

# 面向 ALS 的无人机装备维修管理 模式与系统设计

刘志勇, 荣立卿, 赵美

(军械工程学院 装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

**摘要:** 针对无人机使用部队对装备维修保障信息利用率不高, 致使对维修周期计划制定不科学、维修器材备件管理效率较低等情况, 以无人机装备为研究对象, 借助健康管理理念, 构建了面向自主式保障系统 (ALS) 的无人机装备维修管理体系框架; 在分析了体系运行的基础上, 设计了面向 ALS 的无人机装备维修管理系统构架、系统方案和系统功能; 以期为无人机装备开展数字化维修及自主维修保障提供依据。

**关键词:** 无人机装备; 健康管理; 自主式保障系统; 维修管理

## Design of Unmanned Air Vehicle Maintenance Management Mode and System Oriented to ALS

Liu Zhiyong, Rong Liqing, Zhao Mei

(Dept. of Equipment Command & Management Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** The maintenance information of unmanned air vehicle could not be employed fully which results in the unscientific maintenance plan and the lower efficiency of spare management. Firstly, The system frame of maintenance management is established by dint of Prognostic and Health Management focused on the unmanned air vehicle. Then, the system running was analyzed. On this base, the maintenance management system of unmanned air vehicle oriented to ALS was designed, including the framework, program and function. All these will offer the help for the digital maintenance and autonomic logistics of unmanned air vehicle.

**Keywords:** unmanned air vehicle; prognostic and health management; autonomic logistics system; maintenance management

## 0 引言

作为一种新型复杂装备系统, 无人机装备被广泛应用于战场侦察、电子干扰及毁伤评估等多个方面, 已成为提高我军信息战能力和远程精确打击能力的重要手段, 在战场上起到越来越重要的作用<sup>[1]</sup>。但部队对无人机装备维修保障实践又显示, 传统的维修管理模式已满足无人机装备维修保障的需求, 呈现出诸多弊端, 不仅造成维修装备繁多、保障费用急剧增长、维修管理效率低下等问题, 甚至造成部队使用中出现飞行失控、回收失败、飞机坠毁等安全事故。因此, 构建一种科学的维修管理模式, 开发高效的维修管理系统, 使无人机装备的维修管理从粗放型向精细型、从经验型向科学型转变, 在提高其维修工作安全性和可靠性的同时, 实现维修管理的高效性, 已经成为我军无人机装备维修管理工作亟待解决的重要问题。

## 1 面向 ALS 的无人机装备维修管理体系结构与运行框架

### 1.1 体系结构

自主式保障系统 (ALS) 由故障预测与健康管理系统 (prognostic and health management, PHM) 和联合分布式信

息系统 (joint distribution information system, JDIS) 所组成<sup>[2]</sup>, 通过主动识别装备维修需求, 将装备健康状态数据传递到相应保障部门, 使其随时掌握装备状态并依据状态劣化程度触发维修资源供应, 及时做出备件、人力等维修资源的安排<sup>[3]</sup>, 从而在提高装备可靠性、安全性的同时, 缩短维修等待时间, 降低维修保障费用。其中, PHM 系统负责对装备的健康状态进行管理, JDIS 系统负责信息的传输与管理。

可见, ALS 不仅能够评估和预测设备的健康状态, 依据各项任务制定维修计划, 而且能够直接激发维修资源的供应。面向 ALS 的无人机装备维修管理体系, 正是期望借助自主式保障中的相关理论和技术准确掌握装备的健康状态、科学制定维修计划、及时供应维修资源, 提高维修管理的效率和效益<sup>[4]</sup>。面向 ALS 的无人机装备维修管理体系框架如图 1 所示。

由图 1, 面向 ALS 的地面设备维修管理体系由目标体系、内容体系和技术体系构成。其中, 目标体系强调通过准确的健康状态评估、灵活的维修决策、适时的资源供应, 实现更高的安全性、可靠性、运作效率和经济效益。内容体系是维修管理所要完成的主要工作, 主要由以状态为维修基础的健康评估体系、以费用为决策目标的维修保养体系和以时间为优化标准的调度供应体系组成。技术体系主要是实现地面设备维修管理的各项关键技术, 包括: 状态数据获取技术、健康状态评估技术、维修时机优化技术等<sup>[5]</sup>。

### 1.2 运行框架

结合美军 JSF 应用自主式保障实践, 面向 ALS 的航天发射场地面设备维修管理运行框架如图 2 所示。

收稿日期: 2015-08-27; 修回日期: 2015-09-25。

基金项目: 总装备部科研资助项目 (2010SY4308002); 军械工程学院科研基金项目 (YJXXM11020)。

作者简介: 刘志勇 (1977-), 男, 河北平山人, 博士, 讲师, 主要从事健康管理理论与应用方向的研究。

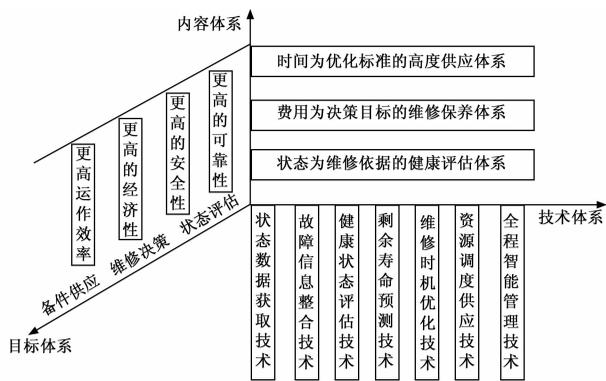


图 1 面向 ALS 的无人机装备维修管理体系结构

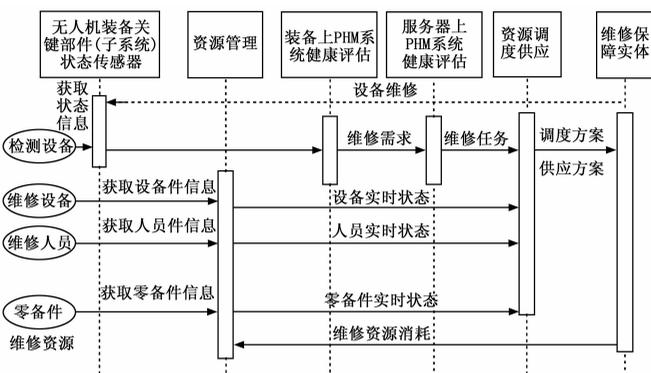


图 2 面向 ALS 的无人机装备维修管理运行框架

由图 2 可以看出，面向 ALS 的地面设备维修管理将健康管理、资源供应系统相整合，通过维修时机确定建立资源调度与供应方案。

可见，通过自主式保障系统的运行，不仅可以运用设备上的 PHM 系统，在设备运行过程中完成数据收集、状态评估、故障诊断及报警等功能，而且还可以通过服务器 PHM 系统进行维修决策、触发备件供应，从而缩减维修和供应保障环节，提高维修管理效率。

## 2 面向 ALS 的无人机装备维修管理系统架构设计

自主式保障模式之所以能够在确保地面设备战备完好率和使用可用度的同时，显著降低维修管理费用，不仅因为其采用了先进的管理理念、高效的管理技术和精确的求解算法，而且因为其构建了一个让维修管理技术高效运行的系统平台。为此，设计面向 ALS 的地面设备维修管理系统的系统架构、方案、功能模块、相关数据库，以期面向 ALS 的地面设备维修管理关键技术提供一个有效、可靠的应用环境。

### 2.1 系统架构设计

面向 ALS 的地面设备维修管理系统架构主要由业务架构、应用架构、技术架构和基础设施架构等组成，如图 3 所示。

如图 3，业务架构对应于维修管理中的基本业务体系，描述无人机装备维修管理活动的主要业务结构。应用架构包含应用软件系统、信息以及各系统和信息之间的交互界面直接为维修管理业务提供支撑，是技术架构、基础设施架构与业务架构之间的桥梁。技术架构和基础设施架构处于底层起支持作用，直接服务于应用架构<sup>[6]</sup>，如自主式保障中的自动感知技术、健康状态的监测与控制技术等。

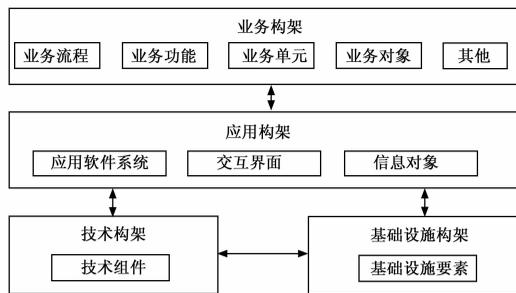


图 3 面向 ALS 的无人机装备维修管理系统架构

其中应用架构对业务架构的支撑可通过维修管理系统对其各项业务管理的支持进行描述，如图 4 所示。

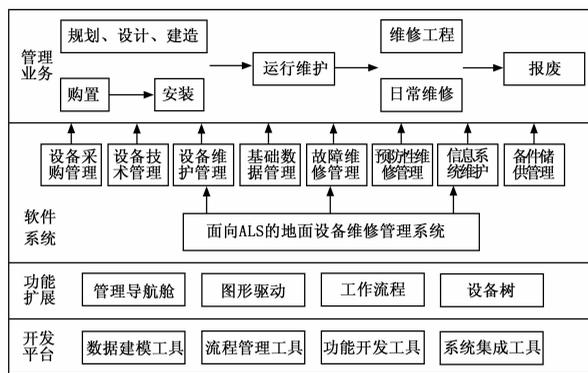


图 4 系统对业务管理的支持

由图 4 可以看出，通过维修管理系统可以实现以下对无人机装备维修及管理业务的支持：

- 1) 可以通过图形指引方式查看、管理地面设备的维修标准、故障发生、维修及零部件更换记录等信息。
- 2) 根据在线健康状态评估进行报警，主动寻求维护。可设置不同健康状态等级的报警形式，便于维修操作人员在不同设备同时出现不同健康等级报警时有重点、有先后地进行维修。
- 3) 实时提供关键设备的健康状态、剩余寿命等数据。使维修管理人员可以同时结合地面设备训练任务进行预防性维修的安排与调整。
- 4) 提供优化的备件库存及供应管理解决方案。使战术级备件库能与战略级仓库的备件信息互联互通，能及时触发战术级仓库的资源调度和战略级仓库的备件供应，并根据实际需求优化维修资源物流方案。

### 2.2 系统方案设计

针对目前无人机装备维修管理技术手段相对落后、维修管理智能化程度较低等问题，参考自主式保障系统设计思想，结合 OSA-CBM，采用从下而上 (Down-Top) 分层设计方案开发地面设备维修管理系统。系统基本方案如图 5 所示。

该设计方案由传感器→信号处理器→健康状态评估服务器→维修管理服务器等组成无人机装备维修管理系统。具体如下：

- 1) 首先利用压力、电流等各种传感器对无人机装备进行数据采集；
- 2) 利用信号处理器对数据进行预处理；
- 3) 将处理后的数据送至健康状态评估推理机，进行状态

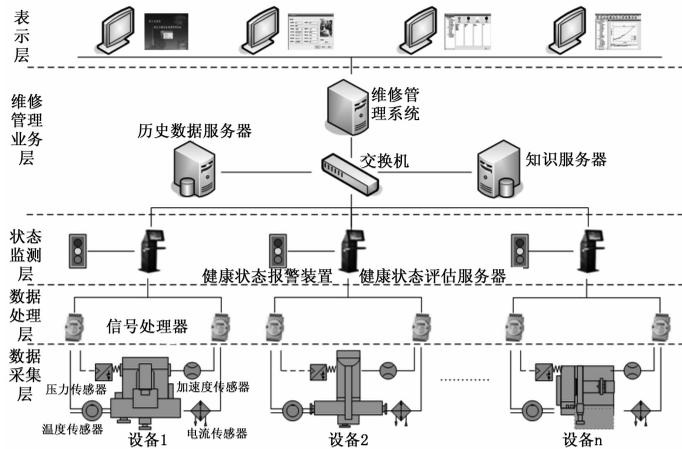


图 5 系统设计方案

评估;

4) 如果设备健康状态恶化严重, 将触发健康状态报警, 产生维修管理需求;

5) 从健康状态监测层输出的数据经过交换机输入到维修业务管理系统, 结合历史数据、知识数据等信息, 对设备进行维修决策、备件供应优化等业务活动, 实现设备的维修管理功能;

6) 将设备健康状态、备件供应等的各种信息传递表示层, 直观展现给设备操作、维修和管理人员。

该方案的优点比较突出: 一是基于此方案开发出来的维修管理系统, 可靠性、可维护性以及可测试性好<sup>[7]</sup>, 这对于维修管理系统可靠运行非常必要; 二是该方案不严格区分各个分系统的健康状态监测、诊断和预测方法, 各个诊断和预测方法都以组件形式提供, 不仅能实现自主式保障模式规模小的突出特点, 而且能提高整个维修管理系统的运行效率; 三是该方案可以实现健康状态信息数字化、维修决策制定灵活化和维修备件供应情况清晰化等目标。

### 2.3 系统功能设计

结合 2.1、2.2 节的分析, 面向 ALS 的无人机装备维修管理系统功能结构如图 6 所示。

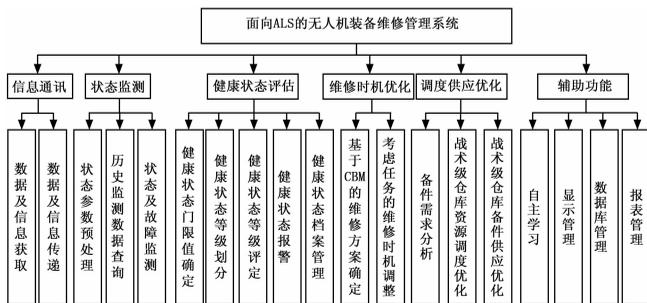


图 6 面向 ALS 的无人机装备维修管理系统功能结构

由图 6, 该系统功能模块较多, 本节仅对系统的健康状态评估、维修时机优化、备件供应和自主学习模块的功能设计进行说明。

#### 2.3.1 健康状态评估功能模块

健康状态评估模块接受来自不同监测模块的数据, 主要完成以下几个功能, 即健康状态等级划分、子系统(或部件)健

康状态评估、系统级(或设备)健康状态评估、健康档案的记录以及异常健康状态报警。

##### 1) 健康状态等级划分:

对于新使用面向 ALS 维修管理系统的无人机装备, 需要对其健康状态等级进行科学划分, 从而为后续的评估打下基础。可采用聚类算法, 结合从信息获取模块得到的相关数据, 实现对健康状态等级的划分。

##### 2) 子系统健康故障评估:

子系统(或部件)健康状态评估是系统级健康状态评估的基础, 通过对该级健康状态评估不仅为系统级健康状态评估提供相应数据, 而且也后续进行维修决策提供了依据。

##### 3) 系统级健康状态评估:

系统级健康状态评估是面向 ALS 的装备维修管理决策方案形成的直接依据。在模块中主要进行健康状态评估, 以提供更准确的系统级健康状态信息。

##### 4) 健康档案的记录:

通过记录健康特征参数门限值、根据已知数据划分的健康状态等级, 状态报警门限值, 累积历史健康状态, 形成设备的健康状态档案。

#### 2.3.2 维修辅助决策功能模块

维修辅助决策功能模块主要实现基于 CBM 的单(多)设备维修方案的制定和考虑训练任务的单(多)设备维修时机调整等功能。

在地面设备发射训练任务重, 对维修时间、停机次数要求高的情况下, 通过对预防性维修时机的调整, 制定考虑训练任务的单(多)设备预防性维修计划。

#### 2.3.3 备件供应优化模块

备件供应优化模块接受来自维修决策信息, 分析维修备件需求, 并将需求传递给各级仓库的资源管理系统, 根据各仓库备件库存反馈, 获取最佳备件调度供应优化方案, 并将方案传递给各级仓库, 完成备件调度与供应, 为最终维修工作的完成提供物质保障。

#### 2.3.4 自主学习功能模块

与传统的维修管理系统相比, 面向 ALS 的维修管理系统通过自主学习能力适应未来无人机装备维修保障智能化的要求。在健康状态评估或故障劣化趋势分析结果和知识库中的结果相差较大时, 自主学习功能模块将根据新的计算结果对各部门限值参数进行调整, 并将更符合实际的参数值反馈给需要更新的模块, 实现系统的自主学习。

## 3 系统实现与分析

系统采用流行的 .NET 平台进行开发。由于系统中的健康状态评估、寿命预测和维修时机优化等模型的计算过程比较复杂, 很多由平台自带的函数库实现这些计算有一定困难。而因非凡的科学计算能力而著称的 Matlab 软件恰能为系统提供相应的功能。同时, 为了实现 Matlab 与其他程序的协作, 在其 7. x 版后均提供了许多的如 ActiveX、COM 等标准和接口技术。

为此, 系统采用将 Matlab 的 m 文件编译成 COM 组件(\*. dll 文件)供平台调用的方式, 避免了用户主机必须安装 Matlab 软件的麻烦。同时也大大提高了系统的运行效率, 降低

(下转第 177 页)

件、初始化文件、想定文件、FED 文件、评估模型文件以及运行配置文件等;

仿真运行时: 对仿真过程进行监控, 以及仿真数据的记录等;

仿真运行后: 基于试验数据对仿真进行评估, 以及对评估结果文件和配置文件的管理, 对仿真试验数据文件和日志文件的管理, 基于试验数据文件的仿真回放等。

### 4 结论

本文基于 B/S 架构, 构建了一个基于 Web 的仿真工程管理系统, 实现了以仿真工程为单位的仿真运行监控、数据管理以及评估管理。基于 Web 的实现方式提供对多用户的支持, 适应分布式仿真的要求, 提高了仿真系统的使用效率。系统的分层结构设计使得后续的功能改进能够更加灵活方便地开展。仿真工程管理系统还需要根据应用的需求进一步完善和提高实用性, 以实现和具体仿真系统的结合。

### 参考文献:

[1] Haubrock, SN, Theisselmann, etc. Web-Based management of

simulation models—concepts, technologies and users' needs [C]. Helmholtz Ctr Potsdam; Univ Westren Australia, 2009, 880-886.

[2] 李妮, 唐力勇, 雷正东, 邢必达. 基于 Web 的仿真实想管理系统开发 [J]. 中国体视学与图像分析, 2010, 15 (3): 335-338.

[3] 周彦, 戴剑伟, 蒋晓原等. HLA 仿真程序设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.

[4] 刘丹. Socket 网络编程及其实现 [J]. 计算机与网络, 2010, 12: 214-215.

[5] Lin Z J, Wu J Y, Zhang Q F, et al. Research on Web applications using Ajax new technologies [C]. Zhejiang Univ Sci & Technol, Sch Informat & Elect Engn, Hangzhou, Zhejiang, Peoples R China, Los, USA; IEEE Computer Society: 2008. 139-142.

[6] Hlupic, V. Evaluation framework for simulation software [J]. International journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, 15: 366-382.

[7] 陈辉强, 聂成龙, 魏鑫, 等. 基于作战单元的装备综合保障仿真评估研究 [J]. 系统仿真学报, 2010, 22 (11): 2604-2607.

[8] 宋莉莉, 张灿, 李群, 等. 基于面向服务架构的组合仿真方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21 (12): 3626-3630.

(上接第 173 页)

了健康状态评估和寿命预测的时间。以健康状态报警模块为例进行说明。

#### 1) 设置 Matlab 的编译环境:

设置 Matlab 的“Command Window”中的“mex-setup”。

Try to update options file; C: /Documents and Settings/wu-bo/Application Data/MathWorks/MATLAB/R14/ mexopts. bat

From template; D: /MATLAB704/BIN/WIN32/mexopts/

msvc60opts. bat

Done. . .

同理, 可以设置“mbuild-setup”。

#### 2) 编写 Matlab 程序并编译 m 文件:

根据各模块的计算函数编写相应 Matlab 程序。选择“Start->Matlab->Matlab Builder for COM /Matlab Builder forExcel”进行编译。

#### 3) 打包和发布 COM 组件:

为了实现外部程序的调用, 将编译好的 COM 进行打包发布。

#### 4) 平台中调用 Matlab COM 组件:

以“健康状态评估”子系统的“健康状态报警”模块为例, 图 7 是。Net 与 Matlab 混合编程实现对某系统关键设备剩余寿命预测的实例。

由图 7 可以看出, 油泵在其工作至 34 小时左右到警戒线, 健康状态进行报警。该型装备将进行维修。而在 15 小时进行监测时, 其振动测量值未达到警戒线, 则说明油泵的健康状态良好, 还不需要进行维修。这样, 避免了对装备的过度维修或维修不足, 在一定程度上提高了维修效率, 降低了维修费用。

### 4 结论

自主式保障是装备维修管理发展的必然趋势。本文借助 ALS 的相关理念, 分析了面向 ALS 的无人机装备维修管理体系结构和运行框架, 并在此基础上, 设计了面向 ALS 的无人

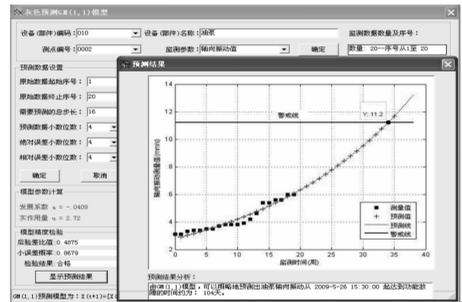


图 7 某系统关键设备剩余寿命预测实现界面

机装备维修管理系统构架和系统方案, 为转变无人机装备维修管理模式、开发面向 ALS 的无人机装备维修管理智能化平台打下基础, 为降低系统开发与运行风险提供依据。

### 参考文献:

[1] 李建增, 胡永江等. JWP01 型炮兵侦察校射无人机飞机系统原理与构造 [M]. 石家: 军械工程学院, 2005.

[2] Hess A, Calvello G, Dabney T. PHM a key enabler for the JSF autonomous logistics support concept [A]. Aerospace Conference, 2004, IEEE Proceedings, Volume 6 [C]. 3543-3550.

[3] Hess A, Fila L. The joint strike fighter (JSF) PHM concept: potential impact on aging aircraft problems [J]. IEEE, 2002 (6): 411-418.

[4] Malley M E. Methodology for simulating the joint strike fighter's (JSF) prognostics and health management system [D]. Air Force Institute of Technology Master's thesis, 2001: 3-5.

[5] 刘志勇. 面向 ALS 的航天发射场地面设备维修管理关键技术研究 [D]. 石家庄: 军械工程学院, 2013.

[6] 贾学增, 吴小勇. 设备故障动态监测及预防维护管理系统的设计与开发 [J]. 装备制造技术, 2011 (12): 73-75.

[7] 钱彬, 林燕. 地铁设备维修管理系统及其运营管理功能 [J]. 精密制造与自动化, 2012 (2): 2-5.