

# 飞机发动机状态监控研究

王宇波 李学仁 陈学江

(空军工程大学 西安·710038)

**摘要:** 通过应用时序分析理论,对飞行参数系统记录的数据进行建模、分析,提出了一种飞机发动机状态监控的新方法。

**关键词:** AR; 模式识别; 状态监控; 发动机

## An Investigation into Aircraft Engine Condition Monitoring

WANG Yu-bo <sup>1</sup>, LI Xue-ren <sup>2</sup>, CHEN Xue-jiang

(Air Force Engineering University Xi'an 710038)

**Abstract:** Using the recorded data from flight data system, a flight model has been established and analyzed with the theory of TSA. This paper introduced a new method of aircraft engine condition monitoring.

**Key words:** AR; mode identifying; condition monitoring; engine

## 1 引言

发动机是飞机的心脏,对其进行监控非常必要。随着飞行参数系统的大量安装,利用其记录的数据,如发动机的转速、温度等,采用有效的数据处理方法,对发动机的工作状态进行监控,对于发动机的维修及早期发现事故征兆,无疑是一种投资少、见效快的新途径。本文应用时序分析的方法,对发动机的输出参数进行建模、分析,并对参数变化规律进行了拟合,提出了一种飞机发动机状态监控的新方法。

## 2 飞行参数数据的分析

某型飞行参数系统以 1Hz 的采样率进行参数记录,记录的参数包括模拟量和开关量两类。飞行参数记录的飞行数据,能够真实的反映飞行过程和

发动机的工作状态。在此前提下,应用开关量中的发动机的收、放喷口状态和是否开加力信号作为过滤条件,选取发动机的燃气温度组成一元时序以供分析。

## 3 发动机状态监控模型的建立

对于提取出的数据,首先进行野点的剔除。在程序中,采用了 Tukey 提出的异点剔除方案来剔除野点。其主要思想是产生一个曲线的平滑估计,然后找出野点,利用前后数据进行线性平滑产生新的数据代替原来的野点,组成新的时间序列。

在 AR(n)模型建模中,应用 U-C 算法进行模型的参数估计,其实质是对时间序列进行正、逆置后的最小二乘算法。该算法充分提取了时序中包含的信息,并且从 Marple 法的角度来看,它保证了滤波

误差的总能量最小,因此它是目前参数估计中精度最高的算法。模型的阶数利用 FPE 准则确定。整个程序的流程图见图 1。

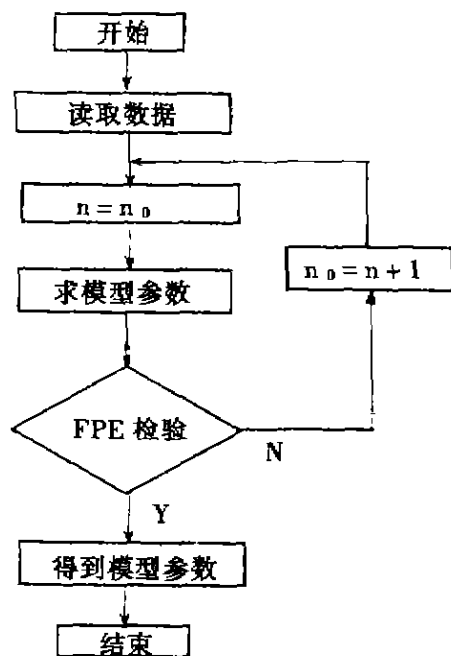


图1 建模流程图

AR(n)模型的表达如下:

$$x_t = \sum_{i=1}^n \varphi_i x_{t-i} + a_t$$

模型中参数矩阵  $\varphi$  的求取:

$$\varphi = (x_f^T x_f + x_b^T x_b)^{-1} (x_f^T y_f - x_b^T y_b)$$

各参数表达式为:

$$y_f = [x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_N]^T$$

$$\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T$$

$$a = [a_1, a_2, \dots, a_N]^T$$

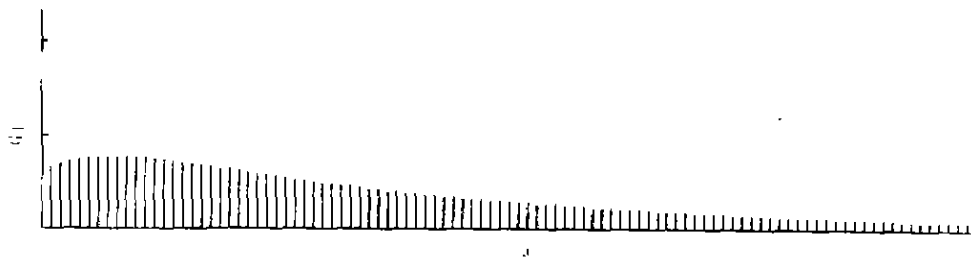


图2 AR(11)模型的 Green 函数

$$x_f = \begin{bmatrix} x_n & x_{n-1} & \dots & x_1 \\ x_{n+1} & x_n & \dots & x_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N-1} & x_{N-2} & \dots & x_{N-n} \end{bmatrix}$$

式中,  $x_f$  和  $y_f$  是正向排列的时序,  $x_b$  和  $y_b$  是逆向排列的时序,对  $x_b$  和  $y_b$  的表达式不再列出。

#### 4 模型的分析

通过对模型进行分析,进而对系统的状况进行分析是建立模型的最终目的。对于建立的模型,各参数既反映了系统本身的固有特性,又反映了系统在外界作用下的输出特性。模型的特性函数的求取,可以应用时序理论进行模式识别和故障诊断。其中 Green 函数是系统的单位脉冲响应函数,所以根据 Green 函数值也可构造判别函数。

AR(n)模型的 Green 函数计算公式为:

$$G_j = \sum_{i=1}^n g_i \lambda_i^j; \quad g_i = \frac{\lambda_i^{n-1}}{\prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^n (\lambda_l - \lambda_i)}$$

例如,对于·型、·号飞机,发动机状况良好的原始飞行数据进行建模,求得 AR(11)模型的参数为:

$$\varphi = [1.107963, -0.046786, -0.0025424, -0.015676, -0.012322, -0.009105, -0.003605, 0.004047, 0.003310, -0.000070, -0.017181]^T$$

对求出的 AR 模型的 Green 函数进行作图分析。从图 2 中可以看出,  $G_j$  是收敛的,代表的系统是比较稳定的。

对同型号飞机, 5 架次飞行中出现发动机故障的原始飞行数据进行建模, 求得 AR(9)模型的参数为:

$$\varphi = [0.992730, 0.058342, -0.014121, -0.015378, -0.006388, -0.005775,$$

$$-0.019244, 0.012510, -0.001125]^T$$

同样对其 Green 函数进行作图分析。从图 3 中可以看出,  $G_j$  是发散的, 所代表的系统是不稳定的。

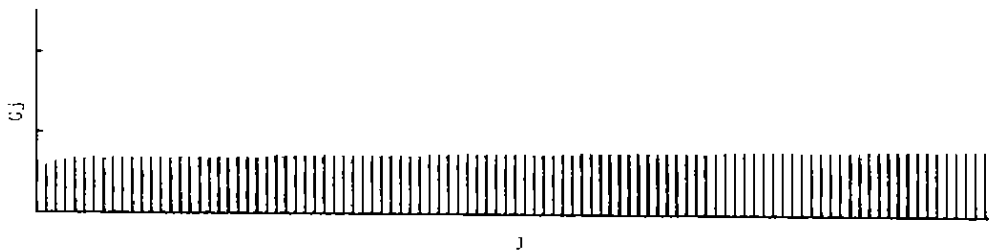


图 3 AR(9)模型的 Green 函数

## 5 结束语

以上结果在 Visual C++ 6.0 下均调试通过。通过对飞行参数记录仪记录的发动机数据进行时序建模和分析, 可以看出应用时序分析的理论对发动机进行监控是一种很有效的方法。

## 参 考 文 献

- 1 杨叔子. 时间序列分析的工程应用. 武汉: 华中理工大学出版社, 1991

(上接第 40 页)

(3) 采用了高阻匹配技术, 监控测试仪可与飞机座舱指示仪表同时工作, 而不影响正常性能。

(4) 测量的参数具有记忆功能, 可长期保存。

(5) 测试仪器体积小、重量轻, 外场使用非常方便。

(6) 分析仪软件功能强大, 具有一定的智能化程度, 大大减轻了维护人员的工作强度。

该项技术已获鉴定, 深受部队机务人员的欢迎。

## 参 考 文 献

- 1 卢洪义等. 3031 单机在密封检测领域中的应用研究. 烟台: 海军航空工程学院学报, 1994(9)