

长征火箭的现状 & 展望

Long-March Launch Vehicles' Status and Prospect

李 东/LI Dong

中国运载火箭技术研究院, 北京 100076

China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China

[摘要] 我国依靠自己的力量独立自主地研制了长征火箭,在航天运载领域跻身于世界先进行列,取得了举世瞩目的成就。长征火箭目前已形成了包括 12 种型号的火箭家族,可用于发射近地轨道、太阳同步轨道和地球同步转移轨道的多种卫星及载人飞船,也可以执行深空的发射任务;火箭总体技术性能达到了国际先进水平,并在国际商业卫星发射服务市场中占有了一席之地;带动了国民经济相关行业的发展。今后将进一步提高长征火箭的可靠性、适应性,同时加快研制新一代无毒、无污染、高性能、低成本的运载火箭,增强其参与国际商业发射服务的能力,同时满足我国发展空间技术的需要,促进国民经济建设,提高我国的综合国力。

[关键词] 运载火箭; 航天技术

[中图分类号] V421.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)03-0057-07

Abstract: China has independently developed the "Long-March" launch vehicles, and now ranks among the world's most advanced countries in launch vehicle fields, which made eye-catching achievements. "Long-March" family contains 12 types of launching vehicles capable of launching satellites to near-earth, geo-stationary and sun-synchronous orbits, launching manned spacecraft into space, and launching crews into outer space. The overall performance reaches the international advanced level, thus acquiring a share of the international commercial launching market. The development of "Long-March" family has promoted the progress of other related industries. In the future, the reliability and flexibility of "Long-March" launch vehicles will be improved, and China will develop the new generation of launch vehicles with non-toxic, non-polluting, high-performance and low-cost qualities, strengthening the capability of providing international commercial launching services. Meanwhile, that will meet the growing demands of space technology development, promote economic construction, and build up the comprehensive national strength.

Key Words: launch vehicle; space technology

CLC Number: V421.1

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)03-0057-07

1 引言

航天技术水平是一个国家综合国力的重要标志,运载技术则是其中最基本的组成部分。人类要利用空间、开发空间,首先必须能够进入空间——这是开展一切航天活动的基本条件。运载火箭作为迄今为止人类进入空间的最主要手段,一直是世界各国关注的焦点。我国载人航天工程总设计师王永志院士曾总结到:“运载火箭的能力,决定了一个国家航天活动的规模”。因此,世界各航天大国均把发展先进的运载技术作为保持其领先地位的战略部署之一,一些发展中国家也将发展航天运载技术作为提高其综合国力的重要手段。

我国航天技术起步于 20 世纪 50 年代中期。几十年来,通过几代航天人的不懈努力,长征系列运载火箭走过了从常温推进到低温推进、从串联到捆绑、从一箭一星到一箭多星、从发射卫星到发射载人飞船的技术历程,具备了发射低、中、高不同轨道,不同类型卫星的能力,取得了举世瞩目的成就,并在国际商业卫星发射服务市场上占据了一席之地,成为我国为数不多的具有自主知识产权和较强国际竞争力的品牌产品,也是在我国高科技领域自主创新的典范。

21 世纪头 20 年,是我国经济社会发展的重要战略机遇期,

也是我国科技发展的重要战略机遇期。为了加强空间资源开发利用,维护国家利益,保障国家安全,我国将大力发展空间事业,而作为进入空间的基本能力,我国的运载火箭将在此过程中起到至关重要的作用。长征火箭虽然取得了巨大的进步,但与国外先进的新型火箭相比还存在一定的差距,火箭运载能力相对较小、可靠性需要提高、推进剂有待更新,一些新的关键技术尚需突破。无论是我国空间应用、科学探测、载人航天,还是国际商业发射与国际合作,都对运载技术提出了新的要求^[1]。

2000 年 11 月,我国政府对外发布的《中国的航天》白皮书中全面阐述了我国面向 21 世纪的航天发展战略和规划。白皮书指出,近期(今后 10 年或稍后的一个时期)运载火箭发展目标是:“全面提高中国运载火箭的整体水平和能力;提高现有长征系列运载火箭的性能和可靠性;开发新一代无毒、无污染、高性能和低成本的运载火箭,建成新一代运载火箭型谱化系列,增强参与国际商业服务的能力。”2001 年 3 月,我国政府在《关于国民经济和社会发展第十个五年计划纲要的报告》中提出将重点支持“……新型运载火箭等重大高新技术工程,形成我国高新技术产业的群体优势和局部强势。”2006 年 1 月,胡锦涛主席和温家宝总理在全国科技大会上要求,全面部署实施《国家中长期科学和技术发

收稿日期: 2006-01-27

作者简介: 李 东,男,北京市丰台区南大红门路 1 号中国运载火箭技术研究院,研究员,新一代运载火箭总设计师,主要从事运载火箭总体设计;E-mail: lidong615@sina.com



展规划纲要 (2006-2020 年)》,“推进自主创新,建设创新型国家”。规划纲要提出了 5 个战略重点,其中之一是“加快发展空天和海洋技术。……我们要以载人航天、轨道空间站、天地往返运输系统等先进空天技术开发为重点,加强空间资源开发利用。”同时,将载人航天与探月工程确定为 16 个重大专项之一。这些要求对运载技术发展来说,既是机遇,也是挑战。因此,如何规划和发展我国的运载技术,以跟上国际运载技术的发展步伐,为我国的国民经济建设和世界空间事业服务,已成为中国航天的当务之急。

2 国外主流运载火箭及发展趋势

从 1957 年前苏联使用东方号运载火箭发射人类第一颗人造卫星至今,运载火箭的发展已走过了近半个世纪的历程。初期的运载火箭基本是从弹道导弹改进而来的,普遍存在任务适应性单一、型号众多、成本高等问题。从 20 世纪 90 年代开始,面对不断增长的空间资源开发需求以及日益激烈的商业发射市场竞争环境,各航天大国在不断改进现有火箭的同时,大力研制新一代的商用运载火箭。目前美国已推出了德尔塔 4 和宇宙神 5 两个新型运载火箭系列^[2,3];欧洲新研制了阿里安 5 运载火箭并持续提高其运载能力^[4];日本推出了 H-2A 火箭系列^[5];俄罗斯正在研制安加拉系列火箭^[6]。

研制新型运载火箭主要基于 2 个目的:① 满足日益增大的运载能力的需求,用于发射军用和民用(政府、商用)有效载荷;② 通过降低成本和提高可靠性来赢得市场。这些新型运载火箭的主要总体参数见表 1。

国外新型运载火箭的发展,已完全突破了第一代运载火箭在导弹武器基础上发展所带来的限制,从设计开始就考虑民用与商用目标,并且以可靠性、安全性、经济性等作为主要的设计原则。新研制的大型运载火箭不是在原有的型号上改进,而是采用新技术,形成与过去型号完全不同的大型火箭,运载能力成倍地提高。国外新型运载火箭的芯级均采用大氢氧发动机或液氧/煤油发动机。国际上主流运载火箭的近地轨道(LEO)运载能力已超过 20 t,地球同步转移轨道(GTO)运载能力达 10 t 级。而且这些运载火箭都按多用途设计,可以适应不同轨道的发射任务。

纵观国外航天运载技术的发展,充分反映了以下几个方面的趋势。

1) 尽力降低成本,提高可靠性,提高发射成功率。随着航天活动的深入开展,各国逐步认识到降低发射成本和提高可靠性的重要性。为此,国外主要采取的措施首先是简化设计(包括减少火箭级数和发动机数量以及简化系统设计等);其次是采用共用组件或技术,实现通用化、组合化和系列化;此外还积极采用先进的技术和电子设备。

2) 向大直径、少级数和大运载能力发展,使用无毒推进剂。新型运载火箭通过采用新技术(如大直径的芯级、大推力无毒推进剂发动机等),运载能力可成倍地提高。

3) 重复使用运载器由于技术难度大,近期难以实现。今后很长一段时间内仍将是发展一次性使用运载火箭为主,同时适度开展重复使用运载器的关键技术攻关。

4) 受小卫星发射需求的牵引,各国正在积极发展新一代经济、灵活的小型运载火箭。

3 我国长征火箭的现状

中国航天运载技术的发展起步于 1956 年 10 月,由聂荣臻元帅亲自在北京组建成立了中国第一个火箭导弹研究机构——国防部第五研究院,开始了自主研制火箭的历程。经过了长期艰苦的努力和探索,1970 年 4 月 24 日,中国研制的长征一号(CZ-1)运载火箭发射成功,将中国第 1 颗人造地球卫星送入轨道,实现了“两弹一星”的宏伟规划,也标志着中国进入太空的开始。

经过 30 余年的发展,中国的航天运载技术得到了长足的发展,长征系列火箭发展成为由多种型号组成的大家族(图 1),具有进入地球近地轨道、太阳同步轨道、地球同步转移轨道等多种轨道的能力,入轨精度达到国际先进水平。低轨道运载能力达到 9.5 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,基本能够满足不同用户的需求。长征火箭^[7]主要总体要素见表 2。自 1985 年中国政府宣布将长征系列运载火箭投入国际商业发射服务市场以来,已将 28 颗外国制造的卫星成功地送入太空,在国际商业卫星发射服务市场中占有了一席之地。截止到 2005 年 12 月,长征火箭共进行了 88 次发射和取得了

连续 46 次发射成功的骄人战绩,为我国空间技术和空间应用的发展,为国民经济发展和国防建设做出了巨大贡献。

1975 年 11 月 26 日,新研制的长征二号丙(CZ-2C)中型运载火箭成功发射了一颗返回式卫星。CZ-2C 火箭^[8]是两级常规液体运载火箭(见图 2),主要用于近地轨道和太阳同步轨道的发射,1975-2005 年的所有 18 次发射都圆满成功。CZ-2C/SMA(CZ-2C/FP)是一种三级状态火箭,它是在 CZ-2C 的基础上新研制了一个三轴稳定的、具有多星发射能力的固体变轨上面级,1997-1999 年一箭双星 7 次成功地发射了 2 颗模拟星及 12 颗美国“铱”星。CZ-2C/SM 也是一种三级状态火箭,它是在 CZ-2C 的基础上新研制了一个自旋稳定的固体上面级,2003-2004 年两次成功地发射了 2 颗

表 1 国外新型运载火箭主要总体参数
Tbl. 1 Major characteristics of the foreign launch vehicles

型号	芯级直径 (m)	芯一级发动机/ 单台推力 (kN)	整流罩直径 (m)	级数	助推器数量/ 单台推力		运载能力(t)		开始研制 时间/首飞 时间/已飞 行次数	备注
					液体(kN)	固体(kN)	LEO	GTO		
美国宇宙神 5 系列	3.81	RD-180 液氧煤油 发动机/ 3 827	4.2/5.4	2	0 或 2/3 827	0~5/ 1 361	最大约 25	4~12.7	1994/ 2002/8	共有 14 种 构型
美国德尔塔 4 系列	5.08	RS-68 氢氧发动 机/ 2 891	4.07/ 5.13	2	0 或 2/2 891	0 或 2 或 4/511	最大约 23	4~10.9	1994/ 2002/4	共有 5 种 构型
欧空局阿里安 5	5.4	Vulcain 氢氧发动 机/ 1 350	5.4	2	/	2/5 000	21	6.6~10.5	1987/ 1996/22	共有 3 种 构型
俄罗斯安加拉系列	2.9	RD-191 液氧煤油 发动机/ 1 960	4.35/ 5.1	3	2 或 4/1 960	/	2~24.5	2.8~7.3	1994/ 2006?	共有 5 种 构型
日本 H-2A 系列及增强型	4.0/ 5.0	LE-7A 氢氧 发动机/ 1 100	4.07/ 5.1	2	/	2 或 4 或 6/2 260 或 1 490	最大 19.5	4.1~8	1995/ 2001/8	共有 5 种 构型



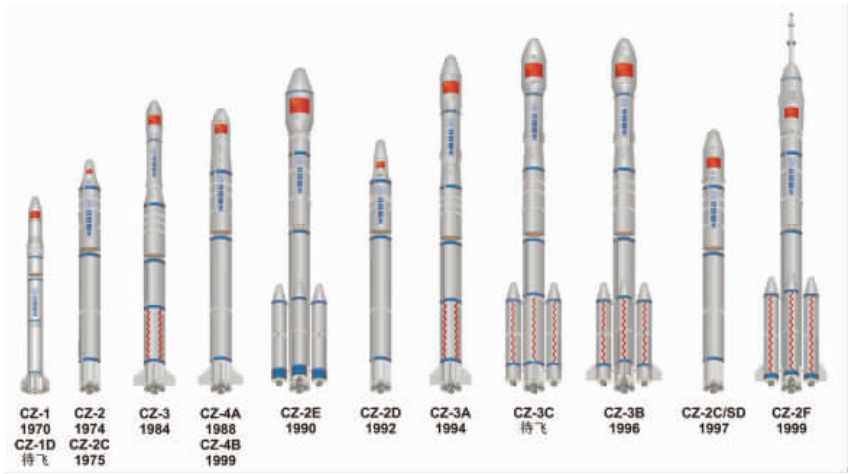


图 1 长征火箭家族
Fig. 1 Long-March family

表 2 长征火箭总体要素一览表
Tbl. 2 Major characteristics of Long-March family

火箭 代号	起飞 质量 (t)	高度(m)	芯一级 直径(m)	星罩 直径(m)	级数	起飞推力 (kN)	助推 器数	运载能力/(kg)*			总发射 次数/失败 次数	备注
								LEO	SSO	GTO		
CZ-1	81.5	29.86	2.25	1.5	3	1 020	0	300	-	-	2/0	已退役 待飞 已退役
CZ-1D	80.6	28.22	2.25	2.05/2.25	3	1 101	0	-	400	-	-	
CZ-2	180	34.6	3.35	-	2	2 748	0	2 100	-	-	4/1	
CZ-2C	243	40.0	3.35	-	2	2 962	0	3 800	-	-	15/0	已退役
CZ-2C/SMA	245	42.6	3.35	3.35	3	2 962	0	-	1 800	-	7/0	
CZ-2C/SM	245	42.6	3.35	3.35	3	2 962	0	-	-	1 250	2/0	
Z-2D	232	39.5	3.35	-	2	2 962	0	3 300	-	-	7/0	已退役
CZ-2E	460	49.68	3.35	4.2	2.5	5 923	4	9 500	-	-	7/2	
CZ-2F	480	58.34	3.35	3.8	2.5	5 923	4	8 000	-	-	6/0	
CZ-3	204	44.86	3.35	2.6/3.0	3	2 962	0	-	-	1 500	13/3	已退役
CZ-3A	241	52.52	3.35	3.35	3	2 962	0	-	-	2 650	9/0	
CZ-3B	426	54.8/55.6	3.35	4.0/4.2	3.5	5 923	4	-	-	5 100	6/1	
CZ-3C	345	54.8/55.6	3.35	4.0/4.2	3.5	4 443	2	-	-	3 800	-	待飞 已退役
CZ-4A	241	41.9	3.35	2.9	3	2 971	0	-	1 600	-	2/0	
CZ-4B	248.5	45.78	3.35	3.35	3	2 962	0	-	2 800	-	8/0	

注：* LEO 指高度 200 km、倾角 63°的近地圆轨道；SSO 指高度 900 km 的太阳同步轨道；GTO 指近地点高 200 km、远地点高 35 958 km、倾角 28.5°的地球同步转移轨道。

由中国国家航天局和欧洲空间局联合研制的空间“探测”卫星。截止 2005 年 12 月底，已经连续 27 次发射成功，高可靠性的 CZ-2C 运载火箭是长征火箭发展的基础。

为了满足中国发射地球同步轨道卫星的要求，在 CZ-2C 运载火箭的基础上，研制了采用低温上面级的长征三号(CZ-3)运载火箭，并于 1984 年 4 月 8 日成功发射了中国的试验通信卫星。CZ-3 运载火箭^[9]是中国研制的具有地球同步轨道发射能力的三级火箭，其一、二级是在 CZ-2C 运载火箭的基础上发展而来的，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，表明了中国掌握了火箭低温推进技术，使中国具备了发射地球同步轨道卫星的能力，同时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。

1990 年 7 月 16 日，新研制的大型捆绑式运载火箭长征二号 E(CZ-2E)发射成功，使我国运载火箭近地轨道运载能力达到 9.5 t。CZ-2E 运载火箭的芯级与 CZ-2C 运载火箭基本相同，在一子级壳体上捆绑 4 个直径为 2.25 m、高度为 15 m 的标准助推器。CZ-2E 运载火箭的研制，从项目启动到首飞创造了 18 个月内完成的奇迹，并突破了火箭捆绑技术。自 1990 年投入国际商业发

射服务后，已成功地为澳大利亚、香港和美国的卫星公司发射了大型通信卫星。

1994 年 2 月 8 日，新研制的采用低温高能推进剂上面级的长征三号甲(CZ-3A)运载火箭发射成功。CZ-3A 火箭继承了 CZ-3 的成熟技术，攻克了 YF-75 氢氧发动机、动调陀螺四轴平台、冷氢加温增压系统、低温氢气能源双向摇摆伺服机构 4 项关键技术，新研制了采用液氢液氧低温推进剂的 3m 大直径第三级，通过以 CZ-3A 为芯级捆绑 4 个标准助推器组成 CZ-3B 运载火箭（见图 3）、捆绑 2 个标准助推器组成 CZ-3C 运载火箭，形成了不同运载能力的 CZ-3A 系列。1997 年 CZ-3B 的发射成功使我国的 GTO 轨道运载能力提高到了 5.1t，使得我国火箭运载能力跃居世界第四位。

1999 年 11 月 20 日，新研制的长征二号 F(CZ-2F)载人运载火箭（见图 4）成功发射“神舟”号载人试验飞船。更为世人瞩目的是，CZ-2F 火箭于 2003 年 10 月 15 日成功将我国首位航天员送入了太空，不仅令中华民族千年飞天梦圆，而且使中国成为世界上第三个自主实现载人航天的国家；2005 年 10 月又实现了多人多天的太空飞行。在历时 8 年的研制 CZ-2F 火箭^[10]过程中，始终将可靠性、安全性放在首位；广泛采用了冗余设计，提高了元器件等级和筛选标准，结构设计中提高了剩余强度系数，对发动机也进行了旨在提高可靠性的设计。火箭的可靠性指标从 CZ-2E 的 0.91 提高到 0.97，使它成为目前国内可靠性指标

最高的运载火箭。另外，增加了安全性要求，航天员安全性指标为 0.997。为保证航天员的安全，CZ-2F 火箭增加了逃逸系统和故障检测处理系统。

中国航天运载技术的巨大进步，对扩大我国航天领域对外合作，增强国家科技实力、国防实力和民族凝聚力发挥了不可低估的重要作用。

4 未来发展展望

尽管长征火箭已经取得了举世瞩目的成就，但我们也应该清醒地认识到，长征运载火箭已很难适应未来的发展需求。主要存在以下不足^[11]。

1) 运载能力难以满足日益增长的需要。国外新型运载火箭的低轨道运载能力均超过 20 t，GTO 运载能力达到 10 t 左右，而我国现有运载火箭的最大 LEO 和 GTO 运载能力分别为 9.5 t 和 5.1 t，已远落后于国际先进水平，难以满足日益增长的需要。由于缺乏合适的通用上面级，无法适应国内外数量众多的中、低轨道的各类卫星及卫星群的发射需求。

2) “三化”(通用化、系列化、组合化)程度低。由于长征火箭是在液体弹道导弹基础上进行适应性改进所形成的，火箭研制中

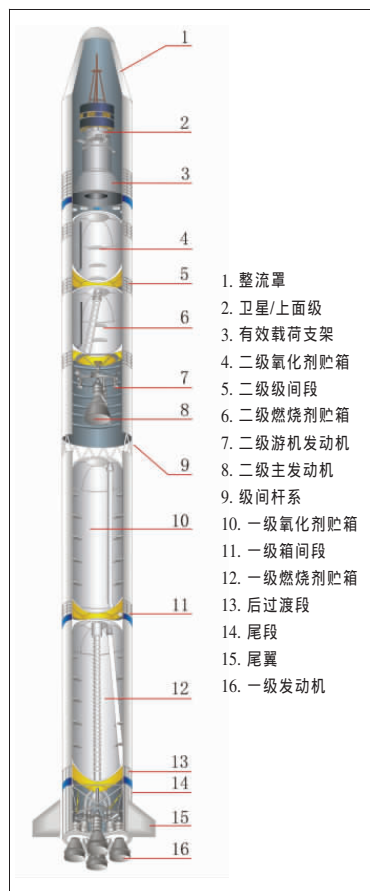


图2 CZ-2C 火箭总体布局图
Fig.2 LM-2C configuration

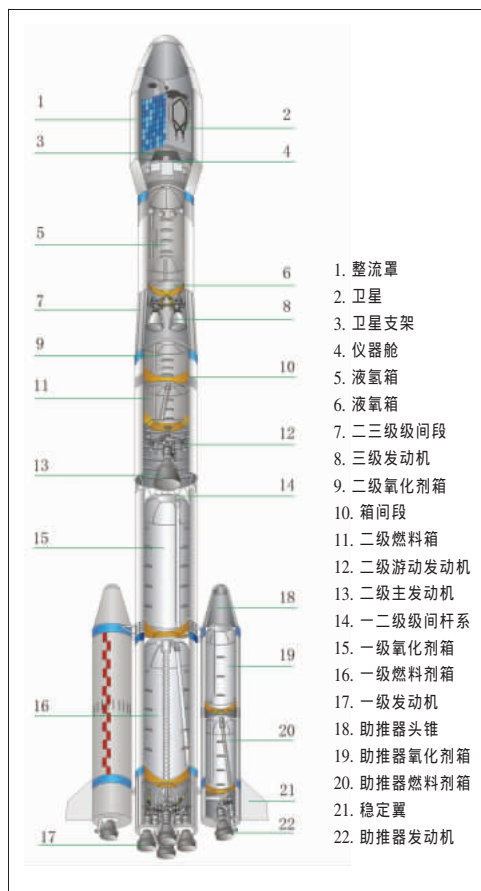


图3 CZ-3B 火箭总体布局图
Fig. 3 LM-3B configuration

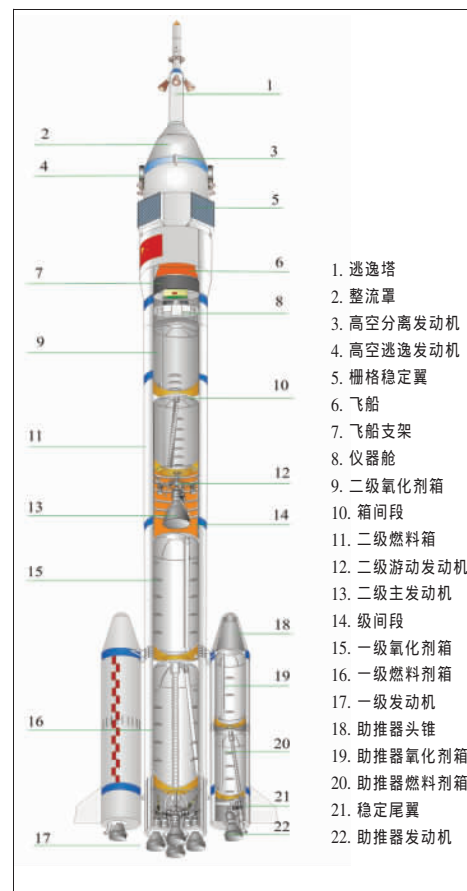


图4 CZ-2F 火箭总体布局图
Fig. 4 LM-2F configuration

未考虑“三化”要求,因此出现了型号多、通用性差的局面,同时限制了规模化、产业化发展。

3) 可靠性较低。目前长征火箭可靠性指标一般低于 0.91,即使载人火箭也只达到了 0.97。而国外商用运载火箭可靠性指标一般高于 0.95,长征火箭的可靠性水平与国际先进水平差距较大。

4) 安全性差。长征火箭的一、二级和助推器使用有毒、有污染的推进剂,且由于历史原因发射场均在内陆,存在航区和人员安全及环境污染问题。随着经济的发展,安全性和环境保护问题将有可能成为制约我们发展的主要因素。

5) 适应性较差。在以往型号的研制中,一星一箭的模式约束了火箭和卫星的发展,火箭研制缺乏前瞻性、通用性,造成了型号多、服役期长,但发射次数少、维护费用高等问题,难以适应不同有效载荷的要求。

6) 发射周期长。现有长征火箭在发射场的发射准备周期一般为 30~50 d 左右,而国际上的商业火箭发射准备周期一般为 15 d 以内,需要而且有可能将现有长征火箭的发射准备周期缩短到 24 d 以内。

总之,随着国外运载技术的发展,长征火箭与国外先进的新型火箭相比差距正在逐渐拉大,如若不采取有力的措施,长征火箭可能丧失竞争和生存能力,无法保持我们已经取得的航天大国地位。因此,我们将不断改进现有火箭,加快研制新一代运载火箭,大力开展新型运载器的关键技术攻关,以满足航天发展对运载的要求,为我国的国民经济建设和世界空间事业服务。

4.1 不断改进现有火箭

充分利用现有技术水平和基础,不断改进现有运载火箭,提

高可靠性和适应能力,拓宽应用范围,降低成本,满足国内外近期发射任务的需求。

1) 通过可靠性增长技术研究和试验,不断提高现有运载火箭的可靠性。由于运载火箭的高风险,有必要提高现有火箭的可靠性。针对现有火箭的研制生产、测试发射中暴露出的薄弱环节,以及潜在的故障隐患,提出解决途径,通过可靠性增长技术研究和试验,提高火箭的可靠性。可靠性增长项目主要有:① 电气系统关键单机可靠性增长,提高单机仪器和零部件设计水平、工艺水平;② 发动机可靠性增长,包括改进零部件设计,改进产品工艺性以及可靠性增长试验;③ 关键系统,如控制系统采用系统级冗余方案。

2) 研制通用上面级。为了拓展我国火箭高轨道发射任务的范围,适应国内外众多的应用卫星对轨道高度、倾角等的多样性要求及日益增长的低、中轨道移动通信卫星的发射需要,满足直接发射卫星进入 MEO 和 GEO 并执行空间探测任务的要求,需研制通用上面级,增强长征火箭的适应能力及竞争力。

3) 进行现有型号火箭“三化”设计,降低成本,提高适应性。“三化”可以提高我国运载火箭对有效载荷的适应性、可靠性和安全性,提高我国运载火箭在国际卫星发射市场上的竞争能力。主要“三化”项目有:① CZ-2C 系列火箭两级状态和三级状态的基础级(一子级、二子级)状态统一;② CZ-3B 一子级和助推器与 CZ-2F 的“三化”设计,将运载能力提高到 5 400 Kg;③ 将 CZ-2F 载人运载火箭改为无人状态,以适应大型近地轨道发射任务的需求;④ 进行电气系统一体化设计;⑤ 现有长征火箭的一级发动机单机状态统一;⑥ 运载火箭与有效载荷之间的接口(机械和电

气接口)实现系列化的标准接口。

4.2 研制新一代运载火箭

全面提高中国运载火箭的整体水平和能力,满足未来 20~30 年航天发展的需求,保持我国运载技术在世界航天领域的地位,需尽快研制新一代运载火箭。

按照《中国的航天》白皮书的要求,新一代运载火箭制定了如下发展目标。

1) 从提高中国航天进入空间的能力的角度出发,瞄准中国航天发展现实而迫切的需求来规划一个系列化的运载火箭,而不是针对某个特定的任务设计。

2) 采用大直径结构、大推力发动机等先进技术,大幅度提高运载能力,低轨最大运载能力达到 25 t、GTO 最大运载能力达到 14 t。

3) 实现型号的“三化”(通用化、系列化、组合化)设计,建成型谱化系列,以适应发射不同有效载荷的要求。

4) 采用无毒、无污染推进剂。

5) 低成本、高可靠、测试操作方便。

6) 从技术上实现与未来重复使用运载器的良好衔接,保持运载技术的可持续发展。

4.2.1 总体发展思路

新一代运载火箭按照“立足长远、统筹规划、优先发展、分步实施”的发展原则,遵循“一个系列、两种发动机、三个模块”的总体思路,贯彻“通用化、组合化、系列化”设计思想,在 3 个新研制模块和现有技术(上面级、整流罩)基础上,首先完成芯级直径 5 m 的大型火箭(见图 5)的研制,大幅度提高我国运载火箭的能力及技术水平,并为未来的系列化发展奠定基础,主要总体参数见表 3。在此基础上,可根据需要进一步组合出 3.35 m 直径中型运载火箭和小型运载火箭,形成近地轨道运载能力覆盖 1.5~25 t、地球同步转移轨道运载能力覆盖 1.5~14 t 的新一代运载火箭系列。

“两种发动机”是指已经开展工程研制的 50 t 液氢/液氧发动机和 120 t 液氧/煤油发动机;“三个模块”是指使用 2 台 50 t 液氢/液氧发动机的 5 m 直径模块、使用 2 台 120 t 液氧/煤油发动机的 3.35 m 直径模块和使用 1 台 120 t 液氧/煤油发动机的 2.25 m 直径模块。

5 m 直径大型火箭作为新一代运载火箭发展的重点,其研制

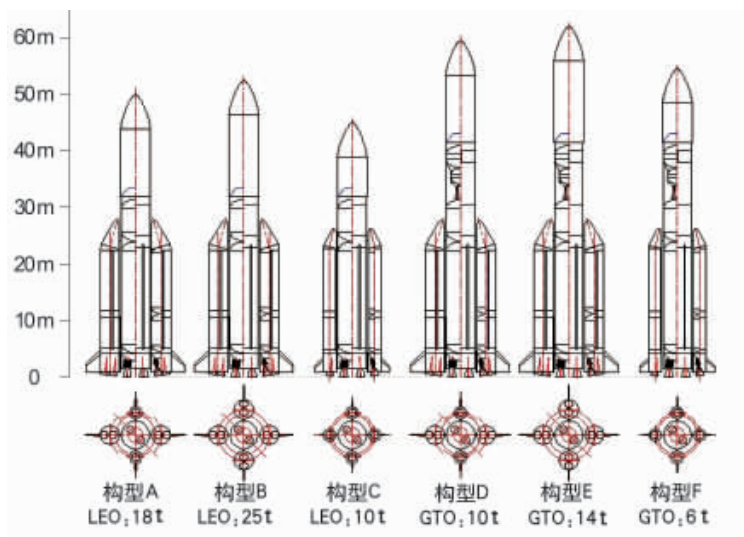


图 5 5 m 直径火箭构型示意图

Fig. 5 Configurations of the new generation LVs with 5-m-dia core

表 3 5m 直径火箭主要总体参数

Tbl. 3 Major characteristics of the new generation LVs with 5-m-dia core

构型	A	B	C	D	E	F
箭体长度(m)	49.906	52.406	44.906	59.456	61.956	54.456
整流罩长度(m)	18	20.5	13	18	20.5	13
长细比	9.981	10.481	8.981	11.891	12.391	10.891
发动机台数	8	10	6	10	12	8
起飞重量(t)	622.5	784.5	458.5	643.0	802.0	483
起飞推力(tf)	825.2	1066.8	583.4	825.2	1066.8	583.4
起飞推重比	1.326	1.360	1.272	1.283	1.330	1.208
最大过载	4.0	5.1	3.8	3.9	4.9	3.3
运载能力(t)	18	25	10	10	14	6
	LEO	LEO	LEO	GTO	GTO	GTO

成功后将解决新一代运载火箭的关键技术,在 3.35m 模块和 2.25m 模块的基础上,还可以组合出 3.35m 直径中型运载火箭和小型运载火箭,替换现有火箭。

4.2.2 新一代运载火箭基本型总体技术方案

在 5 m 直径火箭系列构型中,选取构型 D 为基本型火箭。新一代运载火箭基本型为带助推的两级火箭;芯一级采用 5 m 直径模块,2 台 50 t 氢氧发动机(YF-77)双摆;助推器采用 2 个 2.25 m 直径模块和 2 个 3.35 m 直径模块,分别配置单台和 2 台 120 t 液氧煤油发动机(YF-100),每个助推器摆动 1 台发动机;芯二级采用改进的 CZ-3A 三子级氢氧发动机(YF-75D)作为主动力,2 次启动,发动机双摆,另外采用无毒、无污染辅助动力系统;整流罩直径 5.2 m,长 18 m,与有效载荷一起垂直整体运输、吊装。基本型火箭总体布局见图 6。全箭总长 59.456 m,起飞重量 643 t,起飞推力 825.2 t。该火箭的地球同步转移轨道运载能力为 10 t,其综合性能指标将达到国际上主流运载火箭水平。

新一代运载火箭主要由动力系统、电气系统、箭体结构以及发射支持系统组成。

1) 动力系统。助推器使用 2 台 120 t 液氧煤油发动机,摆动 1 台发动机;煤油贮箱采用冷氢加温增压方案,液氧箱采用开式自生增压方案,发动机液氧系统采用循环预冷方案。采用循环预冷方式可以大大简化射前操作程序、放宽火箭的最低发射条件、提高火箭发射操作的安全性和可靠性。

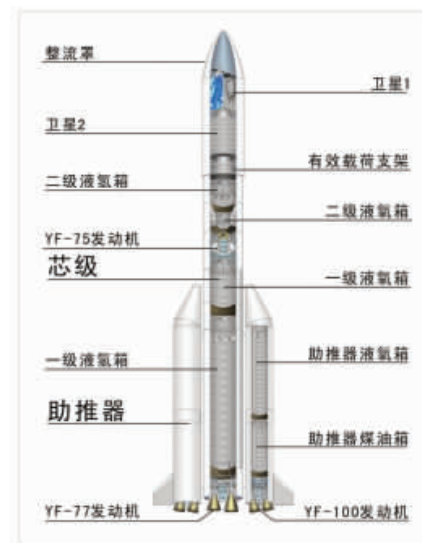


图 6 新一代运载火箭基本型总体布局图

Fig. 6 Configuration of the basic type among the new generation LVs

芯一级使用 2 台 50 t 氢氧发动机,发动机双向摇摆,流量可以调节以提高运载能力;液氧箱及液氢箱均采用自生增压方案,发动机液氢、液氧系统均采用循环预冷方案。

二子级基本继承 CZ-3A 的成熟技术,液氧箱采用闭式冷氢加温增压方案,液氢箱采用开式自生增压方案,发动机液氢、液氧系统采用地面循环预冷和空中程序排放预冷方案。辅助动力系统采用挤压式无毒、无污染双组元方案。

2) 电气系统。改变传统火箭电气系统控制、遥测、外安分立模式,进行信息一体化、能源一体化和地面测发控一体化设计,简化系统间接口以及箭地联系,提高火箭的可靠性和适应性。采用总线对控制、测量等分系统进行信息综合,通过能源管理对全箭电气设备进行统一供电。

控制分系统包括制导、姿控、时序控制等,制导采用“激光陀螺捷联惯组+GNSS+箭上计算机”的组合制导方案;姿态控制采用姿态角-姿态角速率控制方案,由激光陀螺捷联惯组、速率陀螺、横法向加速度表、箭载计算机、伺服机构等组成,采用自适应控制技术和全方位发射技术;时序控制采用箭载计算机和时序控制器方案。控制分系统采用冗余技术,以消除单点故障、提高可靠性。完成传统火箭测量分系统的遥测、外测和安全控制功能的一体化设计。

3) 箭体结构。箭体结构型式继承现有成熟技术,贮箱材料选用 147 铝合金,各级均采用独立贮箱,不采用共底结构。

助推器与芯级的捆绑连接采用成熟的静定连接方式,采用前支点传力方式。

采用线性分离技术,以降低分离过程中的冲击、提高分离可靠性。

4) 地面发射支持系统。为简化设计,发射台无回转功能,火箭在发射台上固定方向瞄准,火箭起飞后自主寻找射向。发射台安装有牵制释放装置,大大地提高可靠性和安全性,在发射准备阶段作为防风装置,发射时作为火箭的牵制和释放装置。

组合式气液连接器与箭体的对接实现远距离自动化控制。

4.2.3 基本型火箭典型飞行时序

基本型火箭执行典型 GTO 轨道发射任务的飞行时序见图 7。

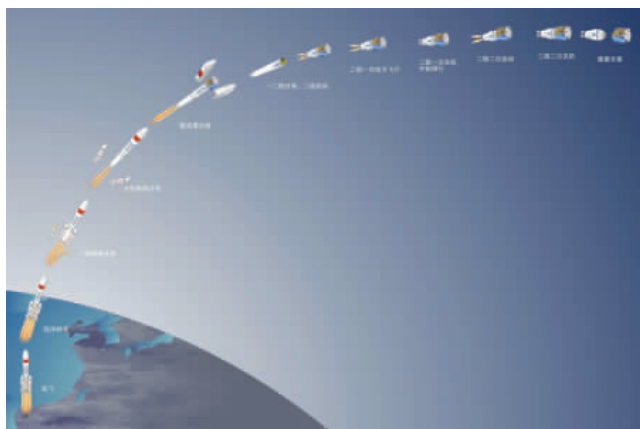


图 7 基本型火箭典型飞行时序
Fig. 7 Flight sequence of the basic type among the new generation LVs

4.2.4 新一代运载火箭的主要特点

新一代运载火箭将充分采用模块化技术,通过芯级、助推器、上面级和整流罩等标准模块的组合,形成不同直径的运载火箭系列,满足不同的任务需求,达到“一种设计、多个型号”的目标。新一代运载火箭作为中国未来运载火箭的升级换代产品,在多个方面将实现跨越式的发展,主要包括以下几个方面。

1) 运载能力大。新一代运载火箭近地轨道最大运载能力 25 t,地球同步转移轨道最大运载能力为 14 t,分别是现有长征火箭最大运载能力的 2.5 倍和 2.7 倍(见图 8、9),可以为未来我国航天事业的发展创造良好的条件。

2) 无毒、无污染。环境保护已成为我国的一项基本国策及国际发展趋势。延用有毒推进剂将直接影响到我国的国际形象以及参与国际竞争,采用了液氢、液氧、煤油等无毒、无污染推进剂的新一代运载火箭,顺应了国际形势和国策的要求,也符合国际运载技术的发展趋势。

3) 成本低。降低自身成本是提高运载火箭在国内外卫星发射市场上的竞争能力的重要手段。新一代运载火箭贯彻简洁设计、“三化”设计的思想,在大幅度提高火箭的运载能力的同时,也使单位质量的入轨成本比现有长征火箭有较大的下降。

4) 可靠性高。高可靠性是对运载火箭的基本要求。新一代运载火箭将可靠性设计作为研制的重要手段。以比传统火箭普遍少一级的一级半或二级半构型来提高火箭固有可靠性,以冗余、容错、降额等手段的广泛运用来提高设计可靠性,以牵制释放装置来提高发射可靠性,即使发射任务中止也能将损失减小到最低程度。

5) 适应性强。要在未来的发射服务市场竞争中处于不败之地,新一代运载火箭除在可靠性、成本上要具有优势以外,还必须增强火箭的适应性,包括灵活的任务执行能力,完整的运载能力覆盖范围,以及良好的履约能力,来满足用户多种多样的需求。

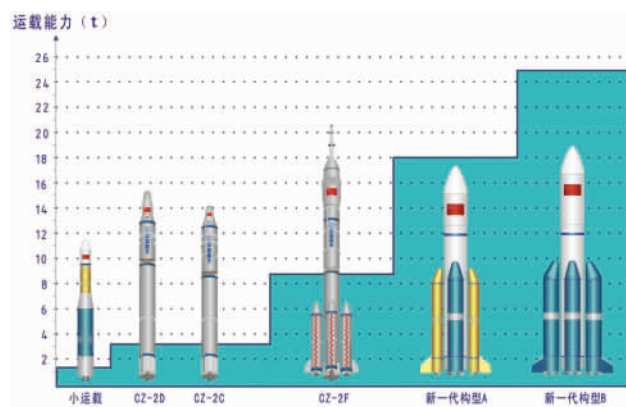


图 8 长征火箭近地轨道运载能力覆盖范围
Fig. 8 LEO launch capability of Long-March family with the new generation LVs

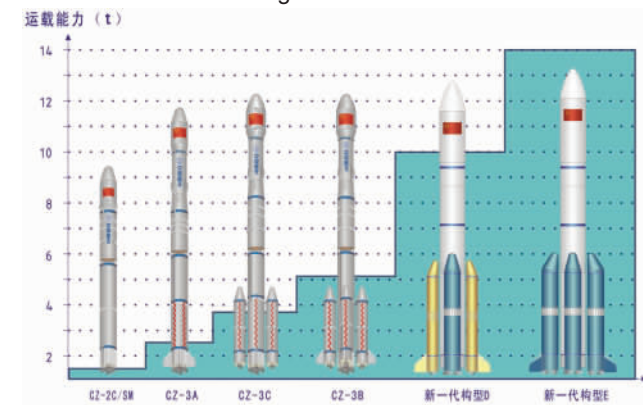


图 9 长征火箭地球同步转移轨道运载能力覆盖范围
Fig. 9 GTO launch capability of Long-March family with the new generation LVs

新一代运载火箭的论证工作早在 1986 年就已经开始。经过前期多年的预先研究,以发动机技术、增压输送技术、大直径箭体结构设计技术等为代表的多项关键技术攻关已经取得重大成果,特别是两种发动机已先期进入工程研制,并取得了重大进展。这些关键技术的突破,必将为新一代运载火箭的工程研制奠定坚实的基础。在现有基础上,预计有 7 年左右的时间可以完成基本型火箭的研制,基本型火箭研制成功以后,5 m 直径系列火箭均可以投入使用,届时我国进入空间的能力将得到大幅度提升。

4.3 开展新型运载器的预研和关键技术攻关

研制空射运载火箭,满足机动、快速、灵活发射小卫星的需求。空射运载火箭的研制将遵循“可靠、继承、低成本”的设计原则,立足于我国成熟的航天及航空技术,充分发挥航天及航空各自的技术优势,实行强强联合、优势互补、分工协作,加快空射运载火箭工程化研制步伐,并使其具有强大而持久的竞争力和生命力。

开展可重复使用运载器及其它新概念运载器的关键技术攻关,适时开展关键技术的演示验证试验。重复使用运载器是未来航天运输系统的主要发展方向。采用火箭发动机为动力和多级技术,可以大大降低研制难度和风险,是近期重复使用运载器发展的主要目标,当前需重点开展关键技术研究 and 飞行演示验证。“廉价、快速、机动、可靠”的单级入轨空天飞机是重复使用运载器的长远发展目标,当前应开展以超燃发动机为代表的键技术研究。同时,为满足我国未来深空探测、星际载人飞行和建立空间基地的需要,应大力开展基于新型推进系统的新概念航天运载器研究。

5 结束语

中国作为世界上举足轻重、有影响力的大国,经过 40 余年的艰苦奋斗、自力更生,研制成功了长征系列运载火箭,取得了举世瞩目的成就,并在高科技领域占有了一席之地。但是随着火箭技

术的发展,我们也应看到长征火箭与先进国家的新型火箭相比还存在差距和不足。我们仍要不断进取,以市场需求为牵引,以技术进步为推动力,持续改进现有长征火箭,加快研制新一代运载火箭,大力开展新型运载器的关键技术攻关,实现运载火箭技术的跨越式发展和航天可持续发展,保持我国运载技术在世界航天领域的地位,同时满足我国发展空间技术及和平利用空间的需要,推动我国空间科学和空间应用产业的发展,带动多领域科学技术的进步,促进国民经济建设,提高我国的综合国力。

参考文献 (References)

- [1] 张庆伟. 面向 21 世纪的中国航天运载技术 [J]. 中国航天, 2001, 1: 4-8.
- [2] MICHAEL C. Gass. atlas launch system mission planner's guide [M], Virginia: International Launch Services, 2001-09.
- [3] BOEING COMPANY. Delta IV payload planners guide [M], California: The Boeing Company, 2000-10.
- [4] EDOUARD PEREZ. Ariane 5 user's manual, issue 4 revision 0 [M], Evry: Arianespace, 2004.
- [5] NASDA. H-IIA brief description [M], Tokyo: NASDA, 2000-03.
- [6] ALEXANDER MEDVEDEV. The angara launch system mission planner's guide [M], Virginia: International Launch Services, 2002.
- [7] 王丹阳. 世界航天运载器大全[M]. 北京: 宇航出版社, 1996.
- [8] 徐勤, 等. 长征二号丙(CZ-2C)系列火箭用户手册[M]. 北京: 中国运载火箭技术研究院, 2006.
- [9] 龙乐豪. 长征三号系列运载火箭[J]. 中国工程科学, 1999, 1(1): 11-18.
- [10] 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: 6-12.
- [11] 龙乐豪. 中国运载火箭技术的成就与展望 [J]. 导弹与航天运载技术, 2001, 1: 3-8.

(责任编辑 李慧政)

· 科技动态 ·

《中国学术期刊文摘(英文版)》创刊号出版

我国第一份综合性外文版科技类学术检索刊物《中国学术期刊文摘(英文版)》(Chinese Science Abstracts, 简称 CSAE)创刊号于 2006 年 2 月出版。该刊由中国科学技术协会主管, 我社主办, 是《中国学术期刊文摘(中文版)》(简称 CSAC)姊妹刊, 面向国内外发行。

中国科协书记处书记、CSAE 主编冯长根教授在创刊号上撰写的发刊词中谈到, 在我国与世界各国科技和文化交流需求日益增加的背景下, 如何使我国的科技期刊面向世界, 与世界各国科技工作者共享科技成果, 加快我国科技期刊国际化的步伐, 已成为我国科技出版界的重要任务之一; 在我国现有的科技类文献检索期刊中, 尚未发现有英文语种刊物, 因此, 填补我国科技期刊出版业这方面的空白, 对促进和扩大我国科学技术的对外交流与传播, 有着十分重要的现实意义和深远的历史意义。

CSAE 创刊号 136 页, 收录了自然科学、农业科学、医药科学、工程技术各主要领域的学术论文文摘信息近 500 条, 并为读者提供了学科检索、关键词检索、作者检索 3 种检索方式, 附录还给出了《学科分类与代码中英文对照表》, 表中的约 350 个二级学科名称称为 CSAE 收录文摘所覆盖的学科领域。

CSAE 致力于将我国科学技术各领域的原创性成果全面、快速地向世界各国科技工作者交流、传播, 对国内外科研单位、高等

院校、图书馆以及研究人员追踪、了解和检索我国的科技研究成果、学术研究动向具有重要的参考价值。创刊后的 CSAE 将学习、借鉴国际上著名的科技类检索期刊办刊的成功经验, 不断扩大源期刊收录的数量, 逐步增加文摘信息刊载的篇幅, 进一步完善文摘的检索方式, 逐年缩短刊物出版的周期。

CSAE 期待着在广大读者的支持之下, 办成国内一流、国际上有重大影响的检索刊物, 欢迎读者阅读并提出宝贵意见。读者如需进一步了解 CSAE, 可致函我社免费索取创刊号 1 本: 北京市海淀区学院南路 86 号科技导报社文摘编辑部姚玉琴收(邮政编码 100081)。

(本刊记者 黄永明)

