

航空发动机支承系统的 动柔度系数矩阵及其测量

西北工业大学 李智炜 杨仲纪

转子系统的临界转速、不平衡响应和稳定性分析时,必须考虑支承系统的影响。但在实际发动机上,由于机匣部分结构十分复杂,工艺误差造成的差别较大,因而其动力特性往往需要实际测量。为此作者对某种双转子涡轮喷气发动机进行了激振试验,以确定支承的动柔度系数和耦合动柔度系数,取得其部分动柔度系数矩阵,供计算时作为原始数据。

一、基本原理

设在发动机上有二点*i*和*j*。若*j*点所加的激振力,*j*点产生的位移响应和*i*点产生的位移响应分别以 F_j , x_j 和 x_i 表示。则*j*点和*j*、*i*点间的传递函数(频率响应函数)分别为

$$H_{x_j F_j}(f) = G_{F_j x_j}(f) / G_{F_j}(f); \quad H_{x_i F_j}(f) = G_{F_j x_i}(f) / G_{F_j}(f)$$

其中 $G_{F_j x_j}(f)$ 和 $G_{F_j x_i}$ 分别为 F_j 和 x_j 及 F_j 与 x_i 的互功率谱密度函数。 $G_{F_j}(f)$ 为 F_j 的自功率谱密度函数。

因而*j*点的动柔度系数为 $\alpha_{jj} = |H_{x_j F_j}(f)|$, 其中 $|H_{x_j F_j}(f)|$ 为 $H_{x_j F_j}(f)$ 的模。

*j*点和*i*点间的互耦合动柔度系数为

$$\alpha_{ij} = |H_{x_i F_j}(f)|, \text{ 其中 } |H_{x_i F_j}(f)| \text{ 为 } H_{x_i F_j}(f) \text{ 的模。}$$

则相应的动柔度系数组成的动柔度系数矩阵为 $[\alpha] = [\alpha_{ij}]_{n \times n}$, 该矩阵为 $n \times n$ 阶矩阵, 其中*n*为支承数。

二、发动机准备和测试设备

根据需要,测量了某双转子涡轮喷气发动机低压涡轮转子轴承2、5处的动柔度系数和耦合动柔度系数。得到了一个 2×2 阶的动柔度系数矩阵,供计算时选用。

为测量涡轮转子轴承2、5处的动柔度系数和耦合动柔度系数,将低压压气机、低压涡轮从发动机中取走,保持中机匣,4、5级压气机机匣,第一级涡轮导向器机匣,附传动机匣,大部分附件及高压转子。即在不妨碍激振和测量的前提下,尽量保持发动机完整性。

轴承2以工艺轴承代替。发动机轴承5为滚棒轴承,其刚度较大,而其内圈固定在低压涡轮轴上,使激振和测量带来一定的困难。为方便起见,轴承5处的滚棒轴承没有安装。

为了尽可能测量发动机支承系统的真实动柔度系数矩阵,发动机严格按装配规范装配,试验在该发动机的专用试车台架上进行。激振及测量仪器框图如图1所示。

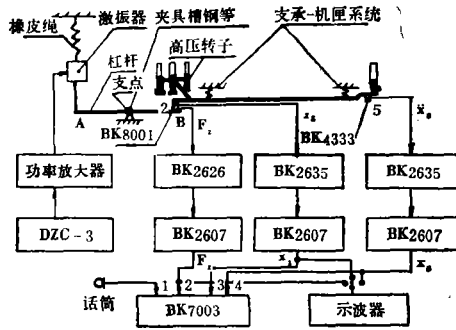


图1 激振及测量仪器框图

1. 激振 由DZC-3信号发生器产生正弦快速扫描信号，经功率放大器后驱动激振器，激振杠杆A端，杠杆B端通过8001阻抗头和支承2相连，杠杆支点安装在发动机试车台横梁上。

2. 测量 8001阻抗头感受加于支承2上的激振力 F_2 及加速度信号 $\ddot{x}_2$ 。4333加速度传感器感受支承5处的加速度信号 $\ddot{x}_5$ 。 $\ddot{x}_2$ 和 $\ddot{x}_5$ 均经二次积分变为 x_2 和 x_5 。 F_2 、 x_2 、 x_5 同时记录于磁带记录仪的磁带上，由此可求得 α_{22} 和 α_{52} 。

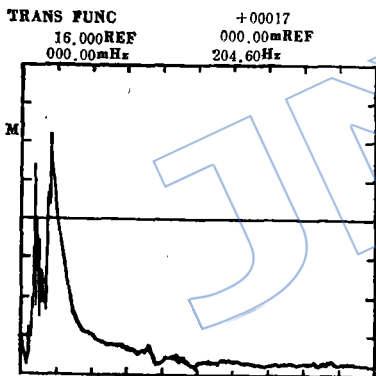
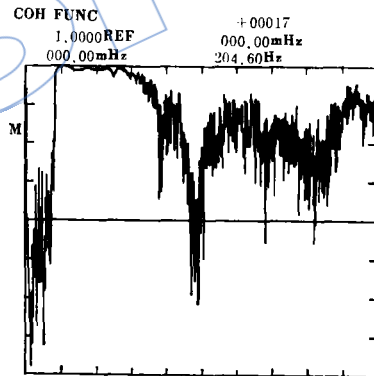
磁带上记录 F_2 、 x_2 、 x_5 各通道上均录有标定信号，以便分析时定标。

也可在5处作用激振力，测量 F_5 、 x_2 、 x_5 ，求得 α_{25} 、 α_{55} 。

三、信号分析和结果讨论

将所录信号送至SB-2100B数字分析系统进行信号的统计分析。

1. 2处动柔度系数分析：进行了 $H_{x_2 F_2}(f)$ 和 $\gamma^2_{F_2 x_2}(f)$ 分析。 $\gamma^2_{F_2 x_2}(f)$ 为 F_2 和 x_2 间的相干函数。分析结果见图2，图3。2处的动柔度系数为 $\alpha_{22} = |H_{x_2 F_2}(f)|$ 。

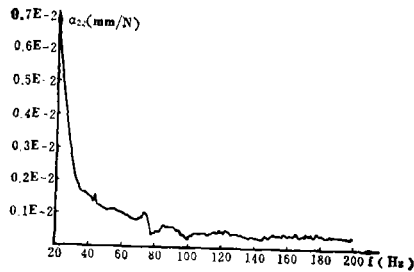
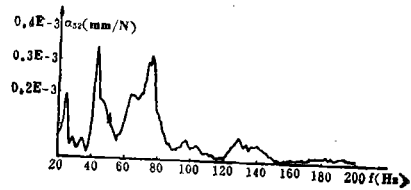
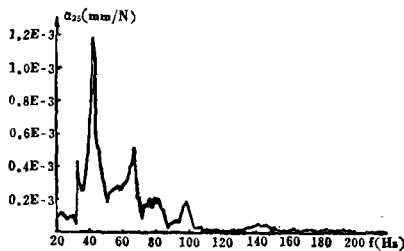
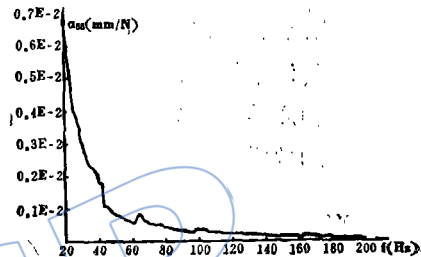
图2 $H_{x_2 F_2}(f) \sim f$ 图 (模)图3 $\gamma^2_{F_2 x_2}(f) \sim f$ 图

2. 2点至5点耦合动柔度系数，5点至2点耦合动柔度系数，5处的动柔度系数各为 $\alpha_{52} = |H_{x_5 F_2}(f)|$ ， $\alpha_{25} = |H_{x_2 F_5}(f)|$ ， $\alpha_{55} = |H_{x_5 F_5}(f)|$ 。

3. 标定信号的分析：据标定信号的分析可以对分析所得的动柔度系数进行定标。定标以后的动柔度系数随频率的变化绘制成图4~图7。

对以上结果讨论如下：

1. 由于机械系统的传递特性较差，现虽用了灵敏度较高的加速传感器，但信噪比仍较低，因而试验所得耦合动柔度系数的可信度低于同点动柔度系数。故 α_{22} 、 α_{55} 可供选用， α_{25} 、 α_{52} 可供参考。

图 4 $\alpha_{22} \sim f$ 图图 5 $\alpha_{52} \sim f$ 图图 6 $\alpha_{23} \sim f$ 图图 7 $\alpha_{55} \sim f$ 图

2. 利用图 4 ~ 图 7 时应注意相应频率的相干函数值和动柔度系数的随机误差 ε 值。

$$\varepsilon = [1 - \gamma_{xy}^2(f)]^{1/2} / [|\gamma_{xy}(f)| \sqrt{2n_d}]$$

式中 $|\gamma_{xy}(f)|$ 为相干函数开平方后取正值, n_d 为分析的平均次数。一般认为相干函数值大于 0.7, ε 值小于 0.1 时, 该时的动柔度系数较可信。

参 考 文 献

- [1] Bendat, J.S. and Piersol, A.G., "Random Data, Analysis and Measurement Procedures", Wiley-Interscience, New York, 1971.
- [2] Bendat, J.S. and Piersol, A.G., "Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis", Wiley-Interscience, New York, 1980.
- [3] 戴诗亮, "随机振动实验技术", 清华大学出版社, 1984 年。
- [4] 李智伟, "弹性支承动柔度的试验确定法", 西工大科技资料 DZH8321 期, 1983 年。
- [5] 李智伟, "涡轮发动机振动测量中的若干问题", 西工大科技资料总字 785 号, 1979 年。

(责任编辑 李其汉)

rotary blades is investigated with error analysis and illustrated by a numerical example.

DYNAMIC FLEXIBILITY COEFFICIENT MATRIX AND ITS MEASUREMENT FOR AEROENGINE SUPPORTING SYSTEM

Li Zhiwei and Yang Shenji

(Northwestern polytechnical University)

Abstract

This paper deals with the concept of the dynamic flexibility coefficient matrix and the measurement of the coefficients. As an example, the method of the coefficient measurement and the results of the coefficient matrix calculation are given for the supporting system of a twin-spool jet engine. The method and results will be useful for practice.

EQUIVALENT TEST OF PLUNGER FUEL PUMP

Zou Pixian, Xue Jianhua, He Xiude

(Far East Machinery Company)

Abstract

The equivalent test presented in this paper is a technique developed to accelerate the life test. It is achieved by increasing the testing load whereas reducing the test time to make the sample product being tested have approximately the same degree of damage as compared with the main failure mode. The equivalent formula for this purpose has been deduced from analysis and calculation, and the equivalent test specifications can be thus compiled on the basis of the equivalent formula.

MEASUREMENT OF RESIDENCE TIME DISTRIBUTION FUNCTIONS OF FUEL IN COMBUSTOR

Lu Xinli and Chen Jie

(Northwestern Polytechnical University)

Abstract

An experimental equipment for measuring the residence time distribution functions of fuel in combustor has been made, based on the absorption of radiation from a line source at 253.7nm generated by mercury vapour. The residence time distribution functions of fuel both in a main combustor and a model afterburner under cool conditions have been measured by means of this equipment and have been analyzed.