

飞机平台环境数据库及预计系统构建研究

孙建勇, 张建军, 常海娟

(中国航空综合技术研究所, 北京 100028)

摘要: 分析了航空行业在使用 GJB 150A 确定试验条件时所面临的问题, 在此基础上简述了开展飞机平台环境数据库及预计系统建设的必要性。针对飞机平台环境数据特点, 阐述了构建飞机平台环境数据库及预计系统的基本思路、实现途径和构建情况, 该系统可为预计飞机平台环境试验条件提供技术支持和工具支持。

关键词: 飞机平台; 环境数据库; 预计系统

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.03.019

中图分类号: V216.5 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)03-0077-06

Construction of Airplane Environment Resource Database and Prediction System

SUN Jian-yong, ZHANG Jian-jun, CHANG Hai-juan

(China Aero-polytechnology Establishment, Beijing 100028, China)

Abstract: Problems exist in determination of environmental test conditions using GJB 150A for aviation industry was analyzed. The necessity to build airplane environment resource database and prediction system was introduced. According to the characteristic of measured environmental data of airplane platform, the basic construction idea, implementation method, and construction of airplane environment resource database and prediction system was introduced. The system can be used to predict environmental test conditions of airplane.

Key words: airplane platform; environmental resource database; prediction system

环境适应性是装备研制过程中的重要质量特性, 装备对于未来实际服役环境适应能力的高低直接关系到其使用和作战效能的发挥。为了确保航空武器装备的环境适应性水平满足未来作战使用要求, 在研制阶段需要尽可能准确地提出其平台环境条件, 并据此开展设计, 制定机载设备的环境试验条件, 对其进行试验验证。

对于环境试验条件的确定, 国内外环境工程专家们制定了一系列有关环境试验的标准, 包括我国的 GJB 150A《军用装备实验室环境试验方法》, 美国的 MIL-STD-810 系列, 英国的 DEF 00-35《国防装备环境手册》等。这些标准给出的推荐量值是同类装备的极限条件, 并不能反映实际情况, 为此规定对于重要的平台环境, 如振动、温度、冲击等均要求优先

收稿日期: 2013-01-10

作者简介: 孙建勇(1972—), 男, 江西万载人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为装备环境工程与环境试验。

使用实测数据来确定其试验条件。这就要求在制定产品的振动、冲击等环境试验条件时,必须尽可能从飞机的实际出发,结合飞行实测数据或相似平台实测数据确定。

目前我国航空行业飞机平台环境实测数据缺乏,已有的数据也很零散、不完全,分散在试飞部门和不同的研制单位中。各单位拥有的环境数据格式不一、形式不一,很少有单位将其纳入数据库进行统一管理和应用。更为严重的是各单位之间的数据缺少共享和互通,数据利用率极低,航空行业也没有单位对这些数据进行全面统一收集,建立数据库,这就造成现有数据资源从数量和应用技术上均难以满足航空装备发展的需求,也难以满足GJB 150A基于实测数据确定环境试验条件的要求。因此,迫切需要收集汇总已有实测数据,加强外场环境实测工作,建立飞机平台环境数据库,实现资源共享;加强实测数据资源的分析和利用,开发飞机平台环境数据分析与预计软件。

1 飞机平台环境数据库构建

1.1 飞机平台环境数据资源特点

1) 原始实测数据的数据量巨大。原始实测数据包括飞机飞行振动、温度、湿度、压力等环境数据,飞行参数数据、地面停放环境数据等。目前,单机型的数据量可达到振动数据100 GB,飞行参数和缓变参数(温度、湿度、压力等)10 GB;多机型实测数据总量将达到惊人的1 TB以上。随着测试技术和记录能力的提高,平台环境实测参数数量、测点数量和数据采样率也在不断增加,数据量还将不断增长。

2) 原始实测数据的数据类型多,可包括数十种不同类型的环境数据和飞参数据,不同类型原始实测数据存在采样率相差较大的情况。例如振动数据和温度数据,前者采样率可达到上万赫兹,后者采样率可能只有几赫兹,这会对数据库开发时的数据存储结构设计带来困扰。

3) 原始实测数据使用复杂帧结构形式进行存储,同步存储多种数据类型,单个数据文件大,通常达到数百兆字节至数吉字节。常见的存储方式有PCM帧,这种存放方式适合飞行试验采样记录特点,

并能大大节省存储空间,但对数据的提取会有较大影响。

4) 存在大量的中间处理数据和分析结果数据。例如振动均方根计算数据、动压计算数据、样本划分数据、预处理数据、统计分析结果数据、统计归纳结果数据、环境预计模型数据和环境预计结果数据等。

5) 此外,还包括各种描述性非结构化信息数据。例如飞机基本参数信息、飞机舱室信息、飞行架次信息和测点图片、测量影像资料等。

1.2 飞机平台环境数据库构建要求

针对上述数据资源的特点,飞机平台环境数据库的构建应满足下列要求:需存储海量数据,数据库容量至少应达到数万亿字节级;需存储不同类型的环境数据和飞参数据,由于不同环境数据和飞参数据类型特别是振动和缓变参数数据存在相差很大的采样率,需要设计多种形式的存储结构;需实时存储或更新大量中间计算结果数据,数据库应具备较强的吞吐能力;需要存储图片、视频等非结构化信息数据;数据库应具备多个客户端同时查询/使用能力,要求数据库客户端以可视化的方式进行交互处理和分析,能够支持复杂的查询方式,查询速度、传输速度和数据再现速度快;具备较强的共享机制,能够通过网络进行远程登录访问,实现行业内部共享。

1.3 飞机平台环境数据库设计

由飞机平台环境数据资源特点和数据库构建要求可知,需要建立一个快速高效的大型数据库系统。其中,如何将原始实测数据文件容量达到数吉字节,按通道进行提取,并设计合适的存储结构进行存储,是数据库设计的关键。下面对飞机平台环境数据库设计时涉及的关键技术进行介绍。

1) 使用二进制大对象类型BLOB存储振动实测数据。在平台环境数据库系统中,振动原始数据属于二进制海量数据,如果利用普通数据类型(例如VARCHAR2变长字符串)存储,一个数据记录将需要拆分成多个数据单元。当对数据进行查询时,满足查询条件的数据可能存在很多条,这些数据均需要加载到内存中,造成内存压力过大,无法实时响应。为解决大容量振动数据存储问题,使数据查询

与再现速度达到最优,提出将每个数据单元控制在50 MB以内,采用二进制大对象类型BLOB存储二进制大数据的数据存储方式^[1],如图1所示。数据库设计表中记录存储BLOB列,存储的是一个地址或者指针,二进制具体数据存储在LOB段中。由于存储数据内容不需要和所在记录的其他数据一起存储在数据库缓存中,所以并不影响关联数据记录的查询,提高了查询效率。

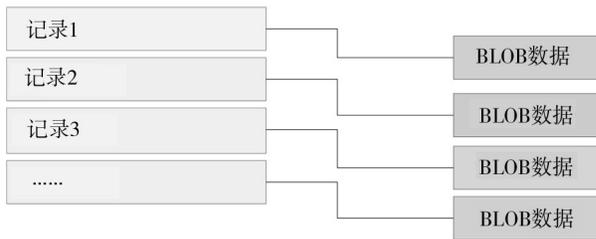


图1 二进制大数据存储模式

Fig. 1 The storage mode of the binary large data

2) 以机型为单位建立实测数据表,以秒为单位分割振动数据。考虑到数据存储分配的合理性,查询便利和数据容量的扩展,采用将架次、通道、采样率等基本信息和二进制数据以分离存储方式设计振动原始数据的存储模式,如图2所示。针对基本信息、二进制数据及二者之间的联系创建振动数据基本信息表、振动数据详细信息表和振动数据详细信息管理表3张数据表,管理振动原始数据。

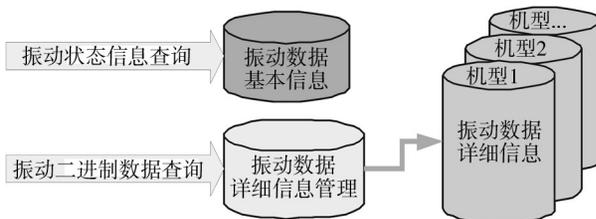


图2 振动原始数据存储

Fig. 2 The storage of vibration field data

此外,由于所有二进制数据记录均采用帧结构形式,所以需要预先设计最小数据粒度,分割每个架次的振动数据后进行存储。数据分割粒度选择以秒为单位,即将每个测点每个方向每秒钟采集的振动数据设定为一个数据单元。以秒记录管理振动数据是平台环境数据库查询检索速度之间的平衡点,如

果采用更小分割粒度,二进制数据存储记录将大大增加,数据查找定位速度较慢并且需要将更多查询记录拼接在一起,降低数据查询速度;如果采用较大分割粒度,数据查询定位速度提高,但是经常需要拆分原始数据,同样降低了查询速度。

3) 独立存储相同的数据描述信息,实现数据的高效管理。在数据库查询中,以CHAR定长字符串型、NUMBER数值型字段作为抽取条件时,查询的速度比较快。因此本系统中,将一些常用的共同描述信息从主要数据表中抽取出来,单独列出一个管理表,如飞行科目/剖面名称、测点详细位置名称和飞行参数名称及参数单位等,如图3所示。在主要数据表中以相关编号和这些描述信息管理表关联,既提高了主要数据表的查询速度,又保证了共同描述信息的唯一性。

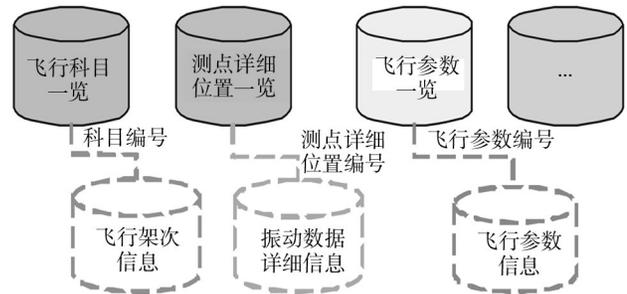


图3 共同描述信息集中独立存储模式

Fig. 3 The storage mode of the common descriptor information

按照上面设计技术要点对数据库进行详细设计,完成了数据库存储结构设计、逻辑结构设计和物理结构设计,建立了飞机平台数据库的数据实体总体关系模型,如图4所示。按照图4的内容,创建了飞机平台环境数据库的36张数据库表,包括存储系统中用到的各种数据。

1.4 飞机平台环境数据库构建情况

按照前述技术构建了飞机平台环境数据库系统,该系统基于 Windows 2003 Server 平台,使用 Oracle11g 软件开发完成,系统硬件使用联想 R630 万全服务器和 SureSAS212G2 磁盘阵列。

目前数据库已存储 15 个机型约 420 架次,超过 1000 GB 二进制振动、温度环境数据和同步飞参数数据,约 20 万条超过 200 GB 的数据预处理中间计算数

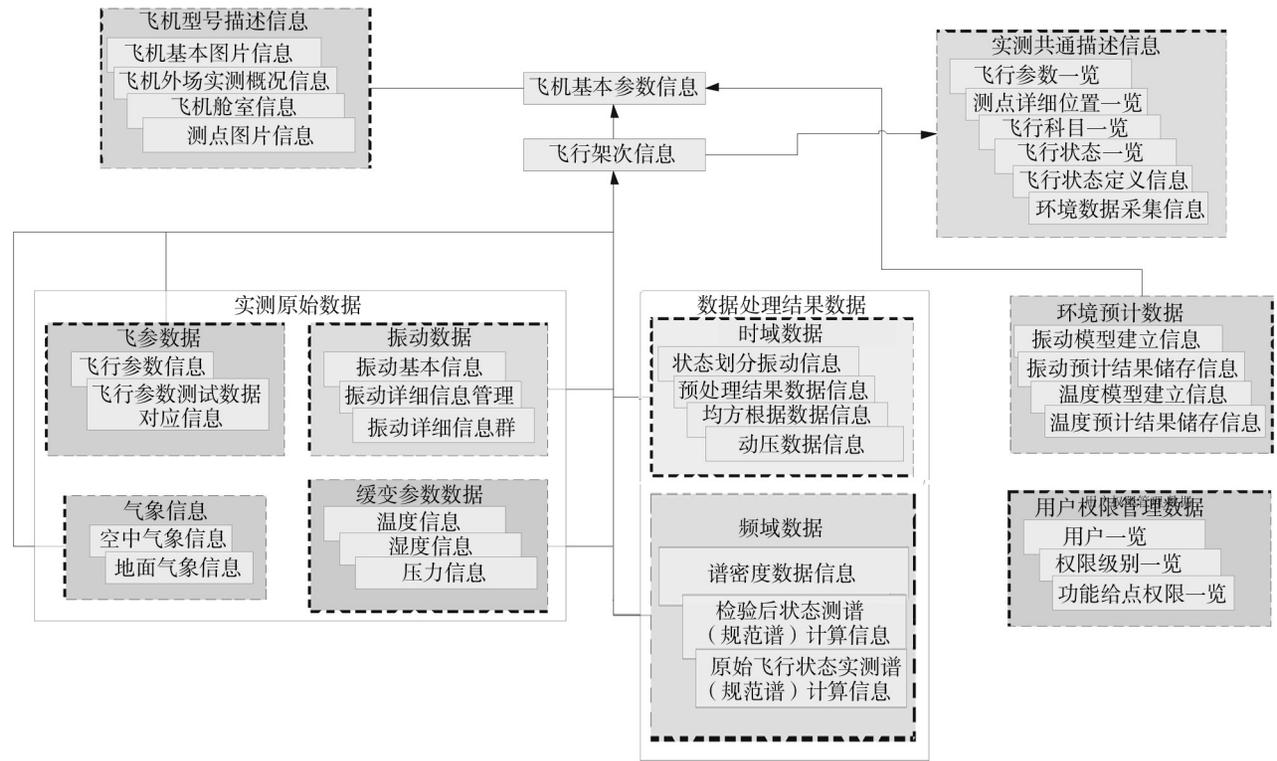


图4 平台环境数据实体总体关系

Fig. 4 The E-R for airplane platform environmental resource database

据,以及约10万条均方根、功率谱等特征数据;同时还存储了大量非结构化的飞机测试图片、预计模型和预计谱型等信息数据,所有数据量已超过1300 GB。数据库响应速度达到容量为500 GB数据范围内,任意查询条件的响应时间不超过60 s。系统能够在以下各种检索条件下实现实测数据的高效查询、实时再现、高速下载与上传以及样本批量划分等功能:按测点位置和方向查询和再现多个机型多个架次的振动、温度等数据;按时间段查询和再现多个机型多个架次多个通道的振动、温度等数据;按飞行参数(如高度、速度等)查询和再现多个机型多个架次多个通道内对应的振动、温度等数据;按飞行参数对多个机型多个架次多个通道振动原始数据进行数据样本批量划分。

2 飞机平台环境预计系统开发

2.1 国内外平台环境预计技术现状

20世纪60年代,美国NASA马歇尔航天飞行中心研究了飞行器的各种振动环境预计方法,主要包

括模态分析、外推、统计能量和物理模型建立等。从20世纪80年代开始,LOCKHEED导弹和航天公司应用这些方法开发了VAPEPS预计系统,使用统计能量分析(SEA)方法,预计航空航天结构中高频声振环境。在航空行业,美国空军WRIGHT实验室在20世纪90年代资助建立了MERIT系统,主要应用于战斗机和强击机所带外挂物(导弹、吊舱、炸弹)的动力学环境预计,其中振动预计模型利用回归分析建立了功率谱密度与动压关系^[2-3]。

20世纪80年代以前,由于技术水平的限制,我国基本上没有对飞机振动环境进行预计。从80年代中期至今,我国科技人员开始参照国外的方法对飞机飞行振动环境预计进行了一些探讨和研究^[4],但基本上都未开发专门用于飞机平台环境预计的计算机应用系统。下面对飞机平台环境预计系统开发涉及的振动和温度预计技术、系统开发思路和系统目前状况进行介绍。

2.2 飞机平台振动和温度环境预计技术框图

由于温度和振动是目前飞机平台诱发的最主要

环境因素,对飞机及其机载设备的影响最大。因此,主要介绍基于实测数据的振动环境预计和温度环境预计技术,该技术的具体实现途径如图5所示。在振动环境预计上,考虑到传统的多元线性回归法技术较为成熟,因此在进行振动环境预计时,仍然以该

模型为主,同时增加了较为先进的神经网络法和向量机预计技术,供相关技术人员进行研究或者使用。在温度环境预计上,拟使用动态热平衡方程来构建舱室温度和机外温度、飞行状态、机内设备发热之间的关系,进而进行温度环境预计。

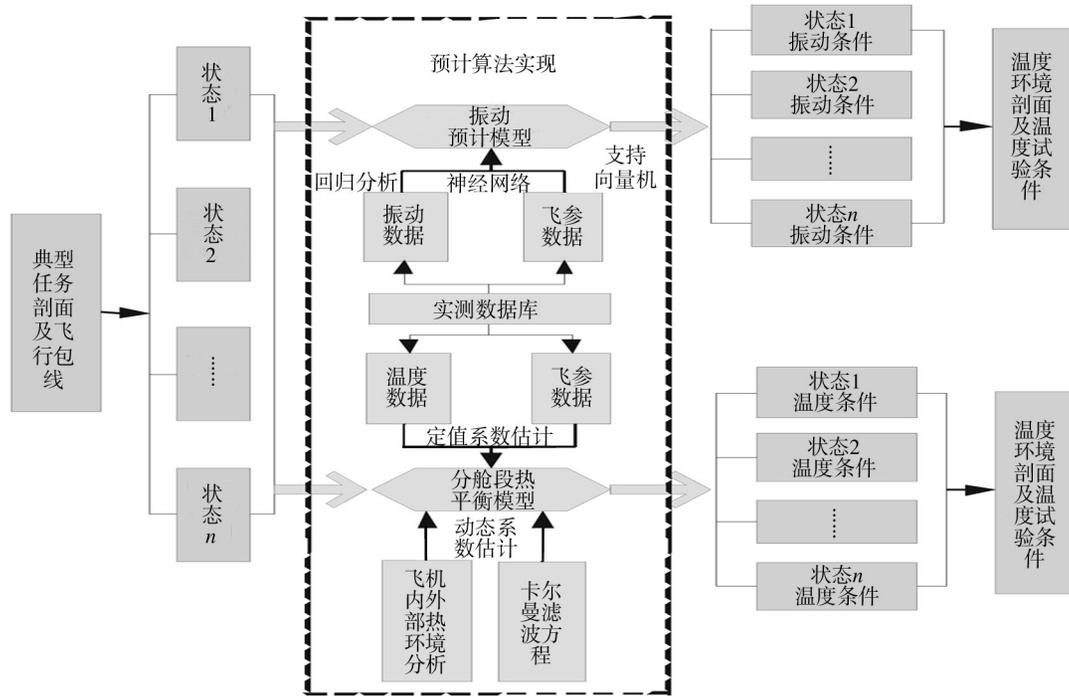


图5 振动和温度环境剖面预计

Fig. 5 Prediction of vibration and temperature environmental profile

2.3 平台环境预计系统开发思路

利用2.2节提出的预计技术框图,结合飞机平台环境数据库能够有机、高效地管理海量数据的优势,建立具有分析、预计功能的软件系统。该系统采用模块化设计思想,主要包含初始化概况、用户管理、基本信息查询、数据查询再现和数据维护等数据库模块,以及飞行状态划分、环境数据预处理、环境数据统计归纳、环境条件预计等分析预计模块,各个功能模块所包含的子模块内容以及各个模块间的相互关系如图6所示。

2.4 平台环境预计系统开发情况

按预计技术框图和开发思路,初步开发了飞机平台环境预计系统,该系统采用客户/服务器(C/S)模

式开发,分为客户端和服务端,如图7所示。环境预计软件界面如图8所示。该预计系统能够内嵌各种高效的数据统计分析和环境条件归纳算法,基于实测数据快速计算出飞机平台给定飞行状态下的振动、冲击和温度环境条件,以动力学数据为例,包括了功率谱分析、线谱分析、冲击响应谱分析等数据分析能力,以及正态单边容差上限(NTL)、包络法等环境条件归纳算法;能够基于飞机平台环境实测数据建立飞机振动/温度环境预计模型,为制定机载设备环境试验条件与可靠性试验剖面提供工具支持。

3 应用和展望

3.1 主要应用情况

目前该系统已在某型无人机振动试验条件、火

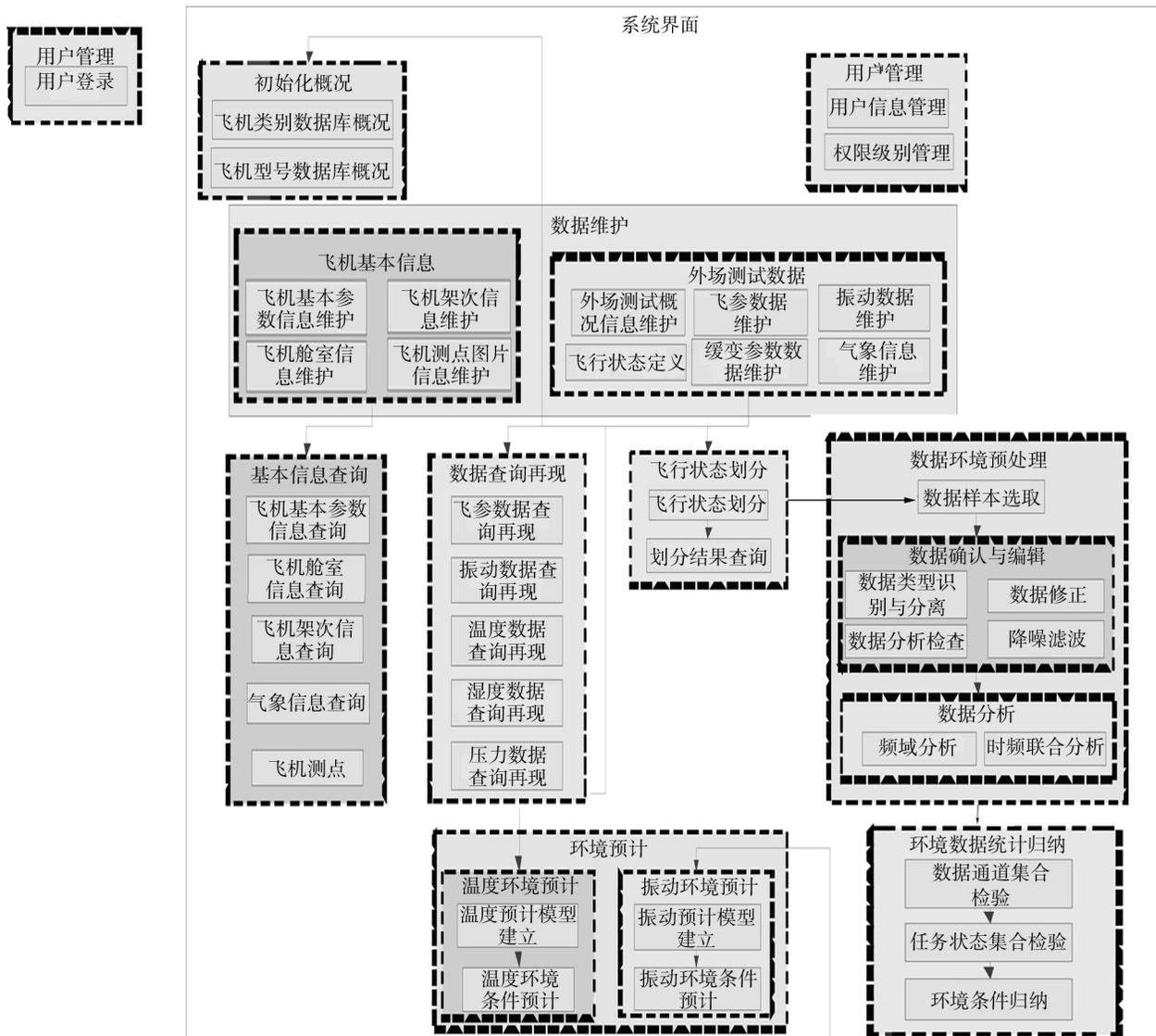


图6 飞机平台环境数据库及预计系统主要功能模块

Fig. 6 The main functional module of airplane environmental resource database and prediction system

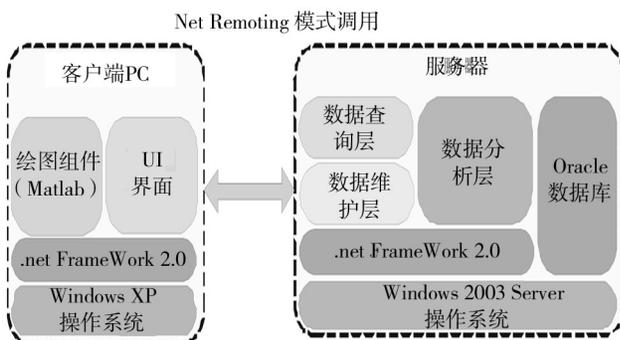


图7 数据库及预计软件总体开发

Fig. 7 Overall development of airplane environmental resource database and prediction system



图8 环境预计界面

Fig. 8 The software interface for prediction of environmental profile

(下转第 95 页)

料的重要组成部分,对其进行合理安全的回收处理不仅关系到能源节约和环境保护等社会发展问题,还关系到社会稳定、治安维护的社会安定问题。对退役报废武器进行回收处理过程中,除考虑到其军事用途的属性外,其中包含的枪械类武器更是作为一种容易流入社会的伤人兵器而需要密切监控。总之,退役报废武器的回收处理任重而道远,在这方面的研究还有待进一步发展。

参考文献:

- [1] 全军军事术语管理委员会. 中国人民解放军军语[M]. 北京: 军事科学出版社, 2011: 526.
- [2] 颜海群, 叶胜平. 未来装备技术保障展望[J]. 装备环境工程, 2007, 4(6): 89—91.
- [3] 冯坤. 中国电子线路板的回收状况及其收益评价的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2001.
- [4] 徐滨士. 装备再制造工程的理论与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 18—19.
- [5] 倪俊芳. 废旧产品的回收决策[J]. 机械科学与技术, 2000, 19(2): 291—294.
- [6] ROSE C M. Design for Environment: A Method for Formulating Product End-of-life Strategies[D]. California: Stanford University, 2000.
- [7] 胡贵彦, 杜志平, 周三元, 等. 中日汽车回收拆解对比研究[J]. 国际物流, 2009, 28(7): 251—252.
- [8] 刘志峰, 张少亭, 宋守许, 等. 报废汽车拆卸回收的经济性分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2009, 32(3): 347—350.
- [9] 刘志峰, 林巨广, 刘光复, 等. 废旧产品回收工艺流程评价决策支持系统研究与开发[J]. 中国机械工程, 2002, 13(20): 1773—1776.
- [10] Zhang H C. A Decision-making Model for Material Management of End-of-life Electronic Product[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2000, 19(2): 94—107.
- [11] 廖静林, 江劲勇, 路桂娥, 等. 废弃火炸药的处理与再利用研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(4): 108—111.
- [12] 刘世伦, 倪明仿, 王生凤, 等. 面向寿命周期的装备资源性设计策略研究[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 564—569.

(上接第82页)

箭发射冲击试验条件的确定,某型飞机任务系统振动试验条件确定上进行了应用。根据目前应用情况来看,利用实测数据确定航空武器装备环境试验条件是一种行之有效的方法。所建立的飞机平台环境实测数据库及预计系统在工程应用上得到了初步验证,能为产品研制过程中确定环境和可靠性试验条件提供有力支持。

3.2 展望与建议

在航空型号研制过程中大力推行平台环境实测,积累平台环境实测数据,构建平台环境数据库系统,实现数据资源共享是一项基础性工作,对航空装备的研制具有重要的意义。特别是随着型号研制进程的加快,型号项目不断增加,基础数据的积累和充分利用就显得更加重要。然而,这项工作由于跨度大、工作量多、时间周期长,各单位对其重视程度不一,因此目前开展并不理想,不能满足型号研制需要。建议在新型号研制过程中,加强平台环境实测工作,确保型号研制有足够的数据库可用;建立行业共

享、集体受益的基于金航网的基础环境数据库,实现航空系统内厂、所通过网络浏览器进行便捷的远程数据访问、查询、下载、上传和数据分析计算功能,以真正实现航空装备基础数据资源共享,资源最大化利用,使有限的数据库发挥更大的作用;进一步加强飞机平台环境分析预计系统的开发,确保已有环境数据能够得到高效使用。

参考文献:

- [1] 腾永昌. Oracle9i 数据库管理员使用大全[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] THOMAS V C. A Vibroacoustic Database Management Center for Shuttle and Expendable Launch Vehicle Payloads[J]. The Journal of Environmental Sciences, 1987, 30(6): 24—26.
- [3] HEATON P, CZUCHNA J. Prediction of Dynamic Environments for Airborne External Stores during Aircraft Straight and Level Flight[J]. Journal of the Institute of Environmental Sciences, 1996, 39(4): 28—32.
- [4] 钟德均. 飞机振动预计方法研究[J]. 飞行试验, 1999(1). (余不详)