

大型暂冲式风洞自主式维修保障系统研究

吴勇航¹, 易凡¹, 陈斐², 张林¹

(1. 中国空气动力研究与发展中心, 四川 绵阳 621000; 2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

摘要: 2.4米暂冲式风洞长期面临着繁重的试验任务, 部分设备经常处于超负荷运行状态, 故障频次、维修负担也逐年加重; 为了解决风洞试修矛盾, 提升风洞试验能力, 文章基于故障预测与健康管理技术, 针对2.4米暂冲式风洞的运行和保障需求, 结合风洞装备管理业务流程, 从数据采集、数据存储、数据分析、数据应用这四个工作流程出发设计了系统软硬件架构, 最终搭建了大型暂冲式风洞自主式维修保障系统; 实现对故障的实时监测、诊断、预测。经过系统运行实践证明, 风洞设备的故障率显著降低, 试验能力和效率提升明显, 初步建立了风洞的视情维修保障体系。

关键词: 装备; 风洞; 自主式维修

Research on Autonomous Maintenance Support System in Large-scale Intermittent Wind Tunnel

Wu Yonghang¹, Yi Fan¹, Chen Fei², Zhang Lin¹

(1. China Aerodynamic Research and Development Center, Mianyang 621000, China;

2. Beijing Aerospace Measurement & Control Corp, Beijing 100041, China)

Abstract: Due to the long-term heavy experiment task of 2.4 m intermittent wind tunnel, some equipment sustains an overload operation state. Therefore, it causes the failure frequency and maintenance burden increases year by year. In order to solve the conflict between experiments and maintenance, this paper based on failure prognostic, health management technologies; combined with wind tunnel maintenance requirements and equipment management business process; designed the software and hardware system architecture by following the workflow in terms of data acquisition, data storage, data analysis and data application; established the autonomous maintenance support system for large-scale intermittent wind tunnel. It developed real-time fault monitoring, diagnosis and prognostic ability for wind tunnel. The practice has shown that the failure rate has significantly reduced and the testing capability has improved remarkably of wind tunnel. As a result, a condition-based maintenance and support system is initially established for wind tunnel.

Keywords: equipment; wind tunnel; autonomous maintenance

0 引言

2.4米跨声速风洞是一座大型暂冲式跨声速风洞, 也是目前国内最大的高速风洞, 具有试验段尺寸大、试验Re数高、模拟真实、试验精度高等优点, 是我国大型飞机和先进武器型号的主力试验风洞, 其试验装备保障能力直接关系到型号研制的试验数据质量和时间节点, 是提高风洞试验质量效率的关键。

近年来, 随着我国武器装备研制进程的加快, 风洞的试验任务也日益繁重。2.4米跨声速风洞作为主力试验风洞, 承担了大量先进型号的地面气动力试验任务, 年运行试验任务已经远远超过了设计指标, 风洞设备长期运转, 因设备疲劳、老化以及故障发现不及时带来的维修耗时、经济损失呈逐年上升趋势, 以定期人工检修为代表的“定期维修”和故障后开展修理工作的“事后维修”, 已经不能满足风洞运行的需要。

在此背景下, 为了加强对大型暂冲式风洞各试验部段的性能监测与诊断能力, 提高试验装备的可靠性和稳定性, 本文应用了增强型的基于状态维修(OA-CBM+)的新型装备维修模式^[1], 从状态监控、信息共享、智能诊断、趋势预测以及维修决策等方面, 利用开发的软硬件工具, 设计了2.4米跨声速风洞自主式维修保障系统并部署应用, 很好的解决了风洞装备维修及时性、预见性、有效性不足的难题, 初步建立了视情维修保障体系, 提高了风洞的试验质量和效率, 并为其他类似高速暂冲式风洞自主式装备维修系统建设打下了基础。

1 风洞自主式维修保障系统需求

视情维修是一种基于对装备的故障状态进行提前预测、及时诊断、适度维修的保障技术, 按照技术状况作为维修时机控制标准, 为发现潜在故障而进行的维修活动^[2-3]。

开展大型暂冲式风洞自主式维修保障系统设计, 需要重点满足如下需求:

1) 风洞在线监控与实时预测需求。风洞属于长期、多次、间歇运行装备, 其中的机械、机电设备故障受到工作载荷冲击、疲劳影响, 寿命呈递减趋势, 因此风洞自主式

收稿日期: 2018-02-27; 修回日期: 2018-05-07。

作者简介: 吴勇航(1968-), 男, 江苏南京人, 硕士, 高级工程师, 主要从事风洞控制和机电液一体化方向的研究。

维修保障系统应基于风洞中重点设备的在线监控数据, 实时开展故障诊断与预测, 实现故障早发现、维修更及时;

2) 开放式与兼容性要求。风洞是机电液气多专业综合的大型试验装备, 其中涉及到的多种类型设备故障机理差异大, 故障模式多种多样, 要求风洞自主式维修保障系统中的诊断、预测技术能够适应多专业特点, 具有开放性和兼容性;

3) 可靠性要求。该系统与风洞测控系统同步运行、互不干涉; 尽量选取现成或成熟的技术和设备, 在投入运行后, 能够确保系统稳定可靠地长期运行, 利用备份、冗余等技术手段和措施, 排除各种可能因素的干扰和影响, 保证系统按设计要求发挥正常作用;

4) 标准化和开放性: 系统设计采用的技术和设备应符合国家标准或业界标准, 为系统的扩展升级、与其他系统的互联提供良好的基础, 为后续开展的装备性能评估和寿命预测等工作预留接口。

2 总体设计

2.1 层次架构

大型暂冲式风洞自主式维修保障系统按照 CBM+ 体系结构的 7 个功能层次, 结合 2.4 米跨声速风洞的具体特点, 建立了开放式的自主式维修保障系统层次结构, 定义了不同层次间的数据接口和通讯协议, 主要包括数据采集层、数据分析层、综合应用层三个层次架构。如图 1。

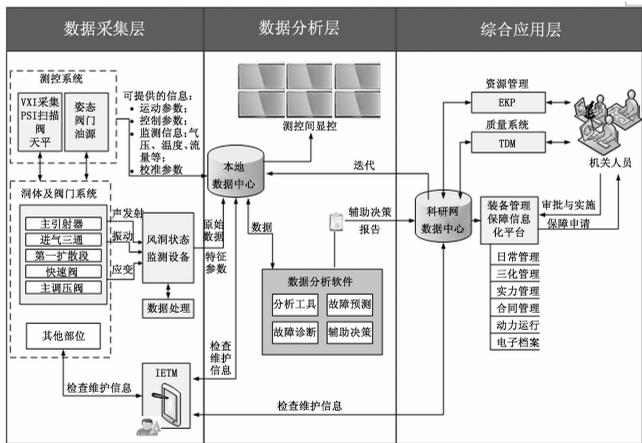


图 1 系统层次架构

三个层次的功能分别为:

1) 数据采集层。

数据采集层是自主式维修保障系统的基础, 使用了标准的和适配的数据接口, 完成对底层传感器数据和其他监测数据的采集功能, 为分析、诊断、预测等上层业务提供了可靠和准确的数据。此外还需结合 2.4 米风洞的运行特点, 对重要部件的振动、转速、温度和其他电信号数据选择适合的传感器和相关数据采集设备。针对无法使用传感器进行采集的数据则可支持通过交互式电子终端 (IETM 平台) 来实现信息采集、拍照和记录。

2) 数据分析层。

数据分析层是整个系统的核心, 通过本地数据管理中心实现对风洞相关数据的可靠接收、存储和管理, 在此基

础上构建风洞自主式维修保障系统的上层业务, 包括状态监测、性能评估、寿命预测和辅助决策支持四种功能。其中:

状态监测: 通过对组态软件对界面和模型开发, 实现数据处理结果、相关统计信息、预测结论以及维修保障决策等丰富信息的展示和便捷直观的人机交互体验。

性能评估: 对采集到的被测对象的状态信息和数据进行分析评估, 包括采用故障推理机进行推理、建立各试验装备故障诊断模型、对设备故障进行实时诊断和具体定位等。

寿命预测: 建立大型暂冲式风洞重要部件的寿命模型, 并使用基于历史数据预测引擎和预测算法实现对风洞系统主要部件的寿命预测。

辅助决策支持: 在性能评估和故障诊断、预测的基础上, 实现与风洞业务流程相结合的多要素综合维修决策, 根据具体维修要求形成最佳维修策略。

此外, 结合该风洞领域丰富的专家经验和历史数据, 形成具有更强针对性、适应性、功能完善的专家知识库和诊断、预测、决策算法库, 是搭建满足大型暂冲式风洞实际需求的自主式维修保障系统的重点之一。

3) 综合应用层。

综合应用层为整个系统的表示层, 该层主要由大型暂冲式风洞装备管理保障信息化平台构成, 面向三种试验人员的提供不同和多种功能使用。

(1) 对风洞试验管理员提供试验过程的全程管理, 包括: 获取试验数据、统计分析装备状态、处理并上报应急事件等;

(2) 对风洞运行工程师提供试验的运行状态进行收集和管理, 包括: 配置系统的功能及参数、获取风洞实时运行状态、查看历史数据、诊断分析故障等;

(3) 对风洞试验的装备管理员提供试验装备的维修、维护过程进行全面管理等业务功能。

2.2 拓扑结构

大型暂冲式风洞自主式维修保障系统是一种分布式系统, 功能实体分别部署在测控局域网、自主维修保障系统局域网和科研网。

系统拓扑结构如图 2 所示。

如图 2, 测控局域网实现将 2.4 米跨声速风洞测控系统数据集中传输到自主式维修保障系统, 已达到充分利用现有数据、实现综合诊断的目的。目前风洞测控系统上传数据主要采用 PLC90-30、PLC90-70 以及 PAC3i 设备, 将各个阀门控制系统、姿态控制系统、充气密封系统等过程控制参数、反馈参数, 通过标准 OPC 接口上传, 由自主式维修保障系统局域网中的实时数据库进行接收管理。

自主维修保障系统局域网提供全部现场级设备的数据接口、存储、分析与管理功能。具体包括通过振动、应变、电参量、声发射等数据采集设备, 对风洞洞体、阀门等结构、机械类设备实现数据采集; 并提供基于网络存储的本地数据中心, 提供开发与运行平台, 构建基于数据的诊断、预测和辅助决策业务, 实现基于状态驱动的技术状态管理功能; 部分诊断、预测数据以及辅助决策的结论通过防火

故障预测软件平台的功能框图如图 5 所示。

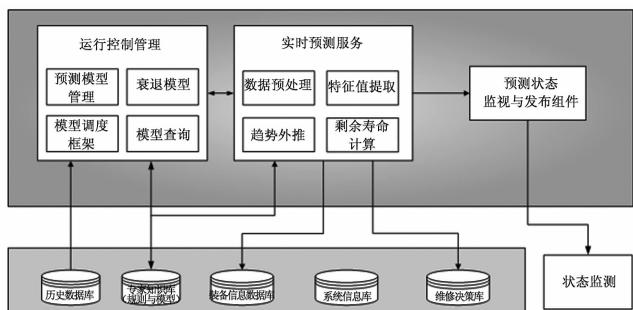


图 5 基于数据驱动故障诊断功能框图

针对大型暂冲式风洞试验现场设备特性, 提供数据信号处理、振动趋势分析、特征值计算、故障预报以剩余寿命计算等功能。具体包括运行控制管理和实时预测服务两部分。其中, 运行控制管理模块主要实现实时预测服务的启动、停止和状态监控; 新算法模型的加载与调试; 全部模型(衰退模型和预测模型)的查询与管理等功能; 实时预测服务主要实现数据预处理、特征值提取、故障预测、剩余寿命值计算、趋势分析以及精度计算等功能。

目前, 应用与不同类型设备的预测算法比较多, 考虑到风洞中大部分故障预测过程均为将近变换, 在 2.4 米跨声速风洞中主要采用基于数据驱动的预测算法。

3.3 装备辅助维修

辅助维修决策模块建立维修决策模型和决策优化参数指标, 实现与风洞业务流程相结合的多要素综合维修决策, 形成最佳维修决策, 实现维修决策业务的自动化和智能化。

辅助维修决策是直接自主式维修保障系统效能相关。通过对最佳优化参数的配置, 结合风洞具体业务流程, 以及其他要素(如备品备件、预计经费、维修方式、维修人力等), 通过建立维修决策模型, 制定维修策略, 并实现维修决策过程的过程自动化, 大大提高了装备保障的效率, 此外, 在生成维修报告后, 业务管理模块通过访问装备数据库及时掌握装备动态信息。在装备数据库中的备品备件数据库、试验计划等的支持下, 装备管理员上报维修需求并进入流程, 从而组织维修过程的实施。

辅助维修决策模块的功能架构如图 6 所示。

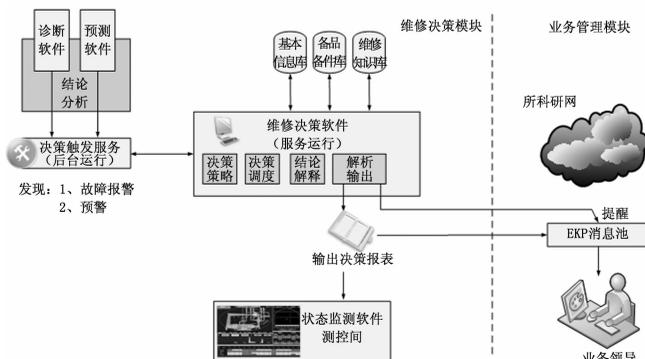


图 6 维修决策模块的功能及工作原理

3.4 自主式维修保障业务管理平台

自主式维修保障业务管理平台是该项目建设的重要组

成部分, 系统平台遵循一体化设计的思路, 采用 MVC+LINQ 三层架构, 即模型层(Model)、视图层(View)和控制层(Controller)。模型层(Model)是实现软件系统的业务逻辑以及数据库的交互, 它包括 BLL、DAL 及 Model; 视图层(View)用于显示数据和提交数据; 控制层(Controller)收集 View 提供的用户数据, 传递给 Model, 同时返回 Model 处理后的数据给 View, 实现请求的捕获和控制请求的转发。

根据风洞运行管理的实际业务需求, 将自主式维修保障业务管理平台模块化划分, 具体包括: 三化管理、实力管理、日常管理、合同管理、动力运行、电子档案和法规制度七大模块。装备管理信息化平台的功能组成如图 7 所示。

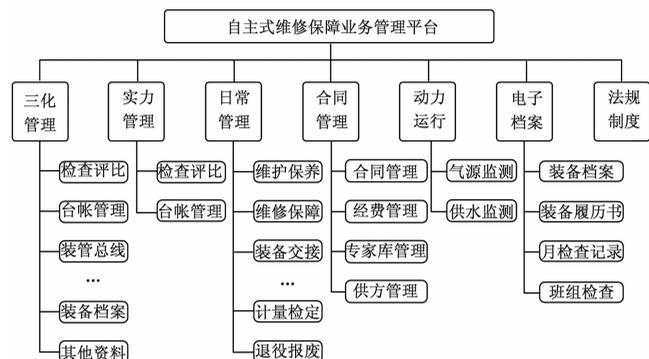


图 7 装备管理信息化平台功能组成

4 应用效果分析

自建成并投入运行以来, 该系统体现出较好的应用效果。系统以洞体结构、阀门系统、测控设备等为对象, 基于历史经验和数值计算, 根据高速暂冲式风洞装备的故障模式和故障特点选取监测点, 进行状态监测、故障诊断、故障和剩余寿命预测, 实现预先性决策和针对性快速维修。初步的使用结果表明:

1) 实现了高速风洞装备由事后维修向视情维修模式的转变。

2.4 米跨声速风洞自主式保障系统对影响风洞正常运行使用的关键系统与部件实施故障预测和剩余寿命预测, 通过准确地预测并基于预测结果实施的维修活动, 是在装备的性能下降阶段开展, 而不是装备故障后维修, 属于提前预防性维修, 防患于未然, 达到“视情维修”、“预先修理”的目的。该系统可避免装备突发故障、提高参试性能、延长使用寿命。

2) 实现了装备管理由分散式经验管理向集约式全寿命管理的转变。

目前的装备日常管理工作中, 涵盖了大量的装备登记统计工作, 这些工作记录繁琐、信息量有限, 且不宜长期保存。2.4 米风洞自主式维修保障系统实现了以秒为单位准确、详细记录运行过程中风洞关键设备状态数据的能力, 该系统所建立的装备数据库实现了装备全寿命信息记录, 在替代人工的同时还节约了大量的资源, 实现了装备管理由“书本化”到“信息化”的转变。