

基于 HWME 的宇航元器件应用验证综合评价研究*

Application Verification Evaluation of EEE Part for Space Based on HWME

西北工业大学管理学院 陈玲丽 郭鹏 张果
中国空间技术研究院 范晓明

[摘要] 在分析宇航元器件应用验证综合评价复杂性的基础上,研究了从定性到定量的综合集成研讨厅在宇航元器件应用验证综合评价中的应用,提出了构建宇航元器件应用验证综合评价综合集成研讨厅的总体思路、基本框架结构及实施途径。在强调该框架集计算机技术、评价技术、系统工程技术于一体的同时,详细阐述了将专家经验和科学分析相结合的重要性。宇航元器件应用验证是一个开放的复杂巨系统,需要专家以研讨形式参与,因此综合集成研讨厅在这一领域的应用具有广阔的前景。

关键词: 宇航 元器件 应用验证 复杂性 综合集成研讨厅

[ABSTRACT] Based on the analysis of complexity of AVEEPS (Application Verification Evaluation of EEE Parts for Space), the application of HWME (Hall for Workshop of Meta-synthetic Engineering) is researched and HWME of AVEEPS is given. The general idea, the framework and approaches for HWME is developed. While emphasizing this framework is combined with computer technology, evaluation technology and system engineering technology, the importance of combining the expertise and scientific analysis is elaborated.

Keywords: Space EEE part Application verification Complexity Hall for workshop of meta-synthetic engineering

元器件是核心基础产业的重要组成部分,处于电子信息产业链的前端。航天事业发展的实践说明,宇航元器件的性能、质量与可靠性是航天产品成败的关键因素之一。为了保证航天系统工程的成功率,并确定宇航元器件产品的成熟度和在宇航工程中应用的适用度问题,必须对宇航元器件展开充分的系统化应用验证综合评价方法研究。宇航元器件应用验证综合评价(Application Verification Evaluation of EEE Parts for Space, AVEEPS)特指在元器件的设计、生产阶段和应

用过程中,针对宇航应用的特殊需求,进行的一系列针对性的试验、评估和综合评价等工作,验证元器件是否能够满足宇航应用,应用过程是否适应产品特性。目前,国内外元器件的验证综合评价工作主要集中于元器件的可靠性评价,即对元器件产品、半成品或模拟样片(各种测试结构图形),通过各种可靠性评价方法,如可靠性试验、加速寿命试验和快速评价技术等,并运用数理统计工具和有关模拟仿真软件来评定其寿命、失效率或可靠性质量等级。这种评价方法主要着眼于元器件的固有质量,缺乏从全生命周期的角度考虑对元器件的应用可靠性验证。

本文在遵循钱学森院士创建的系统学提出的综合集成思想^[1-2]的基础上,从AVEEPS的需求出发,通过分析、综合、模拟和综合评价反复迭代,进行多专业综合和多学科协调,分别从AVEEPS综合集成研讨厅的总体思路、集成方法及实施途径进行探讨,最终设计出满足全方位验证综合评价宇航元器件成熟度和可用度的总体优化的系统。

1 宇航元器件应用验证综合评价系统的特征

由于宇航元器件应用验证综合评价系统的特征的特有目标以及宇航元器件的特殊应用,AVEEPS具有明显的大规模复杂系统性特征^[3],主要体现在以下5个方面:

(1) AVEEPS系统是开放的。AVEEPS过程涉及到与外界发生物质、能量及信息的交换,诸如为了得到宇航元器件的某一指标数据,必须送到相关部门,经相关检验人员测算出这一数据。评价人员通过与外界交换物质、能量及信息获得知识,然后再将其用于评价工作。此外,评价人员还会在评价工作过程不断积累经验和知识,促使AVEEPS更加合理、科学。

(2) AVEEPS是巨的。这里“巨”指的不是空间范围上的巨大,而是指AVEEPS系统包含若干子系统,评价要素繁多,牵涉到的知识面广。虽然各个子系统都服务于AVEEPS的整体目标,在时间和空间上表现出一定的有序性和协调性,但各子系统之间却存在着动态的信息流和物质流。

(3) AVEEPS系统是复杂的。首先,由于宇航元器件可应用于不同的航天型号,其关注的指标侧重点也

* 核高基重大专项(2009ZX01025-001-6-113-6),西北工业大学研究生创业种子基金(z2012170)资助。

各有不同,这就增加了 AVEEPS 要素的复杂性。其次,它由许多子系统组成,结构复杂,且关系难以线性化。这就要求在完成整体功能的基础上,展开各个要素及其相互之间的研究论证,形成整体的有机行为,从而构成 AVEEPS 研究的系统性。只有各个子系统关系协调,AVEEPS 才能获得理想的评价结果,因而在 AVEEPS 中必须要强调系统分析,强调系统整体的评价。第三,以指导宇航元器件在整个宇航型号中应用为目的,要求构建的 AVEEPS 能同时适用于多种领域,并且能精确地体现不同被应用验证综合评价对象的差别,这使得对应用验证综合评价效果的度量更加复杂。

(4) AVEEPS 是一个半结构化问题。AVEEPS 指标体系中既存在可以量化的因素,又有不能量化的因素。如生产过程要素评价环节的指标多为定性指标,难以量化描述,只能通过专家经验获取指标数据;而器件的功能和性能、可靠性、系统适应性等器件级、地面级和飞行级的指标多为定量指标,较容易通过试验或精密仪器测量的方式获得精确数据。因而,AVEEPS 是一个以专家经验判断和元器件试验验证数据为依据的综合评价体系,需要综合考虑多种因素,在对宇航元器件应用验证过程进行分析并询问专家意见的基础上,将定量分析和定性分析相结合、主观与客观相结合才可能取得好的效果。

(5) AVEEPS 指标间的不可公度性是 AVEEPS 的又一特点。指标的不可公度性是指指标间由于各自量纲及量级的不同而使得没有明显的、统一的度量标准,既有诸如保障宇航元器件型号研制的生产过程要素指标,又有宇航元器件自身的可靠性指标以及与航天产品的环境相适应等方面的指标。

综上所述,AVEEPS 是一个集开放性、复杂性、半结构性以及不可公度性为一体的巨系统,对这一复杂巨系统进行分析,已不能使用传统的单一性的定量方法。实践证明,综合集成是解决开放的复杂巨系统问题的有效的系统科学方法^[4-8]。

2 AVEEPS 综合集成研讨厅的总体思路

为更好地解决复杂巨系统问题,钱学森在 1989 年提出了从定性到定量综合集成的研讨厅的方法^[9-10],即以综合集成方法论为指导,以研究“开放的复杂巨系统”和解决复杂问题为目的的决策支持系统,由专家体系、机器体系和知识体系 3 个部分构成。

应用综合集成法,将 AVEEPS 理论与宇航元器件验证技术的专家研讨厅相结合,按分布式交互结构,建立一个完整的“AVEEPS 综合集成研讨厅”。总体思路是:在已有的评价模型、评价方法及指标数据的基础上,根

据 AVEEPS 的需要和未来航天工程发展的需要,集中大量的元器件专家、航天工程专家,以及宇航元器件应用验证所涉及到的各个领域内的专家组成研讨集体、协同工作,对 AVEEPS 的各项内容进行研讨,得出科学的验证结论。

2.1 专家体系

由 AVEEPS 相关方面的专家组成,包括元器件制造专家、元器件保证专家和元器件应用专家,既包括技术专家,也包括管理专家。专家库中记录每个专家的详细资料,包括年龄、性别、教育程度、专长等,供组建专家工作小组时参考。

在 AVEEPS 工作中存在着大量人的活动,很大程度上都依赖于专家的参与,包括宇航元器件应用验证指标体系构建与优化研究、指标权重研究、综合评价模型构建、判断体系研究、综合评价系统开发等。他们采用集体-团队的工作方式,逐渐形成对 AVEEPS 具有创新价值的定性判断,这个过程是 AVEEPS 综合集成研讨厅的关键。

2.2 知识体系

AVEEPS 综合集成研讨厅的知识体系主要是由宇航元器件应用验证涉及到的相关人员的经验知识、感性知识,相关应用技术、技术科学、基础科学,以及系统工程思想和智慧这 3 个层次的知识构成,是多维、多层、多面和动态发展的^[11]。具体而言由知识库、方法库、模型库、数据库和文档库组成,核心部分是知识库及其管理系统。模型库中包含有系统评价方法,运筹学和其他数学方法,如德尔菲法、层次分析法、模糊综合评价法、数理统计法、信息熵评价法以及组合评价模型等。

2.3 机器体系

这里的机器体系主要以构建 AVEEPS 决策支持系统为主,包括数据采集、信息加工、数据挖掘、综合评价等,提供指标优化选取、指标权重确立、相应模型建立、评价过程模拟,以及调用各种信息资源和分析工具,为 AVEEPS 提供应用平台和决策支持,是支撑不同领域的专家协同工作的支撑环境或“工作体”,也就是所谓的“厅”^[12]。

该机器体系支持 AVEEPS 系统所需要的各种资源基础,如指标数据和信息资源、知识资源、模型体系、方法与算法体系等。特别是在人、机交互过程中,该机器体系应具有更强的动态支持能力和智能决策能力,如根据元器件的验证综合评价阶段不同,实时形成相应的指标体系、实时优化、建立评价模型和模型集成,同时还能结合评价数据最终给出评价结论的定性描述。

最终构建出的 AVEEPS 综合集成研讨厅的概念模型如图 1 所示。

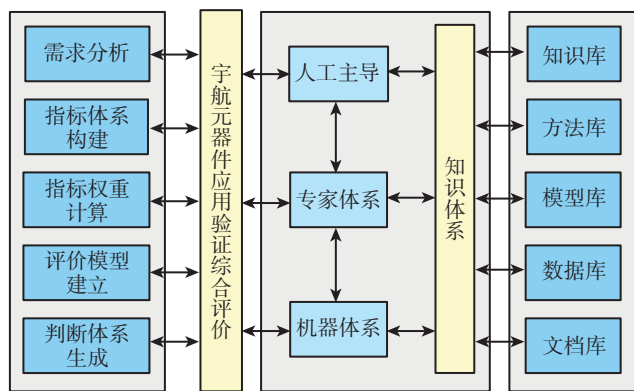


图1 宇航元器件应用验证综合评价综合集成研讨厅的概念模型
Fig.1 Conceptual model of HWME of AVEEPS

3 实施途径

3.1 专家体系的构建

能否选择出科学合理的专家组,是影响元器件应用验证综合评价结果的重要因素。不仅要考虑专家构成的合理知识结构,同时还要考虑到部门结构、年龄结构等问题。此外,由于应用验证的宇航元器件不同,专家体系的结构也不一样,因此专家体系的结构必须是动态变化的。

专家遴选方法研究正是为构建专家体系而开展的一项科学研究工作。如何确定评估专家的遴选范围构建专家库、如何从专家库中遴选评估专家以及如何对评估专家的业绩进行评价和管理是专家遴选方法研究的重要任务。其中,如何为元器件应用验证综合评价课题,通过科学、合理的方法遴选出准确、有效的评估专家是构建专家体系的重点和难点所在。专家遴选的总体研究思路为“专家入库→层级划分→项目评价→专家综合评价→动态调整”,如图2所示。

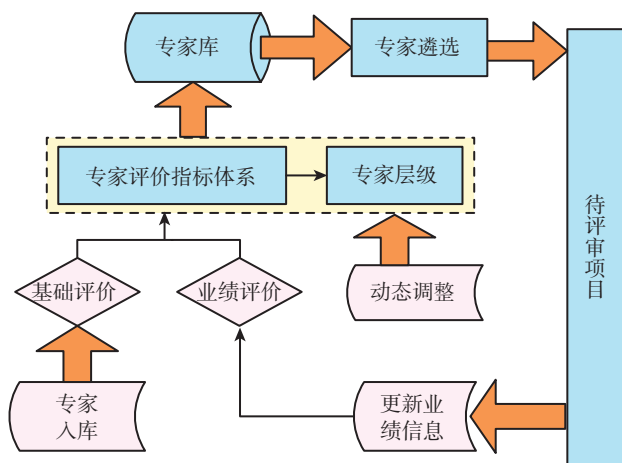


图2 专家遴选的总体研究思路图
Fig.2 General design for expert selection

3.2 知识体系的构建

知识体系的构建^[13],包括从定性综合集成提出经验性判断的定性描述,到定性定量相结合综合集成得到定量描述,再到从定性到定量综合集成获得定量的科学结论。

(1) 定性综合集成。

对 AVEEPS 过程中所需要的一些经验型判断、评价指标体系的确定、评价指标数据的采集以及元器件评价结论的给定等工作,通常不是一个专家或一个领域的专家群体所能提出或给出的,它需要专家体系中不同学科、不同领域的专家通过反复研讨、不断梳理,从不同层次(自然的、社会的、人文的)、不同方面(功能性能、可用性、适用性)和不同角度(飞行阶段、地面阶段、器件级阶段)去研究 AVEEPS 方法过程,相互启发和激活,最终获得全面的共识。通过研讨,形成初步的经验性指标体系和判据体系框架,包括指标体系中各个指标的名称、属性值和说明,判据体系中的主体、客体和构成要素。

(2) 定性定量综合集成。

定性综合集成所形成的初步经验性指标体系和判据体系方案只是处于定性描述,为了用严谨的科学方式去优化指标体系和经验性判据体系,需要量化处理,包括指标的优化、指标权重的建立和判据的量化给定。实现这一步的关键是定性定量相结合的综合集成,可利用机器体系中的丰富资源和定量处理信息的强大能力,通过建模和运算等方式来完成。同时还需要专家的智慧对现有模型进行适用性改造,把数学模型和计算机模拟结合起来尽可能地逼近 AVEEPS 的实际问题,其逼近的程度取决于 AVEEPS 的精确要求。

(3) 定性到定量的综合集成。

在定量描述的基础上再一次定性定量综合集成,专家们有可能从新的定量信息中获得对 AVEEPS 方法原有认识的证明或者重新生成新的综合评价方案和对判据正确的定量结论,这也就完成了从定性到定量的综合集成。但这个过程需要反复多次,在一次又一次得到新的验证综合评价方案和判据的基础上,专家们会提出新的修正意见和决策方案,然后再把专家们的经验、知识和智慧融进到新的建议和方案之中。通过人机交互、反复比较、逐次逼近,直到专家们能从定量描述中证明和验证了评价方案、指标体系和判据体系的正确性,获得了满意的定量结论,这个过程也就结束了。这时的结论已从定性和定量相结合上升到定性到定量的阶段,不再是经验性判断,而是经过严谨论证的科学结论,这个结论是最终对 AVEEPS 方法和判据的确定。如果定量描述否定了原来的经验性判断,则要提出新的经验性判断,再重复上述过程^[14]。

3.3 机器体系的构建

李耀东等人^[15]长期开展综合集成研讨厅的具体化与实用化的工作,经过多年的探索和实践,已经从硬件和体系结构上实现了综合集成研讨平台。结合本课题实际,采用分布关联式的大系统体系结构,以多媒体技术、信息融合技术、综合集成技术、网络技术、数据库、评价方法模型库、知识库为基础,以综合集成的思想和方法为指导来进行系统设计,并且要有很好的可扩展性、可维护性、智能性、结构健壮性及通用性。

从具体技术角度上课题组最终搭建的机器体系主要包括:在微机环境下建立 Windows 网络操作系统;软件开发以 Visual C 和 C++ 语言为主,数据库采用 Oracle 开发;利用 PowerDesigner 工具构建后台数据库;使用可视化开发方法进行系统菜单设计和操作界面设计,实现人机交互^[16];以 Visual Studio 2008 为开发平台,编程实现各模块功能;使用面向对象软件开发方法中的 MVC 三层架构将系统的界面层、业务逻辑层、数据层分开,降低系统耦合度,提高代码可移植性和系统的可维护性;采用软件重用和组件连接的方法,将系统最终用户可能用到的一些常用工具集成到系统中,提高系统的可用性;最后得到系统初始版本。

4 结束语

本文在对 AVEEPS 问题分析的基础上,提出了 AVEEPS 综合集成研讨厅,强调螺旋式推进和其质变过程,研究的最终目的是为了解决 AVEEPS 问题。AVEEPS 综合集成研讨厅的提出对宇航元器件是否满足特定的工程应用问题给出科学、客观的评价结果起到了一定的帮助作用,实践也证明将综合集成研讨厅应用于 AVEEPS 工作具有很强的理论价值和应用价值。

参考文献

[1] 于景元. 钱学森综合集成体系. 西安交通大学学报, 2006, 26(6):40-47.
 [2] 于景元, 周晓纪. 从综合集成思想到综合集成实践. 管理学报, 2005, 2(1):4-10.
 [3] 于景元, 刘毅, 马昌超. 关于复杂性研究. 系统仿真学报, 2002, 14(11):1417-1424.
 [4] 王慧敏, 唐润. 基于综合集成研讨厅的流域初始水权分配群决策研究. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(4): 42-45.
 [5] 徐玖平, 卢毅. 地震灾害系统分析与评估的综合集成模式. 系统工程理论与实践, 2009, 29(11):1-18.
 [6] 周剑, 朱耀琴, 唐卫清. 基于综合集成研讨厅的武器装备系统综合. 系统工程理论与实践, 2010, 30(8):1492-1499.
 [7] 李元左. 关于空间军事系统综合集成研讨厅体系的研究. 中国软科学, 2000(3):12-14.
 [8] 魏法杰, 周艳. 综合集成研讨厅在条件保障项目评价中的应

用研究. 管理学报, 2004, 1(3):363-368.

[9] Yu J, Zhou X, Feng S. Man-machine collaborated knowledge creation in HWMSE. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2005, 14(4):462-475
 [10] 于景元, 周晓纪. 从定性到定量综合集成方法的实现和应用. 系统工程理论与实践, 2002, 22(10):26-32.
 [11] 苗东升. 系统科学精要. 北京: 中国人民大学出版社, 1998.
 [12] 于景元, 周晓纪. 综合集成方法与总体设计部. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(1): 20-26.
 [13] 顾基发. 意见综合—怎样达成共识. 综合集成与复杂系统专辑, 2001, 16(5):340-348.
 [14] 熊才权, 李德华. 综合集成研讨厅共识达成模型及其实现. 计算机集成制造系统, 2008, 14(10):1913-1918.
 [15] Li Y, Dai R. Framework for a man-computer cooperative information retrieval system for on-line discussion systems. International Journal of Computer Processing of Languages, 2007, 17(4):273-286.
 [16] 戴超凡, 王明利. 研讨信息交互式可视化平台设计与实现. 计算机工程, 2010, 36(14):238-240.

(责编 亦非)

(上接第 62 页)

通过 Catia 中 DMU 运动机构的分析, 该机构能够在上面的空间中进行姿态调节, 这对理论设计进行了很好的验证。

4 结论

结论表明, 该设计能够在一定的空间范围内进行任意姿态的调节, 即能够在一定空间区域内对各处曲率不同的薄壁零件进行装夹, 从而为此类零件的机加工难装夹问题的解决提供了一种可行方案。

参考文献

[1] 淮妮, 张小粉, 白瑀. 薄板类零件夹具的设计. 价值工程, 2012(2):191-201.
 [2] 韩志仁, 戴良景, 张凌云. 飞机大型蒙皮和壁板制造技术现状综述. 航空制造技术, 2009(4):64-66.
 [3] 欧阳洁, 聂玉峰, 车刚明等. 数值分析. 北京: 高等教育出版社, 2009.

(责编 亦非)

(上接第 66 页)

2 版). 北京: 国防工业出版社, 2005.
 [3] 陈思羽, 龙泽明. 数控机床系统增益对进给伺服系统的影响. 机械工程师, 2008(1):45-46.
 [4] 张萌. 数控机床运动误差检测与分析[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2008.
 [5] 孙建仁. 数控机床进给伺服系统特性影响加工精度的分析. 兰州理工大学学报, 2004, 30(3):45-47.
 [6] 孙兴伟, 董蔚, 王可, 等. 数控机床零件轮廓加工精度的分析与控制. 制造技术与机床, 2010(1):61-63.
 [7] 朱年军, 王可, 崔海. 数控伺服系统跟随及轮廓误差分析. 机床与液压, 2006(10):20-21, 23.

(责编 深蓝)