

2017 年国外载人航天运载器发展综述

2017 年，全球共执行 91 次航天发射，其中与载人航天相关的发射活动有 14 次(见表 1)，与去年持平。参与发射的火箭包括俄罗斯的“联盟”FG、“联盟”U、“联盟”2-1a，美国的“猎鹰”9-1.2、“宇宙神”5、“安塔瑞斯”230，中国的长征 7 号，均获得成功。

一、任务执行情况

2017 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”FG 搭载“联盟”载人飞船完成，共将 11 名航天员送入太空；货运任务由俄政府、美国太空探索技术公司(SpaceX)和轨道 ATK 公司承担。参与发射的火箭包括“联盟”U、“联盟”2-1a、“猎鹰”9、“宇宙神”5 和“安塔瑞斯”230。

(一)“联盟”FG 火箭继续承担载人任务

2017 年，“联盟”FG 搭载“联盟”载人飞船完成 4 次载人发射。4 月 20 日、7 月 28 日、9 月 13 日、12 月 17 日分别将 11 位航天员及重 70 千克的货物送往国际空间站。

“联盟”FG 为两级液体运载火箭，LEO 运载能力 6.8 吨。于 2001 年 5 月 20 日投入使用，2002 年 10 月 30 日完成首次载人任务，目前是俄罗斯唯一的载人运载火箭。截止 2017 年底，“联盟”FG 总计发射 52 次，其中 49 次发射“联盟”载人飞船，3 次发射“进步”货运飞船，均获得成功。该火箭计划服役至 2020 年，此后由“联盟”2 代替。

表 1 2017 年载人航天活动发射情况

序号	发射国家	运载器	发射日期	有效载荷	发射结果	发射场	备注
1	俄罗斯	“联盟”FG	2017.4.20	联盟 MS-4 载人飞船	成功	拜科努尔	2 名航天员
2			2017.7.28	联盟 MS-5 载人飞船	成功	拜科努尔	3 名航天员
3			2017.9.13	联盟 MS-6 载人飞船	成功	拜科努尔	3 名航天员
4			2017.12.17	联盟 MS-7 载人飞船	成功	拜科努尔	3 名航天员
5			2017.2.22	进步 MS-5 货运飞船	成功	拜科努尔	2.5 吨物资
6		“联盟”U	2017.6.14	进步 MS-6 货运飞船和 TNSO-2 等 4 颗搭载载荷	成功	拜科努尔	3 吨物资
7		“联盟”2-1a	2017.10.14	进步 MS-7 货运飞船	成功	拜科努尔	2 吨物资

续表

序号	发射国家	运载器	发射日期	有效载荷	发射结果	发射场	备注	
8	美国	“猎鹰” 9-1.2	2017.2.19	“龙”货运飞船	成功	肯尼迪航天中心	2.39吨物资	
9			2017.6.3	“龙”货运飞船和NICER 等8个搭载载荷	成功	肯尼迪航天中心	2.42吨物资	
10			2017.8.14	“龙”货运飞船	成功	肯尼迪航天中心	重复使用飞船， 2.91吨物资	
11			2017.12.15	“龙”货运飞船	成功	卡纳维拉尔角	飞船与火箭均为重复 使用产品，2.5吨物资	
12		“宇宙神” 5(401)	2017.4.18	“天鹅座”货运飞船	成功	卡纳维拉尔角	3.5吨物资	
13			2017.11.12	“天鹅座”货运飞船	成功	沃勒普斯	3.35吨物资	
14		中国	长征七号	2017.4.20	天舟飞船	成功	文昌	—

(二)“联盟”U 火箭完成最后一次发射退役

2017 年 2 月 22 日，俄“联盟”U 火箭从拜科努尔航天发射场成功发射“进步”MS-05 货运飞船，飞船搭载约 2.5 吨物资。2 月 24 日，飞船与国际空间站成功对接。本次发射之后，“联盟”U 火箭正式退役。此后的空间站货运发射任务全部由“联盟”2-1a 火箭执行，2017 年“联盟”2-1a 完成 2 次货运发射，为国际空间站送去总重量 5 吨以上的物资。

“联盟”U 为两级液体火箭，近地轨道运载能力 6.9 吨，可用于近地轨道、太阳同步轨道和地球同步转移轨道等航天器的发射，2000 年以来主要用于“进步”货运飞船的发射。“联盟”U 火箭于 1973 年首飞，共执行发射 786 次，其中 22 次失败，1 次部分成功，成功率达 97.07%。“联盟”U 服役 44 年，是执行航天发射任务时间最长的运载火箭，并在 1979 年创造了全年发射 47 次的世界纪录。

(三)“猎鹰”9 复用火箭投入国际空间站货运任务

2017 年，SpaceX 公司使用“猎鹰”9 火箭/“龙”飞船系统执行了 4 次国际空间站货运任务，总计为国际空间站送去约 10.52 吨的物资。

特别是在执行 12 月 15 日的任务中，SpaceX 公司首次使用了复用火箭。“猎鹰”9 火箭使用编号为 B1036 芯级在卡纳维拉尔角 SLC-40 发射台成功发射了“龙”飞船，将 2.5 吨重的物资送往国际空间站，这是 SLC-40 发射台自 2016 年 9 月的发射台静点火爆炸事故损毁后的首度恢复使用。任务中使用的火箭一子级为年初执行国际空间站补给任务中使用的那一枚，并在此次发射中再度成功回收，而任务中的“龙”飞船也是从此前任务中回收复用的。

“猎鹰”9 火箭在 2017 年总计 18 次的发射任务中，5 次使用复用火箭，14 次成功回收一子级，代表了该公司垂直起降回收和复用技术已进入成熟阶段，而此次在国际空间站任务中的应用也标

志着 SpaceX 公司的火箭重复使用技术得到 NASA 的认可。

(四) 轨道 ATK 公司执行 2 次国际空间站货运任务

2017 年, 轨道 ATK 公司使用“宇宙神”5、“安塔瑞斯”230 发射 2 艘“天鹅座”飞船, 共为国际空间站送去约 6.85 吨物资。

4 月 18 日, 在美国佛罗里达州卡纳维拉尔角空军基地, 天鹅座飞船搭乘“宇宙神”5(401) 火箭发射升空, 执行该公司的第 7 次国际空间站货运任务, 将约 3.5 吨的物资送往国际空间站。本次发射原计划在 3 月 19 日进行, 但因火箭液压系统故障而推迟到 3 月 21 日。这是轨道 ATK 公司自“安塔瑞斯”火箭 2014 年爆炸后, 第三次利用“宇宙神”5 火箭发射“天鹅座”飞船, 为完成与 NASA 签订的第一轮商业轨道运输服务(COTs) 计划, 并弥补“安塔瑞斯”火箭爆炸事故的影响, 2019 年该公司还将使用一枚“宇宙神”5 火箭执行国际空间站货运任务。

11 月 12 日, “安塔瑞斯”230 型火箭搭载“天鹅座”飞船从沃勒普斯成功发射, 执行该公司第 8 次国际空间站货运任务, 本次发射原计划一天前进行, 但因倒计时最后几分钟有飞机误入靶场上空的禁飞区域而不得不取消。任务中飞船携带约 3.35 吨货物, 包括 16 颗立方星, 其中 2 颗从国际空间站上部署, 其余 14 颗由飞船离站后升轨部署。

二、政策规划

(一) 俄罗斯实施月球计划“四步走”战略

2017 年, 俄罗斯能源公司详细解读了俄月球规划, 主要涉及载人月球车研制以及辐射防护设施、月表试验设施和矿产资源开采设施的建造等, 计划将月球基地建造成未来深空探索中转站。其实施具体包括四个阶段: 第一阶段(2017—2030 年)进行月球基地的选址工作。同时, 将开展载人运输系统, 特别是载人飞船、

重型运载火箭和地面设施的研制；第二阶段(2031—2040年)为建立月球基地做准备。这一阶段将开始载人探月、地质研究和搭建月球基地组件等；第三阶段(2041—2050年)主要目标是建成月球基地，实施科研项目；第四阶段(2050年后)利用月球资源探索宇宙。研制生产和保存航天飞船燃料的系统、可重复使用的升降工具、轨道装配和加油工具、稀有资源开采系统，提升月球基地自给自足的水平。

(二) 美国特朗普政府调整深空探索战略

12月11日，在美国登月45周年纪念日的这一天，总统特朗普签署了“1号航天政策指令”，宣布美国航天员将重返月球表面，并最终前往火星。虽然美国深空探索战略稍有调整，包括取消小行星重定向任务，但探索火星的远期目标没有改变。NASA早在2017年初就提出了在月球轨道建设“深空之门”的建议，这与总统要求重返月球计划非常契合。此外，特朗普政府还表示此次重返月球是由美国政府主导，但希望美国商业航天企业能够参与计划，进而促进美国商业航天技术与能力的跃进，同时还希望美国盟友及国际机构能够加入。美国重返月球的经费将在2018年2月公布的NASA 2019财年预算申请中有所体现。

三、载人运载器研制最新进展

(一) 俄载人火箭逐步更新换代

1. 近期用“联盟”2火箭替换“联盟”U/FG

俄罗斯自2005年就计划使用“联盟”2火箭替代“联盟”U/FG。不过由于“联盟”U和“联盟”FG分别承担着“进步”货运飞船和“联盟”载人飞船的发射任务，俄罗斯在型号更替过程中非常谨慎，再加上“联盟”2火箭在发射货运飞船任务中曾遭遇发射故障，使得老型号退役的步伐进一步放缓，直到2015年才停止“联盟”U

的生产。

“联盟”FG 火箭还需要再服役 2 年时间。已确定在 2019 年 3 月和 9 月使用“联盟”2-1a 火箭发射“联盟”MS-12 和 MS-13 载人飞船任务。但为了确保“联盟”2-1a 首次载人任务的按期进行，将原计划在 2018 年 10 月和 2019 年 2 月由“联盟”2-1a 进行的“进步”MS-10 和 MS-11 货运飞船发射任务改由“联盟”FG 火箭进行发射。

“联盟”2-1a 为两级液体运载火箭，近地轨道运载能力为 7.8 吨较“联盟”FG 火箭提高 1 吨，采用了新一代飞行控制系统等先进技术。2013 年，“联盟”2-1a 火箭投入使用，2014 年开始执行空间站货运任务。截止到 2017 年底，该火箭共进行了 6 次货运任务，5 次成功，1 次失败。

2. 中远期使用“联盟”5 执行新型载人飞船发射任务

2017 年底，能源火箭航天集团提出了新的“联盟”5 中型火箭的设计方案。该火箭一子级将采用“天顶”火箭上使用的 RD-170M 发动机的改进型——RD-171MV，二子级采用由化学自动化设计局负责研制的 RD-0124M(目前应用于“联盟”2-1b)，三子级使用 Block DM 系列上面级。该方案已得到俄罗斯政府认可，并在 2017 年底完成了初步设计评审。虽然此次未公布具体运载能力，但此前曾宣称预计的起飞质量约 269 吨，最大高度 50.1 米，LEO 运载能力可覆盖 3~26 吨。未来 5 年内，俄罗斯将完成“联盟”5 中型运载火箭的研制。

研制成功后，“联盟”5 火箭将用于代替“天顶”火箭，并取代原规划中的“安加拉”A5P 火箭，用于发射未来的“联邦”载人登月飞船，并利用较低的发射价格在商业发射市场占据一席之地。此外，能源公司还提出以其一子级为基础研制重型运载火箭，通过捆绑 5 枚“联盟”一子级作为助推器，根据二、三、四子级的不同可形成 2 种重型火箭构型，近地轨道运载能力分别为 108 吨和 88

吨。目前，俄罗斯重型火箭方案尚未确定，预计首飞时间 2030 年后。

3. “安加拉”A5V 火箭为载人登月提供更多选择

经历 20 多年的设计和研发，“安加拉”火箭的型谱及任务规划不断改变。在 2017 年最新官方报道中仅保留“安加拉”1.2、A5、A5V 三种构型。删除了原方案中的中型“安加拉”A3、载人型 A5P 和重型“安加拉”A7。按照公司的最新规划，“安加拉”A5V 将用于执行载人登月计划。

“安加拉”A5V 的设计继承了“安加拉”A5 的 5 个通用芯级 (URM) 设计，二子级使用 2 两台 RD-0150 液氢/液氧发动机替换了现有的 URM-2 液氧/煤油发动机，近地轨道运载能力为 35~38 吨，月球轨道运载能力约 10 吨，满足多次对接载人登月的基本需求。“安加拉”A5V 火箭二子级发动机 RD-0150 的研制工作已经开始。该火箭首飞时间由原来的 2023 年推迟至 2026 年。

(二) 美国载人火箭稳步推进

1. SLS 重型运载火箭首飞时间再次推迟

作为执行美国载人深空探测任务的 SLS 重型运载火箭将在特朗普重返月球计划中继续发挥重要作用。2017 年，首飞箭 SLS1 型芯级的 5 个部段(氢箱、氧箱、前裙段、发动机段和箱间段)飞行件全部制造完毕，4 台 RS-25 发动机已完成飞行准备工作，完成 8 次热点火试车，后续还开展联合试车；过渡型低温上面级 (ICPS) 的集成飞行件正式转交给肯尼迪航天中心的地面系统研发和运行项目办公室 (GSDO)；探索上面级 (EUS) 完成了初步设计评审，为 2021 年 SLS 和猎户座飞船的第一次载人飞行奠定基础。

2017 年 11 月，NASA 宣布将 SLS1 型的首飞时间至少要推迟至 2019 年 12 月。除研制难度造成的影响以外，经费预估不足也是重要原因，因此 NASA 在 2018 财年预算案中为 SLS 申请的经费超过 19 亿美元，远超以往水平(13~14 亿美元左右)。

2. 商业轨道货运任务第一轮接近尾声第二轮已启动

在 NASA 第一轮商业货运补给服务(2011—2019 年)合同下, SpaceX 公司和轨道 ATK 公司要分别向国际空间站提供 20 次和 10 次货物补给服务。SpaceX 公司已累计完成 13 次, 其中 1 次失败, 轨道 ATK 公司已累计完成 8 次, 1 次失败。

NASA 于 2016 年初授出了第二轮商业货运补给服务合同(2019—2024 年), SpaceX 公司、轨道 ATK 公司和内华达山脉公司从竞争中胜出。每家公司将在此期间至少完成 6 次货运任务。其中内华达山脉的“追梦者”飞行器是首次中标, 计划使用“宇宙神”5 火箭执行发射。2017 年, “追梦者”完成了第三次集成评审和滑翔试飞, 下一步将进行关键设计评审。

3. 商业乘员运输系统即将开展验证飞行

为实现美国从本土发射载人火箭的目标, NASA 鼓励商业部门积极参与到载人运载能力的发展。2014 年, NASA 在商业乘员计划下分别授予 SpaceX 与波音公司 26 亿美元和 42 亿美元的合同, 分别开展“猎鹰 9/龙”和“宇宙神 5/CST-100 飞船”载人系统的研制。

2017 年两家分别获得 4 次国际空间站载人任务(根据该合同规定, 每家公司国际空间站载人飞行任务最多不超过 6 次)。为了完成最终设计、提高系统适用性, 商业乘员计划项目下的 2 套载人系统正在进行关键硬件的测试和评估及系统认证。美国航空航天安全咨询小组(ASAP)对商业乘员计划的运行情况进行了评估。认为商业乘员计划认证过程合理, 在关键技术方面取得了实质性进展, 虽然进度上有所滞后, 但总体正朝着其最终目标稳步前进。两家公司均计划在 2018 年进行分别进行 2 次不载人验证飞行和 2 次载人验证飞行。通过验证后两家公司将正式开展国际空间站航天员轮换任务。

4. SpaceX 将进行月球旅行及未来探火

SpaceX 公司宣布将于 2018 年利用“猎鹰重型”火箭发射一艘载有 2 名私人旅客的飞船实现月球旅行。该公司称其为 45 年来人类首次重返深空，具有重要意义。目前，仅有 7 名私人旅客在 2001—2009 年间乘坐俄罗斯载人飞船抵达国际空间站进行近地轨道的太空飞行，人均花费在 2000~3000 万美元，但私人旅客搭乘美国太空飞船前往月球还没有先例。

SpaceX 并未透露私人旅客为此次飞行要支付多少钱，但据悉他们已经缴纳了可观的押金。SpaceX 创始人伊隆·马斯克称，私人太空旅行将成为 SpaceX 收入的重要来源。只要每年发起 1~2 次登月旅行，这项任务就将贡献公司总收入的 10%~20%。按照规划，“月球旅行”时间大约一周，预计旅程为 50~65 万千米，飞船将掠过月球轨道，此后返回地球。任务中将使用“猎鹰重型”火箭及“龙”载人飞船。“猎鹰重型”火箭 LEO 运载能力为 63.8 吨，火星运载能力为 16.8 吨，于 2018 年进行首次非载人验证飞行。

(三) 印度以 GSLV - MK3 成功为契机发展载人航天能力

2017 年 6 月 5 日，印度新型地球同步轨道卫星运载火箭 MK3 (GSLV - MK3) 从萨迪什·达万航天中心成功将 GSAT - 19 卫星送到地球同步转移轨道，使印度 GTO 运载能力提升至 4 吨，LEO 运载能力提升至 10 吨。GSLV - MK3 作为印度新一代的大型运载火箭可为印度与国际商业发射市场竞争提供支撑，同时也是印度未来开展载人航天任务的基础。

GSLV - MK3 火箭于 2002 年开始研制，芯级直径 4 米，采用两级捆绑结构，一子级采用常温推进剂，以 Vikas 发动机为动力，捆绑 2 枚 S200 固体助推器，二子级为印度自主研发的 C25 低温上面级。其中，固体助推器单台推力达 6000 千牛，上面级氢氧发动机推力 200 千牛。印度在固体推进技术和低温推进技术方面有了

非常快速的进步。

(四) 欧洲、日本发展下一代运载火箭

欧洲、日本积极推进下一代运载火箭的研制。“阿里安”6 是欧洲用以取代“阿里安”5 的下一代运载器，包括“阿里安”62 和“阿里安”64 两种构型，分别装有 2 枚和 4 枚固体助推器。GTO 运载能力达 10.5 吨，发射价格为 1 亿美元，发射单价甚至低于“猎鹰”9 火箭（GTO 运载能力为 5.5 吨，发射价格为 6200 万美元）。2017 年，“阿里安”6 火箭研制项目成功通过 2 个重要评审节点，验证了火箭技术特征以及项目流程，确定工业流程足够成熟，已经进入首飞火箭的制造阶段。阿里安 6 项目预计在 2018 年对固体助推器进行试车，2019 年末到 2020 年初开展全箭试验，2023 年全面取代阿里安 5 火箭。

日本推动 H-3 火箭的研发工作，该火箭用于替代 H-2A 系列火箭，采用两级构型，可不捆绑或捆绑 2 个或 4 个改进型固体助推器。H-3 在研制中强调低成本、简化设计、合理结合新工艺与现有技术等目标是将 H-3 火箭的成本降至现役 H-2A 火箭的一半，即 4430 万美元。火箭芯级采用 2 台或 3 台 LE-9 发动机，二子级采用改进型 LE-5B-3 发动机。500 千米 SSO 运载能力为 4 吨，GTO 运载能力 6.5~7 吨，计划于 2020 年实现首次试飞，未来可实现载人运载能力。2017 年，LE-9 发动机进行了首轮试车，点火时间累积约 270 秒。验证了发动机的性能和耐久性；LE-5B-3 上面级发动机装配并开展试车；固体助推器 SRB-3 全尺寸壳体进行了强度试验。

三、展望

2018 年，将是载人航天发射较为频繁的一年，除了国际空间站既定的 13 次乘员轮换与货运补给任务外，还将有波音公司与 SpaceX 公司的 4 次载人能力验证飞行（2 次不载人、2 次载人）以

及 1 次印度“月船”2 号的深空探测任务。

此外，俄罗斯将进一步完善未来载人火箭及重型火箭的规划，着力推动“联盟”5 和“安加拉”系列火箭的研发工作；美国在新的重返月球计划牵引下，SLS 重型火箭规划将更加明确，同时还将开展商业及国际合作，共同促进深空探索的发展。SLS 重型火箭将完成首飞箭芯级和助推器的交付，准备进行总装集成。商业乘员计划进入最终验证阶段，有望实现美国载人运输能力的回归。商业公司推进新型载人火箭的研制，SpaceX 公司的“猎鹰重型”即将迎来首秀，将成为运载能力最大的现役火箭。