

法属圭亚那航天中心“联盟”号发射场

2011年10月21日,俄罗斯的新型“联盟”-ST运载火箭在法属圭亚那航天中心(CGS)新建造的“联盟”号发射场进行了首次发射。这是国际航天合作发展的一个双赢局面,欧洲获得了世界上最可靠的中型运载火箭,俄罗斯获得了从赤道地区实施航天发射任务的机会,从而提高了入轨有效载荷的能力。

一、发射场建设发展历程

(一) 项目背景

开发和利用太空,是一项技术高、投资巨、风险大的庞大复杂系统工程,单凭一个国家的科技实力和经济实力往往难以胜任,开展更广范围、更深层次、更高水平的国际合作是世界航天领域的重要发展趋势之一。欧洲航天局(ESA)与俄罗斯联邦航天局(RSA)之间的航天国际合作初始于苏联解体之后。两者开展航天合作主要基于以下因素:

ESA方面,一是阿里安航天有限公司(下称阿里安公司)近年来缺少中型运载火箭来满足4吨以下地球同步转移轨道卫星的发射需求,而俄罗斯的运载火箭种类多样,功能齐全,可以满足各种发射需求,选择余地很大;二是欧洲航天局至今还未掌握载人航天技术,通过与俄罗斯的合作,可以迅速掌握这方面的相关技术。

RSA方面,一是在航天技术研发上一直缺乏相应的资金,寻求对外合作可以获得更多的资金来继续保持俄罗斯的航天大国地位;

二是在苏联解体后,开展包括载人飞行任务在内的大型火箭发射任务都必须租用位于哈萨克斯坦境内的拜科努尔发射场,每年租金达 1.15 亿美元,而且由于俄罗斯所处的地理纬度,使其一直在寻求建造地理位置更好的发射场,以便能提高运载火箭的运载能力,而“联盟”号火箭从 CSG 发射,其有效载荷将由原来的 1.5 吨增加到 4 吨,并能达到在拜科努尔发射场无法实现的轨道倾角。

1996 年,阿里安公司与 RSA 联合成立了一家名为斯达西姆公司(STARSEM)的独立实体发射服务公司,主要使用“联盟”号火箭提供商业化发射服务。先后在拜科努尔发射场实施了 23 次“联盟”号火箭的商业发射任务,而“联盟—库鲁”项目就是在这种合作需求条件下形成的。ESA 于 1998 年初开始“联盟”号火箭在 CSG 实施发射的可行性研究,2004 年正式启动该项目。

(二) 合作协议框架

2003 年 7 月,RSA 与 ESA 正式签署协议,将“联盟”号火箭发射项目引入 CSG。2005 年初正式签署实施合同。

1. 组织机构

按照“联盟—库鲁”合作方案框架的要求,ESA 为该项目的管理者,将“联盟”号发射场交由阿里安公司使用,并任命法国国家空间研究中心(CNES)作为该项目的总承包商。CNES 负责项目的系统架构及“联盟”发射场的设计、开发与管理。阿里安公司负责管理俄罗斯方面的系统,并在开发阶段负责协调和保障俄罗斯各公司的工作,在发射场使用阶段,负责“联盟”号火箭的各项操作任务。

RSA 负责“联盟—库鲁”项目的俄罗斯部分,并负责协调参与该项目中俄罗斯公司间的各项事务。参与该项目的俄罗斯公司主要包括:进步—萨马拉航天中心负责“联盟”号火箭一、二、三子级和整流罩的设计、研究与制造,拉沃奇金科研生产联合体(NPO Lavotchkine)负责“弗雷盖特”(Fregat)上面级的制造、组装与发射操作,TsENKI 工业控股公司负责制定发射计划及系统工程、“联盟”号火

箭发射台设计、发射台及相关场区设施的技术与使用管理。

2. 研发费用

“联盟”号火箭发射系统在 CSG 的总投资费用约达 4.679 亿欧元。ESA 的 7 个参与国投资 3.419 亿欧元(资金比重为:法国 58%,德国 10%~15%,意大利 12%,比利时 6%,奥地利 4%~5%,其他国家占 0~10%),阿里安公司投资 1.21 亿欧元,其余由欧共同体负责。

主要成本项目包括:欧洲各公司在法属圭亚那开发地面段的基础设施;“联盟”号火箭适应 CNES 和 CSG 条例所做的调整;俄罗斯设施设备的研制、制造和运输,以及企业管理和 ESA 内部成本。

ESA 作为第三方负责管理由投资方联营的初始资金。一旦发射场各项地面操作设施建设完工并投入使用,阿里安公司将在 10 年的租用合同框架下开发和利用发射场,进一步占领国际商业发射市场。

(三) 场区建造概况

ESA 在 2003 年 7 月与 RSA 完成合作协议的签署后,开始着手进行发射场的选址与地质勘察工作。

2004 年初,完成发射场的地质勘察。

2005 年 4 月 26 日,正式开始建造发射台。同年夏末,开挖发射台的土方。

2006 年,开始修建导流槽、发射平台、火箭组装厂房(MIK)和发射控制中心。

2007 年 2 月 26 日,开始正式的发射场施工建设。

2008 年 5 月,导流槽以及 MIK 的框架完成。年中,俄罗斯的技术人员进驻 CSG,开始进行发射台、活动勤务塔、加注系统和测试台的装配工作。10 月,在通过了地面设施的验收评审后,ESA 接手并转交给 CNES 进行后续的技术鉴定。同年开始活动勤务塔金属构件的生产。

2009年11月,首批两枚“联盟”号火箭通过ESA的MN Colibri运输船运抵发射场。

2010年初,由于活动勤务塔的交付与组装问题,导致首发任务再一次延期,直至4月,才开始勤务塔的组装。5月,开始火箭的组装。9月,完成活动勤务塔的装配。10月,实施了液氧推进剂在发射台的验证测试。

2011年初,项目各成员确定发射日期。3月,在完成了对发射场的最后验收评审后,CNES将地面设施移交给ESA。3月31日,ESA将发射场移交给阿里安公司,该公司在4月29日至5月5日间进行了一次模拟发射任务。5月7日,ESA正式将“联盟”号发射场交给阿里安公司。随后开始进行“联盟”号火箭在CSG的首次发射任务。

二、主要地面设施布局与组成

(一) 地理位置与布局

“联盟”号发射场设在“阿里安”5火箭发射场西北约13千米,距库鲁城27千米,距锡纳马里镇18千米,占地面积120公顷。地理坐标为北纬 $5^{\circ}18'18''$,西经 $52^{\circ}50'04''$,更靠近赤道。该发射场的行政管辖隶属于锡纳马里镇。

在此位置上建立发射场主要基于以下几方面的考虑:

① 发射场地处花岗岩之上,可以开凿排放燃烧气体的排焰道,减少钢筋混凝土的建设费用;

② 由于新建发射场远离第三发射场和“织女星”火箭发射场,降低了操作的限制条件;

③ 为今后实施载人航天飞行任务留有足够的发展空间。

“联盟”号发射场由2个区域组成:一个是包括发射台在内的前区,即发射区;一个是包括运载火箭组装厂房在内的后区,即准备区。两区相距约700米,由铁轨相连。

(二) 主要地面设施设备

“联盟”号发射场的主要地面设施包括:火箭组装厂房、有效载荷处理设施、发射控制中心、发射工位(含发射台、活动勤务塔、导流槽等)以及铁轨系统。

1. 火箭组装厂房

火箭组装厂房(MIK)主要用于“联盟”号火箭的3个子级和Fregat上面级的贮存、组装和测试。该厂房与设在拜科努尔和普列谢茨克发射场的“联盟”号火箭组装厂房相类似。

MIK长92米、宽41米、高22米,内设2台移动式起重机、1个用来移动和组装火箭子级的铁轨系统。火箭在这里完成水平组装和检查。“联盟”号火箭的运输/起竖车存放在MIK内。一旦火箭在厂房内完成水平组装,2台高架起重机将火箭置于运输/起竖车的顶部。车顶还设1个黄色环状装置,当火箭从水平位置滑出时起到支撑作用。然后运输/起竖车通过铁轨将水平组装好的“联盟”号火箭转运至发射台。厂房内不进行航天器操作或联合操作。

MIK的后侧区域主要放置包括空调与供电系统、远距离通信楼在内的保障设施等。

2. 有效载荷处理设施

“联盟”号发射场的有效载荷操作是在圭亚那航天中心的S1~S5区内展开的,其中S3区结合“联盟”号火箭发射任务被称为危险操作厂房/上面组合体对接厂房(HPF/UCIF)。

S3区的S3B厂房为上面组合体对接厂房(UCIF),主要用于航天器与支架以及Fregat上面级的组装,然后以垂直状态进行整流罩封装。操作大厅面积为20米×20米,起重机轨道下方有19米的净空。气闸室的大门为6米×18米。

3. 发射控制中心

“联盟”号火箭的发射控制中心距发射台约1千米,是一个面积为420米²的三层建筑,建筑墙体80厘米厚,其安全设计可经受火

箭出现故障时产生的冲击以及从 40 米高空落下的重达 3 吨的物体。该中心主要用于放置操作设备,设有发射席和发射台监控设备,可容纳 80 名~100 名工作人员(包括运载火箭工作组)。

运载火箭操作团队通过发射控制中心实施最后发射准备和发射,监控火箭的健康状况,以及火箭和发射台的准备情况。发射控制中心与 CSG 的操作通信网相连,可执行倒计时自动程序。

4. 发射台

“联盟”号火箭的发射台为混凝土结构体,长 63.5 米、宽 45.3 米,深 16 米,共分为 5 层,设有为整流罩提供洁净空气的空调系统。发射台由金属支撑结构加上配有支撑臂的发射台,以及用于火箭准备、与上面组合体组装及发射的活动勤务塔组成(见图 1)。

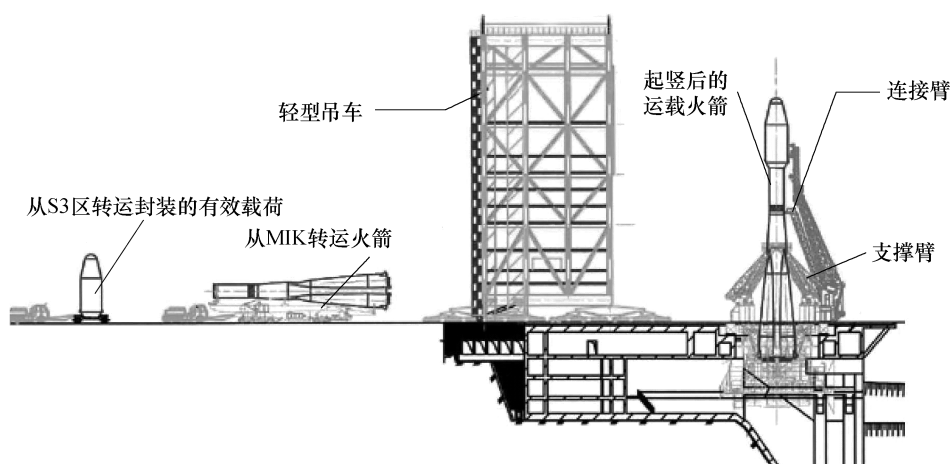


图 1 “联盟号”火箭发射台结构示意图

支撑臂和发射台勤务设备与拜科努尔和普列谢茨克发射场的“联盟”号火箭发射台相同。安装在发射台上的 4 个主要支撑臂处于闭合状态,在“联盟”号火箭的“腰部”形成一个支撑环,将火箭悬至发射台之上。在发射程序期间,火箭起飞时的向上运动可以减少支撑环上的负载,安装在每个支撑臂基座上的平衡体可将 4 个支撑臂向外打开。4 个支撑臂就像 4 个“郁金香花瓣”,呈半开(倾斜)状态,火箭向上动作时,由平衡体提供动力。起飞时,“联盟”号火箭向

上运动时减少了支撑臂的负载,在底部平衡物的拉动下向外摆动。在底部平衡体的拉动下向外摆动,使支撑臂向外打开,支撑臂上面的V形部分作为支撑环的一段,也可当作工作平台,地面工作可通过它进入运载火箭。

脐带臂位于2根后部支撑臂的正后方,主要为Block A芯级、Block I三子级以及Fregat上面级和火箭的有效载荷服务。2个脐带臂呈升起姿态矗立在发射台上。稍短一些的为“联盟”号Block A的芯级所用。稍大的脐带臂主要为Block I三子级以及Fregat上面级和火箭的有效载荷提供液体和电气连接。

发射台两层的顶部开有1个15米宽的圆孔,内设4个三角形导向装置,用来连接“联盟”号火箭4个捆绑式助推器,处于悬浮状态的火箭以此来保持下部稳定,直至起飞发射。延伸进圆孔的其他2个支撑臂为“联盟”号火箭助推器和Block A芯级提供供电脐带管线。发射台的上面区域为发射台基础设施,包括勤务塔、燃料加注的供管和起竖车。

发射平台上层下面设一平台,作为“联盟”号火箭的“服务舱”,最后倒计时和发动机点火时无需经过圆孔就可移动服务舱。服务舱内有操作设备,通过服务舱可进入火箭的下部。

在发射平台下5.4米处的两个发射台用户间内放置用户的终端检测设备(COTE)。阿里安公司负责设备接口,提供至少2层抗震架。这些操作间在发射期间不允许进入。

5. 活动勤务塔

活动勤务塔高52米、宽24米,塔体重约800吨,属于轻型勤务塔。该塔内部工作平台的高度可达36米,配置了用于安装上面组合体的移动式高架起重机,并为与上面组合体和卫星相关的所有活动建造了防护工作间。金属构造的勤务塔可保护火箭免受外部气候的影响。可进入火箭各个子级(包括上面级在内)进行所有与组装和控制相关的操作。最后发射程序之前,勤务塔将通过双铁轨行

驶 80 米移至停泊位置。

6. 导流槽

导流槽长 129 米、宽 149 米,开挖深度为 25 米,其中 21 米是在海平面以下,总容积为 200000 米³。导流槽采用花岗岩材料,一方面能够增强发射台的稳定性(发射台的下部台体就重达 1900 吨),另一方面可较好地排放火箭起飞时的喷射气流以及收集和清除喷射到发射台的水。

7. 铁轨系统

铁轨系统长 700 米,主要用于保障“联盟”号火箭在 MIK 和发射台的操作。铁轨系统中的直线轨道可使矗立在起竖运输车上的火箭从 MIK 驶向发射台,弯形轨道主要用于槽车运送煤油推进剂。

8. 其他设施

“联盟”号火箭发射工位四周设 4 个大型避雷塔,并在发射台周围安装了 4 个照明灯柱。

火箭推进剂储存和放泄区与发射台之间处于安全距离。煤油、过氧化氢、液氧、液氮和压缩气体存放在特殊区域内。距发射台约 200 米处还设有一些地面保障设备厂房,保护地面勤务设备和其他相关设备,如氢、氮压缩机、火箭电池充电器、空调设备以及发电机等。

(三) 工作区环境操作要求

表 1 为“联盟”号发射场场区内各地面设施内的温度、湿度与洁净度要求。

表 1 “联盟”号发射场不同工作区的温度、湿度和洁净度

名称	微粒洁净度	有机物洁净度	温度	相对湿度
PPF/HPF &UCIF 洁净厅	8 级(10 万级*)	ESA 标准**	23℃ ±2℃	55% ±5%
HPF(S2 - S4) 大厅	不适用	不适用	23℃ ±2℃	不适用

法属圭亚那航天中心“联盟”号发射场

名称	微粒洁净度	有机物洁净度	温度	相对湿度
CCU	8 级(10 万级*)	ESA 标准**	CCU2 容器 T < 27℃ CCU3 容器 T 23℃ ± 2℃	55% ± 5%
发射台内 工作间			< 27℃	
发射台内用户 专用间	不适用	不适用		
注： ① PPF—有效载荷操作厂房,HPF—危险操作厂房,CCU—有效载荷容器,UCIF—上面组合体组装厂房； ② * 为美国标准 209D； ③ ** 根据 2000 年 12 月阿里安公司的 GRCO - 36 版本(污染物 < 2. 10 ⁻⁷ 克/厘米 ² /周)。				

三、发射操作要求

(一) 组织管理模式

在“联盟号”发射场实施发射任务操作期间,卫星/有效载荷用户与任务主任协调,项目主任负责非操作性工作。靶场操作经理与任务主任协调,并负责与用户保障有关的所有靶场工作。“联盟”号火箭发射任务组织结构见图 2。

(二) 发射操作流程

与俄罗斯传统的火箭与航天器整体水平运往发射台的操作模式不同,在 CSG,“联盟”号火箭先被水平运至发射台,并在发射台起竖至垂直发射位置。上面组合体随后转运至发射台,垂直吊装至火箭顶部。载有有效载荷的整流罩将于发射前在发射工位直接安装在“联盟”号运载火箭第三子级上,而火箭在整个操作过程中都呈垂直状态。固定塔架上的旋转工作平台设有一个封闭的工作间,这使

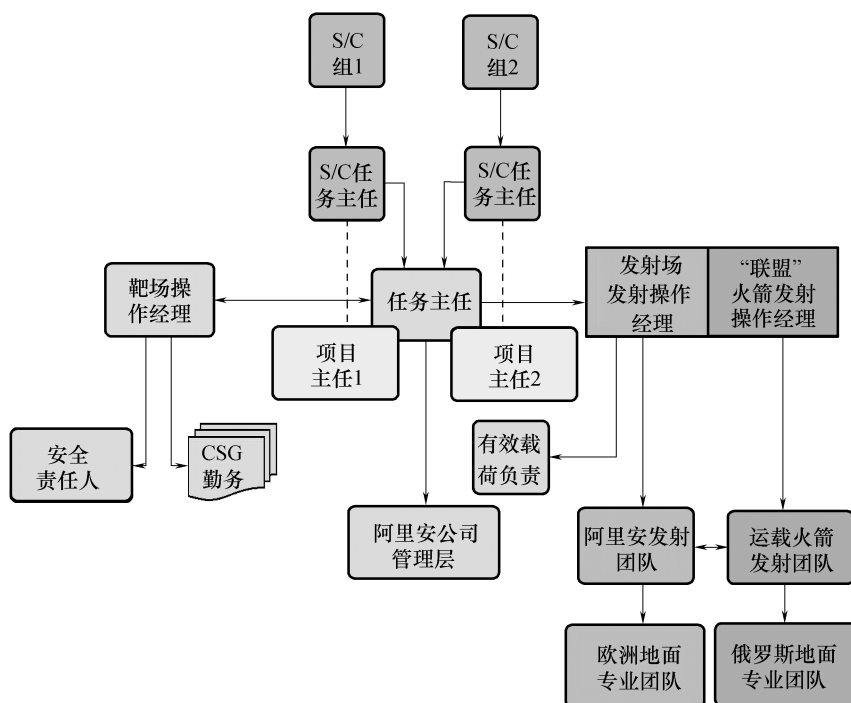


图2 “联盟号”火箭发射任务组织结构示意图

S/C—卫星/有效载荷(spacecraft)

得工作人员可以更加灵活地工作。“联盟”号发射场地面操作流程见图3。

（三）运输保障

在CSG实施发射的“联盟”火箭各部件以及Fregat上面级分别在俄罗斯的萨马拉航天中心和拉沃奇金科研生产联合体研制。其运输方案是通过铁路将火箭各部件和上面级运至圣彼得堡港,经过5天、2760千米的行程抵达法国的Le Havre港,转装法国运输船后,再航行11天、7060千米,横穿大西洋,抵达库鲁的Pariacabo港,然后再通过公路运至发射场。

四、“联盟”ST VS01发射任务

为了能够顺利地实施“联盟”号火箭在CSG的首发任务,以及

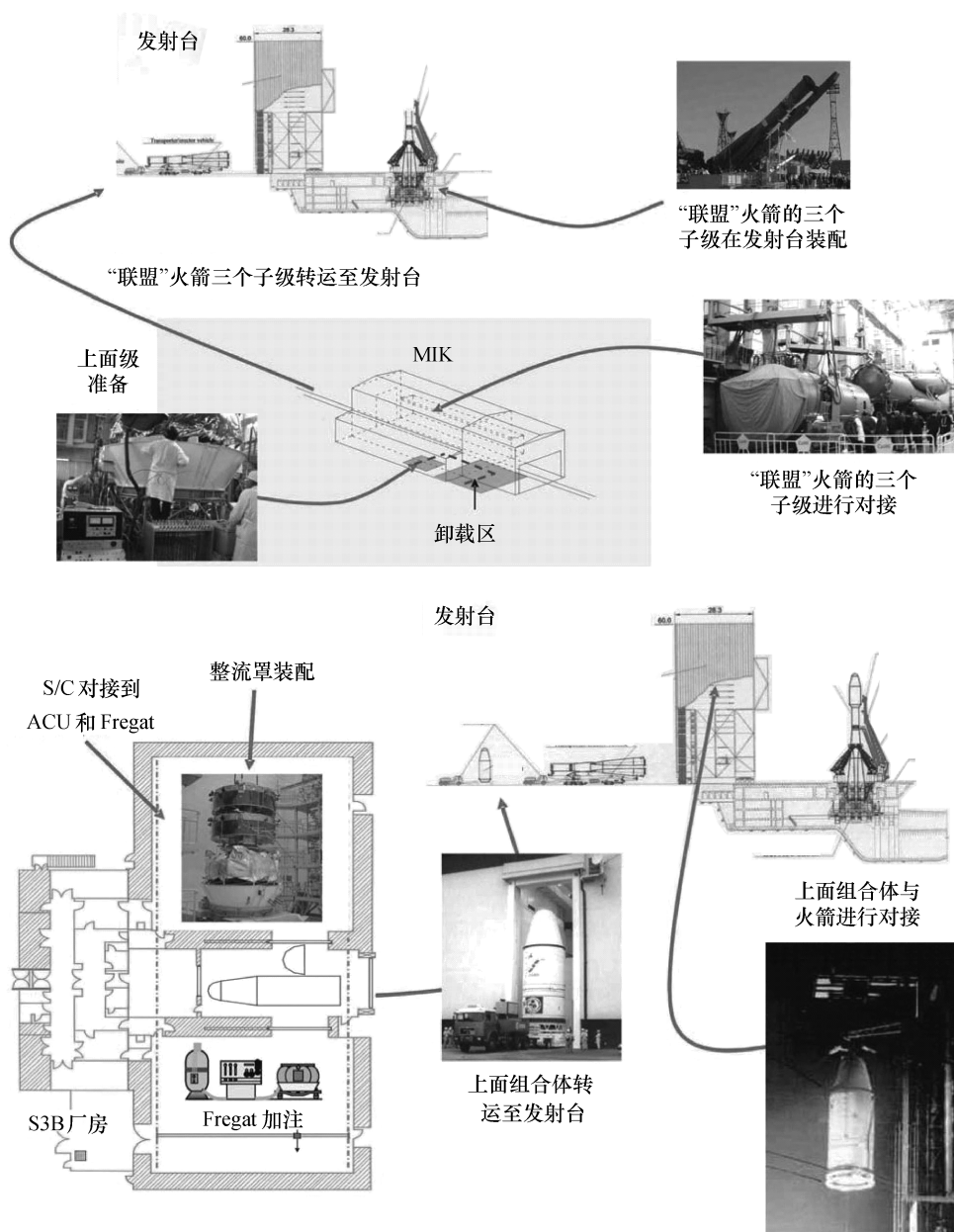


图3 “联盟”号发射场地面操作流程示意图

ACU—有效载荷支架

使“联盟”号发射场更好地达到发射任务的要求,从2010年5月开始陆续对发射场各系统及相关设施设备展开了技术性验证、操作性验证、发射系统验证以及发射前的各项准备工作。

(一) 技术性验证

由 CNES 牵头,组织欧洲和俄罗斯的合作伙伴于 2010 年 5 月对“联盟”号发射场进行了一次技术性验证,主要内容是对包括机械、液体、推进剂、公用设施设备以及活动勤务塔等系统展开相应的测试,目的是验证这些系统与特殊要求的一致性。CNES 在完成发射场技术验证后,将所有地面设施设备及相应的验证文件正式移交给 ESA。ESA 根据 CNES 的文件内容,于 2011 年 3 月 28 日至 30 日进行了验收评审,宣布技术验证工作结束。ESA 于 2011 年 3 月 31 日正式将“联盟”号发射场转交给阿里安航天有限公司,随后进入操作性验证阶段。

(二) 操作性验证

“联盟”号发射场的操作性验证工作由阿里安公司牵头,组织欧洲和俄罗斯的合作伙伴于 2011 年 4 月开始实施。主要是实施一次发射演练,目的是确保运载火箭与新建的发射场及其各系统的操作兼容性。同时,还对发射操作团队进行基于真实发射任务条件的培训,主要包括:①“联盟”号火箭和 Fregat 上面级在 MIK 的准备操作;②上面组合体在 S3B 厂房的对接操作;③火箭转运至发射区,起竖至垂直状态,以及在发射台安装;④上面组合体转运至发射区,并吊装到火箭上;⑤地面系统与火箭的接口测试,包括其与发射区域及下靶场各测控站的连接。

2011 年 7 月 15 日至 16 日,进行了验收评审。

(三) 发射系统验证

根据所制定的主要项目管理规定,“联盟”号火箭在 CSG 的发射系统验证分为两个阶段:

第一阶段为发射前,即将火箭和上面组合体转运至发射区,进行最后操作与发射。2011 年 9 月进行了第一次验证试车。

第二阶段为首次发射任务并获取相应发射数据之后,通过授权进行“联盟”号发射场的最后移交,从而由阿里安公司正式开始太空

探索的新征程。

(四) 发射任务准备与倒计时程序

“联盟”号火箭的发射任务从发射前第 34 天开始,直至发射日(见表 2)。

表 2 “联盟”号火箭准备与倒计时程序

时间	事 件
第 34 天	开始发射任务,进行 Fregat 上面级准备
第 30 天	航天器准备工作(依据航天器用户情况)
第 19 天	准备“联盟”号火箭三个子级的组装
第 18 天	Fregat 上面级转至 S3B 厂房
第 17 天	向 Fregat 上面级加注 N_2O_4 /氮/UDMH/ N_2H_4
第 15 天	进行航天器加注操作(依据航天器用户情况)
第 8 天	航天器对接至适配器
第 7 天	航天器转至 S3B 厂房
第 6 天	航天器与 Fregat 上面级进行对接,随后安装整流罩
第 4 天	火箭三个子级运往发射区,并起竖成垂直状态。上面组合体运往发射区
第 3 天	上面组合体对接到火箭子级上,进行火箭和航天器的检测。进行火箭三个子级的合练
第 2 天	对 Fregat 上面级进行检测。进行发射场、用户航天器以及火箭的倒计时程序合练
第 1 天	发射准备状态评审,发射场进行火箭三个子级的加注准备,进行航天器发射前操作准备
发射日	进入发射倒计时程序,火箭加注授权评审后进行加注,活动勤务塔移开,进入发射程序
T-4 小时 20 分	俄罗斯国家委员会授权对“联盟”号火箭实施加注
T-4 小时	开始对火箭三个子级加注煤油和液氧推进剂

2011 世界载人航天发展报告

时间	事 件
T-1 小时 45 分	火箭推进剂加注完毕
T-1 小时	活动勤务塔沿铁轨移至发射位置
T-6 分 10 秒	在发射控制中心将发射启动钥匙设在进入“联盟”号火箭倒计时程序位置
T-5 分钟	Fregat 上面级转换至内部电池供电状态
T-2 分 25 秒	用于固定火箭上部的脐带臂缩回
T-40 秒	火箭转换至内部供电状态
T-20 秒	用于伺服火箭的下部脐带臂缩回
T-17 秒	点火
T-3 秒	RD-107A 和 RD-108A 发动机达到其足额功率,产生超过 408233 千克(900000 磅)的推力
T-0 秒	发射台牵制释放臂缩回,火箭起飞、升空
T+1 分 58 秒	火箭的四个捆绑助推器脱落
T+3 分 38 秒	整流罩脱落
T+4 分 48 秒	火箭主芯级(即二子级)分离,三子级的 RD-0124 发动机点火,继续飞行
T+9 分 24 秒	火箭三子级在达到轨道速度之前将 Fregat 上面级分离
T+10 分 24 秒	Fregat 上面级第 1 次点火,将“伽利略”卫星送入椭圆转移轨道
T+23 分 31 秒	Fregat 上面级第 1 次关机,开始长达 3 个多小时的惯性飞行
T+3 小时 40 分 5 秒	Fregat 上面级主发动机点火,进行第 2 次轨道环绕
T+3 小时 44 分 27 秒	经过 4 分 22 秒的燃烧,进入 23216 千米高、倾角为 54.7 度的环形轨道后,Fregat 上面级第 2 次关机
T+3 小时 49 分 27 秒	两颗“伽利略”卫星与其抛射装置分离

(五) 发射

2011年5月23日,ESA正式对外宣布“联盟”号火箭最终发射日期为10月20日。为纪念这次具有历史意义的发射,阿里安公司将任务命名为VS01,V为法语“飞行”之意,S表示阿里安公司使用的“联盟”号火箭,01为首发任务。由于发射台动力系统的阀门发生泄漏,使得发射日推迟至10月21日。在更换了阀门后,各项操作进展顺利。10月21日当地时间上午7时30分,“联盟”号火箭搭载着两颗“伽利略”在轨验证卫星顺利发射升空。

(总装特种工程设计研究所)