

小卫星技术典型军事应用分析

乔毅 李晓宇 赵田

(北京航天飞行控制中心 北京 100094)

摘要:随着航天技术的发展,现代小卫星逐渐呈现轻量化、小型化、低成本以及高功能密度和性价比等优势,小卫星已成为空间系统的重要组成部分。在军事领域,小卫星的应用对于提高太空系统战略威慑效果、满足战场力量增强需求、推行太空对抗技术发展策略、促进新技术演示验证等方面起到了巨大的推动作用。首先概述了小卫星的定义发展规模;以国外典型小卫星项目为基础,重点分析了小卫星在战场态势感知、军事通信、天基目标监视、空间对抗等领域的应用;最后结合我国小卫星发展存在的短板,对我军发展小卫星项目提出了意见建议,为我国开展基于微小卫星的太空研究提供参考。

关键词:小卫星;战场态势感知;军事通信;天基目标监视;军民融合

中图分类号: V19 TN927 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.6520

Analysis on typical military application of small satellite

Qiao Yi Li Xiaoyu Zhao Tian

(Beijing Aerospace Flight Control Center, Beijing 100094, China)

Abstract: With the development of aerospace technology, modern small satellite has gradually become lighter, smaller, lower cost. The small satellite has become an important part of the space system, which has advantages of high density and cost-effective. In the military application field, the small satellite has played a huge role in improving the strategic deterrent effect of space system, satisfying the demands of battlefield strength enhancement, fulfilling the requirement of battle force and pushing the strategy of technological development of space confrontation, and facilitating the realistic demand of new technology demonstration and verification. Firstly, the definition and development of small satellite are summarized. Based on the typical foreign small satellite projects, the application of small satellite in battlefield situational awareness, military communication, space-based surveillance system, space confrontation and other fields are analyzed. Finally, based on the shortcomings of our military development of small satellite project, suggestions for the development of small satellites in our military are provided, which can provide reference for China to carry out space research based on microsatellite.

Keywords: small satellite; battlefield situational awareness; military communication; space-based surveillance system; civil-military integration

1 引言

目前航天领域装备建设更加强调战略性、时效性和灵活性,为有效实施太空战略威慑、快速灵活反应和空天一体化军事力量生成提供了重要保障。随着微电子技术、快速发射、和卫星模块化等技术的发展成熟,现代小卫星逐渐成为一支新的航天装备队伍^[1]。由于其高技术密集、高功能密集和高性价比,小卫星产业迅速发展,并促使航天军事应用发生深刻的变革。

近年来,全球小卫星产业技术发展强劲,发射数量逐年大幅增长,从近十年各航天大国卫星发射活动情况统计来看,小卫星逐步成为世界航天活动的主要构成部分之一。据统计,从2013年开始,全球小卫星发射数量呈爆发式增长态势^[2],2013年共成功发射小卫星146颗,2014年,全球共成功发射小卫星162颗,与2013年相比数量增加了22.7%。2015年,全球共成功发射小卫星149颗,由于火箭发射事故损失了小卫星21颗,造成小卫星数量较去年较少,但入轨小卫星数量占同期入轨航天器总数从

2013 到 2015 年实现连续 3 年占比超过 60%。

制太空权决定了海空等其他制权,航天装备建设也更加突出隐蔽性和全球性。当前以美国为代表的航天强国在航天感知体系、信息支援以及作战响应等领域更加强调力量资源的集成和融合。以小卫星为代表的新型航天器的更能满足新型空间力量的需求,同时现代小卫星的额应用也进一步促进了作战理念和作战模式的改革。指挥链条的简化、作战手持终端直接参与决策,更进一步提升了空天一体化的作战效能。

自美国国防部启动“作战响应空间”计划以来,美军以其为先导,辐射带动了一大批面向军事应用的小卫星项目,驱动小卫星业务化水平不断提升。当前,小卫星在战场态势感知、战场通信、空间攻防等领域具备装备化应用能力。

2 军事航天领域小卫星典型应用

2.1 战场态势感知领域

2.1.1 快速响应空间

最近的几场局部战争使美国逐步意识到预警、侦察等空间力量在其战术体系中重要的支撑作用,为进一步巩固太空战略优势,拓展太空侦察应用,美国国防部在 2001 年首次提出了快速响应空间(operationally responsive space, ORS)的概念。

美国国防部在 2005 年提出了快速响应空间的发展战略,并于 2007 年发布了给国防委员会的报告,报告中正式提出 ORS 发展的 4 个倡议,包括战术卫星(TacSat)、运载火箭、空间靶场以及临近空间系统^[3]。

第一颗 TacSat 卫星计划于 2016 年 3 月发射,质量约 150 kg,属于低分辨率成像卫星,由美海军研究试验室研制,星上搭载红外相机、战术无线电信号识别系统、以及可见光相机等有效载荷,主要用于以及主要用于战场观测。由于火箭故障最终取消发射。TacSat-2 卫星质量约 379 kg,由研究实验室研制,主要用于可见光成像,现已失效。TacSat-3 卫星质量为 396 kg,主要利用海洋数据遥测卫星链路验证星上实时数据处理能力,利用超光谱成像仪进行隐蔽目标的探测,目前已失效。TacSat-4 卫星 2011 年发射,属于通信试验卫星,主要用于验证超视距通信以及数据中继服务,目前在轨服务。

除战术卫星外,美军还开展了作战响应空间卫星计划,该计划包括 4 颗 ORS 卫星。2011 年 6 月 ORS-1 和 ORS-2 卫星发射升空,属于成像小卫星,主要为阿富汗和其他战场提供高分辨率侦察图像,目前仍在轨服务。此外 ORS-3 和 ORS-4 卫星也在 2013 年发射,目前主要用于技术验证。

快速响应空间项目是美空间战术应用的最早项目之一,前期高度重视,但由于对项目的认识不统一、卫星在轨时长与作战需求能力不匹配以及发射上的短板等问题导

致目前项目经费在逐步缩减。但 ORS 项目进行发展中发展起来的小卫星技术、轨道重复使用技术、分离模块航天器以及作战模式的更新对新的小卫星发展和应用起到了很好的支撑作用。

2.1.2 SeeMe 项目

美国国防先进研究计划局(DARPA)在 2012 年提出了“提高军事作战效能的空间系统”(SeeMe, pace enabled effects for military engagements)项目发展计划。该项目主要通过手持设备为海外以及超视距战场作战人员提供态势感知图像,力求作战人员在 90 min 内收到精确位置的卫星图像。

与传统的中高轨侦察大卫星相比,SeeMe 项目从一个新的角度来看待天基卫星侦察问题,通过短寻访周期可按需操作的卫星星座部署来发送战场态势信息。该项目设计采用空基发射的方式,90 d 之内完成 24 颗卫星的星座部署,单颗卫星质量约 50 kg,轨道高度 200~350 km,扫描幅度为 $\pm 10^\circ$ 。项目综合考虑轨道高度、成像精度、卫星寿命、和重访周期等多种因素。该项目作战支撑体系如图 1 所示。

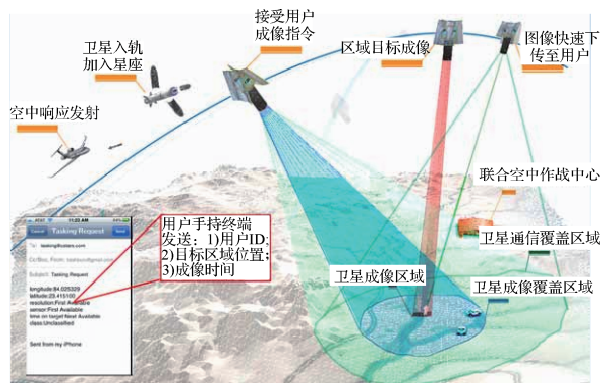


图 1 SeeMe 项目作战支撑体系

2.2 军事通信领域

快速响应空间项目实施过程中就验证了小卫星进行通信和数据中继的能力,在 2012 年 TacSat-4 卫星发射使用,卫星搭载了 UHF 通信转发器,目的是为战区提供高频频段“动中通”业务以及海上浮标数据采集等。该卫星主要利用了卫星椭圆轨道的特点,可以针对特定战区进行持续性通信,战术目标是持续通信时间 4 h。

另外一个小卫星军事通信的典型应用是美军的“空间与导弹防御司令部-作战纳卫星效用(SMDC-ONE)”卫星。第一代 SMDC-ONE 卫星于 2010 年 10 月发射成功,共两颗属于立方体卫星,该项目是美军为演示验证低成本小型通信卫星星座组网而设计,主要通过无人中继台站进行超视距数据传输。该卫星项目有两种运行模式:一种是战场人员将数据发送到地面无人值守传感器,然后通过卫星中继至指挥部;另外一种是在战场人员直接发送指令或者信息到卫星,进行数据请求或者卫星任务调度^[4]。

在2015年10月,美军发射了该项目升级版卫星3颗,这3颗卫星属于3U立方体卫星,单颗造价在50万美元。与上一代卫星相比,升级版的数据传输效率增加了5倍,并增加了轨道机动能力,使卫星组网星座构型保持更加稳健。

2.3 天基目标监视

随着太空技术的快速发展,在太空军事应用领域,空间态势感知对于提高太空军事效率,应对空间威胁、确保空间安全,增强目标确认、毁伤评估以及空间环境的监测预报起到了极大的推动作用,近年来受到各个航天大国高度重视和发展^[5]。天基目标监视系统覆盖范围广、近距离监测能力强,具有全天时、全天候监视的特点,有效弥补了地基监视系统的不足。目前天基空间目标监视主要包括不同轨道高度的空间目标监视卫星、空间环境探测卫星、预警卫星等。

随着微电子、即插即用等技术的发展,微小卫星在空间目标监视中的作用逐渐凸显,21世纪初美国和加拿大等国就进行了空间望远镜技术验证项目。比较典型的空间目标监视项目包括^[6]:加拿大MOST项目、Sapphire卫星、NEOSSat卫星,欧洲的UNISAT-5项目,美国的JMAPS项目、STARE项目、GSSAP项目等。下面以加拿大的Sapphire卫星和美国的GSSAP项目为例,分析典型的小卫星空间目标监视项目。

Sapphire卫星是加拿大首颗军事空间监视卫星,2013年发射,整星质量约为50 kg,搭载空间可见光相机,主要探测距离6 000~40 000 km的空间飞行器。该卫星与美国的空间目标监视网共同运行,可同时跟踪探测6~15颗空间目标。Sapphire卫星的工作流程相比前几代卫星更加是系统化、规范化。首先由卫星操作中心和国防部共同制定观测计划需求以确定卫星相机指向,卫星调度机构接收到观测计划后形成指令文件,由地面站将指令上传到卫星;Sapphire卫星接到指令后,按照计划调姿、控制传感器指向,并将获得的图像下传至地面站;由卫星处理与调度机构,进行目标的精确测量与数据处理。

地球同步轨道卫星主要是预警卫星、通信卫星以及部分导航和环境监测卫星,共约600颗。同步轨道具有很大的对地观测和通信范围,而且轨位具有唯一性,各航天大国对同步轨道轨位的争夺和抢占一直比较激烈。为更好进行同步轨道卫星的监视和跟踪,美国空军空间司令部着手开发了,地球同步轨道空间态势感知计划(geosynchronous space situational awareness program, GSSAP)。与中低轨卫星监视相比地球同步轨道卫星空间感知项目的情报搜集能力是前者的600倍^[7]。

GSSAP-1和GSSAP-2卫星于2014年7月搭载Delta IVM+(4,2)火箭发射升空。2015年10月,美国空军宣布两颗GSSAP卫星已于9月29日完成在轨测试,获得初始运行能力。在2016年8月19日,GSSAP-3和GSSAP-4两颗卫星也发射成功,GSSAP项目计划的4颗卫星目前均

在轨正常运行。

GSSAP卫星由轨道科学公司建造,主要载荷包括光电传感器和探测设备,运行轨道在近地球同步轨道,在执行监视任务时,在地球同步带上下机动。GAASP卫星通过轨道相对漂移获得监视目标的图像信息,根据其任务设定也可近距离探测目标的三维属性及高清图,甚至可进行目标的撞毁等。

2.4 空间对抗领域

在空间对抗领域,主要是利用小卫星进行目标的探测、在轨操作,以及利用机械臂等手段进行卫星捕获和重组。早在2006年美国就发射了2颗“微卫星技术试验”(MiTEx)卫星,试验了地球同步轨道监视任务和目标逼近技术,验证了小卫星进行在轨操作的军事利用潜能。2008年底,美军利用MiTEx卫星对导弹预警卫星进行巡视,演示了近距交汇能力,暴露了其军事用途^[8]。

另一项最具代表的空间捕获重组小卫星应用是美国的“凤凰”计划。2011年,美国国防高级研究计划局开展了“凤凰”项目立项,利用母星携带小卫星进入预定轨道,利用机械臂等设备抓捕并切割卫星部件。“凤凰”计划第一阶段重点进行可行性论证,对细胞机器人以及子卫星进行论证,该阶段已在2014年10月实施。第二阶段主要是对“凤凰”计划关键技术进行研究攻关,主要包括空间机器人、“细胞卫星”、“轨道交付系统”等,并在2015年成功完成“细胞卫星”(Satlets)关键技术首次在轨飞行验证。“细胞卫星”总质量约50 kg,标志着“凤凰”计划关键技术已迈入实质性验证段。

3 我军航天领域小卫星发展建议

近年来,我国对于航天事业支持力度不断加大,在军事应用方面也取得了新的突破,微小卫星的生产应用也取得了长足进步。但发展过程中也暴露出一些急需解决的问题,主要表现在以下3个方面:1)微小卫星关键技术快速发展,但尚未形成体系化,没有形成发展合力;2)运载技术发展相对于小卫星技术滞后,影响了小卫星产业链形成与发展;3)小卫星军事应用方面受体制限制没有得到有效集成,军民融合体系还不够完善。

借鉴国外航天强国的小卫星发展经验,为我国发展小卫星产业及军事应用提出以下3点建议。

3.1 军民融合,民技军用,增强国家太空威慑

军民融合是世界航天发展的必然趋势,代表了航天发展的发达程度。美、俄等主要国家在长期的航天发展过程中不断摸索,逐渐寻找到了符合自身国情的航天军民融合道路。

结合我国实际,在小卫星军民融合发展过程中首先要综合考虑军用、民用和商业市场的综合需求,在国家层面统一规划制定小卫星技术发展和产业应用的型谱目录以及相关标准和政策法规;其次是政策扶持、有效利用民用市场经济优势,建立军方采购模式。

3.2 改革测控、运管体制,发展商业模式

随着微小卫星的数量逐年猛增,“星多站少”的问题愈发突出。现有地面系统的资源和信息无法共享,造成了卫星测控应用效率较低,不能满足卫星的测控需求^[9]。未来微纳卫星的发展,要充分发挥卫星组网、系统运行、全球资源共享的优势,既可以实现卫星工作效率、工作范围及信息的时效性的大幅提升,同时也可以避免重复投资,充分发挥航天系统和测控网的利用率和效益。

在国内,要健全军民资源互通共享机制,完善军民通用卫星测控控技术标准;在国际要借鉴国际空间数据系统咨询委员会(CCSDS)的办法,促进卫星运控与数据接收的国际合作,通过采用该标准的数据结构和信息传输体制,单个测控站可以满足多个星座、不同用户的测控要求,同时适应多用户、多数据类型任务,便于实现国际测控资源的交互支持。

3.3 突破发射瓶颈,紧跟产业步伐

随着微小卫星产业的迅猛发展,数量激增,与之匹配的发射问题日益凸显。受发射场和发射窗口制约,商业发射机会少,协调及等待周期长,存在延期等不确定性。同时,发射价格高,低成本小型运载工具发展不充分,都成为限制微小卫星发展的瓶颈问题^[10]。

就国内而言,尚未建成商业化运作发射场,存在着发射机会少、发射审批流程复杂及周期较长、市场和价格体系不规范等问题。要解决这一问题首先是要加快小型运载工具的研制以及一箭超多星等技术的发展,加强运载技术的研发;其次是要精简发射申请手续,优化发射审批流程,甚至有必要建立一套专门针对微小卫星的快速响应机制,以适应微小卫星快速发射的特殊需求。

4 结 论

军事、经济、技术等诸多因素促使以美国为代表的航天强国持续不断地发展微小卫星项目,并逐步扩展到各类军事应用领域。本文对小卫星项目在战场态势感知、军事通信、天基目标监视以及空间对抗等领域的典型应用进行

分析,结合我国现状提出了发展建议,希望能够为我国开展基于小卫星的太空技术研发提供一定的参考。

参 考 文 献

- [1] 王景泉. 美国调整军事航天器的发展策略[J]. 航天器工程, 2014, 23(03): 98-104.
- [2] 张召才,何慧东. 2015年全球小卫星发展回顾[J]. 国际太空, 2016, 02(446): 49-56.
- [3] 刘震鑫,吉雯龙. 对美“作战响应空间”的再思考[J]. 装备学院学报, 2015, 26(2): 74-78.
- [4] 赵小龙,祝佳磊,聂婧. 美军军事卫星通信系统的研究现状及发展趋势[J]. 航天电子对抗, 2016, 32(2): 58-60.
- [5] 汤泽滢,黄贤锋,蔡宗宝. 国外天基空间目标监视系统发展现状与启示[J]. 航天电子对抗, 2015, 31(2): 24-26.
- [6] 汤亚锋,杨庆. 微型天基空间目标监视系统及其运控模式分析[J]. 航天电子对抗, 2013, 29(04): 11-14.
- [7] 杨自兴,李智. 空间目标天基光学成像观测现状研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(10): 58-61.
- [8] 于小红,李岩,刘高强. 美国持续发展微小型航天器动因探析[J]. 装备学院学报, 2016, 27(02): 1-6.
- [9] 计平,董方成,陈磊. 天基测控对抗技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(9): 61-65.
- [10] 林来兴,张小琳. 现代小卫星与大众化空间时代[J]. 航天器工程, 2015, 24(3): 75-84.

作 者 简 介

乔毅,1981年出生,硕士,工程师,主要研究方向为卫星测控等。

李晓宇,1987年出生,博士,工程师,主要研究方向为精密定轨与卫星测控。

E-mail:li1999xiaoyu@163.com

赵田,1979年出生,硕士,工程师,主要研究方向为卫星通信。