

2018 年国外载人航天运载器发展综述

2018 年，航天发射活动频繁，全球共执行 114 次航天发射，创下了自 1991 年至今的最高发射记录(1990 年 121 次)，与载人航天及深空探索相关的发射活动有 17 次(见表 1)。除俄罗斯联盟号 FG 火箭发射联盟号 MS-10 载人飞船任务失败外，其余均获得成功。

表 1 2018 年载人航天及深空探索活动发射情况

发射国	运载器	日期	有效载荷	有效载荷运行轨道	结果	发射场
俄罗斯	联盟号 FG	2018. 3. 21	联盟号 MS-08 载人飞船	LEO	成功	拜科努尔
		2018. 6. 6	联盟号 MS-09 载人飞船	LEO	成功	拜科努尔
		2018. 10. 11	联盟号 MS-10 载人飞船	LEO	失败	拜科努尔
		2018. 11. 17	进步号 MS-10 货运飞船	LEO	成功	拜科努尔
		2018. 12. 3	联盟号 MS-11 载人飞船	LEO	成功	拜科努尔
	联盟号 2-1a	2018. 2. 13	进步号 MS-08 货运飞船	LEO	成功	拜科努尔
		2018. 7. 10	进步号 MS-09 货运飞船/ SiriusSat1/2	LEO	成功	拜科努尔

续表

发射国	运载器	日期	有效载荷	有效载荷运行轨道	结果	发射场
美国	猎鹰重型	2018. 2. 7	特斯拉跑车	地火转移轨道	成功	肯尼迪航天中心
	猎鹰 9-1.2	2018. 4. 2	龙货运飞船	LEO	成功	卡纳维拉尔角
		2018. 4. 19	TESS 凌日系外行星巡天测量卫星	月球共振轨道	成功	卡纳维拉尔角
		2018. 6. 29	龙货运飞船	LEO	成功	卡纳维拉尔角
		2018. 12. 6	龙货运飞船	LEO	成功	卡纳维拉尔角
	宇宙神 5 (401)	2018. 5. 5	洞察号火星探测器/2 颗 MarCO 立方体卫星(瓦力/伊芙)	行星际轨道	成功	范登堡
	安塔瑞斯 230	2018. 5. 21	天鹅座货运飞船	LEO	成功	沃勒普斯
		2018. 11. 17	天鹅座货运飞船	LEO	成功	沃勒普斯
欧洲	阿里安 5ECA	2018. 10. 20	贝皮-科伦坡探测器	水星轨道	成功	库鲁
日本	H-2B-304	2018. 9. 23	HTV 7	LEO	成功	种子岛

一、任务执行情况

2018 年，在国际空间站项目下，国外载人航天领域开展了 4 次载人飞行及 9 次货运飞行，4 次载人飞行任务均由俄罗斯的联盟号 FG 搭载联盟号载人飞船承担；货运任务由俄政府、美国商业发射服务公司承担，参与发射的火箭包括联盟号 FG、联盟号 2-1a、猎鹰 9 和安塔瑞斯 230。

(一) 联盟号 FG 火箭执行 MS-10 载人飞船发射任务失败

2018 年，俄罗斯联盟号火箭执行了 4 次国际空间站载人、3 次货运任务飞行。在第三次的载人飞行中，联盟号 MS-10 载人飞船发射任务遭遇了失败，这是俄罗斯 35 年来发射载人飞船首次出现故障。

2018 年 10 月 11 日，俄联盟号 FG 火箭搭载联盟号 MS-10 载人飞船从拜科努尔航天发射场点火起飞。飞船机组乘员分别为俄罗斯航天员阿列克谢·奥夫齐宁和美国的航天员尼克·黑格。在联盟号 MS-10 载人飞船起飞后约 117s 出现故障，随后启动了应急逃逸系统，以弹道式再入方式返回地球。火箭起飞后 90min，在搜救人员的帮助下，两名航天员成功出舱。

11 月 1 日，故障调查委员会公布，联盟号 FG 火箭在发射中，D 助推器未能正常分离，头部撞击了芯一级推进剂箱区域，致使贮箱丧失密封性，进而导致火箭失稳。助推器未能正常分离的原因是，分离接触传感器顶杆形变(6°45')致使 D 助推器氧箱侧推喷管盖未打开。传感器顶杆形变是火箭在拜科努尔发射场组装时产生的。随后对其进行了整改，联盟号 FG 火箭于 11 月 17 日发射进步号 MS-10 货运飞船，12 月 3 日成功发射了联盟号 MS-11 载人飞船，恢复载人发射能力。

目前，联盟号 FG 火箭仅余 4 枚库存，计划用于执行载人飞

船发射任务。而随后的载人任务由联盟号 2-1a 火箭替代，首次预计在 2020 年 4 月，从拜科努尔发射场 31 号发射区执行联盟 MS-16 载人飞船发射任务。

(二) 美国商业货运项目 (CRS) 稳步开展

美国继续依靠商业力量执行国际空间站货运任务。在第一轮 CRS 合同下，2018 年，SpaceX 利用猎鹰 9/龙飞船系统执行了 2 次 CRS 发射，4 月 2 日，CRS SPX-14 为国际空间站送去 2.6t 货物、6 月 29 日，CRS SPX-15 为国际空间站送去 2.7t 货物，此外，还计划在年底前完成 CRS SPX-16 任务，剩余 4 次发射任务。诺·格公司在 5 月 21 日完成了 CRS OT-9 任务，11 月 17 日完成 CRS NG-10 任务，标志着诺·格公司在第一阶段合同下仅剩余一次发射任务。

第二轮 CRS 预计在 2019—2024 年间开始执行，本轮合同在 2016 年正式授出，由 SpaceX、轨道 ATK、内华达山脉 3 家企业获得，每家将为该项目提供至少 6 次的国际空间站货运服务。2018 年 2 月，内华达山脉公司获得 NASA 的许可，将根据 CRS 合同执行首次国际空间站货物补给任务，时间暂定 2020 年。

(三) 日本发射第七艘 H-2 转移飞行器

2018 年 9 月 23 日，日本宇宙航空研究开发机构 (JAXA) 利用 H-2B 火箭从种子岛航天中心将一艘重 16.5t 的日本货运飞船 H-2 转移飞行器 (HTV) 送入太空。此次，HTV 货运飞船不仅为国际空间站运送了后勤补给，还携带了两颗小型立方体卫星和一个小型返回舱。两颗小型立方体卫星已在 10 月 6 日部署。11 月 7 日，国际空间站航天员利用机械臂完成与国际空间站的分离操作，携带返回舱返回地球，11 月 10 日，小型返回舱成功再入回收。它是日本首个返回舱，用于将试验样品带回地球。

(四) SpaceX 公司的猎鹰重型火箭成功首飞

2018 年 2 月 7 日，几经推迟的猎鹰重型火箭终于实现了首飞，

搭载一辆改装过的红色特斯拉跑车发射升空。虽然最终未能将其送入目标地大椭圆地火转移轨道，但仍实现了大部分试验目标，使猎鹰重型火箭成为现役火箭中运力最强的火箭。

首飞任务中对芯级、两枚助推器进行了回收，其中两枚助推器完成工作后与芯级分离，从位于卡纳维拉尔角的陆地着陆场同步回收，这两枚助推器由两枚复用火箭一子级组成，分别是 2016 年 5 月 27 日 Thaicom - 8 通信卫星发射任务中通过海上回收的 B1023.2，以及 2016 年 7 月 18 日 CRS - 9 国际空间站任务中通过陆地回收的 B1025.2。而芯级原计划在大西洋海上平台进行回收，但未成功，最后砸在了海上平台附近的海面上。

猎鹰重型火箭是在猎鹰 9 火箭基础上研制的，研制项目于 2011 年 4 月正式启动。猎鹰重型采用两级结构，捆绑两枚助推器，火箭全长 70m，最大直径 12.2m，起飞推力 22819kN，火箭的 LEO 运载能力 63.8t，GTO 运载能力 26.7t，是 NASA 航天飞机运货能力的 2 倍，发射价格仅为 9000 万美元。此外，还采取了一些新技术，如全箭采用了冷氮喷射和机械式推杆等无损冷分离装置便于一子级和助推器回收，采用“自主飞行安全系统”依靠箭上 GPS 实现 3 枚子级的同步返回，它不仅能将卫星送入轨道，还可以往火星运送物资。

二、未来载人运载器项目进展

(一) 美国航天发射系统进入测试、组装阶段

2018 年，美国 NASA 发布《国家太空探索活动报告》，强调美国国家太空探索活动战略目标，明确以月球轨道平台-门户为前哨战，由近地轨道以远任务开始，美国将在载人重返月球中开展长期探索及在开发利用活动中发挥领导作用，后续还将对火星和其他目的地进行载人探索，并拟定组建月球轨道空间站、探月、探火等任务的时间线。

作为执行美国载人深空探测任务的新一代重型运载火箭，航天发射系统(SLS)将在美国重返月球计划中继续发挥重要的运输作用。NASA自2011年公布火箭方案以来，先后完成了项目的系统需求评审、系统定义评审、初步设计评审和关键设计评审，当前正在开展主要结构部件和发动机的验证试验，以及首火箭的制造和装配活动，计划最早在2020年进行首飞。

截至2018年年底，SLS发动机团队共完成27次试验，累积点火时间超过10000s。用于EM-1任务的5个芯级部段飞行结构件已制造完毕，技术人员正在开展内部硬件的安装工作并进行检验测试，其中前裙段和箱间段已经完成装配，5个部段组装一体后还将进行集成功能测试。SLS 1型火箭首飞用五段式固体火箭助推器已进入全面生产阶段，首飞需要的10个发动机部段中的8个已浇注完毕。过渡型低温上面级飞行件已在卡纳维拉尔角空军基地完成最终测试和检查，并抵达肯尼迪航天中心与其他部段集成。级间段正在马歇尔航天飞行中心进行最后的装配，待SLS火箭总装时再运往肯尼迪航天中心。飞行用猎户座飞船支架已制造完毕并运抵肯尼迪航天中心。此外，用于SLS 1B的探索上面级已通过初步设计评审。

(二) 美国商业乘员计划(CCP)首飞推迟

在NASA“商业乘员计划”下，波音公司和SpaceX公司正对各自提供的载人航天系统进行测试，将在系统达到安全要求时进行验证飞行。

2018年，两家公司稳步推进载人航天系统硬件的开发、测试和鉴定。8月，NASA公布了修订版的商业载人验证飞行计划，波音公司和SpaceX的各两次试飞将推迟。按照新的进度安排，SpaceX公司计划2019年1月进行不载人验证飞行，比年初公布的原计划推后了5个月，而其搭载两名航天员的载人验证飞行则推迟至2019年4月，比原计划晚了4个月。波音公司方面，原计划

在 8 月份进行的不载人验证飞行推迟至 2019 年年初，原计划 11 月进行的载人验证飞行推迟至 2019 年年中。

(三) 俄联盟号 5 火箭通过初步设计评审

联盟号 5 火箭在《俄联邦 2016—2025 年航天规划》菲尼克斯研究项目框架下开展，主要用于向近地轨道发射新一代载人飞船联邦号，以及商业卫星发射。未来也将作为重型运载火箭的技术储备。火箭由能源火箭航天集团抓总研制，采用两级串联构型，使用液氧/煤油推进剂，一子级发动机为 RD-171 的改进型 RD-171MV，二子级发动机采用化学自动装置设计局研制的 RD-0124MS。2018 年 3 月底，联盟号 5 火箭通过初步设计评审。为纪念额尔齐斯河，俄计划将联盟号 5 火箭更名为额尔齐斯，相关的更名文件已准备就绪，但尚未签署。未来，俄计划在 21 世纪 20 年代中期后的 40 年间，每年发射 6 枚联盟号 5 火箭，共计 240 枚，实施这些发射的总预算为 144 亿美元(表 2 为 2018 年珠海航展展出的联盟号 5 火箭的总体结构布局与主要性能)。

表 2 2018 年珠海航展展出的联盟号 5 火箭的总体结构布局与主要性能

结构布局	主要性能	
	起飞质量	534t
	推进剂组元 • 燃料 • 氧化剂	煤油 液氧
	有效载荷质量 • 200km 圆形轨道，轨道倾角 51.7° • GEO 轨道	17.8t 2.5t
	发动机 一子级 二子级	RD-171MV RD-0124MS

联盟号 5 火箭将由拜科努尔发射场原天顶号火箭发射区基础上改进的巴伊捷列克发射区发射，未来将从东方发射场发射。目前俄罗斯国家航天集团与能源火箭航天集团已正式签署联盟号 5 火箭的研制合同，暂定于 2022 年进行首飞。1 枚联盟号 5 火箭的发射价格为 6000 万美元。

此外，2018 年，俄再次提出载人登月计划。年初，普京颁布总统令，宣布研制重型运载火箭，并提出到 2030 年实现载人登月。2018 年 11 月，俄罗斯联邦航天局载人航天工程总设计师叶夫根尼·米可林向外界公布，俄罗斯航天员将于 2030 年之后首次登月，任务为期 14 天。为实现载人登月，俄计划在联盟号 5 火箭基础上研制新的重型运载火箭。根据总统令，俄重型火箭总研制商为能源火箭航天集团，其将采用联盟号 5 的主要元件和技术储备，具备 100t 的近地轨道运载能力，不仅能将载荷送入月球轨道，还可将载荷送至月球表面。计划在 2019 年年底，形成重型运载火箭的草案设计，2028 年进行首飞，将从东方发射场执行发射。

(四) SpaceX 公司研制超重-星舰运输系统

超重-星舰是 SpaceX 公司目前的重点研发项目，其方案由公司创始人艾伦·马斯克在 2016 年国际宇航联大会上首次提出。系统最初命名为星际运输系统(ITS)，2017 年改为超重型猎鹰火箭(BFR)，2018 年更名为超重-星舰，计划在 2020 年实现首飞(BFR 系统最新参数见表 3)。

SpaceX 还计划在 2023 年后利用超重-星舰进行首次绕月载人飞行，任务周期约为 6 天，将把乘客(日本的前泽友作及其他同行者)送达距地球 50 万~65 万千米的轨道，成为飞离地球最远的载人飞行任务。SpaceX 公司曾在 2017 年宣布要利用猎鹰重型火箭送两名私人乘客开展一次载人绕月飞行，其中一位是前泽友作。2018 年确定改用超重-星舰来执行，主要原因是要增加乘客人数。

此外，超重-星舰还瞄准火星探测活动，SpaceX 计划在 2022 年发射登陆火星的货运飞船，并在 2024 年发射登陆火星的载人飞船。


表 3 BFR 系统最新参数

	总体参数		
	全长	118m	
	起飞质量	4400t	
	运载能力	LEO: 100t(完全重复使用) 火星: 100t(在轨加注) 月球: 100t(在轨加注)	
	各级参数		
	飞船	长	55m
		直径	9m
		空载质量	85t
		起飞质量	1335t
		内部空间	1000m ³ ~1100m ³
		发动机	7 台猛禽发动机
		推力	13.9MN
		比冲	330s
	推进剂	过冷甲烷/液氧	
	火箭级	长	63m
直径		9m	
起飞质量		3065t	
发动机		31 台猛禽发动机	
推力		61.8MN	
比冲		330s	
推进剂		过冷甲烷/液氧	

超重-星舰系统由火箭级和飞船两部分组成，均可垂直着陆并可重复使用，其设计在近年来不断修改，逐渐形成较为可行的方

案。在 2018 年最新透露的方案中，超重-星舰的近地轨道运载能力为 100t。火箭级高度降至 63m，直径降至 9m，缩减为原设计的 3/4，采用 31 台猛禽液氧/甲烷发动机(参数见表 4)。飞船长度增加至 55m，使用 7 台与火箭级相同的猛禽发动机，以降低研制风险和成本。另外，SpaceX 还将针对真空条件对猛禽发动机进行优化，飞船尾部配备 3 个尾翼并设有着陆支腿，前部设有 2 个活动翼，内部空间 1000m³~1100m³，能够容纳 40 个乘客。

表 4 猛禽液氧/甲烷发动机参数

	循环方式	全流量补燃循环发动机
	推进剂	甲烷/液氧
	燃烧室压力	300bar
	混合比	3.81
	推力	1993kN
	比冲	330s
	直径	1.3m

作为超重-星舰系统的重要研制组成部分，猛禽发动机的研发工作已进入测试阶段，至 2017 年 9 月已经完成了 42 次试车，累计点火时长达 1200s，单次最长达 100s。此外，SpaceX 公司还完成了超大碳纤维复合材料推进剂贮箱原理样机研制，租赁了位于洛杉矶港的土地，建造第一个 BFR 专用工厂等。SpaceX 计划在 2019 年开始进行飞船级的低空垂直起降试验，随后将转入进一步的试飞。

(五) 可重复使用技术领域取得重要突破

为降低发射成本、提升竞争力，商业发射公司积极发展可重复使用运载器技术。2018 年，以 SpaceX 公司为代表的商业公司

在该领域取得了重要突破。

1. SpaceX 公司火箭一子级回收进入常态化, BLOCK 5 猎鹰 9 实现两次复用

2018 年, SpaceX 公司的猎鹰系列火箭一子级回收进入常态化, 截至 2018 年 12 月 14 日, 猎鹰 9 系列火箭(包括猎鹰重型)共执行 66 次发射, 总计 35 次(37 台次)尝试回收, 成功回收 30 次, 其中 18 次海上, 12 次陆地。复用 18 次。

此外, 5 月, BLOCK 5 猎鹰 9 火箭成功首飞, 并实现了两次复用。该构型为猎鹰 9 的终极构型, 大幅提升了可重复使用性能, 同时提高了可靠性, 能够满足载人需求, 计划用于未来 NASA 商业载人任务。主要改进包括: ①进一步提高发动机推力, 单台隼 1D 发动机海平面推力可达 845kN, 单台真空隼 1D 发动机可产生 978kN, 比以前版本推力增加大约 10%; ②改进型着陆支架, 取消了原支架设计中的锁紧机构, 升级为可伸缩式的黑色着陆支架; ③采用了强度更高的铝制 Octaweb 结构, 并采用螺栓连接, 以便缩短检查和维修的时间; ④重新设计复合材料缠绕容器(COPV), 避免 Amos-6 爆炸事故的重演, 同时应对多次重复使用; ⑤采用了 SpaceX 自行研制的复用性能很高且无需喷漆的新型热防护材料; ⑥加强了位于火箭底部靠近发动机部段的热防护罩, 该热防护罩用于保护发动机和推进系统管路, 有助于提高芯级的生产速度和重复使用率。

2. 商业公司验证亚轨道商业载人飞行器

2018 年, 蓝源公司成功对新谢帕德飞行器进行了第 9 次飞行试验, 验证了乘员舱逃逸系统的能力。试验中, 逃逸系统达到预定的工作目标, 乘员舱创下了 118.8km 的最高飞行记录, 并在发射后 11min 成功利用降落伞着陆, 而动力模块利用动力反推成功完成垂直返回着陆。此次飞行试验的主要目的是验证飞行器的逃逸系统, 乘员舱内还携带了 8 个科研和技术验证载荷。蓝源公司

原计划在 2019 年开始进行载人飞行，但没有给出具体日期。蓝源公司开始商业运营之后的太空旅游票价在 20 万~30 万美元之间。

另外，维珍银河公司的太空船 2 号亚轨道旅游飞行器在飞行试验中，达到了新的飞行高度和飞行速度纪录。实现了 83km 的飞行高度，和 2.9 倍声速的飞行速度，期间发动机持续工作 60s，达到最大工作时长。此次飞行试验中，还搭载了 NASA“飞行机会”项目下的 4 个试验载荷。维珍银河公司创始人理查德·布兰森透露或将在 2019 年开始太空旅游项目。目前共有约 700 名乘客全款预定了维珍银河的太空旅游船票，票价为 25 万美元。

三、小结

2018 年，美俄积极规划未来登月任务，旨在通过登月任务牵引航天产业及技术的发展，保持其在航天领域的领先地位。美国发布《国家太空探索活动报告》，确定组建月球轨道平台-门户月球轨道空间站，旨在通过该平台测试和完善深空探测所需技术，近期实现美国人重返月球，长期以月球为“跳板”实现探索火星的目的。此外，俄罗斯也提出到 2030 年载人登月的规划。

新型号研制方面，美国重型运载火箭 SLS 研制稳步推进，正在开展主要结构部件和发动机的验证试验。俄罗斯用于发射新一代载人飞船的联盟号 5 火箭通过初步设计评审，并确定以联盟号 5 为基础发展重型火箭。商业公司在运载器领域取得重大进展，为发射市场注入新的活力，SpaceX 公司不仅实现了猎鹰重型的首飞，而且在可重复使用技术方面实现了突破，并积极规划 LEO 100t 的超重-星舰，为低成本载人深空探索提供了可能性。

(北京航天长征科技信息研究所)