气体(右侧)燃烧, 同时左侧(右侧)蓄热室放热, 加热流经左侧(右侧)蓄热室的空气, 此时右侧(左侧)的蓄热室吸热, 回收通过右侧(左侧)

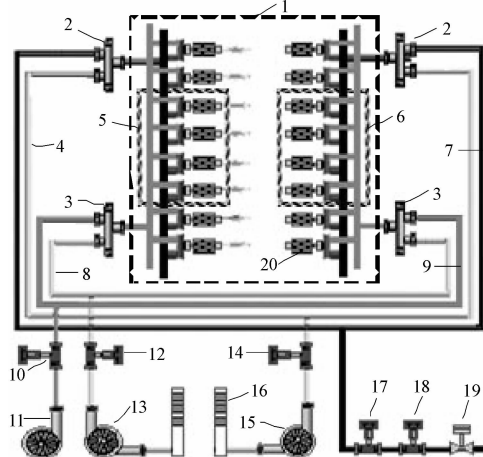


图 1 蓄热式镁还原炉生产工艺原理图

Fig. 1 The production process diagram of regenerative magnesium reducing furnace

- |              |              |          |
|--------------|--------------|----------|
| 1. 炉膛        | 2. 煤气换向阀     | 3. 空气换向阀 |
| 4. 煤气排气管     | 5. 左侧蓄热室     | 6. 右侧蓄热室 |
| 7. 煤气管       | 8. 空气排气管     | 9. 空气管   |
| 10. 空气流量调节阀  | 11. 鼓风机      |          |
| 12. 空气排烟调节阀  | 13. 空气排烟引风机  |          |
| 14. 煤气排烟调节阀  | 15. 煤气排烟引风机  |          |
| 16. 烟囱       | 17. 煤气流量微调节阀 |          |
| 18. 煤气流量粗调节阀 | 19. 快切阀      | 20. 烧嘴   |

收稿日期: 2011-05-10 修改稿日期: 2012-05-03

作者简介: 肖庆玲(1985-), 女, 黑龙江大庆人, 硕士, 主要从事建筑电气方面的设计.

的烟气余热..燃烧产生的烟气经空气排烟管与煤气排烟管由空气和煤气引风机抽走再通过烟囱排出.空气和煤气的流量及其两者排烟流量分别由相应的调节阀控制,其开度大小由控制器实现,从而保证还原炉炉膛温度的精确性,实现最佳燃烧.

## 2 控制算法研究

### 2.1 遗传算法

遗传算法是由美国 Michigan 大学的 Jone H. Hollan 教授在 1975 年首先提出来得适者生存、优胜劣汰的进化机制,对包含可能解的群体进行基于遗传学的操作,不断生成新的群体使群体不断进化,同时以全局并行搜索方式来优化群体中的最优个体,以求得满足条件得最优解.遗传算法的运行过程如图 2 所示:

由图 2 可以看出,遗传算法使用三种遗传算子:选择算子、交叉算子、变异算子.

其主要运行过程如下所述:

步骤 1: 随机产生初始种群,作为第一代.个体长度、种群规模、交叉概率、变异概率为固定值.

步骤 2: 对父代种群计算适应度值.

步骤 3: 判断是否满足终止条件:是,则执行步骤 4;否,则进行选择、交叉、变异操作形成代种群,并将子代种群作为下一次叠代的父代种群,转入执行步骤 2.

步骤 4: 输出最佳个体,退出.

### 2.2 遗传算法优化 PID 参数控制设计

(1) 确定决策变量与约束条件. PID 控制的三个系数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ , 我们根据参数的经验与物理意义来确定参数的取值范围,即为约束条件.

(2) 确定编码和解码方式. 遗传编码有二进制、格雷码、浮点编码、和符号编码等. 用实数编码,则无需解码,但进行遗传操作时不方便;用二进制编码,遗传操作方便,需要解码后得到最优解.

(3) 确定目标函数. 为了获取满意的过渡过程动态特性,采用误差绝对值积分性能指标作为参数选择的最小目标函数. 目标函数如下所示:

$$J = \int_0^{\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t) + w_3 t_u) dt \quad (1)$$

式(1)中  $e(t)$  为系统误差,  $u(t)$  为控制输出,  $t_u$  为上升时间,  $w_1, w_2, w_3$  为权值.

为了避免超调,采用惩罚功能,即一旦产生超调,将超调量作为最优指标的一项,此时的最优指标为

$$J = \int_0^{\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t) + w_3 \cdot t_u + w_r |e(t)|) dt \quad (2)$$

式(2)中,  $w_3$  为权值,且  $w_4 \gg w_1$ .

(4) 确定适应度函数(Fitness Function),确定适应度的一般过程是:对个体编码串进行解码处理后,可得个体的表现型;由表现型可计算出对应个体目标函数;根据最优化问题类型,有目标函数值按一定的转换规则可求出个体的适应度.

(5) 确定遗传算法的运行参数. 根据实际情况确定种群的大小  $M$ 、交叉概率  $p_c$ 、变异概率  $p_m$  和权值  $w_1, w_2$  的大小.

## 3 仿 真

采用阶跃响应的飞升曲线法,可求得还原炉数学模型为:

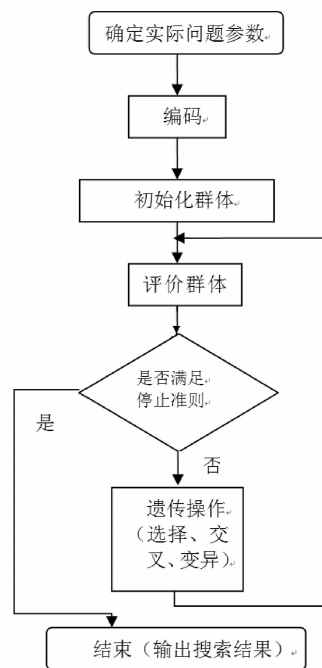


图 2 运行过程

Fig. 2 Operation process

$$G(s) = \frac{400}{s^2 + 50s} e^{-80s} \quad (3)$$

式(3)中时间常数与时滞的单位均为  $s$ 。

遗传算法中采用二进制编码方式,用长度为 10 的二进制编码串来分别表示三个决策变量  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 。遗传算法中使用的样本个数为  $\text{Size} = 30$ , 进化代数  $G = 100$  交叉与变异概率分别为:  $p_c = 0.6$ ,  $p_m = 0.5$ 。参数的取值范围为  $[0, 20]$ ,  $K_i$ 、 $K_d$  的取值范围为  $[0, 1]$ ,  $w_1 = 0.999$ ,  $w_2 = 0.0001$ ,  $w_3 = 2.0$ ,  $w_4 = 100$ 。采样周期为 0.01, 输入信号为单位阶跃信号。按 Z-N 整定 PID 的方法得到的  $K_p = 3.425$ ,  $K_i = 2.125$ ,  $K_d = 1.299$ ,  $\delta = 45.2\%$ ,  $t_s = 5.7 s$ 。

应用遗传算法对 PID 参数进行优化,采样时间为 0.001 s,得到的参数  $K_p = 2.894$ ,  $K_i = 0.054$ ,  $K_d = 0.050$ , 超调量  $\delta = 0$ , 调节时间  $t_s = 0.19 s$ , 性能指标  $J = 4.614$ 。遗传算法整定 PID 参数的阶跃响应曲线如图 3, 性能指标  $J$  优化过程如图 4:

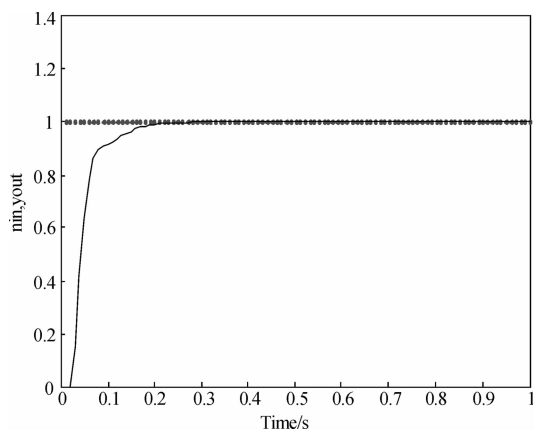


图3 PID参数的阶跃响应曲线

Fig. 3 PID parameters step response curve

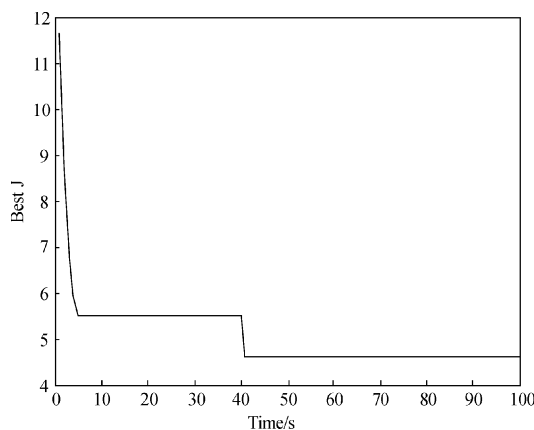


图4 性能指标  $J$  的优化过程

Fig. 4 Optimization process of performance index  $J$

## 4 结 论

本文采用遗传算法对蓄热式镁还原炉温度 PID 控制参数进行优化,仿真结果表明采用遗传算法优化 PID 参数调节时间短,超调量也小。在采用传统 PID 控制时能够实现对炉温的精确控制。由于炉温的精确控制减少对环境的污染,降低了煤耗,有效的节约了能源,减轻了工人的劳动强度,使厂方得到明显的经济效益。

## 参考文献 References

- [1] 陶永华,尹怡欣,葛芦生等. 新型 PID 控制及应用[M]. 北京:机械工业出版社,1998.  
TAO Yong-hua, YIN Yi-xin, GE Lu-sheng. Novel PID and its control and application[M]. Beijing: Mechanical industry press, 1998.
- [2] 刘亚营,刘以建. 基于改进型遗传算法的神经网络参数优化[J]. 应用技术. 2004(1):7-9.  
LIU Ya-ying, LIU Yi-jian. Neural network parameter optimization based on the improved genetic algorithms[J]. Technology application. 2004(1):7-9.
- [3] 姜长生,王从庆. 智能控制与应用[M]. 北京:科学出版社,2007.  
JIANG Chang-sheng, WANG Cong-qing. Intelligent control and application[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [4] 雷英杰,张善文. Matlab 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社. 2005.  
LEI Ying-jie, ZHANG Shan-wen. Application of matlab toolbox of genetic algorithms[M]. Xi'an: Press of Xi'an University of Electronic Science and Technology. 2005.
- [5] 席育棕. 基于遗传算法的 PID 参数整定与优化[J]. 工程建设与设计. 2005(8):91-92.  
XI Yu-zong. PID parameter tuning and optimization based on genetic algorithm[J]. Construction and design. 2005(8):91-92.

- [6] 刘道华, 冯 岩, 原思聪, 等. 改进遗传算法的液压锚杆钻机冲击机构的优化设计[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2009, 41(1): 121-125
- LIU Dao-hua, FENG Yan, YUAN Si-cong, WANG Rui, Optimal design of impact machine for hydraulic roofbolter based on improved genetic algorithm. [J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2009, 41(1): 121-125.

## Optimization of temperature control of regenerative magnesium reducing furnace based on genetic algorithm

XIAO Qing-ling<sup>1</sup>, YU Jun-qi<sup>2</sup>, WANG Hai-feng<sup>1</sup>

(1. Inst. of Arch. Desi., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;  
2. Info. & Cont. Engi. school, Xi'an Univ. of Arch. & Tech. Xi'an 71005, China)

**Abstract:** Heat accumulation magnesium reducing furnace is a complex controlled object, with temperature as the main factor. In order to meet the requirements and improve control system performance, PID control based on genetic algorithms is used. Genetic algorithm is adopted to optimize the three parameters of PID controller to achieve the best performance value. The temperature control system performance of the regenerative magnesium reduction furnace is improved with algorithm through simulation. The smoothness and raw material utilization efficiency of this system are enhanced to save the conventional energy.

**Key words:** *regenerative magnesium reducing furnace; temperature; genetic algorithm*

---

**Biography:** XIAO Qing-ling, Master. Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-013289265556, E-mail: yuwei-2008@163.com

---

(上接第 596 页)

- [13] CELIK C, ADDONA T, et al. Method and transferred arc plasma system for production of fine and ultrafine powders[P]. US, 6379419B1, 2002-4-30.
- [14] LEPAROUX M, KIHN Y, PARIS S, et al. Microstructure analysis of RF plasma synthesized TiCN nanopowders [J]. Int J Refract Metals and Hard Mater, 2008, 26(4): 277-285.
- [15] SHINODA K, TAN Y, SAMPATH S. Powder loading Effects of yttria stabilized zirconia in atmospheric dc plasma spraying[J]. Plasma Chem Plasma P, 2010, 30(6): 761-778.

## Preparation technology of spherical ultrafine tungsten powders with plasma evaporation method

LIU Xiao-ping, WANG Kuai-she

(School of Metallurgy Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, 710055, China)

**Abstract:** With plasma evaporation method, spheroidization, refinement and purification, spherical ultrafine tungsten powders were prepared, and the effects of the carrier gas flowing rate and tungsten powder feeding rate on the shape and size of products were studied. The results showed that spherical pure tungsten powders can be obtained from irregular powder, and the tap density was much enhanced after plasma processing. The average size was reduced from 3~5  $\mu\text{m}$  to 200 nm and the tap density was raised from 13.21 g/cm<sup>3</sup> to 15.78 g/cm<sup>3</sup>. So plasma was a promising method for preparation of spherical ultrafine powders with high tap density and high purity.

**Key words:** *plasma evaporation method; tungsten powder; spheroidization; refinement*

---

**Biography:** LIU Xiao-ping, lecturer, Master, Xi'an 710055, P. R. China. Tel: 0086-15802927068, E-Mail: pliu0158@126.com