

发动机起动过程的振动谱分析

哈尔滨发动机制造公司 高景海 何连瑞

在开展某型涡桨发动机振动监控课题研究工作时,曾迁到该型发动机在台架试车过程中出现压气机转子前部叶片严重偏磨和轴承损坏等故障,且每次都发生在起动过程,故障后均伴有严重的振动损坏现象。为此,我们决定从测量分析发动机起动过程的振动特性着手,寻找规律,为排故提供重要依据。因其问题属于瞬态振动分析,以运用实时振动分析技术进行数据处理为宜。

一、测试分析原理与方法

在此项研究中,所采用的测试分析系统是由压电加速度计、电荷放大器、FFT分析仪和磁带记录仪等组成。

拾振加速度计安装在发动机的常规测振位置上,现场用FFT谱分析仪,分析出从点火结束到慢车前的振动情况,供实时监控参考,并同时用磁带机录取下该过程振动信号,供事后详细分析用。

二、振动数据处理结果

1. 发动机起动过程的振动谱三维分析

(1) 故障发动机的起动振动三维谱图:图1中a)、b)均为故障发动机的第二次起动的三维振动谱,其中a)为线性形式的,b)为对数形式的。

两种形式的谱图比较后可以看出各有所长,线性三维谱图主要矛盾十分突出,一目了然,适用于振动幅值变化较大的情况;而对数形式能较详细地反映出更丰富的频谱变化情况,对分析全貌大为有益。

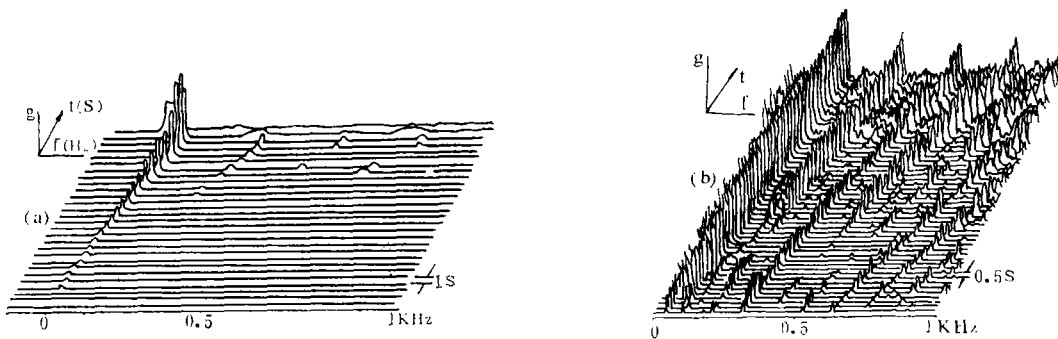


图1 发动机的故障三维谱图

(2) 正常发动机(排故后)的起动振动三维谱图: 图 2 为排故后的发动机(选配了合格的弹性衬套等)的振动三维谱图。

2. 发动机起动过程典型振动谱与时域波形

(1) 故障发动机的功率谱与时域波形图: 由图 3 显见此时发动机处于强烈的周期性的振动状态。分解后发现转子严重偏磨和前轴承损坏。

(2) 正常发动机的典型谱与时域波形图: 图 4 为排故后的发动机功率谱与时域波形图之一。与故障发动机相比有极明显的差异。

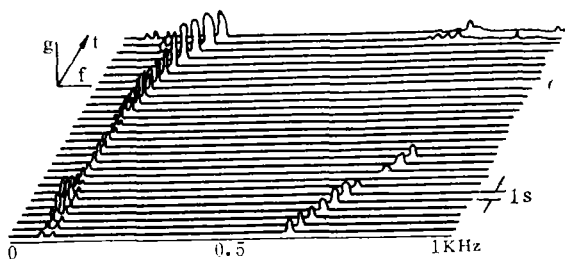


图 2 排故后的发动机三维谱图

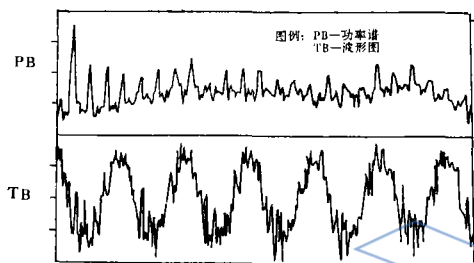


图 3 故障发动机的谱与时域波形

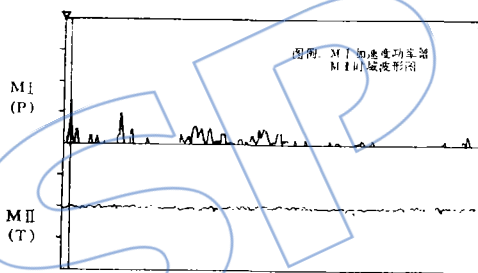


图 4 排故后的发动机典型谱与时域波

3. 转子热变形对发动机整机振动的影响

图 5 给出的是发动机起动——停车时间间隔不同时及盘桨不盘桨情况下的各次起动振动特性, 由图看出, 其各次振动是有明显差异的。

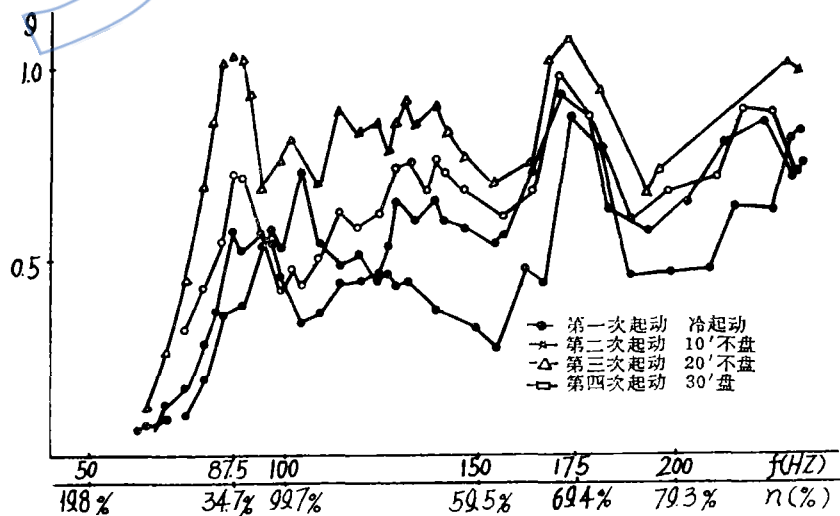


图 5 转子热变形对整机振动的影响

4. 测取了故障发动机所在台架系统的静频特性

用敲击法测取了台架系统（包括故障发动机）的静频特性，可以看出在72.5Hz处系统有振峰。

三、几点看法

通过对28台次发动机的测量，共积累了174次起动过程的振动信号，运用FFT分析技术进行了大量的数据处理工作，使我们对该型发动机的起动振动特性有了许多新的、规律性的认识，为发动机排故提供了重要依据，同时也为进一步实现对发动机振动监控、故障诊断和预报等研究工作积累了数据和经验。具体谈几点看法：

1. 只要恰当地运用FFT三维分析技术，就能生动、形象而又直观地观察到发动机的起动振动特性及其变化规律，这是一般振动分析所无法比拟的。

我们体会FFT三维技术它有如下优点：（1）能快速、自动地将时域和频域的分析联系起来，表现为一系列曲线族的整体，可大大缩短数据处理周期；（2）能很快地区分出激振力的性质——是气动的还是机械的；（3）能迅速的区分出高能级与低能级的激振源；（4）能预计转速基频之外的可能产生的振动情况及其严重程度。

通过对该型发动机的三维分析得出：正常发动机起动过程的激振因素主要来自转子基频振动，如图2所示。而故障发动机的三维谱所形成的空间图形，恰似层峦迭嶂，条条“山脊”脉络清晰，这大概是因为故障发动机振动量极大，其谐波分量也大的缘故（参见图1b）。

2. 从图3显知，故障发动机呈强烈的周期性振动；而正常发动机的功率谱主要是转子基频的振动峰，其时域波形只能见到高频微幅的振动，与故障发动机截然不同（参见图4）。

3. 该型发动机前支点装有一低刚性的弹性衬套。当弹性衬套过软时，在发动机起动过程中有可能被“压死”，而失去弹性支承作用，以致发动机振动剧增，而发生破坏性的故障。基于这一重要分析，对发动机弹性衬套进行了柔度对比试验，实测表明，故障发动机的弹性衬套柔度系数果然很大，比正常发动机高出将近一倍。为此提出，凡装机的弹性衬套必须进行柔度系数检测。

4. 通过大量的统计分析得出另一重要规律，即发动机热起动（第二次起动以后）时的振动均高于冷起动（第一次起动）情况。

5. 通过专项试验，证明转子的热变形对发动机整机振动有明显的影响（详见图5）。其基本规律是：停车时间适当长，且其间不盘桨（转子热变形大）的情况下振动最大；而停车的时间长，但其间定期盘桨（使转子热变形均匀），则其振动值明显下降。

实践表明，运用FFT振动分析技术，研究发动机的起动过程的振动特性是行之有效的，能够收到令人满意的结果。但尚有许多工作须深入探讨。尤其是如何运用已得到的数据和规律，实现对发动机的监控、故障诊断和预报方面的研究工作，更需做出新的努力。

本文由高景海执笔，何连瑞高级工程师审阅。参加者尚有孙兆印、王松林、兰旅华、刘利明等同志。

（责任编辑 李其汉）

A COMPUTER-CONTROLLED VIBRATORY FATIGUE TEST RIG WITH PROGRAMMED LOADING FOR BLADING

Lu Qixin and Zhuang Zhongliang

(Nanjing Aeronautical Institute)

Abstract

In order to improve the accuracy in experimental prediction of service life of axial-flow compressor blade, it is necessary to simulate random field loads in the laboratory. Based on recorded flight spectrum loading, a microcomputer system for data processing and counting was successfully utilized to derive a mathematical model for a stepped load spectrum and software programming. For simulation by programmed step loading, a computer-controlled closed cycle servo-electrical test rig has been newly devised. This paper describes briefly its design and technical features. On this rig, a fatigue life distribution of certain compressor blading was automatically tested under its simulated flight block load spectrum. This advanced technique for inspection of the fatigue life and quality in blade production may be employed by blade manufacturing factory to enhance the flight reliability.

VIBRATION SPECTRUM ANALYSIS OF A TURBOPROP ENGINE IN STARTING PROCESS

Gao Jinghai and He Lianrui

(Harbin engine Manufacture Company)

Abstract

This paper describes how the FFT (Fast Fourier Transform) technique is applied to the spectrum analysis of the vibration signals recorded in starting process of a turboprop engine and what features of its spectrum have been found out. Based on analysing the vibration data recorded from 174 starting processes, the basic rules of vibration in starting of the engine are found and essential difference between normal and troubled engines is clarified. Vibration divergence in hot and cold startings and the influences of thermal deformation of the engine rotors on the vibration are also investigated. This work has accumulated data and experiences for fault diagnosis and monitoring in starting of the engine.