

用积分降阶法计算涡轮盘蠕变可靠性

空军工程学院李全通*
西北工业大学柴卫东 吕文林

【摘要】在利用曲面拟合方法获得功能函数的基础上,借鉴搜索逼近法的思路在功能函数曲面上确定计算点,最后利用积分降阶法解决涡轮盘蠕变可靠性问题。

主题词: 涡轮 盘 蠕变 可靠性
分类号: O344.6

积分降阶法^[1]用于实际零件的可靠性计算,仍存在问题。主要有:(1)必须给出表示各基本随机变量之间关系的功能函数的显式表达式;(2)在由功能函数确定的临界方程曲面上,如何选取计算点,来计算可靠性。针对涡轮盘蠕变的具体情况,本文拟用以下方法解决:(1)利用最小二乘曲面拟合法,对于 ADINA 程序计算蠕变变量的结果在小区域内进行曲面拟合,得到蠕变变量的拟合表达式,进而得出表示各基本随机变量之间关系的功能函数显式;(2)借鉴搜索逼近法的基本思路^[2],利用二分法在临界函数曲面上选取计算点。从而用该法解决某型发动机涡轮盘蠕变可靠性问题。

1 涡轮盘盘缘蠕变位移量计算

涡轮盘盘缘蠕变位移量计算利用自动动态增量非线性分析有限元程序完成。盘最大半径 230.7 mm(即从榫齿底部截取)得到计算模型,大于该半径的部分作为外载,这样所得模型为轴对称模型。将该计算模型分成 96 个单元 369 个节点。

在蠕变计算中,考虑温度载荷、盘以及叶片、轮缘凸块、通气槽环挡板引起的离心载荷。

表 1 盘缘蠕变位移量 ADINA 程序计算结果(单位:mm)

$n(r/min)$	13283.25	13305.50	13327.75	13350.00	13372.25	13394.50	13416.75
1.1494E-37	0.161893	0.163124	0.166072	0.169103	0.172216	0.175418	0.178711
1.2171E-37	0.164173	0.167156	0.170226	0.173375	0.176517	0.179950	0.183378
1.2847E-37	0.168016	0.171113	0.174297	0.177572	0.182574	0.184388	0.187962
1.3523E-37	0.171798	0.175007	0.178309	0.181703	0.185193	0.188784	0.192477
1.4199E-37	0.175523	0.178844	0.182473	0.185774	0.189382	0.192740	0.196928
1.4875E-37	0.179199	0.182628	0.186156	0.189747	0.193523	0.197365	0.201319
1.5551E-37	0.182818	0.186310	0.190001	0.193749	0.197605	0.201572	0.205655

对于温度载荷,根据各个工作状态下涡轮盘的温度值,选取最大温度作为计算温度,求出

各单元节点的温度值。不同时刻每个节点的温度值由温度时间函数给出。

对于离心载荷,选取发动机最大转速作为计算转速,将叶片、轮缘凸块及槽环的离心力以分布载荷的形式施加于轮盘边缘各单元上;将各单元的离心力分别化到该单元的各节点上,以集中载荷的形式,由载荷时间函数给出。盘缘蠕变位移量计算结果见表 1。

2 积分降阶公式及意义

根据文献[1],对于二维问题的失效概率的定义,并且由于 x_1, x_2 无关,且均为标准正态分布,再利用坐标变换化为极坐标下的积分可写为:

$$P_f = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^\infty e^{-r^2/2} r dr \quad (1)$$

式中积分下限 r (原点 to 临界曲线上某点的距离) 沿着不同 θ 是不同的。这给积分计算增加了困难,为此,将极坐标曲线沿 θ 方向分成有限个 (m) 等分段,在每个微小段中,可认为 r 是不变的,故(1)式为:

$$P_f = \sum_{i=1}^m P_{f_i} = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta\theta}{2\pi} e^{-r_i^2/2} \quad (2)$$

其中 $e^{-r_i^2/2}$ 为 r_i 圆即等效圆外的失效概率;
 $\Delta\theta/2\pi$ 是 r_i 圆内扇形面积与整圆面积之比。

失效概率 P_f 的意义为:扇形与等效圆面积之比乘以整个等效圆外失效概率,可得每个微小段的失效概率,再进行叠加。其意义可表示为图 1 所示。

对于三维问题,可以得出:

$$P_f = \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} \frac{\Delta v}{v} \left[2\Phi(-r_{ij}) + \frac{2}{\pi} r_{ij} e^{-(1/2)r_{ij}^2} \right] \quad (3)$$

式中: Δv 为球楔体积,用多重积分求; v 为等效球体, $v = (3/4)\pi r_{ij}^3$, $[\cdot]$ 为等效球外失效概率。其物理意义为:球楔与等效球体积之比乘以整个球外失效概率,可得每个微小球楔的失效概率,再将每个微小块失效概率进行叠加。同理可写出多维问题失效概率表达式^[1,3]。

3 点的搜索、功能函数的建立及计算结果

对于式(2)、(3)中的 r_i 与 r_{ij} 可以采用对分法在临界函数曲面(线)上选取计算点,求其大小,以二维为例说明逼近过程,见图 2。

(1) 取一较大半径作圆,如 $R = 20$ (对于标准正态而言,当 $x = 20$ 时, x 以外的概率为 2.7536×10^{-89} , 所以 $x = 20$ 以外的点是不可能取到的,故 R 取 20。经计算验证, R 一般取用其它方法估算的可靠性指标 β 值的 3 倍至 5 倍,计算效果就非常好了, β 表示在标准正态坐标系中,坐标原点到极限状态方程的最短距离)。将圆按角度等分为有限个段,求出各等分点。

(2) 各等分点的取舍。计算各等分点的功能函数 g 并判断:若 $g > 0$,为安全点,不予考虑;若 $g < 0$,为失效点,保存该点。

(3) 用二分法求原点和失效点连线与临界函数曲线之交点。求原点与失效点连线的中点,

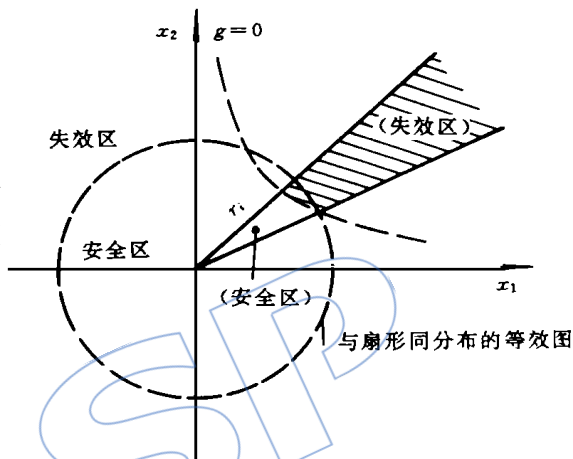


图 1 等效圆中求失效概率 P_{fi}

代入功能函数判断: 若 $g > 0$, 说明中点与原点同侧, 则在该点与失效点之间找新的中点; 若 $g < 0$, 说明中点与原点异侧, 在中点与原点之间找新的中点, 然后计算新中点的 g 值。依 g 值判断新旧中点是否同侧, 若同侧, 则用异侧点与新中点对分; 否则, 直接在新旧中点之间对分。如此反复的进行下去, 若处于异侧的两个 g 值前后两次之差的绝对值小于给定任意小的正数, 则认为所找到的点就是临界函数曲线上的计算点。以该点各随机变量的取值求出 r 作等效圆, 可用积分降阶法求失效概率。

本文利用最小二乘曲面拟合的方法, 对于表 1 数据进行曲面拟合, 得出涡轮盘盘缘蠕变位移量与各基本随机变量之间的关系式:

$$\delta(n,A) = \alpha_{11} + \alpha_{12}(A - \bar{A}) + \alpha_{21}(n - \bar{n}) + \alpha_{22}(n - \bar{n})(A - \bar{A}) + \alpha_{31}(n - \bar{n})^2 + \alpha_{32}(n - \bar{n})^2(A - \bar{A}) \tag{4}$$

其中: $\alpha_{11} = 0.1815526$, $\alpha_{12} = 0.6092382 \times 10^{-36}$, $\alpha_{21} = 0.1533215 \times 10^{-3}$
 $\alpha_{22} = 0.7964237 \times 10^{-33}$, $\alpha_{31} = 0.1420937 \times 10^{-6}$, $\alpha_{32} = -0.7115588 \times 10^{30}$
 式中: $\bar{n}$ 为转速均值 13350; n 为转速; A 为材料蠕变性能参数; $\bar{A}$ 为材料蠕变性能参数均值, 1.35228×10^{-37} 。功能函数为:

$$Z = g(\delta_0, n, A) = \delta_0 - \delta(n, A) \tag{5}$$

其中: δ_0 为盘缘蠕变位移限制量, 均值 0.3 mm, 方差为 0.016667, 是统计得出的, $\delta(n, A)$ 为盘缘蠕变位移量。当蠕变引起涡轮盘盘缘蠕变位移量超过某一限制位移量, 即认为零件失效。

编制对分法搜索计算点及积分降阶法计算可靠度的计算机程序, 计算可得涡轮盘蠕变可靠度为: $Pr = 99.97723\%$ 。为了验证计算结果的正确性, 在拟合取得功能函数的基础上, 采用 Monte- Carlo 法计算可靠性指标, 对基本随机变量 n, A 分别进行 40 万次抽样, 计算结果可靠度为: $Pr = 99.988\%$ 。

参 考 文 献

- 1 张立, 冯元生. 求解多次随机变量的结构可靠性问题的积分降阶法. 西北工业大学首届研究生学术报告年会论文, 1994
- 2 柴卫东, 吕文林. 结构可靠性问题中求设计点的搜索逼近法. 西北工业大学首届研究生学术报告年会论文, 1994
- 3 李全通. 涡轮盘蠕变可靠性计算方法研究: [学位论文]. 西北工业大学硕士论文, 1995

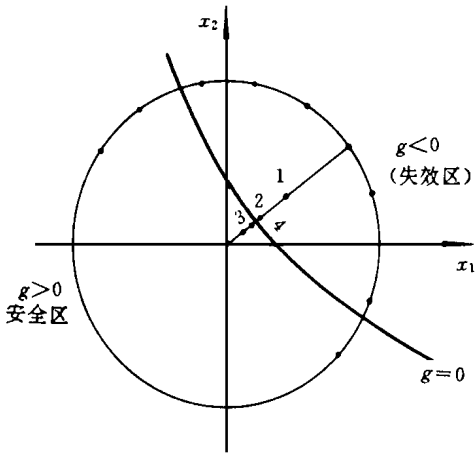


图 2 点的搜索过程示意图

(责任编辑 王震华)

is higher than that of the once learning algorithm, and the twice learning of fuzzy neural network also enhances sensitivity to rocket fault. The twice learning algorithm can learn nonlinear fault pattern boundaries in two passes through the input data and provides the ability to incorporate new fault messages in succession and refine existing fault classes without retraining. The emulation of its application indicates that the fuzzy hyper-body neural network can be successfully employed in the fault detection and isolation of the turbo-pump feed liquid rocket engine.

Key Words Liquid rocket engines Fault diagnosis Neural networks

TECHNICAL NOTES

CREEP RELIABILITY CALCULATION OF TURBINE DISK WITH IODM

Li Quantong

(The Air Force Institute of Engineering, Beijing 710038)

Chai Weidong and Lu Wenlin

(The Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

ABSTRACT

Integration Order Descending Method (IODM) is a new approximate method for solving the mathematical problems in the reliability. There are some difficulties to solve the engineering problems with the IODM. This paper shows how to use IODM for this purpose and applies it to calculating the creep reliability of an aeroengine turbine disc. This paper also presents the loads that have been considered in calculation of the turbine disk creep with ADZNA program.

Key Words Turbines Discs Creep Reliability

ANALYSIS OF POTENTIAL ENERGY OF COMPLEX ROTOR- CASE SYSTEM BY USING WHOLE TRANSFER MATRIX METHOD

Ren Guangming, Zhu Zigen, Li Qihan

(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

ABSTRACT

An improved transfer matrix method- Whole Transfer Matrix method was applied to calculation of the critical speeds and vibration modes of a dual-rotor system with engine casing. Its potential energy distributions corresponding to each rotor critical speed and vibration mode are calculated and analyzed by this way. Whole Transfer Matrix method takes rotors and cases of the system as a whole body in transferring, the size of the frequency determinant is determined only by the number of rotors and cases, but free from the supports. This method is of great advantage for developing general computer program. The investigation indicated that the vibration level of the rotor system can be found from potential energy distribution. Thus the effective measures can be taken to depress the vibration.

Key Words Transfer functions Strain energy Vibration effects