

OTV在空间攻防体系中的发展研究

Research on the Development of OTV in Space Battle System

徐凯川 赵李 王遇波/陆军航空兵学院

摘 要:轨道转移飞行器(OTV)是在轨道之间进行物质、能量转移的一类飞行器的总称。本文通过对OTV的概述,从其技术特点出发,介绍其在空间攻防体系中的应用和关键技术,最后对我国OTV的发展规划作了简要的剖析。

关键词: 轨道转移飞行器; 轨道转移; 关键技术; 发展规划

Keywords: OTV; orbit transfer; key technique; development programming

1 OTV概述

广义上的OTV涵盖了专用的轨道转移飞行器,如航天飞机(SP)、跨大气层飞行器(TAV);狭义上的OTV则指美国发展的上述广义界定飞行器中的一种。在美国空军公布的转型飞行器计划(TFP)中,明确提出要在2015年以后部署一种轨道转移飞行器(OTV),其主要作用是对美国空间资源进行在轨服务,显著提高空间资源的灵活性和作战能力,并对其提供有效保护;而对敌方卫星,则可以将其推离轨道或使其功能丧失。我国所提出的OTV概念区别于美国,它是一种大型的模块化、多功能空间平台,由运载火箭发射入轨,具有大机动在轨转移能力以及自主运行和导航能力;可在500~20000km的空间实施轨道机动,具备较强的空间攻防能力、在轨服务能力、空间运输能力等。通过更换推进和载荷等模块,还可形成系列化的飞行器,完成更为多样化的任务。

OTV可分为地基和天基两大类。地基OTV在地面装配,由航天飞机或运载火箭送入预定轨道,独立完成任务后返

回空间站,进行在轨服务、维修、补充,以准备下一次飞行任务;天基OTV则从空间站起飞,不受地面发射入轨、运输工具尺寸、有效载荷等方面限制,可以适应更广泛的飞行任务。OTV具有一般航天器不可比拟的特点,如其机动能力强,承载灵活可变,在轨自主运行,可长期在轨驻留等。因此,从其作用和地位来看,OTV可以与传统的军事航天系统形成优势互补,与各空间层次的武器系统联合作战,是21世纪实现跨大气层空间对抗、控制空间的重要武器装备之一。

2 OTV的军事应用

OTV的军事应用主要体现在两个方面,即空间武器装备搭载平台和空间在轨运输服务平台。

2.1 空间武器装备搭载平台

OTV可作为天基动能武器、定向能武器、空间机动作战机器人以及天基对地攻击武器等空间安全武器装备的搭载平台。

部署长期在轨空间安全武器装备,一方面体现了战略威慑的存在,另一方

面,可对敌方重点军事目标长期处于备战状态,有作战需求时即可迅速投入战斗。在攻防体系对抗中,“天地一体”及“动能、定向能、信息攻击相互结合”是未来天基攻防发展的必然方向,这就要求天基武器平台具备灵活的承载作战能力,平时根据既定目标位置在战备驻留轨道飞行,在形势需要时即可利用自身携带的推进剂,快速机动进入攻击轨道,进行威慑性飞行或直接发动攻击,如图1所示。并且在具备一定自主探测能力的条件下,还可减少对地面系统的依赖,从而缩短攻击时间,提高整体作战效能,发挥综合作战的优势。

当然,综合考虑军事、技术和经济等方面的可行性,天基平台在完成预定空间作战任务时,也需要牺牲一定的能力以强化某一方面的作战需求。因此,天基武器平台的设计要以满足未来空间作战需求为顶层设计原则,根据不同的作战需求形成系列化的空间武器平台。

2.2 空间运输和服务平台

空间运输是在轨资源配置中的重

要环节。空间运输的主要模式包括地球轨道之间的运输和星际目标之间的转移运输。

1) 地球轨道运输

目前地球轨道上聚集了大量的航天器,因此地球轨道的转移运输受到各主要空间国家的重视。其主要任务模式有:

- 为同步轨道卫星进入地球静止轨道(GEO)提供运输动力;
- 捕获未正确入轨的卫星,将其拖拽至目标轨道;
- 与空间站对接,为其提供动力支持,或拖拽空间站实现轨道转移或轨道维持;
- 作为亚轨道飞行器的上面级作用,如欧洲的“跳跃者”飞行器在大气层边缘释放上面级,由上面级携带卫星入轨后自身返回地面;
- 作为可返回的跨大气层飞行器的推进模块使用。

2) 星际轨道运输

星际轨道运输主要指由地球轨道到深空轨道的转移,其应用包括月球、火星及其他行星的探测任务等。未来的星际探测将依据任务由不同的动力模块、服务模块和有效载荷模块组成,这些模块将由轨道运输系统送入近地轨道,并在轨道组装之后履行各自任务。如美国的“深空一号”(Deep Space-1)就是星际转移运输飞行器的雏形,而筹划中的“成员探索飞行器”(CEV)将可能成为第一种此类飞行器。

空间服务平台则主要指对合作目标进行补给、维护等操作,以保证合作目标工作状态、工作性能处于稳定或增长的态势。

3) 在轨补给加注

由于卫星携带燃料有限,造成对机动能力的限制和使用效率的降低,

而对卫星进行在轨补给加注无疑是一种可行的解决方案。如美国重达18t的KH-12传输型照相侦察卫星,具有与航天飞机相容的轨道燃料再补给能力。

4) 在轨维修

现代卫星的功能愈加强大,结构也愈加复杂,因此某些情况下在轨维修比在轨加注显得更加迫切。如重达12.5t的“哈勃”太空望远镜曾多次出现故障导致部分功能失灵,为此美国已对它进行了4次轨道维修工作。

目前的技术要求在轨维修需要人工完成,如“哈勃”第4次维修是由7名宇航员进行了5次舱外作业完成的。从长远来看,有可能在地面遥测控制下,实现无人复杂在轨维修。

3 OTV研究的关键技术

通常OTV研究的主要子系统包括环境控制/生命保障系统、轨道机动推进系统、反作用力控制系统(RCS)、导航系统、电子设备和控制系统、电源系统、维护系统等,其研究涉及许多庞大而繁杂的关键技术。

3.1 推进技术

目前在研的OTV多采用以液氢液氧、液氧甲烷及过氧化氢/煤油为推进剂的火箭发动机,而新一代可重复使用的低温推进剂发动机的关键技术包括

无毒可长期贮存的推进剂技术、高度补偿喷管技术(如直排塞式喷管)、全流量分级燃烧循环技术、重复启动变推力技术、低温复合贮箱技术、高压推力室热结构和发汗冷却技术以及耐高温抗氧化轻质结构材料技术(如高温复合材料、陶瓷)等。其中的低温复合贮箱技术可使运送有效载荷入轨的成本降低一半,同时减小30%~40%的质量。

目前OTV的发展目标是,采用以火箭发动机为基础的火箭-冲压喷气组合循环发动机(RBCC)或效能更高的超燃冲压发动机。二者包括的关键技术涉及进气道、燃烧控制等新技术。此外,考虑到以化学推进剂为动力的OTV在运载能力上很大程度受推进剂比冲的限制,所以各国纷纷将注意力转向空间推进的研发。如现阶段大力发展的电推进技术,包括霍尔效应推进器和脉冲等离子体推进器等,可以更有效地使用燃料,延长飞行器在轨寿命。太阳热能推进也是一个大有潜力的发展方向,它集中太阳光加热推进剂,通过气体膨胀在喷嘴处产生推力,较常规化学或电推进系统可获得更高的推进效率,可用于特殊任务如大椭圆轨道及空间拖曳等。

推进技术的主要研究方向包括:重复启动变推力发动机技术,推进系统先进控制和燃料供给技术,推进剂长期

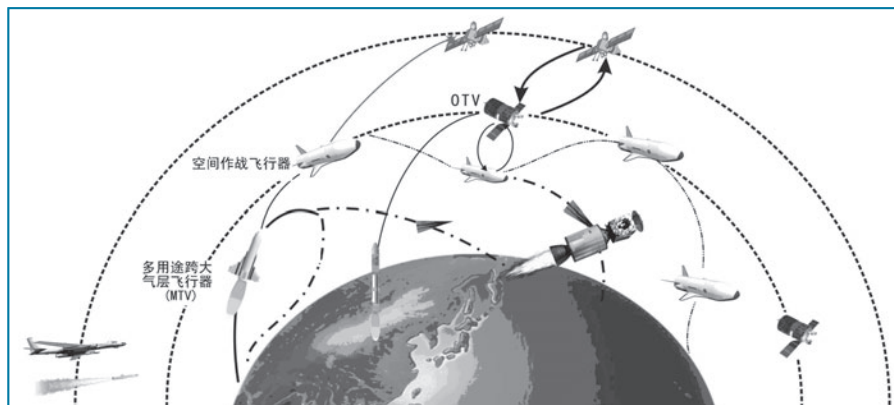


图1 OTV空间攻防示意图

在轨贮存技术,推进剂在轨加注、管理与排放技术等。

3.2 制导、导航与控制(GNC)技术

制导技术的发展趋势是惯性制导、GNSS制导与星光制导的组合,导航方式一般采用GPS。如日本的H-II运输飞行器(HTV)就采用了绝对/相对GPS导航相结合的形式,利用绝对GPS导航通过提高飞行轨道高度获得调整相位差的能力,在进入可直接与国际空间站通信的区域后改为相对GPS导航,当近距离缩小至500m以内时,则采用交会雷达精确估算出HTV与国际空间站(ISS)间的相对距离。

欧洲的自动转移飞行器(ATV)采用GPS接收机进行位置估算,陀螺仪及地球传感器进行姿态估算,交会传感器进行最后的接近与对接。这样的GNC系统可以完成ATV的闭环移动控制,特别是使ATV在特定条件下与空间站对接,并能在适当位置再次进入大气层。

高度自主和智能化的GNC系统发展的关键技术包括:

- 总体方案论证,包括自主导航系统传感器的选择和配置、GNC系统的结构;
- 智能化精确制导技术,包括对非合作目标运动状态的测量和逼近,不同任务最优轨迹设计和轨迹控制技术,接近和攻击目标的最优制导律等;
- 容错控制技术,主要研究控制系统容错算法和不同飞行段控制系统变结构控制方案。

GNC技术的主要研究方向包括:目标探测、识别与跟踪技术,自主导航定位技术,自主姿态确定与姿态控制,轨道机动策略生成与制导技术,非合作目标捕获和跟踪测量技术等。

3.3 电源技术

一般采用蓄电池、锂电池、氢氧燃

料电池、太阳电池阵/蓄电池组联合电源,还可采取一些辅助发电装置。其中太阳电池阵/蓄电池组联合电源应用面广、发射数量多,90%已发射的航天器都采用其作为空间电源。

总之,应根据任务需要选择适合的电源方案和总体布局,其中太阳能帆板的结构材料,以及其驱动、展开和控制,应急冗余备份也应得到足够重视。

电源技术的主要研究方向包括:新型储能电池技术,新型太阳电池片技术,复杂用电条件下并网供配电技术,能量存储和热管理技术等。

3.4 热控技术

为使OTV在空间安全、可靠地执行任务,需要对其进行合理的热控制 and 设计,使其在任务寿命期内乘员、仪器设备与结构部件保持在可靠的温度范围内。

热控分系统可由多种热控软硬件组成,亦可根据不同的任务需求和技术条件选择相应的种类。主要包括热环境研究、气动热研究等,其关键技术包括:热设计与热计算技术,主动、被动热控制系统技术,推进剂储箱冷却技术,地面段、上升段、返回段温度控制与热防护技术,热控分系统与其他分系统的接口设计技术等。

除了以上几个关键技术外,OTV系统还包括有效载荷技术、总装集成技术、地面测试技术、可靠性与维护性技术、总体技术等诸多方面。

4 OTV发展规划

OTV可作为天基机动平台运输天基武器,也可释放分布式卫星或作为我国未来空天飞机的助推级,发挥其自主性强、机动能力强的特点,实现空间攻防的武器装备化,以保持我国空间战略威慑能力。

发展中应遵循的原则,一是加强顶层谋划,正确处理当前应用与未来发展的关系;二是注重演示验证,正确处理技术演示与任务需求的关系。根据国外轨道转移平台发展趋势和我国对OTV的任务需求,结合我国的研究现状和国情,逐步实现空间安全技术集成演示验证与成果转化,形成OTV系列多功能空间武器装备平台,可以完成天基反卫、天基对地攻击、空间态势感知、按需战场信息获取、空间运输与空间服务等空间攻防任务;突破自主运行与测量、先进推进、柔性承载等关键技术;与RLV、SOV等相结合,最终形成立体的空间安全装备体系。

AST

参考文献

- [1] 温美娟,李英,刘海军. 国外反卫星武器发展评述[J]. 现代防御技术, 2003,31(3).
- [2] 陈新能. 美国军事航天发展的基本趋势[J]. 国际航空, 2003(6).
- [3] 魏其勇,秦之谨. 浅析2020年前美军战略重点的转变[J]. 导弹与航天运载技术, 2002(4).
- [4] 刘林. 航天器轨道理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [5] 吴玉石. 机动变轨技术在空间领域的应用[J]. 中国空间科学技术, 1994(2).
- [6] 谢永高,秦子增,黄海兵. 军事航天技术的回顾与展望[J]. 中国航天, 2002(6).

作者简介

徐凯川,讲师,研究方向为飞行器设计、维修工程等。