

航天动力系统未来需求方向及发展建议的思考

陈士强, 黄辉, 邵业涛, 黄兵

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

摘要: 随着航天运输领域的发展对航天动力系统的需求不断提升, 总结国外航天动力系统的发展趋势, 分析内在启示; 根据我国航天运输系统未来发展, 提出我国航天动力系统的发展需求, 并进一步结合多方约束阐述对解决方案的思考。

关键词: 航天动力系统; 需求方向; 发展建议

中图分类号: V475

文献标志码: A

文章编号: 2096-4080 (2019) 01-0062-09

Study on the Requirement Trend and Development Suggestion for China Space Propulsion System

CHEN Shiqiang, HUANG Hui, SHAO Yetao, HUANG Bing

(Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China)

Abstract: The requirement for space propulsion system is dramatically multiplex. The requirement trend, development strategy and inspiration of global space propulsion system are summarized in this paper. Based on the development suggestion of China space transportation system (STS), the requirements for China space propulsion system are analyzed, and the study on solutions is put forward under several considerations and restrictions.

Key words: Space propulsion system; Requirement trend; Development suggestion

0 引言

太空是维护国家安全和利益的制高点, 航天动力系统是进入空间和利用空间的基础。随着国家安全和经济发展要求的不断提高及人类空天活动领域的不断扩展, 航天运输系统对动力系统性能要求也越来越高, 对新型动力系统提出需求的领域也越来越广。

航天动力系统通常包括主动力系统、辅助动力系统及增压输送系统, 本文分析范畴暂限于主动力系统, 即为航天运输系统提供飞行主推力的发动机系统。我国航天动力系统经过 60 年的发展, 形成了以长征系列运载火箭一级、二级、助推级

发动机为代表的常规推进剂发动机, 以 CZ-3A 系列运载火箭三级为代表的低温液氢/液氧发动机和涵盖多直径、全系列产品的固体发动机, 成就了以载人航天工程、探月工程和北斗导航一、二期工程为典型的重大航天工程, 完成了多批次、多类型、多用途的空间有效载荷发射任务, 为我国国防建设、科技进步和国民经济发展提供了强有力的支撑。我国发展的高压补燃液氧/煤油发动机和大推力液氢/液氧发动机完善了液体火箭主动力型谱, 有效地保障了新一代运载火箭研制, 推动了航天运输系统和航天技术的整体发展, 助力我国探月工程三期和空间站建设; 新型固体发动机的成功研制有力地推动了我国固体运载火箭的发

收稿日期: 2018-09-15; 修订日期: 2018-12-12

作者简介: 陈士强 (1986-), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为运载火箭动力系统总体设计。

E-mail: chenshq@buaa.edu.cn

展,并将进一步助力我国新一代中型运载火箭和重型运载火箭的论证和研制工作^[1-2]。

新一代运载火箭相继成功首飞,“十三五”规划陆续开展,中国航天又迎来新的发展契机。面对新机遇,迎接新挑战,系统总结国外航天动力系统发展动态和未来趋势,结合我国航天动力系统特点,深入思考我国航天动力系统发展的需求、面临的问题和解决方案,进一步推动航天动力系统发展,对加快我国由航天大国到航天强国转变、增强国防实力和促进国民经济发展有着十分重要的意义。

1 国外航天动力系统发展趋势及思考

1.1 国外航天动力系统发展现状和趋势

1.1.1 美国

美国航天动力系统发展的原动力为国家级的战略牵引,主要出口为政府(如 NASA)和军方。从早期阿波罗登月计划用的 F-1 液氧/煤油发动机和 J-2 液氢/液氧发动机,到航天飞机液氢/液氧发动机和大推力固体发动机,再到 RS-68 液氢/液氧发动机,新型动力系统的出现都是以服务美国国家战略为目标。随着商业航天的发展,美国一方面从政府层面积极将已有成熟技术转移到商业领域,创造更大的市场价值;另一方面不断鼓励私人公司利用商业资本和市场机制,基于政府转让的成熟技术和政策上的牵引,以较低的投入研发或引进新型动力系统,完善国家航天动力系统体系。

当前阶段,美国新型航天动力系统的发展仍然是国家在主导。在重型运载火箭 SLS 研制的牵引下,美国陆续开展了新型液体火箭发动机和固体火箭发动机的研制、试验工作(试车见图 1),包括基于航天飞机动力系统的 RS-25E 液氢/液氧发动机、基于通用半人马座的 RL10 系列液氢/液氧发动机和新型五段式固体助推器^[3]。



(a) RS-25E 第二次热试车 (2018 年)



(b) 固体助推器热试车 (2015 年)

图 1 SLS 发动机热试车

Fig. 1 RS-25E and SRB hot fire test of SLS

商业航天领域,乌克兰危机引发的美俄政治交恶进一步发酵为美国和俄罗斯航天企业间的“RD-180 发动机”风波。在此背景下,美国 ULA 公司积极探索可替代 RD-180 的发动机,其选择包括航空喷气-洛克达因公司的 AR-1 液氧/煤油发动机(见图 2)和 Blue Origin 公司的 BE-4 液氧/甲烷发动机(见图 3),Vulcan 火箭方案的正式发布无疑会极大地推动这一进程;在 2018 年 9 月, BE-4 成功胜出, AR-1 的研制也仍在进行。安塔瑞斯火箭的失利(2014 年 10 月 28 日)迫使 Orbital/ATK 公司努力寻找 AJ26-62 发动机(见图 4)的替代品,配备 RD-181 发动机的新安塔瑞斯在 2018 年成功首飞; Falcon 火箭的低成本进一步降低了商业航天的门槛,大范围推力可调的开式循环 Merlin 液氧/煤油发动机(见图 5)再次成为业界焦点, Falcon Heavy 的首飞成功无疑将 Merlin 发动机推向了极致; BE-3 液氢/液氧发动机的飞行验证成功(2015 年 5 月 4 日)展示了商业航天对动力系统的巨大推动作用;米诺陶 V 运载火箭的首飞成功(2013 年 9 月 7 日)进一步表明便于模块化组合、低成本发射和提供进入空间快速响应能力是固体发动机与生俱来的优点,并且极富吸引力。



图 2 AR-1 发动机设计模装图

Fig. 2 Model design of AR-1 engine



图3 BE-4 发动机
Fig. 3 BE-4 engine

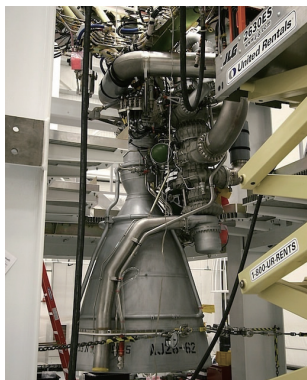


图4 AJ26-62 发动机
Fig. 4 AJ26-62 engine



图5 Merlin-1D 发动机
Fig. 5 Merlin-1D engine

美国为了保持在航天领域的领导地位，尤其是航天飞机的黯然离去引发的运载能力的降低和载人航天能力的丧失之后，加速了重型火箭研制计划。在国家战略的牵引下，新型大推力航天发动机的研制成为一种必然。在商业航天方面，低成本和高可靠是永恒不变的目标，甚至可以以牺

牲部分性能为代价，典型的措施包括采用成熟的技术来避免新研发动机的高昂成本，采用推力可调节发动机以实现部分重复使用，采用新的制造技术和工艺以降低生产成本。美国航天工业的多元化使得航天动力系统呈现良性发展：基于国家意志展开新技术的探索和新型号的研制，而成熟的技术逐步从政府和军用领域转移到民用和商业领域，创造更大的经济价值，并推动新兴企业发展，进一步完善航天工业体系，带动相关产业发展。

1.1.2 俄罗斯

俄罗斯两型新研火箭的成功首飞（2014年7月9日，安加拉1.2成功首飞；2014年12月23日，安加拉A5成功首飞）再次证明了其航天强国的不争事实，也标志着RD-191发动机（见图6）正式在俄罗斯的工程实际应用。系列化的高性能液氧/煤油补燃发动机确立了俄罗斯航天强国的地位，从四喷管的RD-170/171到双喷管的RD-180再到单喷管的RD-191，在追求单喷管大推力的同时，更能体现航天运输系统模块化发展对动力系统的内在要求。高推质比和大范围推力可调节，使得RD-191秉承了俄罗斯液氧/煤油发动机的优秀使用维护性。

在重复使用发动机方面，俄罗斯与欧空局展开合作，开展了伏尔加（Volga）、乌拉尔（Ural）液氧甲烷发动机的研究（见图7），并与韩国合作研制了CHASE-10液氧甲烷发动机，但均处于地面研制状态，尚未实现飞行。

受限于体制改革冲击和经济形势压力，基于国家意志的俄罗斯航天动力系统虽然前进步伐放缓，但始终没有停止发展的脚步。强大的动力系统独立研制能力，仍然是航天强国的重要支撑。



图6 RD-191 发动机
Fig. 6 RD-191 engine

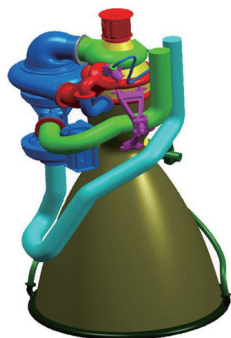


图 7 伏尔加发动机模装图

Fig. 7 Volga engine model



图 9 Vinci 发动机

Fig. 9 Vinci engine

1. 1. 3 欧洲

火神和火神 2 液氢/液氧发动机（见图 8）支撑了欧空局近 20 年的阿里安 5 发射任务，充分验证了低温氢氧芯级加固体助推运载方案的可靠性。织女星运载火箭的成功（2012 年 2 月 13 日），芯一级发动机 P80 指明了整体式大推力固体发动机的发展方向。阿里安 6 火箭最终方案的确定将进一步牵引欧洲芬奇（Vinci）大推力（真空推力 18t）膨胀循环液氢/液氧发动机（见图 9）和新型固体发动机的发展^[4]，芯一级继承阿里安 5 火箭的火神 2 发动机则节省了重新研制主动力系统的投资，充分运用了已有技术。英国 Reaction Engines 公司提出采用组合动力发动机 SABRE（见图 10）的 Sky-lon 飞行器，力求实现高性能跨空域工作发动机、单级入轨和多次重复使用的低成本航天运输解决方案，但由于技术跨度大，相关工作较工程应用仍存在一定距离^[5]。

立足预研，充分继承，无疑是动力系统发展过程中有效降低成本、缩短研制周期、提高可靠性的重要举措；而跨越式的技术发展则可能带来不可预见的技术、周期和经费风险。

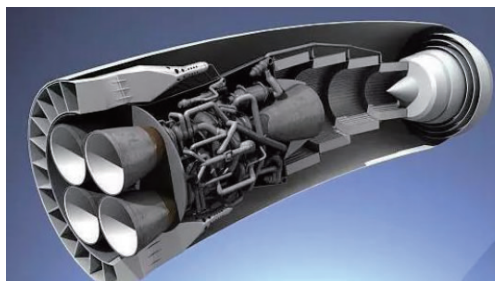


图 10 SABRE 组合动力发动机

Fig. 10 SABRE combined engine

1. 1. 4 日本

艾普斯龙火箭的成功首飞（2013 年 9 月 14 日）充分体现了日本在固体发动机领域的先进水平。大推力固体发动机由于其高性价比、使用维护方便和潜在的军事用途，成为航天动力系统的重要发展方向。提上日程的 H-3 火箭论证和研制工作势必将进一步牵引日本航天动力系统的发展，主发动机 LE-9（见图 11）充分继承 LE-5、LE-7 的成熟技术，真空推力跨越式提高至 150t，目前已完成样机生产并成功开展多次热试车^[6]。

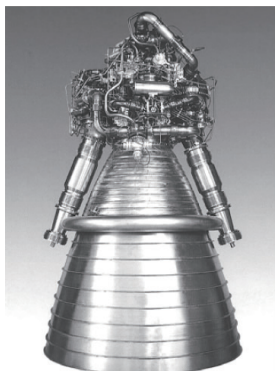


图 8 火神 2 发动机

Fig. 8 Vulcain-2 engine



图 11 LE-9 发动机

Fig. 11 LE-9 engine

结合自身需求开展动力系统研究,在已有技术基础上不断突破创新,避免盲目发展,不失是一种理性方案。

1.1.5 印度

GSLV-MK3的亚轨道成功首飞(2014年12月18日)验证了印度在固体发动机领域强大的设计和生产能力,CE-20液氢/液氧发动机(见图12)的多次地面长程试车的成功(2015年4月28日、2015年7月16日)无疑会进一步增强印度掌握低温上面级技术的信心。2017年6月5日GSLV-MK3的成功首飞,表明印度终于实现了低温上面级飞行主发动机的国产化,向独立自主发展高性能航天运输系统迈进了一大步。

高性能低温上面级动力系统已然成为先进上面级发展的必然选择。



图12 C25低温上面级和CE-20发动机

Fig. 12 C25 cryogenic upper stage and CE-20 engine

1.2 国外航天动力系统发展的启示

1.2.1 政府牵引必不可少

航天的特点要求政府必须对航天的发展进行强有力的牵引,以国家战略的形式制定规划,为航天动力系统研制相关单位提供各方面的支撑,有力保障研制工作的进行。基于商业模式的航天动力系统发展同样需要政府给予政策上的支持。

1.2.2 大推力发动机研制势在必行

大推力发动机的技术水平决定一个国家进入空间和利用空间的能力,大推力液体发动机和大推力固体发动机的协同发展可以极大地丰富运载火箭主动力型谱,并为国家战略安全提供足够的保障,已成为主要航天大国的共识。

1.2.3 对高性能的追求永无止境

高性能的航天动力系统可以有效提高航天运输系统的综合性能。高性能推进剂和闭式循环带来的高比冲,以及新型材料和先进制造工艺形成

的大推质比,是航天动力系统发展的不懈追求。

1.2.4 优秀的使用维护性日益凸显

随着运载器综合性能优化、提高进入空间快速响应能力和实现可重复使用的需求发展,大范围推力可调节、简化射前操作流程、液体发动机降低起动前泵入口压力等逐渐成为航天动力系统的重要指标要求。优秀的使用维护性是航天动力系统走向市场的必然途径。

1.2.5 低成本是重要发展方向

随着商业航天的快速发展,低成本已经成为未来航天运载器和航天动力系统发展的必然趋势,而高可靠又对产品质量和技术水平提出了极高的要求,其综合结果是尽量采用高效的管理方法和成熟的技术,并积极探索可以提升效率、降低成本的新工艺和新技术。除了获得政府资金支持之外,航天动力系统整体或部分回收技术是解决低成本问题的可行途径之一。航天飞机主发动机(SSME)及固体助推器的多次重复使用(部分组件),SpaceX公司Falcon9、Falcon Heavy两型火箭子级整体回收与再次发射,Blue Origin公司New Shepard亚轨道飞行器整体回收与再飞行为动力系统回收复用以降低成本提供了榜样式的引领作用和示范效应,在ULA新型火箭Vulcan中,发动机的可控回收已成为降低成本的必选项目。

1.2.6 高可靠是永恒的质量要求

航天动力系统的可靠性决定着整个运载器的成败,高可靠是航天系统的永恒质量要求。高可靠引发的一系列关于动力系统发展思路的讨论尚无定论,很多时候需要在高可靠和低成本、高性能之间进行权衡。动力冗余势必要求电气系统设计理念的突破,动力系统大量的地面试验会显著提高研制成本,开式循环发动机必然导致性能的降低……面对航天动力系统的高可靠要求,很多工作仍有待深入展开。

2 我国航天动力系统需求方向及发展建议思考

2.1 我国航天动力系统需求方向

发展大型、重型运载火箭及可重复使用火箭是一个国家迈向航天强国的必然途径^[2],大推力、低成本、高可靠和使用维护方便是动力系统的重点发展方向^[7],在高可靠的基础上实现低成本是重中之重。我国航天运输系统的新发展对动力系统

提出了新的需求。

2.1.1 动力系统整体需求

2.1.1.1 近、中期需求

(1) 大推力固体、液氧/煤油和液氢/液氧发动机

我国新一代中型运载火箭和重型运载火箭对大推力固体发动机、液氧/煤油发动机和液氢/液氧发动机提出了新的研制需求^[2]。固体发动机需要实现大推力的技术突破；液体发动机不仅需要比冲、推力、推质比等性能有所提升，还需要具备推力调节、故障诊断等功能，并大幅优化使用维护条件。特别是基础级发动机的推力构型将直接影响总体构型的优化，在实现大推力的基础上还必须注意衍生构型，构建合理梯度；而发动机大范围节流技术则是构型优化的重要途径。

(2) 现有液氧/煤油发动机和液氢/液氧发动机改进

现有液氧/煤油在比冲、推质比、推力等方面的积极改进措施将为新一代火箭适应未来任务提供强有力支撑。同时，针对新中型、小型低成本运载火箭上面级构型论证中发动机性能指标优化方案，结合 CZ-3A 系列以及 CZ-5 火箭的性能和任务适应性改进，现有液氢/液氧发动机的性能改进也存在较大需求。

(3) 开式循环液氧/煤油发动机

与闭式循环相比，开式循环发动机具有系统结构简单、组件相互独立性好、研制周期短、研制费用低的特点，结合推进剂致密化可实现高比冲。近几年也逐渐显现出开式循环是国外液氧/煤油发动机的发展方向之一^[2]，我国有必要积极开展相关研究，进一步丰富液体火箭发动机主动力型谱。

(4) 先进空射动力系统

空基发射具有良好的机动性、灵活性，是实现快速进入空间的重要途径之一。近年来国外陆续推出了多个空射动力系统方案，包括如飞马座低成本、高性能的 Orion 系列固体发动机，ALASA 项目 SALVO 空射系统推出的液氧/煤油发动机，太空船二号使用的固液混合发动机等。我国亟待开展先进空射动力系统的研制，为进一步提升快速进入空间反应能力提供支撑。

2.1.1.2 远期需求

(1) 核热推进系统

核热火箭的比冲可达千秒量级，推力可达百吨量级，可在发射后半年内载人登陆火星，是可预见的未来太空探索的首选推进系统。基于核热推进的载人登火方案初步论证提出了采用固体核燃料裂变加热液体推进剂的动力系统方案，比冲为 903s，单机推力为 150kN（总推力需求 450kN）^[8]，可作为火星探测火箭末级使用。

(2) 凝胶推进系统

凝胶推进是在推进剂中加入凝胶剂以获得一种黏度大、泄漏危险性小、挥发性小的凝胶状推进剂，在发射时通过加压剪切、降低推进剂黏度，使其使用起来类似液体推进剂，可有效提高使用维护性，但是发动机的性能（比冲）和推进剂使用仍是制约瓶颈。

(3) 可重复使用火箭发动机

可重复使用、低成本、无毒、无污染、高可靠、使用维护方便是重复使用运载器对发动机技术发展的重要需求。基于液氧/甲烷推进剂组合的火箭发动机是适应该需求的重要选择之一。美国、欧洲、俄罗斯等均对液氧/甲烷发动机开展了大量的研究工作^[9]。

液氧/甲烷发动机在同样的循环方式下比液氧/煤油发动机比冲高 10s 左右，但甲烷密度低于煤油，对贮箱结构增重明显，密度比冲基本相当，循环方式的选择尤为重要。

(4) 吸气式（组合）发动机

以吸气式发动机、吸气式组合发动机为动力的航天运输系统，由于其高机动性、可重复使用以及高超声速巡航性能，已成为航天运输技术发展前沿。火箭基组合循环发动机（RBCC）将火箭发动机、冲压发动机和超燃冲压发动机有机地组合起来，充分利用火箭发动机高推质比、低比冲及吸气式发动机低推质比、高比冲的优势和特色，可实现高效性与经济性的最佳组合。

2.1.2 动力系统性能需求

2.1.2.1 液体发动机性能需求

(1) 高比冲

大幅度提高火箭比冲的方法有 3 种：采用性能更高的推进剂、更好的循环方式、更大的喷管

面积比。目前,3种途径在我国都取得了长足发展,比如冲最高的实用型推进剂组合液氢/液氧发动机已经大幅应用,对于闭式循环发动机无论是液氧/煤油还是液氢/液氧发动机在我国都已经研制成功^[1],但在喷管面积比上还有发展空间。

(2) 高推质比

高推质比意味着全箭高结构系数,在相同的起飞质量下获得更高的运载能力。在当今以“克”为减重单位的火箭设计中,发动机高推质比意义重大。

(3) 可调节推力

发动机推力可调是实现运载火箭飞行环境控制、优化飞行弹道等主动控制能力的必要手段,不仅简化了火箭系统设计,而且使火箭上面级的设计更具灵活性。对于载人运载火箭,可以通过推力调节控制过载,保证宇航员在整个飞行过程中承受的过载处于合理水平。

(4) 低入口压力

对于液体火箭发动机,贮箱内气枕压力主要由发动机入口压力决定,如果发动机涡轮泵的抗汽蚀能力提高,则可以降低涡轮泵入口压力要求,从而降低贮箱内的增压要求。随着火箭规模逐步增加,大直径火箭贮箱一般采用内压设计,其工作压力上限主要依据发动机工作时的增压要求。降低贮箱工作压力上限是降低贮箱结构质量的主要途径,对于提高火箭运载能力具有直接贡献。

(5) 泵后摆

大型液体火箭发动机泵后摆技术可显著提高发动机与伺服机构小回路的谐振频率,增加伺服系统弹性振动的稳定裕度。从国外航天发展来看,液体火箭发动机泵后摆技术得到了广泛应用。同时,采用泵后摆技术能够降低伺服机构的设计难度,使伺服机构结构尺寸、质量减小。而泵前摆发动机可能出现低频振动问题,需要通过提高常平座的刚度和增大摇摆力臂解决该问题,降低综合性能。

(6) 多次启动

为适应深空探测技术发展及提高运载火箭的运载能力,要求上面级发动机具有长时间在轨工作、多次启动的能力,利于规划轨道飞行策略,增加有效载荷质量,拓宽飞行器执行深空探测任务的发射窗口,使不受天气等原因的影响,降低对地面发射支持系统的依赖性,从而有效提高飞

行器执行任务的适用性和灵活性。

(7) 提高使用维护性

增强发动机使用维护性能对于提高全箭发射可靠性、降低发射成本等具有重要意义。如果在发动机的设计阶段就贯彻对使用维护性能的追求,降低相关人力、物力,将极大增强我国新一代运载火箭跻身国际商业发射市场的实力。具体的需求包括优化启动程序,简化供配气保障要求,自动化测试流程,增强推迟发射适应能力,优化启动前程序和后处理流程等。

2.1.2.2 固体发动机性能需求

(1) 大推力

当前,我国研制的固体发动机最大推力水平仍处于百吨级(2016年8月2日成功进行了 $\Phi 3\text{m}$ 、2分段固体发动机地面热试车,最大推力为150t)^[1],与世界先进水平存在较大差距。在航天运载领域,以商业固体小运载火箭和重型运载火箭为背景牵引,明确提出了大推力固体火箭发动机的研制需求。

(2) 高性能

固体发动机的高性能指标要求具有较高的比冲、质量比和工作压强,同时应尽量研发高能的推进剂和高性能纤维壳体技术,提高结构设计水平,降低推力偏差,并具备冲量分配能力。

(3) 低成本

低成本是固体发动机面向市场的重要途径,尤其是在商业航天的大背景下,低发射成本可以增强企业的竞争力和生存能力;另外,低成本可以在一定程度上弥补比冲较低、推力调节能力不足等固有缺点对固体发动机发展的不利影响。

(4) 模块化、系列化

固体发动机向模块化、系列化方向发展,可以适应在运载器芯级、助推级等不同模块的灵活应用,满足总体方案论证和优化需求,扩展适用范围。

2.2 我国航天动力系统发展建议

每一代运载火箭的发展都离不开动力系统的跨越,“运载发展、动力先行,动力发展、总体牵引”是中国航天几十年来的经验总结,凸现总体超前科学规划的重要性。运载火箭的动力选择是一个多约束的总体优化问题,需根据火箭规模、箭体制造基础、动力发展水平等因素,通过“模块化、组合化、系列化”方式,尽量减少模块数

量,构建满足不同轨道和不同运载能力需求的火箭型谱,并据此确定动力系统解决方案。

2.2.1 以在研在飞型号性能提升为出发点,务实推动现有发动机性能改进

运载火箭对性能的追求是无止境的,CZ-3A系列运载火箭和新一代运载火箭的性能改进与任务拓展,以及新中型^[10]、小型低成本运载火箭构型论证中液体发动机和固体发动机性能指标优化方案,对我国成熟发动机型号和新研型号提出改进需求,包括提高比冲、推质比(质量比)、大推力、推力可调节、优化使用维护性能等,为在研、在飞型号综合性能提升提供强有力支撑。

2.2.2 以低成本、高可靠和可重复为目标,积极推进可重复发动机研制

高可靠是航天运输系统的生命线,基于高质量的低成本将赋予运载火箭强大的商业发射竞争力,可重复是低成本的重要实现途径,更会引起运载火箭总体设计和发动机产品研究从设计理念到工程实践革命性的改变。液氧/甲烷火箭发动机是适应需求的重要选择之一。

2.2.3 以重型运载火箭为牵引,有效落实大推力发动机研制和总体-动力一体化设计

重型运载火箭的立项与研制是我国载人登月和大规模空间探测与应用的必然选择,更是一个国家迈向航天强国的必然途径。我国目前已有的发动机推力均无法满足重型的需求,大推力液体火箭发动机研制逐渐提上日程。经过前期论证,我国重型运载火箭对大推力液氧/煤油发动机、液氢/液氧发动机和固体发动机都提出了迫切需求,同时还需要发动机具备推力调节、故障诊断等功能。另外,结合新一代运载火箭的研制经验,在重型运载火箭型号论证和工程研制阶段,总体应联合发动机单位建立更广泛的一体化设计思路,将发动机指标纳入火箭构型设计中,形成性能、周期、经费等综合指标最优的构型方案。

2.2.4 以快速进入空间为指导,不断探索先进推进技术

随着人类对宇宙空间的探索和利用能力不断增强,太空已成为维护国家安全和国家利益的制高点。快速进入空间能力可以保障国家在突发事件来临时积极应对、迅速反应,有效维护国家安全和战略主动性。美国、欧洲快速进入空间能力正在不断提升,为了适应新军事变革和先进空间

攻防的要求,服务国防现代化和增强国防实力,我国应及时开展快速进入空间先进空射推进技术的研制,包括液体发动机、固体发动机以及固液混合发动机,支撑相关运载器的论证和研制工作。

2.2.5 以深空探测为愿景,着力开展新概念推进技术论证

深空探测往往最能体现一个国家的科技创新实力,在这一领域一直都是发达国家独领风骚。探月工程一期、二期的成功实施,充分体现了我国深空探测领域的相关技术取得了整体突破,已经有能力适时开展更远的行星际探测。深空探测对航天动力系统提出了更高、更严苛的要求,包括高比冲、大推力、多次起动的等。以核热推进为代表的概念推进技术成为深空探测的重要选择,基于核热推进的载人登火方案的初步论证积极牵引发动机研制单位和反应堆研制单位开展相关预研分析工作。

2.2.6 以政府牵引为主导,面向市场探索航天动力发展新引擎

政府的牵引始终是航天动力系统发展最重要的驱动力。我国新一代运载火箭是国家层面的重大战略,极大地推动了我国液体发动机和固体发动机的跨越式发展。面对新形势,航天动力系统迎来了新一轮的发展机遇,这也迫切要求国家层面出台相关的规划助力航天发展。国际范围内商业航天如火如荼,如何有效利用市场机制、整合商业资本,探索推动我国航天动力发展的新引擎是当前的另一个重要研究方向。

3 总结

航天动力系统的发展直接决定着我国航天运输体系的构建和进出空间的能力。本文总结了美国、俄罗斯、欧洲、日本、印度等航天大国和相关组织的航天动力系统发展趋势,深入分析了相关启示意义;并根据我国航天运输系统未来发展需求,提出我国的航天动力系统的需求方向;结合我国航天运输系统体系规划和具体国情,进一步阐述对我国航天动力系统发展的思考。

参考文献

- [1] 龙乐豪,李平岐,秦旭东,等.我国航天运输系统60年发展回顾[J].宇航总体技术,2018,2(2):1-6.
- [2] 龙乐豪,郑立伟.关于重型运载火箭若干问题的思

- 考 [J]. 宇航总体技术, 2017, 1 (1): 8-12.
- [3] 解晓芳, 才满瑞. 美国“航天发射系统”重型火箭研制进展 [J]. 国际太空, 2016 (12): 36-41.
- [4] Alliot P J, Delange J F, Lekeux A. VINCI, the European reference for Ariane 6 upper stage cryogenic propulsive system [C]. 51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2015: 4063.
- [5] 邓帆, 谭慧俊, 董昊, 等. 预冷组合动力高超声速空天飞机关键技术研究进展 [J]. 推进技术, 2018, 39 (1): 1-13.
- [6] Adachia M, Tamurab T, Ongab T, et al. Progress summary of engineering model firing tests in LE-9 engine development [C]. 68th International Astronautical Congress (IAC) 2017, Adelaide, Australia, 2017.
- [7] 琚春光, 东华鹏, 王国辉. 航天运输系统对火箭发动机的需求 [J]. 导弹与航天运载技术, 2011 (4): 23-27, 36.
- [8] 洪刚, 戚峰, 王建明, 等. 载人登陆火星任务核热推进系统方案研究 [J]. 载人航天, 2018, 24 (1): 102-106.
- [9] 郑大勇, 颜勇, 孙纪国. 液氧甲烷发动机重复使用关键技术发展研究 [J]. 导弹与航天运载技术, 2018, 2: 31-35.
- [10] 范瑞祥, 王小军, 程堂明, 等. 中国新一代中型运载火箭总体方案及发展展望 [J]. 导弹与航天运载技术, 2016 (4): 1-4.

引用格式: 陈士强, 黄辉, 邵业涛, 等. 航天动力系统未来需求方向及发展建议的思考 [J]. 宇航总体技术, 2019, 3 (1): 62-70.

Citation: Chen S Q, Huang H, Shao Y T, et al. Study on the requirement trend and development suggestion for China space propulsion system [J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2019, 3 (1): 62-70.