

# 飞行数据趋势监测在飞机“健康状况”评估中的应用

张 鹏, 张建业, 李学仁  
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘 要:**针对飞行数据属于多状态时域数据的特点提出了一种用于参数趋势监测的方法,该方法为“飞机健康”状况提供了一种科学的评估依据。首先对飞机在稳定工作状态和飞行特征时段下的飞行数据进行筛选处理、野点剔除和统计分析,并在此基础上建立时间序列 AR 模型进行参数预测,进而采用阈值对比法实现了参数的趋势监测,最后讨论了趋势监测在“飞机健康”状况评估中的应用方案。实例表明这一方法具有较高的准确性和重要的工程应用价值。

**关键词:**飞行数据;飞机健康状态;稳定工作状态;飞行特征时段;时间序列

**中图分类号:**V241.4   **文献标识码:**A   **文章编号:**1009-3516(2004)03-0008-03

参数的趋势监测是飞机健康状况评估的重要手段之一。飞参记录的参数属于多状态的时域数据,若用飞行参数记录器提供的飞行数据直接进行趋势监控,工作量大、模型复杂,不能很好地反映飞机整体性能的时域特性,也体现不出飞行性能的统计信息。因此,我们收集并筛选了某型军用飞机在稳定工作状态和飞行特征时段下的历次飞行数据,在对野值进行正确剔除的基础上,归纳并统计出代表和反映飞机各子系统性能

## 1 基于时序 AR 模型的参数预测

飞机的稳定工作状态可以从两个方面理解:一是对应于发动机的工作状态,如慢车、额定、最大、加力等状态;二是在符合一定筛选条件时确定的状态,如“飞行中直流 27 V 最大”等状态。飞行特征时段则对应于飞机的各飞行阶段,如起飞、爬升、巡航、着陆等。

各状态筛选条件可依据专业知识和实际维护经验,例如对于慢车状态,其筛选条件可定义为开始:  $(Y_s < 18 \text{ or } N_1 < 40)$  and  $(N_1 > 20 \text{ and } N_2 > 20)$ 。结束:  $Y_s > 18 \text{ or } N_1 > 40$ 。其中  $N_1, N_2$  表示发动机高压转子、低压转子的转速,  $Y_s$  表示油门杆位移。

本文综合考虑了飞机的稳定工作状态和飞行特征时段,在对历次飞行数据分析和归纳的基础上最终确定 47 个待监测参数<sup>[1-3]</sup>。

野点的剔除应建立在对其正确判别的基础上。这就要求不但对测量对象的测量方法、测量过程的规律性有较好的了解和认识,而且还应掌握与被判别参数有密切联系、发生关联动作和变化的协调情况,即对于某些参数若出现幅值变化很大,应检查与之有关联动作的参数在同时刻或按要求时序有无发生相应的变化以确定是否为野点<sup>[4]</sup>。例如:当判断发动机转子转速在某时刻可能为野点时,不但要比较该时刻前后转速的变化情况,还要检查油门杆、指示空速和真空速等参数的变化情况。

结合阈值对比法的特点,飞行数据的统计分析主要是指对参数进行均值和极值等统计运算。

根据样本数据偏自相关函数的截尾特性,并考虑到实际工程应用的特点,选用时序 AR 模型对参数进行建模和预测分析。对飞机在稳定工作状态和飞行特征时段下的飞行数据进行筛选处理、野点剔除和统计分析,作为 AR 模型的建模数据。建模流程如下<sup>[5]</sup>:对建模数据进行平稳性、正态性、零均值性检验;使用最小

收稿日期:2003-12-22

作者简介:张 鹏(1979-),男,山西太原人,硕士生,主要从事导航制导与控制研究;  
李学仁(1963-),男,山西运城人,教授,主要从事导航制导与控制研究。

二乘法估计 AR 模型参数;选用 BIC 准则进行适用性检验。并根据实验结果,设定搜索阶次为 60;利用 AR 模型进行最佳一步预测。

### 2 评估基本思想

机械工程中的“均值-极差”方法是指在工件加工或制造中,采用对工件尺寸求均值,以及计算最大、最小尺寸之差(即极差)来监视工件的尺寸是否符合要求,从而采取措施加以纠正<sup>[5]</sup>。本文依据“均值-极差”的思想采用了阈值对比法。该方法的基本思想是:利用 AR 模型得到参数的一步最佳预测值后,如果预测值在标准值附近波动(必定处于上、下阈值之间),表明下次飞行中飞机在稳定工作状态和飞行特征时段下,与该参数对应的子系统处于良好状态。一旦参数超出阈值范围就意味着发生了故障,接近阈值则意味着需要进行预防性工作。此外结合参数的物理含义为快速定位故障隐患提供了科学的依据。

图 1 是本文提出的利用飞行数据来实现“飞机健康”状况评估的方案图,其中标准库的内容包含飞行参数的标准值和阈值,确定依据来自理论值和部队实际维护经验。知识库是相关机型的故障隔离手册,外场维护规程、飞机故障历史记录和机务人员排故经验的综合。

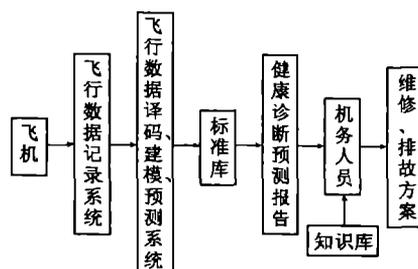


图 1 评估方案

根据以上的建模流程,在对某型机连续 175 个飞行架次的飞行数据进行筛选处理、野点剔除和统计分析的基础上,取前 160 个作为建模数据,后 15 个数据作为测试数据。

以发动机监控为例,在慢车状态下对“发动机慢车状态时  $N_2$  均值”参数建模如下,表 1 为 AR 模型的参数表模型阶次为 40。图 2 为相应的最佳预测曲线。

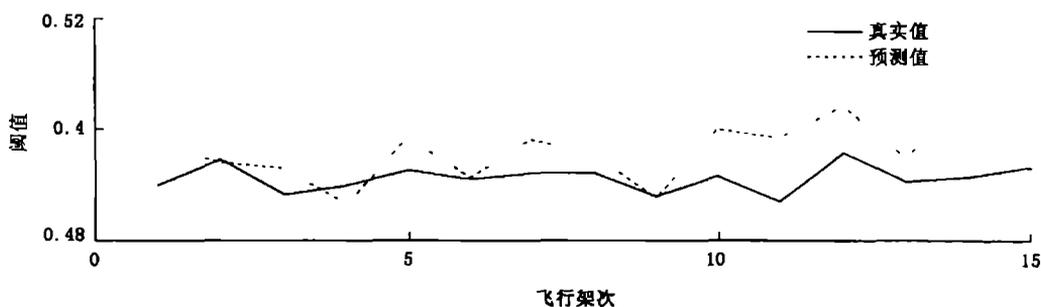


图 2 发动机慢车状态时  $N_2$  均值的最佳预测曲线

利用该 AR(40) 模型对后 15 个飞行数据分别进行最佳一步预测,其算式如下: $\hat{x}_t(l) = \sum_{i=1}^{40} \phi_i x_{t+l-i} \dots (l =$

1)。式中: $\hat{x}_t(l)$  是时间序列在  $t$  时刻的预测值,  $\phi_i (i=1, 2, \dots, n)$  为自回归系数(见表 1)。

表 1 发动机慢车状态时  $N_2$  均值参数表

参数	AR 值						
$\Phi_1$	0.207 634	$\Phi_{11}$	-0.227 443	$\Phi_{21}$	0.156 779	$\Phi_{31}$	-0.080 483
$\Phi_2$	-0.020 590	$\Phi_{12}$	0.070 428	$\Phi_{22}$	-0.104 404	$\Phi_{32}$	0.103 592
$\Phi_3$	0.046 403	$\Phi_{13}$	-0.042 074	$\Phi_{23}$	0.040 459	$\Phi_{33}$	0.071 420
$\Phi_4$	-0.025 841	$\Phi_{14}$	-0.008 847	$\Phi_{24}$	-0.060 099	$\Phi_{34}$	0.063 077
$\Phi_5$	0.008 448	$\Phi_{15}$	0.099 792	$\Phi_{25}$	-0.094 152	$\Phi_{35}$	0.091 313
$\Phi_6$	0.048 429	$\Phi_{16}$	-0.078 374	$\Phi_{26}$	0.118 033	$\Phi_{36}$	-0.030 143
$\Phi_7$	-0.020 881	$\Phi_{17}$	0.042 993	$\Phi_{27}$	-0.061 685	$\Phi_{37}$	-0.007 077
$\Phi_8$	0.107 789	$\Phi_{18}$	-0.101 022	$\Phi_{28}$	0.100 277	$\Phi_{38}$	-0.055 021
$\Phi_9$	-0.060 264	$\Phi_{19}$	0.068 096	$\Phi_{29}$	-0.095 614	$\Phi_{39}$	0.025 904
$\Phi_{10}$	0.546 424	$\Phi_{20}$	-0.311 251	$\Phi_{30}$	0.144 552	$\Phi_{40}$	-0.067 962

表 2 给出了对后 15 个测试数据进行最佳一步预测的误差,从表中可以看出,最小误差仅为 0.05%,最

大误差仅为 2.99%,该方法具有较高的准确性。

表2 参数预测误差表

预测步数	预测误差(%)	预测步数	预测误差(%)	预测步数	预测误差(%)
1	1.43	6	0.08	11	2.31
2	0.09	7	1.23	12	1.67
3	0.94	8	0.62	13	0.85
4	0.52	9	0.05	14	2.99
5	1.23	10	1.63	15	0.08

对于“发动机慢车状态时  $N_2$  均值”参数,其标准值和阈值按如下标准定义:以参数标准库为依据,其标准值为 52%,上下阈值分别为 57% 和 47%。

从预测曲线看出,该参数的预测值均处于正常范围内,且可较好的反映真实值及其变化趋势,飞机健康的诊断预测表明该子系统处于良好状态。经实际调查,在该飞机的后 15 个飞行架次中,发动机工作在慢车状态时低压转子工作正常、良好(如图 2 实线所示),机务人员进行正常的维护过程中该子系统也没有发现任何故障隐患。

#### 4 结束语

综上所述,采用该方法对飞行数据建模具有较高的准确性和重要的工程应用价值,可以实现参数趋势监控并达到辅助评估飞机健康状况水平的目的。

本文的研究成果已试用,达到了预期目标。考虑到飞行数据的种类和精度,一些对象的趋势监控暂时受到限制。下一步的研究方向是利用参数的预测结果和阈值的偏差,在对飞机健康状况水平量化分析的基础上,为机务人员提供更加专业、智能的评估决策。

#### 参考文献:

- [2] Urban L A. Parameter selection for multiple fault diagnostics of gas turbine engines[R]. ASME74 - GT - 82.
- [1] 唐耿林. 航空发动机性能监视参数选择的研究[J]. 推进技术,1998,(2):38 - 42.
- [3] 张建业,李学仁,倪世宏. 飞行成绩评定及管理系统[J]. 空军工程大学(自然科学版),2001,2(1):70 - 73.
- [4] 陈以恩,张俊刚. 遥测数据处理[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [5] 杨叔子,吴雅. 时间序列分析的工程应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1991.

(编辑:姚树峰)

## A Study of Aircraft Health Status Evaluation Based on Flight Data Trend Monitor

ZHANG Peng, ZHANG Jian - ye, LI Xue - ren

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

**Abstract:** Considering the characteristic of flight data's multimode, a new method for monitoring the trend of parameters aiming at aircraft health status evaluation is proposed. First, the filtering process, jump - point elimination and statistic analysis to the flight data are performed during the steady - working state and typical - flight period. Then, by using AR model the value of the parameters is predicted, and finally by using the threshold value comparison method the trend of parameters is monitored successfully. The result shows the accuracy and applicability of this method.

**Key words:** flight data; aircraft health status; steady - working state; typical - flight period; time series