

遗传与枚举混合算法对航空发动机 复合材料主轴的优化设计

王 婕, 陆 山

(西北工业大学 动力与能源学院, 西安 710072)

摘 要: 针对复合材料主轴优化设计中离散与连续变量共存的问题,提出了一种遗传算法与枚举法相结合的混合算法.以某航空发动机低压涡轮轴为原型,在满足静强度指标、临界转速及外廓尺寸要求前提下,利用该混合算法对复合材料主轴的铺层角度与厚度进行优化设计,以减轻主轴质量.结果表明:对于1~10层铺层,相比于全排列算法与单一遗传算法,混合算法能再减轻质量5.54%与3.87%;且当铺层数大于6时,混合算法计算效率能最多提高3.1倍.最后分析给出复合材料铺层厚度受强度的限制,不宜太薄的建议.

关 键 词: 航空发动机; 复合材料; 主轴; 混合算法; 遗传算法; 枚举法

中图分类号: V232.2

文献标志码: A

Optimizing design of composite spindle of aero-engine with hybrid algorithm consisting of genetic algorithm and enumeration algorithm

WANG Jie, LU Shan

(School of Power and Energy,

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: For the case of coexistence of discrete and continuous variables in optimizing design of composite spindle, a hybrid algorithm consisting of genetic algorithm and enumeration algorithm was presented. From the prototype of an aero-engine low pressure turbine shaft, this hybrid algorithm was used to optimize ply angles and thickness of composite spindle for losing the weight of spindle under the premise of achieving the targets of static strength, critical speed and overall dimension. The results show that the hybrid algorithm can realize 5.54% and 3.87% extra weight loss for from 1 to 10 plies compared with full permutation algorithm and single genetic algorithm; and when plies numbers are greater than 6, the optimizing efficiency can be improved up to 3.1 times with using hybrid algorithm. Finally, the suggestion is given that the composite layer thickness is limited by strength and should not be too thin.

Key words: aero-engine; composite; spindle; hybrid algorithm;
genetic algorithm; enumeration algorithm

推质比是衡量航空发动机技术水平和工作能力的重要综合指标之一,提高推质比的一个有效手段就是在保证强度要求条件下减轻航空发动机质量^[1].传统发动机金属主轴受强度、临界转速等

条件的限制,希望质量进一步减少,比较困难.而纤维增强复合材料具备低密度、高强度的优势^[2],可能成为航空发动机主轴的新材料.

目前复合材料已应用在风扇叶片^[3-4]及机

匣^[5]上,但应用于航空发动机主轴的实例很少见,这主要是因为复合材料本身性能存在的工艺成本问题^[6]及航空发动机主轴工况的复杂性^[7].国外 Wojciechowski 等^[8]利用复合材料对双转子涡轮喷气发动机主轴进行了设计,并申请了专利;Domenick^[9]利用复合材料对 F404 发动机动力输出轴进行了设计,并成功应用到 X29 飞机上.国内,孙庆伟^[10]对复合材料在航空发动机主轴上的应用可行性进行了研究,对某低压涡轮轴的铺层角度与厚度进行了优化设计,结果显示航空发动机主轴采用复合材料比采用传统高温合金的质量明显降低.

孙庆伟^[10]对离散铺层角度采用全排列算法,理论上能够找到全局最优解.当离散变量的个数较少时,该方法可行;但随着离散变量的个数增加,该方法计算量巨大,工程可实施性差.

复合材料主轴优化设计中的变量主要为各层铺层角度等离散变量,并兼有厚度等连续变量.遗传算法能够处理含大量离散变量的问题,且已经广泛应用到复合材料层合板的铺层角度及厚度优化上.陈炉云等^[11]利用遗传算法对复合材料层合板的铺层厚度、角度及铺层数进行优化,从而降低板的声辐射功率;曹俊等^[12]利用遗传算法对复合材料层合板的铺层角度进行优化以获得满意的泊松比.虽然遗传算法能够高效处理离散变量,但如果采用单一遗传算法同时优化离散与连续变量,计算次数会大大增加.因此本文借鉴“分而治之”的思想,对铺层角度变量与厚度变量分开采用不同的优化方法,即利用遗传算法来处理铺层角度变量,对厚度变量采用离散后枚举的方法来处理,以期达到综合最优效率.

1 复合材料主轴设计参数选取

以某航空发动机低压涡轮轴等截面段为原始设计模型,复合材料主轴需满足的设计参数如下^[10]:

1) 基于金属轴的强度安全系数 m ,取蔡-吴强度指标(TWSI)(量符号记为 I_{TWS})小于 $1/m$.本文取 $m=2.2$.

2) 单位长度复合材料主轴的临界转速不低于 15000 r/min .

3) 扭矩为 $15000 \text{ N} \cdot \text{m}$,拉伸载荷为 66800 N .计算温度恒定为 400°C .

4) 考虑到装配问题,复合材料主轴外径小于 85.85 mm .

5) 复合材料主轴的金属轴心厚度变化区间为 $1.9 \sim 5.2 \text{ mm}$,取复合材料各层等厚度变化区间为 $0.15 \sim 0.25 \text{ mm}$.

6) 复合材料主轴铺层角度为 $\pm 45^\circ, 0^\circ, 90^\circ$ 可选,并采用铺层角度对称且相邻铺层不同的方案.

2 复合材料主轴优化设计混合算法

考虑到复合材料主轴优化中存在较多离散变量,同时兼有连续变量的情况,可采用“分而治之”的策略,即用遗传算法来优化铺层角度变量,对两个连续的厚度变量采用离散后枚举的方法处理.

由全排列算法优化结果可以看出,得出的复合材料主轴模型都能满足临界转速及外廓尺寸要求,而 TWSI 达到了临界值,可见 TWSI 为主轴优化的制约因素.由于相邻两铺层数的厚度优化值为渐进变化的,同时在某一厚度区域内,固定层数下的最优铺层角度(即使得 TWSI 最小)是一致的,因此在进行主轴 $n+1$ 层铺层角度优化时,可将复合材料厚度固定为 n 铺层下的优化厚度值.

混合算法对复合材料主轴优化的流程见图1.需要说明的是,混合算法中的遗传算法优化目标为最小 TWSI.首先利用遗传算法得到 $n+1$ 层优化铺层角度,再利用枚举法得到满足各限制条件的最小质量厚度组合.对于第1层的优化,可以采用文献[7]中的全排列算法.

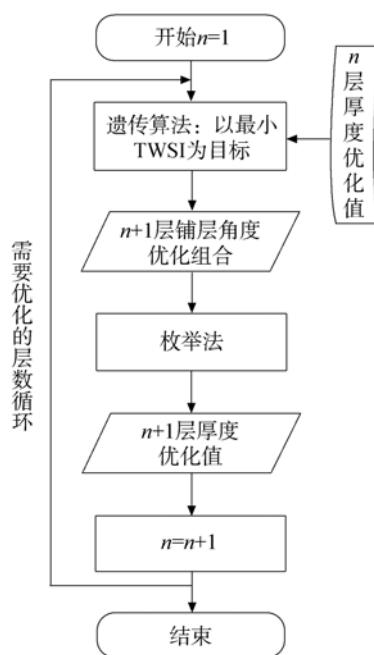


图1 复合材料主轴优化流程图

Fig. 1 Flow chart of composite spindle optimization

2.1 对离散变量的遗传算法优化实现

遗传算法是一种基于生物遗传和进化机制的适合于复杂系统优化的自适应概率优化技术^[13].

本文所采用的遗传算法具体包括:整数编码(占用空间小),基于序的选择算子(收敛速度快),固定概率的交叉与变异算子(实现简单高效).图 2 为混合算法中遗传算法流程图.

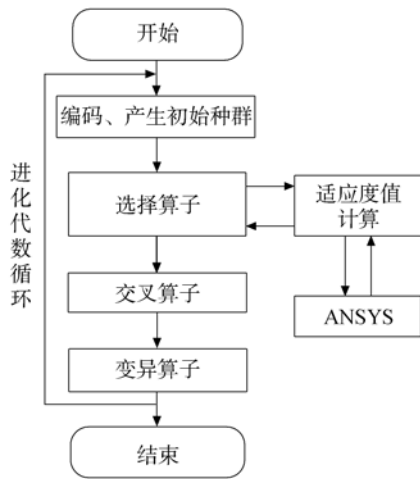


图 2 遗传算法流程图

Fig. 2 Flow chart of genetic algorithm

2.1.1 遗传算法参数选择

种群大小 取为 40,当铺层数小于或等于 4 时,进化代数 =3;当铺层数大于 4 时,进化代数 $T=7$. 这是考虑到随着优化变量数的增加,需要增加计算次数来提高优化精度. 交叉概率为 0.8,变异概率取为 0.08.

2.1.2 ANSYS 与 MATLAB 数据的传递

MATLAB 通过调用 ANSYS^[14],并利用文件读写实现两者之间数据传递. 具体过程如图 3 所示.

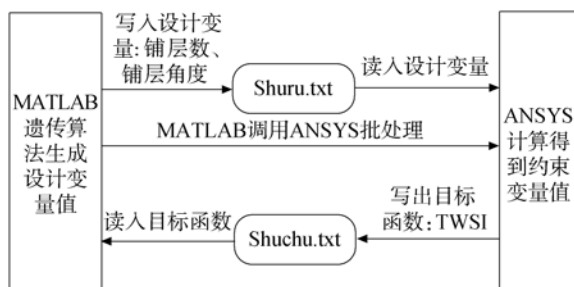


图 3 ANSYS 与 MATLAB 数据传递图

Fig. 3 Data transfer chart between MATLAB and ANSYS

2.1.3 编码

相对于二进制编码,本文采用整数编码,对于优化问题更为直观有效^[15],并可大量减少变量占用空间. 具体为用 1~4 的整数分别代表 4 个铺层角度.

2.1.4 适应度函数及约束条件处理

优化目标函数为求最小 TWSI,而适应度函数为大的值对应大的适应度,因此可取适应度函数为式(1)形式.

$$F[f(X)] = C - g(X) \quad (1)$$

式(1)中 $f(X)$ 为适应度函数值, C 为一个较大常数, $g(X)$ 为复合材料主轴的 TWSI.

罚函数法是常见的处理带约束优化问题的方法,其通过惩罚因子将各种类型的约束转化到适应度函数中以加快收敛. 本文根据实际情况,借鉴测量个体的不可行度来决定相应的惩罚思想^[16],对不满足约束条件的个体,根据其不满足约束的程度除以相当的惩罚因子. 针对复合材料主轴优化的具体实现,为了满足复合材料主轴相邻铺层角度尽量不同的要求,先统计模型出现相邻铺层角度相同的次数,同时模型能出现的最大相邻铺层角度次数为,最后给适应度函数 () 乘以一个介于 0 和 1 之间的数 (/) 作为惩罚.

2.1.5 选择算子

复合材料主轴铺层角度优化以 TWSI 的线性组合作为适应度函数,数值上差别不大. 如果采用基本遗传算法中轮盘赌的方法,优良个体的适应度值在种群的总适应度值所占的比重不会突出,而轮盘赌存在很大的随机性,不容易收敛到优良解. 本文遗传算法采用基于序的选择算子. 具体实现流程图见图 4. 采用此种选择算子可以避免优良个体被淘汰,从而提高优化速率. 图 5 为本文考核算例在某一载荷比下最大临界屈曲载荷系数

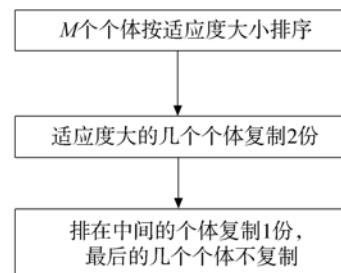


图 4 基于序的选择算子流程图

Fig. 4 Flow chart of selection operator based on sequence

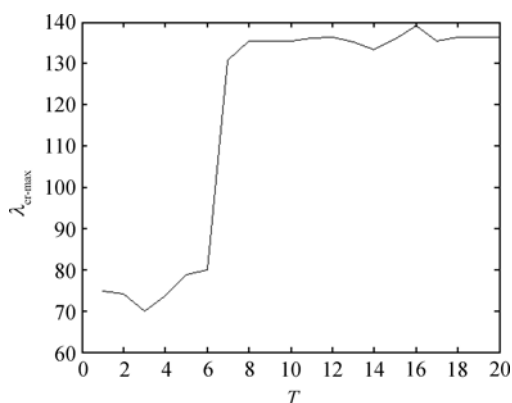


图5 轮盘赌与基于序的选择算子计算优化效率对比

Fig. 5 Optimizing efficiency comparison of roulette wheel selection and selection operator based on sequence

λ_{cr-max} 随进化代数的变化图,其中前6代采用轮盘赌的选择算子,之后采用本文基于序的选择算子.图5表明基于序的选择算子相对于轮盘赌的方式,进化速率大幅提高.

2.1.6 交叉算子与变异算子

遗传算法中,交叉算子是产生新个体的主要方法,而变异算子是辅助产生新个体的方法,它们分别决定了算法的全局与局部搜索能力^[13].

本文遗传算法中交叉算子采用两点交叉,变异算子采用均匀变异方式.

交叉概率与变异概率采用固定数值,这样处理比较简单,并且对于本文模型能够得到满意的结果.

2.1.7 遗传算法考核算例

将本文遗传算法应用到简支层合板在不同载荷比(K)下的最大临界屈曲载荷系数 λ_{cr-max} 优化问题^[17-18]上,以考核本算法其处理离散变量的精度与效率.文献[17]采用的是分支定界法,文献[18]采用的是另一种遗传算法.

算例优化条件^[17]: $0.508\text{m} \times 0.254\text{m}$ 矩形16层四边简支层合板的铺层角度优化,铺层角度取值为 $\pm 45^\circ$, 0° 与 90° 可选,满足均衡铺层条件($\pm 45^\circ$ 的个数相等).单层厚度为 0.0127cm . x 向承受均布轴压 $N_x = 175\text{N/m}$, y 向承受均布轴压 $N_y = KN_x$.

本文在 ANSYS 中选用 Shell 181 单元建立了 $1/4$ 板模型模拟上述层合板,单元数为 30×15 ,文献[18]则利用 JIFEX 软件进行优化设计.本算例遗传算法采用的相关参数:种群大小为20,进化代数为15,交叉概率为0.8,变异概率为0.1.

表1数据显示本文在 K 的6种取值中,本文算法在其5种情况下比文献[18]所得的 λ_{cr-max} 要高,并且最多能提高9.68%,对于 $K=2.450$ 时,本文比文献[18]优化结果仅低0.32%.而文献[17]与文献[18]的优化结果最大差别为1.2%.可以说明本文遗传算法比文献[18]的遗传算法优化精度高.本文优化次数为 20×15 次,而文献[18]为 20×20 次.以上结果说明采用本文的遗传算法对于处理离散角度的优化问题相比于文献[18]更精确高效,原因可能为本文对均衡铺层是根据第2.1.4节罚函数法处理的,相比于文献[18]通过特殊编码解码,本文方法简单高效,同时基于序的选择算子相比于文献[18]轮盘赌的方法能够大大加快收敛速度.

表1 简支层合板 λ_{cr-max} 优化结果Table 1 Optimizing results of λ_{cr-max} of simply supported laminated plates

	λ_{cr-max}		
	文献[17]	文献[18]	本文
0.125	154.06	155.093	170.100
0.150	148.46	149.630	161.340
0.200	137.10	138.484	147.360
0.240	129.28	130.469	139.510
2.000	36.84	36.992	37.200
2.450	31.06	31.435	31.333

2.2 对连续变量的枚举法实现

复合材料主轴优化设计的目的是在满足约束条件下获得最轻质量.由遗传算法获得的铺层角度组合能达到最小的 TWSI,从而提供最大的厚度优化空间以减轻质量.主轴两个厚度设计变量的取值范围不大,本文采用先离散后枚举的方法以获得当前优化铺层角度组合下满足约束条件的最轻质量.对于复合材料各层厚度与轴芯厚度区间,均取为20个离散点,因此枚举法的计算次数为400.

3 复合材料主轴优化设计

复合材料主轴的优化设计参数与第1节相同.

3.1 复合材料主轴建模

沿径向采用一层 Shell 99 单元,单元数目沿轴向与周向分别为25层、20层均布.金属轴心用任意铺层角度的各项异性材料模拟较简单.轴一

端加轴向与径向约束,同时加周向力模拟扭矩;轴另一端加径向约束及反向周向力与轴向拉力。

3.2 复合材料主轴优化结果

依据圣维南原理,取远离约束的轴中间 1/2 段单元提取结果。

图 6 为 5 层铺层下本文遗传与枚举混合算法优化出的铺层角度在不同厚度组合下的 TWSI 等高线图,图中 t 为复合材料铺层厚度, t_i 为金属轴心厚度。表 2~表 4 分别为全排列算法、遗传与枚举混合算法及单一遗传算法对航空发动机复合材料主轴的优化结果。表 5 为 3 种算法优化次数对比表。

全排列算法理论上能获得全局最优解,但是由于 ANSYS 的 0 阶优化对初始值依赖性比较强,因此全排列算法获得的值与全局最优解存在误差,但可以作为近似全局最优解。结合表 2 及表 3 可以看出,本文混合算法优化出的铺层角度与全排列算法优化出的铺层角度基本一致。对于 2~8 层的 5 种铺层数下,本文混合算法优化减轻质

量的百分比高于全排列算法,最多能再减少 5.54%。在铺层数为 6 时,两者结果几乎一致,只在铺层数为 8 的情况下,本文算法略低于全排列算法 0.92%。因此可以认为本文提出的混合算法对于复合材料主轴优化能获得满意解。

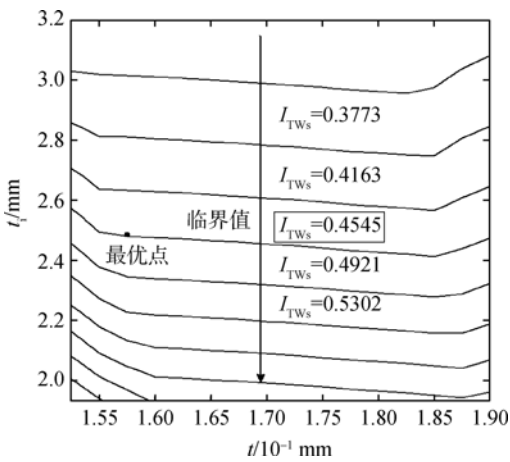


图 6 不同厚度下的 TWSI 等高线图

Fig. 6 Coutour map of TWSI in different thicknesses

表 2 主轴全排列算法优化结果

Table 2 Optimizing results of full permutation algorithm of spindle

铺层数	减轻质量的 百分比/%	优化铺层 角度/(°)	t_i /mm	t /mm	I_{TWS}	临界转速/ (r/min)
1	39.16	-45	3.340	0.1504	0.4551	16821
2	38.75	(-45,0)	3.277	0.1502	0.4335	17310
3	44.10	(-45,90)s	2.863	0.1595	0.4395	17344
4	43.26	(90,-45)s	2.862	0.1502	0.4512	17875
5	45.68	(-45,90,-45)s	2.615	0.1544	0.4194	17964
6	50.24	(-45,0,-45)s	2.185	0.1652	0.4495	18057
7	49.55	(-45,90,-45,90)s	2.262	0.1502	0.4536	18701
8	50.71	(-45,45,-45,45)s	1.930	0.1635	0.4533	17060

注:表中优化铺层角度中 s 表示对称铺层,下同。

表 3 主轴混合算法优化结果

Table 3 Optimizing results of hybrid algorithm of spindle

铺层数	减轻质量的 百分比/%	优化铺层 角度/(°)	t_i /mm	t /mm	I_{TWS}	临界转速/ (r/min)
1	39.16	-45	3.340	0.1504	0.4551	16821
2	44.29	(-45)s	2.908	0.1620	0.4444	16885
3	44.26	(-45,90)s	2.824	0.1580	0.4500	17362
4	43.62	(0,-45)s	2.740	0.1620	0.4540	17843
5	47.03	(-45,0,-45)s	2.485	0.1575	0.4524	18004

续表

铺层数	减轻质量的百分比/%	优化铺层角度/(°)	t_i/mm	t/mm	I_{TWS}	临界转速/(r/min)
6	50.23	(-45,0,-45)s	2.220	0.157 0	0.449 5	18 207
7	49.69	(-45,90,-45,90)s	2.156	0.157 0	0.448 4	18 562
8	49.79	(0,-45,0,-45)s	2.092	0.153 5	0.450 8	19 293
9	52.48	(-45,45,-45,45,-45)s	1.900	0.150 0	0.452 3	17 343
10	50.89	(-45,45,-45,45,-45)s	1.900	0.150 0	0.404 7	17 342

表 4 主轴单一遗传算法优化结果

Table 4 Optimizing results of single genetic algorithm of spindle

铺层数	减轻质量的百分比/%	t_i/mm	t/mm	I_{TWS}
1	40.17	3.200	0.185 2	0.441 5
2	43.27	2.846	0.207 1	0.451 9
3	44.33	2.821	0.157 9	0.450 9
4	43.95	2.765	0.154 3	0.450 7
5	45.45	2.496	0.168 4	0.439 4
6	46.36	2.254	0.178 5	0.452 4
7	49.67	2.145	0.158 0	0.446 2
8	48.43	2.188	0.151 6	0.434 0
9	48.83	2.040	0.154 5	0.444 7
10	48.50	1.951	0.155 5	0.364 3

表 5 优化次数对比

Table 5 Comparision of optimization times

优化方法	优化次数	
	1 层铺层	10 层铺层
全排列算法	32	2 590
单一遗传算法	1 000	2 000
混合算法	520	680

从表 5 中可以看出全排列算法在铺层数较少的情况下,较本文混合算法计算效率高,而当铺层数较多(大于 6)时,混合算法的计算效率高,并且此种优势会随着离散变量数的增加而越来越明显.这是因为铺层数每增加 1,全排列算法的计算次数呈 3 的倍数增长,而本文混合算法的计算次数最多只增加 $40 \times 2 \sim 40 \times 3$ 次.而单一遗传算法由于将离散与连续变量一同优化,降低了优化效率与精度,并且单一遗传算法难以优化到边界最优解(从表 4 中第 9 层、10 层铺层能看出).

结合表 2 与表 3 可以发现在厚度未达到下限值之前,增加复合材料铺层数总体可以减少复合材料主轴质量.原因是随着铺层数的增加,铺层角度组合可以向着更有利于受力的方向发展,且较轻的纤维添加量大.

图 6 表明复合材料主轴的优化值在 TWSI 为 0.4545 的等位线上,这就说明复合材料主轴的质量优化确实可以转换为 TWSI 的优化,验证了本文算法的合理性.从图 6 中还可以看出当复合材料铺层厚度 t 范围取在优化厚度附近时,当金属轴心厚度 t_i 不变时,随着 t 的降低,主轴最大 TWSI 先是缓慢升高而后快速升高,因此铺层厚度不宜太薄.

4 结 论

针对航空发动机复合材料主轴优化设计中存在大量离散变量,同时兼有连续变量的特点,提出一种结合遗传算法与枚举法的混合算法.该算法采用 MATLAB 对 ANSYS 的调用技术实现,易

于工程应用。

通过对层合板的最大临界屈曲载荷系数的优化,考核了遗传算法处理离散变量的能力,结果显示相比于其他遗传算法^[15],本文遗传算法优化结果最多还可改善 8.69%。说明本文遗传算法对于处理铺层角度变量问题是有效的。

利用本文混合算法对 1~10 铺层复合材料主轴铺层角度、金属轴心厚度与复合材料铺层厚度进行优化,以减少质量。结果表明,本文方法质量优化结果总体轻于其他方法优化结果。当铺层数大于 6 时,混合算法的计算效率比其他算法高,对 10 层模型效率提高 3.1 倍,并且此种优势会随着离散变量数的增加而越来越显著。复合材料铺层厚度受强度的限制,不宜太薄。在达到复合材料铺层厚度下限值之前增加复合材料的铺层数能使复合材料主轴质量趋于下降。

参考文献:

- [1] 姜旭峰,彭著良,费逸伟.航空发动机减重技术研究[J].航空维修与工程,2005(1):54-56.
JIANG Xufeng, PENG Zhuliang, FEI Yiwei. The study on aero-engine reducing weight technique[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2005(1):54-56. (in Chinese)
- [2] 矫桂琼,贾普荣.复合材料力学[M].西安:西北工业大学出版社,2008.
- [3] 胡殿印,彭苗娇,王荣桥,等.树脂基复合材料风扇叶片的优化设计[J].航空动力学报,2012,27(7):1630-1637.
HU Dianyuan, PENG Miaoqiao, WANG Rongqiao, et al. Optimization design of resin-based composite fan blade[J]. Journal of Aerospace Power, 2012, 27(7):1630-1637. (in Chinese)
- [4] 陈懋章.风扇/压气机技术发展和对今后工作的建议[J].航空动力学报,2002,17(1):1-15.
CHEN Maozhang. Development of fan/compressor techniques and suggestions on further researches[J]. Journal of Aerospace Power, 2002, 17(1):1-15. (in Chinese)
- [5] 崔海波,温卫东.复合材料机匣冲击后的力学性能分析[J].航空动力学报,2008,23(1):50-54.
CUI Haibo, WEN Weidong. Analysis of mechanical properties of composite case after impact[J]. Journal of Aerospace Power, 2008, 23(1):50-54. (in Chinese)
- [6] 王耀先.复合材料结构设计[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [7] 苏清友.航空涡喷、涡扇发动机主要零部件定寿指南[M].北京:航空工业出版社,2004.
- [8] Wojciechowski C R, Chester W, Holloway G M, et al. Composite drive shaft: United States, US Patent NO. 6210283B1[P]. 2001-04-03.
- [9] Domenick J G. Design and development of a power takeoff shaft[J]. Aircraft, 1986, 23(12):876-880.
- [10] 孙庆伟.航空发动机复合材料主轴优化设计方法及方案研究[D].西安:西北工业大学,2013.
SUI Qingwei. Optimum design method and scheme design of aircraft engine composite shaft[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2013. (in Chinese)
- [11] 陈炉云,张裕芳.基于遗传算法的复合材料结构——声辐射优化研究[J].复合材料学报,2012,29(3):203-207.
CHEN Luyun, ZHANG Yufang. Composite material structural-acoustic optimization based on genetic algorithm[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2012, 29(3):203-207. (in Chinese)
- [12] 曹俊,朱如鹏,陆俊华.用遗传算法实现特殊泊松比的层合板设计[J].玻璃钢/复合材料,2004(3):30-35.
CAO Jun, ZHU Rupeng, LU Junhua. Optimization design of poisson's ratio of laminates using genetic algorithms[J]. Fiber Reinforced Plastic/Composites, 2004(3):30-35. (in Chinese)
- [13] 雷英杰,张善文,李续武,等. MATLAB 遗传工具箱及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [14] 宋宏伟,刘浩.基于 MATLAB 与 ANSYS 的结构优化设计[J].大连民族学院学报,2011,13(3):284-287.
SONG Hongwei, LIU Hao. Optimum structural design based on MATLAB and ANSYS[J]. Journal of Dalian Nationalities University, 2011, 13(3):284-287. (in Chinese)
- [15] Eshelman L J, Schaffer J D. Real-code genetic algorithms and interval-schemata[M]//Whitley L D. Foundations of genetic algorithms II. San Francisco: Morgan Kaufmann Publisher, 1993:187-202.
- [16] 刘戊洪,蓝兆辉.遗传算法应用中约束处理方法综述[J].机械设计与研究,2002(增刊):69-70.
LIU Wuhong, LAN Zhaohui. Summarization of constrain management method in genetic algorithm[J]. Machine Design and Research, 2002(suppl.):69-70.
- [17] Haftka R T, Walsh J L. Stacking-sequence optimization for buckling of laminate plates by integer programming[J]. AIAA Journal, 1992, 30(3):814-819.
- [18] 唐文艳,顾元宪,赵国忠.复合材料层合板铺层顺序优化遗传算法[J].大连理工大学学报,2004,44(2):186-189.
TANG Wenyan, GU Yuanxian, ZHAO Guozhong. Stacking-sequence optimization of composite laminate plates by genetic algorithm[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2004, 44(2):186-189. (in Chinese)