

用整体传递矩阵法进行 复杂转子机匣系统的应变能分析

北京航空航天大学 任光明* * 朱梓根 李其汉

【摘要】 提出了一种新的计算转子机匣系统动力特性的方法—整体传递矩阵法,并在此计算方法的基础上进行了系统应变能的计算和分析。整体传递矩阵法对于解决多转子(或机匣)相互耦合系统的问题有其独特的优点。通过分析系统应变能的分布情况可知转子的振动特性,从而确定如何采取减振措施。

主题词: 传递函数 应变能 振动影响

分类号: O316

给出了应变能的计算公式,并对某双转子发动机的转子机匣系统进行了应变能分析。在计算系统应变能的过程中使用的整体传递矩阵法是一种新的方法,这种方法将各个转子和机匣作为一个整体沿一条直线进行传递计算,最终得到的频率行列式的阶数只与所考虑的转子和机匣个数有关,而与支承个数无关。这种方法非常有利于编制适用于不同类型发动机的通用计算机程序。

1 整体传递矩阵法

一般转子动力学中考虑机匣的影响时,只考虑周波数为 1 的模式,因此,用一个考虑剪切和转动惯性影响的梁来模拟机匣是允许的^[1]。

图 1 为某双转子发动机模型,所有支承均为弹性支承,联轴器也为弹性联轴器。分为 4 个子结构:低压转子、高压转子、内机匣和外机匣。各子结构可以根据自身情况划分单元,然后在适当的位置添加虚设单元,以使各子结构单元数相同,并且在各耦合点上的站号一致。虚设单元的长度和质量为零^[1]。

设系统有 n 个子结构(转子、畸形部分、机匣),可整体划分为 m 个单元,为了实现整个结构沿一条直线传递,把各子结构相应节点的状态向量放在同一列中,构成整体状态向量,把各子结构相应单元的传递矩阵放在同一方阵中,构成整体传递矩阵。第 i 站的整体状态向量为: $Z_i = [Z^I \ Z^II \ Z^III \ \cdots \ Z^n]^T$,第 i 单元

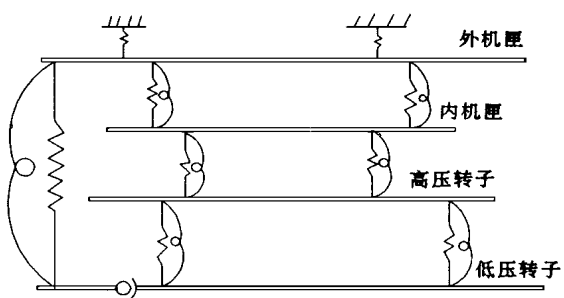


图 1 某双转子发动机模型

的整体传递矩阵为: $U_i = \begin{pmatrix} u^I & & & 0 \\ & u^{II} & & \\ & & u^{III} & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & u^n \end{pmatrix}_i$, 假设在第 i 站和第 j 站存在耦合, 则整个

结构的传递形式为: $Z_{m+1} = U_m U_{m-1} \cdots U_{j+1} R S_j U_j \cdots U_{i+1} R S_i U_i \cdots U_2 U_1 Z_1$

其中 $Z^1, \cdots Z^n$ 代表各子结构的状态向量; $Z_1, \cdots Z_n$ 代表各站的整体状态向量;

$u^1, \cdots u^n$ 代表各子结构的单元传递矩阵; $U_1, \cdots U_n$ 代表各单元的整体传递矩阵。

另外 RS 为耦合矩阵, 所谓耦合矩阵就是满足耦合点协调条件的矩阵。

在整体传递矩阵的传递过程中若遇到耦合点则乘以耦合矩阵。如此, 整个结构(n 子结构)从最左端传递到最右端之后, 就得到: $Z_{m+1} = T_{4n \times 2n} V_1$ 。其中 Z_{m+1} 为最右端(自由端)的整体状态向量, V_1 为最左端的未知参数列阵, $T_{4n \times 2n}$ 为经整体传递后得到的最终整体传递矩阵。

由上式可得方程组 $D_{2n \times 2n} V_1 = 0$, 从而可得频率方程 $|D_{2n \times 2n}| = 0$ 。解此频率方程就可求得所需各阶临界转速。进而求得相应各阶振型^[2]。

2 应变能计算

在现代燃气涡轮发动机的结构设计中, 希望在工作转速范围内的临界转速下转子应变能不超过发动机总应变能的 20%—25%, 这实际上就是要限制转子在临界转速时不能有太大的弯曲, 尽可能接近刚体振型, 因为弯曲较大的振型对不平衡振动敏感。若工作转速范围内存在弯曲振型, 或转子应变能超过总应变能的 20%—25%, 则可适当地调整转子的刚度、质量以及支承刚度把转子弯曲应变能重新分配给可被适当阻尼的静子部件, 例如加弹性支承减小转子应变能, 并用挤压油膜阻尼器减振, 或者把它移到工作转速以上^[2]。

在计算振型的过程中, 可求出每个子结构各个截面的状态向量 $\{Q \ M \ \theta \ y\}_i^T$, 在此基础上就可以进一步计算应变能。

应变能包括: 弯曲应变能、剪切应变能、弹性支承应变能等^[1]。分别叙述它们的计算方法。

弯曲应变能: 在某个子结构中取第 i 个单元, 它的弯曲应变能为

$$V_e = \frac{l_i}{6EI} (M_{x_i}^2 + M_{x_i} M_{x_{i+1}} + M_{x_{i+1}}^2 + M_{y_i}^2 + M_{y_i} M_{y_{i+1}} + M_{y_{i+1}}^2)$$

剪切应变能:
$$V_s = \frac{l_i}{2A_i G k_i} (Q_{x_i}^2 + Q_{y_i}^2)$$

弹性支承应变能:
$$V_k = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} x & y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \{ K_{xx} x^2 + (K_{xy} + K_{yx}) xy + K_{yy} y^2 \}$$

阻尼器的能量: 阻尼器每周消耗的能量为 $V_0 = 2\pi\Omega B(x^2 + y^2)$ 或 $V_0 = 2\pi F_0 e$ 。其中: Ω 为涡动频率, B 为阻尼系数。 F_0 为挤压油膜阻尼力, e 为轴颈偏心距。

$$\text{动能: } T_e = \frac{1}{2} m \Omega^2 (x^2 + y^2) - \frac{1}{2} \left(\frac{J_p \omega}{J_d \Omega} - 1 \right) J_d \Omega^2 (\theta_x^2 + \theta_y^2)$$

3 计算实例与结论

本算例为图 1 所示的某双转子发动机。图 2 是临界转速图, 图 3、4、5 是转子机匣系统的第

一、二、三阶振型以及相应于各阶振型的应变能分布。

图 3、4、5 中 N 为临界转速, $L.P.$, $H.P.$, $I.C.$, $O.C.$, $P.U.$ 分别为低压转子、高压转子、内机匣、外机匣以及弹性元件(应变能占总应变能的百分数)。

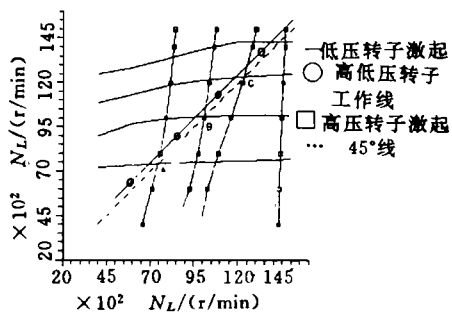


图 2 临界转速图

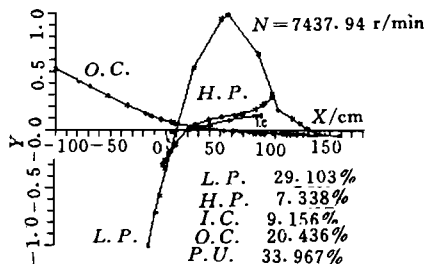


图 3 第一阶振型及应变能分布

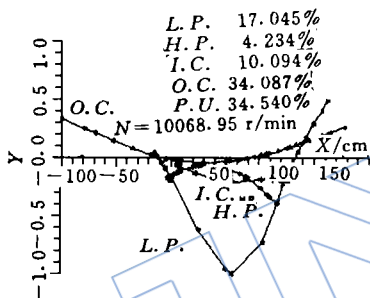


图 4 第二阶振型及应变能分布

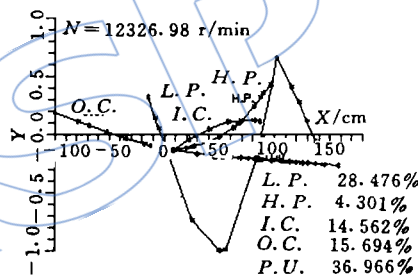


图 5 第三阶振型及应变能分布

从图 2 可看出低压转子激起的临界转速线和高压转子激起的临界转速线交于 45 线上, 这符合判别临界转速是否正确的准则, 另外整体传递矩阵法计算的结果与子结构传递矩阵法的结果相吻合, 因此整体传递矩阵法是一种比较准确的算法。从图 3、4、5 中还可以看出应变能大部分集中在弯曲较大的部件上, 这符合振动能量理论, 为结构的防振和减振提供了方向。在计算中还发现机匣对应变能分布的影响很大, 因此, 作应变能分析时, 必须考虑机匣(或其他静子部件)的影响。

参 考 文 献

- 1 晏砺堂, 朱梓根, 宋兆泓等. 结构系统动力特性分析. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1989
- 2 任光明. 高速旋转机械的稳态动力特性及应变能分析: [硕士论文]. 北京: 北京航空航天大学, 1993

(责任编辑 杨再荣)

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