

2022年航天装备热点回眸

刘冬, 史文博

上海交通大学先进技术与装备研究院, 上海 200240

摘要 2022年, 运载火箭方面, 美国、俄罗斯、欧洲等国家加速推动大型运载火箭研发, 但进展不一。美国、俄罗斯按计划发射多颗侦察卫星, 天基侦察能力不断升级完善; 美国、俄罗斯、中国加快高吞吐量、高速率、抗干扰的先进通信卫星系统的研制与部署, 有效满足未来通信需要; 美国、俄罗斯等国家大力发展复杂对抗环境下的导航能力; 美国高轨宽视场导弹预警技术试验卫星将在完成在轨测试后开始运行, 具备了一定的高超声速武器预警跟踪试验能力; 太空控制方面, 美国、俄罗斯、日本、加拿大等国家不断加强在轨碎片清理、在轨操作、天地往返等能力, 空间安全问题更加复杂多变; 美国通过发展地基、海基、天基等多平台太空态势感知系统, 稳步推进天地一体全覆盖的太空态势感知能力; 美国举行“太空旗”“黑色天空”“全球哨兵2022”等演习, 通过演习演练积极提升太空部队实战能力。

关键词 航天技术; 航天装备; 运载火箭; 通信卫星

2022年, 大型运载火箭成为航天装备领域研制重点, 运载火箭新动力、新材料不断涌现; 卫星继续升级换代, 侦察、通信、导航、预警等领域卫星及其应用取得新进展; 激光通信技术的发展突破了传统卫星功能限制, 将对未来卫星的研制与应用产生重大影响; 主要航天国家继续推进天地一体空间态势感知技术发展, “透明化”成为空间发展新走向; 美国积极推动太空演习演练, 加速太空能力的实战化运用。

1 运载技术不断取得新突破

2022年, 美国新一代大中型运载火箭进展顺

利, 俄罗斯完成多次卫星发射任务, 但大中型运载火箭进展缓慢; 英国、巴西、韩国、印度、日本等国家积极推动中小型火箭技术研发; 美国、俄罗斯火箭新动力、新材料不断涌现。

1.1 美国稳步推进新一代大中型运载火箭研发

2022年, SpaceX公司“猎鹰”-9号火箭执行多次飞行任务, 成功将多颗美国卫星送入预定轨道。10月, “火神”火箭用BE-4发动机通过验收试车, 计划2023年进行首飞。11月, 美国航天局(NASA)与波音公司联合研制的“太空发射系统”火箭在肯尼迪中心发射升空, 成功将“猎户座”太空船发射到预定轨道, 这是NASA载人重返月球系列的首次发射, 实质性开启美国载人重返月球进程^[1]; 重型猎鹰

收稿日期: 2022-12-23; 修回日期: 2023-01-05

作者简介: 刘冬, 副研究员, 研究方向为装备论证及科研管理, 电子信箱: liudong1028@sjtu.edu.cn

引用格式: 刘冬, 史文博. 2022年航天装备热点回眸[J]. 科技导报, 2023, 41(1): 230-240; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2023.01.017

火箭时隔3年后执行第4次飞行任务,将多颗卫星直送地球同步轨道,这是SpaceX迄今为止发射持续时间最长的发射任务,也是重型猎鹰火箭首次完全正式运行的国家安全任务(图1);美国太空系统司令部宣布重启新格伦火箭认证工作,新格伦火箭在完成飞行认证后,即可继续参与“国家安全太空发射”(NSSL)项目的竞标,标志着新格伦火箭认证活动的重启。

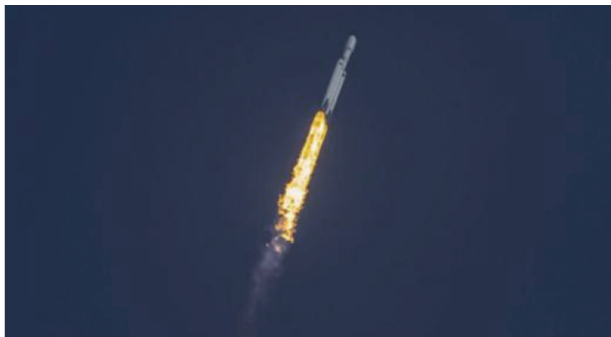


图1 重型猎鹰火箭执行第4次飞行任务

1.2 俄罗斯、欧洲大中型火箭研制进展缓慢

2022年,俄罗斯“联盟”-2b火箭按计划成功进行数十次发射,但受经济水平和俄乌冲突影响,俄罗斯大中型火箭研制进展缓慢,多个型号推迟飞行计划;欧洲“阿里安”-6火箭首飞也推迟至2023年。1月,俄罗斯“安加拉”-A5重型火箭Persei助推器遭遇发动机故障,Persei未能按照原计划第二次发动机点火,发射失利后的残骸落入太平洋,为“安加拉”-A5重型火箭后续发展蒙上了阴影^[2]。8月,用于俄罗斯“联盟”-5新型火箭的RD-171MV发动机完成测试,试验证明发动机性能符合技术要求^[3]。“联盟”-5火箭一级采用苏联时代“天顶”火箭使用的RD-171发动机的发展型号——RD171MV,二级采用“联盟”-2火箭用的RD-0124。据俄罗斯相关负责人表示,“联盟”-5火箭首飞推迟至2024年。10月,“阿里安”-6运载火箭正进行上面级静态点火试验、火箭原型与专用发射设施集成试验以及发射系统资格审查等几项关键测试,首飞日期推迟至2023年底。

1.3 中国航天发射次数再创新高

2022年,中国航天全年实施发射任务64次,再

次刷新中国航天全年发射次数的纪录。其中,长征系列运载火箭发射53次,全部成功,年度发射次数首次迈上50大关,并打破102次连续发射成功的纪录,长征二号F、长征五号B、长征七号三型运载火箭分别执行载人飞船、空间站舱段、货运飞船发射任务,助力中国空间站“T”字基本结构建成,长征八号运载火箭“一箭22星”创造中国一箭多星纪录;由中国航天科工集团研制生产的固体火箭快舟系列火箭成功实施5次发射,快舟一号甲火箭实现全年发射四连胜,快舟十一号火箭发射获得圆满成功;由中国科学院力学研究所抓总,中科宇航公司联合研制生产的力箭一号火箭成功首飞,力箭一号使用固体燃料,是当前国内最大的商业固体火箭;由中国运载火箭技术研究院抓总,中国长征火箭有限公司联合研制生产的捷龙三号火箭成功首飞;由民营航天企业北京星河动力航天科技股份有限公司研制生产的谷神星一号火箭两次发射成功。

1.4 多个国家竞相推动中小型火箭技术研发

2022年,英国、巴西、韩国、印度等国家积极推动中小型火箭技术研发,其中,英国、巴西、韩国中小型火箭研制出现阶段性进展。5月,英国火箭公司成功完成70 kN火箭发动机测试(图2)。该发动机完全由3D打印制造,是世界上第一台使用高过氧化物的分级燃烧发动机,标志着欧洲航天局商业空间运输服务和支持计划的一个重要里程碑。10月,印度使用“地球同步轨道卫星运载火箭”-MK3在萨迪什·达万航天中心成功发射36颗“一网”卫星,预示印度将在商业航天发射市场扮演更重要的角色。10月,日本“艾普西隆”火箭在上升过程中,火箭二级在关机后出现异常,开始偏离预定轨道,导致发射失败,

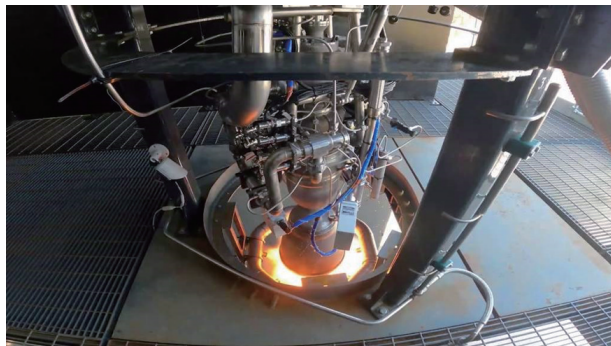


图2 70 kN火箭发动机测试

这是该火箭发射以来的首次失败。

1.5 新型材料和动力技术不断涌现

2022年,美国、俄罗斯等国家积极探索核热推进技术、旋转爆震发动机技术,高温合金材料、增材制造、高温陶瓷复合材料等发展。1月,俄罗斯萨马拉国立大学的研究人员开发出一种耐热涂层技术,可保护火箭及飞机发动机燃油喷嘴、燃烧室、涡轮叶片等部件在1500℃甚至更高温度下免受损坏。4月,NASA宣布,利用3D打印工艺开发了一种新的氧化物弥散强化(ODS)合金GRX-810,该合金能承受超过1093℃(2000°F)的高温,耐久性是当前最先进合金的1000倍以上(图3)^[4]。4月,俄罗斯科学院西伯利亚分院强度物理与材料科学研究所的研究人员开发出一种独特的陶瓷复合材料,该材料硬度与金刚石相当,可承受高达2700℃的高温,未来可应用于高超声速飞行器热端部件、火箭发动机和其他高温环境运行的多种设备。



图3 新型金属合金GRX-810

2 天基侦察能力不断升级完善

2022年,美国国防部、国家侦察局发射NROL-87、NROL-107、“入侵者-13”“雷达红外-3”“锁眼-11”等多颗侦察卫星;俄罗斯发射“莲花”“中子”等多颗侦察卫星,不断升级完善情监侦能力;澳大利亚、伊朗、西班牙发射侦察卫星,推动形成侦察能力。此外,美国还积极利用商业航天力量,推动混合架构落地实施。

2.1 美国积极利用商业力量,推动情监侦能力发展

2022年,美国国家侦察局推动实施“战略性商业增强”计划,年内多次与多家商业公司签署长期数据共享合同,通过购买光电图像、访问这些公司天基系统等方式,获取商业公司高质量卫星数据,提升对重点地区的重复访问能力。1月,美国国家侦察局宣布与5家商业合成孔径雷达卫星公司签订合同,将采用长期购买光电图像等类似方式,获取商用合成孔径雷达(SAR)卫星数据。同月,美国国家侦察局授予美国地理空间数据初创公司——水卫星公司3份小企业创新研究合同,用于利用该公司商业遥感卫星获取地面红外数据。水卫星公司研制的天基红外传感器分辨率较高,是NASA最新“陆地卫星”-9卫星分辨率的5倍左右,温度分辨率为0.5°K,可在夜间识别航行船舶和移动坦克。水卫星公司计划在低地球轨道部署16颗卫星,以实现全球覆盖,首颗卫星将于2023年初发射。5—6月,美国国家侦察局先后与黑色天空、麦克萨技术、行星实验室、极光洞察公司等9家公司签订了为美国情报、国防和民事机构提供卫星图像的合同。按照合同,美国国家侦察局将有权访问这些公司的天基系统,评估其有关商业计划,以决定采购哪些商业数据。

2.2 俄罗斯发射多颗侦察卫星,加快星座组网

截至2022年11月,俄罗斯发射了多颗情报、光学侦察卫星,稳步推动情监侦能力发展。4月,俄罗斯成功发射一颗“莲花”卫星,编号“宇宙”-2554。该卫星是专为电子情报任务而设计卫星,由“联盟”2.1b运载火箭在普列谢茨克航天发射中心发射升空,将被发射到高度约为900 km,倾角为67.15°的轨道上。2月,俄罗斯利用“联盟”2-1a运载火箭成功发射一颗编号为“宇宙”-2553的侦察卫星,该卫星被命名为“中子”-1号,由俄罗斯机械制造科研生产联合公司设计,主要用于对地球进行光学侦察和对在轨卫星进行精确成像^[5]。“中子”-1号卫星轨道高度为1987 km×1995 km、倾角为67.08°,轨道周期为126.99 min。10月,俄罗斯在普列谢茨克航天发射场使用安加拉-1.2型运载火箭成功发射了EM-KA-4军用侦察卫星,代号“Kosmos-2560”,卫星顺

利进入 328 km×344 km、倾角为 96.4° 的太阳同步轨道,用于替代入轨后失效的 EMKA-3 卫星(代号: Kosmos-2555)完成后续任务^[6]。

2.3 多国加快侦察卫星发射,推动形成侦察能力

加拿大、西班牙、伊朗等国家将天基侦察能力视为维护国家安全的重要支撑,通过自研或联合承研的方式,寻求发展情报监视侦察能力。1月,美国尖顶全球公司宣布与蜻蜓航空航天公司合作,联合研发“国家情报卫星”-2。该卫星是澳大利亚国家情报局在“国家情报卫星”计划下的第二颗卫星,卫星平台由尖顶全球公司提供,采用 6U 结构,结合机器学习和人工智能技术以及多种数据模型,实现在轨计算和处理。3月,伊朗“努尔 2 号”侦察卫星由“信使”号运载火箭成功发射,进入高度 500 km 的低地球轨道,地面站已成功接收到卫星信号。此次发射由伊斯兰革命卫队航天部队在塞姆南航天发射场实施,卫星用于成像侦察和测绘,轨道周期 90 min,设计寿命 3 年^[7]。

3 竞相发展激光通信技术及低轨通信能力

2022 年,美国积极推进大容量、低延迟的低轨互联网星座建设,寻求对全球重点地区的覆盖能力;强化演示验证战术级战场通信能力、星间激光通信能力等;加快高吞吐量、高速率、抗干扰的先进通信卫星系统的研制与部署,有效满足未来作战的通信需要。

3.1 美国大力推动下一代太空通信体系及战术级通信能力建设

2022 年 3 月,美国国防部太空发展局(SDA)授予纽带通信公司“下一代太空体系架构”126 颗传输层 1 批卫星研制合同。合同价值近 18 亿美元,其中约 5 亿美元将用于研制星间激光通信载荷。研制成功后,可实现一条光学星间链路与 40 颗不同的卫星通信^[8]。5 月,SDA 和美国国防部高级研究计划局(DARPA)成功利用商业卫星平台在低地球轨道实现星间激光通信链接,两机构 2021 年发射的 2 颗“曼德拉”-2 卫星于 2022 年 1 月成功建立星间激光

通信链路连接,在相距 100 km 的情况下,通信速率超 200 Gb/s,为下一代太空体系建设奠定技术基础^[9]。6 月,诺·格公司宣布,成功演示了一种可支持美国低地球轨道星座安全的网络化激光通信系统。该演示验证了商业开发的激光通信和安全的美国政府加密硬件之间的兼容性,为诺·格公司未来扩展的空间交联通信产品提供了基础(图 4)^[10]。



图 4 Link-16 战术数据链的天基应用示意

3.2 美俄等航天强国竞相发展覆盖全球重点地区的低轨互联网通信能力

美国、俄罗斯、英国等通过新研制或升级等方式,发展覆盖全球重点地区的低轨互联网通信能力。

2022 年 1 月,SpaceX 公司宣布已放弃利用“猎鹰”-9 火箭发射第二代“星链”卫星的计划,将利用“星际飞船”部署第二代“星链”的 3 万颗卫星。8 月,美国空军特种作战司令部授予 SpaceX 公司一份价值 190 万美元的合同,用于评估“星链”在欧洲和非洲的互联网服务,合同期限 1 年。该合同主要评估“星链”为美国位于德国拉姆施泰因空军基地第 86 空运联队提供的硬件和互联网服务,包括卫星终端和互联网服务,以及对固定站点和移动用户接入互联网的服务^[11]。

2022 年 1 月,俄罗斯航天国家集团公司启动 2 个低轨星座建设,包括“马拉松”低轨物联网星座和 Skif 低轨互联网星座。其中,“马拉松”星座主要提供物联网服务,由 264 颗微小卫星组成,部署在高度 750 km 的低地球轨道,计划 2024 年发射首星;Skif 星座主要提供宽带互联网服务,由 12 颗卫星组成,部署在高度 8070 km 的中地球轨道。目前,该公司已开始研制 Skif-D 试验卫星,用于测试关键技

术以及保护已申请的轨道频率资源^[12]。10月,俄罗斯在东方航天发射场使用“联盟”-2.1b火箭成功将3颗中继卫星和1颗互联网技术试验卫星分别送入1482 km×1501 km、倾角为82.5°的近地轨道、8070 km的中地球轨道。

3.3 中国“小批量”发射低轨宽带通信卫星

2022年3月,长征二号丙运载火箭“一箭七星”,将银河航天公司的02批6颗低轨宽带通信卫星和1颗微纳卫星成功发射。此次发射的卫星是银河航天公司自主研发、批量制造的低轨宽带通信卫星,卫星平均质量约为190 kg,单星设计通信容量超过40 Gbps。这6颗卫星将在轨与银河航天首发星共同组成低轨宽带通信试验星座,并构建星地融合5G试验网络“小蜘蛛网”,具备单次30 min左右的不间断、低时延宽带通信服务能力,可用于中国低轨卫星互联网、天地一体网络等技术验证。相比2020年初的首发星,单星研制成本对比银河航天首发星已下降50%以上,验证了银河航天卫星产线的小规模批产能力以及低成本研制模式,推进了中国卫星低成本批量研制。

4 大力发展复杂对抗环境下的导航能力

美国、俄罗斯、欧盟、加拿大等将复杂环境下的GPS导航能力视为未来作战能力的重中之重。

4.1 美国着重发展GPS拒止环境下的导航能力

2022年8月,美国及其盟友在即将举行的演习中测试一项商业地理空间技术,用于检测GPS干扰或其他破坏卫星导航的活动。该项目将研制一种原型系统,利用卫星及其他来源数据,通过人工智能与机器学习手段检测和定位全球导航卫星系统(GNSS)信号干扰源^[13]。10月,美国桑迪亚国家实验室宣布正在开发一种量子惯性传感器作为先进机载导航设备,精确度远超前于当前导弹、飞机和无人机采用的导航设备,使飞行器在GPS信号受干扰时得以正常飞行,目前仍处于技术基础阶段,仅限于在实验室开展研究^[14]。

4.2 俄罗斯稳步推进发展新一代导航卫星系统

2022年4月,俄罗斯航天国家集团公司表示,“格洛纳斯”卫星导航系统计划增加6颗高轨卫星,部署在倾斜地球同步轨道,以提高在复杂条件下以及对北极地区的服务精度与可访问性,首颗卫星计划2028年发射。该星座全面部署后,“格洛纳斯”系统在东半球的导航精度将提高25%。7月,俄罗斯在普列谢茨克航天发射场使用联盟-2.1b运载火箭成功将GLONASS-K 16L卫星送入19141 km×19212 km、64.8°的中地球轨道,发射任务圆满成功^[15]。10月,俄罗斯在普列谢茨克航天发射场使用联盟-2.1b运载火箭成功发射了一颗“格洛纳斯”-K17L导航卫星,卫星顺利进入19146 km×19156 km、64.82°的中圆地球轨道^[16]。

4.3 中国开展低轨卫星导航增强系统试验验证

2022年9月,快舟一号甲固体运载火箭在酒泉卫星发射中心点火升空,以“一箭双星”方式,将微厘空间低轨卫星导航增强系统S3/S4试验卫星送入预定轨道,发射任务取得圆满成功。10月,长征十一号固体运载火箭在山东省海阳市东方航天港点火升空,以“一箭双星”方式,将微厘空间低轨卫星导航增强系统S5/S6试验卫星送入预定轨道,发射任务取得圆满成功。卫星主要承担低轨卫星导航增强技术攻关项目在轨验证任务,开展高精度导航增强信号播发、星地一体化组网控制管理、星载微推力高精度电推进等系列在轨关键技术试验验证,并开展4星组网试验验证。

5 着重发展高超声速预警跟踪能力

2022年,美国“太空跟踪与监视系统”退役,发射最后1颗“天基红外系统”卫星,完成“天基红外系统”组网运行。下一代“过顶持续红外”有效载荷完成热真空测试,高轨宽视场导弹预警技术试验卫星将在完成在轨测试后开始运行,具备了一定的高超声速武器预警跟踪试验能力。

5.1 稳步推进高轨预警卫星更新换代

2022年2月,雷声技术公司称,已于1月27日

完成美国导弹预警卫星有效载荷的热真空测试。该有效载荷将用于下一代“过顶持续红外”3颗地球同步轨道卫星中的至少1颗。热真空测试旨在将有效载荷暴露在类似太空的环境中验证其性能,测试结果为后续工作提供必要数据支撑^[17]。8月,美国发射最后1颗“天基红外系统”导弹预警卫星,完成系统建设。本次发射的“天基红外系统”GEO-6卫星由洛克希德·马丁公司研制,采用LM 2100卫星平台,搭载诺·格公司研制的红外传感器,造价10亿美元。

5.2 积极发展高超声速导弹预警能力

2022年1月,美国太空发展局宣布,计划到2024年向近地轨道部署144颗传输卫星和28颗跟踪卫星,以探测机动飞行的高超声速滑翔器,在2024年或2025年,将发射28颗跟踪层卫星,实现全球覆盖。7月,“宇宙神”-5火箭从卡纳维拉尔角成功发射,将2颗卫星直接送入地球同步轨道。其中1颗卫星是“宽视场”试验型导弹预警卫星,卫星重约1 t,其尺寸仅为现役“天基红外系统”卫星的1/4;搭载了L3哈里斯公司研制的凝视红外探测器,其传感器采用4000×4000像元的大面阵,可覆盖地球圆盘的1/3^[18]。8月,“宽视场”导弹预警试验卫星已成功在轨运行并完成卫星平台校验,10月,美国太空系统司令部宣布,2022年7月发射的高轨宽视场导弹预警技术试验卫星将在完成在轨测试后开始运行。该卫星由千禧太空公司研制,搭载L3哈里斯公司红外传感器。该传感器采用4000×4000新型焦平面,观测范围超过3000 km。卫星获取的数据经美国“工具应用与处理器”实验室处理分析后,将为研发新型低轨和中轨导弹预警传感器提供支持。

5.3 发展中轨道预警卫星提高导弹预警弹性

2022年1月,美国太空发展局局长德雷克·图尔尼尔声称,应发展中地球轨道卫星作为目前已规划的导弹预警星座的备份。主要思路是利用中地球轨道卫星与地球同步轨道的下一代“过顶持续红外”等卫星,以及太空发展局计划在低地球轨道的“跟踪层”导弹预警卫星构建新的天基导弹预警体系,提高导弹预警体系架构弹性。

6 碎片清理、在轨操作等技术不断取得新突破

2022年,美国、欧洲等继续探索在轨装配、碎片清除等具备多种用途的空间先进技术发展,这些技术的使用目的与界限模糊,其发展以及应用前景引发了广泛的猜测与忧虑,使得空间安全问题更加复杂多变。

6.1 美国不断加强在轨碎片清理、在轨操作、天地往返等能力

美国积极推进“轨道优先”在轨碎片清理项目,完善在轨碎片清理方案和规范,太空发展局“轨道试验平台原型”(POET)载荷完成了自主数据融合的早期试验,X-37B轨道试验飞行器完成第6次太空飞行。

1) 不断完善在轨碎片清理法案和规范。

2022年9月,美国参议院商业、科学与运输委员会下属的空间与科学小组委员会提出《轨道可持续性法案》,旨在推动商业研发并演示太空碎片主动清除技术,支持轨道环境安全和可持续发展^[19]。9月,美国联邦通信委员会批准了新的轨道碎片规则,将航天器脱离低地球轨道的时限从25年缩减至5年,在该规则通过2年后所发射的卫星均适用于此规则,包括获得美国许可的卫星以及获得其他司法管辖区许可但寻求美国市场准入的卫星。

2) 大力发展在轨服务、组装和制造技术。

2022年4月,美国白宫科技政策办公室公布了《在轨服务、组装和制造国家战略》,旨在为工业界开展燃料补加、卫星维修和在轨制造等业务设立目标。11月,DARPA宣布其“同步轨道卫星机器人服务”(RSGS)项目已完成首个机械臂的功能测试^[20]。RSGS项目于2017年启动,计划研制部署在地球同步轨道的在轨服务机器人,利用太空机械臂检查和修复超期服役的卫星(图5)。其中,机械臂由美国海军研究实验室(NRL)设计,目前第二个机械臂正在进行集成,计划2023年与卫星平台进行集成,并于2024年发射,2025年提供维修服务。

3) 前沿探索空间服务和天地往返平台。

2022年2月,美国创企量子航天公司称,计划

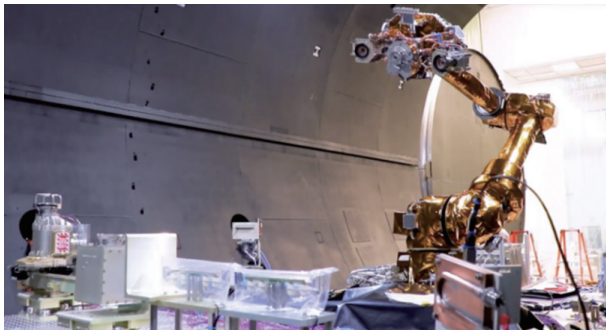


图5 在轨服务机器人机械臂

研发“机器人前哨”可扩展服务平台,并将其部署在地月空间,如地月第一拉格朗日点(L1),提供部署卫星、搭载有效载荷、获取数据、后勤服务等多种定制化任务。量子航天公司计划在2024年发射“探路者”试验型航天器,该航天器将搭载遥感载荷,运行在地月L1点。第一个服务平台计划在2025年或2026年投入使用。11月,美国X-37B轨道试验飞行器完成第6次太空飞行,在佛罗里达州肯尼迪航天中心着陆(图6)^[21]。这架X-37B于2020年5月17日由美国联合发射联盟“宇宙神”-5火箭发射升空,在轨908天,为历次之最。



图6 X-37B轨道试验飞行器

6.2 俄罗斯研发首台天基3D打印机

2022年5月,俄罗斯托木斯克理工大学的研究人员已完成了俄罗斯首台可在失重条件下使用的3D打印机的设计及制造工作。该打印机的设计及制造仅耗费了3年多的时间,当前已成功完成2台样机的制造^[22]。其中1台于2022年6月送往国际空间站,辅助俄罗斯航天员制造空间站设备所需零部件,可免去地面制造并输送太空的漫长过程,具备速度快、便捷性高等优势。另一台则留在地球继续

进行完善工作。

6.3 中国实践-21号卫星成功测试和验证碎片缓解技术

2022年1月,中国于2021年10月发射的实践-21号卫星将一颗失效的北斗导航卫星(北斗二号导航卫星G2)从拥挤的地球同步轨道(GEO)往上方脱离,从2.13万~2.15万 km的高度提升到了3.63多万 km的高度上,提升高度达1.5万 km,将其送入了运行卫星极少的高空“墓地轨道”。北斗二号G2卫星于2009年4月由长征二号丙火箭在西昌卫星发射中心发射,失效后一直在地球静止轨道上飘移。实践-21号捕获目标后启动自身发动机,将两颗卫星的组合体带离原先位置并向上爬升。1月26日12:00(国际标准时间),实践-21号在非洲上空与北斗卫星分离,成功将其送入“墓地轨道”(远离拥挤的地球同步轨道、更高的永久性轨道)。完成任务后,实践-21号随即返回到地球静止轨道。

6.4 日本三菱电机开发出在太空制造卫星天线技术

2022年5月,三菱电机公司报告称,该公司已开发出一种在轨3D打印技术,该技术使用光敏树脂和太阳紫外光在外太空进行卫星天线低功耗工艺制造结构的3D打印^[23],即利用太阳紫外线进行光聚合,有助于轻量化从而减少发射成本,并能够在轨期间,制造大大超过运载火箭整流罩尺寸的3D打印天线结构。该技术的研发是专门为解决小型、廉价的航天器配备大型结构(例如高增益天线反射器)所带来的方案。

6.5 加拿大创企成功验证微小卫星快速离轨技术

2022年6月,加拿大太空飞行实验室公司称,CanX-7试验的3D打印卫星在阻力帆作用下,历时5年成功再入地球大气层并完全烧毁。该卫星是太空飞行实验室公司研制的一颗立方星,质量约3.5 kg,尺寸为10 cm×10 cm×34 cm^[24]。卫星于2016年9月发射,部署在远地点约700 km、近地点约660 km的低地球轨道,在2017年5月完成“广播式自动相关监视”(ADS-B)技术试验后,展开4个面积约1 m²的阻力帆,使其运行轨道在大气阻力作用下逐渐衰减。

7 稳步推进天地一体全覆盖的太空态势感知能力

美国通过发展地基、海基、天基等多平台太空态势感知系统,并与北约、印度、韩国等签署合作协议等方式,推动太空态势感知能力发展。

7.1 美国发展多平台传感器推进太空目标监视能力

2022年1月,美太空系统司令部与GEOST公司签署首个载荷样机研发合同,旨在研制一种可在卫星上搭载的光电相机传感器,监视地球同步轨道附近的高价值太空目标^[25]。8月,美国太空司令部负责人表示,正积极整合AN/TPY-2移动式雷达监视、海基X波段雷达以及“宙斯盾”雷达平台等非传统传感器,以对卫星和航天器进行监测,这些传感器能够提高太空环境监测的精确性。9月,美国完成对“先进光电系统”(AEOS)望远镜的主镜重新涂层工作。该望远镜是美国毛伊岛太空监视系统的一部分,也是美国国防部最大的光学望远镜(口径3.6 m),部署在夏威夷毛伊岛的哈雷阿卡拉火山山顶(海拔3033 m),用于执行美国的太空域感知任务^[26]。

7.2 跨机构协同、与盟友签署协议多措并举提升太空态势感知能力

2022年2月,美国国家海洋与大气管理局(NOAA)公布“太空物体商业数据”信息征询书,向商业卫星跟踪企业征集卫星数据产品、服务以及能力信息,以支持该机构以及其他政府机构开发“开放式体系结构数据库”(OADR)的开发计划和相关采办活动^[27]。4月,美国、印度双方在美印2+2部长级对话期间共同签署了一项太空态势感知合作协议。美印承诺将深化在太空和网络空间等新国防领域的合作;该太空态势感知协议为更深入的太空合作奠定了基础。4月,美国、韩国两国国防部举行了第18次美韩司长级国防太空合作会议,就两国开展太空态势感知合作签署协议。协议规定,两国将共享外层空间相关情报、通过培训和演习培养太空领域专家,并增强联合太空行动的互操作性。此次协议签署是韩国为提升太空态势感知能力和解决其他太空安全相关问题所做系列努力的最新成果。

8 通过演习演练积极提升太空部队实战能力

2022年8月8—19日,美国太空训练与战备司令部举行“太空旗”(22-3)演习,是迄今为止规模最大的一次演习。这是首个获得美国国防部联合国家训练能力认证的太空演习^[28]。该演习以战术为重点,旨在为战术太空部队提供在模拟竞争、降级和操作受限的环境中的高级训练。9月,美国太空部队开展其首次“黑色天空”电子战演习,“黑色天空”演习包括从事太空任务的守护者和空军国民警卫队,关键领域围绕着卫星干扰,美太空军从一家私人公司租用商业卫星作为训练目标,并进行了模拟实战情况下的“实弹”干扰行动^[29]。

2022年7—8月,美国太空司令部在加利福尼亚州范登堡太空基地举办了“全球哨兵2022”年度演习。“全球哨兵”演习主要是通过“桌面太空态势感知推演”的方式来加强美盟之间的联合太空态势感知能力^[30]。此次演习,通过演习模拟实战,为美国锤炼太空作战能力提供了良好的训练平台,为新技术的验证与应用磨合提供了保障,使美国能够在实践中不断融合新技术,为未来太空竞争做好准备。

9 结论

1) 借助大中型火箭研发和商业航天力量,美国将进一步扩大运载火箭技术优势。

未来随着深空探测、载人登月等任务发展的需要,运载火箭装备及技术将不断向前发展;随着可重复使用航天器、小型运载火箭发射成本不断降低,将不断推动商业航天技术向前发展。受经济和俄乌冲突影响,俄罗斯重型/超重型运载火箭研发进度已大幅推迟,未来与美国大中型运载火箭的技术差距将进一步拉大。

2) 侦察卫星建设朝着军商共建方向发展,精度和弹性将进一步提升。

美国积极利用情报侦察和商业航天优势,推动卫星数据共享,构建军商共享的新型侦察卫星体

系;俄罗斯紧随其后,补网加强侦察卫星体系,其最先进的侦察卫星分辨率目前已达到0.5 m水平,未来2~3年内将达到0.3 m水平。澳大利亚、伊朗、西班牙等国家通过国际合作或购买等方式,开始发展军用成像侦察卫星技术,未来3~5年内分辨率将达到0.5 m水平。

3) 通信、导航卫星朝着大容量、低延迟、抗干扰方向发展,低轨激光通信能力受到高度重视。

美国三大军事卫星系统逐步完成换代,系统容量和性能大幅提升,欧洲、俄罗斯等国家也积极升级系统能力。新型宽带通信载荷向更高频段、太赫兹和激光通信方向发展。未来导航定位系统将不断提高导航、定位和授时精度,并普遍注重导航能力建设,重视安全性和反利用能力;不断提高系统自主运行能力、抗干扰能力和选择性服务能力;注重不同系统间的兼容性与互操作性。同时,各国正在探索脉冲星导航等新型天文导航技术,积极发展融合地磁导航、室内导航等多种手段的全源导航系统。

4) 覆盖高中低轨、面向全程跟踪的导弹预警探测跟踪体系成为美国、俄罗斯等国家发展重点。

未来导弹预警卫星将向高轨与低轨结合、扫描与凝视结合、捕获与跟踪结合的方向稳步发展,探测范围从主动段向中段和再入段拓展,探测任务从发射预警向跟踪与识别拓展,甚至能够直接提供火控信息引导拦截弹。在不断增强和完善地基空间目标监视系统的基础上,发展天基空间目标监视卫星和机动巡视卫星,实现全轨道近实时覆盖。导弹预警与空间目标监视系统综合利用,形成对空间目标全寿命周期的完整监视。

5) 复杂环境下的太空态势感知、攻防对抗能力成为发展焦点。

2022年,美国、俄罗斯等主要航天国家加速推进空间态势感知能力体系建设,积极构建天地一体、覆盖全轨道的空间态势感知系统,实现探测目标更小、监视时效更强、轨道精度更高、目标识别更细、作战响应更快的空间态势感知能力;积极构建在轨碎片清理法案和规范,大力发展再退服务、组

装和制造能力,力图尽快形成稳健的太空攻防对抗能力。

参考文献 (References)

- [1] NASA's huge SLS rocket finally launches the artemis 1 Moon mission[EB/OL]. (2022-11-16)[2022-12-25]. <https://www.wired.com/story/artemis-1-nasa-moon-mission-launch-sls-rocket-orion>.
- [2] Upper stage from failed Russian rocket to make uncontrolled re-entry[EB/OL]. (2022-01-05) [2022-12-25]. <https://arstechnica.com/science/2022/01/whats-going-on-with-russias-new-heavy-lift-rocket>.
- [3] Tests of the upgraded RD-171MV engine for Soyuz-5 rocket completed[EB/OL]. (2022-09-05) [2022-12-25]. <https://parabolicarc.com/2022/09/05/tests-of-the-upgraded-rd-171mv-engine-for-soyuz-5-rocket-completed>.
- [4] New NASA alloy is 1000 times more durable than what's currently used in spacecraft[EB/OL]. (2022-09-05)[2022-12-25]. <https://www.zmescience.com/science/news-science/nasa-alloy-spacecraft-19042022>.
- [5] Soyuz launches mysterious Neutron military payload[EB/OL]. (2022-02-05)[2022-12-25]. <https://www.nasaspaceflight.com/2022/02/soyuz-neutron>.
- [6] Satélite militar russo lançado com sucesso Cosmos-2560 [EB/OL]. (2022-10-16)[2022-12-25]. <https://pt.euronews.com/2022/10/16/satelite-militar-russo-lancado-com-sucesso-cosmos-2560>.
- [7] Iran puts second military satellite into orbit[EB/OL]. (2022-03-09)[2022-12-25]. <https://www.reuters.com/world/middle-east/irans-revolutionary-guards-put-noor-2-satellite-orbit-tasnim-2022-03-08>.
- [8] Space development agency makes awards for 126 satellites to build tranche 1 transport layer[EB/OL]. (2022-02-28)[2022-12-25]. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2948229/space-development-agency-makes-awards-for-126-satellites-to-build-tranche-1-tra>.
- [9] CACI demonstrates optical intersatellite links for DARPA, SDA[EB/OL]. (2022-05-17) [2022-12-25]. <https://www.satellitetoday.com/government-military/2022/05/17/caci-demonstrates-optical-intersatellite-links-for-darpa-sda>.
- [10] USMC completes first AH-1Z flight with Link-16[EB/OL]. (2022-06-07)[2022-12-25]. <https://news.bellflight.com/en-US/199771-usmc-completes-first-ah-1z-flight>

- with-link-16.
- [11] Multiple air force units buy SpaceX's Starlink satellite Internet Service[EB/OL]. (2022-08-09) [2022-12-25]. <https://www.airandspaceforces.com/multiple-air-force-units-buy-spacexs-starlink-satellite-internet-services>.
- [12] Russia to start deploying Skif satellite constellation for high-speed internet in 2025[EB/OL]. (2022-11-11) [2022-12-25]. <https://tass.com/science/1535097>.
- [13] GPS denied environment: How AI is transforming defense strategies[EB/OL]. (2022-8-15)[2022-12-25]. <https://www.aseifl.com/GPS-Denied-Environment-How-AI-Is-Transforming-Defense-Strategies-1-14297.html>.
- [14] At Sandia Labs, a vision for navigating when GPS goes dark[EB/OL]. (2022-10-24) [2022-12-25]. https://news-releases.sandia.gov/inertial_navigation.
- [15] Russian military launches GLONASS-K navigation satellite from Plesetsk[EB/OL]. (2022-07-07) [2022-12-25]. <https://www.nasaspaceflight.com/2022/07/russian-ghlonass-k-launch>.
- [16] Soyuz launches GLONASS navigation satellite from Plesetsk[EB/OL]. (2022-10-10) [2022-12-25]. <https://www.nasaspaceflight.com/2022/10/ghlonass-k-17>.
- [17] Raytheon Intelligence & Space completes Next Gen OPIR GEO Block 0[EB/OL]. (2022-02-09) [2022-12-25]. Milestone. <https://www.raytheonintelligenceandspace.com/news/2022/02/09/ris-completes-next-gen-opir-geo-block-0-milestone>.
- [18] L3harris secures \$700 million advanced missile tracking space development agency program[EB/OL]. (2022-07-18) [2022-12-25]. <https://www.l3harris.com/newsroom/press-release/2022/07/l3harris-secures-700-million-advanced-missile-tracking-space>.
- [19] Tracking sustainability metrics: CDMOs should act now to prevent catch up[EB/OL]. (2022-09-29) [2022-12-25]. <https://pharmaceuticalmanufacturer.media/pharmaceutical-industry-insights/latest-pharmaceutical-manufacturing-industry-insights/tracking-sustainability-metrics-cdmos-should-act-now>.
- [20] DARPA's Robotic in-space mechanic acs tests, on track for launch[EB/OL]. (2022-11-08) [2022-12-25]. <https://www.darpa.mil/news-events/2022-11-08>.
- [21] X-37B orbital test vehicle concludes sixth successful mission[EB/OL]. (2022-11-12) [2022-12-25]. www.spaceforce.mil/News/Article/3217077/x-37b-orbital-test-vehicle-concludes-sixth-successful-mission.
- [22] Russia develops 3D printer prototype to print large metal items in outer space[EB/OL].(2022-05-12)[2022-12-25]. <https://tass.com/science/945897>.
- [23] Mitsubishi electric develops freeform in-orbit satellite antenna 3D printing technology[EB/OL]. (2022-05-30) [2022-12-25]. <https://3dprintingindustry.com/news/mitsubishi-electric-develops-freeform-in-orbit-satellite-antenna-3d-printing-technology-209920/>.
- [24] Space Flight Laboratory deorbits the CanX-7 smallsat using drag sail technology[EB/OL]. (2022-06-13)[2022-12-25]. <https://news.satnews.com/2022/06/13/space-flight-laboratory-deorbits-the-canx-7-smallsat-using-drag-sail-technology>.
- [25] Space Force plans multiple hosted payloads for GEO belt monitoring[EB/OL]. (2022-01-06) [2022-12-25]. <https://breakingdefense.com/2022/01/space-force-plans-multiple-hosted-payloads-for-geo-belt-monitoring>.
- [26] DOD's largest telescope receives mirror recoat, preserves space domain awareness[EB/OL]. (2022-09-26) [2022-12-25]. <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/3167724/dods-largest-telescope-receives-mirror-recoat-preserves-space-domain-awareness>.
- [27] NOAA'S space data repository takes a step forward[EB/OL]. (2022-02-11) [2022-12-25]. <https://spacepolicyonline.com/news/noaas-space-data-repository-takes-a-step-forward>.
- [28] STARCOM executes first JNTC-accredited, largest SPACE FLAG exercise ever[EB/OL]. (2022-08-22) [2022-12-25]. <https://www.spaceforce.mil/News/Article/3135368/starcom-executes-first-jntc-accredited-largest-space-flag-exercise-ever>.
- [29] STARCOM's 'Black Skies' exercise includes satellite jamming[EB/OL]. (2022-09-19) [2022-12-25]. <https://breakingdefense.com/2022/09/starcoms-black-skies-exercise-includes-satellite-jamming>.
- [30] Reservists sharpen readiness, build relationships at Resolute Sentinel[EB/OL]. (2022-08-26)[2022-12-25]. <https://www.airforcemedicine.af.mil/News/Display/Article/3140668/reservists-sharpen-readiness-build-relationships-at-resolute-sentinel>.

Hotspots of aerospace equipment in 2022: A review

LIU Dong, SHI Wenbo

Division of Advanced Technology and Equipment, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China

Abstract In the field of launch vehicles, the US, Russia, Europe and other countries accelerated the research and development of large carrier rockets in 2022 but the progress was mixed. The US and Russia launched multiple reconnaissance satellites as planned and space-based reconnaissance capabilities were constantly upgraded and improved. The US, Russia and China accelerated the development and deployment of advanced communication satellite systems with high throughput, high speed and anti-interference to effectively meet the communication needs of future operations and develop navigation capabilities in complex confrontation environments. The US high track wide field of view missile early warning technology test satellite would begin operation after completing in-orbit tests, with a certain hypersonic weapon early warning tracking test ability. As for the space control aspects, the US, Russia, Japan, Canada and other countries continued to strengthen their in-orbit debris clearing, in-orbit operation, and heaven and earth re-shuttle, while space security issues became more complex and changeable. To develop multiplatform ground-, sea- and space-based space situational awareness systems, the US held exercises such as "Space Flag", "Black Sky" and "Global Sentinel 2022" to steadily promote the space situational awareness capability of integrating heaven and earth.

Keywords aerospace technology; aerospace equipment; carrier rocket; communication satellite ●



(责任编辑 傅雪)