

改进粒子群算法优化PID的冶金电气控制

冶金系统的电气机组受到外界环境干扰大，输出电压具有时变性和非线性，传统控制方法难以获得高准确度的控制效果，为此提出一种改进粒子群算法优化PID的冶金控制策略。首先分析当前冶金系统的电气机组PID控制参数存在的不足；然后采用粒子群算法对电气机组PID控制参数进行求解，并针对标准粒子群算法的不足进行相应改进；最后采用仿真对比实验测试改进粒子群算法优化PID的优越性。实验结果表明，改进粒子群算法优化PID冶金电气控制系统控制准确度高，抗干扰能力强，具有较快的响应速度。

张红/广州铁路职业技术学院



张红/副教授

关键词/Keywords

冶金电气·
PID控制器·
粒子群优化算法·
仿真实验·

随着冶金技术的不断成熟，冶金工业得到了长足发展，如钢铁工业为提高国民生产总值的增长作出了许多贡献，在冶金系统控制过程中，需大型电气机组为其提供动力^[1]。对电气机组进行稳压控制是保证动力系统的基础，也是提高冶金系统工作效率的关键，为此，冶金系统的电气机组稳压控制一直是冶金领域研究中的重大课题，具有十分重要的价值^[2]。

针对冶金系统的电气机组稳压控制问题，国内外学者和专家投入了大量的时间和精力，并开展了一系列的研究工作，取得了丰富的研究成果，提出了许多有效的冶金系统电气机组稳压控制方法^[3]。PID控制器具有易实现、简单等优点，因此用于冶金系统的电气机组稳压控制技术，但是要获得最优的冶金系统电气机组稳压控制效果，首先需要找到最优的PID器控制参数，当前PID控制器参数主要采用粒子群算法、遗传算法等进行在线整定，它们具有较好的搜索能力，因此能够找到较优的PID控制器参

数^[4-7]。然而由于冶金系统工作环境十分复杂，电气机组具有一定的时变性和突变性，而且这些算法抗干扰能力差，因此导致调整时间比较长，响应速度慢^[8-9]。

为了获得更加理想的冶金系统电气机组稳压控制效果，本文提出一种改进粒子群算法优化PID的冶金电气控制策略，采用仿真实验对本文冶金电气控制策略进行测试，实验结果表明，本文控制策略具有较强的抗干扰能力，大幅度提高了冶金系统的电气机组稳压准确度。

改进粒子群算法

1. 标准粒子群算法

粒子群优化是一种源于对鸟群捕食行为模拟的随机搜索算法，利用群体中的个体对信息的共享使整个群体的运动在问题求解空间中产生从无序到有序的演化过程，从而获得最优解^[10]。设粒子的位置为 $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，每一个粒子的位置 $X_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})^T$ 与求解都对应于一个问题的解；第 i 个粒子的飞行速度为 $V_i=(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})^T$ ，粒子的飞行过程实质就是问题最优解的搜索过程，粒子的位置和速度更新公式如下

$$v_{id}^{t+1} = \omega v_{id}^t + c_1 r_1 (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 r_2 (p_{gd}^t - x_{id}^t) \quad (1)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (2)$$

式中， n 为粒子个数； t 为迭代次数； c_1 、 c_2 为加速系数； p_i 为第 i 个粒子的最佳位置， $p_i=(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})^T$ ； P_g 为粒子群迭代的最佳位置， $P_g=(p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gd})^T$ 。

2. 粒子群算法的改进

标准粒子群算法存在一定的缺陷，

如收敛速度慢等,为此本文对标准粒子群算法的惯性权重 ω 和加速系数 c_1 、 c_2 进行了改进,通过动态、自适应调整它们的值,以提高粒子的搜索能力。

1) 惯性权重 ω 的值与粒子适应度和迭代次数密切相关,它们之间的变化关系如下

$$\omega = \begin{cases} \omega_{\min} - \frac{(\omega_{\max} - \omega_{\min})(f - f_{\min})(k_{\max} - k)}{(f_{\text{avg}} - f_{\min})(k_{\max} + k)} & f < f_{\text{avg}} \\ \omega_{\max} & f \geq f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\omega_{\min}$ 、 $\omega_{\max}$ 分别为 ω 的最大和最小值; f 为个体适应度; f_{avg} 和 $f_{\min}$ 为粒子群的平均值和最小值; k 为当前迭代次数; $k_{\max}$ 为粒子群最大迭代次数^[11]。

2) c_1 、 c_2 与迭代次数之间的变化关系如下

$$\begin{cases} c_1 = 2 \times \frac{k_{\max} - k}{k_{\max} + k} + 0.5 \\ c_2 = -2 \times \frac{k_{\max} - k}{k_{\max} + k} + 2.5 \end{cases} \quad (4)$$

式中, $k_{\max}$ 为粒子群最大迭代次数。

为了验证改进粒子群算法的优越性,采用两个测试函数进行对照实验,具体为

$$f_1(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (5)$$

$$f_2(\mathbf{x}) = \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10 \right] \quad (6)$$

改进粒子群算法与标准粒子群算法的仿真结果如图1所示。从图1可以看出,改进粒子群算法的收敛速度明显加快,并且获得较高的求解准确度。

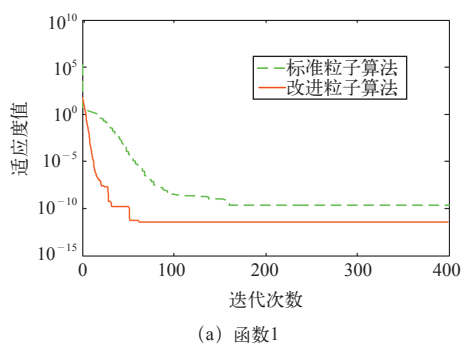
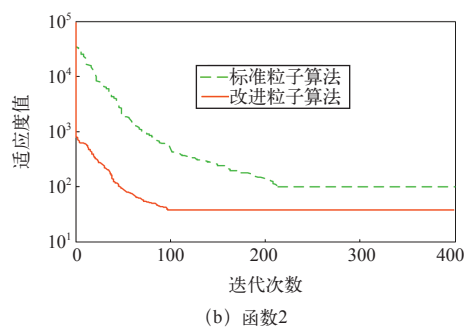


图1 改进粒子群算法的有效性测试

改进粒子群优化PID的冶金电气控制

1. PID控制原理

PID控制器的结构如图2所示。

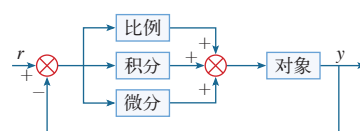


图2 PID的结构

PID控制器的控制方式可以描述如下

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

式中, K_i 为积分系数; K_D 为微分系数; K_p 为比例系数。

对PID控制器进行离散化处理,得到

$$u(k) = u(k-1) + K_p [e(k) - e(k-1)] + t_i e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (8)$$

通常情况下, PID控制性能采用输出误差进行衡量,具体如下

$$J = \int_0^t |e(t)| dt \quad (9)$$

为了避免控制对象的超调量过大,将超调量引入到目标函数优化过程,则有

$$J = \int_0^\infty [\omega_1 |e(t)| + \omega_2 u^2(t) dt + \omega_3 t_u] \quad (10)$$

式中, $e(t)$ 为系统误差; $u(t)$ 为控制器输出。

要获得良好的PID控制效果,需要选择最合适的比例、积分和微分。

2. PID参数的编码方式

采用改进粒子群算法对PID控制参数进行优化时,首先要让粒子与PID参数逐一对应,并产生一种映射关系,粒子位置矢量由PID的3个参数组

成, 则其编码方式为

$$P(M,D)=\begin{pmatrix} K_P^1 & K_I^1 & K_D^1 \\ K_P^2 & K_I^2 & K_D^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ K_P^M & K_I^M & K_D^M \end{pmatrix} \quad (11)$$

3. 构建粒子个体的适应度函数

对PID参数进行选择, 目标就是保证冶金电气电压变化最小, 输出变化比较平稳, 因此采用输出误差作为粒子个体的适应度函数, 其定义如下

$$f(t)=\int_0^{\infty} t|e(t)|dt \quad (12)$$

4. 改进粒子群算法优化PID控制器结构

基于改进粒子群算法PID控制器的冶金电气控制结构如图3所示。通过改进粒子群算法对PID控制器的3个参数进行在线优化, 从而控制冶金电气机组的稳压输出。

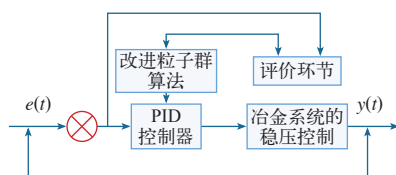


图3 改进粒子群算法优化PID的控制器结构

5. 改进粒子群算法优化PID控制器的工作过程

改进粒子群算法优化PID控制器的工作步骤具体如下:

- 1) 针对具体一个冶金系统的工业控制过程进行建模, 设置粒子群的粒子数、最大迭代次数以及相关的参数。
- 2) 设置PID控制器参数 K_P 、 K_I 和 K_D 的范围, 并随机初始化粒子群的位置和速度。
- 3) 计算每一个粒子群的适应度函数, 并确定个体和种群的最优位置。
- 4) 更新粒子群的 ω 和 c_1 、 c_2 值, 同时更新粒子群的位置和速度, 产生新一代种群。
- 5) 计算生成的新一代种群中的个体适应度值。
- 6) 根据个体适应度值对个体和种群的最优位置进行更新操作。
- 7) 如果达到预先设定的最大迭代次数, 那么终止参数优化; 否则返回步骤4) 继续。
- 8) 根据最优的粒子位置得到最优的PID控制器

的参数 K_P 、 K_I 和 K_D , 从而实现冶金电气的稳压控制。

仿真实验

1. 仿真环境

为了测试本文设计的冶金电气控制策略的性能, 在Matlab 2012平台上进行了仿真实验, 仿真计算机的配置为Intel酷睿i5 4590 CPU、现代DDR3 1600 4GB以及Windows XP操作系统, 选择传统的PID控制策略进行仿真对比实验。

2. 结果与分析

(1) 没有干扰的性能对比

对于一个非线性冶金电气稳压控制系统, 传统PID控制器和改进粒子群算法优化PID的控制输出结果变化曲线如图4所示。从图4可以看出, 相对于传统PID控制器, 改进粒子群算法优化PID控制器的输出结果变化范围相当小, 几乎没有超调量; 而传统PID控制的超调量相对要大, 控制结果的稳定性要差。实验结果表明本文设计的冶金电气控制策略有效, 控制结果可靠。

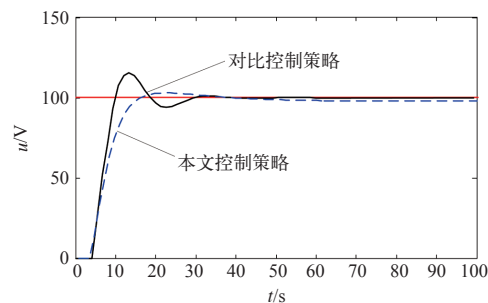


图4 没有干扰的性能对比

(2) 有干扰的性能对比

当外界条件发生变化时, 传统PID控制器和改进粒子群算法优化PID的控制输出结果变化曲线如图5所示。从图5可以看出, 当外界条件发生变化

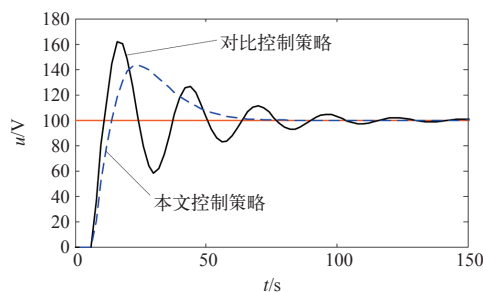


图5 有干扰的性能对比

时,对系统PID控制器产生了比较大的干扰,传统PID控制器需要较长一段时间才能达到平稳状态,响应速度比较慢,调整过程比较长;而改进粒子群算法优化PID控制器很快能达到平稳状态,冶金电气控制系统超调量小,可以快速、准确地适应外界条件的变化,提高了系统的控制准确度。

结束语

冶金系统的电气机组受到外界环境干扰大,而且工作环境恶劣,是一种变化十分复杂的非线性系统,当前方法难以获得高准确度的电气控制效果。根据冶金系统的电气机组特点,针对当前控制算法存在的缺陷,提出一种改进粒子群算法优化PID的冶金控制策略。首先分析当前冶金系统的电气机组PID控制参数存在的缺陷;然后采用粒子群算法对电气机组PID控制参数进行求解,并针对标准粒子群算法的不足进行相应改进;最后进行实验仿真。实验结果表明,改进粒子群算法的PID冶金电气控制系统大幅度减少了超调量,调节的准确度更高,同时得到了十分理想的冶金系统的电气机组电压控制效果,可以满足实际应用要求,且应用价值较高。

参考文献

[1] 刘新建.分析我国冶金自动化的技术进展以及未来

发展趋势[J].中国科技纵横,2012(15):12-14.

[2] 王正林.中国冶金自动化技术发展状况与趋势分析[J].自动化博览,2009(5):23-24.

[3] 孙彦广.我国冶金自动化技术进展和发展趋势分析[J].自动化博览,2008(2):10-12.

[4] 商海真,张东爽.我国冶金电气自动化技术发展趋势[J].电子技术与软件工程,2015(1):239-240.

[5] 张弘弢.探析冶金电气自动化控制技[J].电子测试,2013(15):110-111.

[6] 张礼.电气自动化在冶金工业控制技术领域的研究[J].价值工程,2015(2):2-25.

[7] 王述彦,师宇,冯忠绪.基于模糊PID控制器的控制方法研究[J].机械科学与技术,2011,30(1):166-172.

[8] 廖一旭,卢子广,胡立坤,等.基于非线性的自励异步发电机稳压控制[J].电力电子技术,2013,47(8):67-69.

[9] 袁金泉.冶金电气节能负载高准确度控制技术的研究[J].中国高新技术企业,2013(29):78-80.

[10] 李丽,牛奔.粒子群优化算法[M].北京:冶金工业出版社,2009.

[11] 潘海迪,吴向前.基于混合粒子群算法的多变量解耦控制器优化[J].计算机仿真,2013,30(8):319-322.

(收稿日期:2015-04-20) EA

(上接第27页)

型控制策略。介绍了PWM整流器数学模型,通过详细的公式推导得出控制策略,给出整体控制框图,并通过仿真和实验验证了可行性。仿真和实验结果表明,该控制策略可以有效抑制电网电流负序分量,使系统工作在单位功率因数。另外,该策略功率内环不需要多个PI调节器进行控制,结构较为简单。最后,通过虚拟磁链代替电网电压的方法,可省去电网电压传感器,降低硬件成本,提高系统稳定性。

参考文献

[1] 张兴,季建强,张崇巍,等.基于内模控制

的三相电压型PWM整流器不平衡控制策略研究[J].中国电机工程学报,2005,25(13):51-56.

[2] Li Z X, Li Y H, Wang P, et al. Control of three-phase boost-type PWM rectifier in stationary frame under unbalanced input voltage[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 25(10):2521-2530.

[3] 耿强,夏长亮,阎彦,等.电网电压不平衡情况下PWM整流器恒频直接功率控制[J].中国电机工程学报,2010,30(36):79-85.

(收稿日期:2015-03-09) EA