

2012 年国外载人运载器发展综述

2012 年,世界载人航天发射活动主要围绕国际空间站开展,全年共执行 12 次空间站的发射任务。美国新型重型运载火箭方案通过了设计评审,用于近地轨道载人航天飞行的商业轨道运输系统正式投入运营。俄罗斯新型“安加拉”火箭即将首飞,新一代重型运载火箭研制提上日程。美、俄还出台了各自的航天发展战略和规划,明确未来载人航天发展方向。欧洲、日本、印度也积极推进各自的载人航天计划,谋划未来载人航天活动。

一、多国参与国际空间站人员及货物运输任务

美、俄、欧、日在 2012 年均参与了国际空间站人员和货物运输任务,共将 8 艘货运飞船和 4 艘载人飞船送上空间站,详情见表 1。

表 1 2012 年载人航天活动发射情况

国家	运载器	日期	有效载荷	发射场	发射结果
俄罗斯	“联盟”U	1 月 25 日	“进步”M - 14M 货运飞船	拜科努尔	成功
		4 月 20 日	“进步”M - 15M 货运飞船	拜科努尔	成功
		8 月 1 日	“进步”M - 16M 货运飞船/Sfera 53 微卫星	拜科努尔	成功
		10 月 31 日	“进步”M - 17M 货运飞船	拜科努尔	成功
	“联盟”FG	5 月 15 日	“联盟”TMA - 04M 载人飞船	拜科努尔	成功
		7 月 15 日	“联盟”TMA - 05M 载人飞船	拜科努尔	成功

国家	运载器	日期	有效载荷	发射场	发射结果
俄罗斯	“联盟”FG	10月23日	“联盟”TMA-06M 载人飞船	拜科努尔	成功
		12月19日	“联盟”TMA-07M 载人飞船	拜科努尔	成功
美国	“猎鹰”9	5月22日	“龙”飞船	卡纳维拉尔角	成功
		10月7日	“龙”飞船/OG2	卡纳维拉尔角	部分成功
欧洲	“阿里安”5	3月23日	ATV-3	库鲁	成功
日本	H-2B	7月21日	HTV-3	种子岛	成功

(一) 俄罗斯“联盟”号火箭成功发射 4 艘货运飞船和 4 艘载人飞船

1月25日,“联盟”U火箭从哈萨克斯坦的拜科努尔发射场发射“进步”M-14M 货运飞船。飞船于1月27日与国际空间站自动对接,为空间站送去了重约2.6吨的货物,并于4月19日脱离国际空间站,4月28日落入太平洋。

4月20日,“联盟”U火箭从拜科努尔发射场将“进步”M-15M 货运飞船发射升空。飞船于4月22日与国际空间站的“码头”号对接舱自动对接,为空间站送去了超过2.4吨的货物。除常规的燃料、氧气、水、衣物和信件外,飞船还携带了进行人体模型太空辐射试验的新型传感器和俄罗斯航天员根纳季·帕达尔卡的生日礼物。

5月15日,“联盟”FG火箭在拜科努尔发射“联盟”TMA-04 载人飞船,两天后飞船与国际空间站对接。飞船上载有2名俄罗斯航天员和1名美国航天员,使空间站上机组人员数量恢复到6人。2个月后,“联盟”FG火箭再次发射升空,将3名航天员送上国际空间站。

8月1日,“联盟”U在拜科努尔发射了“进步”M-16M 货运飞

船。飞船于发射后不到 6 小时实现了与空间站的快速对接。快速交会对接有利于减少燃料的消耗和载人飞船上的物资消耗。在发射当日就实现对接并不是新设想,NASA 在 20 世纪 60 年代中期即在其“双子星座”计划下首次试验了航天器间当日交会程序。10 月 31 日,“联盟”U 火箭发射“进步”M-17M 飞船,再次实现了 6 小时自动对接模式,并为空间站送去了近 2.4 吨的补给。

10 月 23 日和 12 月 19 日,“联盟”FG 火箭成功发射“联盟”TMA-06M 和“联盟”TMA-07M 飞船,共将 6 名航天员送上国际空间站。

(二) 美国“猎鹰”9 火箭发射 2 艘“龙”货运飞船

2012 年,美国空间探索技术(SpaceX)公司的“猎鹰”9 火箭/“龙”飞船系统在完成了 1 次演示验证飞行后,正式投入运营。5 月 22 日,“猎鹰”9 火箭/“龙”飞船系统执行了首次国际空间站运输任务(最后一次验证飞行),成功验证了系统与空间站对接的能力,并送去约 500 千克的物资,运回约 600 千克的载荷,这是 NASA 首次利用私营公司研制的运载火箭和商业飞船执行国际空间站任务。此次任务的成功代表着美国政府鼓励私营企业开发商业轨道运输系统的政策得到了回报,不但可以填补美国现阶段航天运输能力的缺口,还开启了一种新的航天企业竞争模式。10 月 7 日,SpaceX 公司按照合同要求首次执行国际空间站商业货运任务。在火箭飞行过程中,一子级的 1 台发动机出现异常,虽然国际空间站货运任务未受影响,但搭载的次要载荷——OG2 通信卫星被置错误轨道,最终坠落地球。此次发动机故障未对空间站任务造成影响,证明了“猎鹰”9 火箭系统的冗余设计和检测调整系统是可行的,但也为 SpaceX 公司敲响了警钟,商业发射的可靠性问题不容忽视。

(三) 欧洲航天局“阿里安”5 火箭发射第三艘货运飞船 ATV-3

3 月 23 日,欧洲第三艘自动货运飞船“爱德华多·阿马尔迪”号由“阿里安”5 火箭从法属圭亚那库鲁航天中心发射升空,并于 3

月 28 日与国际空间站“星辰”号服务舱自动对接,为空间站送去 6.6 吨的物资。4 月 5 日,ATV-3 的两台主发动机进行了近 15 分钟的点火,将国际空间站轨道提升了 3.9 千米。9 月 28 日,ATV-3 成功与国际空间站脱离,几天后再入烧毁。

“阿里安”5ES 火箭高 53 米,直径 5.4 米,起飞质量 760 吨,由上、下两部分组成。上面部分采用具有重复点火能力(多达 5 次)的可储存上面级。下面部分和“阿里安”5ECA 相同,采用“火神”2 改进型发动机,捆绑相同的固体助推器,近地轨道运载能力达到 19 吨。

目前,ESA 已成功利用“阿里安”5ES 发射了 3 艘 ATV 货运飞船,包括 2008 年 3 月发射的“儒勒·凡尔纳”号,2011 年 2 月发射的“约翰内斯·开普勒”号。本次发射的货运飞船是以意大利核物理学家爱德华多·阿马尔迪的名字命名的。此外,已被命名为“爱因斯坦”的第 4 艘飞船计划于 2013 年 6 月发射。

(四) 日本 H-2B 火箭成功发射第 3 艘货运飞船

7 月 21 日,日本航空航天探索局(JAXA)利用 H-2B 火箭向国际空间站发射了“白鹤”号无人货运飞船(HTV-3)。这是 H-2B 火箭的第三次发射,也是日本第三次发射 HTV 货运飞船。飞船于 7 月 27 日与空间站“和谐”号节点舱成功对接,为空间站送去了约 4.6 吨的货物。9 月 13 日 HTV-3 离开空间站,9 月 14 日再入大气层烧毁。

H-2B 为两级重型运载火箭,地球转移轨道(GTO)运载能力为 8 吨,低地球轨道(LEO)运载能力为 16.5 吨。H-2B 火箭是在 H-2A 的基础上研制的,主要部件已经在 H-2A 204 型火箭上得到实际飞行验证。二子级、固体助推器和制导控制系统与 H-2A 完全相同。一子级采用 2 台 LE-7A 发动机并联,直径从 H-2A 的 4 米增大到 5.2 米,长度也比 H-2A 增加了 1 米,GTO 运载能力由 H-2A 的 5.7 吨提高到 8 吨,具备单/双星发射能力,即有利于提高

日本在世界航天发射市场上的竞争能力,也为未来月球探测和星际探测做技术储备。

此次发射的 H-2B 火箭采用了新型制导控制计算机和惯性测量单元,还安装了一个实时操作系统(由 JAXA 工程数字创新中心研制)。实时操作系统的使用可防止某一个计算机软件出现问题时对其他软件产生影响,可有效提高火箭可靠性。

二、新型运载器研制取得阶段性进展

(一) 美国明确新型重型运载火箭技术方案

2012 年,美国发布《SLS 计划运载火箭技术性能》报告,对新一代重型运载火箭——航天发射系统(SLS)3 种最新基准构型的初步设计方案进行了描述。这 3 种最新的基准构型分别为:Block 1 型、Block 1A 型和 Block 2 型。

SLS 的首飞将采用 Block 1 型,该构型火箭全长 97.8 米,芯级长 64.7 米,直径 8.4 米,芯级采用 4 台 RS-25D 氢氧发动机,周围捆绑 2 枚 5 段式固体助推器,近地轨道运载能力为 70 吨。

Block 1A 构型包括载货型和载人型,载货型全长 95.8 米,载人型全长 97.8 米。与 Block 1 构型设计相比,Block 1A 的运载能力更大,近地轨道运载能力为 105 吨。该构型方案将采用经过竞争后选定的固体或液体助推器替代 Block 1 型使用的 5 段式航天飞机固体助推器,芯级采用 4 台 RS-25D 或 RS-25E 发动机。

SLS Block 2 为 SLS 系列中运载能力最大的构型,近地轨道运载能力为 130 吨,载货型全长 117 米,载人型全长 115 米。Block 2 型火箭芯级采用 4 或 5 台 RS-25E 氢氧发动机,捆绑经过竞争选出的液体或固体助推器。该构型上面级直径为 8.4 米,采用 2 台 J-2X 发动机提供动力。

2012 年,J-2X 上面级发动机完成了动力包系列试验和试验件的 21 次热试车,累计点火 2717 秒。J-2X 是“土星”5 运载火箭

J-2发动机的改进型。阿连特技术系统(ATK)公司完成了5段式助推器的3次全尺寸静态试验。普惠词向斯坦尼斯航天中心交付了4套RS-25芯级发动机(共16台)及相关的推进分系统。随后,NASA开始着手对RS-25发动机控制系统进行改进,旨在将J-2X发动机的控制系统应用于RS-25,以降低成本,并计划用1年时间完成新控制系统的设计和试验。此外,NASA于10月授予4家公司价值2亿美元、为期30个月的合同,用以改进SLS助推器概念研究和硬件演示。NASA将利用这些研究成果制定先进助推器系统的招标书。11月,NASA对SLS缩比模型进行了风洞试验,从而进一步确定其结构的安全余量,并在SLS全尺寸模型飞行试验前,对SLS火箭设计进行定义。

目前,SLS已通过了芯级初步设计评审,下一步将进入SLS芯级试制阶段,并有望在2014年完成最终设计评审。

(二) 美国商业乘员开发计划进入第三阶段

为减少航天飞机退役后对俄罗斯运输系统的依赖,同时推动美国载人航天商业运输的发展,美国制订了商业乘员开发(CCDev)计划,旨在开发和验证载人航天运输能力,最终为政府和私人用户提供安全、可靠、低成本的近地轨道商业载人航天运输服务。该计划共分四个阶段:第一阶段,即CCDev1,主要目标是近地轨道商业运输系统的研发和技术验证。该阶段共有内达华山脉公司、波音公司、联合发射联盟、蓝色起源公司、帕拉冈空间开发5家公司入选,分别获得140万~2000万美元不等的投资,于2011年4月结束。第二阶段,即CCDev2,NASA延续商业轨道运输服务飞船和商业乘员开发计划,完善近地轨道商业运输系统的研发和技术验证。该阶段对包括内达华山脉公司在内的4家公司进行了投资,除第一阶段入选的方案外,SpaceX公司的“猎鹰”系统也获得了7500万美元的资金。整个计划于2012年底结束;第三阶段,即商业乘员运载综合能力(CCiCAP)阶段,主要目标是发展包括发射场、运载器、地面操

作系统和任务控制中心在内的乘员运载综合能力。8月3日,NASA 分别授予内华达山脉公司、空间探索技术公司、波音公司等3家公司价值2亿~5亿美元不等的合同,合同期限为2012年8月至2014年5月,视情况可适当延长。第四阶段,即认证及执行任务阶段,在得到NASA认证后,利用合格的运载器执行国际空间站载人及载货任务。

从前两个阶段的工作完成情况看,依靠政府的大力支持,美国私营公司有能力在规定期限内完成目标里程碑。该项目的顺利实施有助于美国载人航天事业的持续发展,提升美国在载人航天领域的竞争力。

(三) 美国“安塔瑞斯”火箭/“天鹅座”飞船系统首次国际空间站任务推迟

美国商业轨道运输服务(COTS)计划下的“安塔瑞斯”火箭/“天鹅座”飞船系统的首次演示验证飞行由于发射台未在预计时间内完成,被迫由2012年8月推迟至11月末。10月,“安塔瑞斯”火箭一子级运抵沃洛普斯岛的0A发射台,进行首次验证飞行前一系列试验,但由于受到飓风“桑迪”的影响,冷流试验和牵制释放试验被迫推迟,发射再次被推迟至2013年。一旦首次验证飞行试验成功,“安塔瑞斯”运载火箭将按照轨道科学公司与NASA签订的COTS合同为国际空间站发射“天鹅座”货运飞船。

“安塔瑞斯”运载火箭为两级构型,一子级由乌克兰的南方设计局负责设计和制造,采用两台由航空喷气公司提供的AJ26发动机;二子级采用ATK公司研制的“卡斯特”30固体火箭发动机,其生产技术来自“金牛座”运载火箭的“卡斯特”120发动机。该火箭整流罩直径为3.9米,GTO运载能力为1.9吨,可从沃洛普斯发射,也可从卡纳维拉尔角空军基地、范登堡空军基地和科迪亚克发射场发射。

(四) 俄罗斯新型“安加拉”火箭准备首飞

“安加拉”系列运载火箭由赫鲁尼切夫国家科研生产中心自1995年开始研制,与美国改进型一次性运载火箭(EELV)相似,采用模块化设计,由1~5个通用火箭模块(URM)组成,包括轻型、中型和重型,近地轨道运载能力2~40.5吨,投入使用后将取代俄现役的部分火箭,成为俄罗斯的主力运载火箭。“安加拉”系列火箭还将进入商业发射市场,“安加拉”1.1轻型火箭的商业发射价格约为2000万美元。2009年的金融危机迫使俄暂停了该火箭在普列谢茨克的发射及辅助设施建造,也造成了火箭首飞时间的一拖再拖。

2012年,轻型“安加拉”火箭的组件运到普列谢茨克航天发射场,并完成了一系列地面试验,计划在2013年第二季度首飞。目前,火箭已经做好了首飞的准备,但普列谢茨克地面设施的准备工作还有待完善,有关人员正在为2013年的发射进度而努力。

(五) 欧洲加紧研制新一代运载火箭

欧洲航天局20个成员国及加拿大于11月召开部长级会议,经讨论同意在未来2~4年拨款101亿欧元(约合133亿美元)用于欧洲航天项目。其中,有6亿多欧元用于未来两年的新型火箭研制,涉及“阿里安”5中期改进(ME)型、“阿里安”6运载火箭以及采用“芬奇”发动机的上面级。其中,“阿里安”5ME获得1.87亿欧元拨款,该火箭自2008年开始研制,预计在2017年—2018年首飞,采用可多次启动的上面级,运载能力比当前的“阿里安”5火箭提高20%。“阿里安”6火箭获得了1.57亿欧元拨款,该火箭同步转移轨道(GTO)运载能力为3吨~8吨,将在未来两年开展设计研究,预计在2021年左右发射。会议还决定拨款2.44亿欧元用于两种火箭的上通用面级,该上面级将以“芬奇”发动机为动力,可多次启动。

(六) 印度载人航天飞行推迟至2020年后

2012年,印度空间研究组织(ISRO)与印度空军签署了一份谅解备忘录,明确印度航天员的选拔时间将不早于2020年。谅解备

忘录称,印度空间研究组织将为印度空军提供航天员选拔任务所需的全部设备,这些设备完全出自印度本土。之前印度曾与波音公司开展过合作,如研究低温上面级技术和载人航天飞行,但所有这些将随着这份声明的发布而终止。

3月,印度空间研究组织启动对载人航天关键技术的预先研究,此项计划的资金为14.5亿卢比(约合2843万美元)。其中载人乘员舱系统为6亿卢比,载人运载器2.7亿卢比,与印度国内外研究机构的合同3.6亿卢比,空气动力试验及任务研究2.1亿卢比。作为印度载人航天计划实施的筹备工作,印度空间研究组织正在研究如何将载人航天项目纳入整体规划,从而不影响该机构的其他航天计划。

印度在低温发动机研制方面也取得重大进展。2012年5月,ISRO对即将用于地球同步轨道卫星运载火箭(GSLV-D5)上的印度国产低温发动机进行了验收试验。试验中,发动机运行200秒,性能达标。2010年使用国产低温发动机的GSLV-D3火箭曾进行过首次飞行试验,试验中,国产低温上面级发动机启动后0.9秒,燃料涡轮泵突然停止工作,发射失败。目前GSLV火箭使用的俄罗斯产低温上面级,每台价格高达1800万美元。

三、美、俄出台航天战略规划,明确未来载人航天发展方向

(一) 美国发布载人航天未来发展路线图

2月14日,NASA公布美国载人航天未来发展路线图,规划未来载人航天发展方向,即通过构建新能力将载人空间探索延伸至更遥远的深空,同时积极促进商业轨道运输能力的发展。主要内容包括:

(1) 依靠私营公司把货物和人员送上空间站,而NASA将全力发展“航天发射系统”、“猎户座”飞船以及能实现人类探索其他目

的地的先进系统。

(2) 开展以拉格朗日点、近地小行星、月球、火星为目的地的探测活动。

(3) 鼓励发展商业航天飞行,研制并验证往返近地轨道的飞行器和载人航天运输能力。

(二) 俄罗斯制定 2030 年及未来航天发展战略

俄罗斯联邦航天局已向政府提交《2030 年及未来俄罗斯航天发展战略(草案)》,其目标是确保俄罗斯航天工业保持世界先进水平,巩固俄罗斯作为航天大国前三名的地位,并提出登月、探索火星等一系列雄心勃勃的目标,以及制订整合火箭航天工业的分步计划。

在载人航天活动方面,草案明确指出了未来载人航天活动的几个发展阶段。

2020 年前:继续使用国际空间站,为俄罗斯舱段配备多功能实验舱和一些专门或者自主的舱段(原型舱),以解决深空和近地空间问题;针对未来载人运输系统,开始新一代载人飞船的飞行试验,完成科学实用研究;完善飞往月球的技术和实现此类飞行的技术基础;研究 2020 年后国际空间站使用期的延长问题或者结束国际空间站俄罗斯段的使用问题。

2025 年前:开展科技实用研究,并借助新一代载人飞船拓展其研究范围,同时建造专门舱或者自主舱,其中包括在国际空间站使用寿命延长情况下新配置的舱段;研制探测月球的机器人设施和载人月球飞行的保障设备,研制大型运载火箭,开展建立月球基础设施的工作。

2030 年前:实现绕月飞行和俄罗斯航天员在月球表面着陆的任务。研究一系列月球基础设施单元,包括:月球基地舱、用于货物运输的月球着陆飞船、月球机器人设施和月球表面运输设施、用于向月球运货的轨道拖船。

2030 年后:经营月球轨道基地;维护和维修近地轨道上的大型航天器和轨道拖船。

为实现上述目标,俄联邦航天局在 2030 年前还要完成东方航天发射场的建设,发射“安加拉”重型运载火箭和新一代重型载人飞船,研制能向近地轨道运送 100~120 吨有效载荷的重型火箭等。

(三) 日本推进载人航天飞行计划

在成功验证了 HTV 运载货物和实验设备飞往国际空间站的能力后,日本航空航天探索局(JAXA)下一步计划在 HTV 上安置一个返回舱,可将试验设备送回地球。

JAXA 于 2004 年开始研究具有载人功能的 HTV-R 方案,并于 2010 年 8 月提出了三种设计方案:第一种方案最为保守,可携带少量货物返回地球。第二种方案以直径 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 千克货物返回地球。通过从有效载荷能力、技术验证以及研制风险、成本方面对三种备选方案进行对比分析可知,方案 2 更具吸引力。方案 2 采用再入舱替代了原有的增压型货舱,可同时运送增压型和非增压型货舱,并具有较好的载人型号发展潜力,唯一的缺点就是改动量较大(详见图 1)。HTV-R 可作为载人航天器的全尺寸技术验证机,用于验证制导算法和软件,轻型、低成本全尺寸烧蚀防热系统,载人级冗余系统,大型增压舱等。HTV 和 HTV-R 的结构如图 1 所示。

日本计划在 2017 财年进行 HTV-R 航天器的首飞。未来在此基础上通过渐进式设计方法逐步降低研制风险,缩短研制周期,最终实现载人航天器的研制。

四、结语

2012 年,美国在推进商业轨道运输方面取得重要进展,“猎鹰”9 火箭/“龙”飞船系统已正式投入空间站货运服务,“安塔瑞斯”火

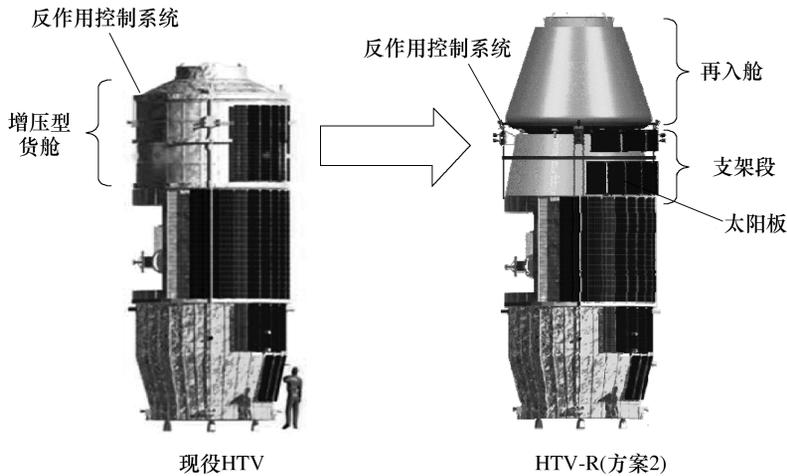


图1 HTV 和 HTV - R 的结构对比

箭/“天鹅座”飞船系统也将在 2013 年进行首次演示验证飞行。美国依靠商业轨道运输服务不仅能逐步摆脱目前对俄罗斯运输系统的依赖,还能实现近地轨道航天运输由政府主导向商业模式的转型,NASA 全力发展将载人空间探索延伸至更遥远深空的航天发射系统和“猎户座”飞船。

俄罗斯的载人航天目标逐渐清晰,其发展路线图将分 4 个阶段,即载人近地轨道——无人月球探测——载人登月——基地维护,因此在航天运输系统发展方面将首先改进载人飞船和载人运载火箭,进而研制可执行载人登月的重型运载火箭。

欧洲、日本在近地轨道航天运输方面已经具备很强的实力,无人的“阿里安”5 + “ATV”和“H - 2B” + “HTV”系统已经得到成功验证并投入使用,后续是在现有火箭和货运飞船基础上发展载人运输系统。

印度载人航天计划雄心勃勃但能力不足,关键在于 GSLV 使用国产的低温上面级发动机能否成功进行轨道飞行,首次载人航天飞行时间由 2015 年推迟到 2020 年是不得以而为之。

(北京航天长征科技信息研究所)