

运载火箭技术的现状及其发展

Launch Vehicle Status and Development

张庆伟

(中国运载火箭技术研究院, 研究员 北京 100076)

一、前 言

航天技术是 20 世纪发展最快的现代科学技术领域之一,运载火箭技术代表了人类进入宇宙空间的能力。它是人类探索宇宙奥秘、开发空间资源、构筑空间产业的基础。航天运载技术水平是一个国家高科技水平和综合国力的重要标志之一,先进的航天运载技术在政治、军事、经济、科技等方面具有重要的作用和影响。因此,现代航天工业都把运载技术做为优先和重点进行发展。

80 年代以来,随着卫星应用的发展、星际科学探测的增多、永久空间站的建立和军事航天需求等,对运载火箭任务需求大大增加,并形成了国际商业卫星发射服务市场。衡量运载火箭技术水平不仅要从大的运载能力,还要从高可靠性、低成本、易于操作和发射的短周期等方面考虑。围绕实现这些目标,世界航天强国对一次性使用的运载火箭不断改进,对先进的可重复使用运载器也加强了预先研究,以使航天技术在下世纪真正得到更大的发展。

二、世界主要运载火箭现状

第二次世界大战结束后,现代航天工业得到了发展。由于火箭技术是现代科学技术和工业综合的成就,运载火箭技术仅为少数国家所掌握。前苏联和美国拥有最先进的火箭技术,运载能力从几百公斤到 100 吨级。前苏联解体后,其绝大部分宇航工业由俄罗斯继承。西欧联盟、中国和日本也是运载火箭技术先进国家。此外,印度、以色列和巴西等国也研制了自己的运载火箭。表 1 列出了当今世界上正在使用的主要运载火箭。

前苏联的航天技术居世界领先水平,其运载火箭以性能先进、发射次数多、可靠性高而著称,著名的火箭有东方号系列、联盟号、质子号、天顶号和能源号。东方号火箭于 1957 年 10 月 4 日发射了世界第一颗人造地球卫星,开创了人类航天的新纪元。

该系列火箭还发射了世界第一颗月球探测器、第一颗金星和火星探测器、第一艘载人宇宙飞船,为前苏联创下了航天史上的多个世界第一。联盟号火箭是世界上发射次数最多、成功率最高的型号,已完成的 1 000 多次发射,成功率高于 98%,目前承担着向和平号空间站运载宇宙飞船的任务。前苏联解体后,除天顶号火箭属乌克兰外,其余火箭均属俄罗斯。由于国内经济状况不佳,俄罗斯的航天计划比前苏联时代大大地减少,运载火箭技术的发展也受到了影响。近年来,俄、乌两国不断开拓国际发射市场,质子号、天顶号和联盟号火箭与美国和法国合营发射西方制造的卫星,参与国际空间站的发射。

表 1 各国运载火箭运载能力比较表

国家(地区)	火箭型号	最大运载能力(kg)	
		低轨道	地球同步转移轨道
美 国	德尔它系列	5 040	1 980
	宇宙神系列	7 640	3 700
	大力神系列	21 800	5 760
	航天飞机	29 500	
俄罗斯	联盟号	7 320	
	质子号	21 000	5 500
乌克兰	天顶号	13 800	5 400
西欧联盟	阿里安 4	9 400	4 200
日 本	H-2	10 000	3 800
中 国	长征系列	9 500	5 000

美国也是宇航技术最先进的国家,著名的火箭有德尔它系列、宇宙神系列、大力神系列、土星系列和航天飞机。土星火箭能将 100 吨重的航天器送入轨道,在完成了阿波罗登月计划后退出了现役。航天飞机是世界上第一代能够重复使用的航天运载

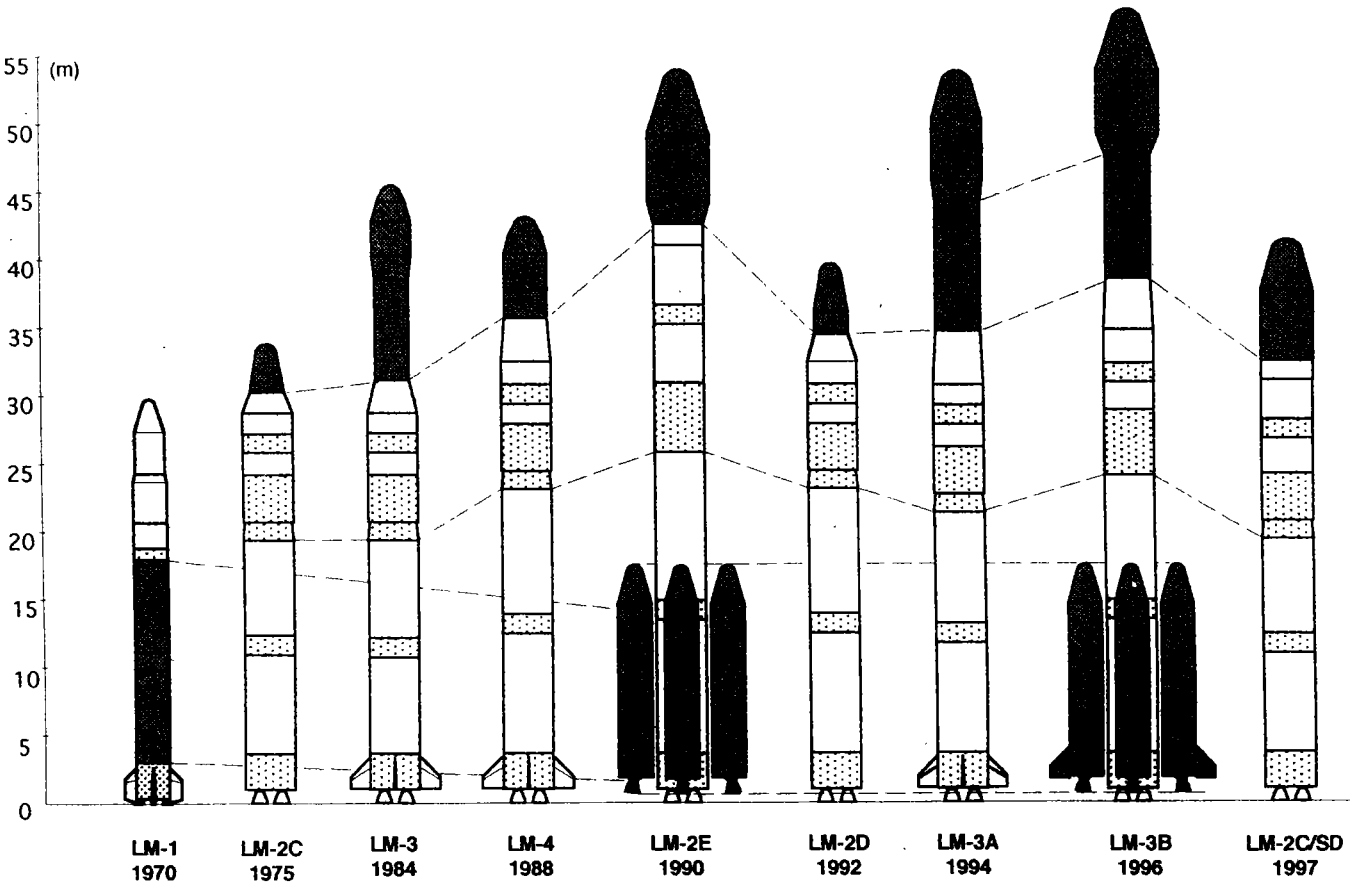
器。美国的航天计划最为庞大,1997 年对火星的探测取得成功,并开始了对土星、月球及太阳系的新一轮探测,军用航天器的发射频繁,这些任务大都由大力神火箭和航天飞机承担。美国为首研制的国际空间站将于 1998 年开始发射组建。此外,世界上大部分的商业卫星由美国公司制造,特别是摩托罗拉、微软等大公司用几十至几百颗卫星组成的低轨道卫星网络计划开始实施,使航天发射任务激增。但美国的运载火箭因发射费用高,在商业卫星发射市场占有率不到 30%,因此,美国政府和各公司正对其运载火箭进行改进,并开始了研制新一代单级入轨可重复使用运载器,还有一些私人中、小公司研制了小型运载火箭参与竞争。

日本是第三个用本国火箭发射卫星的国家,但其早期的火箭依靠美国专利技术,火箭的性能不高。日本于 1994 年 2 月发射成功了自主研制的 H-2 火箭,该火箭具有总体布局紧凑、性能先进、可靠性高等特点,使日本的运载火箭技术水平跨入世界先进行列。但因其成本太高,还仅限于国内任务。

西欧联盟为独立发展航天技术,争夺国际市

场,成立了欧洲空间局,在不到 20 年时间内研制成功了阿里安系列火箭。阿里安 4 火箭是世界上最成功的商用火箭,占据了近 60% 的国际商业通信卫星发射市场,每年发射次数在 10 次左右。欧空局又投入 80 多亿美元巨资,新研制了低轨道运载能力为 20 吨、地球同步转移轨道运载能力为 6.8 吨,能适应多种任务要求的大直径、高可靠性的阿里安 5 型火箭,该型号火箭将在 2000 年前投入商业运营。

新中国成立后,我国的运载火箭技术取得了长足的发展,已经独立自主地掌握了运载火箭技术,研制成功了能发射高、中、低各类轨道卫星的长征系列运载火箭,具备了发射载人航天器的能力,除满足了国内卫星发射任务需要外,还进入了国际商业卫星发射服务市场,长征系列已成为著名的运载火箭系列。自 1970 年 4 月 24 日长征一号火箭成功地发射了东方红卫星开始,又研制成功了长征二号丙、长征二号丁、长征二号捆绑、长征三号、长征三号甲、长征三号乙和长征四号系列运载火箭。到 1997 年底,长征火箭共进行了 49 次发射,发射各类卫星 56 颗,包括 14 颗国外制造的卫星。



长征一号为串联式三级火箭,可用于发射几百公斤重的小型卫星。长征二号序列原是串联二级火箭,主要用于发射近地球轨道卫星,为适应发射国

内外大型通信卫星,以长征二号丙为芯级模向捆绑了四枚液体火箭助推器的长征二号捆绑式大推力火箭于 1990 年研制成功,使长征火箭的近地球轨

道运载能力由 2 500 公斤提高到 9 500 公斤。配备了上面级火箭后,长征二号捆绑火箭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,该火箭也适应于用“一箭多星”的方式发射近地轨道组网卫星。长征二号丙配备了上面级分配器的改型火箭,于 1997 年 12 月以一箭双星的方式为美国摩托罗拉公司的铱星系统发射了两颗移动通讯卫星。今后几年,该火箭还将发射 20 颗铱星入轨。

长征三号序列是以两级的长征二号为基础,加上了以高能低温的液氢液氧为推进剂的第三子级而构成的三级火箭,主要用于发射地球同步轨道的卫星。自带推进剂的大型火箭一般选择具有能量高的液体燃料和氢化剂,而液氢和液氧的燃烧热值很高,约为常规推进剂的 3 倍左右,其单位质量推进剂所产生的平均推力冲量是目前各类推进剂中最高的。在起飞质量相同时,采用液氢液氧为推进剂的火箭能够运载更重的有效载荷或飞行得更远,可以大大提高火箭性能。但液氢的温度为 -253°C ,液氧为 -186°C ,沸点低,极易挥发,研制液氢液氧发动机要比常规推进剂发动机难得多。我国航天科技人员发扬自力更生、勇攀高峰的精神,用很少的钱,攻克了技术难关,研制成功了高空推力为 4 吨的液氢液氧发动机,以此发动机为三子级动力的长征三号火箭于 1984 年 4 月发射成功,标志着长征火箭发动机技术跻身世界先进水平。在此基础上,又研制成功了高空推力为 8 吨的氢氧发动机,用于长征三号甲和长征三号乙捆绑式火箭的第三子级。1997 年长征三号乙火箭先后两次成功地为菲律宾和香港卫星公司发射了大型通信卫星,长征三号乙的成功使长征火箭地球同步转移轨道的运载能力达到 5 000 公斤,满足了目前国际上的大型通信卫星对运载能力的需求。长征四号火箭是采用常规推进剂的三级火箭,目前主要用于发射太阳同步轨道的卫星。

我国现有西昌、酒泉和太原 3 个卫星发射中心。位于四川省的西昌地理纬度较低,用于发射地球同步轨道卫星;位于甘肃省的酒泉卫星发射中心适合于发射较大倾角的航天器;位于山西省的太原卫星发射中心用于发射太阳同步轨道卫星。我国建设了配套的地面和海上航天测控网,保证了运载火箭的发射和测控跟踪。

三、今后的发展趋势

尽管上述各国的运载火箭频繁地发射升空,完成了一次次的运载任务,但现有火箭仍存在很大的缺陷,主要表现为:

- (1) 可靠性不高,飞行可靠度小于 0.99;
- (2) 价格昂贵,运输费用高,低轨道单位质量有

效载荷约 11 000~22 000 美元/公斤;

(3) 不易操作,发射准备周期长;

(4) 许多主力火箭使用有毒有污染的推进剂。

据预测,到 2010 年全球同步轨道通信卫星的年平均发射次数为 30 次;将有几千颗小卫星组成移动电话、数字通讯的天基网络,商业发射费用估计约 460 亿美元。发射任务的猛增使运载火箭一方面市场前景良好,另一方面竞争日趋激烈,更加显露出现有运载火箭不尽人意之处。

面对巨大的需求和市场前景,拥有运载技术的各国为发展本国航天工业,争夺国际商业发射市场,在保持现有火箭正常运营的同时,不断实现对现有火箭的改进计划。改进的目标主要围绕进一步增大运载能力,一般低轨道能力为 20~30 吨,以使火箭具有完成多种任务的适应性,同时在降低成本、减化操作和提高可靠性及安全性上有所进步。

美国政府和各公司已经开始了对一次使用运载火箭和航天飞机的改进工作。1997 年改进后的大力神 4 型火箭飞行成功,到 1999 年将基本完成各型号的改进。同时,美国航天局着手研制单级入轨可重复使用的新一代航天运载器,1999 年将进行缩尺飞行验证试验。该运载器突破了单级火箭不能入轨的概念,以液氢液氧为推进剂的塞式喷管发动机为动力,垂直发射起飞,水平返回着陆,并采取类似航空飞机式的运营模式,计划在 2010 年达到实用。它的应用将改变现在航天运载的观念,大大地降低运输费用,提高发射频率。

西欧、日本和俄罗斯的改进型火箭也将在 2000 年左右投入使用,并都开展了可重复使用运载器的预先研究。

今后一段时期,航天运载器将采取两个发展途径共存的趋势,即一次性使用的运载火箭和重复使用运载器同时发展,以满足不同的发射需求。运载器在设计上要显著降低发射费用和成本,提高可靠性、安全性和对任务的适应能力。改进后的运载火箭和航天飞机将在今后乃至 21 世纪中期,成为航天运输的主要工具。全球商业发射的竞争必将更加激烈,任何航天企业均将面临不进则退,直至被淘汰的局面。

四、我国应抓住机遇,保持长征火箭的持续发展

世界和我国航天技术的发展已预示出前所未有的大好前景。我国应抓住机遇,参与竞争,迎接挑战,求得发展。我们应以现有的长征系列火箭为基础,进一步开展技术研究,完善长征火箭。主要应从以下几方面努力。

1. 提高可靠性水平。通过研制高可靠性的单机

设备,如激光陀螺、余度伺服机构等,以及运用系统级冗余设计、用更大推力的发动机减少数量、强化质量管理等措施,使长征火箭可靠性大幅度提高。

2. 取代有毒有污染的推进剂,提高安全性。现有的长征火箭一二级都采用了有毒推进剂,应研制新型无毒推进剂发动机,可选择的有液氧、煤油和液氢等。

3. 进一步开展单机和系统的通用化、系列化和组合化设计,以适应多种任务的需要,缩短生产周期,减少操作,缩短发射时间。

4. 进一步提高长征火箭运载能力,以适应国内外有效载荷需求,提高竞争力。

5. 从技术和深化体制改革两方面入手,控制成本增长,保持长征火箭的成本和发射服务费处于合

理水平。

可重复使用的航天运载器将是 21 世纪中后期的主要运载工具,我们应开展预先研究和关键技术攻关,首先要从动力装置、先进的轻质材料、空气动力和防热、返回再入技术等方面入手,为研制先进的天地往返运输系统打基础。

我国作为世界上举足轻重、有影响力的大国,经过 40 年的艰苦奋斗,研制成功了长征系列火箭,在高科技领域占有了一席之地,培养了一支无私奉献、勇于攀登的研制队伍。但是,我们也应看到长征火箭与先进国家的火箭技术相比还存在差距和不足。我们仍然要不断进取,保持长征火箭的持续发展,使我国的航天技术在下世纪仍处于世界先进水平行列。

(责任编辑 王宏章)

彩图说明

我国的长征系列运载火箭

刘林宗

(中国运载火箭技术研究院 北京 100076)

要把人造卫星等空间飞行器送入预定轨道,首先要有运载火箭,克服地球的引力,达到相应的宇宙速度。起步于 1956 年的中国航天事业,取得了举世瞩目的成就。长征火箭已形成系列,除满足国内用户需要外,已成功地进入国际商务发射市场,为国外用户提供了卓有成效的商业发射服务。

长征一号(见封二图)是我国第一种运载火箭,是“长征”家族中的“长子”。它以两级液体火箭为基础,加固体第三级。全箭长 29.86 米,最大直径 2.25 米,起飞重量 81.57 吨,起飞推力 104 吨。长征一号火箭具有将 300 公斤重的卫星送入倾角为 70 度、高度为 440 公里的圆轨道的运载能力。它的研制成功,突破了多级火箭技术、整流罩分离技术、发动机高空点火技术。1970 年 4 月 24 日,长征一号在酒泉卫星发射中心首次发射,一举成功,将我国第一颗人造地球卫星“东方红一号”准确送入轨道。

长征二号运载火箭是在远程弹道导弹基础上研制而成的。全箭长约 33 米,最大直径 3.35 米,起飞重量 192 吨,一级装有 4 台地面推力为 70 吨的液体发动机,能将 1 800 公斤的有效载荷送入近地轨道。随着卫星对火箭运载能力要求的提高,长征二号火箭也做了相应的技术状态修改,使技术性能和运载能力均有所提高,近地轨道运载能力达到 2 500 公斤左右,命名为长征二号 C(见封二图):这种火箭性能稳定、质量可靠,是世界上可靠性较高的运载火箭的一种。长征二号火箭中的另一种是长征二号 D,全长 33 米,起飞重量 231 吨,起飞推力 300 吨,近地轨道运载能力达 3 300 公斤。

长征二号 E(见封底图)是我国首次研制成功的大推力捆绑式运载火箭。它以长征二号 C 为芯级,在第一级箭

体上并联了 4 台直径 2.25 米的液体助推火箭。全箭长 50 米,芯级直径 3.35 米,一级推力 600 吨。火箭起飞重量 460 吨,可把 9 200 公斤的有效载荷送入 200 公里的圆轨道。长征二号 E 火箭的研制成功,解决了火箭的捆绑技术,为我国火箭技术的继续发展打下了坚实的基础。

为发射美国摩托罗拉公司制造的铱星而研制的长征二号 C/FP 火箭,全长 40 米,箭体最大直径 3.35 米,火箭起飞重量 213 吨。它继承了有 14 次成功飞行纪录的长征二号 C 火箭的成熟技术。长征二号 C/FP 火箭已于 1997 年 12 月成功地发射了两颗铱星。

1984 年,长征三号(见封二图)运载火箭的发射成功,标志着我国火箭技术已跨入世界先进行列。长征三号火箭是我国第一种发射同步定点卫星的运载火箭。它是一枚三级火箭。一、二级以长征二号 C 为原型进行修改设计,第三级采用了高能低温的液氢液氧发动机。全箭总长 43 米,起飞重量 204 吨,起飞推力 280 吨,地球同步转移轨道运载能力 1 500 公斤。据当时公开报道的资料看,我国成为世界上第 5 个具有独立研制和发射地球同步通信卫星能力的国家。长征三号火箭的研制成功使我国掌握并使用了低温高能推进剂,解决了发动机高空二次启动的技术难题。

长征三号 A(见封三图)运载火箭是在长征三号的基础上研制的一种大型三级液体火箭,全长 52.52 米、直径 3.35 米、起飞重量 239.87 吨。近地轨道运载能力为 5 500 公斤;太阳同步轨道运载能力为 2 800 公斤;地球同步转移轨道运载能力为 2 600 公斤。该火箭从 1986 年 3 月开始研制,1994 年连续两次发射和 1997 年的发射(共 3 次)均获成功。

(下转第 16 页)