

基于仓储模块库的模块化航天器应用体系研究

贺广松¹, 李新洪¹, 张华², 王谦¹

(1. 航天工程大学, 北京 101416; 2. 北京航天飞控中心, 北京 101416)

摘要: 为了提高我国空间快速响应能力, 增强空间信息支援能力; 以模块化航天器为基础, 立足快速响应, 提出了基于仓储模块库的模块化航天器应用体系; 首先明确模块化航天器应用体系实施流程, 然后对模块化航天器应用体系的能力需求进行分析, 之后总结模块化航天器应用体系的关键技术, 最后提出模块化航天器应用体系发展规划的建议; 在体系研究设计过程中要结合建模仿真技术, 旨在实现基于仿真的快响 (Simulation Based Quick response, SBQR), 通过建模仿真技术完善体系机制, 达到体系应用最佳化, 时效化; 对模块化航天器应用体系的总体设计已经完成, 总体思路十分清晰, 之后要加强对基于仿真的快响的研究; 该体系的研究对于提高我国空间信息支援能力具有重大意义。

关键词: 模块化航天器; 仓储模块库; 建模仿真; 应用体系

Modular Spacecraft Application System Based on Warehouse Module Library

He Guangsong¹, Li Xinhong¹, Zhang Hua², Wang Qian¹

(1. Aerospace Engineering University, Beijing 101416, China;

2. Beijing Aerospace Flight Control Center, Beijing 101416, China)

Abstract: In order to improve the ability of rapid response in space and enhance the ability of spatial information support. Based on the modular spacecraft, a modular spacecraft application system based on Warehouse Module Library is proposed. Firstly, clear the implementation process of modular spacecraft application system, then, analyze the capability requirements of the modular spacecraft application system, then, summarizing the key technologies of the modular spacecraft application system, finally, some suggestions on the development plan of modular spacecraft application system are put forward. In the research process, the modeling simulation technology is used to realize the Simulation Based Quick response, through modeling and simulation technology to improve the system mechanism and achieve system application optimization and aging. The overall design of modular spacecraft application system has been completed, the overall idea is very clear, then, should strengthen the research of the Simulation Based Quick response. This system is of great significance for the improvement of space information support ability.

Keywords: modular spacecraft; warehouse module library; modeling and simulation; application system

0 引言

“制高点”这一词, 我们并不陌生, 现代社会, 随着科学技术的飞速发展, “制高点”可不再是指山头、高地, 而是高新技术的产物—航天器, 无论是现代战争还是应急救援, 航天器的运用越来越广泛, 利用这一空间资源获取空间信息已成为一种趋势。所以这就对航天器的快速信息支援能力提出了很高的要求。

航天器按照其应用方式不同可以分为一体式设计的传统航天器和基于模块化理念的新型航天器。模块化航天器功能独立、物理独立, 通过标准接口集成在一起, 实现整个航天器系统的功能^[1]。传统航天器主要解决传统航天任务, 即非突发情况, 按照正常的目标需求进行设计研制; 模块化航天器主要应用在应急突发任务中, 按应用需求可分为在轨模块更换和快速响应空间, 其中快速响应空间按实现方式可以分为在轨快速机

动和快速发射两种应用模式^[2]。本文重点研究快速响应空间快速发射应用模式, 提出了基于仓储模块库的模块化航天器应用体系, 该体系的运用, 可以针对不同突发任务, 以仓储模块库为基础进行模块化航天器快速组装应用, 达到迅速提升我国空间信息支援能力的目的。

1 基于仓储模块库的模块化航天器应用体系实施流程

我国周边环境日益复杂, 同时还要担负应急救援任务, 这就对空间信息支援能力有着很大要求。现有航天器无法满足人员对实时状况需求, 需要具备短时间内, 快速发射卫星进入空间, 增强空间信息支援的能力, 然而这种能力是传统航天器所不具备的^[3]。

传统航天器应用体系和基于仓储模块库的模块化航天器应用体系流程如图 1、2 所示。

传统航天器应用体系也就是人们最熟悉的设计应用方式, 其中心思想就是针对具体任务进行分析与设计, 故航天器与实际任务需求贴合度强, 效果好。但是这种设计思想也有不足之处:

首先, 只能满足单一任务需求, 不能满足多任务需要, 使用范围受限。其次, 此类航天器的功能固化, 不能满足突发性

收稿日期: 2017-10-19; 修回日期: 2017-11-08。

作者简介: 贺广松(1992-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士, 主要从事航天器应用技术方向的研究。

李新洪(1972-), 男, 陕西西安人, 博士, 教授, 主要从事航天器设计与应用方向的研究。

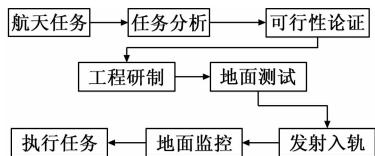


图 1 传统航天器应用体系流程图

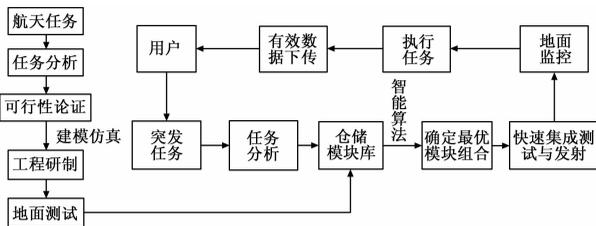


图 2 基于仓储模块库的模块化航天器应用体系流程图

务需要，一旦有应急任务出现需要进行空间能力的补充或者增强，这类早已经设计好的航天器难以胜任。最后，传统航天器完成周期长，不能满足现代化应急任务需要，时效性差，如果不能快速进行空间力量支援，那么一切都没有意义，若还是想按照传统设计方式完成快速响应任务，那么其空间信息时效性肯定不会得到满足。

所以针对上述问题，本文设计了基于仓储模块库的模块化航天器应用体系，该体系可分为两部分，第一部分为建立仓储模块库，第二部分为面向快响任务的仓储模块库应用。

1.1 仓储模块库建立

首先对建立仓储模块库的关键环节进行说明：

1.1.1 航天任务

这里指的航天任务不是凭空假设的任务，而是以我国当今周边环境和世界格局为依据选取的具有代表性的典型任务，对这些任务进行分析，根据任务需求得到系列化的仓储模块，形成仓储模块库。

1.1.2 任务分析与可行性论证

任务分析就是提取用户需求，也就是把用户需求目标转化成能够实现这一目的的航天器技术语言和技术参数。本文对所选择的任务进行分析，通过分析得到所需航天器的关键设计参数。可行性论证是指对初步得到的方案进行分析，验证其可行性，可行性得到通过，意味着航天任务分析阶段已经完成^[4]。

本文主要通过建立模型，模型仿真的方法进行可行性论证，同时求出关键子系统模块或部件的设计标准。由于本文考虑的是多种航天任务，所以多次仿真后会得到同一子系统模块或同一部件的不同设计参数，以相同模块或部件参数的取值范围为依据进行综合考量，设计不同子系统模块或部件的系列化种类和数量。

设计工作完成后，就可以开始工程研制和地面测试，形成仓储模块库。

1.2 仓储模块库应用

面向快响任务的仓储模块库应用是基于仓储模块库的模块化航天器应用体系的重要部分，该体系第一部分建立了仓储模块库，基于第一部分，下面我们就来分析面向快响任务的仓储模块库应用。

面向快响任务的仓储模块库应用使得航天器的应用慢慢地

从“设计研制为核心”向“用户需求为核心”的模式转变，这不单单是设计方式的改变，而是整个卫星应用体系的改变。以“用户需求为核心”的观点中，航天器设计人员不是设计制造一个固化的航天器，而是生产一种半成品，由用户需求来决定这些半成品最后的组装方式。这种应用理念可以大大地提高任务响应效率，缩短航天器快速发射时间，众所周知，响应时间将直接影响快响任务的成败。

下面对面向快响任务的仓储模块库应用流程进行说明。为了使说明效果更加直观，本文借鉴了美军 DoDAF 体系结构设计方法，参考高级作战概念图 (OV-1) 对需要完成任务的方式，地点，对象等进行描述，给出了重要的任务节点^[5-6]，如图 3 所示。



图 3 执行任务概念图

1.2.1 用户单元

用户单元是任务的发起者，也是最终有效数据的接收者。当发生突发任务时，用户单元会根据不同的情况提出不同的任务需求。

1.2.2 任务中心

任务中心的职能是分析用户单元的任务需求，把用户的需求转化为航天器的设计依据，从而提出航天器的设计方案。以本文为例，要确定模块选择以及要对所执行方案进行仿真验证。

1.2.3 仓储模块库

仓储模块库是存储模块化航天器各个模块的地方。对任务需求确定无误后就要到模块库中通过智能算法进行筛选提取相应模块进行模块化航天器的快速构建，仓储的模块要确保“无故障，可使用”，这就给模块库的日常管理提出了很高的要求。

1.2.4 发射阵地

这一步骤不仅要完成模块化卫星的发射，在这之前还要完成航天器的快速集成测试以及航天器与运载器的集成测试。

1.2.5 测控中心

测控中心要对在轨执行突发任务的模块化航天器进行实时测控。

1.2.6 地面数据处理

地面数据处理就是将执行任务卫星的下传数据进行接收和处理，并将有效信息发送给用户单元，从而构成完整的执行任务过程。

基于仓储模块库的模块化航天器应用体系是建立在建模仿真的基础上的，无论是仓储模块库的建立，还是模块化航天器快速构建都要应用到建模仿真，这与美国提出的基于仿真的采办 (Simulation Based Acquisition, SBA) 思想不谋而合，即是一种基于仿真的快速响应 (Simulation Based Quick response, SBQR)。SBQR 在保证了航天器性能的前提下，缩短项目开发

周期,降低开发成本和风险。所以说,SBQR 的重要价值除了在于它是一种技术上的创新应用,还在于它是一种思想理念和工作方式的变革。

2 基于仓储模块库的模块化航天器应用体系能力需求

为了保障基于仓储模块库的模块化航天器应用体系能够顺利进行应用,需要对该体系进行能力需求分析。从“能力需求”出发,是基于仓储模块库的模块化航天器应用体系设计的立足点,也是今后该体系进行效能评估的重要参考指标。

“基于能力需求”要求从该体系的总体去把握,考虑系统应具备何种最基础的能力。基于仓储模块库的模块化航天器应用体系按能力需求分析的基本思路是:第一,明确任务目标确定任务需求,熟悉执行任务过程。第二,对完成任务的操作流程进行分解,提出保证各个步骤能够顺利实施的能力需求。第三,对得到的多种能力需求进行综合分析,并确定体系能力需求。

基于仓储模块库的模块化航天器应用体系任务过程划分及能力需求关系如图 4 所示^[7]。

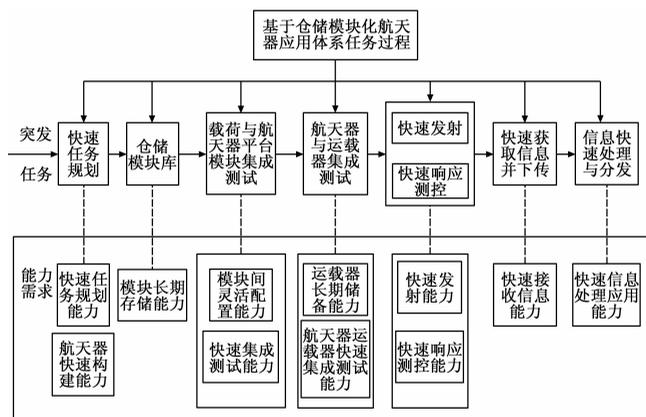


图 4 基于仓储模块库的模块化航天器应用体系任务过程划分及能力需求关系图

如图 4 可知,基于仓储模块库的模块化航天器应用体系任务过程主要包括八项活动,与之对应十一种能力需求。综合分析上述能力需求,可得基于仓储模块库的模块化航天器应用体系能力需求主要包括以下方面。

1) 快速任务规划能力和航天器快速构建能力。当执行突发任务时,需要任务中心快速对任务作出分析,得到任务需求,明确如何进行模块化航天器快速构建满足任务需求的方案。

2) 模块长期存储能力。仓储模块库是存储航天器模块的仓库,但与一般仓库不同。仓储模块库不仅是存放模块的地方,更是模块进行定期检查、维护、更新的地方,要让各个仓储模块的安全可靠性得到实时的保障,确保始终有完好可用的产品,一旦接收到发射命令,可以迅速投入使用。

3) 模块间灵活配置及快速集成测试能力。模块化航天器模块化,标准化设计准则,保障了模块间可以灵活组合,构造不同功能的航天器,同时即插即用技术的使用使得模块化航天器能够进行快速集成与测试。所以必须要熟练掌握模块化航天

器制造所应用的关键技术,才能满足模块间灵活配置及快速集成测试能力需求。

4) 运载器长期储备与运载器航天器快速集成测试能力。这两种能力与模块长期存储能力和模块化航天器快速集成测试能力相近,这里不再重复。

5) 快速发射和快速响应测控能力。快速发射指的就是快速机动发射技术。为了保障航天器能够顺利发射直至完成任务,地面系统必须对航天器进行快速响应测控,监视其实时工作运行状态,并向航天器发送指令来控制航天器。

6) 快速接收信息与处理应用能力。卫星在轨运行执行任务期间,要将有效数据下载到地面站,同时地面站要将信息进行快速处理,使用户能够及时应用。

3 基于仓储模块库的模块化航天器应用体系关键技术

基于仓储模块库的模块化航天器快速发射是一套全新的航天器应用体系,在此过程中对应了六种能力需求,为了保障新体系能够顺利进行,同时满足体系能力需求,必须明确体系中的关键技术,确保达到体系能力需求要求,保证体系正常运转。体系中的主要关键技术有:模块化技术,标准化技术,即插即用技术,快速机动发射技术。

3.1 标准化技术

模块化航天器标准化技术是指接口实现标准化,即组成航天器的模块以及航天器与地面任务中心之间的接口标准化。其中,模块间接口标准化是应对不同快响任务时航天器快速集成的关键;航天器与地面任务中心的接口标准化是地面对在轨航天器进行快速响应测控以及获取任务信息的基础。同时模块化航天器通过标准接口连接使得模块间耦合度减少,各模块的设计与生产相对独立,节约时间。

3.2 模块化技术

模块化技术是指在航天器设计中把航天器的功能分解到各个功能独立的模块中,使得航天器可由多个独立的标准化模块组件构成,这些模块间能够灵活组合,因此能够组装成实现不同功能,满足不同任务的航天器。模块化是模块化技术的关键,在模块化的过程中要保证模块间接口通用,模块在系统中方便移动。模块化技术使航天器系统装配难度大大降低,把系统的故障限制到每个模块中。

3.3 即插即用技术

即插即用技术是指将设备连入后,不必安装驱动程序,也不需要复杂地设置设备参数,能够对连接的计算机系统自动识别。卫星即插即用技术是指卫星模块间具有标准接口,能够完成自我描述和自动系统配置,该技术建立在标准接口的基础上,通过软硬件两方面协调实现。即插即用技术使航天器集成得到简化并且能够实现自动测试。即插即用技术的应用,使模块化航天器各个模块只要符合设计要求就能够自动连接到系统中,由于模块间彼此互不影响,可以独立地对模块进行并行测试,这样就可以简化复杂的测试过程,提高工作效率。

3.4 快速机动发射技术

快速机动发射技术主要包括机动灵活发射和优化发射流程。发射灵活是航天器进入空间执行任务的重要保证。机动灵活发射方式主要为空中发射和陆基发射,具体采用什么样的发

射方式还要结合实际情况。目前, 虽然我国有 4 个航天发射场, 但是发射能力有限, 很难同时进行多个任务, 所以必须提高机动灵活发射能力, 解决发射工位不足问题, 同时也能够快速提高我国航天器发射能力, 进而增强空间优势。优化发射流程是减少发射时间的主要手段, 包括: 提前完成部分航天器与运载器的测试工作, 减少发射场的测试任务; 应用自动化测试方式, 提高自动化程度; 多流程实施并行作业, 缩短发射准备时间。

4 基于仓储模块库的模块化航天器应用体系发展规划

4.1 改变传统, 加深快响理念

从现代局部战争和应急救援任务中可以明确航天器的应用模式已经和传统应用模式有着显著不同。在争夺空间优势和提高空间信息支援能力方面注重航天器的快速响应, 快速响应是美国在 2003 年提出的^[8], 其目的就是为现场指挥官提供快速进入和利用空间的能力, 所以要改变思路, 加快快速响应理念推广。我国对此研究较晚, 不可避免会遇到大量困难, 这种情况下, 要加大模块化航天器快速响应理念的宣传和应用, 普及快响的知识和典型案例, 使快响得到重视, 同时把基于仓储模块库的模块化航天器应用体系运用到快响中, 以期达到快速提升空间信息支援能力的目的。

4.2 基于仿真, 提高体系能力

现代战争和应急任务的成败与空间信息支援能力的强弱密不可分。毋庸置疑, 快速响应技术将影响空间信息支援能力。无论是从对外作战还是对内应急任务来看, 我国必须提高快速响应能力, 拥有迅速夺取空间优势的实力。本文体系结构就是以此提出的, 以仓储模块库和模块化航天器构建为重点研究内容。但是, 和平时期国家要综合持续发展, 军费有限, 在生产过程中应避免无谓的浪费^[9]。因此, 快响必须以仿真为依托, 即基于仿真的快响 (SBQR)。通过对模块和模块化航天器构建进行仿真, 可以很大程度上节约时间, 节省经费, 提高体系能力, 仿真技术的应用有很高的实际价值。

4.3 打牢基础, 完善设施建设

基于仓储模块库的模块化航天器应用体系是新的概念, 在实施过程中要打牢基础, 完善设施建设。从我国发射场现有资源来看, 发射工位数量少, 应急发射设施不完整, 不能完全地保证航天器快速发射。其次, 模块化航天器并行测试能力不足, 自动化程度差, 所以为了缩短航天器快速测试时间, 要完善并行测试设施, 提高并行测试技术。今后, 还要建立自主的

(上接第 202 页)

[5] 程建峰. 基于 Multisim 的多功能 8 路抢答器的设计与仿真 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2015 (01): 31-34.

[6] 封伯燕. 8 路抢答器的制作原理及制作过程 [J]. 重庆三峡学院学报, 2012, 28 (03): 69-71.

[7] 黄育雁. 智力竞赛抢答器逻辑电路的设计 [J]. 硅谷, 2012 (6): 56, 33.

[8] 刘秋霞. 数字抢答器的设计 [J]. 数字技术与应用, 2012 (3): 118-120.

[9] 刘文武. 基于 Multisim 10 的 16 路竞赛抢答器设计与仿真 [J]. 现代电子技术, 2011 (23): 178-181.

[10] 郭 变. 基于 Multisim8 的 8 路抢答器的设计与仿真 [J]. 科学技

地面支撑系统和便携的用户终端, 同时逐步提高设施建设水平。

4.4 统筹规划, 努力开拓创新

我国快速响应研究工作起步较晚, 本文提出的模块化航天器应用体系又较为新颖, 所以该体系的实现是十分困难的。由于我国在技术, 经费, 资源等客观条件上同发达国家还有差距, 故要做到统筹规划, 循序渐进, 逐步实施, 开拓创新, 力争提高我国基于仿真的快响能力, 完善快速发射设施建设。新体系的实施需要借鉴国外先进经验, 但更重要的是要立足于我国国情, 结合实际情况, 开拓创新, 掌握核心技术, 这样才能更好的服务于我国空间信息支援建设工作。

5 结束语

基于仓储模块库的模块化航天器应用体系是快速增强空间信息支援能力的全新模式, 通过建立仓储模块库和快速构建模块化航天器来实现整个体系的功能。在整个体系流程中贯穿建模仿真技术, 基于仿真的快响 (SBQR) 可以最大程度的整合资源, 提升能力, 降低成本。今后的研究中, 应该借鉴美国 SBA 体系结构进行仿真软件, 基础设施和相关工作的研究, 为提高我国快速响应能力和空间信息支援能力打下坚实的技术基础。

参考文献:

[1] 陈小前, 袁建平, 姚 雯, 等. 航天器在轨服务技术 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 2009.

[2] 李新洪, 张永乐, 姜 南. 模块化航天器应用需求及应用体系 [J]. 装备学院学报, 2014 (8): 70-74.

[3] 赵丽娜. 运载火箭快速响应技术发展研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013: 32-33.

[4] 谭维织, 胡金刚. 航天器系统工程 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2009.

[5] 张少兵, 郭忠伟, 钱晓进, 等. 基于 DoDAF 的防空兵指挥信息系统作战体系结构 [J]. 兵工自动化, 2011 (3): 18-20.

[6] 高 昂, 王增福, 赵慧波, 等. DoDAF 体系结构分析 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2011 (10): 461-466.

[7] 高永明, 吴珏飞, 等. 快速响应空间体系与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

[8] 陈茂良, 李家祥. 快速响应的空间能力: 基于美军 ORS 计划的思考 [J]. 航天航空技术, 2008 (9): 42-50.

[9] 周振浩, 曹建国, 王行仁. 基于仿真的采办 (SBA) 研究与应用对策 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15 (9): 1261-1264.

[10] 李 杰, 王 强. 基于仿真的快速响应空间体系构建理论与工程 [J]. 计算机工程, 2012, 12 (10): 2446-2449.

[11] 罗映祥. 基于 Multisim9 的智能抢答器的设计与仿真 [J]. 微机计算机信息, 2010, 26 (25): 175-176.

[12] 胡 钰. 八路抢答器的设计与优化 [J]. 信息系统工程, 2015 (11): 47.

[13] 马雪涛. 8 路抢答器的设计与仿真 [J]. 石家庄职业技术学院学报, 2014, 26 (06): 53-55.

[14] 罗映祥. 基于 Multisim9 的智能抢答器的设计与仿真 [J]. 微机计算机信息, 2010, 26 (25): 175-176, 192.

[15] 康丽杰, 康 迪. 基于单片机的 8 路抢答器简单设计 [J]. 信息系统工程, 2010 (2): 60-61.