

# 基于遗传算法的连续采煤机滚筒参数优化设计

于信伟<sup>1</sup>, 麻晓红<sup>1</sup>, 李晓豁<sup>2</sup>

(1.黑龙江科技学院 机械工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027; 2.辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:** 为设计优质高效的截割滚筒, 根据连续采煤机滚筒的结构特点和工作状况, 建立了以煤炭生产综合经济效益为总目标函数, 以截割比能耗、载荷波动系数、煤岩块度和生产效率为分目标函数的多目标、多变量、多约束的滚筒优化模型, 采用生物进化思想, 基于遗传算法对在不同截割阻抗下的滚筒结构参数和运动参数进行优化, 得出不同截割条件下连续采煤机滚筒的最佳运动参数和结构参数。该优化结果可用于指导煤炭企业生产, 使其获得良好的经济效益。

**关键词:** 连续采煤机; 滚筒参数; 优化设计; 遗传算法

中图分类号: TH113.2

文献标识码: A

## Optimal design of continuous miner drum based on genetic algorithm

YU Xinwei<sup>1</sup>, MA Xiaohong<sup>1</sup>, LI Xiaohuo<sup>2</sup>

(1.College of Mechanical Engineering, Heilongjiang Scientific and Technical Institute, Haerbin 150027,China; 2.College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000,China)

**Abstract:** To design high quality and efficiency cutting drum, according to the structural character and working condition of continuous miner drum, an optimal model of multiple objects, variables and constrains is established, which takes synthesis economic returns of coal enterprises as total object function, and takes specific energy consumption, load fluctuation coefficient, coal fragmentation degree and productivity ratio as subordinate objects model. Based on the ideas of biological evolution, the structural parameters and the movement parameters of continuous miner drum are optimized in different cutting impedance with genetic algorithm. The optimal parameters are obtain, which could makes coal enterprises obtain better economic benefits by guiding production.

**Key words:** continuous miner; drum parameters; optimum design; genetic algorithm

## 0 引言

连续采煤机是短壁开采技术中重要的采掘设备, 在开采过程中滚筒是主要的截割工具, 承受全部外载。滚筒直径、螺旋叶片头数及升角、截齿排列形式和截线距等结构参数以及滚筒转速、摆速等运动参数直接影响采煤机的工作效率、截割比能耗、煤块大小以及工作面粉尘量。因此, 对滚筒参数进行优化是设计高质量连续采煤机的重要基础。

## 1 连续采煤机滚筒优化模型的确定

### 1.1 优化模型的确定原则

评定采煤机滚筒设计优劣的指标很多, 既包含有滚筒结构参数又包含运动参数, 这些因素往往相互制约。一般可根据煤矿企业的具体生产要求和经

济指标来确定目标函数。以截割比能耗、载荷波动、煤炭品质及生产率等综合经济指标为目标函数, 以保证高生产效率、好的煤炭品质和低的生产成本。

在满足设计要求的前提下, 选择对目标函数影响显著且相互独立的因素作为设计变量, 其他影响因素作为约束条件, 以避免因设计时的自由度过多, 使优化过程过于复杂, 无法求解或者很难求出全局最优解。根据国内外专家学者的研究成果和试验分析, 可选择以下六个能够较全面地反映模型特征参数作为设计变量<sup>[1-3]</sup>: 滚筒直径  $D$ , 截线距  $t$ , 叶片头数  $N$ , 排列方式  $P$ , 滚筒的转速  $n$ , 悬臂的摆速  $v$ , 即

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^T = [D, t, N, P, n, v]^T$$

### 1.2 滚筒优化模型的建立

根据优化模型的确定原则, 建立如下模型:

收稿日期: 2007-10-05

基金项目: 辽宁省教育厅创新团队项目(2007T068); 大型工矿装备实验研究中心(辽宁省高校重点实验室)开放基金资助项目(07-61)

作者简介: 于信伟(1972-), 山东乳山人, 副教授, 工学硕士, 主要从事采煤机械设计及精密加工的教学与科研工作。E-mail: xinwei-166@163.com.

本文编校: 焦 丽

$$\min F(X) = \lambda_1 H_w(X) + \lambda_2 \delta(X) + \lambda_3 [S(X)]^{-1} + \lambda_4 [Q_s(X)]^{-1} \quad (1)$$

式中,  $\lambda_1 \sim \lambda_4$  为加权因子, 按其权重分别取 0.15, 0.25, 0.3, 0.3;  $H_w(X)$  为截割比能耗模型, 其中  $H_w(X) = \sum_{i=1}^6 k_i H_{wi}(X)$ ,  $H_{wi}(X)$  为各设计变量与比能耗的关系,  $k_i$  各设计变量的权重系数, 分别取 0.13, 0.19, 0.20, 0.20, 0.15, 0.13;

$\delta(X)$  为各向载荷波动模型, 其中  $\delta(X) = \zeta_1 \delta_a(X) + \zeta_2 \delta_b(X) + \zeta_3 \delta_c(X)$ ,  $\zeta_1$ 、 $\zeta_2$ 、 $\zeta_3$  为影响各向波动的加权因子, 分别取 0.3, 0.3, 0.4;  $S(X)$  为煤岩块度模型,  $S(X) = l_1(X) \cdot l_2(X) \cdot \sin \varphi$ , 其中  $l_1(X)$ 、 $l_2(X)$  为切屑两有效邻边长度;  $\varphi$  为煤崩落角。

$Q_s(X)$  为生产率模型,  $Q_s(X) = \zeta WBv\rho$  其中  $\zeta$  为采煤机在具体工作条件下实际连续工作系数, 包括辅助作业时间、生产协调以及其他原因对机器工作的影响;  $W$  为截割机构宽度;  $B$  为平均截割深度;  $\rho$  为煤岩密度。

按照连续采煤机的实际工况给出下列边界条件、生产条件及截割条件约束

$$\begin{aligned} \text{s.t. } g_1 &= X_{\min} - X \leq 0 \\ g_2 &= X - X_{\max} \leq 0 \\ g_3 &= Q_j - Q_s \leq 0 \\ g_4 &= 0.7l_2 - l_1 \leq 0 \\ g_5 &= l_1 - 1.3l_2 \leq 0 \\ g_6 &= 15^\circ - \beta \leq 0 \\ g_7 &= \beta - 30^\circ \leq 0 \\ g_8 &= y_d - \left( \frac{\pi D}{N} - h_y \right) \sin \beta \leq 0 \\ g_9 &= 1 - \frac{2\pi D \tan \beta}{N(D - d_g - 2l)} \leq 0 \\ g_{10} &= \frac{2\pi D \tan \beta}{N(D - d_g - 2l)} - 4.4 \leq 0 \\ g_{11} &= \frac{Nt}{2 \tan \beta} - \frac{B_g}{\tan \beta} + \frac{\pi D}{N} \leq 0 \\ g_{12} &= \frac{B_g}{\tan \beta} - \frac{\pi D}{N} - \frac{Nt}{\tan \beta} \leq 0 \\ g_{13} &= \sqrt{\tan^2 \theta + \frac{\sec^2 \theta}{\tan^2 \varphi}} - \frac{l}{r} \leq 0 \end{aligned}$$

$$g_{14} = 35^\circ - \theta \leq 0$$

$$g_{15} = \theta - 65^\circ \leq 0$$

$$g_{16} = P - N \leq 0$$

$$g_{17} = h - k_p l \leq 0$$

## 2 滚筒优化模型的求解

### 2.1 优化方法的选择

优化模型<sup>[1]</sup>是一个多目标、多变量、多约束的非线性优化问题。从模型上看, 它是一个多峰函数, 采用传统的优化方法很难获得较好的优化效果。近年来, 人们从生物界自然选择和遗传进化的思想中得到启发, 使用群体搜索技术, 采用并行处理方式对前群体(样本)施加选择、交叉、变异等一系列遗传操作, 经过若干代的优胜劣汰后, 逐步使群体进化到最优解或次优解的状态, 使这一复杂的工程优化模型得以有效解决。

### 2.2 遗传算法的实现<sup>[4]</sup>

#### 2.2.1 规则化处理

方程(1)的优化模型是按照截割比能耗最低、载荷波动最小、煤块截面面积最大和生产效率最高原则建立起来的数学模型, 它没有实际的物理意义, 且模型中各分目标函数的量纲和数量级相差很大。不对各分目标函数进行规则化处理, 就会因数量级相差过大而导致求解失败。规则化处理方法<sup>[5]</sup>如下:

设第  $i$  个分目标函数  $f_i(X)$  的值域为  $[a_i, b_i]$ , 用正弦函数进行规则化转换, 令

$$f'_i(X) = \frac{1}{2} \left[ \sin \left( Y_i - \frac{\pi}{2} \right) + 1 \right] \quad (2)$$

式中  $Y_i = \frac{f_i(X) - a_i}{b_i - a_i} \pi$ , 则  $Y_i \in [0, \pi]$ , 因此,

$$f'_i(X) \in [0, 1]$$

#### 2.2.2 无约束化处理<sup>[6]</sup>

该模型的约束为不等式约束, 采用内惩罚函数法进行无约束化处理。设目标函数为  $F(X)$ , 约束条件为  $g_j(X) \leq 0$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ), 则该惩罚函数表达式为

$$\varphi(X, r^{(k)}) = F(X) - r^{(k)} \sum_{j=1}^m \frac{1}{g_j(X)} \quad (3)$$

式中  $r^{(k)}$  为惩罚因子, 是正的递减序列, 通常  $r^{(k)}$  取 1.0, 0.1, 0.01, 0.001, ...。

### 2.2.3 适应度函数的选择

适应度函数的选取直接影响到遗传算法的收敛速度以及能否找到最优解,根据模型特点即可将经过无约束化处理后的目标函数直接转化为适应度函数,即

$$\text{fitness}(\varphi(X, r^{(k)})) = \varphi(X, r^{(k)}) \quad (4)$$

### 2.3 滚筒优化模型的求解

根据模型特点采用实数编码方式,取初始种群数为50,按照均匀分布方式创建初始种群。设计变量边界为:  $D \in [650, 1650]$ ,  $t \in [30, 80]$ ,  $n \in [25, 65]$ ,  $v \in [2, 6]$ ,  $N \in [1, 4]$ ,  $P \in [1, 4]$ 。按排序方法确定个体选择概率,使用锦标赛法进行选择。采用中间重组交叉方式,交叉概率为0.8,设每代的精英数为2。选择 Gaussian 算法对子代变异,变异率为0.005,

最大繁衍代数为1200代。算法的停止标准为100代内适应度值不变化或适应度值小于  $2.5e-7$ 。编写 m 函数,在 Matlab7.01/GA 平台上求解优化模型。

## 3 优化结果及分析

表1列出了截割阻抗为300 N/mm时种群进化过程中最佳个体的演变情况。从表中数据可以看出整个群体向前进化,使种群最终趋向最优解。

将表中数据圆整,得到 GA 算法的最优解或次优解为:  $D=952$  mm;  $t=60$  mm;  $n=35$  rad;  $v=3.40$  m/s;  $N=3$ ;  $P=3$  ( $P>1$  时为交叉排列)。

表2为不同截割阻抗下的优化结果。

表1 截割阻抗为300 N/mm时种群中最佳个体的演变情况

Tab.1 the optimum chromosome development in the population on cutting impedance 300 N/mm

世代数值	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	适应度
1	1238.0321	43.62771	55.87623	2.36454	1.08973	5.71322	2.1654 e-2
300	1103.5614	50.69932	49.12769	2.71324	1.43133	4.85121	2.6711e-3
600	978.12647	55.17162	42.17651	3.05916	2.37556	3.71032	4.1865e-5
900	959.35788	59.23006	36.33077	3.27541	2.99043	3.22613	6.8316e-6
1200	951.96398	60.01007	35.01336	3.40323	3.29013	2.99871	2.3222e-7

表2 不同截割阻抗时种群中最佳个体的演变情况

Tab.2 the optimum chromosome development of different cutting impedance in the population

A	D	T	N	V	N	P	$H_w$	$\delta$	S	$Q_s$	适应度
/(N·mm <sup>-1</sup> )	/mm	/mm	/(rad·min <sup>-1</sup> )	/(m·s <sup>-1</sup> )	/头数		/(kw·h·t <sup>-1</sup> )		/mm <sup>2</sup>	/(t·h <sup>-1</sup> )	
100	1100	65	31	4.12	2	2	0.873	0.113	267.5	622.48	7.1003e-7
200	999	62	35	3.87	2	2	0.914	0.108	254.7	584.71	2.4536e-7
300	951	60	35	3.40	3	3	1.217	0.135	251.3	513.70	2.3222e-7
400	916	53	38	2.96	3	3	1.326	0.142	226.8	447.22	2.2834e-7
450	890	50	41	2.67	3	1	1.387	0.133	183.6	403.40	2.1352e-7

## 4 结论

由连续采煤机滚筒模型的优化结果可知,对于较软煤岩,选用较大截线距和滚筒直径,截齿宜采用交叉排列方式,并可适当增大悬臂摆速、减小滚筒转速以提高块煤率和生产率;对于较硬煤岩,应适当减小滚筒直径和截线距,宜采用3条螺旋叶片顺序式截齿排列,可适当增大截割机构转速、减小悬臂摆速,尽管块煤率和生产率有所降低,但能提高截齿和滚筒使用寿命,降低机器故障率和维修率。因此,煤矿企业应根据生产实际来选择采煤机滚筒结构参数和运行参数,以便能够获得良好的综合经济效益。

### 参考文献:

- [1] Hurt K G. Rock cutting experiments with point attack tools[J]. Colliery Guardian Coal International, 1980(4):25-32.
- [2] 李晓豁,姜健.基于产尘量最小的掘进机参数优化设计研究[J].煤炭学报,2003,28(4):437-439.
- [3] 李晓豁,于信伟,麻晓红.连续采煤机截割滚筒的运动学分析[J].辽宁工程技术大学学报,2005,24(6):900-902.
- [4] 陶驰东.机械优化设计基础[M].徐州:中国矿业大学出版社,1988.
- [5] 刘惟信.机械最优化设计(第二版)[M].北京:清华大学出版社,1994.
- [6] 张国栋,顾克秋.基于遗传算法和参数化建模的非线性结构优化[J].计算力学学报,2003,20(6):764-768.