

## 2016 年国外载人航天运载器发展综述

2016 年，全球共执行 85 次航天发射，与载人航天相关的发射活动有 14 次(见表 1)。参与发射的火箭包括：俄罗斯“联盟”FG 火箭、“联盟”U 火箭、“联盟”2-1a 火箭，美国“猎鹰”9-1.2 火箭、“宇宙神”5 火箭、日本的 H-2B 火箭和中国的长征二号 F(CZ-2F)火箭。除俄罗斯“联盟”U 火箭发射“进步”号 MS-4 货运飞船任务失败外，其余均获得成功。

表 1 2016 年载人航天活动发射情况

国家	运载器	发射日期	有效载荷	结果	发射场	备注
俄罗斯	“联盟”2-1a	3 月 31 日	“进步”MS-2 货运飞船	成功	拜科努尔	—
	“联盟”FG	3 月 18 日	“联盟”TMA-20M 载人飞船	成功	拜科努尔	—
		7 月 7 日	“联盟”MS-1 载人飞船	成功	拜科努尔	—
		10 月 20 日	“联盟”MS-2 载人飞船	成功	拜科努尔	—
		11 月 18 日	“联盟”MS-3 载人飞船	成功	拜科努尔	—
		7 月 16 日	“进步”MS-3 货运飞船	成功	拜科努尔	—
	“联盟”U	12 月 1 日	“进步”MS-4 货运飞船	失败	拜科努尔	—

(续)

国家	运载器	发射日期	有效载荷	结果	发射场	备注
美国	“宇宙神” 5(401)	3月23日	“天鹅座”飞船	成功	卡纳维拉尔角	—
	“猎鹰” 9-1.2	4月9日	“龙”飞船(CRS-8)	成功	卡纳维拉尔角	海上平台回收
		7月18日	“龙”飞船(CRS-9)	成功	卡纳维拉尔角	陆地平台回收
	“安塔瑞斯” 230	10月18日	“天鹅座”飞船	成功	沃勒普斯	型号首飞
日本	H-2B-304	12月9日	HTV-6	成功	种子岛	—
中国	长征二号 F	9月15日	天宫二号	成功	酒泉	—
		10月17日	神舟十一号载人飞船	成功	酒泉	—

## 一、任务执行情况

2016年,国外载人航天活动均围绕国际空间站项目开展,包括4次载人飞行,由“联盟”FG火箭搭载“联盟”号载人飞船完成,共将12名航天员送入太空,货运任务由俄罗斯政府、美国私营公司和日本共同承担。俄罗斯使用“联盟”U和“联盟”2-1a火箭发射3艘“进步”号货运飞船,1次失败,2次成功。美国完成4次货运补给任务,使用“猎鹰”9火箭发射2艘“龙”飞船,“安塔瑞斯”火箭和“宇宙神”5火箭发射2艘“天鹅座”飞船。

### (一)“联盟”号火箭发射“进步”号飞船任务失败

12月1日,俄“联盟”U火箭发射“进步”MS-4货运飞船失败。飞船及其搭载货物总重约为7.3吨,其中包括2.5吨食物、

水以及航天服等物资。不过任务的失败不会影响国际空间站的正常运行和航天员的正常生活。

火箭按程序在飞行约 2 分钟后完成了助推器分离；一子级发动机点火，工作 2.7 分钟后分离；一子级分离约 10 秒后，整流罩分离；在一子级分离之前，二子级 RD - 0110 发动机点火工作。按计划，“进步”号飞船应在火箭起飞约 9 分钟左右与火箭二子级分离，进入初始预定轨道，并于 12 月 3 日与国际空间站对接，但在火箭飞行约 384 秒时，飞船与火箭二子级提前约 140 秒分离，“进步”号货运飞船在图瓦共和国上空约 190 千米的高空下坠，飞船及其携带的货物均在大气层中烧毁，最终剩余残骸坠落于图瓦共和国的无人区内，未造成人员伤亡。调查人员对故障原因有两种推断，一是二子级液氧泵吸入多余物，二是发动机组装过程中的违规操作造成液氧泵起火损坏，最终造成氧箱破裂。

“联盟”U 火箭是俄“联盟”号系列运载火箭的在役型号之一，目前主要用于执行国际空间站的货运任务。自投入使用以来，共进行了 785 次发射，其中失败 22 次，部分成功 1 次。近十年来，“联盟”U 火箭仅出现过 2 次失败，除此外，另外一次是在 2011 年，失败原因为燃料输送管路堵塞致使二子级发动机提前关机。“联盟”U 火箭将于 2017 年完成最后一次发射后退役，后续空间站货运任务将由“联盟”2 火箭接替完成。

## **(二) 更换一子级新发动机的“安塔瑞斯”火箭成功复飞**

10 月 18 日，轨道 ATK 公司的“安塔瑞斯”230 型火箭搭载“天鹅座”飞船发射升空，为国际空间站送去约 2.4 吨补给。这是“安塔瑞斯”火箭自 2014 年发射失败后的复飞任务，同时也是“安塔瑞斯”230 型火箭的首次飞行。

“安塔瑞斯”火箭是在 NASA 商业轨道运输服务(COTS)计划下由美国轨道 ATK 公司研制的固液混合运载火箭，一子级采用 2

台 AJ-26 液氧/煤油发动机，二子级使用卡斯托 30XL 固体发动机，但在 2014 年 10 月，由于火箭一子级 AJ-26 发动机涡轮泵故障导致发射失败后，轨道 ATK 公司决定将其更换为性能相当的 RD-181 液氧/煤油发动机，从而形成“安塔瑞斯”200 火箭系列。此次发射的 230 型就是其中一种构型。火箭高 42.5 米，直径 3.9 米，可将质量约 7 吨的有效载荷送入高 200 千米、倾角 38° 的地球圆轨道。未来轨道 ATK 公司还希望能够在执行国际空间站任务的同时，利用“安塔瑞斯”火箭为其打开国际发射服务市场。此外，轨道 ATK 公司已开始针对使用美国本土发动机的火箭项目进行前期调研，并计划在 2017 年中期得出结论。

### **(三)“宇宙神”5 火箭发射“天鹅座”飞船主发动机提前关机但未影响任务**

3 月 23 日，“宇宙神”5(401)型火箭携带“天鹅座”货运飞船从卡纳维拉尔角的 SLC-41 发射工位起飞。芯级主发动机 RD-180 原定起飞后 4 分 15.5 秒关机，但遥测显示 RD-180 发动机提前 6 秒关机。“半人马座”上面级发动机在一/二级分离 10 分钟后第一次点火，原定持续工作 13 分 38 秒，但为补偿一级能力损失又按箭载计算机指令延长工作约 1 分钟。而后，“天鹅座”飞船及其携带的 3.4 吨货物被送入倾角为 51.6°、高 237×232 千米的预定轨道，箭船分离。随后，火箭上面级发动机第二次点火准备再入大气层，无奈燃料耗尽，点火不久即关机。虽然上面级进入应急时序，但仍无法重启发动机。最终，上面级再入大气层并溅落在新西兰以南的海面上，而非事先已设定航空管制的澳大利亚以南的海面。调查结果显示，故障原因是液氧/煤油推进剂的消耗速度不匹配使 RD-180 发动机提前关机。当时，第一级的液氧虽已耗尽，但煤油还有剩余。为避免未来发射任务出现类似故障，发动机供应商已对混合比控制阀进行了改进。6 月 2 日，“宇宙神”5 火箭通过最终整改措施评审，获准再次执行发射任务。

#### (四)“猎鹰”9 火箭一子级垂直起降回收技术取得突破

4 月 9 日, SpaceX 公司的“猎鹰”9 火箭成功执行第 8 次国际空间站货运补给任务(CRS - 8), 为国际空间站送去首个“毕格罗”可扩展活动太空舱(BEAM 太空舱)。这也是继 2015 年 6 月“猎鹰”9 火箭执行国际空间站任务发生爆炸后, 首次执行国际空间站货运补给任务。“龙”飞船携带的载荷总重约 3.1 吨, 是其历次国际空间站任务中携带载荷质量最大的一次。此外, 在任务中还完成了一子级海上平台的回收, 这是人类历史上首次在海面上实现火箭回收, 在人类航天史上具有里程碑意义。

7 月 18 日, “猎鹰”9 火箭在卡纳维拉尔角发射场再次升空, 成功将“龙”飞船送入高度为  $204 \times 355$  千米、倾角为  $51.66^\circ$  的轨道。这是 SpaceX 公司第 9 次国际空间站货运补给任务。为空间站送去 2.26 吨的物资, 包括第二个用于商业飞船和国际空间站对接的“国际通用对接适配器”(IDA)。第一个 IDA 在 2015 年 6 月“猎鹰”9 火箭执行的第 7 次国际空间站补给任务中因火箭爆炸而损毁。发射任务中, “猎鹰”9 火箭一子级与二子级分离之后, 成功返回并降落在位于卡纳维拉尔角的第一着陆区域, SpaceX 第二次实现了火箭一子级的陆地回收, 第一次陆地回收于 2015 年 12 月完成。表 2 为历次发射任务中“龙”飞船搭载载荷质量。

表 2 历次发射任务中“龙”飞船搭载载荷质量

任务	火箭	载荷质量/千克	飞船结构干重/千克	推进剂质量/千克	总重/千克
CRS - 1	“猎鹰”9 - 1.0	400	4200	1290	5890
CRS - 2	“猎鹰”9 - 1.0	677	4200	1290	6167
CRS - 3	“猎鹰”9 - 1.1	2089	4200	1290	7579
CRS - 4	“猎鹰”9 - 1.1	2216	4200	1290	7706

(续)

任务	火箭	载荷 质量/千克	飞船结构 干重/千克	推进剂 质量/千克	总重/千克
CRS - 5	“猎鹰”9 - 1.1	2317	4200	1290	7807
CRS - 6	“猎鹰”9 - 1.1	2015	4200	1290	7505
CRS - 7 *	“猎鹰”9 - 1.1	1800	4200	1290	7290
CRS - 8	“猎鹰”9 - 1.2	3136	4200	1290	8620
CRS - 9	“猎鹰”9 - 1.2	2260	4200	1290	7750

\* 注：CRS - 7 任务失败

## (五) 日本发射第六艘 H-2 转移飞行器

12月9日，日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)使用H-2B火箭在鹿儿县种子岛宇宙中心成功发射了第六艘H-2转移飞行器(HTV-6)，此次运送的物资除航天员的食品和饮用水外，还有7颗由大学及企业开发的超小型卫星、空间站运行所必须的新型电池等各种物品，总计5.9吨。由于12月1日俄罗斯“进步”号货运飞船发射失败，此次HTV-6的发射，对国际空间站项目而言具有了更大的意义。

此次任务的另一亮点是释放超小型卫星。HTV-6到达国际空间站后，从日本“希望”号实验舱上释放该卫星，目的是让结束使命的卫星尽早进入大气层燃烧，以帮助消除太空垃圾。

H-2B火箭是日本主力运载火箭，技术源自H-2A，为两级大型运载火箭，LEO运载能力为16.5吨，GTO运载能力为8吨。投入使用至今已完成6次发射，有效载荷均为HTV，全部获得成功。

## 二、未来载人运载器项目进展

### (一) 美国稳步推进 SLS 重型运载火箭的研制

SLS 新一代重型运载火箭是 NASA 未来深空探索计划的基础。

作为美国载人航天领域的重头戏，SLS 项目正在按计划稳步推进。在 2015 年通过关键设计评审后，SLS 重型火箭项目进入系统组装、集成、试验和投产阶段。2016 年，该项目按计划推进取得了多项进展。完成了五段式固体助推器的第二次地面鉴定试车，初步结果显示助推器性能良好。芯级飞行用和试验用的 RS-25 发动机分别完成了 1 次和 3 次热点火试车，累计点火时长超过 2400 秒，验证了经改进后的发动机和新型控制器性能。芯级氢箱结构件完成制造，上面级试验件运抵试验台准备试验。斯坦尼斯 B-2 试车台正在进行翻修，计划 2017 年将进行芯级发动机联合试车，肯尼迪航天中心的地面系统正在进行翻新和建设工作。

## （二）美国继续支持商业公司执行国际空间站任务

载人运输方面，SpaceX 与波音公司早在 2014 年就在商业乘员运输能力发展 (CCtCap) 项目下获得 NASA 授予的 26 亿和 42 亿美元的合同。SpaceX 公司的“猎鹰”9 火箭/“龙”飞船系统和波音公司的“宇宙神”5 火箭/CST-100 飞船系统成为中标方案。2016 年两家公司在该项目下，逐步推进载人系统的研制。7 月，NASA 向 SpaceX 公司订购了第二艘载人型“龙”飞船，用于执行国际空间站的载人飞行任务。完成此次订购之后，NASA 又分别向波音公司和 SpaceX 公司订购了 2 次国际空间站的载人飞行任务。但由于多种因素影响，两家企业先后推迟飞行验证，波音公司将不载人验证飞行由 2017 年推迟至 2018 年 6 月进行，而首次载人验证飞行将在 2018 年 8 月进行。SpaceX 公司首次不载人验证飞行由 2017 年 5 月推迟至 11 月，载人验证飞行由 2017 年 8 月推迟至 2018 年 5 月。

货物运输方面，NASA 于 2016 年 1 月正式授出第二轮国际空间站货运合同，轨道 ATK、SpaceX、内华达山脉公司在竞争中胜出。将从 2019 年至 2024 年执行国际空间站货运任务，使用“安塔瑞斯”火箭/“天鹅座”飞船系统、“猎鹰”9 火箭/“龙”飞船系统、

“宇宙神”5 火箭/“追梦者”号航天飞机系统向国际空间站运送补给，每家公司将至少完成 6 次货运任务。为确保第二轮任务开始前的货运补给工作，NASA 在 2015 年增加了两家公司的第一轮国际空间站货运任务后，又在 2016 年 2 月向 SpaceX 公司追授 5 次 ISS 货运合同。至此，SpaceX 公司在第一轮 CRS 合同下的任务增加至 20 次。相比之下，轨道 ATK 公司仅有 10 次发射任务。

### （三）俄规划未来火箭型谱和载人登月任务

3 月 20 日，在俄联邦政府会议上《2016—2025 年俄罗斯联邦航天规划》草案通过所有审查程序，获得 14000 亿卢布（约合 204.4 亿美元）的财政拨款，2022 年后根据需要可增拨 1150 亿卢布。该计划的草拟工作始于 2014 年夏，历经多次修改。预算金额由 2.7 万亿卢布缩减至 1.4 万亿卢布。

根据该计划，俄运载火箭谱系由原来的 8 个缩减至 2 个（以“联盟”号和“安加拉”系列为基础），型号由 12 个缩减至 6 个，箭上系统实现通用化；载人登月推迟至 2030 年以后；2023 年前完成东方航天发射场的基础设施建设，确保载人航天任务。

俄重型火箭方案尚未确定，有多种方案可供选择。俄罗斯的“进步”航天设计局和赫鲁尼切夫科研联合生产体分别提出了基于“能源”号火箭和“安加拉”A5V 的重型火箭方案。

### （四）亚轨道旅游持续升温

2016 年，亚轨道飞行器研制取得了重要进展。蓝色起源公司利用回收的“新谢泼德”亚轨道飞行器完成了 4 次飞行试验，最高飞行高度达到 100 千米。该飞行器为纪念美国首位航天员艾伦·谢泼德而得名，由乘员舱和火箭级两部分组成，设计可搭乘 6 人。飞行器到达离地 100 千米高度后，乘员舱同火箭级分离，依靠降落伞着陆。火箭级由 BE-3 氢氧发动机提供推力，采用动力驱动垂直着陆。BE-3 发动机起飞推力 489 千牛。蓝色起源公司计划 2017 年进行亚轨道飞行器首次载人飞行，2018 年正式搭乘付费乘



客前往太空观光。为了竞争轨道发射服务，蓝色起源公司还启动了“新格伦”部分可重复使用运载火箭研制项目，包括二级和三级两种构型，一子级均采用 7 台 BE-4 液氧/甲烷发动机，总起飞推力达 17100 千牛，可垂直返回并重复使用；二子级采用 1 台真空型 BE-4 发动机，推力为 2400 千牛；三子级采用 1 台真空型 BE-3U 液氢/液氧发动机，推力为 490 千牛，计划在 2020 年前实现首飞，可提供低成本商业卫星和载人飞行发射服务。

12 月 3 日，维珍银河公司的第二架“太空船”2 号飞行器在莫哈维航空航天港成功进行第一次无动力滑行飞行试验。经过 10 分钟的无动力滑行之后顺利着陆。此次滑行飞行试验开启了“太空船”2 号的下一阶段试验计划，将通过数次滑行试验对飞行器的气动特性进行深入研究，为下一步的有动力飞行试验做准备。“太空船”2 号以混合火箭发动机作为动力，利用“白骑士”2 号载机从空中发射，可以搭乘若干名乘客到达 100 千米的高空。

### 三、小结与展望

2016 年，美国按计划推进 SLS 重型运载火箭研制，以实现未来深空探索的目标，继续鼓励商业公司发展近地轨道运输系统，包括载人运输系统的研制，以满足国际空间站任务需要。SpaceX 的首席执行官伊隆·马斯克还在 67 届国际宇航联大会上首次披露了其火星移民计划，提出了完全重复使用的星际运输系统(ITS)方案。俄罗斯出台未来十年航天计划规划未来火箭型谱，载人探月任务推迟。欧日在对现役型号改进工作的同时，重点开展下一代运载火箭的研制工作。

2017 年，美国重型火箭将进行设计鉴定，但随着新政府的上台，NASA 可能会调整载人火星探索任务，提高月球任务的优先级，为火星探索进行技术和能力储备，但重型运载火箭的型号研制将继续进行；SpaceX 公司的“猎鹰重型”火箭经几度推迟将迎来

首次亮相，该火箭使用了3个“猎鹰”9火箭一子级，近地运载能力达到54.4吨。俄罗斯将继续推进更新换代的步伐，“联盟”U火箭将完成最后一次发射后退役；欧洲“阿里安”6火箭研制工作即将全面展开，日本H-3火箭将完成关键设计评审。

(北京航天长征科技信息研究所)