

## 2017 年国外载人航天发射场发展综述

2017 年国外载人航天发射场建设发展的重点仍在美国和俄罗斯。美国国家航空航天局(NASA)针对其新一代空间运载系统任务实施而开展肯尼迪航天中心现代化改造已进入最后的设施设备与试运行阶段,针对商业乘员项目的后续任务要求而重启和改建卡纳维拉尔角空军基地的 40、36 和 11 号发射场。俄罗斯新建的东方航天发射场进入第二阶段建设期,同时针对其未来空间运载系统的规划与实施而在拜科努尔航天发射场建造相应的发射工位。

### 一、美国肯尼迪航天中心进入最后的设施安装与试运行

#### (一)垂直总装厂房高跨间的十层工作平台已全部安装完毕

2 月, NASA 安装了肯尼迪航天中心(KSC)垂直总装厂房(VAB)3#高跨间(HB3)内 A 层北面半块工作平台,这意味着 K~A 共十层 20 个工作平台已全部安装完毕。这些工作平台通过 2 个重约 27.24 吨的轨道梁与 VAB 结构相连,并使工作平台沿运载火箭和航天器进行前后摆动。目前,这十层工作平台已进入运行测试。

#### (二)活动发射平台进入装配测试阶段

KSC 从 2016 年 11 月至 2017 年 7 月间的 9~10 个月里完成了 15 项脐带部件的生产,包括 8 个主支撑杆及 2 个备用件、2 个后裙段电子脐带、“猎户座”飞船服务舱脐带、主芯级前裙段脐带

(CSFSU)和主芯级箱间段脐带(CSITU)等。6月底将CSFSU安装到ML上,而CSITU已完成相关测试与包装,并通过水路运往ML建造区进行安装。8月进行了CSITU的安装。2个尾部服务塔脐带(TSMU)的测试准备评审已完成,并开始对其进行测试。火箭稳定装置(VS)处于测试中,进展良好。过渡低温推进级脐带(ICPSU)的测试准备评审已完成,已开始低温测试。9月底将乘员进入臂(CAA)直接运到ML建造区,年底直接运到VAB内后实施安装。

对于ML本身配置的一些辅助设备与部件,诸如低温系统和环境控制系统的钢制支撑、各种管线与电缆、配电柜、照相机、气动控制盘、地面特种电源、危险气体泄漏探测、KSC地面控制系统、发射释放系统、靶场安全控制系统、传感器/数据采集系统、热系统、气象系统、访问与通信系统等,目前已完成50%以上的安装,其中ML基座部分占75%,塔体部分占25%。

### **(三) 39B 发射工位的导流槽整修完成并安装新型导流器**

NASA和KSC针对SLS火箭发射任务需求,对39B发射工位导流槽进行了适应性改造,重新应用了93000块新型耐火砖,并拆除了原航天飞机时期的火焰导流器系统。7月,地面系统研制与运营(GSDO)项目部已完成发射台导流槽的修整,并开始安装导流器和消音系统的水管线。新研制的导流器形状类似于滑板的凸面斜坡,能直接将SLS火箭主芯级和SRB的火焰全部从一个方向排放到导流槽的另一端。该型导流器的表面压力能经受得住火焰排放后产生的高温,同时不会导致火焰羽烟回流。由于导流器的前部表面能经受得住火焰高温,而后部则是开放式结构,技术人员在发射后能易于进入到导流槽,这种可应用于SLS火箭和其他商业型火箭的通用型设计能使导流器的操作和维护更加简化高效。

#### **(四) 39B 发射工位应用新型液氢分离装置**

基于航天飞机与 SLS 火箭的不同设计特点，改造后的 39B 发射工位增加了氢排放系统的分离装置。航天飞机时期，技术人员需将冷却火箭发动机的液氢排放至火炬塔中进行加热汽化燃烧。虽然 SLS 火箭的发射仍使用液氢冷却发动机，但液氢用量较大，技术人员通过分析发现，排放至火炬塔中的液氢并没有完全呈汽化状态，因而采用了类似地面化粪池的设计，通过分离装置采集液氢，然后再将其加热汽化并输送到火炬塔中燃烧。

#### **(五) 39B 发射工位液氢/液氧低温罐进行燃料加注**

虽然液氢/液氧低温罐的燃料加注不属于目前的施工建设项目，但它是发射台处于运行状态的一个标志性事件，意味着 KSC 逐渐步入 EM-1 任务的发射保障阶段。两个储罐的燃料加注始于 9 月，约耗用 6 个月才能注满。耗用如此长的时间主要基于：一是两个储罐的容量高达 900000 加仑(约 4091400 升)，且使用的是槽车加注燃料，这就需要耗用大量时间；二是两个钢制储罐的温度均处于与佛罗里达州夏季高温同样的状态，技术人员需首先加注低温燃料以对储罐进行降温，而在这个过程中有大量液氢会蒸发掉，随后槽车不断向储罐补加液氢。

#### **(六) KSC 液氢应用演示验证装置的初期测试完成**

为期一年半的 KSC 新型“液氢应用演示验证装置”(GODU LH2)演示验证测试，分三个阶段依次按 IRAS 储罐的液氢设定量为 30%、60%和 90%，开始零损耗卸载与存储、零蒸发、氢液化和氢致密化等 4 项能力的演示验证试验。GODU LH2 装置及配套系统的研制与演示验证测试能在大规模氢液化与致密化理论、关键技术以及核心设备研制等方面取得更大突破，优化 KSC 的液氢运用与操作系统，从而降低液氢在发射场的过程操作成本，减少环境影响，提供高效的保障。

## 二、美国商业乘员项目配套的发射场陆续重启或改建

### (一) SpaceX 重启卡纳维拉尔角空军基地 40 号发射场

在经过 15 个月的恢复重建后，SpaceX 再次启用卡纳维拉尔角空军基地的 40 号发射场，并进行一次“猎鹰”9 火箭助推器的飞行验证静态点火试验。在重建 40 号发射场的过程中，SpaceX 将所积累的一些 KSC 39A 发射工位建设经验应用其中，此外还进行了大量的设计更新与设备升级，包括改进后的全新牵制夹紧装置、与 39A 发射工位的 TEL 具备同样转回功能的全新 TEL 以及全新的地面保障设备(GSE)的管道与电气和数据线。TEL 在发射 T-0 时的转回机动功能极大地提高了 SpaceX 实现发射工位的任务快速周转的能力。与重建前的 40 号发射场不同的是，新设计的转回机动功能可将 TEL 摆脱“猎鹰”9 火箭排放的火焰烟羽的影响，有效地保护了连接点构件、密封件和推进剂管线，由此可重复使用而无需像传统做法那样进行一次性更换。SpaceX 能在仅仅 10 个月内(2 月~11 月)完成发射场重建，这说明了该公司具备强大的从不可预见性意外事件中恢复的能力，发射台初始建造与设计的坚固耐用性以及发射场某些设备能够很好地经受住爆炸的破坏。

### (二) 联合发射联盟完成 41 号发射场逃逸系统的安装

美国联合发射联盟(ULA)日前在 4 月份完成了卡纳维拉尔角 41 号发射场乘员进入塔(CAT)的逃逸系统(EES)安装。由于 41 号发射场将分别为波音公司的“星际客船”飞船和内华山脉公司的“追梦者”飞船提供发射服务，两者在逃逸要求上存在一定的差异，因此在逃逸系统的设计上采用了类似 KSC 39 号发射场的传统

滑索与吊篮方案，并使用商业成品化的产品，在保证可靠性和安全性的同时以低成本、应用灵活的方式满足 ULA 的各项任务需求。

EES 能容纳 20 人(包括地面人员和航天员)。其逃逸滑索设在 CAT 的 12 层，高度距发射台约 52.4 米，能允许航天员快速地从运载火箭逃离至 408.4 米外的着落区。在着落区，每个滑索段都配置了长约 9.14 米的弹簧，以便在航天员(或工作人员)忘记执行制动时，能使其缓慢降落。逃逸系统的承包方还在 CAT 的北面安装了一个训练系统。

### **(三) 蓝源公司将改建卡纳维拉尔角空军基地 36、11 号发射场**

蓝源公司拟利用卡纳维拉尔角美国空军基地的 36 号和 11 号发射场实施其新一代“新格伦”运载火箭的测试与发射任务。蓝源公司将这两个发射场区域联合定名为轨道任务发射区(OLS)，在 36 号发射场建造的主要设施有发射台、组装厂房(长 152.4 米，宽 91.4 米，面积约 13935 平方米)、与发射相关的地面操作设施、整修厂房和地面保障设施(GSE)。在 11 号发射场建造的地面设施主要有发动机试车台、GSE、液氢、液氧、消音和消防用水箱等相关系统。

根据蓝源公司完成的环境评估报告显示，有关火箭一子级、二子级和有效载荷整流罩等大型部件将在该公司在 KSC 工业园区建造的新厂房内生产，完成运载火箭的硬件处理后，通过公路将其运送到 OLS。有效载荷则在 KSC 之外的操作保障区内建造。在完成主有效载荷的相关操作处理后，通过货车将其运送到 OLS，并在组装厂房内进行加注。在 OLS，技术人员首先将火箭一子级、二子级和三子级组装至运输起竖车上，然后安装助推器、有效载荷(或卫星)，最后对整个系统进行准备状态测试。完成上述操作后，将运载火箭和有效载荷组合体运送到距组装厂房约 610 米外

的发射台，起竖后等待发射。

由于“新格伦”运载火箭的一子级将回收再使用，因此蓝源公司在大西洋上的北纬 29° 42' 17.79" 和西经 71° 30' 53.01" 处划定了一个回收区，长 1013 千米，宽 708 千米。回收后的火箭芯级将被运送到位于 36 号发射场入口的整修厂房内。根据环境评估报告显示，试车台的导流槽设在东北偏北方向，倾斜度为 5°。设在试车台北面的蓄水池的尺寸约为 30.5 米×30.5 米。试车台能针对不同类型的发动机进行测试，最大运行时限为 500 秒，每个月能进行 9 次测试，总测试运行时限为 30 分钟。

### 三、俄罗斯东方航天发射场进入第二阶段建设期

2017 年，俄罗斯东方航天发射场第二阶段建设的相应工作已通过了全部专家评估，俄罗斯负责航天发射场事务的运营方——地面航天基础设施与设备中心(TsENKI)已确定东方航天发射场第二阶段建设(始于 2018 年)的承包商。

针对拟于 2022 年建造完工并投入运营的东方航天发射场“安加拉”火箭发射工位，俄罗斯拟投入 380 亿卢布(约 6.3 亿美元)的建设资金，不包括发射场技术设备的研发、制造与装配，有关信息表明“安加拉”发射工位的建设费用将会高达 580 亿卢布(约 9.68 亿美元)。此外，俄罗斯计划于 2025 年在东方航天发射场建设第二个“安加拉”火箭发射工位。

东方航天发射场从第三季度开始进入年度地面设施设备维护期，以为下次发射任务做准备。俄罗斯航天国家集团公司表示，工程技术人员将开展联合检测，替换活动勤务塔液压系统的油料，使压力气体接收装置充满并呈操作状态，此外还对推进剂加注设施进行整修。俄国家航天集团公司表示，发射场地面设施设备的年度维护对于运载火箭和航天技术的寿命周期是一项非常重要和关键的环节，这是俄罗斯所有发射场的惯例。

## 四、俄罗斯加大拜科努尔航天发射场新工位建设的投资

俄罗斯与哈萨克斯坦针对俄新一代运载火箭和载人飞船而拟在拜科努尔航天发射场联合建造的“拜捷列克”(Baiterek)发射区将耗资约 2.8 亿~3.1 亿美元。俄哈双方目前已完成了投资企划书的编制,并通过了有关专业和经济领域专家的评估,哈国家预算委员会正在对投资企划书进行审核批复,随后航天部门将正式开始可行性研究。拜捷列克公司已收到了俄罗斯航天国家集团公司公司提供的关键技术数据,这也意味着该建设项目已启动,而哈经济部已拨付了用于可行性研究的资金,而可行性研究工作拟于 2018 年 9 月完成。根据拟于今年 12 月完成调整和批准的该建设项目的技术路线图,“拜捷列克”发射区的首次测试发射将于 2022 年末实施。

俄罗斯航天部门表示,2017 年 11 月已启动“拜捷列克”发射区的方案设计。最初的发展规划是将“拜捷列克”发射区建造成一个商业性发射区,但在 2017 年 5 月俄罗斯决定采用“联盟”5 火箭发射新一代“联邦”号飞船后,该建设项目扩展了原规划功能,而俄方已对项目原计划进度进行了相应调整,并取消了原定的“天顶号”M 火箭发射区建设项目。目前,俄方即将完成有关“拜捷列克”发射区建设项目的政府部门间调整协议的正式批准,诸如新版“拜捷列克”发射区技术发展路线图的草案、项目实施条款等以及需向哈国提供的项目资金可行性研究报告的输入数据等。

此外,出于成本节省、技术方案利用的最优化以及与东方航天发射场并行使用的角度考虑,俄罗斯准备将拜科努尔航天发射场的原“天顶”号火箭发射工位升级改建成新型“凤凰”和“联盟”5 运载火箭的发射工位,并增加相应的投资,以加快发射工位的现代化改造。

俄罗斯总统普京在 2017 年高层欧亚经济委员会会议上表示，俄罗斯为了延长拜科努尔航天发射场的使用，将会尽快调整其未来的航天发展计划，包括东方航天发射场的使用计划，以便在哈萨克斯坦现有的航天发展项目框架下开展双方的技术合作。

## 五、结语

美国和俄罗斯在 2017 年里分别加快完成了对肯尼迪航天中心和东方航天发射场地面设施设备与系统的升级改造和新建工程，并取得了阶段性成果，为新一代空间运载系统及近期空间探索任务的顺利实施奠定了良好的基础。同时，不断根据各自和的航天发展战略规划，改扩建卡纳维拉尔角空军基地和拜科努尔等原有航天发射场的地面设施设备与系统，拓展任务支撑能力，以为未来的载人登月和火星探索提供更加强大的任务保障。