

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.02.003

IETM 技术在国外新一代作战飞机预测与健康管理系统中的应用

李海瑞^{1,2}, 景小宁¹, 刘万岭²

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 边防干部训练大队, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 交互式电子技术手册 (Interactive Electronic Technical Manuals, IETM) 在预测与健康管理系统 (Prediction and Health Management, PHM) 中作为装备维修系统的接口, 可为测试维修过程提供技术信息和指导。介绍了 IETM 的概念、类别、研发概况; 总结了其相关支撑技术, 主要包括: XML 数据库技术、UML 技术、Ajax 技术、SVG 技术和交互式 3D 技术; 并论述 IETM 在 PHM 中的应用。

关键词: 预测与健康管理系统; 交互式电子技术手册; 维修辅助

中图分类号: C93 **文献标识码:** A

Application of IETM in Forecasting and Health Management System of Foreign New Generation Operational Aircraft

LI Hai-ru^{1,2}, JING Xiao-ning¹, LIU Wan-ling²

(1. College of Engineering, Air Force Engineering University of PLA, Xi'an 710038, China;

2. Frontier Defense Officer Training Team, Urumqi 830002, China)

Abstract: Interactive electronic technical manual (IETM) is the interface of equipment maintenance system in the forecasting and Health management system, and it can provide technical information and guidance for the test maintenance process. Introduces the concept of IETM, type, research overview; and summarizes related technical support, includings: XML database, UML, Ajax, SVG and interactive 3D; and discusses the application of IETM in the PHM system.

Keywords: Forecasting and health management; IETM; Maintenance accessory

0 引言

随着空中打击力量的不断提升, 各国非常重视作战飞机的可靠性和维修性。国外在新一代作战飞机的设计、生产和使用中, 将以前的飞机落地开始维修发展为空中诊断、预测、预报, 地面远程诊断, 地面准备, 飞机着陆后快速抢修, 诊断、维修、保障一体化。美国已装备部队的 F-22 猛禽战斗机项目和准备 2010 年左右装备部队及其盟国的联合攻击机 JSF (F-35) 项目, 不同程度地实现了飞机系统的实时监测诊断、离线诊断、远程诊断、维修及保障相结合的层次化、一体化的综合诊断体系结构。预测与管理健康系统 (Prediction and Health Management, PHM) 的功能主要包括飞机飞行过程中的数据采集、分析、故障检测与隔离、故障预测分析、飞行安全评估与预测等, 为飞行员提供辅助决策, 并将机载信息传输给地面 PHM 系统, 以进行故障诊断和预测, 为自主保障系统提供信息。美军 JSF 系统中的 PHM 代表了新一代武器系统维修保障的发展方向, 通过在 JSF 中全面引入 PHM, 减少 20%~40% 的人力需求, 增加作战出动架次 25%,

减少保障复杂度 50%。交互式电子技术手册 (Interactive Electronic Technical Manuals, IETM) 系统是以信息技术为基础的为武器装备维修保障提供技术支持的信息系统, 为维修保障提供方便直观的技术支持, 从而提高武器装备的作战性能。采用 IETM 技术, 可节省 24%~37% 的故障定位时间, 能减少修理中约 35% 的维修错误, 避免代换部件错误约 50%, 对有经验的技术人员可节省 16%~28% 的修理时间, 无经验的技术人员可节省 22%~30% 的修理时间。故对 IETM 技术在国外新机预测与健康管理系统中的应用进行研究。

1 IETM 的产生与发展

1.1 IETM 的概念

IETM 是一个可用于装备操作、维修、训练和保障, 且能为电子显示系统的终端用户提供精心设计和规格化的交互式视频显示内容的信息包。它可将武器装备全寿命周期内产生、传递、使用的大量技术信息和数据, 包括工程资料、技术图纸、操作说明和维修手册等有机地结为一体, 构成基于电磁介质且具有强交互能力的数字化技术文档, 并可嵌

收稿日期: 2009-09-18; 修回日期: 2009-11-04

作者简介: 李海瑞 (1978-), 男, 陕西人, 硕士, 2008 年毕业于空军工程大学, 从事 IETM 应用、信息服务研究。

入武器装备、维修设备、训练模拟系统以及交互式多媒体教学课件中，为操作人员提供适时、适需、适用的技术指导和信息支持。实质上，IETM 是一个集资料、数据、信息、知识为一体的综合信息系统，它将各类信息和数据分割成基本的信息单元，按一定的结构对其加以组织和存储，并以超文本格式满足用户的查询需求。

1.2 IETM 的发展概况

20 世纪 70 年代初，美军提出了 IETMs 解决方案，并着手对原有的技术手册进行数字化并为新研武器装备制作全新的电子技术手册。80 年代，成立了专门服务机构并开发出试验系统。随后成立了工业—政府无纸技术手册联合委员会和三军 IETMs 工作小组。90 年代，美国国防部为交互式电子技术手册制定了第 1 套较完整的规范，并把 IETMs 应用到许多武器系统中，例如：空军的 F-16 战斗机、海军的 F-18E/F 飞机、陆军的阿帕奇武装直升机等。近几年，包括俄罗斯、欧洲各国、加拿大、澳大利亚、日本、韩国在内的各国的军事和民用产品也在积极研究和推广 IETM。我国从 20 世纪 90 年代开始引入 CALS 战略及 IETM 概念和技术开展研究。早期的研究以介绍国外成果为主，没有涉及到 IETM 开发和相关技术研究。20 世纪 90 年代末和 21 世纪初，开始了第 4 级 IETM 的研究和开发。

1.3 IETM 的类别

按照 IETM 内容存储的体系结构、数据格式、显示方式和功能，国际上通常将 IETM 分为 5 级，各类特点如表 1。5 类 IETM 中，最基本的是 1 级 (Class 1)，最先进的是 5 级 (Class 5)。实际上各类 IETM 都有自己的特点和使用对象。美国很多武器装备配备的 IEMT 属于较先进的 4 级。几乎没有投入使用的技术文档和技术手册属于真正的 5 级。

2 IETM 的相关支撑技术

2.1 XML 数据库技术

随着互联网技术的进步，互用性、网络化和与商业软件系统的一致化是 IETM 技术发展的方向，XML 技术已成为 IETM 开发和应用的键技术。XML 作为通用的交互式语言以它独立于操作系统、平台和输出设备，使得通用化的 XML 能在 Web 上存储、接收和处理信息。XML 能通过被唯一标识并用于交互式电子数据转换的智能内容来传递内容。

XML 数据库是一个面向数据处理的 XML 文档

的集合，保证了技术信息在不同部门之间高效的存储与共享，降低了开发费用。XML 中的一种关系就是一个无序元组集合，集合中每个元组有一个固定的字符集 (或属性)。且可以包含其他元素、变化顺序和属性的数量，并且可以包含具有相同元素类型的多个元素，这使得它更加容易表示复杂的数据。

表 1 交互式电子技术手册的分类

基本分类	显示风格	数据格式	实现功能
第 1 等级: 电子影像式分页索引文档	采用整页显示浏览; 整页翻页; 对页面采用智能索引; 保持页面完整性。	采用 BMP 格式; 索引头文件格式规范 见 NAVY MIL-29532; 用 MIL-PRF-28001 来规范页面。	通过智能索引或标题信息获取页面; 可使用移动、放缩等工具浏览页面; 有限地使用热点链接; 有利于资料引文的使用。
第 2 等级: 电子式滚动文档	主要采用滚动文本窗口显示; 可链接到其它文本或图形; 用户选择与导航辅助; 尽量采用文本格式显示; 用户能够选择调用其它程序。	文本采用 ASCII 码或 PDF 格式; 图形采用通用浏览器支持的格式, 如: BMP、TIF 等; 使用 SGML 标准来标记; 通过浏览器来获取信息。	采用滚动方式浏览信息; 用户通过图片与链接获得更多相关内容; 链接与交叉引用的功能, 大多数在文件制作完成后才附加其中。
第 3 等级: 线性结构化 IETM	减少视窗的滚动; 以对话框提供用户交互; 尽可能采用 MIL-PRF-87268 规范; 文本和图像在独立的窗口同时显示。	线性的 ASCII 文本用 SGML 来标记; 尽可能地使用 Mil-Prf-87269 规范。	提供对话式的交互功能; 依文章内容的逻辑顺序显示资料信息; 具有逻辑顺序的前后回溯功能; 用户可选择交叉引用和索引; 提供专门帮助。
第 4 等级: 层次结构化 IETM	减少视窗的滚动; 使用提示对话框与用户交互; 采用 MIL-PRF-87268 规范; 文本和图像在独立的窗口同时显示。	采用 MIL-PRF-87268 规范; 直接采用数据库进行交互式的数据输出; 数据管理采用 DBMS; 交互式功能的增强。	提供对话式的交互功能; 依文章内容的逻辑顺序显示资料信息; 具有逻辑顺序的前后回溯功能; 交叉引用和索引功能; 方便的交互式维修辅助功能; 提供专门帮助。
第 5 等级: 集成数据库 IETM	具有第 4 等级的所有功能, 并采用同样的规范; 可与专家系统有机结合, 其允许浏览系统对多种功能可以同时访问, 如: 训练、故障诊断等。	IETM 和其他的应用信息在数据级结合; 对其它的应用程序使用同一的数据库采用 MIL-PRF-87269 规范; 加入专家系统和人工智能模块。	具有第 4 等级的所有功能; 通过单一检索系统, 可获取多处的资料信息; 具备专家系统与人工智能功能。

2.2 UML 技术

统一建模语言 (Unified Modeling Language, UML) 定义了用来建立商业模型及技术系统模型的标准语言和图形符号。UML 可与所有的开发方法、生命阶段、应用领域和媒介一同使用。它意图统一过去建模技术的经验, 将当前软件最佳实践合并至标准的方法。UML 包括语意概念、标记符号和指南, 具有静态和动态的部分。UML 还包括用包来分解模型的组织性结构, 它允许软件团队将系统分解为可工作的单元, 对包之间的依赖进行理解和在复杂的

开发环境中管理模型单元的版本。它包含了表达实现上的决策和用构件来组织运行时元素的结构。

2.3 Ajax 技术

在 IETM 系统中, 技术资料的数据模块通常采用目录树进行管理。Ajax 概念的最早提出者 Jesse James Garrett 认为: Ajax 并不是一门新的语言或技术, 它实际上是几项技术按一定的方式组合在共同的协作中发挥各自的作用, 包括: 1) 使用扩展超媒体标记语言 XHTML 和级联样式单 CSS 标准化呈现; 2) 使用文档对象模型 DOM 实现动态显示和交互; 3) 使用可扩展标记语言 XML 和可扩展样式表转换 XSLT 进行数据交换与处理; 4) 使用 XMLHTTP 组件 XMLHttpRequest 对象进行异步数据读取; 5) 用 JavaScript 绑定和处理所有数据。

2.4 SVG 技术

可伸缩向量图形 (Scalable Vector Graphic, SVG) 是 W3C 于 2001 年 9 月正式发布的新一代网络向量图形及动画标准, 由 XML 语法发展而成, 是网页图形架构描述语言。SVG 支持几何图、点阵图及文字。对于 IETM 图形的相关需求, SVG 向量图形应用到 IETM 上有优点: 1) 可改善 IETM 中传统的 JPEG、BMP 等传统的点阵图放大观看会产生图形颗粒化的现象, 而向量图形无论如何放大画面边缘依然平滑, 图形依旧清楚; 2) SVG 向量图形可与 Javascript 一起运用, 产生与使用者互动的效果; 在 IETM 系统中, 使维修人员能了解武器系统操作或维修步骤, 掌握操作步骤重点; 3) SVG 图形内文字部分可供检索, 使维修人员在查询 IETM 中所需资料时, 不会错失图形内的文字信息。

2.5 交互式 3D 技术

当前 IETM 对武器装备的系统以及零、部件的技术信息的描述基本采用文本与二维图片相结合的方式, 对缺乏技能和经验的人员及时获取信息有一定障碍。交互式 3D 技术的表现形式对物体的描述逼真、可视、直观, 在传达物体的基本结构和空间信息方面显示出其优越性。交互式 3D 技术的互动性高, 使用人员可在 3D 互动视野中通过鼠标和键盘操作与所观察的物体交互式操作。将交互式 3D 技术应用于 IETM 中, 有利于 IETM 的使用人员获得和掌握信息, 在系统、零、部件的技术信息描述以及维护保养的技术支持和故障诊断的技术支持方面都会有很大帮助。而且交互式 3D 技术的使用能

大大增强 IETM 在装备维修和保障培训方面的功能。现已有交互式 3D 创作工具可使用, 如 VRML、Cult3D、Viewpoint、Virtools、EON Reality 等, 这些工具可以将原始的 3D 模型经过加工, 转化和编辑后成为交互式 3D 文件, 并在单机或网络发布。

3 IETM 在 PHM 中的应用

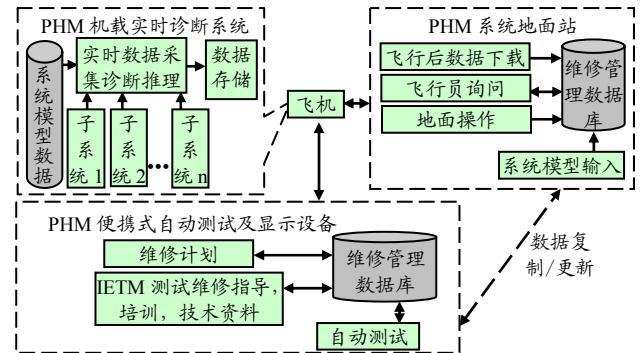


图1 新一代作战飞机预测与健康管理系统组成结构

新一代作战飞机预测与健康管理系统组成结构如图1。IETM在PHM系统中作为维修人员和系统的接口, 可为测试维修过程提供技术信息和指导, 如给维修人员提供相关技术资料、根据故障代码指导维修人员进行交互式的诊断测试, 可根据维修人员的技术水平进行自适应维修训练等。作为具有交互能力和自动处理数据的设备, 安装了IETM系统的便携式自动测试设备是实现快速修复的最有效的现代化维修辅助工具。通过PMA的测试接口与飞机系统的总线或测试接口进行直接通信, 接收机内自检设备(BITE)或嵌入式诊断系统所传输的故障代码信息, 或者维修人员根据作战飞机状况实时地输入故障特征; 根据故障代码信息或特征信息, 对故障进行分类和定位, 并为维修人员快速地提供有关故障部件的可视化资料及详细的技术数据, 能大幅度地提高抢修效率, 节省维修时间, 使得飞机能够迅速及时地再次投入战斗, 确保其持续作战能力。

4 结束语

实践表明, IETM系统降低了对抢修人员的技术要求, 减轻了抢修人员的工作强度, 提高了装备维修效率, 降低维修成本, 具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 陈信钦, 王卫国. 交互式电子技术手册应用与发展展望[J]. 现代防御技术, 2003(1): 55-59.
- [2] 郭建胜, 刘雪峰. 推进我军交互式电子技术手册研究和信息化建设[J]. 装备指挥技术学院学报, 2003(2): 20-23.

(下转第13页)

表 3 试验结果

方案号	倾彻角 $\theta/^\circ$	陶瓷复合装甲平均防护系数
方案 1	68	3.10
方案 2	68	1.81
方案 3	68	2.50
方案 4	68	1.47

由表 3 可知, 在大倾角 68° 下, 陶瓷复合装甲的防护系数也随陶瓷厚度的增加而降低, 与法线角 0° 下试验结果的趋势一致。法线角 0° 下, 20 mm 陶瓷复合板的防护系数为 2.88, 60 mm 陶瓷复合板的防护系数为 1.80。在法线角 68° 下, 20 mm 陶瓷复合板的水平厚度为 53 mm, 相当于增加了陶瓷厚度, 因此, 防护系数降低为 1.81。10 mm 陶瓷复合装甲的防护系数高达 3.10, 具有最好的抗弹性能。

陶瓷厚度增加防护系数下降, 是由于弹体在侵彻前面的陶瓷时, 冲击应力波(在陶瓷中速度约为 9700 m/s)使后面的陶瓷产生了一个超前破坏区, 当弹体侵彻后面的陶瓷时, 陶瓷已经破碎, 只是陶瓷碎块、颗粒对弹体的摩擦和粉碎起主要作用, 不能发挥陶瓷整体的高抗压强度的优势^[5]。

1.2.2 大倾角陶瓷复合装甲约束效应

试验结果显示, 在法线角 68° 下, 陶瓷复合板面置没有出现跳弹现象, 是因为陶瓷虽然具有很高的硬度, 但着弹瞬间对弹体施加很高的横向力, 随着弹体的侵彻, 陶瓷很快破碎, 陶瓷碎块反向飞溅, 横向力迅速降低, 因此, 不易发生跳弹。

在方案 3 和方案 4 中, 用 8 mm 钢板对陶瓷复合板进行约束后, 结果表明: 在大倾角内置约束条件下, 陶瓷防护系数随着陶瓷厚度的增加而降低。

位置效应: 对比方案 1 和方案 3, 方案 2 和方案 4, 由于陶瓷复合装甲的位置不同, 表现出不同的抗弹性能, 见图 1。陶瓷复合装甲外置时, 单层陶瓷复合装甲的防护系数为 3.10, 两层陶瓷复合装甲的防护系数为 1.81; 陶瓷复合装甲内置时, 单层陶瓷复合装甲的防护系数为 2.50, 两层陶瓷复合装甲的防护系数为 1.47。结果表明: 陶瓷复合装甲外置时抗弹性能更好, 原因是陶瓷复合装甲外置时, 陶瓷整体的高抗弹性能能够发挥出来; 而陶瓷复合板内置时, 弹体穿过钢板后, 陶瓷已经部分破碎, 陶瓷碎块、颗粒对弹体的磨蚀起主要作用, 虽然钢板的约束能加强磨蚀作用, 但不足以弥补因陶瓷破碎而损失的抗弹能力。因此, 在复合装甲的设计中, 尽可能把陶瓷复合装甲外置; 内置使用时选择合适厚度的陶瓷复合装甲也能获得很好的抗弹性能。

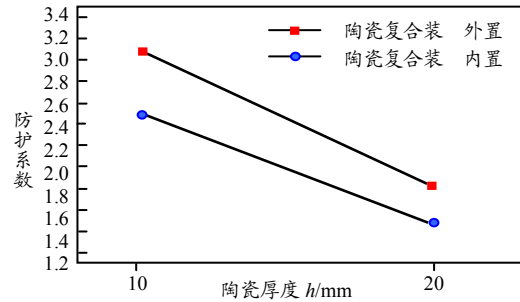


图 1 大倾角下陶瓷复合装甲的位置效应

2 结论

1) 大倾角情况下, 陶瓷复合装甲的防护系数同样随着厚度的增加而降低, 10 mm 陶瓷复合装甲的防护系数高达 3.10, 具有最好的抗弹性能。

2) 大倾角情况下, 陶瓷复合装甲外置时的抗弹性能比内置时高; 内置使用时选择合适的厚度也能获得很好的抗弹性能。

参考文献:

- [1] 张自强, 赵宝荣, 张锐生, 等. 装甲防护技术基础[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2000: 12.
- [2] 赵国志. 穿甲工程力学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992.
- [3] 姜春兰, 陈放, 李明, 等. 钨球对陶瓷/复合靶的侵彻与贯穿[J]. 兵工学报, 2001, 22(1): 3740.
- [4] 赵中华, 赵国志, 欧阳春, 等. 多层陶瓷复合轻装甲结构的抗弹性分析[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(2): 148-151.
- [5] 王儒策, 赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993.

(上接第 11 页)

- [3] 冯新, 夏靖波, 江友谊. 基于 Ajax 和 Smil 的交互式电子手册制作方法[J]. 微计算机信息, 2006(12): 18-20.
- [4] 黄金波, 杜晓明, 吕剑锋, 等. XML 数据库技术在 IETM 中的应用研究[J]. 科学技术与工程, 2006(6): 4795-4797.
- [5] 夏芳, 王卫国. IETM 技术在装备实验教学中的应用研究[J]. 实验室研究与探索, 2006(3): 289-291.
- [6] Eric L. Jorgensen, Joseph J. Fuller, Interactive Electronic Technical Manuals, CDNSWC.
- [7] Mathur, A., Ghoshal, S., Haste, D., An Integrated Support System for Rotorcraft Health Management and Maintenance[D]. Proceedings of the 2000 IEEE Aerospace Conference, 2000.
- [8] 李艳, 吕川. 交互式 3D 技术在交互式电子技术手册中的应用研究[J]. 中国科技信息, 2006(12): 114-116.
- [9] Mathur, A., Ghoshal, S., Haste, D., Application of a Dependency-Model-Based Health Inference and Troubleshooting Strategy to a HUMS-Enabled Advanced Maintenance Concept[D]. Presented at the American Helicopter Society 59th Annual Forum, 2003.