

# 飞机供电系统的改进型 PHM 方案

李 宁, 雷洪利, 韩建定, 朱喜华

(空军工程大学工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要** 针对目前飞机供电系统中集中式 PHM 设计方案无法满足日趋复杂的供电系统要求这一问题,在对飞机供电系统进行扩展式 FMEA 分析及故障分类的基础上,为供电系统设计了分布—集中式 PHM 系统,并采用了基于扩展 FMEA 分析和模糊综合评判的诊断预测模型,最后将供电系统 PHM 很好地融入到飞机原有的总体 PHM 系统中,具有一定的实用价值,为后续供电系统 PHM 系统开发研究提供参考。

**关键词** 故障预测与健康管理;飞机供电系统;扩展 FMEA;模糊综合评判

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.01.005

**中图分类号** V242.2 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)01-0020-04

多、全电飞机概念的提出给飞机动力系统带来了革命性转变,已成为下一代先进战斗机的重要特征,也是一个国家综合技术水平的体现<sup>[1]</sup>。而产生电能的供电系统在多、全电飞机中具有举足轻重的地位,其组成及结构形式越来越复杂,技术水平越来越高。如何保证供电系统的可靠性、故障诊断及容错能力、测试性及维护的高效性,将关系到新型战机整体作战效能的发挥<sup>[2]</sup>。

显然,传统的依靠自身电路和程序完成故障诊断和隔离的机内测试技术已经无法胜任对新型战机供电系统性能监控的任务<sup>[1]</sup>,将 PHM(Prognostics and Health Management, PHM)技术引入到飞机供电系统的故障预测和健康管理将是必然的趋势<sup>[3]</sup>。目前,国内外相关应用,是将供电系统作为飞机功能管理区域的一个分系统,无法满足现在结构日趋复杂的飞机供电系统的各项要求<sup>[1]</sup>。

本文针对上述问题,设计了供电系统自己独立的分布—集中式 PHM 系统。

## 1 PHM 系统简述

预测与健康管理是自主后勤系统的 2 大重要基础之一<sup>[1]</sup>,已广泛应用于直升机上,称为健康与使用监控系统(HUMS)。所谓预测,即预计部件的性能下降或临近故障情况;状态管理,就是根据预测到的状态信息、可用资源和使用需求对维修活动做出规划和决策的能力<sup>[2]</sup>。

PHM 代表了一种方法的转变,即从传统的基于传感器的诊断转向基于智能系统的预测,从反应性的通信转向在准确时间对准确的部位进行准确维修的主动积极的活动。PHM 重点是利用各种传感器并借助各种算法和智能模型来预测、诊断、监控和管理飞机的状态<sup>[4]</sup>。

PHM 功能有<sup>[3]</sup>:① 故障检测;② 故障隔离;③ 故障诊断;④ 故障预测;⑤ 故障报告;⑥ 故障容错;⑦ 故障影响评估和性能降级趋势分析;⑧ 信息管理;⑨ 信息融合和推理;⑩ 部件寿命跟踪和余寿预测。

## 2 先进飞机供电系统故障分析

先进飞机供电系统种类繁多、性能各异,不同类型其组成部分各不相同,本文以图 1 供电系统为基础,对

\* 收稿日期:2010-05-12

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(SJ08F05)

作者简介:李 宁(1985-),宁夏固原人,硕士生,主要从事电能监控与处理研究. E-mail: dorisyu423@yahoo.com.cn

开关磁阻电源系统、远程终端、负载管理中心分别进行分析研究,深入到 SRU 模块,建立扩展式故障模式影响分析表(限于篇幅,完整表太大,本文省去),直观、全面地反映了供电系统的故障情况,便于对供电系统的 PHM 进行研究。

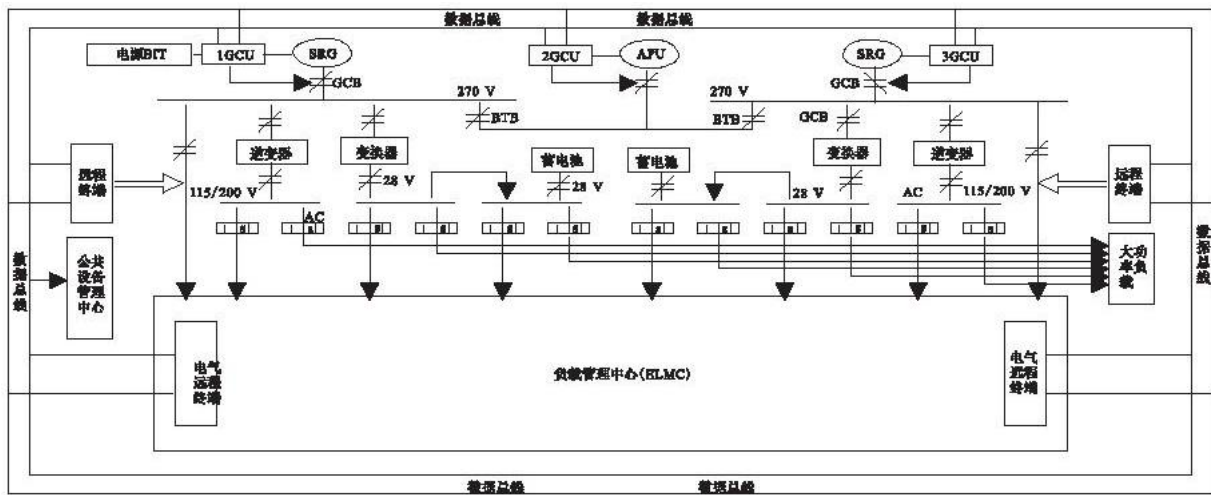


图 1 先进飞机供电系统结构图

Fig. 1 The structure diagram of advanced airplane power system

### 3 飞机供电系统 PHM 技术

#### 3.1 系统结构设计

由于飞机供电系统日趋复杂的结构和多样化的功能,为了便于供电系统故障推理和数据高速传输、处理,本文设计了分布—集中式 PHM 系统,见图 2。

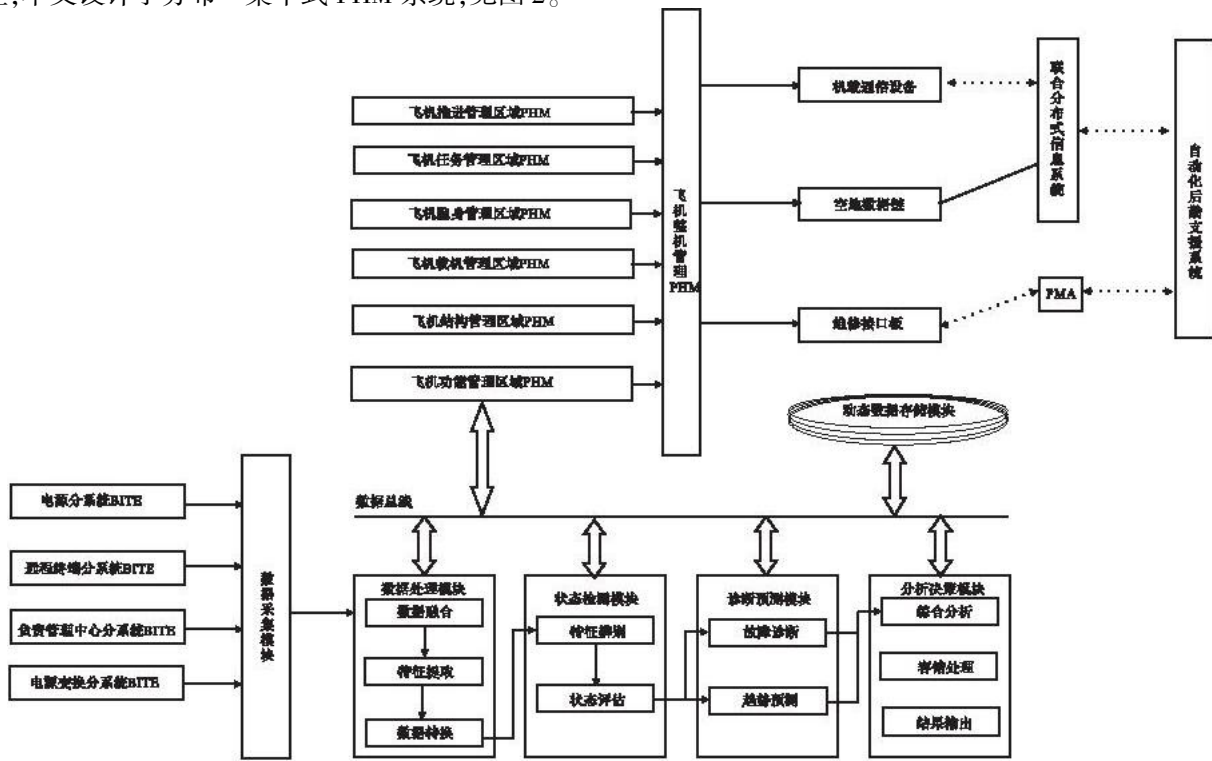


图 2 飞机供电系统 PHM 结构图

Fig. 2 The structure diagram of air plane PHM

系统结构共 3 层:最底层是分布在供电系统各分系统中的硬件监测设备或 BITE;中间层是 PHM 处理中心;顶层是飞机原有的 PHM 系统,包括功能管理系统 PHM、飞机管理系统 PHM,通信接口、联合分布式信息

系统及地面支援系统。

### 3.2 系统工作流程

数据采集模块首先从供电系统各分系统 BITE 采集监测目标的实时状态信息,送至数据处理模块进行数据融合,特征信息提取后进入状态监测模块进行辨识,参考动态数据存储模块中的相关信息,对监测目标的健康状况评估,将评估结果送往诊断预测模块。诊断预测模块针对监测到的异常征兆,结合动态数据存储模块中的专家知识和诊断、预测推理模型,对故障进行识别、推理,判断其故障模式、原因和位置,并进行趋势分析,计算故障征兆的发展趋势、影响和估计剩余寿命等。最后,分析决策模块综合分析、评判,根据诊断和预测的结果,在本系统内进行必要的容错处理及维修活动,并经系统总线将维修数据和状态信息汇总到飞机功能管理区域 PHM,再由飞机整机管理 PHM 收集飞机各个区域 PHM 信息对整个飞机健康状态做出分析评估,进行必要的维修,通过机载通信设备、空地数据链和维修接口板与联合分布式信息系统相连,极大地提高了维修效率,发挥了一体化维修保障体系的优势。

## 4 先进的数据采集系统及改进的诊断预测模型在 PHM 中的应用

诊断预测模块是 PHM 系统的核心部分<sup>[5]</sup>,近年来虽有大量文献对其进行分析研究<sup>[6]</sup>,但是考虑到航空领域对部件可靠性、稳定性的特殊要求,本文将重点说明这个模块的具体实施方法。诊断预测模型采用扩展式 FMEA 与模糊综合评判相结合,算法简单,效果良好,可满足飞机对供电系统可靠性和稳定性的要求。

PHM 系统运行时,数据处理模块对传感器信息进行处理,若发现异常,诊断预测推理模块就以特征信息量为依据,首先对扩展式 FMEA 表格进行查询,以表格作为推理准则,激活所有与特征量相关的故障模式、影响规则,根据故障特征进行规则匹配并进行故障模式的识别与分类,然后确定故障模式对系统的影响。

由于故障征兆、故障模式及影响之间具有多重的映射关系<sup>[7-9]</sup>,通过扩展式 FMEA 的分析,故障具有很大的模糊性,所以本文又引用了模糊综合评判原理对扩展式 FMEA 进行修正。模糊综合评判就是对具有模糊多属性的事物,做出一个能合理综合这些因素的总体评价<sup>[10]</sup>。

模型的建立,首先由扩展 FMEA 得到供电系统所有的故障影响因素集合  $e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ ,故障点集合为  $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ ,则  $e, f$  之间的模糊隶属度矩阵为:

$$P = L(e \times f) = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \cdots & & \cdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} = (p_{ij})_{e \times f} \quad (1)$$

式中:  $P$  是  $e$  到  $f$  的模糊关系,  $p_{ij}$  为故障因素  $e_i$  与故障点  $f_j$  经过模糊推理得到的模糊隶属度,即第  $i$  个故障因素导致第  $j$  个故障点的置信度,定义向量  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ,  $g_i$  表示  $e_i$  出现的程度,即  $e_i$  的权重。由此得出故障预测的综合评判模型见图 3。

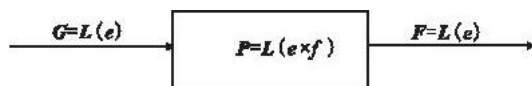


图 3 故障预测的综合评判模型

Fig. 3 The evaluation of fault forecast

根据权重因素  $G$  和隶属度矩阵  $P$ ,由模糊合成运算,即可得到模糊预测评判结果:

$$H = G \cdot P = G \times P(g_1, g_2, \dots, g_n) \cdot \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \cdots & & \cdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} = (h_1, h_2, \dots, h_m) \quad (2)$$

采用最大隶属度原则或加权平均法对评判结果  $H$  进行最后确定,得到的  $h_j$  即表示故障将在  $j$  点发生。

## 5 结束语

本文首先对供电系统进行了扩展式 FMEA 分析,在此基础上供电系统设计了集中—分布式 PHM 系统,并采用了基于扩展 FMEA 分析和模糊综合评判的诊断预测模型,最后将其很好地融入到飞机总体 PHM 系统中,为供电系统 PHM 技术继续研究奠定了基础,明确了方向。由于篇幅所限,后篇将以关键词组电源系统为对象建立模型,进行进一步相关仿真试验。

## 参考文献:

- [1] Naidu S R. Use of networks for sensor failure detection in a control system[J]. IEEE control system magazine, 1990, 26(4): 51 - 54.
- [2] 郭阳明, 蔡小斌, 张宝珍, 等. 新一代装备的预测与健康状态管理技术[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(13): 199 - 201.  
GUO Yangming, CAI Xiaobin, ZHANG Baozhen, et al. Prognostics and health management technology for new generation weapon[J]. Computer engineering and applications, 2008, 44(13): 199 - 202. (in Chinese)
- [3] 张宝珍, 曾天翔. 实现 F-35 经济可承受性目标的关键使能技术[J]. 航空维修与工程, 2005, 50(6): 20 - 23.  
ZHANG Baozhen, ZENG Tianxiang. PHM: The key enabler to F-35's affordability[J]. Aviation maintenance & engineering, 2006, 50(6): 20 - 23. (in Chinese)
- [4] Johnson S B. Introduction to system health engineering and management in aerospace[C]//1st International forum on integrated system health engineering and management in aerospace. California: [s. n.], 2005: 21 - 25.
- [5] Wilson A. Mems based corrosion and stress sensors for non-destructive aircraft evaluation[C]//Structure health monitoring conference. New York: Springer verlag, 2004: 209 - 213.
- [6] Kacprzyński Gregory J, Roemer Michael J. Health management system design: Development simulation and cost/benefit optimization [J]. IEEE, 2002, 11(6): 3065 - 3072.
- [7] 张亮, 张凤鸣, 李俊涛, 等. 机载预测与健康管理体系的体系结构[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2008, 9(2): 6 - 9.  
ZHANG Liang, ZHANG Fengming, LI Juntao, et al. Research on onboard prognostics and health management system architecture for operational aircraft[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2008, 9(2): 6 - 9. (in Chinese)
- [8] Gu Jie, Michael Pecht. New methods to predict reliability of electronics[C]//Proceedings of the 7th international conference on reliability. Beijing: CQAF, 2007: 473 - 477.
- [9] Heng Aiwin, Tan Andy, Mathew Joseph. Asset health prognosis incorporating reliability data and condition monitoring histories[C]//Proceedings of the 3rd world congress on engineering asset management and intelligent maintenance systems. Olivere: [s. n.], 2008: 1555 - 1559.
- [10] Yan Jihong, Lee Jay. A hybrid method for online performance assessment and life prediction in drilling operations [J]. Proceedings of the IEEE logistics, 2007, 15(3): 328 - 331.

(编辑: 田新华)

## The Improved PHM Project Research on Power System of Aircraft

LI Ning, LEI Hong-li, HAN Jian-ding, ZHU Xi-hua

(Engineering Institute, Air force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** The application of PHM can greatly help improve the dependability, the efficiency of maintenance, the advance of fault diagnosis and the capacity of fault tolerance of power system of More - Electric Aircraft. Since the traditional use of PHM in power system of More - Electric Aircraft is the concentrated project, in which the power system is looked as a segment system of aircraft function management area, the equipments have no PHM and the signals of the equipments are given to the PHM of function management district, which can not fulfill the needs of complicated power system. Based on analyzing the augmented - FMEA and sorting the faults, this paper designs a focus - distributing PHM system, adopts the augmented - FMEA and the prognosticating model of the fuzzy comprehensive evaluation and finally combines the power system PHM with the aircraft PHM properly. All the tasks done in this paper are of some practical value and thinking innovation, which decide the direction for the research and development of power system PHM.

**Key words:** PHM; power system; augmented - FMEA; fuzzy comprehensive evaluation