

## 2016 年国外载人航天发射场发展综述

2016 年，美国的肯尼迪航天中心(KSC)和俄罗斯的东方航天发射场仍是国外载人航天发射场建设发展的重点，并相应取得了阶段性成果和发射任务的顺利实施。

### 一、NASA 探索系统与商业乘员项目取得阶段性成果

#### (一) KSC 继续完善发射地面设施设备的适应性改造

##### 1. 39B 发射工位导流槽的升级改造

2016 年初，KSC 开始对 39B 发射工位的导流槽和导流器系统进行适应性改造。导流槽和导流器系统是 39B 发射工位适应性升级改造及实施活动发射平台在发射台的综合测试之前的最后一项任务。导流槽和新型导流器的设计研发为期一年多，而改造后的导流槽北侧长约 174.04 米、宽约 17.68 米、高约 12.80 米，而新型导流器则将火箭释放的烟羽、压力和热量转移到导流槽的北侧。

技术人员采用黏结砂浆和黏结锚固件将约 10 万块 3 种不同尺寸的耐火砖安装在导流槽墙体上。导流槽的南侧无耐火砖覆盖，只进行整修并保留混凝土面层。新研制的导流器将放置在原导流器位置南面约 1.83 米处，导流器的北侧采用 NASA 的一种标准防护涂层加以覆盖，而其南侧因无倾斜面故没有覆盖涂层。这种新设计方案将更易于导流器的检查、维护与修理。同时将航天飞机时期的 2 个导流器改为侧边导流器，安装在导流槽的两侧与发射台平面平齐，以减少发射火焰对发射台和 SLS 火箭的损伤。为适

应 SLS 火箭，发射台西侧地下掩体与主导流器之间的检修门移至他处，导流槽东侧新设一个开口，放置导流器喷洒系统的减压/消声系统的水管。导流槽的改造工程将于 2017 年 3 月完成。

## 2. 新研制的跟踪站系统完成装配

被称为“KSC 上行链路站”的新 S 波段地面跟踪天线设备经过近 3 年时间的安装，于 2016 年初装配完成。该系统设在 KSC 的工业园区，将与设在 KSC 北区的其他经改造的同型设备及佛罗里达州航天港的地面跟踪设备共同组成一个综合性地面跟踪系统，为航天发射任务提供重要通信保障。

新 S 波段地面跟踪天线是利用 NASA 研发和测试技术优势的一项创新合作成果，其系统结构是基于标准化飞行与地面接口而设计的，适应性非常高，除了为 SLS 火箭和“猎户座”飞船提供技术保障外，还可为 KSC 和卡纳维拉尔空军基地实施的民用、军用和商业发射任务提供技术保障。其最关键部件能为火箭-飞船间及 NASA 各中心之间进行不间断的通信数据传输。虽然 NASA 的地面站设在 KSC 或附近区域，但仍通过沃洛普斯飞行基地进行远程控制。

## 3. SLS 火箭的尾部服务塔进入建造阶段

KSC 从 2016 年 4 月起开始建造 SLS 火箭的尾部服务塔脐带 (TSMUs)。TSMUs 仍将沿用“阿波罗”登月项目研发的“向上倾斜”式设计，总重可达 54.4 吨。NASA 的技术研发团队针对 SLS 火箭特点，采用气动缩回操作系统将脐带板与 SLS 火箭进行分离，然后缩回脐带支架并关闭防护罩门以对脐带和连接装置进行保护。

技术人员随后在 KSC 发射设备测试厂房 (LETF) 内对 TSMU 进行应用测试。主要通过使用 LETF 的火箭移动模拟装置 (VMS) 对 TSMUs 及配套设备的应力与运行状态进行准确模拟，同时还对 TSMUs 的操作程序与容积进行评估。

#### 4. NASA 为 SLS 火箭建造新型测试装置

2016 年 4 月，NASA 针对 SLS 火箭的主芯级燃料箱和发动机在马歇尔航天飞行中心 (MSFC) 建造新型荷载测试装置。这两个高度分别约为 18.9 米和 16.8 米的测试装置属于 MSFC 结构与环境测试实验室的一部分，位于多功能高跨间型测试厂房附属建筑内。2016 年底建造完上述两个测试装置后，还将建造 2 个用于测试主芯级液氢和液氧箱的结构性荷载的新测试台及其配套硬件。

#### 5. KSC 垂直总装厂房工作平台完成 50% 的安装

2016 年 8 月，垂直总装厂房 (VAB) 3# 高跨区内的 F 工作平台的安装完成，这也意味着 VAB 适应性改造的 10 层工作平台已完成一半。NASA 设在 KSC 的地面系统研制与运营部 (GSDO) 表示，目前所完成的五层工作平台 (K、J、H、G、F) 将可使技术人员进入到 SLS 火箭的助推器安装接头、前裙段、主芯级箱间段脐带和接口板等部位。其余五层工作平台应会在 2017 年春季全部完成，而 2016 年末将按从 K 至 A 的顺序对工作平台展开测试。

#### 6. 首个新建 SLS 火箭试车台主体完工

2016 年 9 月，设在马歇尔航天飞行中心的西部测试区、用于 SLS 火箭测试的编号为 4697 试车台建造完成。技术人员耗用 2 个月左右的时间为试车台安装全部设备，主要包括：液体传输和压力系统、液压与电子控制与数据系统、光纤电缆及配套仪表等。其他供给管线和诸如氮和高纯净空气的测试气体管线都将连接至试车台。

#### 7. 国际空间站操作厂房完成适应性升级改造

2016 年 11 月，KSC 对用于国际空间站 (ISS) 各类设施操作、测试和组装的操作厂房完成适应性升级改造。ISS 操作厂房的高跨区放置的 ISS 设备包括：为乘员提供呼吸空气的储罐高压系统、第 3 个空间站接驳适配器。此外，在高跨区的工作区域集中了更多的工程技术人员和专家，以帮助商业航天企业完成相应的软硬

件操作。

由于配置了新型设备，高跨区的操作空间与灵活性更大。对于 NASA 的商业用户而言，在该厂房内得到与工业操作园区一样的有效管理和充分准备，并能与 NASA 其他空间探索项目相结合开展各自的任务。

## **(二) 商业乘员项目加快地面设施建设与测试**

### **1. 波音“星际客车”飞船乘员进入塔主体框架建造完成**

2016 年 1 月，波音与联合发射联盟(ULA)在卡纳维拉尔角空军基地(CCAFS)41 号发射台完成“星际客车”飞船第一个乘员进入塔的主体框架的建造。该进入塔将比 KSC 的 39 号发射台的乘员进入塔更加宽阔、开放，空间更加舒适。地面保障人员和飞行乘员的逃离系统能使人员在不到一分钟的时间里从塔顶安全返回地面。该设施采用的模块化设计可使技术人员能在发射台之外建造较大的部件，然后用卡车将相关部件运抵 41 号发射台，最后在发射任务实施前完成相应组装并投入应用。整个进入塔的建造工程则于 2016 年秋季完成。

“星际客车”飞船乘员进入塔将是自 20 世纪 60 年代以来在 CCAFS 建造的第一个载人型设施，因此对于美国载人航天任务而言意义重大。一旦该乘员进入塔投入使用，41 号发射台将成为载人航天飞行任务新时代中重要的组成部分，可有效地保障国际空间站的乘员飞行测试与相关任务。

3 月，技术人员对乘员进入臂进行喷水系统测试。喷水系统是保障“星际客车”未来发射任务安全性的重要作用因子。喷水系统测试主要模拟在发生紧急情况时，发射台上的水系统需完成的操作事项。

### **2. 波音“星际客车”飞船完成在 KSC 的首次组装**

2016 年 5 月，波音公司在 KSC 商业乘员与货物操作厂房(CCCPF)3#高跨间，完成了其“星际客车”飞船的船体结构测试件

(STA)的首次组装对接。STA 的组装对接对于波音是一个里程碑事件，标志着它可在原航天飞机的操作机库里进行飞船的加工制造。

波音针对“星际客车”的飞船的制造工艺方法进行重构，其中一项是有关飞船的电气与数据线缆。针对新一代的“星际客车”飞船，波音改变了设计与操作策略，飞船压力舱的配套管线则全部自行研制，从而在实施飞船的两个结构件对接测试时，配套管线早已先期就位，如此节省了工程技术人员的大量操作时间。此次组装工作对 NASA 来说也同样意义重大，意味着它可以继续实施 KSC 的多功能化航天港转型发展。

### 3. 波音公司建成商业航天员训练中心

波音公司结合 NASA 商业乘员项目的发展需求，建成的航天员训练中心并于 6 月 21 投入使用。该中心的正式名称为空间训练、分析与评估设施(STAR)，距 NASA 的约翰逊航天中心(JSC)数千米。波音公司将 STAR 与其设置在 JSC 的其他模拟训练设备配套使用。

波音公司表示，这些模拟训练设施设备不仅能使航天员针对空间探索任务的发射、飞行和着陆等各实施过程开展相应的训练，还可与 JSC 的任务控制中心(MCC)内的控制操纵台相连接，以开展航天员和任务控制人员的综合性任务模拟训练。

## (三) NASA 针对 EM - 1 任务开展各项设施测试与评估

### 1. NASA 完成 KSC 地面基础设施及保障系统的评审

2016 年 3 月，NASA 圆满完成了 SLS 火箭与“猎户座”飞船的基础设施和地面保障系统计划的综合性评审，这使“火星之旅”计划达到了又一个里程碑。

### 2. KSC 完成 VAB 工作平台的首次加电测试

2016 年 5 月，KSC 顺利地实施 VAB3#高跨间内的 2 块 J 层工

作平台的加电启动，以对其功能进行测试，并就其如何围合 SLS 火箭的过程进行了模拟。在该首次测试中，工程技术人员对工作平台两侧导轨上的 2 台独立式电机和链式装置（亦称“驱动链导轨激励装置”）进行测试，验证其功能可正常地实现。在进行伸展测试时，每块工作平台通过设置在其两侧的 4 个轧辊进行滑动（类似于厨房抽屉的内外滑动）。此外，技术人员还对工作平台的机械铰链盘进行了测试。此次测试的成功对于 GSDO 技术团队意味着 VAB 的适应性改造达到了一个里程碑，可随时为运抵 KSC 的飞行硬件实施组装、测试与发射。本次测试完成后，其他工作平台也将开展相同的测试，以确保全部发射平台均可为首次发射任务提供有效保障。

### 3. NASA 公布 SLS 火箭发射任务倒计时程序初步方案

SLS 火箭首发任务的倒计时程序是与 SLS 火箭和“猎户座”飞船研制以及 KSC 地面发射设施设备适应性改造工程同步进行的，虽然目前进展顺利，但仍会根据 SLS 火箭及相关系统的不断成熟与完善予以调整。

目前的发射倒计时暂定为 45 小时 40 分钟。倒计时程序中设定了 2 个暂停期：一个是在加注前，以确认火箭可否进行加注，另一个是在 T10 分钟前，有 30 分钟的暂停，以确定发射窗口能否保证进入最后倒计时的准备状态。发射前一天的工作包括：“猎户座”飞船的吊装、指挥系统检查、通信和导航系统检查；加注前的准备工作，包括推进剂贮存区的准备、气动检查、发动机的准备等；之后检查发射台和尾焰导流板等；最后是操作平台撤离发射台。在执行实际发射倒计时之前，发射团队会进行一次火箭发射演练，演练自火箭从垂直总装厂房移向 39B 发射台开始，到芯级发动机点火前结束（T-9.34 秒）演练旨在检验火箭和发射流程是否符合实际发射的要求，检查火箭在倒计时阶段和自动发射控制阶段出现紧急问题时的应急操作。

在发射日当天，发射主管将在 KSC 发射控制中心(LCC)的 1 号点火控制间对发射倒计时程序进行监控，在实施倒计时程序的第 2 个暂停时，将召集发射团队和任务管理人员对是否执行最后倒计时程序发射进行决策。

#### 4. NASA 针对 SLS Block1B 火箭任务进行地面设施评估

由于应用新一代探索上面级(EUS)的 SLS Block1B 型火箭运载能力大幅提升和火箭高度的增加，NASA 开始对 KSC 的地面发射操作设施系统进行适应性评估与改进，并已对外征集相关方案。需改进的主要设施包括：

(1)活动发射平台(ML)。ML 将是 SLS Block1B 型火箭首飞任务适应性改造工程的重要部分。研究分析显示，对 ML 的改造期需耗用约 19 个月，而一些 KSC 地面系统的技术人员则表示可能会长达 3 年，耗资将达 1.5 亿美元。主要适应性改进包括：主芯级前裙脐带(CSFSU)相关的部件(如乘员进入臂等)、ML 约 67.056 米高度以上的所有地面保障设备(GSE)系统的设计安装及大量电缆应用的演示验证与重新加工，以及因重量增加而需开展的塔体结构验证。

(2)发射台。由于液氢的储存用量需考虑发射中止与返回技术区因素，在箭上的液氢需重新排放回至储罐的情况下，储罐内的液氢将因损耗而短缺 1500180 升用量，从而无法有效保障后续 24~48 小时的再次发射。拟为 SLS Block1B 型火箭增加建造一个容量为 6364400 升的液氢储罐。而对于未来的 SLS 2 型火箭，NASA 仍需建造一个容量为 13638000 升的液氢储罐。

## 二、俄罗斯东方航天发射场正式投入运营

2016 年 4 月，俄罗斯新建的东方航天发射场成功实施了首次发射任务，各类地面设施设备在任务实施过程中运行状态良好。

## **(一) 处于完善阶段的地面设施为发射任务提供有效保障**

3 月，俄罗斯东方航天发射场进行了综合性测试。这是一次“预行驶性”测试，主要是针对“联盟”2-1a 火箭没有加注燃料的状态下，对发射台及相应的发射方法与系统而开展的一系列检测与测试。测试结果表明各系统与设施状态均正常。

在首次发射任务实施之前，东方航天发射场第一阶段的建设工程仍处于完善状态。施工方在发射前修整道路、开拓人行道、布置园林景观等，同时在场区内修建了数个观看台以观测首次发射任务。此外还继续建造未涉及首次发射任务的场区设施，如：火箭燃料零部件储存区、气象观测站、第二阶段的工业园区与维修站、住宅区等。

## **(二) 火箭残骸在西伯利亚地区顺利回收**

“联盟”2-1a 火箭的全部 4 个助推器均坠落在距东方航天发射场北部约 350 千米处的结雅镇和腾达镇附近。而火箭主芯级则坠落在距发射场北部约 1400 千米处的维柳伊斯克镇附近。搜寻人员采集了坠落残骸周围的积雪与土壤样本，分析结果显示，火箭芯级燃烧的残骸并没有对环境造成负面影响。

## **(三) 俄联邦政府已批准第二阶段的建设预算**

目前，俄联邦政府已批准了东方航天发射场第二阶段的建设预算，从 2017—2019 年约每年划拨 250 亿~300 亿卢布(3.828 亿~4.59 亿美元)。虽然第二阶段建设预算没有预期的多，但随着建造包括齐奥尔科夫斯基城和机场在内的新的大型地面基础设施，从 2020 年起，东方航天发射场的资金将会大幅增加，然而这仍会依据俄罗斯的经济状况而有待确定。2017 年下半年将开始东方航天发射场的第二阶段建造施工。

按照普京总统的要求，东方航天发射场的基础设施建设应于



2021 年前完成，以便实施采用“安加拉”运载火箭的首次无人发射和 2023 年的首次载人发射任务。因此，2019 年将开始建造“安加拉”火箭区和航天员准备区。俄罗斯联邦航天局表示，目前已对东方航天发射场的建设计划进行了调整，将一些暂时不需要的地面设施延后施工。

### 三、结语

一年来，美国和俄罗斯不断根据各自航天发展规划，各自加快完成对肯尼迪航天中心和东方航天发射场地面设施系统的升级改造和新建工程，并相应取得了阶段性成果，保证了发射任务的顺利实施，同时进一步明确了后续发展方向，这为推动未来空间探索目标奠定了良好的基础。此过程中应用的先进技术与理论值得我国发射场未来建设发展借鉴与参考。

(北京特种工程设计研究院)