

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.10.001

引用格式:黄欣.快速响应卫星载荷体系化建设思路[J].电讯技术,2014,54(10):1321-1325.[HUANG Xin. Systematism Construction Idea for Operationally Responsive Satellite Payload[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(10):1321-1325.]

快速响应卫星载荷体系化建设思路*

黄欣**

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:美国的快速响应空间计划通过体系路线的发展方式已取得了系列研究突破,为我国开展快速响应空间研究提供了借鉴。为实现快速响应的需求,卫星载荷在设计思路、研发模式等方面必须转变。依据体系结构设计的 3 个视角,分别从快速响应卫星载荷的作战需求、系统设计和技术发展三方面提出了建设思路,并预期了载荷按体系化思路建设的快速响应效果,各阶段的时间周期均可减少 50% 以上。

关键词:快速响应卫星载荷;体系结构;快速研发;快速响应能力

中图分类号:TN97;V11 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)10-1321-05

Systematism Construction Idea for Operationally Responsive Satellite Payload

HUANG Xin

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract:Operationally Responsive Space (ORS) plan of United States has made a series of research breakthrough by systematism route development, which provides a reference for operationally responsive space research in our country. To meet the requirements of operationally responsive space, the design concept and development mode of satellite payload have to be changed. This paper presents the construction idea from combat demand, system design and technology development according to system structural design, prospects operationally responsive effect of systematism construction, and the period of each stage can reduce more than 50%.

Key words:operationally responsive satellite payload; system architecture; quick development; operationally responsive capacity

1 引言

20 世纪 80 年代后期,美国国防高级研究计划局(DARPA)随着应用需求发展和技术进步,第一次提出快速响应卫星概念。快速响应卫星的概念是围绕战术应用提出的,主旨是发展一种针对应急需求的航天快速反应能力,提升空间信息保障能力,以获得作战所需的信息优势。快速响应空间概念的提出带来了整个航天技术体系的变化。快速响应空间的

目标是寻求一种可快速、灵活地进入空间、使用空间、保持空间优势的战术响应能力与解决方案,通过优化航天产业结构,制定通用化的生产标准与规范,整合生产力,使航天产品普遍具有高集成性、高通用性、可重用、重构性与可扩展性,提高航天产品从生产到发射、部署,再到战术应用的各环节的时效性与应变能力^[1]。

快速响应空间(ORS)体系是以满足特定用户

* 收稿日期:2014-07-03;修回日期:2014-09-23 Received date:2014-07-03;Revised date:2014-09-23
** 通讯作者:1305564876@qq.com Corresponding author:1305564876@qq.com

(主要是战役战术用户)对空间能力的紧急需求为目标,由快速响应空间航天器(含载荷)、快速响应空间运载器、快速响应发射系统、指挥与应用系统组成的集合。卫星载荷是直接面向作战应用的核心装备,其快速响应能力直接影响整个快速响应空间的效能。国内外关于快速响应卫星技术研究的文献中主要是关于快速响应空间的整体建设思想描述,特别是关于美国快速响应空间的发展研究的内容较多,主要针对卫星平台、发射场和地面测控及应用系统,少有提及关于卫星载荷的设计内容。

本文首先分析快速响应载荷应具备的技术特点和能力,并以此为依据,按照体系化建设发展的方式,摒弃以往定制载荷的研制方式,提出一套适合快速响应载荷按统一规划方式发展的设计思路,可为快速响应型卫星载荷的建设规划和设备研发提供借鉴和参考。

2 载荷“快速响应”特点分析

快速响应空间提出的时间快、操作易、功能简、成本廉、任务专与费效比高的要求也对航天器及有效载荷提出了新的要求^[2]。相对于传统载荷,应具有以下鲜明的特点:

- (1)快速响应性:快速响应载荷从任务需求分析、设计、制造、组装测试直到在轨正常工作的时间由传统的3年以上缩短为1年以内,需要载荷采用模块化的标准集成设计,形成货架式产品,满足快速研制的需要;
- (2)经济性:快速响应载荷需适应快速响应空间经济适用的要求,提供低成本、可大量装备的任务载荷;
- (3)灵活性:快速响应载荷能针对不同任务需求,形成系列化载荷产品,实现灵活组装、快速集成,具备在突发事件和多需求条件下快速提供多种载荷的能力;
- (4)有限需求:载荷主要面对突发事件和局部战争,技术开发和产品研制应遵循适当需求的原则,以确保性能可靠并有效控制成本;
- (5)协同操作性:快速响应载荷是对传统载荷的有力补充,应能和其他空间装备协同工作;
- (6)短期可靠性:快速响应载荷任务持续时间短,在轨寿命要求不高,应更加注重短期可靠性。

3 载荷体系化建设思路

体系结构设计是装备发展顶层设计的重要内

容,研究内容包括体系结构框架、体系结构设计方法和体系结构建模方法。美国国防部体系结构框架DoDAF是当前最为成熟且最具权威的体系结构框架,它由C⁴ISR体系结构框架发展而来,成为指导国防部所有系统设计的框架。DoDAF提出了体系结构描述模型的3个视图^[3]:作战体系结构视图、系统体系结构视图和技术体系结构视图,分别从作战需求和应用视角、系统设计视角以及技术视角3个不同角度共同描述体系结构的构建和发展。作战体系结构视图主要描述系统支持的任务、活动、功能要素以及信息交换关系,系统体系结构视图主要描述系统的组成、连接、内部结构及其运行原理,技术体系结构视图主要描述采用的技术标准和规则。这3个视图在逻辑上形成一个整体,分别描述体系结构的不同侧面^[4]。

结合体系结构框架中作战、系统和技术3个视角的描述方法,针对快速响应型卫星载荷,下面按照载荷的作战需求及应用规划、系统设计构架和具体实现技术三方面分别进行描述。

3.1 载荷作战需求及应用规划

美国军方认为,快速响应空间的概念包括三方面:一是为战场指挥员提供低成本、短周期的联合战术能力;二是作为国家空间能力的补充和增强,而不是替代;三是为更大的空间项目提供试验床,为重要研究成果和有效载荷提供在轨试验途径。

区别于传统的空间系统,快速响应空间系统立足于快速满足战场战役和战术需求,应对突发事件和适应未来空间攻防对抗的需要,满足紧急情况下对空间信息的大量需求^[5]。因此,快速响应载荷将应满足两方面的作战需要,即战术能力填补以及空间能力增强。快速响应空间将区别于原来传统大而全的常规载荷装备的任务定位,主要满足在应急和突发事件条件下的任务应用,因此,其任务需求的差别主要体现在表1所列方面。

表 1 与常规载荷任务需求的差别列表				
Table 1 Task requirement difference list with traditional load				
载荷类型	覆盖范围需求	指标、功能需求	时效性需求	使用需求
常规载荷	全球或尽可能大的区域	指标先进,功能齐全,有普遍适用性	不做特别要求	长期、可靠使用
快速响应型载荷	局部战区或敏感区域	指标适当,功能够用,有针对性	快速信息获取及处理	短期、应急使用

因此,快速响应卫星载荷对任务需求的满足应该依据“适当需求、针对设计、短期可靠、快速有效”的 16 字原则,突出快速响应空间在应急情况下的使用优势和技术特点。

从航天器在战场应用的适用角度来看,战场监视、战术通信、信号侦察、预警探测等紧密结合战场需求的任务类型将是快速响应空间任务发展的主体。按照战场应用的需求特点和当前我国载荷发展的基础,利用成熟技术,可规划以下几种类型的载荷,并有针对性地展开设计。当前可发展的载荷类型及设计要素见表 2。

表 2 建议发展的快速响应载荷设计要素
Table 2 Project factor of proposed operationally responsive load

载荷类型	功能、作用	主要手段	设计要求	轨道高度
光学侦察载荷	战场环境侦察、监视、目标探测	可见光、超光谱成像	中低分辨率、低成本	近地轨道
雷达侦察载荷	隐蔽目标及移动目标探测	SAR 成像	设备规模可控,图像快速解译	近地轨道
电子侦察载荷	战场信号收集、目标指示定位	通信信号侦察、雷达信号侦察	针对重点信号,加强星上处理	低轨
战术通信	数据中继、超视距通信	移动卫星通信	重点解决动中通	中轨、大椭圆
导航载荷	增强及补充战场导航能力	星座接续导航	与现有导航卫星系统兼容设计	低轨

3.2 载荷系统设计思路

快速响应载荷应采用通用化、可重构的设计理念,目的是为满足不同任务需求下提供系列化、通用化的硬件平台,满足载荷快速研发、快速组装搭建的要求。意在物理形态可重构的思路下,开展对硬件平台体系架构和模块的标准化设计,产品采取通用化基础平台加上标准化、系列化的应用单元的设计原则,且着重考虑环境适应性与成本因素。

快速响应载荷可划分为通用平台和功能单元两大主体,其中,通用平台包括载荷设备基础结构体和即插即用载荷总线网络,功能单元划分为通用单元和任务应用单元两部分。基础结构体可根据不同应用硬件规模需求进行调整,快速形成快速响应载荷

需要的结构基础;载荷总线网络将建立载荷内部的数据传输网络,实现载荷设备各单元的即插即用能力。标准规划单元采用标准化、系列化设计规划,形成载荷设备主体功能,任务应用单元则根据不同的技术体制和卫星平台要求进行具体设计。快速响应卫星载荷组成构架如图 1 所示。

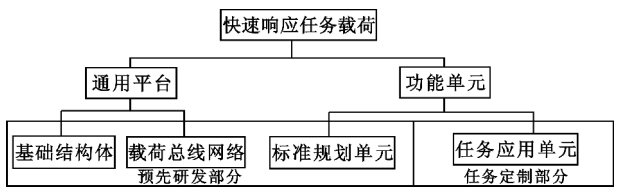
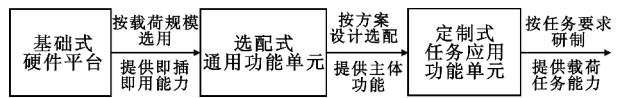


图 1 快速响应载荷系统通用化构架组成图
Fig. 1 Universal framework of operationally responsive satellite payload

在硬件通用化构架的基础上,可按图 2 所示实现快速响应载荷硬件设备的快速搭建,使其满足任务功能需要,快速成为任务装备。



0 速响应载荷硬件设备快速搭建示意图
Fig. 2 Rapid hardware construction of operationally responsive satellite payload

从软件开发和任务设计的角度,快速响应载荷可采取软件架构规范设计和任务定制开发相结合的方式。首先,在综合考虑任务能力的基础上,设计开发一套基础式的适合快速响应载荷的工作体系,提取标准工作环节进行统一设计,使其成为较为标准的工作设计方式,并对相应管理软件、处理软件进行模块化的规范设计,便于软件的优化、更改和升级。制定各类数据传输协议和格式,统一设计具有功能任意组合设置的通用任务包,为后期特定任务软件的快速开发提供基础。

定制任务软件快速开发示意图如图 3 所示。

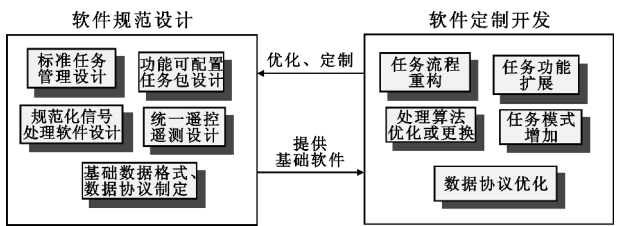


图 3 定制任务软件快速开发示意图
Fig. 3 Rapid development of customized mission software

3.3 载荷关键技术梳理

为了使载荷具有快速响应的各项能力,本文梳理提出了以下各项具体技术,作为快速响应载荷设备实现的关键技术。

(1) 载荷标准化、模块化设计技术

长期以来,卫星载荷面向不同的任务应用采取定制化设计,其系统设计和具体电路设计都未考虑过通用性使用,使得任务载荷在电路模块划分、总线标准、元器件选用、结构工艺设计等诸多方面难以统型,造成研制效率低下,成本难以控制。快速响应载荷按标准化、模块化设计的目的是使载荷按产品化方式实现量产,从而降低研制成本,缩短研发周期。

不同的载荷类型会有不同的功能模块划分,定义模块的依据是功能独立、可复制扩展、对外接口标准。信号处理模块、时钟源模块适合做成标准平台,满足不同任务应用。射频信道模块则可以根据任务使用需要进行规划,形成系列模块,供具体使用时选配。标准化技术主要体现在载荷各模块之间以及载荷对内对外接口设计上,定义模块间标准化的硬连接接口及数据传输接口协议是接口标准化设计的关键。

(2) 载荷即插即用设计技术

该技术便于适应不同任务需要,支持载荷功能可重构,提供载荷快速设计和快速集成能力。即插即用技术建立在标准接口基础上,通过软硬件两方面协调实现。硬件方面主要是设计选取适合载荷使用的内外总线标准,目前较适用的快速响应卫星平台总线包括 SpaceWire 总线和高速以太网总线等广泛使用的商用接口标准^[4],载荷内部传输总线形式选择则可以根据载荷各自的使用要求进行定义。在软件方面,采用专用的操作系统,如 Vxworks 系统等商业成熟系统,将大大提高软件系统即插即用能力,以载荷管理软件为核心,建立各模块资源的在线状态巡检机制是实现载荷即插即用的有效途径。

(3) 微小化设计技术

快速响应航天器的一个重要特点是体积小、重量轻,以便于一箭多星发射以及多星组网工作。微小型化、轻量化技术是快速响应航天器的一项重要技术。同时,也要求快速响应载荷具有这样的微小化和轻量化特点,满足快速响应航天器装载要求。

集成化的电路设计技术、多芯片组件技术、微型核(SOC)技术是快速响应载荷应重点发展的先进技术。

(4) 自主运行设计技术

载荷自主运行主要包括自主生存和自主完成用户任务两个方面。载荷设备的自主生存主要体现在对设备本身的状态监测和设备校验以及自测试,通过载荷自身的状态问询和状态判决,达到对载荷是否正常状态的判定、自主故障切换或自恢复。载荷自主完成用户任务则是一项对载荷优化任务规划与任务管理的工作,其目的是减少地面用户繁琐的任务规划和任务上载操作。通过自主运行的星上管理软件,简化地面终端用户的操作,使得没有航天专业知识的作战人员也可以直接操控载荷、下达任务。

(5) 快速 AIT 技术

快速 AIT (Assembly, Integration and Test) 技术是指快速将模块化部件或分系统组装集成为系统并对系统进行快速测试的技术,主要包括快速装配技术、快速集成技术与快速测试技术。快速装配技术是以标准化、模块化技术和即插即用技术为基础的,通过操作简便的结构化连接装置的支持,不需要复杂的工具与操作训练即可快速装配与分解载荷设备。快速集成技术是指快速形成具有指定任务能力的载荷装备的技术。整体构架快速响应侦察载荷的通用化软件系统,并合理划分各类标准软件功能模块和接口模块,制定各类软件协议和有效的集成步骤,是实现快速响应载荷装备快速集成的关键。快速响应载荷的快速测试技术应面向卫星发射前的各个测试阶段,设计自动化测试平台,开发自动化测试软件是重点。

4 载荷快速响应能力预测

以上体系化的建设思路将有效提高卫星载荷的研制效率。同时,依托整个快速响应空间的统一建设配套,载荷的快速响应能力将会极大提高。表 3 是对快速响应载荷研发中的关键阶段和应用中的关键环节作出的“快速响应”能力预测,通过一系列有效设计和措施保障,达到快速研发、快速装备、快速应用的快速响应能力。

表 3 快速响应载荷各阶段目标时间对比表
Table 3 Task-time of operationally responsive load in each stage

阶段名称	阶段界定	目标周期	传统周期	措施
产品研发	功能硬件模块、标准软件模块及整机研发阶段	12 个月	24~36 个月	选用成熟技术,按标准化构架开发,缩短元器件订购周期,简化研制流程
地面存储	整机或标准系列模块实验室存放阶段	5 年	/	整机+模块级备品备件存放,定期恢复检测的机制
任务配置	任务下达到装备配置形成阶段	3 个月	/	货架式模块和标准化机箱的快速硬件组装搭建,标准化软件和流程的装订和应用实现功能体系的构架,自动化快速测试形成满足要求的快速响应载荷装备
整星测试及发射	整星测试、试验及发射准备阶段	2 个月	6~8 个月	平台模块化组装、平台设备标准化配置、载荷自动化测试、阵地式发射
在轨测试	卫星发射入轨到正式使用前的在轨测试阶段	1 周	3 个月	提高载荷自主工作和自我检测能力
任务下达	从任务编排上注到任务被执行的时间	1~2 h	提前 1~2 天	提供任务指令快速上注通道
数据下发	任务数据产生到数据下发至地面的时间	0.5 h	若干小时	建设直接信息下发通道
数据生成	任务执行到数据生成的时间	1~2 h	半天以上	增强载荷星上自主处理能力,达到星上数据生成的能力

5 结束语

从作战需求上规划载荷发展,形成统一载荷系统设计构架,突破快速响应的关键技术,将大大提高卫星载荷的快速响应整体能力。本文提出了卫星载荷实现快速响应能力的总体作战需求、系统设计构架方法和关键技术,通过理论研究和载荷样机研制实践了这一建设思路,证明了其有效性。在此基础上,应进一步开展与航天产品研制要求相关的载荷技术流程规划以及快速响应能力要求相适应的管理方法研究,针对具体类型的任务载荷,充分开展和卫星平台集成方、用户使用方之间的联合设计,逐步建立形成一整套研制标准和设计规范,指导快速响应卫星载荷研制,最终实现面向任务、基于能力的卫星载荷快速协同设计、制造和集成,保证快速响应能力的发挥。

参考文献:

[1] 李新洪,张育林. 美军“作战响应空间”分析及启示[J]. 装备指挥技术学院学报,2007,18(6):33-36.
LI Xin-hong,ZHANG Yu-lin. Analysis and enlightments of U. S. Operationally Responsive Space and the inspiration [J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology,2007,18(6):33-36. (in Chinese)

[2] 董正宏,廖育荣,高永明. 我国空间快速响应体系结构发展模式[J]. 国防科技,2009,30(4):47-51.

DONG Zheng-hong, LIAO Yu-rong, GAO Yong-ming. Preliminary studies on development model for operationally responsive space architecture in China[J]. National Defense Science&Technology,2009,30(4):47-51. (in Chinese)

[3] Griffin L K. Analysis and Comparison of DoDAF and Zachman Framework for Use as the Architecure for the United States Coast Guard's Maritime Patrol Coastal [D]. [S. l.]:Naval Postgraduate School,2005.

[4] 高永明,吴钰飞. 快速响应空间体系与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
GAO Yong-min,WU Yu-fei. System and applications of Operationally Responsive Space[M]. Beijing: National Defense Industry Press,2011. (in Chinese)

[5] 潘清,廖育荣. 快速响应空间概念与研究进展[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
PAN Qing,LIAO Yu-rong. Concept and state-of-art of the Operationally Responsive Space [M]. Beijing: National Defense Industry Press,2010. (in Chinese)

作者简介:



黄欣(1974-),女,四川达州人,1996年于哈尔滨工业大学获学士学位,现为高级工程师,主要从事航天电子载荷技术研究、总体设计和工程研制。
HUANG Xin was born in Dazhou,Sichuan Province,in 1974. She received the B. S. degree from Harbin Institute of Technology in 1996. She is now a senior engineer. Her research concerns system design and engineering development of aerospace electronic load.
Email:1305564876@qq.com