

北斗专列—CZ-3A 系列火箭发展回顾和未来展望

张亦朴, 周天帅, 刘立东, 李 聃, 胡 炜

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

摘要: CZ-3A 系列运载火箭承担了北斗工程, 包括北斗一号、北斗二号和北斗三号的全部发射任务, 被称为“北斗专列”。在北斗工程历时 26 年的研制过程中, CZ-3A 系列火箭突破了一系列关键技术, 使火箭具备了从地球同步转移轨道 (GTO) 到倾斜同步转移轨道 (IGTO)、中圆转移轨道 (MTO), 从一箭一星发射至转移轨道, 到一箭双星发射至转移轨道, 再到一箭双星直接发射入轨的发射能力, 实现了跨越发展。满足了北斗工程的发射任务需求, 北斗工程共计 44 箭、59 星, CZ-3A 系列火箭发射均获得了圆满成功, 成功率达到 100%。

关键词: CZ-3A; 运载火箭; 北斗

中图分类号: V42

文献标识码: A

文章编号: 2096-4080 (2020) 06-0016-07

Development Retrospect and Future Prospect of LM-3A Series Launch Vehicle for Beidou Missions

ZHANG Yipu, ZHOU Tianshuai, LIU Lidong, LI Dan, HU Wei

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

Abstract: The LM-3A series launch vehicles undertook all the launching missions of the Beidou-1, Beidou-2 and Beidou-3. During the development of the Beidou missions, the LM-3A series launch vehicles developed groundbreaking technologies and achieved the spanning development. The ability of launching different payloads to GTO, IGTO and MTO has been processed, from sending one satellites into transfer orbit to sending two satellites into transfer orbit, furthermore to sending two satellites into the orbit directly. The launch requirements of the Beidou mission have been met, with 44 launches and 59 satellites in total. All the launches were successful, with the success rate of 100%.

Key words: CZ-3A; Launch vehicle; Beidou

0 引言

2020年6月23日, 长征三号乙遥六十八火箭在西昌卫星发射中心成功发射了北斗工程第55颗全球导航卫星, 即北斗三号最后一颗卫星, 标志着我国全球卫星导航定位系统的建成。

我国卫星导航工程按照“三步走”的发展路线, 经过了北斗一号、北斗二号、北斗三号工程共3期

的研制工作, 最终建成了北斗三号全球卫星导航定位系统。三期北斗工程的所有卫星, 均由 CZ-3A 系列运载火箭进行发射, 包括北斗一号卫星 4 次发射, 北斗二号卫星 18 次发射, 北斗三号卫星 22 次发射, 共计 44 箭、59 星, 发射任务均取得了圆满成功, 北斗工程发射任务的成功率达到 100%。

CZ-3A 系列火箭基本型共有 3 款火箭, 如图 1 所示。其中 CZ-3B、CZ-3C 是在 CZ-3A 火箭的基础

收稿日期: 2020-01-01; 修订日期: 2020-05-01

作者简介: 张亦朴 (1978-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为运载火箭总体设计技术。

E-mail: 18910593655@sohu.com

上分别捆绑了4枚助推器和2枚助推器，CZ-3B、CZ-3C火箭也有部分衍生构型^[1-3]。我国分别使用了CZ-3A系列运载火箭的7个构型：CZ-3A、CZ-3B/G1、CZ-3B/G3、CZ-3B/YZ-1、CZ-3C、CZ-3C/G2、CZ-3C/YZ-1，完成了北斗卫星的全部发射任务。



图1 CZ-3A系列火箭基本构型图

Fig. 1 Configurations of LM-3A series launch vehicle

本文对CZ-3A系列运载火箭进行简介，对北斗工程研制中的运载火箭技术发展进行系统梳理和总结，分析了北斗工程发射任务情况，并对未来的技术发展进行展望。

1 CZ-3A系列火箭简介

CZ-3A系列火箭为三级液体中型运载火箭，三级发动机具备二次启动能力，主要用于发射中轨道（Medium Earth Orbit, MEO）卫星、地球同步转移轨道（Geostationary Transfer Orbit, GTO）卫星和深空探测等有效载荷。

CZ-3A系列研制中，按照“上改下捆、先改后捆、坚持三化、统筹发展”的总体方案，在CZ-2C火箭的基础上，首先研制火箭氢氧三子级构成CZ-3A火箭，作为火箭系列化的第一步，再以CZ-3A作为芯级，捆绑4枚或者2枚助推器，形成CZ-3B和CZ-3C火箭。

1986年2月，中国新一代通信卫星工程正式立项，CZ-3A作为工程配套的火箭也正式启动研制工作，在充分继承CZ-3火箭成熟技术的基础上，突破了以大推力氢氧发动机、动调陀螺四轴平台、冷氢加温增压和氢气能源双摆伺服机构4大关键技术为

代表的上百项新技术项目，使我国运载火箭技术跨上一个新台阶；同时也使我国火箭GTO运载能力达到了2 600 kg，提升了中国运载火箭在国际卫星发射市场上的竞争力。1994年2月8日，CZ-3A火箭首飞发射实践四号卫星和模拟星获得圆满成功；CZ-3A火箭主要任务包括DFH-3平台通信卫星、北斗一号卫星、北斗二号IGSO轨道卫星、嫦娥一号探测器、风云二号卫星等。2007年10月24日，CZ-3A火箭发射中国首个月球探测器嫦娥一号圆满成功，共计发射12颗北斗卫星。2007年6月15日，CZ-3A火箭被中国航天科技集团公司授予“金牌火箭”称号，27次发射全部圆满成功。

以CZ-3A火箭为基础，上改下捆，研制了CZ-3B火箭，经过多年改进，逐步发展出CZ-3B/G1~G5共5个构型。尽管在1996年2月15日首飞发射国际708卫星失败，但完成全面的质量整顿和彻底归零后，CZ-3B火箭凤凰涅槃，浴火重生，圆满完成了以马部海通信卫星、亚太二号R通信卫星、中卫一号通信卫星、鑫诺一号、亚太6号通信卫星等为代表的多项国外商业卫星发射，真正走出国门，在国际商业发射市场中占据了一席之地。CZ-3B火箭及其各种改进构型是CZ-3A系列火箭的主力火箭，主要发射高轨通信卫星、北斗二号的MEO轨道卫星、北斗三号卫星和风云四号气象卫星等。2013年12月2日，CZ-3B火箭将嫦娥三号探测器送入太空，为探测器月面软着陆，开展月面原位探测与自动巡视探测奠定了坚实基础。2018年12月8日，CZ-3B火箭将嫦娥四号探测器送入太空，实现了人类首次月背软着陆。截止到2020年10月，CZ-3B火箭共发射70次。

依托于我国第一代中继卫星工程，研制了配置2枚助推器的CZ-3C火箭。2008年4月25日，CZ-3C火箭首飞发射天链一号01星圆满成功，标志着中国突破了非全对称火箭设计技术，中国高轨任务运载能力分布更加合理，实现了CZ-3A系列火箭真正的系列化、组化。CZ-3C火箭标准地球同步转移轨道发射能力达到3 900 kg。截止到2020年10月，CZ-3C火箭共发射17次，全部获得圆满成功。CZ-3A系列火箭现役构型如图2所示，各构型运载能力和发射次数如表1所示。

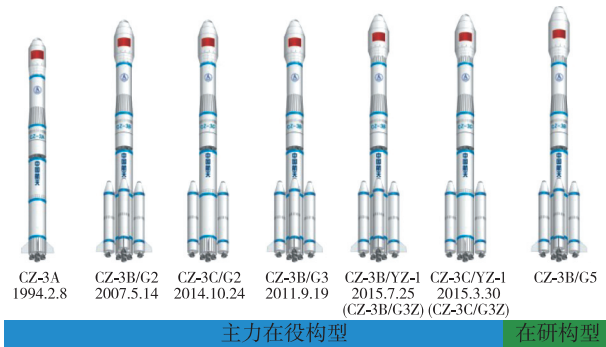


图2 CZ-3A系列火箭现役构型图

Fig. 2 Configuration of available LM-3A series launch vehicle

表1 CZ-3A系列火箭各构型运载能力和发射次数

| 序号 | 型号 | 首飞时间 | 发射次数 | 最后一次发射时间 | 运载能力 |
|----|------------|------------|------|------------|------------------------|
| 1 | CZ-3A | 1994.2.8 | 27 | | 标准GTO轨道 2 600 kg |
| 2 | CZ-3B | 1996.2.15 | 10 | 2009.8.31 | 标准GTO轨道 5 100 kg |
| 3 | CZ-3B/G1 | 2012.4.30 | 2 | 2012.9.19 | MTO轨道双星发射, 单星 2 160 kg |
| 4 | CZ-3B/G2 | 2007.5.14 | 27 | | 标准GTO轨道 5 500 kg |
| 5 | CZ-3B/G3 | 2011.9.19 | 17 | | 标准GTO轨道 5 400 kg |
| 6 | CZ-3B/YZ-1 | 2015.7.25 | 13 | | MEO双星直接入轨, 单星 1 080 kg |
| 7 | CZ-3B/G5 | 拟2020年 | 0 | | 500 km SSO轨道 4 500 kg |
| 8 | CZ-3C | 2008.4.25 | 10 | 2012.10.25 | 标准GTO轨道 3 800 kg |
| 9 | CZ-3C/G2 | 2014.10.24 | 5 | | 标准GTO轨道 3 900 kg |
| 10 | CZ-3C/YZ-1 | 2015.3.30 | 2 | | MEO单星直接入轨, 单星 1 080 kg |

CZ-3A、CZ-3B和CZ-3C火箭的起飞质量分别为243、456和366 t,总长度分别约为52.5、56.5、56.3 m。助推器直径2.25 m,一、二子级直径3.35 m,三子级直径3 m。有效载荷整流罩柱段直径分别为3.35、4.2、4.0 m。火箭助推器、一、二子级以 N_2O_4 /UDMH为推进剂,三级以低温LOX/LH₂为推进剂。

2 北斗一号工程期间的技术发展

1994年,经过充分论证,北斗一号工程立项,为双星有源定位的试验系统。北斗一号卫星采用东方红三号平台,卫星质量约为2 300 kg,需要运载火箭送入GTO轨道。当时国内运载火箭具备高轨发射能力的仅有CZ-3、CZ-3A,CZ-3火箭的GTO轨道运载能力只有1 400 kg,无法满足任务要求,CZ-3A火箭成为了唯一的选择。

1994年首飞后,CZ-3A火箭又完成了3次东方红三号平台通信卫星的发射后,从遥五火箭开始,踏上了北斗卫星发射的征程。

2000年的CZ-3A遥五火箭、遥六火箭,2003年的遥七火箭和2007年的遥十二火箭,成功发射了4颗北斗一号卫星。从遥五火箭开始,CZ-3A火箭开始进行速率陀螺冗余,踏出了控制系统冗余的第一步;遥测系统改为S波段2 Mbps传输状态,数据传输容量增加到以前的3倍,极大地提升了数据的获取能力。遥七火箭开始搭载激光惯组,为之后平台/惯组主从冗余开展飞行验证,增加了全箭出厂测试,取消技术区的分系统和总检查测试,大幅优化发射场工作流程;到遥十二火箭发射北斗一号04星时,CZ-3A火箭已成长为控制系统系统级冗余、遥测系统为S波段2 Mbps状态,发射场工作周期从约50 d优化为约30 d的可靠性高、数据获取能力强、发射场工作周期短的低温高轨运载火箭,这也为后续CZ-3A系列火箭成为我国“北斗专列”奠定了坚实的基础。

3 北斗二号工程期间的技术发展

北斗二号为具有中国特色的区域卫星导航系统,分别运行于地球同步轨道(Geostationary Earth Orbit, GEO)、倾斜地球同步轨道(Inclined Geosynchronous Orbit, IGSO)和中轨道(MEO),需要用14枚火箭将16颗卫星送入3种不同的转移轨道。从2007年4月CZ-3A遥十三火箭发射北斗二号试验星开始,CZ-3A系列火箭又进入了北斗二号卫星的发射征程中,这次发射的是CZ-3A系列火箭的全家族。

3.1 CZ-3A火箭

CZ-3A遥十三火箭发射北斗二号试验星时,实现了8个第一次,完美地赋予了火箭新的意义,

即第一次采用远距离测试发射,第一次使用西昌卫星发射中心三号工位,第一次采用起飞滚转定向,第一次预置全年发射轨道射前进行选择,第一次采用双向风补偿,第一次三级发动机一次工作,第一次东南射向,第一次使用新的落区。

1) 采用全新的东南射向进行轨道设计。研究规划了新射向下火箭飞行航迹和各子级残骸落区,相对以往,减少了一个陆上落区,将整流罩和二子级的落区均设计在海上,从而减轻了陆上落区安全保障的困难。新东南射向轨道设计方案既满足了工程对火箭运载能力的需求,也保证了工程对IGSO/MEO卫星部署的需要,再结合东射向发射GTO轨道设计技术,从而突破了实现不同轨道面星座组网卫星发射难题,为北斗二号卫星成功组网打下了坚实的基础。

2) 首次突破了双向风补偿技术。通过引入三档典型设计风场,改变火箭一级飞行段的俯仰程序角和偏航程序角以降低高空风引起的攻角和侧滑角方式,有效减小了火箭飞行中的气动载荷。双向风补偿技术既保证了火箭安全可靠飞行,又提高了火箭按时发射的概率。

3) 率先在长征系列运载火箭上采用起飞滚转定向技术。地面固定射向瞄准、起飞滚转技术有效解决原地面瞄准方向与射向不一致问题,减少了地面瞄准间的改造,充分利用了发射场现有资源,通过合理可靠的轨道滚动程序设计,实现了火箭多射向发射能力,满足了北斗二号工程对火箭组网任务不同射向的需求。

起飞滚转定向首先采用现有的光学瞄准方法及流程,对惯性平台按地面可用瞄准方位进行对准,然后对惯性平台滚动通道进行加矩,使得平台对实际的射面进行对准,待火箭飞出发射塔架后滚转箭体,使火箭的I—III象限线调整到要求的射面内,即实现箭体对空间方位的对准。火箭完成滚转定向后状态与通用的状态一致,能充分继承成熟的设计方式和设计成果,保证了发射和飞行可靠性。

4) 首次采用三级一次工作入轨方案。将入轨航程由约8 000 km减小约4 000 km,避免了采用三级两次工作模式下,星箭分离点位于澳大利亚中部上空,需要在澳大利亚领海外布设测量船或租用国外测量站的复杂、难以实现的测控模式。采用一次入轨方案,仅需一艘测量船即可完成入

轨段的测控任务,大大简化了测控方案,提高了测控可实现性和经济性,为工程顺利实施奠定了基础。

CZ-3A火箭执行了MEO试验星和IGSO轨道卫星的发射任务。

3.2 CZ-3B火箭

北斗二号卫星质量为2 t级,IGSO轨道卫星使用CZ-3A火箭发射即可满足工程任务要求。对于处于同一轨道面的MEO卫星使用CZ-3A火箭一箭一星发射有些浪费,使用CZ-3B火箭一箭双星发射就成了必然的选择。

基于任务要求,将CZ-3B之前采用的直径4 m整流罩、分体吊装状态,改为3.7 m整流罩、整体吊装的一箭双星状态,命名为CZ-3B/G1火箭,突破了大型卫星平台串联双星外支撑发射技术、低温末级整体吊仪器舱设计技术、双星联合操作流程优化技术、串联双星分离设计技术等多项关键技术,填补了我国高轨道一箭双星发射火箭系列型谱的空白。

首次采用双星串联外支撑技术,研制了整体吊整流罩,优化了火箭外形结构,降低了飞行气动载荷,提高了火箭运载能力,有利于分离系统设计,降低了发射场操作的复杂性,提高了产品组合化程度。CZ-3B/G1火箭外支撑串联双星发射结构如图3所示。

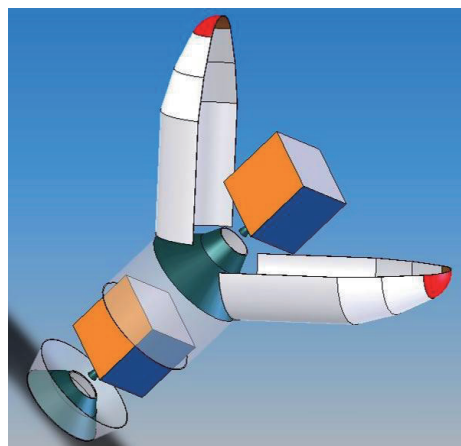


图3 CZ-3B/G1火箭外支撑串联双星发射结构

Fig. 3 Structure of tandem duo-satellites of LM-3B/G1 launch vehicle

突破了仪器舱的轻质化和低温防护设计技术,创新研制了基于K型梁结构的整体吊仪器舱,实现了低温环境下仪器舱的优化布局和仪器舱内空间的

合理有效利用。创新提出了基于大型卫星平台的串联双星安全分离设计技术,解决了双星分离和远场安全的技术难题,采用新的远场分析技术。

CZ-3B 火箭执行了北斗二号 MEO 轨道卫星的发射任务。

3.3 CZ-3C 火箭

北斗二号卫星工程发射 GTO 轨道卫星采用的运载火箭为 CZ-3C 火箭,有别于以往 GTO 轨道发射采用的火箭,它是我国第一枚非轴对称构型大型液体运载火箭。俯仰、偏航两个通道气动特性完全不同,姿态控制系统重新进行了设计,也是我国首型使用两个助推器的火箭。

CZ-3C 火箭执行了北斗二号 GEO 轨道卫星的发射任务。

3.4 低温运载火箭分布式远距离测试发射控制技术

2007 年,依托于北斗二号工程研制的 CZ-3A 系列火箭分布式远距离测试发射控制系统首次使用,适应低温火箭的特点,采用标准千兆以太网技术,通过架构冗余、设备冗余、线路冗余、端口冗余等设计,实现高可靠、低延时的数据传输^[4]。通过冗余网络对分系统进行管理和控制,达到集中控制、统一管理、信息资源共享的一体化目标,实现了全系统、全参数实时处理、发布、多点实时浏览监测、具备自动化指挥测试、无线信号光纤传输、无纸化网上判读、网络系统冗余设计和安全控制等功能,奠定了我国低温运载火箭远距离测发控系统的基础。

3.5 其他技术发展

在北斗二号工程任务中,CZ-3A 系列火箭开始应用双惯组+GNSS 组合导航技术,大大提高了火箭的飞行可靠性和入轨精度,在我国运载火箭率先采用三模卫星导航接收机,同时支持 GPS、GLONASS 和北斗二号卫星导航系统,GTO 轨道入轨精度的半长轴偏差由几十千米级提升到 10 千米级。

由于远洋测控船数量和布局的限制,发射 GEO 卫星的运载火箭在飞行时总存在一定的无线传输盲区,无法实时得到该时段火箭运行的信息。利用中继卫星系统克服了这一缺陷,可实时获得火箭全部飞行弧段的遥测数据。在北斗二号工程任务中,CZ-3A 系列在我国运载火箭中率先使用

了天基测量技术,遥测数据通过中继卫星实时传输,极大降低了测控船的压力,奠定了我国运载火箭应用天基测控技术的基础^[5],有效保证了北斗工程高密度发射任务的顺利实施。

4 北斗三号工程期间的技术发展

北斗三号系统是全球卫星导航系统,组网阶段通过 CZ-3B/YZ-1 火箭的 12 次发射将 24 颗 MEO 卫星直接发射入轨,通过 CZ-3B/G3 火箭的 6 次发射将 3 颗 GEO 卫星、3 颗 IGSO 卫星一箭一星发射至 GTO 轨道。

依托于北斗三号卫星工程建设,研制了我国第一型可搭配基础级火箭将中高轨卫星直接发射入轨的通用上面级,在 2015 年发射了北斗三号 IGSO 轨道试验星,推动了直接入轨导航卫星平台的技术发展,使我国具备了星座快速组网的能力。

4.1 CZ-3B/YZ-1、CZ-3C/YZ-1 火箭

根据北斗三号工程 MEO 卫星发射需求,研制了 CZ-3B/YZ-1 火箭和 CZ-3C/YZ-1 火箭,由基础级火箭和上面级组成。利用 CZ-3B 火箭将 YZ-1 上面级和两颗卫星一起送入 MTO 轨道,或者 CZ-3C 火箭将 YZ-1 上面级和一颗卫星一起送入 MTO 轨道,YZ-1 上面级经过长时间滑行后在远地点附近变轨将卫星直接送入 MEO 轨道^[6]。并联双星发射结构如图 4 所示。

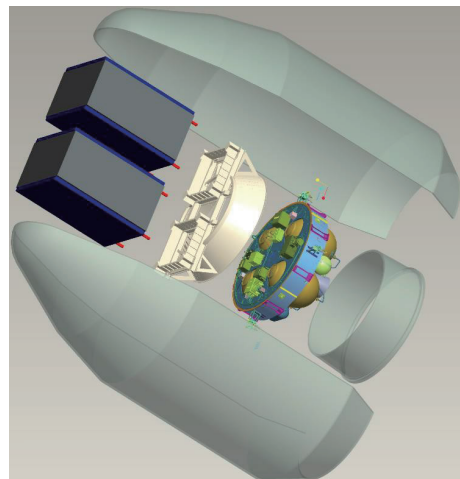


图 4 CZ-3B/YZ-1 并联双星发射结构

Fig. 4 Structure of parallel duo-satellites of LM-3B/YZ-1 launch vehicle

4.2 YZ-1 上面级

YZ-1 上面级以满足与 3.35 m 系列运载火箭组

合一箭双星直接入轨发射北斗三号 MEO 卫星任务为目标, 兼顾 IGSO 直接入轨任务为目标, 可实现多次起动, 能够直接将卫星送入 MEO、IGSO 等中高轨道, 具备快速轨道机动、多星发射能力的上面级, 是我国首个能够直接入轨发射中高轨航天器的通用上面级。

YZ-1 上面级任务性质介于运载器与航天器之间, 兼具运载器与航天器的技术特点; 工作时间长于运载火箭的几十分钟, 增长至 6.5 h, 经历与航天器相近的空间环境; 以自主导航为主, 地面测控方式为辅; 发动机可多次起动, 任务适应性强; 采用大推力发动机, 轨道机动能力强; 具备独立的电气系统, 使用灵活性、通用性强。

YZ-1 上面级由箭体结构、动力系统、控制系统、测量系统、热控系统、卫星供电系统组成。采用直筒段仪器舱仪器内装结构方案, 控制系统采用 1553B 总线、单机表(板)级冗余方案实现上面级飞行过程中的控制; 采用统一供电方案为控制、测量、热控系统供电; 测量系统采用非相干测量体制、Turbo 编码实现远距离、高码率的测量和测轨功能, 具备上行指令和数据进行弹道重规划能力^[7]; 采用以被动热控为主、主动电加热热控为辅实现飞行过程中的热环境控制。

目前, YZ-1 通用上面级还与 CZ-2C 火箭搭配执行 SSO 轨道卫星任务, 有效提高了 CZ-2C 火箭的运载能力。后续还将与 CZ-2F、CZ-7 火箭等搭配, 可以为用户提供不同轨道高度、不同入轨质量的发射服务。

4.3 其他技术发展

依托于我国北斗导航卫星特有的短报文功能, 开展了助推器残骸落点精准定位技术研究, 将之前短则几小时、长则大半月的残骸定位工作时间缩短到 30 min 之内, 获得了温度、姿态、过载和图像等大量数据, 为后续伞降落区控制奠定了坚实的基础。

在北斗三号工程的建设过程中, CZ-3A 系列火箭开展了统一构型和去任务化的工作。对 CZ-3B 和 CZ-3C 火箭各种构型进行了统一, 大幅提高了产品生产效率、技术状态控制和产品过程质量控制能力, 实现了运载火箭真正意义的组批投产。“去任务化”将发次代号与具体任务载荷名称脱钩, 实现了运载火箭部段级总装、整箭级测试、任务级替换, 解决了以往发射任务推迟后, 同时存在的已制品长期贮

存和新产品进度紧张的问题^[8-9]。

5 北斗工程发射任务分析

北斗工程对运载火箭提出了一型火箭多轨道面组网发射的要求, 需要 CZ-3A 系列火箭具备高、中轨道高度, 东射向、东南射向多方向的发射能力。为确保卫星组网速度, 降低工程建设成本, 在北斗二号工程任务期间研制了 CZ-3B/G1 构型火箭, 突破了外支撑串联双星发射技术; 在北斗三号工程任务期间研制了 CZ-3B/YZ-1 构型火箭, 突破了并联双星中轨道 MEO 直接发射入轨技术。在火箭结构设计、分离技术、环境控制等方面取得了重大技术突破, 对其他新型火箭的研制也有重要的借鉴意义。

CZ-3A 系列火箭发射北斗卫星任务统计情况如表 2 所示, 通过 44 发火箭完成了北斗全部三期工程的发射任务, 发射成功率达到 100%, 经过定量评估, CZ-3A 系列火箭的飞行可靠度超过了 0.95 (置信度 0.7), 达到了国际先进水平。2000 年 1 月—2020 年 7 月, CZ-3A 系列火箭共执行了 104 次发射任务, 北斗工程发射任务占比超过了 40%。发射北斗工程任务分年统计情况如图 5 所示, 在型号高密度发射任务期间, 北斗工程发射任务年度占比一般会达到 30%~40%, 其中 2018 年超过了 70%。

表 2 CZ-3A 系列火箭发射北斗卫星任务统计

Tab. 2 Launches of LM-3A series for Beidou missions

| 型号 | 北斗一号卫星 发射次数 | 北斗二号卫星 发射次数 | 北斗三号卫星 发射次数 (含试验星) | 合计 |
|-------|----------------|----------------|--------------------------|----|
| CZ-3A | 4 | 8 | 0 | 12 |
| CZ-3B | 0 | 2 | 18 发组网星 + 2 发试验星 | 22 |
| CZ-3C | 0 | 8 | 2 发试验星 | 10 |
| 合计 | 4 | 18 | 22 | 44 |

6 未来展望

CZ-3A 系列火箭为 20 世纪 80 年代启动研制的火箭, 通过持续不断的技术创新和可靠性成果的工程应用, 成为国内首个实现系列化、通用化、组合化的火箭, 综合技术性能已经达到了国内和国际先进的水平。

后续火箭将继续提高可靠性、安全性和任务

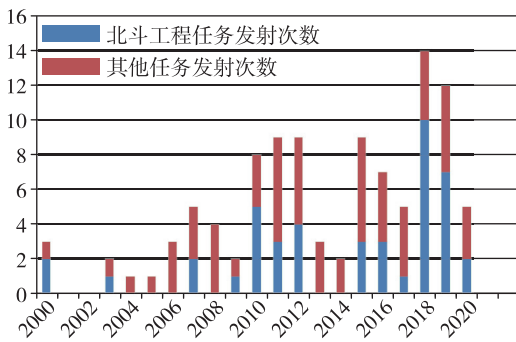


图5 CZ-3A系列火箭发射北斗工程任务分年统计

Fig.5 Annual launches of LM-3A series for Beidou mission

的适应能力,主要包括:

(1) 提高可靠性和安全性

受限于20世纪80年代的技术水平,CZ-3A系列火箭大量采用了非钝感火工品,虽然经过了上百次的飞行验证,但在可靠性安全性上还有提升的空间。后续将换用新一代火箭研制的钝感火工品,提高运输、测试、发射飞行过程中的抗电磁干扰能力;持续推进助推器伞降落区控制技术的研制,设置合理可行的安全目标落点,落区面积减至原来的10%;持续开展发射场流程优化,在密度发射的情况下,继续对发射场工作流程进行优化,提高发射流程自动化程度,降低射前前端人员总工时^[10]。

(2) 提高任务的适应能力

依托于北斗三号工程,研制了CZ-3B/YZ-1和CZ-3C/YZ-1两型四级火箭,使得火箭具备了中高轨道直接发射入轨的能力,进一步拓宽了火箭的任务适应能力,未来将在中高轨科学探测、深空探测、轨道转移、空间碎片清理和新技术验证等领域发挥重要作用。北斗工程高密度发射任务下技术状态、工艺状态固化,产品生产的一致性较好,为满足卫星用户的需求,对电气系统进行改

进,运载能力进一步挖潜,实现小幅提升。持续开展火箭去任务化工作,在助推器、一二级产品统一构型的基础上,实现全透波整流罩和仪器舱的构型统一。开展基于惯组信息的主动减载技术、主动段全导引控制技术和迭代制导技术研究,针对主发动机、未修和姿控发动机典型的故障工况,开展故障检测和发射轨道重构技术研究,提高飞行故障状态下的任务适应能力。推广应用无线传感系统,实现数据获取能力的快速配置。

参考文献

- [1] 李聃.长征三号乙运载火箭[J].导弹与航天运载技术,2005,276(3):3-8.
- [2] 刘建忠,李聃.长征三号丙运载火箭[J].中国航天,2008(8):11-13.
- [3] 鲁宇.中国运载火箭技术发展[J].宇航总体技术,2017,1(3):1-8.
- [4] 吕明,司群英,侯彦娇,等.基于国产网络设备的火箭地面测控网络平台设计[J].计算机测量与控制,2017,25(10):54-57+61.
- [5] 王家胜.中国数据中继卫星系统及其应用拓展[J].航天器工程,2013(1):1-6.
- [6] 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.
- [7] 王传魁,郑莉莉,解永锋,等.上面级适应初始大偏差轨道在线规划策略研究[J].宇航总体技术,2017,1(2):12-19.
- [8] 覃艺,金志强,贾大玲,等.运载火箭去任务化研究与实践[J].航天工业管理,2018(8):148-153.
- [9] 韩峰,孙岳,赵乐.适应去任务化组批投产的箭上电缆网研产模式研究与实践[J].航天工业管理,2017(8):90-92.
- [10] 刘立东,张亦朴,李聃,等.长三甲系列火箭发射研制技术[J].导弹与航天运载技术,2019(4):8-10+17.

引用格式:张亦朴,周天帅,刘立东,等.北斗专列—CZ-3A系列火箭发展回顾和未来展望[J].宇航总体技术,2020,4(6):16-22.

Citation: Zhang Y P, Zhou T S, Liu L D, et al. Development retrospect and future prospect of LM-3A series launch vehicle for Beidou missions [J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2020, 4(6): 16-22.