

# 中国进入空间能力的现状与展望

龙乐豪, 王小军, 果琳丽

(中国运载火箭技术研究院, 北京 100076)

**[摘要]** 总结了国外航天运输系统的现状及发展趋势; 对比分析了我国长征系列运载火箭的现状和差距; 提出了增强我国进入空间能力的五个发展方向, 即改进现役运载火箭、研制新一代运载火箭系列、发展快速机动发射小型运载火箭、具备载人登月及深空运输能力、探索重复使用运输技术。

**[关键词]** 航天; 长征火箭家族; 载人登月; 重复使用运载器

**[中图分类号]** V47 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)11-0025-04

作为航天技术的基础, 航天运输系统的技术水平代表着一个国家自主进出空间的能力。确保安全、可靠、快速、机动、廉价、环保地进出空间, 不仅是未来实现迅速部署、重构、扩充和维护航天器的基础, 也是大规模开发利用空间资源的前提。

## 1 国外航天运输系统现状及发展趋势

当前国外航天运输系统的发展正处于一个能力转型阶段, 航天运输系统的概念、任务和总体技术要求都发生着根本性变化; 普遍认为航天运输系统是指往返于地球表面和空间轨道之间, 或在轨道与轨道之间运输各种有效载荷的所有的运输工具系统, 包括一次性运载火箭、航天飞机、空天飞机、各种可重复使用航天运载器、载人或货运飞船、轨道转移运输飞行器、应急救援飞行器以及各种辅助系统。

### 1.1 国外航天运输系统现状

各国现有的一次性运载火箭型谱都比较健全, 对于大中小型各类有效载荷都有性价比合适的运载工具进行发射。现有的小型运载火箭主要采用弹改箭技术, 例如美国的金牛座和飞马座运载火箭、俄罗斯的起跑号运载火箭等; 原有的中型和大型运载火箭逐渐退役, 新型运载火箭将朝着大直径、大运

载能力、无毒无污染方向发展, 目前各主要航天国家都在进行大型运载火箭的更新换代。

为了拓展航天运输系统的轨道转移运输能力, 世界各国积极发展运载上面级技术, 提高运载火箭的任务适应性, 至今已研制了近10种各类上面级, 如大型运载火箭使用的半人马座G、H-2的第二级、质子号D级、阿里安5的上面级、液体过液级、IUS、PAM-DII以及轨道转移级等。这些上面级一般都具有多次起动变轨能力, 可以进行多星分配轨道部署, 为发展轨道转移运输系统奠定了坚实的技术基础。

重复使用运载器是实现快速、机动、可靠、廉价进出空间的重要技术途径之一。虽然美国航天飞机的失事及退役给重复使用运载器的研发蒙上阴影, 但是重复使用运载器单项关键技术的研发仍在继续, 新型重复使用运载器的研究更加热烈; 许多单项关键技术已经接近或达到飞行演示验证阶段(技术成熟等级TRL6), 如机身结构、推进剂贮箱、防热材料、着陆装置等都已达到TRL5~6级, 火箭发动机为动力的SSTO推进系统也达到TRL5~6级, 即使是以吸气式组合发动机为动力的SSTO推进系统也达到了TRL3级; 与此同时, 一批新型重复使用运载器的研制更加热烈, 例如2004年9

月29日美国私营公司研制的太空船一号飞船成功试飞,带动了亚轨道重复使用运载器技术的新兴。

## 1.2 国外航天运输系统发展趋势

2005年美国白宫科学和技术政策办公室发布新的《美国航天运输政策》,可以预测,在今后相当长的时间内,美国的航天运输政策代表着国外航天运输系统的主导发展趋势,下一代航天运输系统明确提出要达到的主要目标是:确保美国航天运输能力的可用性,包括经济可靠地进入空间、通过空间和从空间返回;演示验证作战响应进入空间和利用空间的初始能力,满足国家安全的需要;发展空间运输能力,实现在低地球轨道(LEO)以外进行载人空间探索;为美国经济带来效益以及提高工业的竞争能力。为了实现这一目标,美国航天运输能力转型发展的重点是重型运载火箭、小型军用运载火箭、轨道转移运输飞行器及亚轨道重复使用运载火箭;完全重复使用运载火箭则成为远期目标。

1.2.1 重型及大型运载火箭 预计到2010年前后,美国将形成1个重型和3个大型运载火箭系列,LEO的运载能力最大达130 t,分别是NASA提出的满足载人登月要求的Ares I和Ares V重型运载火箭,私营的空间探索公司提出的“猎鹰-9”低成本大型运载火箭,美国空军的大型主力运载火箭“宇宙神-5”和“德尔它-4”系列。

1.2.2 快速机动发射小型军用运载火箭 美国空军计划在2010年底前研制出经济可承受的SLV,能够在下达命令后48 h内将450~900 kg的有效载荷送入轨道。目前美国空军正在通过多项计划并行研制至少6个SLV方案,包括FALCON计划支持的“猎鹰”、“精灵”、“quickreach”、固液混合推进剂运载火箭等4个SLV方案;2005年美国空军又开始研制“猛禽”和“风驰”2个空中发射的SLV方案,这些项目的研究重点在于降低成本和快速机动发射,以满足美国空军的快速进入空间的目标。

1.2.3 轨道转移运输飞行器 轨道转移运输飞行器由于具有轨道机动、离轨、再入等功能,较常规的火箭上面级具有更大的机动性和灵活性。这种飞行器不仅可机动部署卫星,还能提供在轨服务和维修。因此美国空军明确提出要在2015年以后部署一种轨道转移飞行器(OTV),其主要作用是通过对美国空间资源进行在轨服务,显著提高空间资源的灵活性和作战能力。

1.2.4 亚轨道重复使用运载火箭 航天飞机的失

事及退役让美国空军认识到,发展完全重复使用技术需要循序渐进。2005年美国空军开始实施亚轨道重复使用运载火箭ARES计划,计划研制助推级可重复使用的ARES计划,降低重复使用技术的难度,同时,与小型军用运载火箭的研制计划相衔接,发展一级可重复使用,二级采用一次性使用小运载的芯级做为上面级的HLV方案,LEO运载能力为4.5~6.8 t,发射价格仅为现役运载火箭的1/3~1/6。该方案选择的基本依据是低成本、低风险满足发展目标,不刻意强调技术先进性。完全重复使用运载器则成为远期研制的目标。

## 2 我国长征系列运载火箭现状与差距

### 2.1 现役长征系列运载火箭

经过40多年的不懈努力,中国的航天运输技术得到长足的发展,独立自主地研制了14种不同型号的“长征”系列运载火箭,具备发射近地轨道、太阳同步轨道、地球同步转移轨道等多种轨道有效载荷的运载能力,入轨精度达到国际先进水平。该系列火箭近地轨道运载能力覆盖0.3~8.5 t,地球同步转移轨道运载能力达到5.1 t,太阳同步轨道运载能力达到6.1 t。

长征系列运载火箭的发展历程:

·20世纪70年代中期研制的长征二号丙(CZ-2C)中型运载火箭主要用于近地轨道和太阳同步轨道的发射,至今已经连续27次发射成功,是长征火箭中的“金牌火箭”。高可靠性的CZ-2C运载火箭是长征火箭发展的基础。

·80年代初研制的采用低温上面级的长征三号(CZ-3)运载火箭,主要用于地球同步轨道卫星的发射,其三级采用了以液氢液氧为推进剂的具有二次启动能力的低温发动机。CZ-3运载火箭的研制成功,使得我国成为世界上第三个掌握低温高能推进技术和第二个掌握低温发动机高空二次点火技术的国家。

·90年代初期研制的长征二号E(CZ-2E)捆绑式火箭是我国运载火箭技术发展的一大飞跃,使我国运载火箭近地轨道运载能力大幅度提高,并为载人航天奠定了基础。

·90年代中期研制成功的长征三号B(CZ-3B)捆绑式火箭使我国地球同步转移轨道的运载能力达到了5.1 t,火箭运载能力跃居世界第四位。

·90年代末研制成功的长征二号F(CZ-2F)

捆绑式火箭是我国第一个载人运载火箭，1999 年首飞成功，2003 年、2005 年两次载人飞行使我国成为世界上第三个具备独立开展载人航天的国家。

截至 2006 年 9 月，长征火箭共进行了 90 次发射，取得了连续 48 次发射成功的骄人战绩，包括 4 次无人飞船和 2 次有人飞船的发射，将 27 颗外国制造的卫星成功地送入太空，并将三个外国的搭载体发射、回收成功，在国际商业卫星发射服务市场占有一席之地。

我国航天运载技术的巨大进步，有力地推动了我国卫星技术及卫星应用技术的发展，带动了我国载人航天的起步，为新一代大型运载火箭的研制打下了良好的基础，对扩大我国航天领域对外合作，增强中国的科技实力、国防实力和民族凝聚力发挥了不可低估的重要作用。

## 2.2 差距分析

中国的航天运输系统取得了举世瞩目的成就，并且在世界商用航天发射市场占有一席之地，但是与国外先进的航天运载技术和完备的航天运输系统相比，还存在比较明显的差距：一是中国航天运输系统现有的技术水平和能力与未来国防建设和国民经济发展的要求不相适应，诸如战时应急发射军用有效载荷、载人登月及深空运输、应急救援等；二是核心基础技术的发展与航天运输系统的整体发展不相适应，突出表现在基础薄弱、能力不足，例如：

- 现役运载火箭的价格优势正在逐步丧失，同时运载能力不足、发射准备周期长、任务适应性差；运载火箭产业化进程缓慢，与国民经济建设的需求不相适应。

- 新一代无毒无污染运载火箭系列刚刚立项，预计基本型首飞要在 2013 年以后，现役运载火箭的更新换代至少还需 10 年左右时间。

- 缺乏具备快速机动发射能力的可实用小型运载火箭，对于确保有效载荷的快速进入空间能力缺乏技术支撑。

- 缺乏满足未来载人登月、深空探测、应急救援等航天任务要求的航天运输系统。

- 重复使用的基本关键技术尚未突破，缺乏满足亚轨道空间旅游需求的亚轨道重复使用运载火箭。

- 发展航天运输系统所需的先进动力与新型推进剂技术、气动防热技术、制导导航控制技术、新

型发射技术等核心基础技术薄弱，技术储备严重不足。

## 3 中国航天运输系统发展的展望

根据国外航天运输系统的技术特点和发展趋势，总结我国航天运输系统的差距和不足，我们设想中国航天运输系统的发展主要有以下五个方向：

- 1) 改进现役运载火箭。在新一代运载火箭投入使用以前，现役运载火箭还将有 10 年以至更长的服役期，因此应充分利用现有运载火箭的技术基础，不断改进现有运载火箭，提高可靠性和适应能力、降低成本，满足国内外近期发射任务的需求：

- 提高可靠性：通过可靠性增长技术研究和试验，控制系统进行冗余设计和现代化改造，不断提高现有运载火箭的可靠性；

- 提高适应能力：研制 CZ-3A 系列运载火箭通用上面级，满足直接发射卫星进入 MEO 及 GEO 的任务需求、适应能力和竞争力；

- 降低成本：火箭进行“三化”设计，研究低成本技术，降低火箭制造成本以降低火箭发射费用。

- 2) 研制新一代运载火箭系列。新一代运载火箭系列按照“立足长远、统筹规划、优先发展、分步实施”的发展原则，贯彻“通用化、组合化、系列化”设计思想，主要采用液氢、液氧、煤油等无毒、无污染推进剂，芯级为 5 m 直径同时捆绑 3.35 m 和 2.25 m 两种模块的助推器，通过模块化组合方式，形成近地轨道运载能力覆盖 10~25 t，地球同步转移轨道运载能力为 6~14 t 的大型运载火箭型谱，主要用于我国大型卫星和空间站的发射任务。

- 新一代大型运载火箭：在 120 t 液氧煤油发动机和 50 t 液氢液氧发动机的基础上，研制新一代大型运载火箭基本型，LEO 运载能力达到 25 t，GTO 运载能力达到 14 t，GEO 运载能力达到 6 t。2001 至 2004 年，新一代运载火箭经过 4 年预先研究，初步突破了关键技术，目前已经立项开展工程研制，计划 2013 年完成基本型的首次飞行试验。

- 新一代小型运载火箭：在 120 t 液氧煤油发动机的基础上，研制新一代小型无毒无污染运载火箭，为日常微小型卫星的发射任务服务，研制重点是降低发射成本，700 km SSO 运载能力为 500~1 000 kg。

·先进上面级：为提高新一代运载火箭的适应能力，研制先进上面级，具备多星发射能力和一定的轨道机动能力，使新一代运载火箭具备发射中高轨道卫星直接入轨能力，具备发射地月转移轨道的能力。

3) 具备快速机动进入空间能力。根据不同任务的需要，航天运输系统应该具备应急机动快速发射小型有效载荷的能力，以求更好地满足各种小卫星等有效载荷的发射需要。初步考虑可发展车载发射、空中发射等不同发射方式的小型运载火箭。

·车载发射小型运载火箭：借鉴成熟的车载机动发射技术，缩短常规运载火箭的发射准备周期，满足小卫星的应急发射需求，重点突破一级大推力固体火箭发动机技术、大吨位机动发射车、智能快速发射技术等关键技术。

·空中发射小型运载火箭：采用飞机腹挂或内装小型运载火箭方案，掌握空中发射技术，满足微小有效载荷的发射需求，重点突破机箭投放分离技术、动基座初始对准技术、机箭系统优化设计技术等关键技术。

4) 载人登月及深空运输技术。为支持未来的载人登月计划，可考虑参照美国土星 5、Ares-5 以及俄罗斯的三级重型运载火箭，开展我国重型运载火箭的方案研究；也可在新一代运载火箭的基础上，开展运载火箭在轨组装技术研究。为支持更深更远空间的探测任务，主要发展具备空间强变轨能力的轨道转移运输飞行器。

·重型运载火箭：经过初步分析，重型运载火箭起飞质量约为 2 800 t，起飞推力达到 35 000 kN，地月转移轨道运载能力达到 50 t；重型运载火箭关键技术是推力 5 000~6 000 千牛级的液氧煤油发动机、推力 2 000 千牛级的液氢液氧发动机。

·在轨组装发射运载火箭：设想在新一代大型运载火箭的基础上，发射运载火箭的子级或部段到近地轨道空间，在近地轨道空间完成在轨装配及加注后，实现运载火箭空间二次发射，支持我国以月

球、火星为主线的深空探测计划。

·轨道转移运输飞行器：由于受到常规化学火箭发动机规模的限制，对于未来的更深更远空间的星际航行等任务，需要研究更先进的航天动力技术。可以在先进上面级的基础上，研制具备空间强变轨能力的轨道转移运输飞行器，具备执行近地空间（LEO）以外的深空轨道转移运输的能力，以满足向更高空间轨道运送更大有效载荷的需求。

5) 探索重复使用运载技术。可重复使用运载技术是实现未来航天运输系统快速、机动、可靠、安全、廉价进出空间的重要技术途径之一。当前重复使用运载技术的重点是突破高超声速气动/气动热技术、先进的推进技术、热防护材料技术、高超声速再入返回控制技术 etc 4 项关键技术，为下一步研制实用型重复使用运载器奠定技术基础。在突破基本关键技术之后，开展亚轨道助推级重复使用运载火箭的研制，为研制两级入轨完全重复使用运载器奠定技术；在突破轻质材料和先进的推进技术之后，最终研制单级入轨重复使用运载器。

#### 4 结论和建议

长征系列运载火箭的诞生打开了中国进入空间的大门，但是与世界先进航天运载技术相比差距在逐渐加大。为确保和提升中国进入空间的能力，航天运输系统亟待进一步发展。当前最紧迫的任务就是发展新一代运载火箭系列和快速机动发射的小型运载火箭，满足军民卫星发展的需求，使中国航天运输系统具备无毒无污染和快速进入空间的能力。

为了满足未来的载人登月及深空探测等任务的需求，需要开展重型运载火箭、在轨组装发射技术、轨道转移运输飞行器、重复使用运载器等关键技术的研究，实现我国航天运输系统技术水平的跨越式发展，保持我国运载技术在世界航天领域的地位，同时应促进我国空间技术、空间科学和空间应用技术的协调发展，提高我国的综合国力。

## The Present Situation and Prospect of China's Space-entering Capacity

Long Lehao, Wang Xiaojun, Guo Linli

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

(cont. on p. 32)

由箭上故障检测处理系统自动判断处理,对于发展速度较慢的故障,由地面有人参与的多参数融合的故障检测处理设备来处理。其次,根据故障模式的具体分析结果、相关系统的设计能力和仿真试验的统计结果,确定了故障门限值。最后,在由火箭故障飞行仿真系统、故障检测处理系统、逃逸仿真系统和遥测系统部分设备组成的火箭故障半实物仿真系统上,进行了不断的试验和验证。

总之,在CZ-2F火箭研制中,进行了大量且有效的设计工作,保证了首次载人飞行的圆满成功。

#### 4 结语

高可靠性、高安全性、高质量是载人运载火箭不断追求的目标。随着研制工作的不断深入,将会不断找出设计的薄弱环节,并改进设计将其克服。随着型号质量管理工作的不断完善,也将对质量管理规范不断地注入新的内涵。具有我国自主知识产

权的载人运载火箭必将日臻成熟,担负起载人航天的历史使命。

人类走出地球摇篮是历史发展的必然,随着航天技术的不断进步,将由更多的人能够从太空俯瞰我们这个蓝色的星球。人类也会向更高更远的宇宙空间进发,开发宇宙,造福人类。在人类进军宇宙的过程中,将会拥有更加可靠的运输系统和更加完善的安全保障措施来保障他们的安全。航天科技工作者将为这一目标进行不懈的努力,让普通人自由出入太空的日子早日到来。

#### 参考文献

- [1] 刘竹生,张智. 载人运载火箭安全防线[A]. 中国科学技术前沿·中国工程院版第7卷[C]. 北京:高等教育出版社,2004.25~49
- [2] 刘竹生,张智. CZ-2F载人运载火箭[J]. 导弹与航天运载技术,2004,(1)

## Manned Launch Vehicle in China

Liu Zhusheng

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

[Abstract] High reliability, high safety and high quality to ensure the absolute safety of astronauts are the utmost requirements to manned launch vehicles. This article introduces the system concept, system constituent and basic design principle of LM-2F manned launch vehicle.

[Key words] manned launch vehicle; system constituent; design principle

(cont. from p.28)

[Abstract] The paper describes the present situation and development trend of the launching system in space activities abroad, and analyzes the situation of China's "Long-March" rockets and the gap between China and foreign countries in that regard. The paper also proposes 5 development directions for enhancing China's space-entering capacity: renovating active launching vehicle; developing the next generation of rocket series; developing small-sized rockets that can be launched quickly and flexibly; developing launching vehicles capable of manned lunar landing and outer space exploration; exploring the techniques for reusing launching vehicles.

[Key words] space activities; "Long-March" rocket family; manned lunar landing; reusable launching vehicles