

基于 NSGA-Ⅱ 的多目标遗传算法 通用涡旋盘的优化设计

张贤明¹ 牟 瑛¹ 王立存^{1,2} 陈国强¹ 李 萍¹ 陈 彬¹

1. 重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心, 重庆, 400067

2. 西安交通大学流体机械及压缩机国家工程研究中心, 西安, 710049

摘要: 利用非劣排序遗传算法(NSGA-Ⅱ)对通用涡旋压缩机的动静涡旋盘涡旋体高度、涡旋盘主轴转角、涡旋型线基圆渐开角、涡旋型线基圆半径基本参数进行优化设计,使涡旋盘的径向气体力、切向气体力、倾覆力矩、自转力矩、能效比达到最优。给出了优化设计的遗传算法计算方法、数学模型、基于遗传算法数学模型、程序流程图、多目标优化结果。较其他优化方法,NSGA-Ⅱ能较好解决多目标非线性优化问题,最后用优化后的数据验证了该方法的有效性。

关键词: 通用涡旋压缩机;动静涡旋盘;多目标优化设计;非劣排序遗传算法

中图分类号: TH45

DOI: 10.3969/j.issn.1004-132X.2012.13.018

Optimization Design of General Scroll Based on Multi-objective Genetic Algorithm of NSGA-Ⅱ

Zhang Xianming¹ Mu Ying¹ Wang Licun^{1,2} Chen Guoqiang¹ Li Ping¹ Chen Bin¹

1. Engineering Research Center for Waste Oil Recovery Technology and Equipment of Ministry of Education, Chongqing Technology and Business University, Chongqing, 400067

2. National Engineering Research Center of Fluid Machinery and Compressor, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049

Abstract: NSGA-Ⅱ was used to do optimization design for basic parameters of a general scroll compressor, which included vortex height of dynamic and static scrolls, spindle rotation of scroll disk, involute angle of scroll profile, radius of scroll profile, and come to the result that gas force that scroll disk received come up to optimal, the gas force included radial gas force, tangential gas force, overturning torque, rotation torque, energy efficiency ratio. Genetic algorithm method, mathematic model, mathematical model based on genetic algorithms, program flow chart, multi-objective optimization results of optimization design were presented. Compared with other optimization methods, NSGA-Ⅱ can solve the multiple objective nonlinear optimization problems better. Finally, the optimized data was used to verify the validity of the method.

Key words: general scroll compressor; dynamic and static scroll; multi-objective optimization design; non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-Ⅱ)

0 引言

通用涡旋压缩机关键零部件参数的优化设计是提高整机性能的重要途径。由参考文献[1-6]可知,传统的涡旋压缩机动静涡旋盘的优化设计主要是从行程容积 V_s 和内容积比 R_v 、能效比、体积利用系数、压缩比、压缩机摩擦功耗和泄漏损耗等方面来考虑的,再把其中一个或两个作为目标函数,涡旋盘的基本参数(如高度、渐开角、圈数等)作为约束目标来进行优化,而这些优化有其不

足之处:第一是没有考虑到对压缩机整机性能有重要影响的动静涡旋盘上受到的气体力和力矩;第二是没有把压缩机整机性能的重要评价指标——能效比纳入优化目标,有的文献中虽然将能效比作为优化目标,但只是将能效比作为单一的优化目标,没有联合其他优化目标;第三是优化方法主要是用目标达到法、惩罚函数法、非控制排序基因算法、遗传算法等,在这些优化方法中,当主要参数取值范围有特殊要求时,优化运算后参数就不一定满足要求或陷入局部极值,没有达到最优结果,甚至导致设计无效。而改进型遗传算法二能较好地克服上述缺点。本文主要结合改进的遗传算法即 NSGA-Ⅱ 和动静涡旋盘受到的气体力和力矩、能效比进行多目标优化设计。

收稿日期: 2011-04-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50805149); 重庆市科技攻关重点项目(CSTC2009AB3234); 中国博士后科学基金资助项目(20090450166); 重庆高校科技资助项目(KJTD201019, KJZH11211)

1 NSGA-II

1.1 基本原理

NSGA-II 的主要思想如下：一是利用非支配排序算法对种群进行非支配分层，然后通过选择操作得到下一代种群；二是使用共享函数的方法保持群体的多样性。相对于 NSGA 的三大缺陷，NSGA-II 有如下改进：计算复杂性降低，能够更好地保持种群的多样性和避免优秀个体的流失，而且无需主观地设定一些算法参数，从而进一步提高计算效率和算法的鲁棒性。该算法求得的 Pareto 最优解分布均匀，收敛性和鲁棒性好。将 NSGA-II 应用于多目标优化，该算法一次运行可以获得多个 Pareto 最优解，决策者可根据系统的实际要求选择最终的满意解，为各目标函数之间的权衡分析提供了有效的工具^[7-11]。

一般的多目标优化(MOP)问题包括 N 个决策变量、 K 个目标函数和 L 个条件。目标函数和约束条件是决策变量的函数。以最小为例，可用如下数学模型描述：

$$\begin{aligned} \text{Vmin } f(x) &= [f_1(x) \quad f_2(x) \quad \dots \quad f_n(x)]^T \\ \text{s. t. } x &\in X \\ X &\in \mathbf{R}^m \end{aligned}$$

式中，Vmin 表示向量极小化，即向量目标函数 $f(x)$ 中的各个子目标函数都尽可能地达到极小值。

1.2 适应度函数的确定

适应度函数可反映个体对环境适应能力的强弱，决定了个体的生存机会，适应度函数值大的个体就是好的个体，它的目标函数值大，其基因表现为较优解。将目标函数转化为适应度函数：

$$f(x'_i) = \frac{g(x_i) - g(x_i)_{\min}}{g(x_i)_{\max} - g(x_i)_{\min}} \quad (1)$$

式中， $g(x_i)$ 为种群中个体的目标函数； $g(x_i)_{\max}$ 、 $g(x_i)_{\min}$ 分别为种群中目标函数的最大值、最小值。

2 NSGA-II 的应用

在确定目标函数之前需先确定出泛函通用涡旋型线的特殊涡旋型线，并确定出能效比优化函数、气体力及力矩目标优化函数。本文是在基于泛函通用涡旋型线的特殊涡旋型线的基础上，并在一定的假设条件下得到能效比公式的情况下研究多目标优化问题的。

2.1 基于泛函通用涡旋型线的特殊涡旋型线

已知共轭曲线可取函数类的通用表达式：

$$s(\varphi) = c_0 + c_1\varphi + c_2\varphi^2 + \dots + c_n\varphi^n = \sum_{k=0}^n c_k\varphi^k \quad (2)$$

式中， s 为型线弧函数； c_k 为涡旋型线泛函方程系数； φ 为切向角。

当 $k=2, c_0=0, c_1=0$ 时，其型线表征形式为

$$s(\varphi) = c_2\varphi^2$$

$$R_s(\varphi) = \frac{ds}{d\varphi} = 2c_2\varphi \quad (3)$$

$$\rho(\varphi) = \frac{ds}{d\varphi} = 2c_2\varphi \quad (4)$$

该曲线沿切向和法向的分解如图 1 所示。其中， \mathbf{R}_s 为切向向量； \mathbf{R}_g 为法向向量； $\rho(\varphi)$ 为曲率半径； θ 为主轴转角。

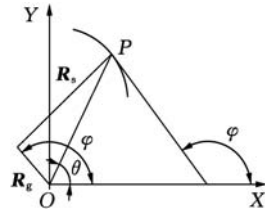


图 1 曲线方程沿其切向和法向的分解

由式(3)、式(4)可判定该型线为圆渐开型线。

2.2 优化变量的选取

由上可构造出通用涡旋压缩机涡旋盘的涡旋型线，而主轴转角 θ 、涡旋型线渐开角 α 、涡旋型线基圆半径 a 、涡旋圈数 N 、涡旋体高 h 这五个变量直接影响涡旋压缩机的加工难易程度、涡旋体受力以及轴向泄漏和摩擦等，同时动涡盘上的各种气体力及力矩(主要是轴向气体力 F_a 、径向气体力 F_r 、切向气体力 F_t 、倾覆力矩 M_t 、自转力矩 M_r 等)直接影响压缩机的整机性能，能效比又是评价压缩机性能最主要的指标，因此将它们作为优化变量，即

$$\mathbf{X} = (\theta, \alpha, a, N, h, F_a, F_r, F_t, M_t, M_r, E_{PR}) = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11})$$

2.3 能效比优化函数说明

为了便于研究，不妨设涡旋压缩机制冷工质为 R22，蒸发温度 7.5°C ，冷凝温度 53.5°C ，冷凝器出口温度 45.2°C ，吸气温度 36.14°C 。压缩机电机功率 3.69kW ，电机效率 84% 。主轴转速 3150r/min 。

该空调制冷循环工况下，各计算点的状态参数由 R22 热物理性质图表查取，如表 1 所示，在 $p-h$ 图上的制冷循环如图 2 所示。

表 1 各状态点参数

$t_1 = 7.2^\circ\text{C}$	压力 $p_1 = 0.635\text{MPa}$
$t'_2 = 35.0^\circ\text{C}$	压力 $p'_2 = 0.835\text{MPa}$
	比体积 $v'_2 = 0.039\text{m}^3/\text{kg}$
	比焓 $h'_2 = 423\text{kJ}/\text{kg}$
$t'_{3'} = 54.4^\circ\text{C}$	压力 $p'_{3'} = 0.835\text{MPa}$
$t_4 = 46.1^\circ\text{C}$	压力 $p_4 = 0.635\text{MPa}$
	比焓 $h_4 = 559\text{kJ}/\text{kg}$

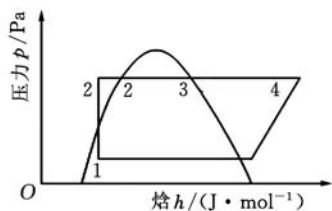


图 2 制冷循环的压焓(p-h)图

涡旋压缩机的能效比是压缩机单位时间的制冷量与输入功率的比值:

$$E_{ER} = \frac{Q_c}{W_{in}}$$

式中, Q_c 为涡旋压缩机的制冷量, kW; W_{in} 为涡旋压缩机的输入功率, kW。

$$Q_c = \frac{nV_s\eta_v q_0}{v_1}$$

$$V_s = \pi p(p-2t)(2N-1)h$$

则

$$Q_c = \frac{n\eta_v q_0}{v_1} \pi p(p-2t)(2N-1)h \quad (5)$$

式中, n 为主轴转速, r/s; V_s 为主轴旋转一圈的吸气容积, m^3 ; η_v 为容积效率, %; q_0 为单位质量制冷量, kJ/kg; v_1 为比体积, m^3/kg ; p 为渐开线节距, mm; t 为涡旋体壁厚, mm。

已知: $n = 3150r/min$, $\eta_v = 0.95$, $q_0 = h_1 - h_2' = 136kJ/kg$, $v_1 = 0.043m^3/kg$ 。

则

$$Q_c = 9.464 \times 10^5 p(p-2t)(2N-1)h$$

$$E_{ER} = \frac{Q_c}{W_{in}} = \frac{9.464 \times 10^5 p(p-2t)(2N-1)h}{3.69 \times 0.84} =$$

$$3.05 \times 10^5 \times p(p-2t)(2N-1)h$$

为便于运用遗传算法进行优化,在此将能效比进行转化:

$$f(E_{ER}) = \frac{1}{E_{ER}}$$

则优化目标是使 $f(E_{ER})$ 最小,即

$$f(E_{ER}) = \frac{1}{E_{ER}} = \frac{3.27 \times 10^{-6}}{p(p-2t)(2N-1)h}$$

2.4 气体力及力矩目标优化函数说明

作用在动静涡盘上的力分为气体作用力和非气体作用力两大类。涡旋压缩机的压缩腔是对称型的,所以动静涡旋盘上承受着相同的气体作用力,作用在静涡盘上的气体力主要引起涡旋压缩机的振动和噪声。由于在主轴一个周期内气体力较稳定,故与往复式压缩机相比,这种振动与噪声是比较小的,而动涡盘上的气体力则直接影响着涡旋压缩机的容积效率和机械效率等,应着重讨论作用在动涡盘上的各种气体力及力矩。

动涡盘上的气体力主要是轴向气体力 F_a 、径向气体力 F_r 、切向气体力 F_t 、倾覆力矩 M_t 和自转力矩 M_r ,如图 3 所示。

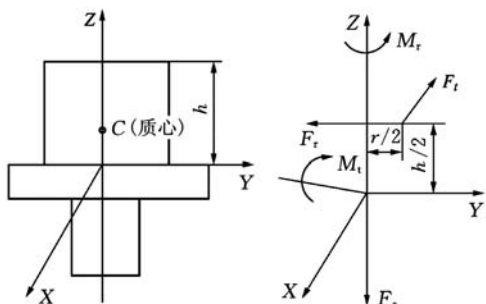


图 3 作用在动涡盘上的气体力及力矩示意图

2.5 目标函数的确定

根据所给条件可以构造此多目标优化问题的数学模型,目标函数和约束条件分别如下。

优化设计的目标函数由动涡盘的切向气体力、径向气体作用力、轴向气体作用力、自转力矩作用力、倾覆力矩作用力、涡旋压缩机综合性能指标能效比组成。

目标函数之一:动涡盘的切向气体力为

$$F_t = p_s 2\pi ah \sum_{i=1}^N (2i - \theta/\pi)(\rho_i - \rho_{i+1})$$

目标函数之二:动涡盘的径向气体作用力为

$$F_r = 2ah \rho_s (\rho_s/\rho_a - 1)$$

目标函数之三:动涡盘的轴向气体作用力为

$$F_a = \pi \rho_s P [(A\rho_1)/(\pi P) + \sum_{i=3}^N (2i - 1 - \theta/\pi)\rho_i]$$

目标函数之四:作用在动涡盘的倾覆力矩为

$$M_t = FH$$

$$H = h/2 + h_1 \quad F = \sqrt{(F_t^2 + F_r^2)}$$

目标函数之五:作用在动涡盘的自转力矩为

$$M_r = \frac{r}{2} \rho 2\pi ah \sum_{i=1}^n (2i - \theta/\pi)(\rho_i - \rho_{i-1})$$

式中, p_s 为终了时的吸气压力; ρ_i 为第 i 个压缩腔内气体压力比; ρ_s 为吸气压力; ρ_a 为排气压力; P 为涡旋线节距; A 为约束系数; h_1 为驱动面到动涡盘盘底高度; r 为公转半径。

目标函数之六:反映涡旋压缩机综合性能指标——能效比为

$$f(E_{ER}) = \frac{1}{E_{ER}} = \frac{3.27 \times 10^{-6}}{p(p-2t)(2N-1)h}$$

这里采用处理多目标问题常用的线性加权法,将上述六个目标线性组合作为系统目标函数 $F(X)$:

$$F(X) = \sum_{i=1}^6 \lambda_i f_i(X)$$

其中, λ_i 为加权系数,从而将多目标问题转化为单目标问题。

2.6 约束条件的确定

涡旋压缩机的约束条件主要包括强度、刚度条件和加工条件等,对动静涡旋盘优化设计主要满足如下约束条件。

(1) 涡旋圈数 N 。涡旋圈数过小使被压缩气体量减少,从而降低压缩效率;圈数过多不仅给加工带来困难,而且泄漏线加长,局部散热差,涡旋体变形大,因此取 $2 \leq N \leq 4$ 。

(2) 涡旋型线高度 h 。行程容积一定时,增大形线壁高 h 有利于减少泄漏;但过大又导致运动稳定性差,且壁面刚度下降,加工困难,因此取 $10\text{mm} \leq h \leq 80\text{mm}$ 。

(3) 涡旋型线基圆半径 a 。基圆半径是一个与涡旋体壁厚和渐开角相关的参数,当涡旋体壁厚和渐开角确定后,基圆半径便成为已知量,或由基圆半径、涡旋体壁厚、渐开角中的任意两个参数来确定另外一个参数。一般情况下基圆半径的取值范围如下: $1.2\text{mm} \leq a \leq 6.5\text{mm}$ 。

(4) 涡旋型线渐开角 α 。渐开角是关联基圆半径和涡旋体壁厚的一个几何参数,根据经验,渐开角的取值范围如下: $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$ 。

(5) 涡旋盘主轴转角 θ 。根据压缩机的运动特性,涡旋盘的主轴呈周期性变化,取值范围如下: $0 \leq \theta \leq 2\pi$ 。

3 求解与实例验证

本文采用 NSGA-Ⅱ 方法计算时的参数见表 2,在 MATLAB 软件环境下运用 NSGA-Ⅱ 解决多目标优化问题,通过优化上述数学模型求解得到全局 Pareto 非劣解集,不同优化结果如表 3 所示。

表 2 NSGA-Ⅱ 方法参数设定

种群数量	迭代次数	交叉概率	变异率
10 000	5000	0.95	0.02

表 3 优化数据结果

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
					(10^7)	(10^7)	(10^8)	(10^9)	(10^8)	
1.24	10.89	3.16	15.21	45	6.26	2.43	1.86	2.38	4.54	3.24
1.23	11.01	3.24	15.07	45	6.28	2.43	1.85	2.39	4.46	2.98
1.22	10.25	3.15	15.01	45	6.80	2.27	1.89	2.51	4.10	3.54
1.20	10.12	3.31	15.04	45	5.62	2.18	1.62	2.12	4.24	3.75
1.25	10.23	3.24	15.47	45	5.92	2.30	1.76	2.23	4.60	3.87
1.20	10.11	3.16	15.23	45	5.62	2.18	1.61	2.11	4.24	3.58
1.23	10.57	3.82	15.34	45	6.03	2.34	1.77	2.28	4.45	3.36
2.30	18.25	3.17	15.89	45	5.94	3.50	1.05	3.64	3.75	3.75
2.09	10.68	4.15	25.30	45	1.03	3.01	0.98	3.96	2.28	3.68
1.29	10.87	3.68	15.24	45	6.50	2.52	2.04	3.47	4.80	2.99

选取第 3 组优化结果,构成的通用涡旋型型线表征为 $s_1(\varphi)$:

$$s_1(\varphi) = -2.2748\varphi + 0.5723\varphi^2 \quad (6)$$

公转半径 $r=3.15$,型线圈数 $N=3.23$,涡旋盘高度 $h=45$,三维实体图见图 4。

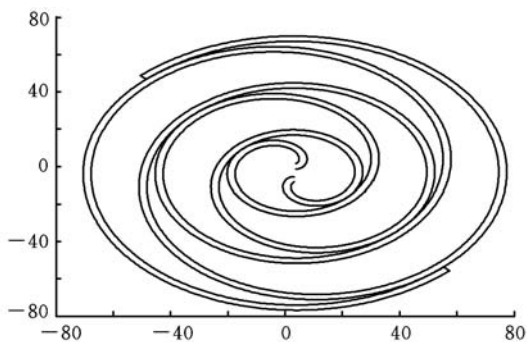


图 4 优化后的涡旋型线图

与基于泛函的等壁厚涡旋型线进行对比,如图 5 所示,图 5 中为基于 $s_2(\varphi)$ 泛函的等壁厚涡旋型线。

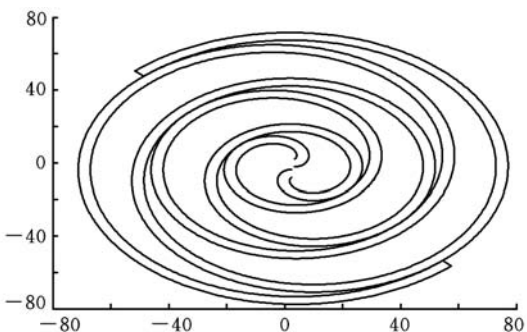


图 5 等壁厚涡旋型线比较图

表 4 为 s_1 和 s_2 两型线的性能比较。从表 4 可以看出,优化后的型线构成的涡旋压缩机与传统型线构成的涡旋压缩机相比,其力、力矩、能效比、压缩面积、压缩比和体积利用率均有了较大的提高。

表 4 型线性能比较

型线类型	F_a	F_r	F_t	M_t	M_r
s_1	6.80	2.27	1.89	2.51	4.10
s_2	6.87	2.58	2.10	2.74	4.57
型线类型	E_{ER}	压缩面积 (m^2)	压缩比	体积 利用率	
s_1	3.54	156.24	6.96	0.3021	
s_2	3.01	217.74	5.23	0.3127	

4 结论

(1) 通过优化数据结果验证了 NSGA-Ⅱ 在计算多目标优化问题的有效性,NSGA-Ⅱ 可方便地处理多目标非线性约束的复杂优化问题。

(2) 将 NSGA-Ⅱ 与气体力和力矩、能效比相结合,对通用涡旋压缩机基本参数进行优化,结果表明,NSGA-Ⅱ 可为求解优化基本参数优化决策提供支持。

(3) NSGA-Ⅱ 应用于通用涡旋压缩机的设计时,在满足约束设计的条件下很大程度改善了

通用压缩机的气体力和力矩、能效比等,达到提高通用涡旋压缩机整机性能的目的。同时对节约能源、保护环境、构建和谐社会有重大意义。

参考文献:

- [1] 王作洪,刘振全,李海生,等.基于遗传算法的动静涡旋盘优化设计[J].液体机械,2006,34(2):53-56.
- [2] 王立存,陈进.基于多学科设计优化的通用涡旋型线形状优化[J].华中科技大学学报(自然科学版),2008,36(3):12-15.
- [3] 刘兴旺,马小礼,刘振全,等.涡旋压缩机型线几何参数的优化设计方法研究[J].液体机械,2005,33(11):53-56.
- [4] 张立群,刘永波.空调用涡旋压缩机的优化研究[J].流体机械,2001,28(1):51-53.
- [5] 李连生,束鹏程,郁永章,等.涡旋型线对涡旋式压缩机性能的影响[J].西安交通大学学报,1997,31(2):45-50.
- [6] 张永栋.基于多目标遗传算法的涡旋型线形状优化设计研究[D].重庆:重庆大学,2004.
- [7] 张林家.基于 Pareto 遗传算法的多目标优化[J].鞍山师范学院学报,2008,10(4):44-46.
- [8] 唐云岚,赵青松,高妍方,等.Pareto 最优概念的多目标进化算法综述[J].计算机科学,2008,35(10):25-27.
- [9] 刘旭红,刘玉树,张国英,等.多目标优化算法 NSGA-II 的改进[J].计算机工程与应用,2005,15(22):73-75.
- [10] 陈小庆,侯中喜,郭良民,等.基于 NSGA-II 的改进多目标遗传算法[J].计算机应用,2006,26(10):2453-2456.
- [11] 杨善学,王宇平.基于 Pareto 最优和限制精英的多目标进化算法[J].计算机工程与应用,2007,43(2):108-111.

(编辑 袁兴玲)

作者简介:张贤明,男,1955年生。重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心教授、博士研究生导师。主要研究方向为流体机械。获全国优秀学术成果一等奖1项,国家科技进步二等奖1项,省部级科技进步一等奖3项、二等奖5项、三等奖3项,设计发明专利18项,实用新型专利51项,发表论文120余篇。**牟 琪**,男,1986年生。重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心硕士研究生。**王立存**,男,1978年生。西安交通大学流体机械及压缩机国家工程研究中心博士后研究人员,重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心教授。**陈国强**,男,1986年生。重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心硕士研究生。**李 萍**,女,1987年生。重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心硕士研究生。**陈 彬**,男,1972年生。重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心副主任、副教授。

(上接第 1597 页)

油泵性能曲面进行了参数预测。仿真结果表明,该算法根据多种群求出最优解的离散程度或集中程度不断调整计算参数域,从而使求解空间收敛,搜索最优解的收敛速度较快且所获得的解的质量更高。它不仅提高了全局搜索能力,而且缩短了搜索时间,提高了遗传算法的搜索性能。

参考文献:

- [1] 全国内燃机标准化技术委员会. JB/T 8886—1999. 内燃机机油泵试验方法[S]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 童宝宏,桂长林,陈华,等.发动机机油泵供油特性的神经网络建模[J].内燃机学报,2007,25(3):265-270.
- [3] 阮桢,胡德金,许黎明,等.内燃机机油泵工作特性数学模型的分析与研究[J].内燃机工程,2006,27(3):50-53,57.
- [4] 阮桢,胡德金,许黎明,等.汽车机油泵供油量特性的PLSR分析[J].仪器仪表学报,2005,26(8):921-923.
- [5] Hwang Shunfa, He Rongsong. Improving Real-parameter Genetic Algorithm with Simulated Annealing for Engineering Problems[J]. Advances in Engineering Software, 2006, 37(6):406-418.
- [6] Liang Yong, Leung Kwongsak. Genetic Algorithm with Adaptive Elitist-population Strategies for Multimodal Function Optimization[J]. Applied Soft Computing, 2011, 11(2):2017-2304.
- [7] Cai L, Rad A B, Chan W L. A Genetic Fuzzy Controller for Vehicle Automatic Steering Control[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(2):529-543.
- [8] Dai Fengzhi, Kodani T, Fujihara Y. Research on a Face Recognition System by the Genetic Algorithm[J]. ISAROB, 2007(11):67-70.
- [9] 玄光男,程润伟.遗传算法与工程设计[M].北京:科学出版社,2000.
- [10] 黎钧琪,史国桢.遗传算法交叉率与变异率关系的研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2003,27(1):97-99.
- [11] 雷英杰,张善文,李续武,等. 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.
- [12] 刘德玲,马志强.基于多群体遗传算法的非线性最小二乘估计[J].东北师大学报(自然科学版),2011,43(1):40-47.

(编辑 袁兴玲)

作者简介:甘 屹,男,1974年生。上海理工大学机械工程学院副教授、博士。主要研究方向为先进制造技术、现代设计理论。发表论文20余篇。**兰连旺**,男,1985年生。上海理工大学机械工程学院硕士研究生。