

文章编号:1001-893X(2012)06-1042-05

航空装备“未发现故障”的诊断与排除^{*}

孟 飞,杨继恩

(空军第一航空学院 航空仪电工程系,河南 信阳 464000)

摘 要:“未发现故障”(NFF)是近年来困扰航空界的一大难题,无论是新机的电子设备还是老机的机械、线路系统,NFF 逐渐成为一种新的多发故障模式,影响飞机正常使用,增加了维修成本。从 NFF 的定义入手,具体分析其产生的原因。在对比国内外 NFF 诊断与预防技术的基础上,采用基于本质参数测量的 NFF 诊断与排除方法来减少 NFF 故障发生率,提出相应诊断与预防的流程。以某型飞机“发动机降转”故障为例验证了该方法的有效性,并对当前 NFF 的现状提出几点对策与建议。

关键词:航空装备;未发现故障;故障重现;故障诊断;本质参数

中图分类号:TN06;V24 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.06.044

Diagnosis and Troubleshooting of “No Fault Found” in Aviation Equipment

MENG Fei, YANG Ji-en

(Department of Aeronautics, The First Aeronautic Institute of Air Force, Xinyang 464000, China)

Abstract: NFF(No Fault Found) is a big puzzle in aviation group in these years no matter the electronic equipment of new planes or circuitry system of aged planes. NFF has become a newly excessive occurrence gradually. NFF lowers the reliability so as to influence missions of aircraft and increase the costs of maintenance. This paper analyses the cause of NFF starting with its definition. Through comparing diagnosis and prevention technique both home and abroad, it uses the method of NFF diagnosis and elimination based on essence parameters measurement to reduce the failure rate and brings out the flow of NFF diagnoses and prevention. This method is validated by taking the failure “rotate speed fall” of a plane as example. Finally it gives some countermeasures and advices according to the actuality of NFF.

Key words: aviation equipment; no fault found(NFF); failure replay; failure diagnosis; essence parameter

1 引 言

在航空维修工作中经常会出现这种情景:对机上设备检测时发现某机件有故障而进行更换,但随后对其进行专门测试时故障现象却消失;飞行员反映空中出现过某个故障,但随后地面检查测试却不能复现;甚至诸如“发动机降转”的危险性信号都时有时无,给技术人员排故造成了很大困难。其实,这就是所谓的“未发现故障”(No Fault Found, NFF),它

是航空维修工作中较为常见的一个问题。根据文献[1]的定义,所谓 NFF 是指在机上或外场维修中因故障而更换的设备,送到维修车间后却没有发现故障,或发现不了故障。据美军统计,飞行员报告的航空电子部件故障中,大约有三分之一在维修车间不能复现^[2],因而无法进行故障的隔离和修理。根据多年以来军方和民航方面的技术总结,NFF 已不仅仅被定位于发生故障更换后无法复现故障的器件,时隐时现无法离位的系统组件、成批次的设计缺陷部件以及很难表征故障的机械元件也成为 NFF 的

^{*} 收稿日期:2011-12-02;修回日期:2012-03-12

多发部位。随着飞机使用时间的增长,NFF 逐步从电子部件向电气、机械及线路方向发展,严重危及飞行安全。而减少 NFF 则会显著降低航空业运输成本,特别是有关备件、后勤、维修时间、检测设备和培训费用,因此必须引起高度重视。

本文在分析 NFF 产生原因的基础上,对比分析了国内外 NFF 诊断的研究现状,以某型飞机“发动机降转”为例,采用基于本质参数的 NFF 诊断方法,综合对滑油温度传感器、滑油压力传感器、振动传感器和金属屑传感器的采集数据和本身特征参数值进行序列分析,由此诊断机件或系统发生 NFF 的可能性,从而达到降低 NFF 故障发生率、提高维修效率的目的,最后通过实例验证了本文方法的有效性。

2 发生 NFF 的原因

偶然性、突发性、不可重现性以及分布范围广等特点使得 NFF 成为近年来国内外和军方密切关注的一个问题。据统计,在所有 NFF 故障中,航电系统占 74%,气动系统占 19%,液压系统占 4%,其他系统占 3%^[1]。例如:电子设备装机不久即突现故障,随后一直工作正常;电气插头连接不紧密或油污、湿气、氧化等造成的接触不良,会瞬时影响设备的工作状况;线路的逐渐磨损易导致指示仪表不稳定、操控机械不工作、信号不正常等。随着电子技术在现代飞机上的广泛应用及飞机使用时间的增长,NFF 会越来越多。

2.1 产品本身特性决定了电子设备 NFF 的多发性

由于硬件软件的设计缺陷、部分元件的瑕疵退化及电磁辐射干扰等^[3],都会造成机载电子设备本身特性的变化,从而引起电子设备的瞬时失效或间歇性失效。电子设备的这种特点,很可能使新件装机不久即会突然失效;或在使用过程中出现故障无法隔离,地面测试却无法重现。如某型飞机电传操纵系统经常发生计算机通道灯闪亮的故障,当飞行员把灯按灭后故障即永久消失;告警系统由于工作状况的突变经常误报故障等,大多是由电子设备本身特性的变化造成的。现代飞机机载设备的故障突现性和间歇失效是电子产品 NFF 最为常见的失效模式,尤其是短期内功能丧失随后恢复的情况已成为困扰技术人员的一大难题。

2.2 使用环境的变化是发生 NFF 的重要因素

环境变化使机载设备故障的发生具有很大的不确定性。飞机的飞行高度、速度、姿态等特征在地面

无法准确模拟,加之高空的气压、温度、湿度等环境因素与地面大相径庭,使机载设备在不同的使用环境中故障时隐时现。军用飞机经常执行特殊任务,要从温暖潮湿的沿海机场飞赴寒冷干燥的戈壁机场,飞机自动控制系统、大气数据系统、电传操纵系统及仪表设备等受高度、气压、空速、温度、湿度、盐雾等环境条件的影响较大,容易引起机载设备瞬时或间歇性失效,空中问题在地面无法复现,在其他机场发生的故障返场后不再重现。

2.3 维修时间的不足也是造成 NFF 发生的原因

民航要求中途转场的时间限制或军机为了缩短飞机的再次出动时间,致使技术人员没有足够的时间进行故障分析,从而使得这种“消失”的故障仍然滞留于飞机上。虽然这种维修保障一定程度上确保了保障的时效性,但一旦遇到 NFF,那么这种安全隐患将有可能导致严重后果。

2.4 导致 NFF 发生的其它因素

由于驾驶员手册与维护手册的区别或飞行员与技术人员使用方法的改变、NFF 故障件检测方法的繁简,甚至不同的检测测试方法都可能使故障无法重现。某些机件交联复杂、设备众多,很可能更换一个部件后故障消失但一段时间后又会展现。线路故障已成为老旧飞机发生 NFF 的主要模式,线路老化或绝缘层磨损可在一架飞机上多处出现,且难以检测,飞行中长时间的频繁振动可使线路顶在连接点或其他硬表面,擦破绝缘层;维修时线路可能会被工具弄出缺口而损坏绝缘层,过度弯曲也会破坏电线绝缘层,使线芯暴露,引起电弧、短路及电磁辐射与干扰^[4];搭铁线及防波套的磨损、油气污渍的侵蚀等都可能造成故障时隐时现而引发 NFF,这些都是工作中需要注意的问题。

3 NFF 诊断与排除的方法

对于减少 NFF 的方法,文献[1]和文献[4]提出了如下定性的诊断方法。第一,建立产品数据库,将经常发生 NFF 的产品列入库内进行监控,结合以往的历史数据进行分析,由此改进测试系统的检测能力。第二,建立“黑名单”。连续出现 3 次同类的 NFF 故障,就应列入“黑名单”对其进行彻底检查,如果能找到导致故障的真正原因并解决问题,可以重新装机,否则只能更换备件,并对列入“黑名单”的故障件慎重使用。第三,加强沟通与交流,通过交流掌握故障产生时机、条件等重要信息,了解故障产生的

原因、发生时各项参数的运行情况、现场其他设备的运行状态,对排故和定位提供有力的支持。

定性、定量地对 NFF 进行诊断与排除,除了需要隔离影响 NFF 的发生因素、尽可能模拟 NFF 发生时的环境及充分地检查测试外,平时维护工作中收集的大量的相关信息、资料和统计数据等都会对 NFF 的排除起到关键作用。认真研究这些信息和数据,发现研究对象的特征和变化规律从而建立起数据模型,进而获得分析结果并修正反馈所建的模型,就能更好地进行 NFF 的诊断与预防。

3.1 基于本质参数的 NFF 诊断

航空设备的性能特征如电流、电压、电阻等是反映其正常或故障状态的重要参数,通过监测这些本质参数的变化来发现故障,已成为当前应用最广泛、置信度最高的故障诊断方法。典型的方法包括电子产品的机上测试(Built in Test, BIT)以及非电子产品功能系统的故障诊断等。

在航空装备维护工作中经常测量大量的电压、电阻等数据,基于本质参数的方法可以用在目前对监测发动机工作状态的各种传感器进行 NFF 预测与健康管理,这些传感器包括发动机振动传感器、滑油温度传感器、滑油压力传感器、金属屑传感器等。它们用电压、电阻等形式随时检测发动机相关工作状态,评价发动机性能指标,有时自身的失效或工作状态变化就会导致发动机误报故障或发生 NFF。将传感器反映的性能数据和传感器本身的特征参数分门别类使用 Excel 统计,用时间序列分析方法^[5],利用 Excel 和 Matlab 的关系链接^[6],建立差分方程形式的数学模型,再根据模型或得出的曲线趋势图进行分析研究,可较好地掌握机件设备的历史工作状态,发现或预防 NFF,并对下一步的工作提出维修建议,成为当前航空装备保障的新理念。基于本质参数的 NFF 诊断流程如图 1 所示。

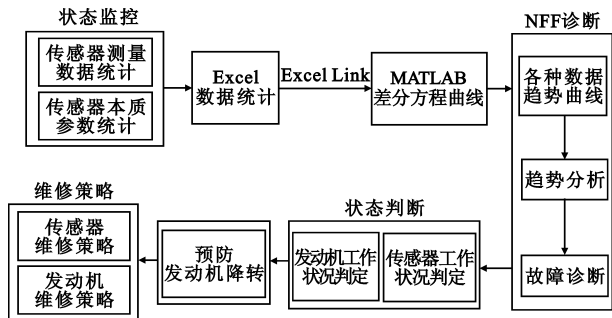


图 1 基于本质参数的 NFF 诊断

Fig.1 The NFF diagnosis based on essence parameters

3.2 某型飞机“发动机降转”NFF 的诊断

“发动机降转”是某型飞机发动机最具代表性、最危险的故障模式。据统计,近年来空中发生的 89 起“发动机降转”导致飞行事故或事故征候中,发动机本身故障 23 起,发动机附件故障 27 起,各类传感器故障及飞参和告警系统故障引起的 NFF 23 起,其余 16 起。由此可见,发动机本体故障、发动机附件故障和 NFF 分别占 36%、30%、26%,大约各占三分之一。如果再加上地面试车时出现的“发动机降转”信号,由各类传感器故障引起的 NFF 比例还会大大增加,可达 50% 以上。

实际工作中,由于发动机振动值超标或振动传感器故障导致“发动机降转”NFF 时有发生。该机装备的是磁电式振动传感器,将发动机的振动信号转换为电压,用机载设备判断振动值是否超标,从而发出“发动机降转”信号。技术人员平时积累了发动机各工作状态中的振动值并将其拟合为曲线以判断故障发展趋势,但对振动值传感器本身特性研究较少,一旦振动值传感器自身弱化就极可能导致“发动机降转”NFF 的随机产生。因此在平时的工作中,可将某振动值传感器从装机使用起的传感器电阻值在 Excel 中加以统计记录,利用 Excel 和 Matlab 的关系链接^[6],将该本质参数统计拟合为曲线,如图 2 所示。根据曲线的变化趋势就可分析该传感器下一步的工作状况,判定是否会即将失效导致 NFF 或彻底失效导致真实故障,以便提前进行相关的维修措施,降低 NFF 的发生,提高飞机的安全性。

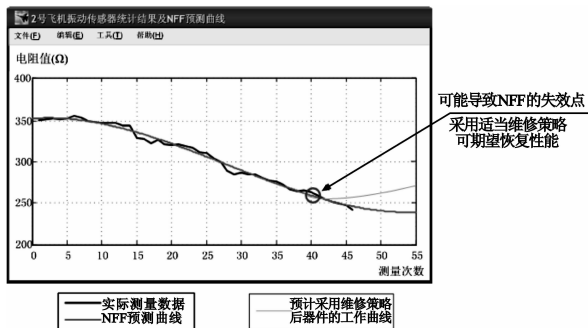
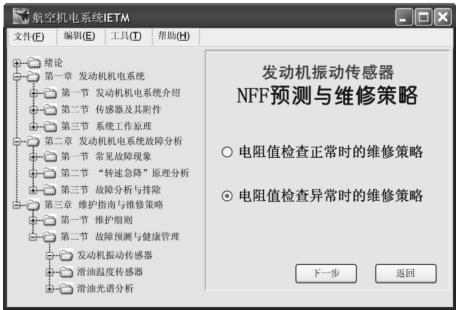


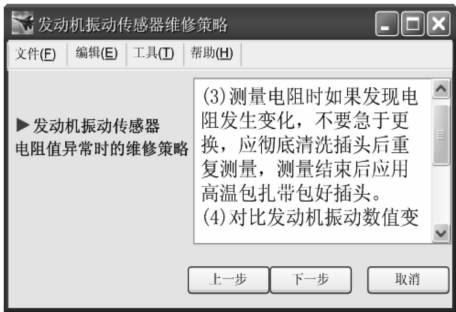
图 2 振动传感器电阻趋势及其 NFF 趋势分析图
Fig.2 Analysis chart of resistance and NFF trend of vibration sensor

图 2 表示经多次统计某号飞机振动值传感器的电阻值,根据其 NFF 预测曲线预测出在第 40 次测量中会是可能导致的 NFF 失效点。如果继续使用

机件有可能性能会向 NFF 预测曲线所示继续下降,导致故障发生。如果此时适当根据某型飞机交互式电子技术手册(Interactive Electronic Technical Manual, IETM)中规定的内容(如图 3 所示)实施相应的维修策略,则该传感器性能可期望恢复,减少由于传感器本身失效导致 NFF 的发生率。



(a)振动传感器维修策略界面



(b)具体维修策略界面

图 3 振动传感器 NFF 预测与维修策略软件界面

Fig.3 The interface of IETM for vibration sensor

同样,将发动机在某个工作状态下的振动值进行统计分析,采用以上的诊断方法,就可以判断发动机振动值的变化趋势,预防 NFF 的发生。例如,2009 年 5 月在监控某发动机时,发现振动值变化梯度较大(14 mm/s),随后用该诊断方法继续监控,并在振动值即将超标时及时返厂大修,发现了发动机高压气机鼓筒四、五级裂纹,避免了“发动机降转”危险性故障的发生。

3.3 NFF 的诊断与预防

这种基于本质参数测量的 NFF 诊断与排除方法是适用于当前某型飞机机电系统 NFF 诊断与排除的经济实用快速的方法。对导致“发动机降转”的滑油温度传感器、滑油压力传感器和金属屑传感器均可以采用这种诊断预测方法。据统计,通过该方法的使用,使“发动机降转”的 NFF 发生率降至 11%

以下,对于减轻技术人员劳动强度和预防危险性故障的发生起到了良好的作用。

基于机件设备本质特征参数的时间序列分析方法在 NFF 的诊断与预防中通过对大量的传感器本质参数和传感器测量数据进行统计,实现平时装备保障中的实时动态状态监控,并利用数据趋势曲线进行 NFF 的故障诊断,两者结合共同对传感器和发动机工作状态进行评估,以预防“发动机降转”信号的发生,同时根据 IETM 实施相应的维修策略,可减少 NFF 的发生,提高航空装备的完好率。这种新的可靠性维修理念区别于以往“盲目”的预防性维修,是航空装备保障的新方向。

当然,诊断与预防 NFF 的发生,不是靠一种方法就能行而有效的,还应多方面措施相结合:

(1)提高产品的可靠性,延长产品平均非计划更换时间(Mean Time Between Unscheduled Removal, MTBUR)和平均故障间隔时间(Mean Time Between Failure, MTBF),从而降低 NFF 发生率;

(2)为新一代的航空电子系统开发自检测测试设备(Built in Test Equipment, BITE)和诊断软件,因为很多 NFF 不是由设备故障引起的,而是由于对机上系统的 BITE 缺乏理想的诊断能力而产生的^[1];

(3)在时间允许的情况下全方位检测故障件,确实判明故障原因,千万不能认为故障不再重现就是没有故障。

4 相关对策与思考

从 2004 年召开的航电维修会议起,NFF 被各航空公司代表列为最重要的问题并被持续关注。随着电子技术在航空工业的应用和飞机使用时间的增长,NFF 将会成为飞机的主要故障模式,必须引起高度注意。尤其要重点关注飞行控制系统、导航系统和自动控制系统中电子设备和老旧飞机线路引起的 NFF。为了预防或减少 NFF 的发生,应采取以下措施。

(1)很多 NFF 的发生看似偶然,其实必然有其根本的深层次原因或缺陷。这就要求生产商首先应努力克服硬件或软件的设计缺陷,加强与使用方的联系,尽可能降低产品的故障隐患。

(2)飞行员与地面技术人员也应加强信息交换,确定 NFF 的发生是由于使用不一致还是空地环境变化导致。飞行员完整的故障描述能使技术人员尽可能地创造故障复现的条件,全面、系统地分析故障发

生时的环境特点及飞机所处高度、速度、姿态等参数。

(3)建立相关的数据库,将容易发生 NFF 的故障件纳入数据库管理,平时掌握其本质参数的变化情况,以便在某些工作时机根据对该机件的性能检测趋势决定是否提前更换该件,从而预防或降低 NFF 的发生。

(4)针对机场环境特点,把握好设备的使用时机,避免电子设备由于高温潮湿诱发 NFF。针对飞机逐渐老旧的特点,加强重点部位、隔框附近导线、搭铁线和防波套的检查,防止出现故障隐患^[7]。对于 NFF 现象,应认真分析其内在原因,绝不能将“未发现故障”作“假故障”处理,这对飞行安全是有极大隐患的。

5 结束语

随着电子技术的广泛应用和飞机升级换代速度的加快,NFF 会逐渐成为新一代飞机的主要故障模式。因此,应加强航空装备维修与检测手段的研究,提高故障检测与隔离精度,努力减少虚警、故障不能复现等问题的发生。本文采用基于本质参数的时间序列分析方法,对导致“发动机降转”的信号和传感器本身特征参数进行分析、诊断,结合 IETM 的维修策略进行健康管理,据用户的使用统计结果显示,NFF 的发生率降到了 11% 以下。

另外,在后续的研究中,应进一步加强对 NFF 故障原因的分析与收集,尤其是多设备之间电磁干扰造成的影响及设备接口偶发故障的技术原因分析^[5],综合治理才能有效地降低 NFF 的发生率。

参考文献:

[1] 比尔·伯切尔,时杰.航电设备的“未发现故障”[J].航空维修与工程,2007(3):4-8.
Bill Burchell, SHI Jie. No Fault Found[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2007(3):4-8. (in Chinese)

[2] Seideman P, Spanovich D J, 孙立.对未发现故障的新见解[J].航空维修与工程,2009(3):30-31.

Seideman P, Spanovich D J, SUN Li. Fixing No Fault Found [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2009(3):30-31. (in Chinese)

[3] 曹广平. 航天电子设备二次电源输入保护电路设计 [J]. 电讯技术, 2011, 51(5):114-118.
CAO Guang-ping. Design of Secondary Power Input Protection Circuit for Aerospace Electronics Equipment[J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(5):114-118. (in Chinese)

[4] 张娟, 张旭洲. 机载产品“未发现故障”的处理 [J]. 电讯技术, 2010, 50(12):86-89.
ZHANG Juan, ZHANG Xu-zhou. Solution of “No Fault Found” in Airborne Computer [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(12):86-89. (in Chinese)

[5] 马二涛, 余涛, 向新. 某型机载导航计算机系统检测平台的硬件设计 [J]. 电讯技术, 2011, 51(3):59-62.
MA Er-tao, YU Tao, XIANG Xin. Design of Test Equipment for an Airborne Navigation Computer System [J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(3):59-62. (in Chinese)

[6] 陈果. 航空器检测与诊断技术导论 [M]. 北京: 中国民航出版社, 2007:108-120.
CHEN Guo. Technic Introduction of Aerostat Examine and Diagnosis [M]. Beijing: China Civil Aviation Press, 2007:108-120. (in Chinese)

[7] 张圣元, 杨文杰. 航空机务维修差错的分析及预防措施 [J]. 西安航空技术高等专科学校学报, 2011(1):3-5.
ZHANG Sheng-yuan, YANG Wen-jie. Analysis of Aeronautical Maintenance Errors & Preventative Measure [J]. Journal of Xi'an Aerotechnical College, 2011 (1): 3-5. (in Chinese)

作者简介:

孟 飞(1979—),男,山西太原人,2009 年获硕士学位,现为讲师,主要研究方向为航空设备状态监控;

MENG Fei was born in Taiyuan, Shanxi Province, in 1979. He received the M. S. degree in 2009. He is now a lecturer. His research concerns aviation equipment state inspection and control.

Email: mengfei1979@yeah.net

杨继恩(1963—),男,河南光山人,副教授,主要从事飞机供电系统教学与研究。

YANG Ji-en was born in Guangshan, Henan Province, in 1963. He is now an associate professor. He is engaged in teaching and research of plane power supply.