

# 波音健康管理工程环境浅析

## Analysis of Boeing Health Management Engineering Environment

张宝珍 张汝玲 / 中航工业发展研究中心

**摘要:**健康管理工程环境(HMEE)是由项目分析与建模环境、开发环境、使用环境等三部分构成的一个开放式健康管理集成与实验平台,将来自于工业部门、学术界以及政府技术基地的健康管理技术集成起来,转化成成熟、实用的飞行器综合健康管理(IVHM)系统。本文简要介绍了构成HMEE的三部分的目标和功能,以及所提供的相关工具、技术和过程。

**关键词:**飞行器综合健康管理;健康管理工程环境;开放系统方法

**Keywords:** integrated vehicle health management; health management engineering environment; open system method

### 0 引言

飞行器综合健康管理(IVHM)通过将系统数据转化为支持使用和维修保障决策的信息,协调规划机队运行、后勤保障和维修,其准确的诊断和预测还能通过减少故障查找和适时维修实现高效率维修。但是,IVHM系统的实现不是一蹴而就的,必须制定循序渐进的技术发展计划,逐步突破各项关键技术,即需要通过关键技术预研,以及集成设计和验证,将该系统的成熟度从3级提升到6级,转入型号应用。

由波音公司的预研部门鬼怪工作室开发的健康管理工程环境由三部分组成:项目分析与建模环境、开发环境和使用环境。这三个环境为波音公司IVHM项目开发提供了一组过程与工具,可实现IVHM的经济可承受性与有效性所必需的各项关键技术的集成与完善。

利用项目分析环境开发出来的建模与仿真能力,属于开发环境的软件工具集成实验室以及属于使用环境的

软硬件集成与测试实验室,全都示例在图2所示的波音公司鬼怪工作室的开放式健康管理集成与试验系统中。图中还给出了开放式健康管理集成与试验平台的主要功能。

### 1 项目分析和建模环境

项目分析与建模环境的目的是从

项目的初步方案到初始设计各阶段提供帮助与指导,涉及的内容包括:当前基本的费用与性能主宰因素,确定概念性解决方案的方法,优化概念方案及开发方案的费用与性能分析工具及方法等。

其中,IVHM的费效概率分析模型(PICAM)可对实施IVHM的商业案例

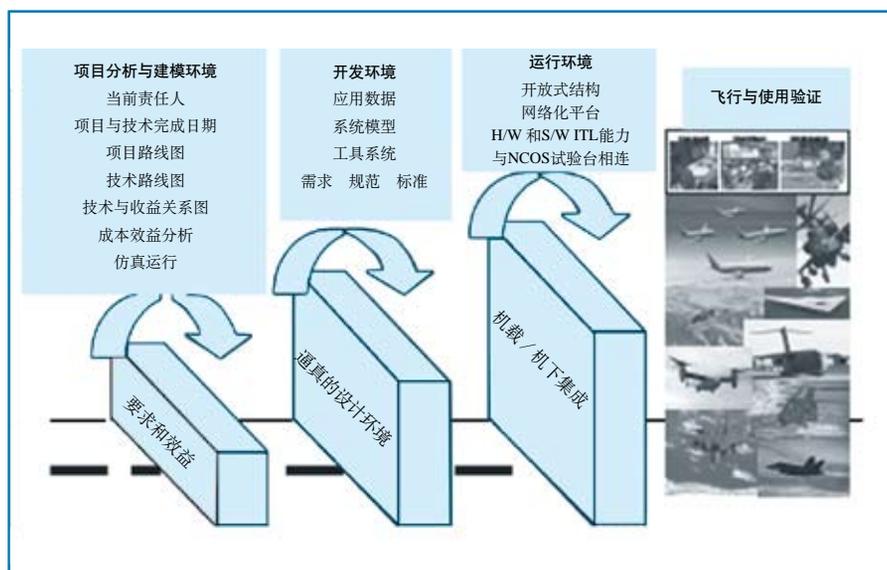


图1 波音鬼怪工作室健康管理工程环境

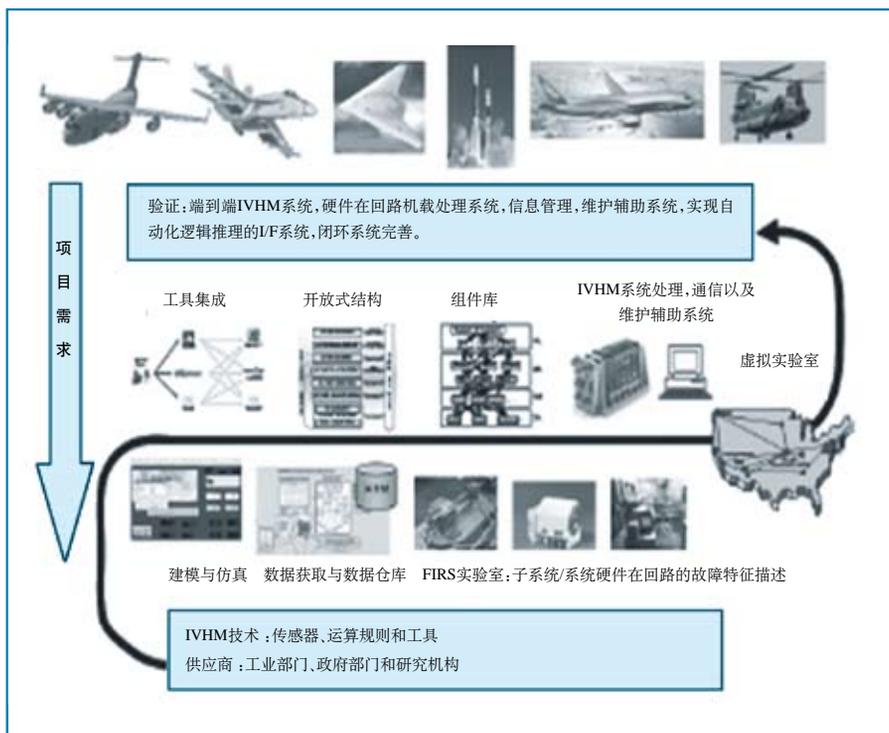


图2 波音公司健康管理集成与试验开放式平台

进行评价,需要输入可靠性和维修性基线数据,IVHM系统级影响和IVHM费用的估算数据。此模型提供一种IVHM方案的净现值、投资回报率和项目现金流,以及诸如维修工时与机队规模等非费用指标的估算。PICAM模型所提供的分析结果,可对项目组合中的所有方案的价值和相应的不确定性给出完整描述。

系统健康使用分析模型(SHOAM)是对IVHM方案使用结果的分析与验证。此模型构建一些具有特定可靠性特性的系统,并且使其通过在逼真场景中的使用,允许发生故障和进行维修,使系统得以成熟。基本的可靠性、维修性和使用指标,诸如每天每架飞机的出动架次率,作为模型的输入。该模型能够分析两个不同实施级别的IVHM设计方案,而且还可以纳入多个使用想定(场景)。系统健康使用分析模型的分析结果包括系统使用可用度、任务可靠性、

维修利用率,以及执行任务或维修所需的等待时间。系统健康使用分析模型能很快适应于任一项目用途和项目分析需求。

## 2 开发环境

健康管理工程环境中的开发环境包括:一本关于IVHM实现过程的使用手册,这本手册为各项目建立与完成IVHM开发工作提供指导;一个由桌面环境系统构成的开发试验室,由工程人员(而不是软件开发方面的专家)开发系统健康管理功能。

在增加健康管理部件的过程中,IVHM实现过程手册遵循标准的系统工程过程。该手册定义了IVHM综合过程组承担的责任与所起的作用,还确定了这个小组必需的技能 and 训练以及如何与其他的设计与保障团队相互合作。手册对IVHM的需求分析、功能分析、综合推理、系统分析、集成与完善过程以及

支持每一个过程的工具的作用进行了详细介绍。

桌面开发试验室是一个支持IVHM模型与工具集成的框架系统,这些IVHM模型和工具在最大范围内支持各重大应用开发任务的从生到死的自动化实现。开发试验室当前研究的重点是在综合诊断方面。未来的工作还将包括预测。

集成框架的主要作用是支持健康管理方案所需的各开发工具间的信息交换,IVHM应用集成的目的在于提供如下几项功能:工具和模型的互操作性;数据重用;尽可能减少功能或工作的重复;提高分析过程与分析结果的可追溯性与可再现性。

在IVHM的开发过程中,应以数据为核心,将工作的重点集中在对支持过程要素的每个工具的数据需求、工具间的数据流程,以及支持数据交换的句法需求、语义完整性以及准确性上。集成框架的开发,促进了健康管理应用系统的定义、开发、测试与全寿命周期的成熟化进程,提高了一致性与效率。

工具集成使得整个研制过程的模型和支持同一过程间的工具能够重复使用。鬼怪工作室建立了可以在ADVISE、ISIS Vanderbilt的TFPG和Matlab之间互换的数据/模型原型。当前他们正在开发一个包括DSI公司的eXpress、QSI公司的TEAMS和Impact技术公司的ReasonPro等其他主要工具在内的通用工具集成框架。

## 3 使用环境

使用环境为实现IVHM系统端到端的集成和测试提供一个实验室,也被称为使用实验室。利用此环境能够对应用于波音公司各项目的综合健康管理系统与集成技术进行完善与验证。

使用实验室的一个重点是将IVHM集成到民用或军用平台的航空电子系统中。挑战是如何费用有效地采集、处理和传输较低层次的分系统数据,以产生更高层次的IVHM结果(如诊断和预测),增加更高带宽的传感器(如加速度计)强调了该需求。在体系结构权衡时应考虑的因素包括:在分系统控制器中包括的处理能力、飞行和保障关键软件的划分、一个专用有线或无线保障关键数据总线、现有处理资源的扩展以及对分系统数据的直接访问。总之,需要的是健康就绪的分系统和创新体系结构,可以经济可承受地访问和获取那些对更高保真度的诊断和预测能力必需的较低层次数据。

使用环境提供用于成熟组成IVHM方案的硬件和软件的实验室设施。它包括:一种集成IVHM软件要素的开放式基准体系结构;一个方便重用的部件库;一个存取实验室和外场试验数据的数据仓库以及实现数据仓库的模型和试验台;与硬件在回路实验室的接口,用以表征部件/分系统中正常和降级的属性;验证实时应用的适航处理设施;与一种高速光纤的接口。

使用实验室提供一个能生成表征正常和降级模式数据的试验台。通过一条专用高速光纤连接缆,使用试验室能够与波音公司内的其他试验室以及供应商或客户处的试验装置相连接。

子系统集成研究试验室包括一个测试液压或电子作动筒的通用加载装置、带有一个270 VDC泵的燃料系统硬件、电子系统飞行器综合健康管理加热振动台、发电机传动机座以及高分辨率的数据采集设备。

使用实验室具有集成硬件在回路的能力,可以支持从传感器到网络中心决策辅助功能的端到端的、逼真的

试验和验证环境。采用一种开放式基准体系结构(基于状态的维修开放系统体系结构OSACBM)作为软件集成平台,为所有层次的IVHM处理能力提供一种即插即试的环境。这种“系统集成实验室支持多种IVHM技术实现经济可承受的集成,从而为集成较低层次的IVHM结果所需的融合技术构建一个试验台。

上述能力为波音及其客户和供应商提供了手段来定义、开发、试验和成熟单个技术、分系统/系统的IVHM应用或整个端到端IVHM系统。波音公司的IVHM使用实验室当前位于圣路易斯,但鬼怪工作室正在将该使用实验室建设成一个通过高速链路连接多个地点的虚拟设施。

使用实验室可以与波音内部的其他实验室或与供应商或客户的设施通过一个专门的高速光纤链路接口。使用实验室还能够支持“离机”IVHM处理能力的验证。飞机综合健康管理(IAHM)计划提供了使用试验室的地面单元。IAHM开发了存储与访问从飞机上下载的数据的能力。波音公司正在开发一个通用的、具有互操作性的、能够完成机上数据的下载、存储、访问与处理功能的系统。

IAHM开发了一种能完成多种飞机上数据的下载、存储、访问与处理功能的通用的、可互操作能力。利用一种通用框架可以实现:利用特定数据来源的软件代码,将典型的F/A-18、波音737和C-17数据输入到系统中;以容纳各种飞机健康管理数据要求的公共关系数据库模式存储数据;通过一个与明确定义的通用的或专用的图形用户接口相连接的通用访问层,提供一个与数据库、算法或其他用户应用软件编码的接口界面。

一个多平台飞行器综合健康管理系统框架的详细组成见图3,其基本组成元素包括:代表性的数据源;一个具有互操作性的、多平台的飞机综合健康管理数据库方案;飞机综合健康管理数据加载软件翻译器和公共数据库接口;数据可视化与数据分析工具;用于存储临时性工程数据分析与研究所需数据的HKD5接口。知识库能够支持机载及地面算法的开发与完善。

波音开发的能满足互操作功能要求的数据规范具有灵活性与可扩展性,能够满足未来发展的需要。而且,以此数据规范为基础设计的通用数据库模式,可应用到飞机、试验站、船舶以及其他运载工具上。飞机综合健康管理数据库能够存储工程分析所需的数据、解决系统性问题或个别问题、确定飞机症状与飞机故障之间新的相关性,并能够提供数据可视化功能,提高维修的效率和效能。

## 4 结束语

波音鬼怪工作室建立了一套基于开放式系统原理的、行之有效的健康管理工程环境,它包括项目分析与建模环境、开发环境和使用环境等三个有机组成部分。其中,项目分析与建模环境建立并保持一种飞行器综合健康管理过程与工具,用于确定和权衡飞行器综合健康管理的备选方案,其目标是为从项目的初步方案到初始设计各阶段提供帮助与指导,涉及的内容包括:当前基线的费用与性能主宰因素,确定概念性解决方案的方法,优化概念方案及开发方案的费用与性能分析工具及方法等。

开发环境为解决方案在概念定义后的进一步开发建立并保持必需的设计过程与综合工具。它还提供一个集成

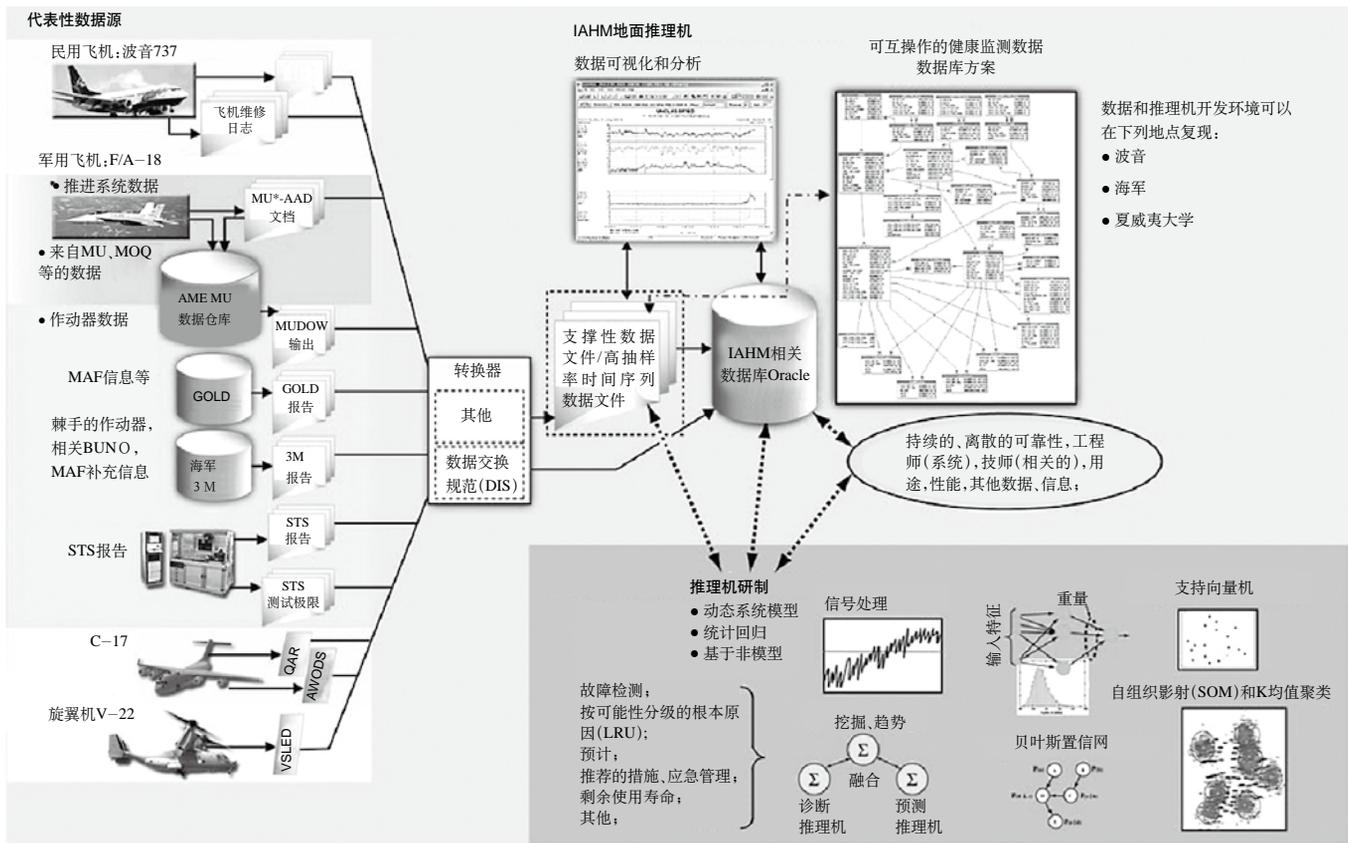


图3 多平台飞行器综合健康管理系统体系结构

框架,在波音各业务单位、供应商或外部用户间实现数据的共享。它允许所有的参与者在不同的健康管理模型、专家知识、演示验证及相关工具的现有投入基础上达到最大效益。此框架还对测试性工具、故障分析工具、基于模型的推理工具以及基于MatLab or MatrixX开发的物理模型等分析与开发工具进行了描述。

使用环境为构成飞行器综合健康管理解决方案的软硬件的开发与完善提供实验设施。它由以下六部分组成:一个能够集成飞行器综合健康管理各软件子系统的开放式体系结构;一个能够促进重用的部件库;一个用于存储与抽取实验数据与真实飞行数据的数据

仓库,并为数据库的使用提供模型与试验平台;有一个接口,与硬件在回路试验室的硬件相连接,实现对零部件/子系统的正常或降级性能特征的描述;具备安全飞行条件的实验设施,验证实时应用系统;一个与高速光纤网络的接口,促进借助虚拟试验室对综合飞行器级的健康管理(包括许多站点、参与者、网络中心站以及后勤保障等的健康管理),进行端到端的演示验证。

作为工业信息资源,健康管理工程环境能够用于飞行器综合健康管理系统的开发,完成将飞行器综合健康管理系统向商用/军用的空中/太空飞行器上的移植。项目分析和建模、环境实验室和使用实验室必须具有足够的灵活性,

能够适应波音公司的各种产品平台使用中不断变化的需求和环境。 **AST**

参考文献

[1] Kirby Keller, Andrew Baldwin, etc. Health management engineering environment and open integration platform.  
 [2] Kirby Keller. Health management technology integration[C]. 2008 IET Seminar.

作者简介

张宝珍,研究员,从事可靠性维修保障性及试验测试技术研究。  
 张汝玲,高级工程师,从事计算机应用研究。