

2010 年国外载人运载器发展综述

2010 年,载人航天活动重点围绕国际空间站展开,全年共进行 12 次空间站任务发射,空间站建设基本完成,运行时间将延长至 2020 年。美国全面调整载人航天发展战略,停止“星座”计划并启动载人探测火星;美国私营公司研制的商业航天运输系统完成首次演示验证飞行,有望于 2011 年底接替航天飞机执行国际空间站运输任务。俄罗斯进一步推进新型载人运输系统方案研制,计划 2018 进行首次载人飞行。欧洲和日本分别在 ATV 和 HTV 基础上研发具有载人能力的飞船,积极储备载人航天技术。印度采用自主研发低温上面级的新型火箭 Mk2 首次发射失败,世界第三大固体助推器和液体推进级的成功试验,使新型火箭 Mk3 的研制又向前迈进了一步。

一、发射情况

世界主要航天国家共进行载人航天发射 7 次,其中美国航天飞机 3 次,俄罗斯“联盟”-FG 火箭 4 次,成功将国际空间站重要组件、长期考察组成员及货物送上国际空间站。为加快空间站的建设,俄罗斯“联盟”-U 火箭执行 5 次载货任务。详细发射情况见表 1。

(一)美国航天飞机

2010 年,航天飞机共执行 3 次飞行任务。2 月 8 日,“奋进”号航天飞机升空,将 6 名航天员、“宁静”号舱段以及含 7 个观察窗口的一个“圆顶屋”观念舱运往国际空间站,并于 2 月 21 日成功返航。4 月 5 日,“发现”号航天飞机为空间站送去近 8 吨货物,包括供给站上人员用的备用铺位、一个大型氨冷却剂储罐和 7 个装有科学试验件的支架,并于 4 月 20 日安全返航。这是航天飞机首次执行有 3 位女性机组成员的任务。5 月 14 日,“亚特兰蒂斯号”航天飞机执行其

表 1 2010 年载人航天活动发射情况

国家	运载器	发射日期	有效载荷	发射场	发射结果
俄罗斯	“联盟”-U	2010-02-03	“进步”M-04M 货运飞船	拜科努尔	成功
		2010-04-28	“进步”M-05M 货运飞船	拜科努尔	成功
		2010-06-30	“进步”M-06M 货运飞船	拜科努尔	成功
		2010-09-08	“进步”M-07M 货运飞船	拜科努尔	成功
		2010-10-27	“进步”M-08M 货运飞船	拜科努尔	成功
	“联盟”-FG	2010-04-02	“联盟”TMA-18 载人飞船	拜科努尔	成功
		2010-06-15	“联盟”TMA-19 载人飞船	拜科努尔	成功
		2010-10-07	“联盟”TMA-01M 载人飞船	拜科努尔	成功
2010-12-15		“联盟”TMA-20 载人飞船	拜科努尔	成功	
合计	9 次				
美国	“奋进”号航天飞机	2010-02-08	6 名航天员/“宁静”号节点舱/“圆顶屋”观测舱	肯尼迪航天中心	成功
	“发现”号航天飞机	2010-04-05	7 名航天员/多功能后勤舱	肯尼迪航天中心	成功
	“亚特兰蒂斯”号航天飞机	2010-05-14	迷你研究舱/6 块太阳能电池板/Ku 波段通信天线/发射天线等	肯尼迪航天中心	成功
合计	3 次				

最后一次飞行任务,为空间站送去了 12 吨多的补给和设备,包括一个小型研究舱、一部天地通信天线、一套蓄电池和一台散热器,进行了 3 次出舱活动以安装新设备,并于 5 月 26 日顺利返航。

原计划于 9 月 16 日进行的“发现”号航天飞机谢幕飞行,由于其搭载的国际空间站部件准备工作推迟,故发射延至 11 月。随后又由于氦气泄漏、主发动机备用控制器发生故障以及恶劣的天气,“发现”号航天飞机发射又被推迟。后又在发射前的检测中查出航天飞机出现氢气泄漏和几条裂缝,在发射台上维修工作难度较大,故发

射再次被推迟至 2011 年 2 月。受此影响,由“奋进”号执行的航天飞机最后一次发射任务将不会早于 2011 年 4 月 1 日。航天飞机全部退役后,美国将利用俄罗斯的“联盟”号飞船或本国的商业轨道运输服务系统执行空间站运输任务。目前美国国家航空航天局(NASA)已与俄联邦航天局签订了涉及 2013 和 2014 年国际空间站人员运输、救援及相关服务的一项合同。根据这项价值 3.35 亿美元的合同,俄方将再向美方提供“联盟”号飞船上的 6 个座位,用于美国及其伙伴方航天员在地面和国际空间站之间的往返运输。每个座位平均约 5580 万美元的收费比 2009 年 5 月签订的上一份合同(5100 万美元)有所上涨。美国航天飞机退役后,在美商业公司研制出新型载人运输系统之前,美国航天员要依靠俄罗斯飞船上天。根据新签订的合同,美方的 6 名航天员将在 2013 年乘 4 艘“联盟”号飞船上天,2013 年和 2014 年各乘 2 艘“联盟”号返回地面。

(二)俄罗斯“联盟”号火箭

俄罗斯一直依赖“联盟”-U 火箭和“联盟”-FG 火箭支持空间站的人员和货物运输。“联盟”-U 主要用于载货,“联盟”-FG 主要用于载人发射。2 月 3 日,“联盟”-U 在拜科努尔成功发射了“进步”M-04M 货运飞船,为国际空间站运送了约 2.7 吨食品、水、燃料和科学试验设备。4 月 28 日,“联盟”-U 火箭在拜科努尔发射了“进步”M-05M 货运飞船。5 月 1 日,飞船与空间站对接,为空间站送去了约 2.6 吨货物,包括供航天员使用的食品、水、氧气以及推进剂、试验设备与备件和其他物品。6 月 30 日,“联盟”-U 从拜科努尔发射升空,将“进步”M-06M 货运飞船送往空间站,船上载有 2.6 吨食品、衣物、设备、推进剂和其他补给物资。飞船在 7 月 2 日因故障而放弃同国际空间站的对接后,7 月 4 日再度尝试并取得成功。9 月 8 日,“联盟”-U 在拜科努尔发射了“进步”M-07M 货运飞船。飞船两天后与国际空间站对接,为空间站送去了约 2.5 吨物资,包括燃料、医疗及消防设备以及氧气、饮用水、服装和食品等。10 月 27 日,“联盟”-U 携带“进

步”M-04M 货运飞船从拜科努尔发射场升空,9 分钟后飞船与火箭分离。这是俄罗斯今年的第 5 次货运发射,为国际空间站运送了约 2.5 吨食品、水、燃料、科学试验设备。

4 月 2 日,“联盟”-FG 火箭在拜科努尔发射了“联盟”TMA-18 载人飞船。飞船于两天后同国际空间站对接。船上乘有 2 名俄罗斯航天员和 1 名美国女航天员。他们进站后成为站上第 23 长期考察组成员,使站上常驻机组人员重回 6 人的水平。9 月 24 日飞船返回时实验舱上对接装置中的传感器故障,导致飞船未能与国际空间分离。在进行一系列故障诊断后,通过增加一条跨接电缆绕过失效的舱门传感器后飞船于 25 日成功脱离空间站,安全返航。6 月 15 日,“联盟”-FG 火箭成功发射了“联盟”TMA-19 载人飞船,为国际空间站送去了一名俄罗斯航天员和 2 名美国航天员。飞船两天后成功与国际空间站对接。10 月 7 日,“联盟”-FG 火箭携带载有 1 名美国航天员和 2 名俄罗斯航天员的“联盟”TMA-01M 载人飞船从拜科努尔发射场飞赴国际空间站。经过两天飞行,飞船与俄“探索”号小型实验舱 MRM-2 自动对接。12 月 15 日,“联盟”-FG 火箭携带载有 3 名航天员的“联盟”TMA-20 发射升空,俄罗斯航天任务控制中心曾与飞船及国际空间站短暂失去联系 3 小时,经修复后恢复通信,飞船在两天后与国际空间站自动对接。按计划,在航天飞机退役后,俄罗斯的“联盟”载人运输系统将承担绝大部分空间站运输任务。然而,今年以来,俄罗斯执行航天飞行任务屡次出现故障,使得未来国际空间站运输任务愈加值得关注。

二、新型运载器研制进展

(一) 美国停止“星座”计划启动载人火星探测

“星座”计划于 2005 年启动执行,原计划要研制“阿瑞斯 1/猎户座”载人航天运输系统和“阿瑞斯”5 重型运载火箭,在 2020 年前重返月球。但该计划自执行以来,因耗资巨大和进度推迟而饱受争议。

根据 2009 年美国载人航天计划评审委员会结论，奥巴马政府在 2010 年 2 月 1 日提交国会的 2011 财年政府预算报告中建议取消“星座”计划。2010 年 4 月 15 日，奥巴马在肯尼迪航天中心发表演说，阐述了新的载人航天探索计划构想，提出要在 2025 年载人登陆小行星，2035 年左右载人进入火星轨道并安全返回地球。2010 年 6 月 28 日，奥巴马颁布新版《国家航天政策》，明确未来火星探索目标。美国将研制新的重型运载火箭，在 2025 年实现载人登陆小行星，在 2030 年代中期载人进入火星轨道并安全返回地球。

依照惯例，新型火箭要用 10 年左右时间完成设计、制造和首飞，而到了 2020 年以后，国际空间站已经退役，原来用于空间站运行的费用就会闲置出可用于载人登陆火星计划。如果该计划能付诸实施，既可避免奥巴马总统由于中止“星座”计划遭受众多议员的怀疑和责难，又可使美国在世界航天领域继续保持领先地位。

(二)“阿瑞斯”火箭的经验教训

虽然美国停止了“星座”计划，但“阿瑞斯”火箭的研制将为后续火箭研制提供重要的经验参考。

1. 充分利用成熟技术，降低研制风险

NASA 在“阿瑞斯”火箭的研制过程中，十分强调成熟技术的继承与应用，充分利用了航天飞机、“土星”5、“德尔它”4、“宇宙神”5 火箭的成熟技术和通用组件，并在此基础上加以改进。采用成熟技术和通用组件，不但有利于减小火箭的研制难度、降低研制风险，还有利于控制成本、提高可靠性。

2. 载人与运货分开，提高安全性和可靠性

在重返月球火箭的方案设计中，美国充分吸取了航天飞机载人兼运货的经验教训，采取人货分开运输的方式，将载人与运货火箭分开研制。两种火箭既能单独发射执行国际空间站人员/货物的运输任务，又能配合发射实现载人登月任务，具有用途广、功能强的优势。“阿瑞斯”1 兼有为国际空间站运送人员的任务，它将早于“阿瑞

斯”5 完成研制，在进行载人登月前首先执行国际空间站的运输任务，这也为载人登月验证了“阿瑞斯”1 的性能，进而保证载人火箭的安全性和可靠性。

3. 高度重视飞行演示验证，提高载人运输系统可靠性

为降低风险，确保型号研制成功，NASA 在“阿瑞斯”1 火箭研制过程中，高度重视飞行演示验证试验，制定了 6 个飞行验证计划，验证难度逐步递增，包括“阿瑞斯”1-X、“阿瑞斯”1-Y、“猎户座”3、“猎户座”4、“猎户座”5 和“猎户座”6。其中，前 2 次试验旨在验证火箭相关部件、技术及发射操作，后 4 次试验旨在对火箭整箭和飞船相关技术进行验证。多次飞行验证试验的开展，有利于降低技术风险，提高“阿瑞斯”1/“猎户座”载人运输系统的可靠性。

4. 摩擦生电引起的发射限制是阿瑞斯 1-X 火箭最有价值的经验

“阿瑞斯”1-X 是“阿瑞斯”1 火箭试验飞行器，于 2009 年 10 月成功完成了首次飞行试验，对火箭相关部件、地面设备和操作流程进行了验证。“阿瑞斯”1-X 的成功使美国“重返月球”计划又向前迈进了重要的一步，并在任务设计、制造、运输、组装以及发射等方面为新一代工程设计人员和操作人员提供宝贵经验。其中由摩擦生电引起的发射限制是“阿瑞斯”1-X 火箭发射过程中最有价值的经验。火箭穿越云层时所引起的静电会与火箭发出或收到的电信号互相干扰。这种静电可通过增加电子设备外罩以及火箭外部涂层来解决。在“阿瑞斯”1-X 计划任务中，对外部涂层是否能够满足摩擦生电要求进行了探讨，但由于在临近发射日时还在对静电降低手段进行分析，不得不让“阿瑞斯”1-X 的发射(4 小时预定发射窗口)必须在无云的条件下进行，“阿瑞斯”1-X 的发射是在错过了多次不符合静电要求的发射窗口后，最终在预定发射日的第 2 天尝试中成功进行的。因此，在未来新型火箭的研制过程中，应在需求分析时，提早指出对静电方面的需求。

5. 创新项目管理模式,提升团队工作效率

“阿瑞斯”项目在研制过程中,由于飞行和地面组件的研制、建造、组装由 NASA 旗下的研究中心联合完成,因此创造了比较复杂的技术和管理环境。由于这种复杂性,“阿瑞斯”1-X 的管理将作为一种创新模式,为美国未来载人航天飞行项目提供宝贵经验。“阿瑞斯”1-X 主要采用扁平式管理模式,整个项目仅有 700 人,同航天飞机和“阿波罗”任务的几千人相比有了大幅减少。这种扁平式管理方式能够大大减少决策时间,鼓励内部成员的交流沟通,增强团队意识。从“阿瑞斯”1-X 成功发射可以看出,这种小型扁平式管理团队更适用于“阿瑞斯”1-X,但是否适用于其他项目还有待考证。未来 NASA 还将开展扁平式管理的相关研究,并制定应急预案以降低核心人员的工作负荷。

6. 注重顶层设计,明确任务需求和目标

根据“阿瑞斯”1-X 的研制经验,在项目研制初期,应注重顶层设计,建立明确任务目标,确立飞行和地面硬件结构和组织结构,避免持续对任务目标及需求进行评估。分析估算的气动特性、热特性、声特性以及其他影响“阿瑞斯”1-X 试验飞行器的负载和环境因素,通过设计过程中对部件设计的逐步改进来完善计算机模型。建立独立飞行仪器控制委员会,根据飞行试验目标确定适合的传感器数量。建立评审机制来解决各合作单位的冲突和交叉工作。建立数字化工程研制框架(EDF)使团队能够在设计讨论阶段就能快速完成设计方案,并启动工程和评审会深入讨论方案设计。

(三)美俄进一步加快新型重型运载器研制

奥巴马在 2011 财年预算案中建议取消“星座”计划,但仍明确提出:继续研制下一代重型运载火箭系统,以提高未来空间探索系统能力,使人类能够较快地进入更遥远的太空。目前,NASA 已经成立了 3 个需求分析(RAC)小组,对航天飞机改进型、“土星”5 火箭改进型、“改进型一次性运载火箭”(EELV)3 种重型运载火箭的改型方

案进行研究。RAC-1 小组正在对串联结构的航天飞机改进型方案进行研究。该方案芯级采用航天飞机主发动机或 RS-68s 发动机,周围捆绑固体助推器(也考虑用液体助推器)。RAC-2 小组正在对“土星”5 火箭方案进行研究。该方案火箭一子级采用液氧煤油发动机,二子级采用氢氧发动机。RAC-3 小组正在对其他方案进行研究,如 EELV 的改进型。最终方案将于 2011 年 4 月确定,之后将发布方案征求书,要求工业界于 2011 年夏季末提交方案意见书,2011 年底授出合同。

俄罗斯未来的新型重型运载火箭的研制工作于 2009 年 3 月启动,新型火箭有两种构型,即重型(运载能力为 50 吨~60 吨)和超重型(运载能力为 130 吨~150 吨)。2010 年,俄罗斯进一步推进重型运载火箭的研制工作,推进系统可能在“能源”号重型运载火箭推进系统的基础上改进而来,计划从 2018 年开始研制。重型运载火箭是在新型“罗斯”-M 火箭基础上研制,“罗斯”-M 运载能力为 23 吨左右,用于替代现役“联盟”火箭执行载人航天发射。

俄罗斯目前使用位于哈萨克斯坦的拜科努尔航天中心执行所有的载人发射任务。为摆脱对哈萨克斯坦的依赖,独立开展载人航天发射,俄罗斯于 2007 年积极筹建新的载人航天发射场,计划投入 70 亿美元的资金,在远东阿穆尔地区建造东方港航天中心,预计 2015 年建成投入使用。投入使用后,该航天中心将首先执行货运飞船和卫星的发射任务,2018 年开始执行载人发射任务。建成后东方港航天发射场拥有约 1500 座厂房包括 2 个发射系统、1 个培训中心、氢氧制造厂等,预计到 2020 年,俄罗斯将从位于东方港航天中心执行 45%以上的火箭发射任务。

(四)美国商业轨道运输系统成功首飞

2010 年,美国私营 SpaceX 公司先后于 6 月 4 日和 12 月 8 日成功进行了“猎鹰”9 中型运载火箭的首次飞行试验和“天龙座”商业货运飞船的发射和再入回收试验,后者是在 NASA 商业轨道运输服务

(COTS)计划下“猎鹰”9/“天龙座”系统的首次演示验证飞行。按照COTS合同,在执行国际空间站运输任务前,“猎鹰”9/“天龙座”系统还需完成2次演示验证飞行,分别验证向空间站靠近和对接的能力。SpaceX公司希望该系统能在2011年底前接替航天飞机执行首次国际空间站运输任务。

COTS计划的另一合作商——轨道科学公司在2010年“金牛座”2/“天鹅座”系统的研制和试验中也取得了重大进展,分别于11月和12月完成了“金牛座”2一子级发动机的2次热点火验收试验。待完成最后一次验收试验后,一子级发动机将被运至位于NASA沃洛普斯飞行中心的“金牛座”2火箭发射场,一子级的其他部件已于12月运抵发射场等待组装。一子级静态点火试车有望在2011年5月进行;二子级计划于数月内交付;“天鹅座”飞船将于2011年初开始总装。目前新的任务控制中心已建设完毕,“金牛座”2/“天鹅座”系统最快可在2011年7-9月首飞,随后将开始执行COTS计划下的8次国际空间站货物运输任务。

(五)欧、日积极发展载人航天能力

欧洲和日本一致都在努力建造空间探索体系,以实现自主发展载人航天的战略目标,通过改进“自动转移飞行器”(ATV)和H-2转移飞行器(HTV),使其成为可返回式货运飞船,具有从空间站将货物运回地球的能力,并为本世纪20年代研制载人飞船奠定基础。新型可返回式飞船预计在2020年前首飞。

2009年7月,欧洲航天局授予阿斯特里姆公司(Astrium)“先进可返回式飞船”(ARV)研制合同,开展舱体防热层研究。改进后,舱体有望能经受住再入大气层过程中的高温考验,在海上着陆。ARV计划在2008年欧洲部长级会议上获得通过,将分两个阶段执行:第一阶段,为期18个月的研究已于2010年底完成;第二阶段开始飞船性能要求的细化工作,为2012年启动的正式设计工作打下基础。该项目的时间表取决于ESA成员国能否在2011年底举行的下一次

部长级会议中继续给予支持，以及欧洲航天局计划何时开展 ARV 的全面研制。第一艘 ARV 计划在 2017 年或 2018 年发射，比去年宣布的 2016 年有所推迟。

日本航空航天探索局(JAXA)正在对可返回式 HTV(HTV-R)进行方案细化。该货运飞船有望在 2016 年发射。JAXA 在 8 月早些时候的一份报告中正式提出 3 种 HTV-R 设计方案：第一种设计方案最为保守，HTV-R 可携带少量货物返回地球，现已开展研究；第二种设计方案以直径 2.6 米舱段为基础，可携带 272 千克的货物返回地球；第三种设计方案，舱段直径达 4 米，长度为 3.8 米，可携带 1588 千克的货物返回地球，最终有望实现载人功能。日本官方更青睐后面两个较具挑战性的设计方案。

(六) 印度 GSLV 火箭多次失败为载人运载器研制蒙上阴影

印度计划 2015 年用自己研制 GSLV 火箭和飞船将 2 名航天员送上地球轨道。GSLV 系列包括 MK1、MK2 以及在研的 MK3 共 3 种型号。MK2 火箭与 MK1 火箭的结构大致相同，均采用三级结构，运载能力可达到 2 吨左右。不同的是，MK1 的三子级采用俄罗斯 12KRB 低温上面级，而 MK2 则采用印度自主研制的低温上面级。MK3 是印度目前在研的运载能力最大的火箭，采用两级结构，第一级由 110 吨液体推进剂的芯级(L110)和两枚装有 200 吨固体装药的助推器(S200)组成，上面级将装有 25 吨的低温推进剂(C25)，地球同步转移轨道(GTO)运载能力将达到 4 吨，具有多轨道发射能力和载人潜力。

2010 年 4 月 15 日，采用印度国产低温上面级的 GSLV-MK2 火箭首飞失败。发射 5 分钟后，火箭上升至 140 千米的最高点，上面级出现故障，星箭一同坠入印度洋的孟加拉湾海域。经调查，上面级主发动机推力室液氢燃料涡轮泵异常停止工作是导致本次发射失败的根本原因。

2010 年 12 月 25 日，印度 GSLV-MK1 火箭进行第 6 次发射时

失败。火箭发射后约 47 秒,突然失去控制,偏离了轨道。63 秒后,GSLV 火箭接收到自毁指令后爆炸。初步调查显示,位于俄罗斯低温上面级部分的连接器脱落导致第一级作动器无法接收到控制指令是本次发射失败的主要原因。

在新型运载火箭 MK3 研制方面,印度成功进行了世界第三大固体助推器、S200 和液体可储存芯级 L110 的静态点火试车。这两次成功试车是 MK3 火箭项目中具有里程碑意义的事件,使新型火箭研制又向前迈进了一步。

三、载人航天运载器发展走向分析

无论是载人登月,还是载人登陆小行星以及载人登陆火星等深空探索任务都离不开重型运载火箭的研制。奥巴马在 2011 财年预算案中建议取消“星座”计划,但仍明确提出:继续研制下一代重型运载火箭系统,以提高未来空间探索系统能力,使人类能够较快地进入更遥远的太空。根据推测,未来美国重型运载火箭近地轨道运载能力将会达到百吨级以上,既可用于载人又可用于运货,通过多次发射和在轨组装实现载人探索火星。

2010 年 4 月 15 日,奥巴马在肯尼迪航天中心发表演说时强调:“新的重型运载火箭的研制不仅仅是对已有火箭型号的改进,还要注重新的设计、新材料和新技术的应用。NASA 将在 2015 年进行重型运载火箭设计方案的选型”。2010 年 10 月 11 日,奥巴马签署 2010 年 NASA 授权法案,新航天法案明确要求加快新的重型运载火箭的研制。俄罗斯于 2009 年 3 月为执行载人登月计划正在论证近地轨道运载能力达 50~60 吨和 130~150 吨的重型和超重型运载火箭方案。欧洲在“阿里安”5 火箭基础上研制 50 吨级重型火箭来满足未来载人飞行任务需要。日本、印度也在大力发展大型和重型运载火箭。