# 我国航天运输系统成就与展望

秦旭东[1]，龙乐豪[2]，容易[1]

（1. 北京宇航系统工程研究所，北京 100076；2. 中国运载火箭技术研究院，北京 100076）

**摘　要：** 我国运载火箭起步于20世纪60年代，经过半个世纪的发展，共经历了5个阶段，研制了4代17种运载火箭。具备发射低、中、高不同轨道，不同有效载荷的能力。本文对我国航天运输系统发展历程和成就进行了总结，并基于发展成果和未来发展需求，对航天运输系统未来发展规划进行了展望。

**关键词：** 航天运输系统；运载火箭；发展规划

**中图分类号：** V475.1　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 2095-7777(2016)04-0315-8

**DOI:**10.15982/j.issn.2095-7777.2016.04.003

**引用格式：** 秦旭东，龙乐豪，容易. 我国航天运输系统成就与展望[J]. 深空探测学报，2016，3（4）：315-322.

**Reference format:** Qin X D，Long L H，Rong Y. The achievement and future of China space transportation system [J]. Journal of Deep Space Exploration，2016，3（4）：315-322.

## 0　引　言

运载火箭是目前人类克服地球引力、进入空间的唯一工具，是发展空间技术、确保空间安全的基石，是实现航天器快速部署、重构、扩充和维护的根本保障，是大规模开发和利用空间资源的载体，是国家空间军事力量和军事应用的重要保证，是国民经济发展和新军事变革的重要推动力量。确保安全、可靠、快速、经济、环保地进入空间，推进太空探索技术发展，促进人类文明进程，是中国运载火箭的发展目标。

我国运载火箭起步于20世纪60年代，经过半个世纪的发展，共经历了5个阶段，研制了4代17种运载火箭。具备发射低、中、高不同轨道，不同有效载荷的能力。截至2016年7月，我国“长征”系列运载火箭已飞行231次，将311个航天器送入预定轨道，发射成功率96%。运载火箭技术的发展为航天技术提供了广阔的舞台，推动了中国卫星及其应用以及载人航天技术的发展，有力支撑了以“载人航天工程”“北斗导航”和“月球探测工程”为代表的中国国家重大工程的成功实施，为中国航天的发展提供了强有力的支撑。

## 1　发展历程

长征系列火箭的发展共经历了5个阶段。第一阶段是基于战略导弹技术起步，主要包括CZ-1、CZ-2；第二阶段是按照运载火箭技术自身发展规律研制的火箭，包括CZ-3、CZ-3A系列、CZ-4系列；第三阶段是为满足商业发射服务而研制，典型代表是CZ-2E；第四阶段是为载人航天需要而研制的，如CZ-2F火箭；第五阶段是为适应环保及快速反应需要研制的运载火箭，如CZ-5、CZ-6、CZ-7、CZ-11等。

共完成了4代运载火箭研制[1-2]。CZ-1、CZ-2为第一代，第一代根据战略武器型号改进而来，具有明显的战略武器型号特点，解决了我国运载火箭从无到有的问题，但其运载能力等总体性能偏低、使用维护性差、靶场测试发射周期长、采用模拟控制系统。

CZ-2C系列、CZ-2D、CZ-3、CZ-2E为第二代，第二代仍然带有战略武器型号的痕迹，在第一代火箭的基础上进行了技术改进；第二代火箭以原始状态CZ-2C火箭为基础改进，一、二级与CZ-2C火箭基本相同；采用有毒推进剂（四氧化二氮和偏二甲肼）；采用了数字控制系统。

CZ-2F、CZ-3A系列、CZ-4系列为第三代，第三代在第二代基础上，持续开展可靠性增长和技术改进，采用系统级冗余的数字控制系统；增加了三子级，任务适应能力大大提高；或为满足载人航天任务需求，增加了故检和逃逸系统，其任务可靠性大大提高；简化了发射场测发流程，使用维护性能得到了提高。

CZ-5、CZ-6、CZ-7、CZ-11等为第四代，第四代采用无毒无污染推进剂，环境友好；采用全箭统一总线技术和先进的电气设备；最大运载能力得到了大幅提升。

收稿日期：2016-09-20；修回日期：2016-09-25

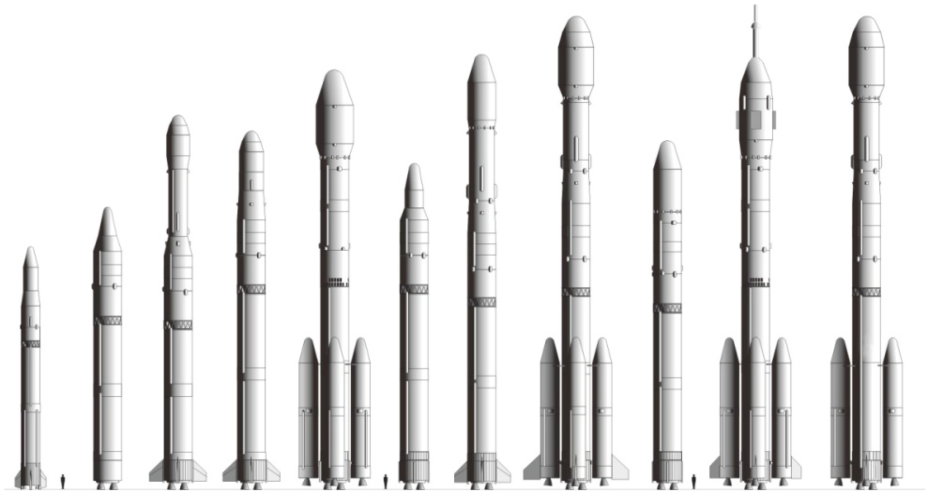


图 1 第1、第2和第3代运载火箭

Fig. 1 1st,2nd,3rd generation LM launch vehicles

图 2 现役运载火箭

Fig. 2 LM launch vehicles in service

## 2 发展成就

### 2.1 成就概述

1970年4月24日，CZ-1火箭成功将“东方红1号”卫星发射到近地轨道，我国成为世界上第五个用自制火箭成功发射本国卫星的国家。

20世纪70年代研制了CZ-2火箭，并在此基础上改进形成了CZ-2C火箭，可靠性显著提升，近地轨道运载能力为3.8 t。被誉为我国的“金牌火箭”；在CZ-2C火箭的基础上开启了长征火箭的系列化。

20世纪80年中期，在CZ-2C的基础上增加液氢液氧低温推进剂三子级，研制成功了CZ-3火箭，主要用于地球同步轨道卫星的发射，其三级液氢液氧发动机具有二次启动能力，使得中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；20世纪80年代中期在CZ-3火箭的基础上又研制了现在的CZ-3A系列火箭。CZ-3A系列目前共有三型：CZ-3A、CZ-3B和CZ-3C火箭，三型火箭分别为纯串联、捆绑4个助推器和捆绑2个助推器，地球同步转移轨道的运载能力分别为2.6 、5.5和3.8 t，可满足不同载荷重量的发射需要。

在CZ-2C基础上捆绑4个助推器，形成了CZ-2E火箭，使我国运载火箭近地轨道运载能力大幅提高；在此基础上，我国在20世纪90年代末研制成功了CZ-2F火箭，成为中国第一个载人运载火箭，近地轨道最大运载能力为8.6 t，该型火箭于1999年首飞成功，2003年首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。

经过半个世纪的发展，我国运载火箭技术取得了举世瞩目的成就。长征运载火箭经历了由常温推进剂到低温推进剂、由末级一次启动到多次启动、从串联到并联、从一箭单星到一箭多星、从载物到载人的技术跨越，具备了发射低、中、高不同地球轨道不同类型卫星及载人飞船的能力，近地轨道运载能力达到8.6 t、太阳同步轨道运载能力达到6.2 t、地球同步转移轨道运载能力达到5.5 t，入轨精度处于国际先进水平，能够满足不同用户的多种需求。总之，现有长征火箭具备将实用航天器发射到任何空间轨道的能力[3]。

### 2.2 型号发展之路

#### 2.2.1 第一代运载火箭

1）CZ-1

“长征1号”是我国首型运载火箭，是发射“东方红1号”卫星“651工程”的重要组成部分，为三级运载火箭，一二级为液体发动机，三级为固体发动机，近地轨道运载能力300 kg。“长征1号”研制过程中攻克自旋稳定、级间连接与分离等关键技术。

1970年4月24日，“长征1号”首飞成功，共进行2次发射，成功2次，于1971年退役。“长征1号”成功将中国第一颗人造地球卫星“东方红1号”送入太空，使我国成为世界上第五个能够独立发射人造地球卫星的国家，开辟了中国自主进入空间的新纪元。

2）CZ-2

CZ-2是我国运载火箭的基础型号，用于发射返回式卫星，为两级液体运载火箭，近地轨道运载能力1.8 t。

CZ-2研制过程中首创小推力弹道方案，将运载能力提升25%；在首飞失利后，系统研究并形成运载火箭大型地面试验方法。

1974年11月5日，CZ-2首飞失利；1975年11月26日，CZ-2第二次发射圆满成功，将我国第一颗返回式卫星送上太空；共完成4次发射，成功3次，于1979年退役。

**2.2.2**　第2代运载火箭

1）CZ-2C系列

CZ-2C系列火箭分为两级和三级两种状态，主要用于近地轨道（LEO）、太阳同步轨道（SSO）、大椭圆轨道（EEO），以及地球同步转移轨道（GTO）卫星的发射任务。CZ-2C系列火箭具备发射LEO、SSO、GTO及大椭圆轨道卫星的能力；也是目前唯一可以在我国现有的酒泉、太原和西昌3个卫星发射中心执行发射任务的运载火箭；具备一箭一星、一箭多星的发射能力。1998年底，CZ-2C火箭被原航天工业总公司授予“金牌火箭”称号，是中国首个“金牌火箭”。

CZ-2C首次成功研制主动章动控制自旋稳定SM上面级，突破一型火箭不同发射场适应性技术；首次成功研制SMA固体上面级双星串联的内支撑安装结构，可完成多类型卫星发射任务。

1982年9月9日，CZ-2C火箭首飞成功，截至2016年7月，共完成42次宇航发射，成功41次。

2）CZ-2D

CZ-2D火箭为二级液体运载火箭，主要用于中低轨道中小卫星发射，500 km SSO运载能力约1.5 t。1992年8月首次发射。截至2016年7月，共完成28次发射任务。

3）CZ-2E

CZ-2E是中国第一种为商业卫星发射而研制的运载火箭，也是我国首型捆绑式运载火箭，为两级半构型液体运载火箭，近地轨道运载能力9.2 t。

CZ-2E研制过程中攻克了高空风修正、助推器捆绑和分离、推进剂利用、横向变轨和全方位调姿定向、大尺寸分离包带、大型整流罩等多项关键技术。

1990年7月16日，CZ-2E火箭首飞成功；共进行7次发射，成功5次，于1995年退役。CZ-2E火箭实现了中国运载火箭捆绑技术的突破，为我国后续载人火箭研制奠定了坚实的技术基础。

4）CZ-3

CZ-3运载火箭为三级液体运载火箭，地球同步转移轨道运载能力1.5 t。CZ-3研制过程中首次提出了基于氢氧低温三子级的火箭总体方案，全新设计地面增压、氮气瓶补压、自生增压三段有机结合增压方案，首次研制低温共底贮箱，首次较全面研究并解决液体火箭低频振动力学环境管理技术，率先提出并研究液体火箭纵向耦合振动（POGO）问题。

1984年1月29日，CZ-3首飞成功，共进行13次发射，成功10次。CZ-3首次采用液氢液氧推进剂，首次实现两次起动，首次将有效载荷送入地球同步转移轨道，把中国火箭技术推向世界先进水平。

**2.2.3**　第三代运载火箭

1）CZ-2F

CZ-2F是我国第一种载人运载火箭，也是目前唯一的一型载人运载火箭，为两级液体运载火箭，近地轨道运载能力8.6 t。

CZ-2F火箭研制过程中攻克载人火箭总体设计、逃逸系统、故障检测处理系统、冯卡门外形整流罩等重大关键技术。

1999年11月20日，CZ-2F首飞成功，将我国第一艘无人试验飞船“神舟1号”准确送入预定轨道，为实现中国载人航天的战略目标奠定了坚实基础，使得中国成为世界上第三个自主发展载人航天技术的国家，进一步确立了中国航天的国际地位；2003年10月，中国首次载人航天成功，2012年6月首次载人交会对接成功；截至2016年7月，CZ-2F火箭成功完成了11次发射任务，将12人次航天员送入太空。CZ-2F火箭为中国载人航天工程成功实施做出了巨大贡献，开辟了我国航天史上又一个里程碑。

2）CZ-3A系列

CZ-3A系列运载火箭由CZ-3A、CZ-3B、CZ-3C等3种火箭组成，主要用于发射GTO、LTO、MTO、IGSO等高轨有效载荷。2007年底，CZ-3A火箭被航天科技集团公司授予“金牌火箭”称号，是中国的第二个“金牌火箭”。

CZ-3A运载火箭是三级液体火箭，全箭结构由一子级、二子级、三子级和整流罩组成，标准GTO运载能力为2.6 t。CZ-3B火箭是以CZ-3A火箭为芯级并捆绑

4个助推器组成的三级液体捆绑火箭，标准GTO运载能力为5.5 t，是目前中国GTO轨道运载能力最大的火箭。CZ-3B火箭是承担高轨道国际商业卫星发射服务的主力火箭。CZ-3C火箭以CZ-3A作为芯级，并在其一子级捆绑2个助推器构成，其标准GTO运载能力达到3.8 t。

CZ-3A系列火箭研制过程中，突破了YF-75发动机、小型4轴惯性稳定平台、冷氦加温增压系统、低温氢气能源双向摇摆伺服机构等四大关键技术[4]。

截至2016年7月，CZ-3A系列运载火箭共完成74次发射任务，成功73次，成功率达98.6%。其中CZ-3A火箭1994年首飞，共执行了25次发射任务，成功率100%；CZ-3B火箭1996年首飞，共执行了35次发射任务，成功34次；CZ-3C火箭于2008年首飞圆满成功，共执行了14次发射任务，成功率100%。2007年10月，CZ-3A火箭成功将中国首颗月球探测卫星“嫦娥1号”送入预定轨道，标志着中国航天事业成功跨入深空探测的新领域，中华民族千年奔月梦想开始成为现实。CZ-3A系列火箭成功执行北斗导航、探月等重大工程任务，是我国首个单系列型号突破50次发射的运载火箭，极大地推动了中国运载火箭产业化进程。

3）CZ-4系列

CZ-4A/B/C三级液体运载火箭。一二子级直径3.35 m，三子级直径2.9 m，CZ-4C三级发动机可二次起动。主要用于太阳同步轨道卫星发射，700 km SSO轨道运载能力约3 t。研制过程中，主要突破了YF-40发动机研制等关键技术。

1988年9月CZ-4A首次发射，现已经退役。1999年5月CZ-4B首次发射，截至2016年7月，共执行了29次发射任务，失败1次，成功率96.5%；2006年4月CZ-4C首次发射，截至2016年7月，共执行了17次发射任务，成功率100%。

## 3 主要技术跨越

### 3.1 长征系列运载火箭可靠性、安全性进一步提高

长征火箭以其不断提升的可靠性在世界范围赢得美誉。尤其是在近几年高密度发射任务的带动下，以控制系统冗余技术改进、增压系统冗余为代表的一批可靠性增长成果的应用使长征系列运载火箭的可靠性水平得到了提升，实现了部分产品的升级换代，进一步提高了长征系列运载火箭的技术水平。在2011及2012年，中国运载火箭发射次数连续两年稳居世界第二，充分验证了火箭的可靠性水平，促进了中国运载火箭产业化进程。

作为中国载人运载火箭的CZ-2F在可靠性、安全性方面采取了大量的设计措施，是中国可靠性、安全性最高的火箭。该火箭控制、利用、故检、遥测等电气系统大量采用双冗余、三冗余设计，使系统能够抗2度以上故障，取得了连续11次成功发射、发射成功率为100%的可喜成绩。

### 3.2 设计能力的提高，促进运载火箭综合性能的提升

总体设计和闭环验证能力的不断提升，形成了总体设计和各分系统设计技术体系；形成了基础支撑工具、基础数据库、领域设计工具体系，显著提升了设计效率和设计能力，有力保障了型号的成功发射。

能力提升带动技术进步，新技术不断得到推广和应用，明显提升了运载火箭的综合性能。各在飞型号相继应用了图像测量技术，完成了远距离测发控技术改进；CZ-2C火箭完成了基于产品化思路的控制系统冗余改进；CZ-2F完成了迭代制导、冯卡门曲线整流罩、锥形前底贮箱等新技术应用，提高了载人运载火箭的运载能力、入轨精度、飞行可靠性；CZ-3A系列火箭完成了起飞滚转定向设计、三级冷氦增压系统冗余控制改进、测量系统5 M码传输技术和天基测量技术，提高了火箭任务适应能力和综合性能。

各型号还坚持产品化思路，推广型号间共用技术和产品。每一次技术改进，都提升了我国长征系列火箭的核心竞争力；每一次改进，都会促进我国从航天大国向航天强国迈进了一步。

### 3.3 系统级试验验证能力明显提升

增压输送系统不断提升系统级试验验证能力。突破了深低温领域试验关键技术，建成了国内首个增压输送系统试验平台。提升了系统验证能力，完善了增压输送系统数字化设计能力、增压输送系统及单机仿真能力、半实物仿真能力、真实热力环境条件下系统及单机的试验能力，全面提升了研制效能及地面试验的测试覆盖性，为地面测试覆盖天上真实环境奠定了坚实基础。CZ-3A系列火箭利用此平台完成了冷氦增压冗余系统的原理性试验和液氢温区低温系统试验，冷氦增压冗余系统在北斗工程、探月工程中成功应用，使我国冷氦增压系统的研制达到国际先进水平，为高密度发射任务完成提供了重要保障。

### 3.4 靶场流程不断缩短，测试效率不断提高

近几年来，我国航天发射密度不断加大，缩短靶场工程流程成为适应高密度发射的重要途径。各型号队伍从技术可行性、资源优化配置多方面综合考虑后，一直致力于靶场工作项目的改进和优化，部分单

机随箭运输，取消技术区单元测试；取消控制、测量等电气系统匹配测试，合理安排测试工作流程。在飞火箭早期靶场测发时间50 d，对靶场工作流程进行优化后缩减到21 d左右，达到了国际先进水平。完成了自动化判读平台开发，建立了测试数据库及判读系统，数据判读过程均基于网络进行，遥测数据统一存储，全箭共享、全员共享，确保测试现场工作的高效、顺利进行，显著提高了工作效率。

### 3.5　生产能力持续改善，综合管理能力不断提高

长征系列运载火箭生成能力持续提升，实现了批量生产，为高密度发射任务提供了强有力的保障。与此同时，为了适应多型号研制并举、研制和生产并进的形势，适应高密度设计、生产和发射的现状，在飞型号组织管理模式进一步改进，确立了以发射计划为主线，技术、进度、质量全面支撑的整体框架。采用CPAD开展发射场信息化管理和规范化管理，为确保高密度发射圆满成功发挥了重要作用。

## 4　在研及未来发展规划

### 4.1　规划目标

到2030年左右，构建体系完整、分布合理、性能卓越的航天运输系统，提升我国进入空间、探索空间的能力，支持深空探测、空间科学和各种航天发射活动，满足经济、社会发展需要，为建设航天强国提供有力支撑。

### 4.2　总体思路

航天运输系统发展规划的总体思路是：体系规划、分步实施。需求导向、提升能力，创新驱动、突破瓶颈。

1）体系规划、分步实施：统筹考虑整个航天运输系统发展规划，根据各领域特点和所处发展阶段，采取分步实施的策略，牵引带动航天运输系统有序、快速、健康发展。

2）需求导向、能力提升。以未来市场和任务需求为牵引，以经济性好、适应性强、可靠性高为方向，进一步完善航天运输系统型谱。

3）创新驱动、突破瓶颈。以技术创新为推动力，加大对基础与前沿技术研究，重点突破影响航天运输系统发展的核心关键技术和工业基础瓶颈，提高原始创新能力和自主可控能力。

4）开放融合、跨越发展。以国家发展战略为指引，加快推进航天工业与国家工业基础的深度融合，实现航天运输系统的跨越发展。

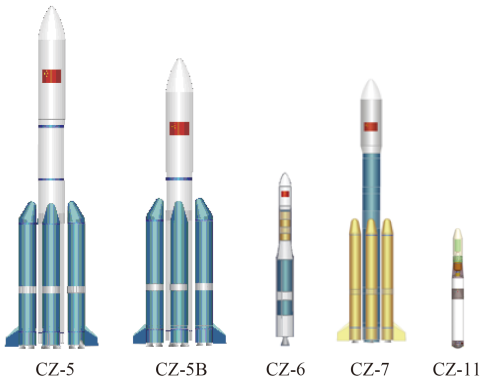


图 3　已经立项研制的新一代运载火箭

Fig. 3　New generation LM launch vehicles

### 4.3　一次性运载火箭

#### 4.3.1　已经立项研制型号

新一代运载火箭为我国研制的第4代运载火箭，按照系列化、组合化和模块化设计的无毒无污染以及快速响应运载火箭；CZ-5、CZ-6、CZ-7和CZ-11已先后立项，并于2015年至2016年完成首飞，技术成熟后，计划陆续替代现役运载火箭。

1）CZ-5系列火箭

CZ-5系列运载火箭是新一代运载火箭型谱中的大型运载火箭。它的研制遵循“一个系列、两种发动机、三个模块”的总体发展思路，“三个模块”是指使用氢氧推进剂的5 m直径模块、使用液氧煤油推进剂的3.35 m直径模块和2.25 m直径模块；“两种发动机”是指新研制的50 t级推力的氢氧发动机和120 t级推力的液氧煤油发动机；按照“通用化、系列化、组合化”设计思想，在三个新研制模块基础上，组合出芯级5 m直径的6种构型大型运载火箭，实现地球同步转移轨道运载能力0.6万～1.4万 kg，近地轨道运载能力1万～2.5万 kg。CZ-5系列火箭目前有CZ-5和CZ-5B两个构型正在开展工程研制。

CZ-5火箭为两级半火箭，全箭长56.97 m，捆绑4个3.35 m直径助推器；芯一级采用Φ5 m直径模块，2台YF-77氢氧发动机双向摆动；芯二级采用Φ5 m直径模块，2台YF-75D氢氧发动机双向摆动；助推器采用Φ3.35 m直径模块，每个助推器配置2台YF-100液氧煤油发动机；首飞发射YZ-2上面级 + “实践17号”卫星，有效载荷支架接口直径3.8 m。GTO轨道运载能力最大14 t。

CZ-5B火箭为一级半火箭，在CZ-5火箭基础上去掉二级，有效载荷支架接口直径从3.8 m提高到4.2 m，LEO轨道运载能力最大25 t。

CZ-5系列火箭采用全新的动力装置、大型火箭结

构设计和制造技术、先进控制和数字化技术，显著提高了中国运载火箭整体水平和开发利用空间资源的能力。CZ-5火箭预计2016年11月完成首飞。

2）CZ-6

CZ-6为三级构型火箭，700 km SSO轨道的运载能力为500～1 000 kg。已于2015年9月20日“一箭20星”首飞成功。

3）CZ-7系列火箭

CZ-7火箭是中国新一代中型运载火箭基本型，既可满足载人航天工程发射货运飞船的需要，也能参与主战场LEO和SSO有效载荷的发射，能为中型运载火箭其它构型的发展奠定良好的基础。CZ-7火箭芯级直径3.35 m，捆绑4个2.25 m直径的助推器，近地点高度200 km，远地点高度400 km，轨道倾角42°的LEO轨道的最大运载能力13.5 t。

2016年6月25日成功完成首飞，将6类7个载荷准确送入预定轨道。CZ-7火箭瞄准国际运载火箭先进技术水平，秉承高可靠设计标准。首飞获得圆满成功，拉开了我国运载火箭更新换代，以及载人航天工程空间实验室任务的序幕。

4）CZ-11火箭

CZ-11火箭为四级火箭，主要用于发射SSO轨道有效载荷。CZ-11火箭采用全固体主发动机串联总体方案。700 km SSO的运载能力为350 kg。已于2015年9月25日“一箭4星”首飞成功。

#### 4.3.2 计划发展型号

根据对2030年左右我国航天器发展的统计分析，已明确将要发射20余种卫星平台、3种月球探测器、2类飞船、1种空间站和1种目标飞行器，共计约400余个航天器，大大超过了航天事业发展前50年研制和发射航天器的总和。

对于未来潜在任务，低轨所需的运载能力约百吨量级，仅仅依靠新一代运载火箭无法完成全部的发射任务，即使是能力最大的CZ-5也只能执行其中个别小规模的任务。因此，要加快推动重型运载火箭“长征9号”（CZ-9）的立项和研制工作，加速我国从航天大国迈向航天强国。

对于SSO轨道有效载荷，3～4.5 t的航天器占总任务的18%左右，较前十几年有明显增长；GTO 5.5～7 t的大型通信卫星所占比例逐步增大，占26%。由此可见，新一代中型火箭发射需求旺盛，需要加快研制700 km SSO运载能力3～4.5 t、GTO运载能力6.5～7 t的运载火箭。

1）新一代中型中低轨火箭

新一代中型CZ-8火箭为两级火箭，一子级状态与CZ-7火箭芯一级基本一致，采用2台YF-100发动机，捆绑2个2米两段式120 t级固体助推器；二子级直径3 m，采用YF-75发动机（双机）。SSO运载能力约4.5 t，GTO运载能力约2.5 t，LEO运载能力约7.6 t。在CZ-8火箭基础上去掉助推器，SSO运载能力达到3.0 t。

2）新一代中型高轨火箭

通过对市场需求进行分析发现：GTO 7 t有效载荷发射需求旺盛，而我国现役火箭CZ-3B GTO运载能力5.5 t，存在明显不足，需要推进CZ-3B火箭的更新换代。

同时，也需推进CZ-3D和CZ-3E火箭的更新换代，具体如下：

CZ-3D：更换CZ-3B火箭助推器、一二级的发动机及推进剂，箭体直径维持不变，芯一级三模块并联，直径为3.35 m，三子级使用氢氧末级，GTO运载能力7 t。

CZ-3E：更换CZ-3B火箭助推器、一二级发动机及推进剂，构型同CZ-3D，三子级使用YF-115发动机，为全液氧煤油构型，GTO运载能力5.2 t。

3）重型运载火箭

CZ-9火箭为三级半构型，芯级最大直径10 m级，LEO运载能力140 t，LTO运载能力50 t。CZ-9火箭是完成深空探测、载人登月和登火、空间基础设施建设（如空间太阳能电站）等任务的重要支撑[5]，将加速航天强国建设步伐。CZ-9火箭采用“通用化、系列化、组合化”发展策略，三个构型的对应结构状态相同，可模块化组合。可捆绑液体助推器，也可以捆绑固体助推器。

4）空射运载火箭

未来发展的空射运载火箭载机为国产运-20运输机，采用内装式箭机组合方案，由运-20运输机将运载地方火箭携带至空中进行发射。空射运载火箭发射周期为12 h，700 km SSO运载能力不低于200 kg。

### 4.4 轨道转移运载器

轨道转移运载器目前主要包括3个构型，分别为“远征1号”/“远征1号甲”上面级（YZ-1/YZ-1A）、“远征2号”上面级（YZ-2）、“远征3号”上面级（YZ-3）。后续将研究低温上面级。

YZ-1上面级是为执行中国第二代卫星导航系统重大专项工程组网发射任务研制，主要用来与CZ-3A系列运载火箭组合使用执行“一箭一星”“一箭双星”直接入轨发射任务。已经多次成功完成飞行试验任务。YZ-1A已成功首飞，在轨工作43 h、发动机起动9次，创我国上面级工作时间与起动次数的新纪录。

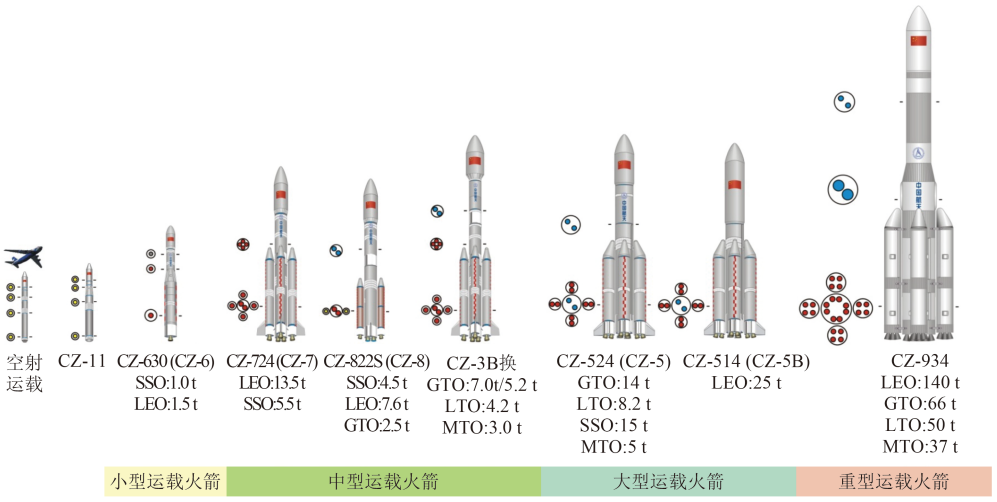


图 4　新一代运载火箭型谱

Fig. 4　Spectrum of new generation LM launch vehicles

YZ-2上面级是为执行中国第二代卫星导航系统重大专项工程组网发射任务研制，主要用来与CZ-5系列运载火箭组合使用执行“一箭4星”直接入轨发射任务。

YZ-3上面级以CZ-2D火箭、CZ-4B火箭为基础级火箭，定位于中低轨道多星发射及星座快速组网部署，提高任务适应性。

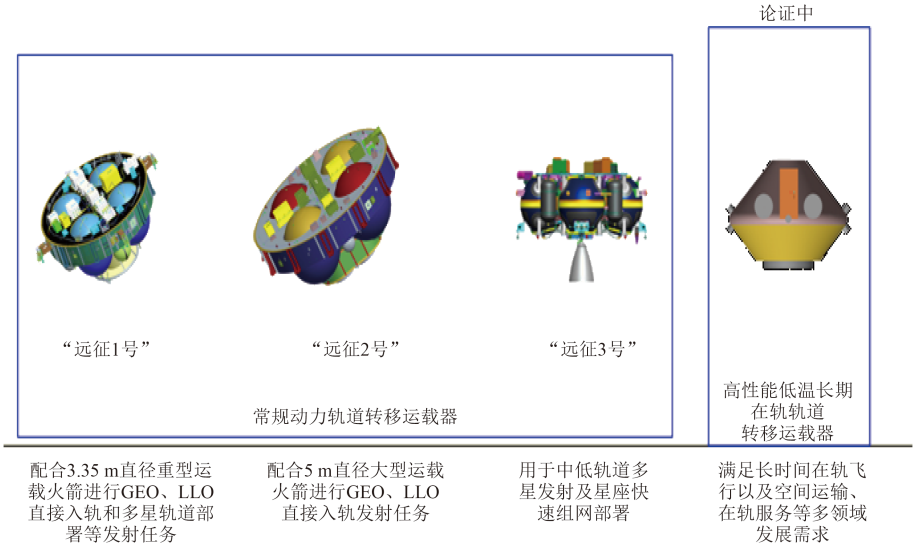


图 5　轨道转移运载器

Fig. 5　Orbital transfer vehicles

低温上面级采用低温动力系统，具备长期在轨能力，可以满足空间运输、空间试验、在轨服务及空间攻防等多领域发展需求。

### 4.5　可重复使用运载器

通过对国内外发展情况的分析，结合我国重复使用运载器的技术研究现状及技术基础，充分借鉴美国在发展重复使用运载器过程中由于过于追求单级入轨的先进指标几经挫折的经验教训，提出我国发展重复使用运载器“三步走”的发展思路：

第一步：火箭动力的助推器、或第一级可重复使用实现工程应用；

第二步：火箭动力两级入轨完全可重复使用运载器实现工程应用；

第三步：组合动力两级入轨完全可重复使用运载器具备工程应用能力。

结合当前需求和能力基础，可确定优先发展思路，即首先选择液氧煤油或液氧甲烷发动机。以发动机寿命不低于1万 s、可重复使用次数30～50次为目

标，突破火箭发动机可重复使用等为代表的关键技术；基于选定发动机，构建垂直起飞、水平降落的火箭动力一级可重复使用运载器。该型可重复使用运载器与一次性上面级结合，可用于快速、低成本发射小型有效载荷，并力争将单次发射成本控制在1 000万～3 000万元，响应时间控制在24 h以内，极大增强在日益增长的小卫星发射市场中的竞争力。

## 5 结束语

航天运输系统特别是运载火箭是牵动航天产业发展和科技进步的龙头，运载火箭技术的发展直接促进了卫星应用、载人航天和空间安全等技术的发展，给国民经济带来直接的经济效益，并通过新技术、新产品、新工艺、新管理方法的推广，给社会带来了巨大的间接效益，在国民经济中占有举足轻重的位置。

在国家科技重大专项和国家重大航天工程任务的牵引下，我国航天运输系统特别是长征系列运载火箭一定会不断勇攀高峰、创造奇迹，随着我国新一代运载火箭研制及首飞成功，我国自主进入空间的能力也会明显提升，加快我国运载火箭更新换代的脚步，助力我国向航天强国迈进。

## 参 考 文 献

[1] 秦旭东，容易，王小军，等. 我国运载火箭划代技术研究[N]. 中国航天报，2013.10.18（003）.

[2] 秦旭东、容易、王小军，等. 基于划代研究的中国运载火箭未来发展趋势分析[J].导弹与航天运载技术，2014（1）：1-5.
Qin X D，Rong Y，Wang X J，et al. Development tendency analysis based on the research of chinese launch vehicles generation[J]. Missiles and Space Vehicles，2014（1）：1-5.

[3] 龙乐豪、余梦伦. 航天运载器专业发展报告，ISBN 978-7-5046-6538-6/V.67，2014.4 [R].北京：中国科学技术出版社，2014.

[4] 罗恒，魏远明，李聃，等. CZ-3A系列运载火箭20年发展思考及未来展望[J]. 导弹与航天运载技术，2014（5）：31-34.
Luo H，Wei Y M，Li D，et al. Twenty years development consideration and future expectation of lm-3a series launch vehicles[J]. Missiles and Space Vehicles，2014（5）：31-34.

[5] 高朝辉，王俊峰，童科伟，等. 重型运载火箭发射空间太阳能电站相关技术问题分析[J]. 导弹与航天运载技术，2016（2）：51-54.
Gao C H，Wang J F，Tong K W，et al. Technology analysis of the questions on space solar-power station launching by the heavy launch vehicles[J]. Missiles and Space Vehicles，2016（2）：51-54.

作者简介：
**秦旭东**（1976– ），男，博士、研究员，主要研究方向：运载火箭姿态控制及总体设计。
通信地址：北京市9200信箱10分箱18号（100076）
电话：13641143237
E-mail：xudong_qin@sina.cn
**龙乐豪**（1938– ），男，研究员、中国工程院院士、战略导弹与运载火箭技术专家。曾任中国运载火箭技术研究院副院长、科技委主任、火箭总设计师兼总指挥，现任中国运载火箭技术研究院运载火箭系列总设计师、国家月球探测工程副总设计师。
通信地址：北京市丰台区南大红门路1号中国运载火箭技术研究院（100076）

# The Achievement and Future of China Space Transportation System

QIN Xudong[1]，LONG Lehao[2]，RONG Yi[1]
（1. Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering，Beijing 100076，China；2. China Academy of Launch Vehicle Technology，Beijing 100076，China）

**Abstract**：China Launch Vehicle technology development was started in 1960s. From then on, Long March launch vehicles have experienced five stages of development, and four generations of Long March launch vehicles have been developed，which ensures China to launch various payloads into different orbits. Based on the achievements of development and future demands, the prospects for future development plans are discussed.

**Key words**：space transportation system；launch vehicle；development plan

[责任编辑：宋宏]