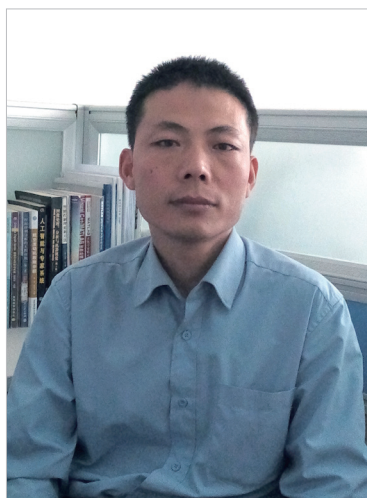


航空发动机性能监控系统 设计与实现

Design and Realization of Performance Monitor System for Aeroengine

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 杜党党 贾晓亮
解 放 军 9 5 5 1 9 部 队 张 宇



杜党党

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室博士研究生, 主要研究方向为航空发动机健康管理、飞机维护、维修、大修等。

航空发动机作为飞机上的唯一动力来源,其运行性能的好坏,直接关系到飞行安全和经济效益的高低^[1]。通过对发动机运行数据的收集、管理、分析,可以及时把握发动机运行状态,统筹安排发动机执行任务的梯次,优化维修决策,进行针对性的维护和换发安排^[2-3]。

本文针对某航空单位业务需求分析,利用面向对象技术建立了发动机性能监控模型,提出了一种基于 .NET 平台的航空发动机性能监控系统(Aero-Engine Performance Monitor System, EPMS)框架,采用 VS 2010 编程环境开发。系统规范了性能监控流程,提升了监控效率、维修信息利用率以及性能评估的准确度。

随着发动机在翼周期的延长,航空公司积累了大量的发动机运行状态数据,数据的大幅度增长为发动机性能评估提供了可能,然而,如何有效地利用发动机运行状态数据,挖掘数据内部隐含的性能优劣信息,成为当前发动机性能监控的关键^[4]。计算机技术的飞速发展和广泛应用,为航空发动机性能监控的信息化、自动化管理提供了重要手段。面对信息量的快速增加,用户应当借助必要的信息管理系统,根据发动机状态数据的特点,有针对性地进行动态化监控^[5]。

本文针对某航空单位业务需求分析,利用面向对象技术建立了发动机性能监控模型,提出了一种基于 .NET 平台的航空发动机性能监控系统(Aero-Engine Performance Monitor System, EPMS)框架,采用 VS 2010 编程环境开发。系统规范了性能监控流程,提升了监控效率、维修信息利用率以及性能评估的准确度。

航空发动机性能监控 现状分析

通过对某航空单位的调研,在发

动机性能监控方面,主要存在以下问题:

(1) 文档资料管理效率低。积累了大量有关发动机地面试车、排故、滑油检测、飞参等数据,但在数据的存储上,仍然沿用纸质存储、手写记录为主的方式,容易造成管理混乱。

(2) 数据处理能力偏弱。统计分析自动化程度低,信息利用率不高,属于典型的“数据丰富但可用信息贫乏”,不利于管理层及时、准确地做出维修决策。

(3) 可视化作为一种直观形象的监控方式,未得到充分利用。状态参数发展趋势判读不够清晰,性能预测准确度低,因误判、漏判,易造成维修过度或者维修不足。

(4) 监控流程不够规范。审批权限不明晰,维修进度、质量难以控制,信息反馈迟缓。监控过程中出现的大量故障现象、分析、排除等经验数据没有被转化为知识,加以很好的利用和管理。

(5) 各部门信息需求交叉重叠,但未形成有效的信息交互链路。手工录入工作量大,易出错,重复录入的现象时有发生,数据共享程度低。

EPMS 整体架构

1 系统流程模型

针对当前航空发动机监控中存在的问题,建立典型发动机性能监控流程模型,实现整个监控环节的闭环控制,如图 1 所示。整个流程从发动机基本参数设置开始,由监控数据输入/转录,到可视化监控。若监控参数出现异常,系统提示监控人员进行监控,同时从知识库中查找相关知识,给出处理建议,以供监控人员制作电子监控指令卡片,并传送至业务主管进行审核。若审核未通过,监控人员需根据审核意见重新做出监控与否的决定,通过后则正式进入监控环节。机务人员依据指令卡,按照分

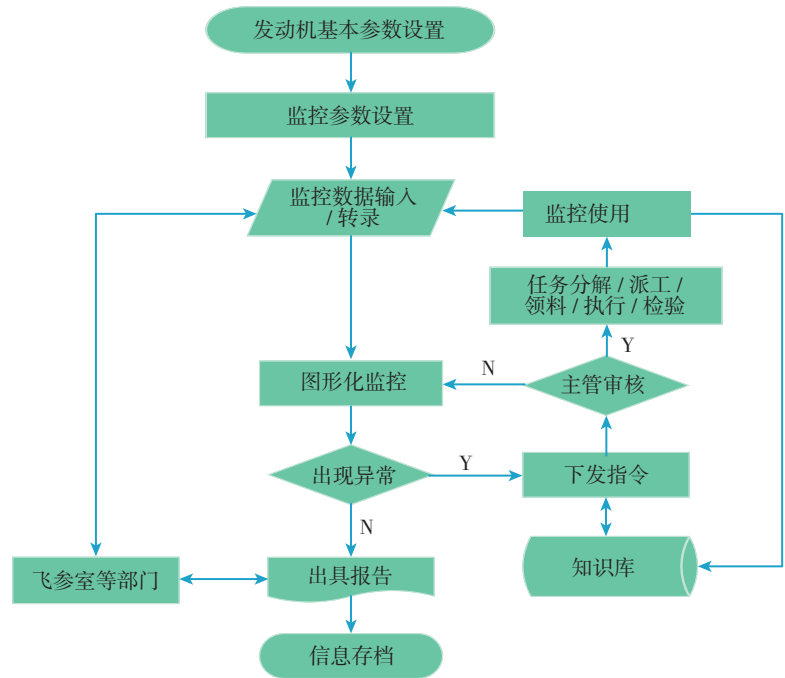


图1 发动机性能监控系统工作流程简图

工安排的时间节点加以落实,并及时向发动机监控人员反馈工作执行情况。主管人员可随时通过系统查询或现场检查方式了解工作进度及航材消耗等信息,进行维修质量控制。在此过程中,可以将获得的知识经验存入知识库,实现知识的重用^[6-7],并通过网络互联,实现与飞参室、质控室等部门之间的数据共享与集成。参数完全恢复正常后,出具监控报告并存档,监控截止。

2 系统体系结构

EPMS 采用 C/S 模式 3 层结构,包含用户层、功能层和数据库层等。功能层主要分为系统管理、流程控制、文档存取、信息集成、监控信息维护以及监控信息使用等 6 个模块。数据库层分为基础数据、性能数据以及监控知识库 3 部分,采用 SQL Server 2008 作为数据管理支持平台,通过 ADO.NET 与功能层连接。EPMS 的体系结构如图 2 所示。

3 系统功能

基于上述流程模型分析和体系结构分解,按照系统开发过程中的具体设计,EPMS 主要功能模块有:系

统管理、数据管理、可视化监控、监控报表输出、档案管理、附件等。其功能模块结构如图 3 所示。

3.1 系统管理

系统管理模块主要有:用户管理、系统初始化、备份与恢复 3 部分。

(1) 用户管理。

用户管理模块主要用来添加和删除用户、更改用户密码,设置用户的角色类型,以实现用户操作权限的控制与管理。该功能由系统管理员执行。

(2) 系统初始化。

为加强用户体验,使之尽快熟悉系统基本功能,系统使用前一般会附带部分数据。初始化功能将会清空原始数据,为用户进行个性化设置做好准备。

(3) 备份与恢复。

数据库备份与恢复对于系统的安全稳定运行具有重要意义。系统提供数据库的自动备份、手动备份、手动恢复和一键恢复功能。自动备份通过程序后台主动替换原有的备份数据。为便于查找或手动恢复数据,手动备份文件的命名以

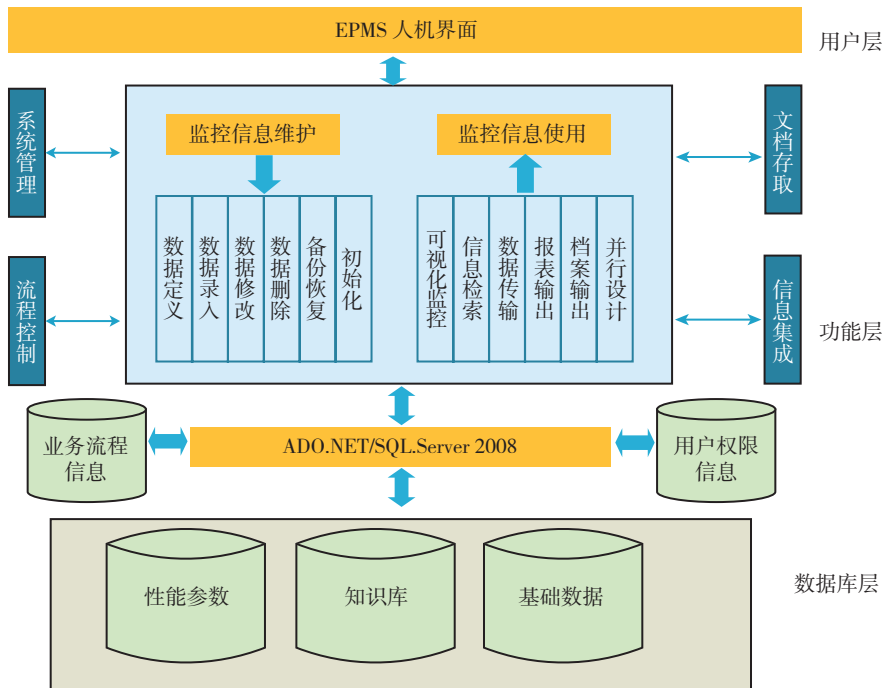


图2 EPMS体系结构图

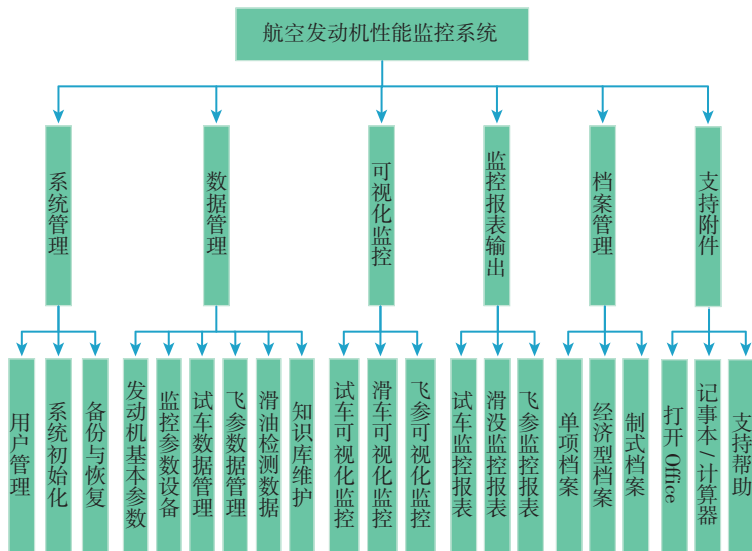


图3 系统功能模块结构图

系统日期作为文件名的一部分,如 20100803jkxt.bak。“一键恢复”功能,需要自动备份数据文件的支持。

3.2 数据管理

数据管理模块包括发动机基本状况信息管理、监控参数设置管理、运行数据管理、知识库维护等,实现信息的录入、修改、删除、查询、浏览、导出 Excel 文档等功能。为满足个别部门的特殊需求,系统支持对数据

进行打包、压缩和上传。

(1)发动机基本状况信息管理。发动机基本状况信息包括发动机原始设备制造商(Original Equipment Manufacturer, OEM)信息、大修厂家、出厂日期、规定寿命、累计寿命、规定循环次数、大修次数等信息,这些底层信息是发动机性能监控和建立发动机档案的基础,其他信息的管理和监控往往需要调用发动机

基本状况信息。

(2)发动机监控参数设置管理。

不同型号的发动机监控参数不尽一致,因此,应当按照发动机型号,分别设置需要监控的参数名称、单位、上下限值、是否环境参数、部分监控参数的梯度类型及其阈值,计算各个参数监控曲线的缩放比例,并将之存入数据库中。

(3)发动机运行数据管理。

发动机运行数据主要包括地面试车、滑油金属粉屑元素含量、飞行参数等基于时间序列的运行状态数据。

对于试车数据,采用数字键盘+Enter 键切换输入框方式输入,并严格进行格式检查,从而保证录入的快捷性与可靠性。

发动机飞参数据是指与发动机运行有关的飞参数据(如飞行时间、飞行速度、飞行高度、油耗、排气温度、转速、振动、扭力、滑油压力等)。对于飞参数据,由飞参DMZ系统对机载记录器记录的数据进行解析之后,保存为.txt或.csv格式,即能被EPMS所读取。通过局域网远程传输,可以将解析后的飞参数据文件,按照机型-机号保存至EPMS所设置的相关文件夹下,以供系统调用。

滑油金属粉屑元素主要包括Fe、Al、Cu、Cr、Si、Ag、Mg等。EPMS可以直接调用油液分析室提供的相关数据,也可将数据导入到本地服务器数据库。除了管理各元素的浓度值、采样间隔时间、滑油工作时间等因素之外,还需要对各元素浓度异常值、浓度警告值、增长率异常值进行设置。

(4)知识库维护。

发动机性能监控知识库包括从监控的案例中获取的故障维护信息,即故障现象、发生时机、特征、原因、排除方法、检验方法及标准等;从有关文献资料中抽取的文档资源信息,如技术标准、维护规程、维护大纲等。

监控过程中,监控人员需要借助于知识库中的信息制定相关问题的指令卡片,亦可将维护中得到的新经验方法扩充到知识库中。需要注意的是,必须按照知识来源进行分类,并确保知识库内容的完整性和统一性。

3.3 性能可视化监控

作为 EPMS 的核心组成部分,通过运行状态参数进行可视化监控,可以充分发挥图形化直观形象的优势。根据表征发动机运行状态的参数来源不同,可视化监控内容分为发动机地面试车数据、滑油金属粉屑元素含量、飞参数数据。

(1) 发动机地面试车数据可视化监控。

发动机地面试车数据可视化监控以曲线图的方式实现试车参数的纵向、横向对比分析。通过纵向对比可以了解发动机在不同使用时期性能变化趋势规律,通过横向对比可以分析发动机与机群同型发动机之间性能变化趋势规律,综合二者可获得发动机的性能衰退规律。为达到最佳显示效果,用户可调整监控曲线的纵横方向伸缩量,并保存该设置供以后使用。通过关联环境变量的曲线与状态参数的曲线可以分析环境变量对各监控参数的影响。同时,模块提供监控时段内参数的样本数量、单位、最大值、最小值、均值、聚类情况以及方差等统计学信息。

(2) 发动机飞参数数据可视化监控。

飞参系统储存了丰富而又真实可靠的实时飞行数据,对于发动机性能监控具有不可替代的作用。本模块监控过程与地面试车监控过程类似,可实现发动机飞行参数的纵向对比评估以及横向对比评估。根据发动机飞行参数之间的关联,通过细化其中一个参数的分布区间粒度并映射到另一个关联参数的极值区间,从而生成告警曲线,同时显示分析报告,初步实现了监控自动化,减轻了

评判人员的工作强度。为消除参数选择过多导致曲线色差不明显,模块通过色差区分度二次设置,实现了亮丽/柔性两种显示模式的转换。

(3) 发动机滑油金属粉屑元素含量可视化监控。

滑油金属粉屑元素浓度异常值、浓度增长率能够反映发动机内部部件的磨损情况及发展趋势,对其定期采样值进行监控分析有助于提高整个诊断结果的准确度,其可视化监控类似于发动机地面试车可视化监控,不同之处在于该项监控需要结合各元素浓度光谱曲线、浓度增长率两种曲线。

需要注意的是,一旦上述监控中有参数超标,系统以红黄两种颜色自动分级报警,提示用户进行监控确认。监控人员需要综合考虑3种监控结果,进行评估。确认后将按照标准流程进行任务分解、派工、领料、执行、检验等活动。当监控数据完全合格后,系统出具监控报告并对信息存档,退出监控环节。

3.4 监控报表输出

监控报表输出模块主要完成发动机地面试车监控、滑油监控、飞参监控3种报表的输出。输出内容包括监控曲线图、采样时段、参数名称、统计信息、分析说明、采取的措施及结果、报告审核等信息。其中监控参数曲线分析说明由监控人员填写,采取的措施及结果由执行指令人员填写,二者以互动的形式进行。监控截止后,在报告表的另一面打印参数正常后的曲线,填写维护中积累的经验。

3.5 技术档案管理

技术档案对于发动机使用、修理、调配、报废等关键环节决策具有不可或缺的作用,是发动机全寿命管理的重要载体。档案模块主要管理和维护发动机有寿件、大修、故障、监控历史数据等技术信息。依据发动机技术档案标准输出 Excel 文档,输

出方式分为经济型和正式型两种,前者按照实际数据量输出,后者按照制式表格输出,符合灵活性与经济性的原则。

系统的开发及应用

1 系统的开发

为保证系统的先进性,系统基于 VS 2010 平台进行开发。VS 2010 开发平台采用面向对象技术,可视化编程,编程效率高,易于实现数据库的访问,占用系统资源较少,支持跨平台开发,使之成为目前流行的 Windows 平台应用程序开发环境。

由于系统用到图形文件等大型文件,因此采用 SQL Server 2008 作为后台数据库系统。数据库主要有用户表、基本数据表、参数设置类表、测量值类表、理论值类表、梯度值表、滑油金属粉屑元素含量表、阈值表、档案表等40个表格和9个存储过程。根据各模块的要求,设计好各表的主键、外键、索引、约束、规则等,便于各模块对数据表的统一引用,保证数据的完整性,减少冗余性。

系统采用 C/S (Client/Server) 模式开发,将数据库加密后存放在服务器上,使用客户端进行数据分析和分析,既合理平衡了服务器的负担,又增强了系统的安全性,符合实用稳定、安全保密的要求。

2 系统的应用

某航空单位目前拥有3种型号的航空发动机共90台,使用 EPMS 以前,发动机运行信息利用率低,预测准确度差,随机性、突发性故障率较高,维护经验利用和管理不善,容易产生维修过度或不足,导致维修成本高、效率低。2010年1月使用 EPMS 以后,发动机维修成本占飞机维修成本的比率下降了21.2%,故障预测准确度和知识库完备率分别提高了26.2%、29.1%,如表1所示。

图4为两台某型发动机的参数监控曲线图对比,界面下方区域显示

表1 EPMS使用前后效果对比

时段	预测故障起数	实际故障起数	预测准确度	占总维修成本比率/%	知识库完备率/%
2007~2009年	483	327	67.7	40.1	62.3
2010~2012年	223	190	85.2	31.6	80.4

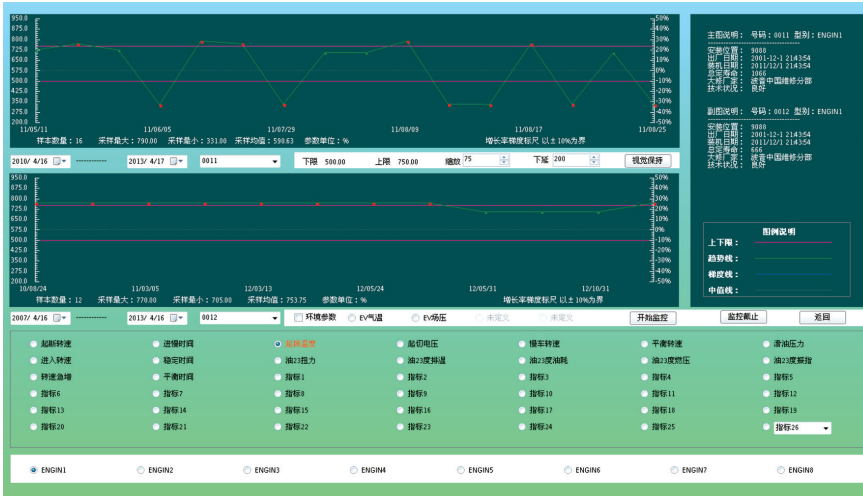


图4 两台某型发动机性能参数监控曲线对比

系统可以监控8种型号的发动机。

图5为两台某型发动机的飞行参数监控曲线图对比,不同色彩分别显示了不同参数趋势,右上角表格显示曲线具体时刻的监控数值。

目前该系统运行稳定可靠,操作人性化,界面友好。主要表现有以下几点:

(1)提升了监控质量和效率。借助图形化手段,实现了地面数据、

空中数据以及滑油检测数据的多方位监控。

(2)加强了发动机数据的管理,建立了符合标准格式的发动机电子技术档案。

(3)通过信息交互,实现了发动机监控室与质控室、飞参室之间数据互联互通。

(4)规范了发动机监控管理流程,建立闭环控制机制,有效地杜绝

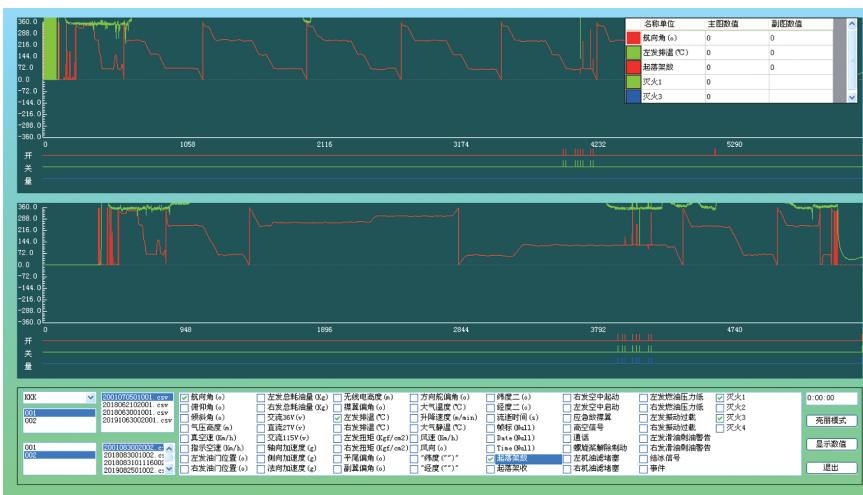


图5 两台某型发动机的飞行参数监控曲线对比

了监控漏洞;通过监控知识库的维护,提高了知识重用能力。

(5)系统能够方便、快捷地实现各种查询、导出,并对监控数据进行统计学分析,减轻监控人员劳动负担。

(6)对硬软件环境要求低。系统要求处理器主频 $\geq 1.6\text{GHz}$,内存 $\geq 512\text{M}$;能够在现行主流Windows系统上直接运行。

结束语

通过分析用户对发动机性能监控的实际需求,利用面向对象技术建立了监控模型,提出了一种基于.NET技术的航空发动机性能监控系统框架并加以开发。系统规范了监控流程,综合使用发动机运行状态信息,借助可视化的监控手段,提高了信息管理水平和性能预测精度,推动了维修决策的优化,并将发动机性能监控知识保存起来,为产品并行设计提供依据。目前,系统运行稳定可靠,效果较好。后续工作是引入人工智能技术,进一步提高监控的自动化、智能化水平。

参考文献

- [1] 郑波,朱新宇.航空发动机性能监控与预测.航空维修与工程,2009(4):33-35.
- [2] 李洪伟,谢镇波.某型发动机地面信息管理系统设计与实现.航空维修与工程,2012(6):75-77.
- [3] 许承东,裴鑫,刘英博,等.直升机MRO信息系统需求分析与体系结构.计算机集成制造系统,2010(10):2285-2292.
- [4] 钟时胜,栾圣罡.面向航空发动机全寿命周期管理的航线数据处理系统.计算机集成制造系统,2006(8):1273-1278.
- [5] 左荣国,潘为民,雷毅.基于.NET平台的中小型企业车间生产管理系统.航空制造技术,2007(10):97-104.
- [6] 刘保亮,余心宏,李思渊.基于.NET的航空锻造知识管理系统框架的研究.航空制造技术,2011(12):68-71.
- [7] 刘彬,莫蓉,刘维伟,等.航空发动机工装设计知识管理系统研究.航空制造技术,2010(4):83-89.

(责编 深蓝)