

飞机五性一体化协同工作平台框架设计

严拴航, 梁力, 薛海红

(中国航空工业集团公司第一飞机设计研究院, 西安 710089)

摘要: 通过对比国内外可靠性、维修性、测试性、安全性和保障性工作现状, 归纳了国内在飞机研制过程中五性一体化的设计特点以及在工程应用方面存在的问题与差距, 给出飞机研制过程中开展五性一体化设计的流程和数据、工作及工具接口协同需求, 然后对五性一体化协同设计平台进行了初步构想(包括平台建设原则、平台规划和平台建设中需要突破的关键技术等内容), 为解决飞机研制过程中五性设计优化、整合及综合权衡以及数据共享等提供技术支持。

关键词: 五性一体化; 飞机; 流程; 协同设计

中图分类号: V37

文献标识码: A

Research on Aircraft Five Qualities Integration Design Environment

Yan Shuanhang, Liang Li, Xue Haihong

(The First Aircraft Institute, Aviation Industry Corporation of China, Xi'an 710089, China)

Abstract: The state-of-art of five qualities (reliability, maintainability, testability, safety and supportability) home and abroad are compared, and the five qualities integration design characteristics and engineering application problems such as data, activities and tools integration etc are summarized. On the basis of that, five qualities integration design program and design requirements during aircraft development are studied. Five qualities integration environment is preliminary built, including environment building rules, environment schedule and the required key techniques, all of which are described in detail, which provide technology support for five qualities design and optimization, integration, integrated balance and data sharing during the process of the aircraft development.

Key words: five qualities integration; aircraft; program; coherent design

0 引言

可靠性、维修性、测试性、安全性和保障性 (Reliability, Maintainability, Testability, Safety and Supportability, 简称 RMTSS) 是飞机固有的设计特性, 是影响飞机作战效能和寿命周期费用的重要因素^[1-2]。现有的五性设计技术之间是割裂和相互孤立的, 提出了大量重复的设计要求, 且要求不统一, 给飞机五性设计增加了很多重复工作, 而

且相互独立开展的五性工作得出的数据不能很好的相互协调和支持, 在设计方法、技术状态、工作进度等方面存在“两张皮”现象, 优化、整合及综合权衡困难。现役航空装备五性问题表现出系统性、综合性、多样性的特点, 难以依靠单一特性技术手段解决, 同时为适应航空装备五性工作的变化, 国内各研究机构相继提出了“五性一体化”的设计理念^[3-5], 强调“五性”工作之间的有效关联及促进。同时, 五性设计与分析工作通常有共同的数据来源, 在设计过程中相互之间也有各种参数传递或数据共享关系, 所有的内在关联关系要求一体化的五性协同工作环境。

现代航空装备越来越复杂, 维护维修费用也越来越高, 促使航空装备用户越来越重视战备完好性

收稿日期: 2013-11-19; 修回日期: 2014-02-25

基金项目: 国防科工局技术基础科研项目 (Z052013B003)

通信作者: 严拴航, yanshuanhang@126.com

(或可用性),在航空装备用户的推动下,航空装备研制单位越来越重视 RMTSS 分析工作,在装备研制过程中更加注重五性关联设计和综合权衡,从而引出了五性一体化协同设计平台。国内 RMTSS 各专业之间的密切联系与孤岛式应用模式之间的矛盾已经无法调和,现有的五性设计分析软件的综合应用,以及软件工具应用产生的大量数据和知识需要一个有效的存储和再利用的手段,均需要五性一体化协同设计平台作为各软件及数据之间联系的桥梁。

本文在分析国内外 RMTSS 工作现状以及国内在五性工程应用方面存在的问题与差距的基础上,结合国内飞机研制过程中五性一体化的设计特点,给出飞机研制过程中开展五性一体化设计的流程和数据、工作及工具接口协同需求,并对五性一体化协同设计平台进行初步构想,为解决飞机研制过程中五性设计优化、整合及综合权衡以及数据共享等提供技术支持。

1 国内外现状

1.1 国外现状

综合化集成已成为国外先进装备 RMTSS 技术发展的时代特征。以“技术综合化、手段集成化、方法仿真化”为核心特征,建立综合化的 RMTSS 设计环境,实现 RMTSS 设计分析的数据综合、流程综合与特性综合,提高 RMTSS 工作的系统性、综合性、深入程度和工作效率,代表着 RMTSS 技术应用的发展方向^[6-7]。国际先进航空企业已建立了类似的 RMTSS 综合集成系统并初显成效,我国在这方面还是空白。

国外先进军事国家在五性设计领域一直大幅领先国内,如美军新一代飞机研制中五性设计水平达到前所未有的高度,全面实现了以信息化为龙头全面实现和改进综合化的五性设计与分析、试验与评价和管理功能,积极推行五性设计与管理的职能化和网络化,利用先进的五性设计技术和理念提高飞机的五性水平;波音公司的 ISDP(In-Service Data Program)可收集、整理飞机的可靠性/维修性等数据,监控机队的可靠性,分析定位问题,并帮助航空公司和供应商共享机队的五性信息。同时,国外飞机在机载功能、结构布局方面的方案调整,都经

历了与五性设计进行综合权衡后确定;美国空军的 REMIS(Reliability & Maintainability Information System)是美国空军收集、处理装备维修信息的一个主要数据库,它用于向各级装备管理部门提供准确的、接近实时的数据,保障空军的整个装备维修工作;Bombardier 公司引入电子数据交换标准(Electronic Data Standard Exchange,简称 EDSE),与供应商和航空公司在线交换产品可靠性数据^[8]。

1.2 国内现状

国内,通过“九五”、“十五”五性共性设计技术预研和多个飞机型号五性工程技术应用,形成了一批具有自主知识产权的 RMTSS 综合论证、设计分析、验证评价技术方法和手段工具^[9-13];徐杰^[14]对武器装备五性的重要性和发展趋势进行了探讨;肖慧鑫等^[15]介绍了五性设计与分析、“五性”工程有关概念、重要性及发展历程;谢干跃、康锐等^[16-17]介绍了五性工程的发展历程、现状和趋势;丁定浩^[18]阐述了可靠性、维修性、测试性计算机辅助分析设计软件的作用及其应具备的必要条件。

许多航空装备研制单位在采用可靠性、维修性、测试性、安全性和保障性设计与分析软件之后,虽然取得了一定成效,但带来一些问题,其中工具使用分散和数据孤岛最典型。现有的五性工作零散、不成体系、无法综合,难以形成整体能力,不同的软件工具有自己独立的工作环境和存储方法,造成一个个信息孤岛。这些现状与 RMTSS 各专业之间紧密关联的特点是相背离的,导致数据不一致、共享及重用困难、管理混乱、重复劳动等问题。同时五性工作与飞机设计工作脱节,缺乏对飞机五性设计质量的掌控能力以及标准规范的贯彻能力,优化、协调及融合困难。为了解决上述问题,必须按照系统工程思想,整合现有技术手段,发挥技术与管理综合集成的整体优势,集成各种五性设计与分析专业软件,提高各项业务之间的协同和数据共享,保障五性设计与分析工作顺利开展。

2 五性一体化协同设计技术需求

2.1 五性一体化协同设计特点

五性一体化协同设计主要用于飞机研制阶段,打通五性设计的数据流程、工作流程、数据输入输

出关系、数据格式规范化以及五性分析工具软件与平台接口控制关系,以实现飞机五性与系统性能的

协同设计分析,提升飞机五性水平。五性一体化协同设计的特点如图 1 所示。

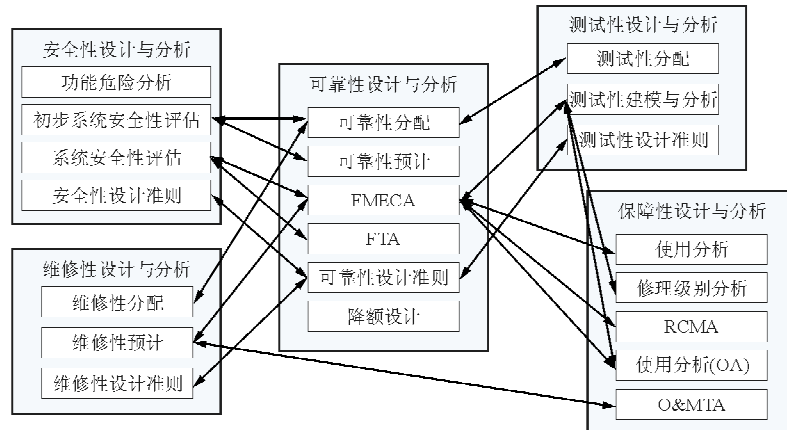


图 1 飞机五性一体化协同设计特点

Fig. 1 Aircraft five qualities integration design characteristics

从图 1 可以看出,五性工作之间以及数据之间具有很强的关联关系,必须协调同步开展并进行综合权衡。

2.2 数据协同需求

五性数据之间通常具有很强的关联性,在五性数据内部和五性数据之间相互影响、相互关联。例如可靠性的平均故障间隔时间(MTBF)会影响到以可靠性为中心的维修性分析(RCMA)中预防性维修间隔期的计算,维修可达性的设计会影响到保障设备的选用,可靠性中的故障模式影响及危害分析(FMECA)结果会影响保障性分析中的修复性维修任务等。因此既需要对各专业数据进行独立存储,又需要记录不同业务数据之间的关联关系。

在飞机研制的全寿命周期内,从总体、系统、机载设备的使用和维护中收集大量基础的五性数据的信息,包括来自机载设备单位的五性数据、来自总装厂的出厂技术状态信息、来自维修现场的故障检测数据和维修过程记录,这些信息汇总为飞机完整的五性设计与分析数据库。

五性设计与分析工作中,在各个环节、各部门频繁产生着大量的信息数据。在进入数据库后,不能淹没在繁杂的库结构中,必须能够被不同部门、不同设计人员共同访问和引用,这样数据才能真正

实现共享并发挥其价值。

2.3 工作协同需求

五性专业工作之间有复杂的衔接关系,需要有良好的协同机制才能实现。例如可靠性、安全性、维修性和测试性设计的结果会传递给后续的保障性设计过程,MTBF 和故障模式数据库。

基于飞机五性设计与分析之间的内在关联,以飞机系统、分系统和机载设备故障模式为主线,建立五性设计与分析各环节之间的流程和数据传递关系。依托数据读取和共享使用接口以及任务项分解和流程设计功能,建立五性设计之间的参数承接和迭代关系,并提供五性设计之间的指标分配和优化权衡功能。

2.4 分析工具接口需求

目前,五性设计均采用不同厂商的五性设计与分析专业软件,通过集成各种五性设计与分析专业软件,开发专门的接口库进行数据交换,提高各项业务之间的协同和综合权衡能力,然后把五性数据通过统一的接口送入协同工作环境中。

3 五性一体化协同平台建设

3.1 建设原则

五性一体化协同平台能够针对五性设计任务

的指标需求,实现五性设计任务的统一规划和管理、五性数据的收集/管理/共享、五性设计工作的关联和支持,同时通过与五性设计与分析专业工具软件的集成,建立五性业务综合性的高效环境。五性一体化设计与分析平台建设应具有五性工程管理能力、五性关联设计能力、五性信息收集和综合能力、五性数据管理共享能力。

3.2 协同平台框架

飞机五性一体化协同工作平台以实现五性内部之间及其与性能之间的一体化协同设计为目标,在飞机数字化研制环境中,通过定制开发,建立五性一体化协同平台,实现性能与五性设计的数据和流程集成。具体框架如图 2 所示。

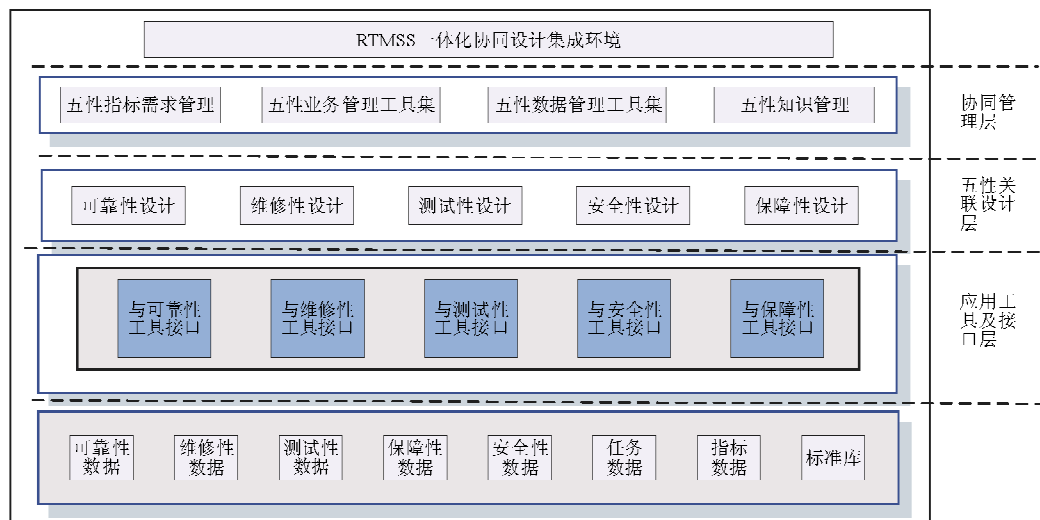


图 2 五性一体化设计平台框架

Fig. 2 Five qualities integration design environment framework

五性一体化协同平台包括用户界面层、工具层、管理层和基础信息层。

(1) 界面层。可通过平台主页登录进入个人五性工作界面,根据不同用户角色权限,可以分为五性协同设计工作空间、五性协同审批空间等,并查看相关的任务信息。

(2) 工具层。基于研制部门的主干网络,与相关信息系统实现数据交换,通过构建数据接口工具,接入第三方软件和工具。

(3) 管理层。根据型号研制中五性工作的数据传递关系,在数字化研制环境下,建立系统设计与五性一体化设计流程,实现各部门之间工作流程、管理体制、产品构型与相应五性工作的对接。

(4) 信息层。通过信息交换机制和基础数据库的共享机制实现五性信息的集成,并将其融入飞机研制的管理信息系统中,确保在设计生产过程中五性信息的一致性。基础数据库分为通用五性信息库和专用五性信息库,其中专用五性信息库针对

飞机研制需求进行专门的设计开发。目前,已成熟的基础数据库部分如表 1 所示。

表 1 基础数据库列表

Table 1 List of database

序号	基础库名称	序号	基础库名称
1	可靠性设计准则库	10	元器件试验信息库
2	软件故障模式信息库	11	标准故障模式库
3	可靠性指标库	12	元器件基本信息库
4	产品可靠性设计分析案例库	13	环境与可靠性试验信息库
5	产品(成品)寿命库	14	非电子产品故障率库
6	不合格产品信息库	15	新研(外协)件可靠性信息库
7	故障报告分析及纠正措施信息库	16	生产质量与外场故障信息库
8	相似产品故障模式库	17	基本维修作业库
9	维修保障试验信息库	18	贮存可靠性信息库

3.3 实施方案

以飞机五性综合论证、设计分析、验证评价技

术方法和手段工具为依托,以数据管理为核心,详细分析飞机性能数据模型、性能设计流程以及相关的性能设计工具在数字化研制环境中的实现方式,通过数据集成、过程集成和工具集成技术分别将五性数据模型、五性流程模型和五性设计与分析软件工具融入数字化研制环境中,最终形成五性一体化协同设计平台,具体实现方式如图 3 所示。

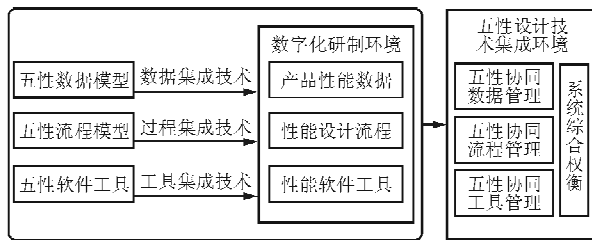


图 3 五性一体化协同设计平台实现方式

Fig. 3 Five qualities integration design environment realization method

(1) 数据集成。在数据建模中,以研制过程中性能与五性设计工作的数据需求及相互关系为基础,梳理并建立其性能与五性协同设计数据模型,同时兼顾其他相关数据集成需求,保证集成环境可应用于不同种类不同型号飞机的研制工作。

(2) 过程集成。在流程模型规划中,以系统工程过程思想为指导,以研制过程为对象进行系统性梳理,同时考虑标准规范中要求的飞机性能与五性工作项目及其相互关系,建立规范化和层次化的性能与五性一体化设计流程模型,保证将这些模型实例化后可牵引和约束不同层次产品、不同阶段、不同产品类别的研制工作。

(3) 工具集成。集成环境提供的五性设计与分析软件工具和数据库按照五性相关国军标及企业行业标准进行设计和开发,可应用于支持开展各种层次的五性设计分析工作。

3.4 关键技术

五性一体化协同设计平台需要解决和突破的关键技术主要包括数据关联与模型构建技术、流程建模与配置和软件工具集成接口开发与配置。

(1) 数据关联与模型构建技术。实现飞机五性一体化协同设计平台的关键是在研制全过程中保证设计数据充分共享,在此过程中需要保证数据

的完整性、一致性、可追溯性以及数据安全性。由于缺乏对五性设计的考虑,现有数字化研制环境数据模型主要反映性能设计数据,不能支持性能与五性设计数据的交换与集成,因此建立考虑五性设计特性的数据模型并在数字化研制环境下实现产品化是技术关键。开展性能与五性一体化协同设计,必定涉及到大量的性能以及五性工作项目,从而带来数据建模的复杂性。这种复杂性一方面表现在所需描述的数据对象类型与数量异常庞大,另一方面表现为数据关系的复杂性。因此,需要深入调研性能与五性协同设计中的数据交换与集成需求,分析并明确各项性能与五性设计工作的数据需求及相互关系。在此基础上,采用各类建模技术构建支持全系统、全特性、全过程的性能与五性协同设计数据模型。

(2) 流程建模与配置。目前,五性设计工作项目仍未能很好地融入到以性能设计为主的研制过程,对在研制过程中选择哪些五性工作项目,何时开展这些工作项目以及如何开展这些工作项目仍缺乏系统全面的认识。另一方面,现有飞机研制过程改进与重组虽然取得了一定的发展,但主要集中在缩短研制周期,降低研制费用,不能很好地描述五性工作项目对研制过程的影响。因此,需要考虑设计主体的分布性、协同性以及设计技术现状等相关特征,以消除设计流程中的冗余和不必要的反馈为目标,将五性工作项目融入到传统研制流程,建立规范化、层次化的性能与五性协同设计流程模型。在数字化设计环境的支撑下,以基于工作项目数据流管理/寿命周期管理技术的协同设计流程模型实例化技术为手段,在五性一体化协同平台中对协同设计流程进行配置和管理,以实现性能与五性协同设计工作的规范和约束。

(3) 软件工具集成接口开发与配置。五性一体化协同平台中需要集成的五性软件工具众多,各软件工具的集成需求不同,且开发平台和语言各异,给集成工作带来了很大的难度和工作量,必须利用柔性高效的集成接口技术。为了兼容各类平台和语言开发的软件工具,首先需要提供具有跨平台能力的 Web Service 接口,同时支持 Windows 平台与 JAVA 平台开发的工具;其次,针对 Windows 平台下三种常用的开发语言,提供三类接口

组件,包括面向 Web 开发、面向 .net 语言和面向 VB/VC 语言的集成接口组件,从而提高集成技术的灵活性,使之能够全面覆盖各种五性软件工具。为了降低软件工具集成的难度和减小集成工作所花费的时间,在深入掌握数字化研制环境底层动态库集成方式的基础上,通过两次面向服务的封装,将数字化研制环境底层 API 函数封装为接口组件,使软件工具集成工作更为柔性高效。

4 结束语

高可靠、好维修、测试快、易保障、保安全已成为军民飞机研制、生产和使用中的普遍要求。通过开展飞机五性一体化协同设计,可以实现五性数据的统一管理,融合五性设计与分析业务信息,保持技术状态的一致性,建立规范的业务流程,整合现有的五性设计与分析软件,把五性工作整合到一个共同的环境中,提高各项业务之间的协同程度和综合权衡能力,并建立起规范化的业务流程;为设计人员提供方便的设计工具和知识库,使设计工具和设计技术可以灵活地适应产品研制的不同变化,提高五性设计品质,加快设计与分析速度,与飞机系统设计达到同步设计、同步优化。

参考文献

- [1] 杨为民. 可靠性维修性保障性总论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
Yang Weimin. Reliability maintainability & supportability generalization [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1995. (in Chinese)
- [2] 龚庆祥, 顾振中, 宋占成, 等. 飞机设计手册: 第 20 册 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1999.
Gong Qingxiang, Gu Zhenzhong, Song Zhancheng, et al. Aircraft design manual: No. 20 [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [3] 肖慧鑫, 王静滨. 武器装备可靠性维修性保障性发展研究 [J]. 国防科技, 2006(6): 78-81.
Xiao Huixin, Wang Jingbin. Weapon reliability & maintainability & supportability development research [J]. Defense Science and Technology, 2006(6): 78-81. (in Chinese)
- [4] 许萌, 李执力, 王鹏. 武器装备的“五性”工作研究 [J]. 国防技术基础, 2009(9): 26-29.
Xu Meng, Li Zhili, Wang Peng. Five qualities work studies for weapon [J]. Technology Foundation of National Defence, 2009(9): 26-29. (in Chinese)
- [5] 尤琦, 任和, 王敏芹, 等. 民用飞机 RMS 业务与信息管理系统框架设计 [J]. 质量与可靠性, 2012(6): 48-52.
You Qi, Ren He, Wang Minqin, et al. Research on reliability & maintainability & supportability work and data management integration design of civil aircraft [J]. Quality and Reliability, 2012(6): 48-52. (in Chinese)
- [6] Bill Moore, Tom Edwards. Future combat system(FCS) reliability, maintainability, and supportability requirement' development, an in-process review [J]. RMS Partnership Newsletter, 2003(7): 2-10.
- [7] Innovations in collaborative modelling and simulation to deliver the behavioural digital aircraft [C]. CRESCENDO (Collaborative & Robust Engineering using Simulation Capability Enabling Next Design Optimisation) forum, France; Toulouse, 2012.
- [8] Bombardier Aerospace. Bombardier EDSE selected as world standard [J]. Bombardier Aerospace Regional Aircraft Regional Update, 2000, 13(2): 7.
- [9] 宋太亮, 朱美娟, 等. GJB 450A 装备可靠性工作通用要求 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2004.
Song Tailiang, Zhu Meixian, et al. GJB 450A General requirement for materiel reliability program [S]. Beijing: The General Armament Department of Military Standard Publishing Department, 2004. (in Chinese)
- [10] 郝建平, 工松山, 等. GJB 368B 装备维修性工作通用要求 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2009.
Hao Jianping, Gong Songshan, et al. GJB 368B General requirements for materiel maintainability [S]. Beijing: The General Armament Department of Military Standard Publishing Department, 2009. (in Chinese)
- [11] 苏多, 刘欣, 等. GJB 900A 装备安全性工作通用要求 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2012.
Su Duo, Liu Xin, et al. GJB 900A, General requirements for materiel safety program [S]. Beijing: The General Armament Department of Military Standard Publishing Department, 2012. (in Chinese)
- [12] 张宝珍, 曾天翔, 等. GJB 2547A 装备测试性工作通用要求 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2012.
Zhang Baozhen, Zeng Tianxiang, et al. GJB 2547A General requirement for materiel testability program [S]. Beijing: The General Armament Department of Military Standard Publishing Department, 2012. (in Chinese)
- [13] 俞滔, 章引平, 等. GJB 3872 装备综合保障通用要求 [S]. 北京: 国防科工委, 1999.
Yu Zhao, Zhang Yinping, et al. GJB 3872 General requirements for materiel integrated logistics support [S]. Beijing: The Industry of National Defence Science and Technology Committee, 1999. (in Chinese)
- [14] 徐杰. 武器装备发展的可靠性、维修性和保障性 [J]. 船电技术, 2012(3): 45-46.
Xu Jie. Reliability, maintainability and survivability of the

- [4] 黄博. CATIA 有限元分析模块实例教程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007: 1-10.
Huang Bo. Tutorials of CATIA finite element examples [M]. Beijing: China Communications Press, 2007: 1-10, (in Chinese)
- [5] 刘相新, 孟宪颐. ANSYS 基础与应用教程[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 97-102.
Liu Xiangxin, Meng Xianyi. Tutorials of ANSYS basis and application[M]. Beijing: Science Press, 2005: 97-102. (in Chinese)

作者简介:

金加奇(1978—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机先进工艺装备。

史怀玺(1988—),男,助理工程师。主要研究方向:飞机先进工艺装备。

刘一桥(1989—),男,助理工程师。主要研究方向:飞机先进工艺装备。

(编辑:马文静)

(上接第 256 页)

- Journal of Optimization Theory and Applications, 1998, 96 (3): 589-626.
- [9] 沈宏良. 分支突变理论方法及计算飞行力学研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2003.
Shen Hongliang. Research on bifurcation analysis and catastrophe theory methodology, and computational flight mechanics[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2003. (in Chinese)
- [10] 胡海岩. 应用非线性动力学[M]. 北京: 航空工业出版社, 2000: 120-169.
Hu Haiyan. Nonlinear dynamic[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2000: 120-169. (in Chinese)

作者简介:

王爽(1988—),男,硕士研究生。主要研究方向:飞行力学与控制。

唐浩(1972—),男,博士,教授。主要研究方向:飞行器设计、飞行器气动布局。

孔祥骏(1979—),男,博士,工程师。主要研究方向:飞行力学与飞行安全。

(编辑:马文静)

(上接第 262 页)

- weapon equipment[J]. Marine Electric & Electronic Engineering, 2012(3): 45-46. (in Chinese)
- [15] 肖慧鑫, 王静滨. 未来武器装备可靠性维修性保障性发展趋势[J]. 设备管理与维修, 2006(9): 7-9.
Xiao Huixin, Wang Jingbin. The future development trend of reliability & maintainability & supportability of weapon [J]. Equipment Management and Maintenance, 2006(9): 7-9. (in Chinese)
- [16] 谢千跃, 宁书存, 李仲杰. 可靠性维修性保障性测试性安全性概述[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
Xie Ganyue, Ning Shucun, Li Zhongjie. Reliability & maintainability & supportability & testability & safety generality [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012. (in Chinese)
- [17] 康锐, 屠庆慈, 等. 可靠性维修性保障性工程基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
Kang Rui, Tu Qingci, et al. Fundamentals of reliability & maintainability & supportability engineering [M]. Beijing:

National Defense Industry Press, 2012. (in Chinese)

- [18] 丁定浩. 可靠性、维修性、保障性计算机辅助分析设计软件的作用及其应具备的必要条件[J]. 装备质量, 2007(2): 35-39.

Ding Dinghao. Reliability & maintainability & supportability computer aided design software function and essential condition[J]. Materiel Quality, 2007(2): 35-39. (in Chinese)

作者简介:

严拴航(1979—),男,工程师。主要研究方向:飞机可靠性、安全性设计与分析。

梁力(1968—),男,研究员。主要研究方向:飞机四性与综合保障。

薛海红(1976—),男,高级工程师。主要研究方向:飞机可靠性、安全性设计与分析。

(编辑:赵毓梅)