



# 21世纪国际载人航天技术发展动向及启示

New Development Trend and Enlightenment of International Manned Space Flight Technology in 21st Century

西北工业大学航天学院 果琳丽  
中国运载火箭技术研究院研究发展中心 张菽 高朝辉 杨建民



果琳丽

高级工程师, 33岁, 在中国运载火箭技术研究院研究发展中心从事运载火箭发展规划和总体方案设计工作, 作为集团公司推荐专家多次参加总装及原国防科工委航天领域发展战略论证工作, 现为西北工业大学航天学院博士生。

2008年9月27日, 中国宇航员乘坐“神舟七号”飞船成功进行了空间出舱活动, 这标志着中国载人航天战略第二步的顺利实施。在此中国载人航天事业难得的机遇和发展期, 认真剖析国外载人航天技术的发展动向, 将有助于探索一条既适合中国国情又能少走弯路的载人航天发展道路。

20世纪载人航天技术主要集中在利用载人飞船、航天飞机、空间站等载人航天器进行低地球轨道的空间探索活动。

进入21世纪以来, 以美、俄为代表的航天强国纷纷调整各自的载人航天战略, 相继研发了一系列的新型载人运载火箭和载人航天器, 同时载人航天与深空探测的结合更加紧密, 建立月球基地和载人火星探测成为共同关注的焦点。

2008年9月27日, 中国宇航员乘坐“神舟七号”飞船成功进行了空

间出舱活动, 这标志着中国载人航天战略第二步的顺利实施。在此中国载人航天事业难得的机遇和发展期, 认真剖析国外载人航天技术的发展动向, 将有助于探索一条既适合中国国情又能少走弯路的载人航天发展道路。

## 国外载人航天发展规划概况

进入21世纪后, 世界各国掀起了新一轮的“载人航天和月球探测”热潮, 美国、俄罗斯、欧洲、日本、印度等国都纷纷提出了各自的载人航天

发展战略。

#### (1) 美国。

2004年1月14日,美国总统布什宣布新太空设想,提出在2010年完成“国际空间站”组装后航天飞机将退役,同时宣布发展一系列新型载人航天器和运载器;2008年9月19日,美国国家航天局(NASA)正式宣布重返月球计划:在未来12年内,将投资1040亿美元用于“星座计划”(Constellation Project),重点研发新一代载人航天器——猎户座“乘员探索飞行器”(Crew Exploration Vehicle, CEV)和基于航天飞机衍生的新型运载火箭(ARES)。

“星座系统”将采用分阶段、螺旋式的发展战略:第一阶段,在2014年前将使CEV具有飞往低地球轨道和空间站的能力;第二阶段,在2020年后具备长期月球探测能力,实现宇航员登月并停留6个月建设月球基地的目标;第三阶段,为发展火星运输系统,实现环绕火星的飞行;第四阶段,宇航员登陆火星表面进行探测阶段。

#### (2) 俄罗斯。

俄罗斯一直在载人航天领域独领风骚,其研制的“联盟号”系列载人飞船和“进步号”货运飞船向来以高可靠性、安全性著称,也是当今国际上除美航天飞机外的主力载人航天运输工具。2005年9月俄罗斯航天署公布计划,俄载人航天在2040年前需要实现三大突破:第一,对联盟号飞船进行现代化改造,加强空间站建设;第二,研制新型运载火箭和“快船号”可重复使用飞船,包括快船号载人飞船、渡船号拖船,快船号将与渡船号一起支持空间站的运行,快船号还可作为执行星际航行任务的基本运输工具;第三,加紧登陆月球和火星计划。

俄罗斯载人登月计划将分3个阶段开展:第一步,在2011年前利用现有的航天技术实现绕月飞行并在

月球着陆,在此阶段将利用质子号和联盟号系列运载火箭以及升级改进的联盟号飞船;第二步,在2015年后建立多次使用的“地-月-地”空间运输系统,包括“快船”号可重复使用空间运输系统,并建立长期的月球轨道站;第三步,在2020年后建立永久性月球基地。

俄罗斯载人登火计划在2025年后开展,也将分成3个阶段:第一步,制造火星考察综合体,在试验环火轨道飞行和返回近地轨道时对其进行调试;第二步,实现首次载人但不降落火星表面的火星考察,火星考察综合体以自动工作模式完成着陆火星,并在其上进行试验和考察任务;第三步,实现首次载人登陆火星考察。

#### (3) 欧洲。

欧洲航天局通过参与国际空间站项目获得了许多宝贵的经验,研制的货运飞船自动转移飞行器(ATV)在2008年4月成功与国际空间站对接,并将811kg重的补给推进剂成功地加注至俄罗斯建造的国际空间站推进剂贮箱中,为国际空间站提供了自动燃料补给,ATV的成功使欧洲掌握了自动交会对接技术,为发展载人飞船和轨道转移飞行器奠定了技术基础。2004年2月,欧洲航天局正式公布了将独自实施的“曙光”计划,即在2005到2015年主要发展验证人类登陆火星和月球的基础技术;2011~2017年发射火星取样器;2018年研发验证火星探测器的太阳能电推进、空中制动和软着陆技术;在2020~2025年通过派机器人和人类亲自登月来验证太空中的生命支持和居住技术;在2024~2026年让机器人登陆火星;在2030~2035年把宇航员送上火星。

#### (4) 日本。

长期以来日本一直借助美国的力量积极参与载人航天活动。从1992年开始,日本的航天员就开始搭乘美国航天飞机进入太空,但是借

助美国航天飞机毕竟有诸多不便,因此日本发展独立载人航天事业的决心越来越强烈。当前日本载人航天计划的核心主要是日本国际空间站实验舱、希望号不载人航天飞机和H-2A、H-2B运载火箭,此外日本还开展H-2转移飞行器(HTV)的研制,计划为国际空间站服务。2005年,日本宇宙航空研究开发机构公布的未来20年太空开发远景规划是:建设无人月球基地,通过国际合作开展载人航天活动,建设作为小行星探测中转站的深空探测港。

#### (5) 印度。

印度自上世纪60年代启动空间研究计划以来,一直努力在航天领域争得一席之地,在发展载人航天技术方面可谓不遗余力。除了重视培养航天员外,印度在2006年11月提出了载人航天发展规划,其目标是设计、建造和发射载人航天器,即两座位的太空舱,使用GSLV运载火箭实现载人飞行,在2015年将2名印度航天员送入太空。在执行载人航天任务前,印度将使用GSLV运载火箭进行三次无人飞行试验,验证其载人航天技术。此外印度还正在实施首个月球探测任务“月球初航”计划,预计在2011年左右执行月球软着陆任务,同时还计划发展重型运载火箭使其月球轨道运载能力达到20t,在2020年前实现印度载人登月的梦想。

### 国外载人航天活动发展趋势

从美国、俄罗斯、欧洲、日本、印度等国宣布的载人航天发展规划中,可以看出清晰的载人航天发展路线图,即通过研制新型载人飞船和运载火箭等星际航行运输工具,逐步实现低地球轨道向星际轨道的载人空间探索,其发展路线是:低地球轨道载人飞行或国际空间站→载人登月及建立月球基地→载人火星探测。总结21世纪国外载人航天活动的发展规划,具体体现为以下几点发展趋势:

(1) 继续完成国际空间站的建设。虽然今日国际空间站的光芒已经大不如前,但是由美国、俄罗斯、欧洲、日本、加拿大等国参加建设的国际空间站仍将继续,国际空间站对接组装活动的成功与否对重返月球计划至关重要;

(2) 研制新一代运载火箭和载人飞船。以美国航天飞机为代表的上一代载人航天器即将退役,新型的运载火箭和载人飞船纷纷开展研制,兼具为国际空间站服务和载人星际运输的任务使命;

(3) 载人航天的热点在月球和火星。通过对低地球轨道的载人空间技术的验证和实践,逐步将载人航天和深空探测活动紧密结合,从无人星际探测到有人星际探测,实现载人登陆月球和登陆火星的战略目标;

(4) 太空旅游吸引更多乘客。越来越多的国际富商欲飞往国际空间站进行太空旅游,目前美国、俄罗斯、日本等国都提出了低成本、可重复使用的亚轨道太空旅游飞行器方案并加紧研发,太空旅游最终将成为一项产业;

(5) 国际合作仍是趋势。载人航天技术的特点就是技术复杂、规模较大、研制周期长、投资多,单靠一个国家的技术和财力支持是非常有限的。以国际空间站、欧洲惠更斯号登陆器与美国“卡西尼”号土星探测器联合的土星探测计划为代表的全球性国际航天合作已经成为一种潮流和趋势,呈现在世人面前。

### 国外载人航天技术的发展动向

发展载人航天技术必须解决大推力运载火箭和高可靠载人航天器等基本的天地往返运输工具问题,从各国新研发的运载火箭和载人飞船技术方案中,可以看出以下几点发展动向:

(1) 将载人和运货分开,更加重

视载人航天器的可靠性和安全性设计。

美国从 20 世纪 50 年代末开始发展载人航天,至今已有 40 多年的历史,其中航天飞机是阿波罗登月计划后的主力运输工具,但是航天飞机技术复杂、安全可靠性能低,由于各种原因没能达到预期的设计要求,特别是没能大幅度地降低载人航天的费用。此外受挑战者号和哥伦比亚号航天飞机失事阴影的影响,美国在新一代载人航天器 CEV 的方案论证中,重点强调载人航天器的可靠性和安全性设计,采用人货分运方案,抛弃了带机翼的航天飞机式外形,而重新采用类似“联盟号”飞船的三舱式结构,包括乘员舱、任务舱和推进舱。其中乘员舱采用有翼体外形,可乘坐 4~6 名航天员,单独发射;任务舱和推进舱在一起发射。两者在轨道上交会对接,组成总长近 21m 的飞行器,总质量约 40t。乘员舱前部设置救生舱,随时都可点火逃逸。CEV 不像航天飞机那样滑翔再入,而是利用降落伞和气囊着陆或水面溅落。

俄罗斯拥有当前世界上安全性、可靠性最高的载人航天器——联盟 TMA 号飞船,目前正在进行电气系统的升级换代。与此同时俄罗斯研制的“快船号”可重复使用飞船延续了人货分运的原则,分为再入舱、推进和应用舱。在快船号飞船的设计中由升力体和有翼体式两种外形,目前这两种外形的快船号载人飞船并行开展研制,它们将最终取代联盟号飞船。快船号是一种多次使用的载人航天器,能运载 6 名航天员和 500kg 有效载荷,还能用于星际航行。与“快船号”载人飞船同时开展研制的还有“渡船号”空间货运拖船,它是一种可重复使用的轨道间拖船,先发射进入 200km 高的近地轨道,然后再将其他多个有效载荷集装箱发射入轨,并同“渡船号”拖船对接,最后由拖船运送它们到空间站或其

他轨道飞行器。快船号和渡船号将分别取代目前正在使用的联盟号载人飞船和进步号货运飞船。快船号与渡船号相结合的可重复使用飞船系统,将是俄罗斯载人探索月球及火星任务的主力空间运输工具。

(2) 新一代载人运载火箭的设计充分借鉴已有的成熟产品和技术,更加注重高可靠性设计;研发重型运载火箭,提供百吨级的近地轨道运载能力,为星际运输服务。

美国国家航空航天局(NASA)在“星座计划”下正在研制的阿瑞斯(ARES)系列运载火箭,采用载人和运货分开的设计原则,设计了阿瑞斯 1 载人运载火箭和阿瑞斯 5 货运运载火箭。阿瑞斯 1 将用于运送猎户座 CEV 到达近地轨道,还具有向空间运输 25t 有效载荷的能力,可以为国际空间站运送补给,或为拯救月球上的宇航员进行在轨有效载荷的投放;阿瑞斯 5 是美国下一代重型运载火箭,其起飞质量约 3363t,近地轨道运载能力达到 124.6t,环月轨道运载能力达到 54.6t,它将作为 NASA 未来主要的空间运输工具,为月球基地的建立以及人类在地球轨道外生存运送物资。

阿瑞斯系列运载火箭充分借鉴了美国航天和土星 5 号重型运载火箭的成熟技术和产品,注重系统全生命周期的成本和风险控制。其中阿瑞斯 1 一子级直接借鉴了航天飞机的五段式可重复使用固体火箭助推器(SRB),二子级采用一台土星 5 号重型运载火箭的 J-2X 型液氧/液氢发动机,在头部加装逃逸救生系统。阿瑞斯 5 的芯一级和固体助推器都采用了航天飞机的五段式可重复使用固体火箭助推器(SRB),芯级主发动机采用 5 台德尔它 4 的芯级 RS-68 液氢/液氧发动机;上面级采用一台土星 5 号重型运载火箭 J-2X 主发动机。由于阿瑞斯系列火箭设计简洁,充分借鉴成熟的技术

和经过验证的产品,以及人货分开运输的简单任务,才使整个运载系统具有高可靠性。

(3) 长距离星际运输依赖组合运输系统,轨道对接组装技术等是发展星际载人航天的关键技术。

在核推进、反物质推进等先进推进技术尚未得到实质性突破的今天,长距离的星际运输主要还是依赖化学推进系统,由于受到比冲的限制,运载器的规模将大大增加,这就不得不研制土星 5 号及阿瑞斯 5 这样的重型运载火箭。即便进一步加大运载火箭的地面起飞质量规模,在开展载人登月及载人登火任务时,也难以一次性将有效载荷送入环月或环火轨道,因此发展组合接力式星际运输系统将成为长距离星际运输的重要技术途径。

波音公司提出的 CEV 组合式星际运输方案,通过设计发射逃逸系统、乘员控制舱、资源舱、重型运载火箭、月球推进系统、自动货运飞船、乘员居住舱等 7 种基础结构件,先由运载火箭发射某些结构件至近地轨道,然后在轨进行对接组装成星际飞船,飞往火星或者其他行星。其中在轨对接组装技术、在轨燃料加注技术等是发展星际载人航天技术的关键。

(4) 将无人深空探测和空间机器人技术作为载人星际探测任务的

先期验证技术。

鉴于载人星际探测任务的复杂性、规模较大、周期长、投资多的特点以及各国充分重视先期演示验证技术,将无人深空探测和空间机器人技术做为近期研发的重点关键技术。例如美国除了“星座系统”工程外,在重返月球计划中将无人探测与载人探测紧密结合起来,其中的一个项目是研制“月球勘测轨道飞行器(LRO)”,计划 2008 年由德尔塔-2 型运载火箭发射,它的任务是首先收集大量有关月球土壤成分的数据,并绘制详细的资源分布图,以便确定人类宇航员的合适登陆地点;另一个项目是研制月球车或月球机器人,要求无人探测中的月球车或机器人不仅能与人类一起在月球上工作,而且在人类登陆月球之前,他们还能先期登陆月球搜集数据为人类登月做准备,并建立适合人类居住的月球基地。NASA 要求所有的月球机器人必须是全自动化操作,不允许有任何宇航员或远程控制者操作。

### 几点启示和建议

近几年,中国的载人航天和深空探测活动都得到了长足的发展并取得了举世瞩目的成绩。按照中国载人航天发展战略,在成功发射无人飞船,载人飞船将宇航员安全送上太空

并平安返回后,第二步将建造短期有人照料的太空实验室;第三步将建造更大的长期有人工作的空间站;与此同时“嫦娥探月”工程也在按照“绕、落、回”的小三步计划顺利开展,大三步目标是“探、登、驻”。在神舟七号飞船宇航员出舱活动成功后,中国人欲实现载人登月梦想的呼声也越来越高。

(1) 将中国的载人航天和深空探测规划统筹考虑,尽快制定中国载人登月战略目标。

中国载人航天事业刚刚起步,与美、俄相比并不在同一起跑线上,虽然中国已经明确了载人航天和深空探测各自的发展战略目标,但是对于载人登月任务必须统筹规划,从顶层制定战略目标,逐步实现中国人的载人登月梦想。

(2) 研制重型运载火箭与发展在轨对接组装技术相结合。

新一代运载火箭虽然已经立项开展研制,但是其近地轨道运载能力仅 20t,尚无法支持中国的载人登月计划。那么下一步是研制重型运载火箭直接将登月舱发射至环月轨道,还是利用新一代运载火箭将登月舱段分别发射入轨,在近地轨道组装后再奔向月球呢?无论是哪种方案涉及的基础技术和基础理论都较多,投资的规模都不小,需要开展详细的分析论证。

(3) 充分重视载人星际航行技术的先期演示验证技术,通过国际合作减少风险。

发展载人星际航行技术必须重视先期的演示验证技术,在实现有人探测前必须开展无人探测和机器人登陆技术,以此来逐步掌握载人星际航行技术。建议在自主研发的基础上,适度开展国际合作,充分借鉴他国的优势技术和资源,和平开发,互惠互利,避免载人航天项目潜在的巨大风险。

(责编 晓霏)

