

叶片振动实验实时数据采集系统及应用

北京航空学院 张成性 宋兆泓

一、设备配置

整个振动信号高速实时采集与处理系统的设备可以分成三个部分: 激振和拾振部件; 数据采集部件; 数据处理部件如图1示。激振部件主要是利用ZK-1型振动控制仪产生激励信号, 再经激振放大器以及相应的电磁激振器来振动叶片, 而对测试加速度信号而言, 除应用扫频激振外, 还应用了锤击法, 从而产生脉冲激振。拾振部件根据传感器的类型, 该系统配有两种方式: 加速度传感器把信号传给GZ-2型六线测振仪或单通道的NCL型振动测量仪。

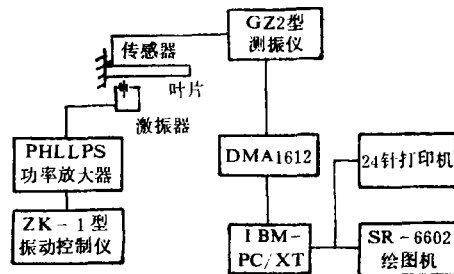


图1 DAS设备示意图

此两种仪器都具有放大功能, 将加速度变化后的电压信号放大直接输入DMA板; 如果测量叶片振动应力, 则用电阻丝片作为传感器。信号经平衡电桥后进入Y8DL-1型8线动态应变仪, 该应变仪可以同时八路信号进行分析, 测量范围在 $0 \sim \pm 10000 \mu\epsilon$ 。

采集部件利用DMA板与微机相接, 把由测试设备输出电压信号 ($< \pm 10 \text{ V}$) 转换成数字信号送计算机处理与分析。DMA板型号是PC1612, 字长12倍, 最高采集速率达 100 kc/s , 采集的数据以DMA方式存入内存。它具有16通道A/D, 同时还具有2路8位D/A输出, 可以作为控制用。采集板具有25芯的输入信号插座, 其中有16路模拟输入信号, 一个外触发信号, 一个外时钟信号及六个连在一起的模拟地, 接20多米长的屏蔽电缆, 可作远程信号传输用。

数据处理部件除常规的打印机输出, 屏幕显示外, 还有SR-6602绘图机其RS232C串口通过计算机的异步板连接起来。

二、软件及其特点

目前已正式调试成功并实际应用的软件有采集和存贮转化软件、谱分析和曲线拟合处理软件和绘图和打印机输出制表软件。(图2)

采集和存贮软件利用BASIC语言编制后调用汇编子程序开采, 存入指定的内存区, 并按一定格式写在硬盘的文件中, 便可对其数据进行显示、处理分析等。其采集速率是很高的, 且有7档可以选择, 完全可以满足振动实验的要求。

在谱分析中, 该系统具有快速FFT变换, 其中包括离散的FFT变换等几种方式变换, 能在不到一秒的时间内变换出一千多实验点。FFT是用于计算一个实数或复数序列的离散付里叶变换(DFT), 计算方程为:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{j \frac{2\pi}{N} kn}$$

这里 $x(n)$ 是实数, $x(k)$ 是复数,

$k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}$ 。只有 $\left(\frac{N}{2} + 1\right)$

个复数 DFT 值 需要计算和存贮,

因为 $x(n)$ 是实数, 有对称关系: x

$(N-k) = X^*(k)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, \dots, N/2$)。

这一算法保持原先 Cooley-Tukey 法的次序和对称性, 但消去了对实序列的多余计算, 因此在计算量和存贮量上有减少一半的效果。

由于在测试振动应力时, 需将应力沿叶片弦向分布的关系描述出来, 所以 DAS 具有实验数据最小二乘法拟合功能, 该拟合处理软件分别用 BASIC 和 FORTRAN 制成, 使用方便, 设有对话式提问, 可以根据使用情况决定取拟合曲线的阶次和精度要求。

绘图和打印机制表软件即用 FORTRAN 和 BASIC 两种语言编制了 PLTFFT 绘制频谱的程序, 以及 SUN4.BAS, ZBEND.FOR 绘制叶片振动应力以及打印实验数据点的程序。所有绘图软件都可以用对话式进行参数选择, 在图形经绘图机绘完后, 屏幕将绘制出振动应力和频谱来。

三、实际应用

在这里, 我们做了叶片振动的频谱, 叶片振动的应力分布两种实验, 并且应用锤击法及正弦扫频信号两种方式激振。

在叶片振动实验过程中, 用加速度传感器测量频谱分布, 从而确定叶片的自振频率, 测得的加速度信号经 GZ2 型六线测振仪或单通道的 NCI 型振动测量仪, 放大后直接以压电方式传输给 DMA 板, 采集的时域信号经过快速 FFT 变换成频域内信号, 从而用绘图机直接绘出频谱并打印出自振频率的数

值, 本次实验由于采用锤击法击振, 因而衰减很快, 仅能较为准确地出测一弯、二弯、一扭的自振频率, 对于高频, 效果较差, 频谱图如图 3 示。本次实验值: 涡流激振为一弯频率 60Hz, 二弯频率 387Hz, 一扭频率 551Hz; 振动台敏振为一弯频率 64Hz, 二弯频率 395Hz, 一扭频率 518Hz; 微机检测值为一弯频率 64.08Hz, 二弯频率 396.72Hz, 一扭频率 524.9Hz。理

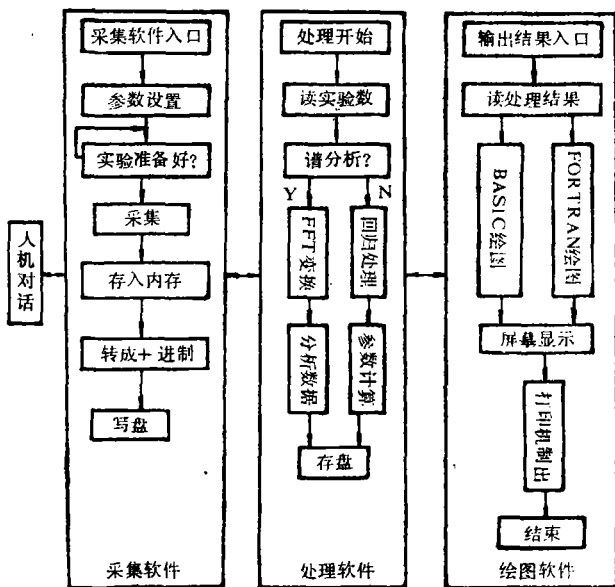


图2 系统软件框图

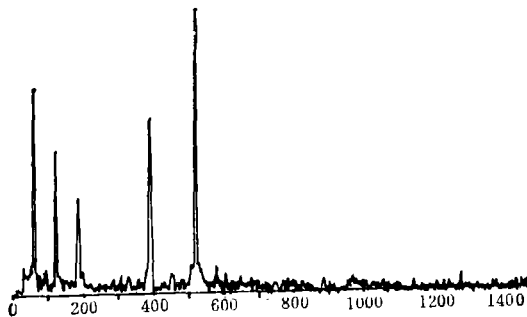


图3 叶片振动频谱图

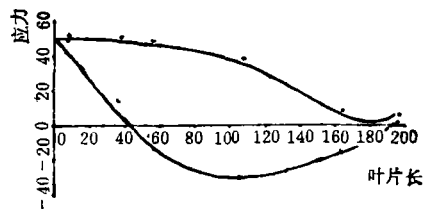


图4 叶片振动应力分布

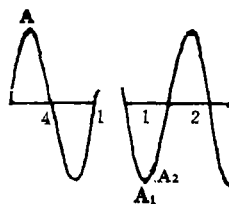


图5 叶尖、叶根振动波形图

论计算值为：一弯频率 62.3Hz ，二弯频率 393.9Hz ，一扭频率 505.6Hz 。由此可见，测试的精度还是较为可靠。

另外一个实验是利用测试叶片的振动应力分布（图4）。在常规振动实验中，测量二弯振型及振动应力分布，而相位问题是看沙形，然后给电压值定出正负，但对于机装叶片实验时，就无法用沙形来看相位。本采集系统可以定出相位问题，下面就讨论一下这个方法。

在前面设备介绍中，已经指出A/D转换，相邻通道时间间隔为 $10\mu\text{s}$ ，而本次实验只选用八通道，所以最大时差为 $80\mu\text{s}$ ，图5给出二弯振动叶片根部和尖部的振动情况，以此来说明相位问题，二弯自振频率为 396Hz 。

当叶片振动到最大位置时，各测点对应于A，A1点（仅以尖部和根部说明），但是测量上由于各通道采集存在时差，所以当根部采集到的是A点，而叶尖则是A2点而不是A1点。若采集的信号频率为 F_1 ，对于第I通道来说，与实际值的相角差为PH：

$$PH = F_1 \times 1 \times 10 \times 10^{-6} \times 360^\circ = 3.6 \cdot F_1 \cdot I \cdot 10^{-3} (^\circ)$$

例如对于第八通道 $F_1 = 396$ (二弯) Hz 则相角差为 $PH = 3.6 \cdot F_1 \cdot I \cdot 10^{-3} = 11.404^\circ$

以上分析可知，尽管测量出的信号各通道之间可能存在一定相角偏差，但最大偏差只有 11.404° ，所以可通过A2点来代替A1点，从而进行振动应力的相角分析及振动应力曲线绘制。

简 讯

动力专业委员会1988年培训计划

1. 航空发动机寿命研究短训班。时间：2月2日，8天；地点：空一所。
2. 航空发动机可靠性讲座。时间：2月22日，4个单元；地点：北航。
3. 科技英语短训班。时间：2月29日，半年；地点：北航。
4. 航空机械CAD/CAM短训班。时间：4月11日，2个月；地点：北航。
5. 航空发动机适航条例短训班。时间：5~6月份，1个月；地点：北航。
6. 航空发动机可靠性系统工程短训班。时间：6月份，1个月；地点：北航。
7. ADA语言程序设计短训班。时间：9月份，1个月；地点：北航。
8. 继续教育管理干部短训班。时间和地点待定。

联系人：北京市学院路37号《航空动力学报》杨帆。

TECHNICAL NOTES

A DATA ACQUISITION SYSTEM FOR BLADE VIBRATION TEST

Zhang Chengsheng and Song Zhaohong

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

Abstract

A real-time data acquisition system based on IBM-PC for vibration test is provided. The highest sampling frequency of each channel is 100kc/s. There are 16 A/D channels and 2 D/A channels in this system. The tests of frequency spectrum analysis and vibration stress distribution of blade have been completed with this system.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON FILM-COOLING UNIFORMITY OF DISCRETE HOLES OVER A CURVED SURFACE

Yao Yongqing, Xia Bin, Ge Shaoyen

(Institute of Engineering Thermophysics)

Abstract

The film-cooling uniformity of discrete holes in the direction normal to main stream is investigated by means of heat and mass analogy. At different blowing ratios, the features of the film-cooling uniformity for one row and two rows of discrete holes are compared. It is found that the film-cooling uniformity on the concave surface is better than that on the convex one.

A DESIGN METHOD OF "WIGGLESTRAP" FILM-COOLING CONSTRUCTION OF FLAME TUBE

Li Changlin

(Northwestern Polytechnical University)

Abstracts

This paper presents a calculation method for the design of three types of "wigglesrap" film-cooling construction, i. e. the square, the trapeze and the double circle arc constructions, which are applied to the flame tube of aero-engine. When the airflow distribution and the cooresponding airflow passage section areas are given, all parameters of the construction can be determined.