

“联盟”号飞船和“进步”号货运飞船增加一个空间站对接口,使俄罗斯总对接口达到四个。MRM-2 研究实验舱的构造与俄罗斯另一个模块“码头”(Pirs)对接舱一样,“码头”对接舱于 2001 年 9 月发射到空间站。

表 1 MRM-2 研究实验舱结构

|             |            |
|-------------|------------|
| 发射质量        | 3670±50 千克 |
| 最大外壳直径      | 2.550 米    |
| 对接装置平面之间全长  | 4.049 米    |
| 加压舱体积       | 14.8 立方米   |
| 可居住舱体积      | 10.7 立方米   |
| 外出舱口数量(向内开) | 2          |
| 外出舱口直径      | 1 米        |
| 运送货物的质量     | 最多 1000 千克 |

### 3. 俄罗斯扩建空间站的未来计划

俄罗斯研制的另一个 MRM-1 研究实验舱目前正在能源公司(Energia)进行最后校验。2010 年 1 月,MRM-1 研究实验舱将运往美国卡纳维拉尔角基地,计划在 2010 年 5 月由 NASA 航天飞机运往空间站。MRM-1 研究实验舱是基于“科学动力供应平台”(NEP)的居住舱改建而成,由于经费不足,NEP 计划不幸夭折。

由于目前“码头”舱扮演着俄罗斯出舱活动任务“大门”的角色,未来俄罗斯舱段所有外部工作都将从 MRM-2 研究实验舱舱体进入太空。MRM-2 研究实验舱和 MRM-1 研究实验舱还可以为科学装置的安装提供界面。

俄罗斯计划 2012 年初由重型运载火箭“质子”火箭发射另一个被长期推迟的多功能舱(MLM)。多功能舱将携带一个由欧洲建造的遥控机械臂(ERA)。所部署的 11 米长的机器臂能转移最重为 8 吨

的硬件和在俄罗斯舱段之外执行装配任务的航天员。为在国际空间站增加多功能舱，“码头”对接舱不得不从空间站目前的位置分离并坠落大气层。

## **(五)日本“H-2 转移飞行器”-1 飞往国际空间站**

2009年9月11日,日本首个非载人货运飞船——“H-2 转移飞行器”-1(HTV-1)从种子岛航天中心发射升空。这次发射也是 H-2B 新型运载火箭的首次发射。11月2日,日本“H-2 转移飞行器”在第三次脱轨机动后,成功再入大气层。完成了向国际空间站运送货物并携带空间站垃圾返回并在再入大气层时烧毁。

“H-2 转移飞行器”是日本航天航空探索局研制的非载人轨道货运飞船,设计用于向国际空间站运送货物并携带空间站垃圾(无用设备、旧衣物和其他垃圾)返回并在再入大气层时烧毁,主承包商是三菱重工业公司。“H-2 转移飞行器”从 1997 年开始研究,迄今耗资 7 亿美元。首个“H-2 转移飞行器”的造价为 2 亿美元,不包括运载火箭。

### **1. “H-2 转移飞行器”结构**

“H-2 转移飞行器”飞船包括增压后勤货舱(PLC)、非增压后勤货舱(ULC)、电子设备舱和推进舱 4 部分。货物和供给装在增压后勤货舱以及非增压后勤货舱的暴露货架(EP)中,“H-2 转移飞行器”可根据货运任务需要选用增压型或增压/非增压混合型货舱结构。增压型货舱向空间站运送增压货物;增压/非增压混合型向空间站运送增压/非增压两种货物。电子设备舱装有电子设备、锂电池和传感器。推进舱内装有 4 个推进剂贮箱、主推进装置和喷气操纵系统。

飞船的靠近通信系统(PROX)安装在日本“希望”号实验舱上,当“H-2 转移飞行器”接近国际空间站到一定距离时,它可以使国际空间站与“H-2 转移飞行器”之间进行无线通信。

### **2. “H-2 转移飞行器”任务**

“H-2 转移飞行器”-1 任务是“H-2 转移飞行器”的首个任务,有

两个主要目标:为国际空间站运送补给;验证“H-2 转移飞行器”的交会飞行技术以及星上系统在实际飞行中的可操作性。因此“H-2 转移飞行器”-1 又叫做“技术验证飞行器”,它将实施下列技术/工程验证任务:

- 验证“H-2 转移飞行器”的交会飞行可操作性;
- 验证“H-2 转移飞行器”的安全性和飞行控制技术;
- 验证“H-2 转移飞行器”在轨结构的持久性和鲁棒性;
- 验证“H-2 转移飞行器”电子设备和推进系统元器件(超过 80 万件);
- 验证对接阶段航天员进入“H-2 转移飞行器”增压部分的过程。

### 3. 未来计划

日本认为:本次发射活动开启日本国内航天计划新纪元,而且为国际空间站提供了重要的新能力。此前,日本为空间站建造了“希望”号实验舱,是站上最大的科学舱。

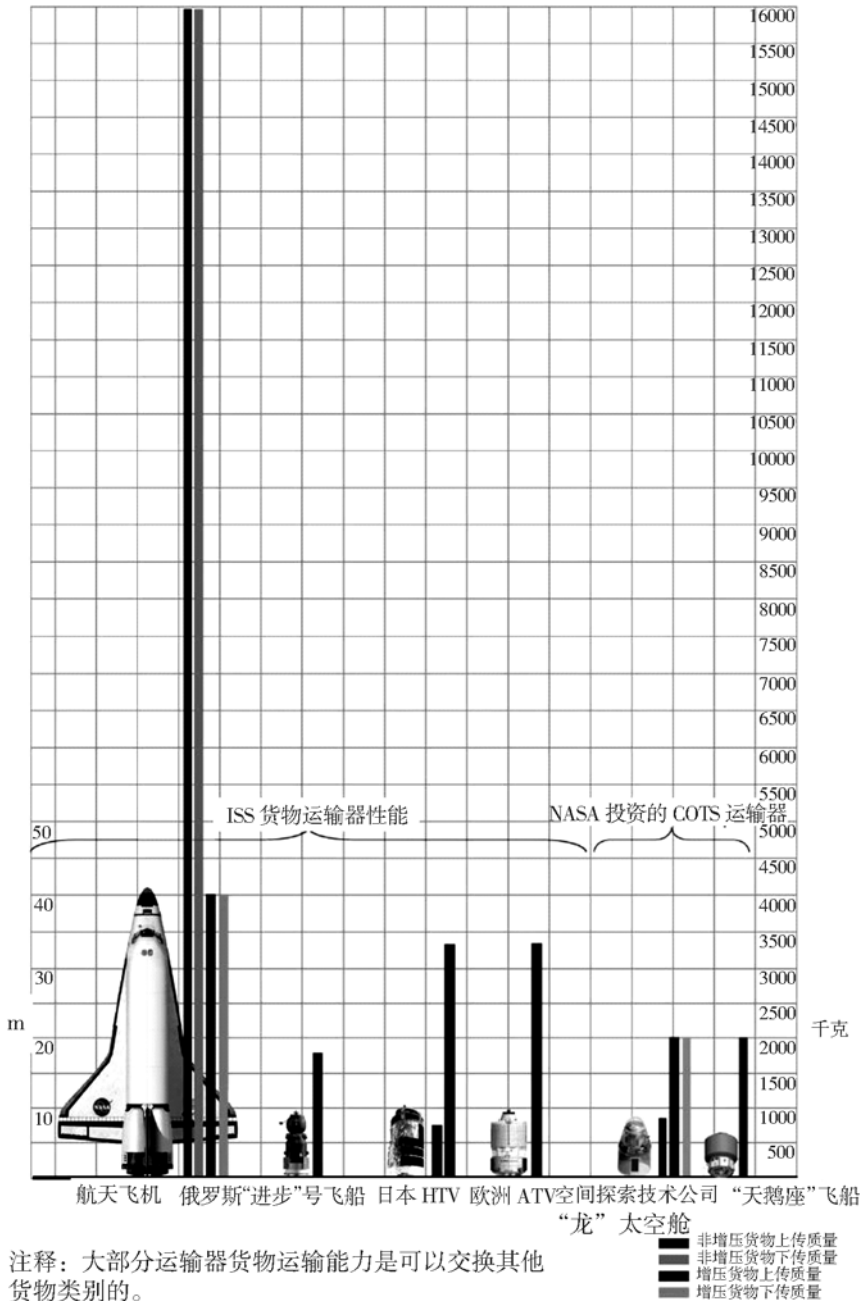
日本相关官员公开表示,“H-2 转移飞行器”所具备的独特性能为未来执行更具有挑战性的任务(包括载人飞行任务)奠定了基础。

## 二、在用货运航天器的能力对比分析

### (一)性能比较

目前正在使用的以及计划使用的可以为国际空间站提供货运服务的主要有以下几类航天器:美国的航天飞机、俄罗斯的“进步”号飞船、欧洲的“自动转移飞行器”(ATV)、日本的“H-2 转移飞行器”(HTV)以及未来的商业轨道运输服务(COTS)运输器。其中,航天飞机的构造不同于其他几种货运飞船,它的运载能力大大超过其他飞船,但是航天飞机即将退役,因此,未来为空间站提供货运补给的任务将由其他几种飞船来完成。图 2 是几种货运航天器运送有效载荷的能力对比。

# 任务比较



注释：大部分运输器货物运输能力是可以交换其他货物类别的。

图 2 ISS 货运航天器有效载荷运载能力比较，  
条形表示货物运载能力。

表 2 是几种货运航天器的参数比较。

表 2 执行国际空间站运输任务航天器参数比较

| 运输工具<br>(所有者)       | 向上运送货物的能力            | 向下运送货物的能力*       | 乘员运输   | 状态   | 面临的挑战                            |
|---------------------|----------------------|------------------|--|--|----------------------------------|
| 航天飞机<br>(NASA)      | 最大能力<br>17175 千克     | 最大能力<br>17175 千克 | 7 名乘员  | 运行到 2010 年   | 在航天飞机运行期间,“星座”计划需要的额外资金无法使用      |
| “联盟”号<br>(俄罗斯航天局)   | 30 千克                | 60 千克            | 3 名乘员  | 执行空间站任务,直到空间站寿命结束  | 货运能力有限                           |
| “进步”号<br>(俄罗斯航天局)   | 平均载货能力 2600 千克,为加压货物 | 无                | 无  | 用于执行俄罗斯的空间站任务(美国 2011 年不再使用俄罗斯的进步号飞船执行国际空间站任务),直到空间站寿命结束 | 没有向下运送货物的能力                      |
| 自动转移飞行器<br>(ESA)    | 最大能力 7500 千克,为加压货物   | 无                | 无  | 已经执行一次空间站验证任务,NASA 计划使用它在 2010 年-2013 年间执行国际空间站任务        | 无非加压外部货物运输能力                     |
| H-2 转移飞行器<br>(JAXA) | 最大能力 6000 千克,为加压货物   | 无                | 无  | 已经执行一次空间站验证任务,NASA 计划使用它在 2010 年-2015 年间执行国际空间站任务        | 有限的非加压外部货物运输能力                   |
| “龙”太空舱<br>(SpaceX)  | 最大 3300 千克,为加压和非加压货物 | 1700 千克          | “龙”太空舱设计为可以运送乘员,但是 COTS 代表声明他们还没有收到关于人员运输能力的资金 | 在研制中,第一次空间站任务预计在 2010 年                                  | 初始运行能力的推迟将导致 NASA 利用空间站进行科学研究的缩减 |
| “天鹅座”飞船(轨道科学公司)     | 2000 千克,为加压货物        | 无                | 无  | 在研制中,第一次空间站任务预计在 2011 年                                  | 初始运行能力的推迟将导致 NASA 利用空间站进行科学研究的缩减 |
| “阿瑞斯”1 和“猎户座”       | 未定                   | 未定               | 6 名乘员  | 在研制中   | 第一次乘员任务不可能按计划 2015 年 3 月发射       |

\* 这些数字描述了各种航天器的货运能力,不是对国际空间站的运送和运回货物的能力

与其他航天器相比较,“H-2 转移飞行器”具备广泛的货物运输能力,可以同时运送增压和非增压货物。“H-2 转移飞行器”具有以下特点:

### (1)货物运输能力

- “H-2 转移飞行器”的舱门足够大,可以运送大型增压实验机柜;
- “H-2 转移飞行器”非增压后勤货舱(ULC)能够装载非增压的有效载荷,包括安装在国际空间站外的外部实验和轨道替换装置(ORU)。

### (2)独特的交会飞行技术

- “H-2 转移飞行器”使用日本独特的新型交会飞行技术飞向国际空间站,这种技术是利用空间站上的机械臂进行的。

## (二)“H-2 转移飞行器”和“自动转移飞行器”与国际空间站的对接方式不同

在逼近国际空间站的最终阶段,“H-2 转移飞行器”从正下方逼近国际空间站,当它按要求飞抵距国际空间站下方约 10 米处时,控制人员控制“H-2 转移飞行器”停止向国际空间站逼近,使其处于一种相对静止(停靠)状态。然后由国际空间站上航天员操作空间站遥控操作系统捕获并夹住“H-2 转移飞行器”,然后将“H-2 转移飞行器”稳妥地对接在国际空间站节点舱-2 的下方。

国际空间站和“H-2 转移飞行器”的对接方式采用“捕获”而不是人工或自动对接方式。“捕获”可以保持距离(国际空间站与“H-2 转移飞行器”的距离是 10 米),并保持在接近零的相对速度,这种对接方式对于载人航天器更加安全。

捕获技术还允许有更大型的、多样的货物转移能力。通常,对接口尺寸是决定由航天器转移货物最大尺寸的重要因素。“自动转移飞行器”与“H-2 转移飞行器”的比较如图 3 所示。“自动转移飞行器”使用安装在对接装置内的对接口。另外,“H-2 转移飞行器”是由国际空间站的机械臂捕获的,可以有更大的对接口尺寸(1.2 米×1.2 米)。此外,这种方式可以运送各种有效载荷。不仅能运送加压货物,“H-2

转移飞行器”还有运送非加压货物的能力。只有航天飞机与“H-2 转移飞行器”有这种能力。

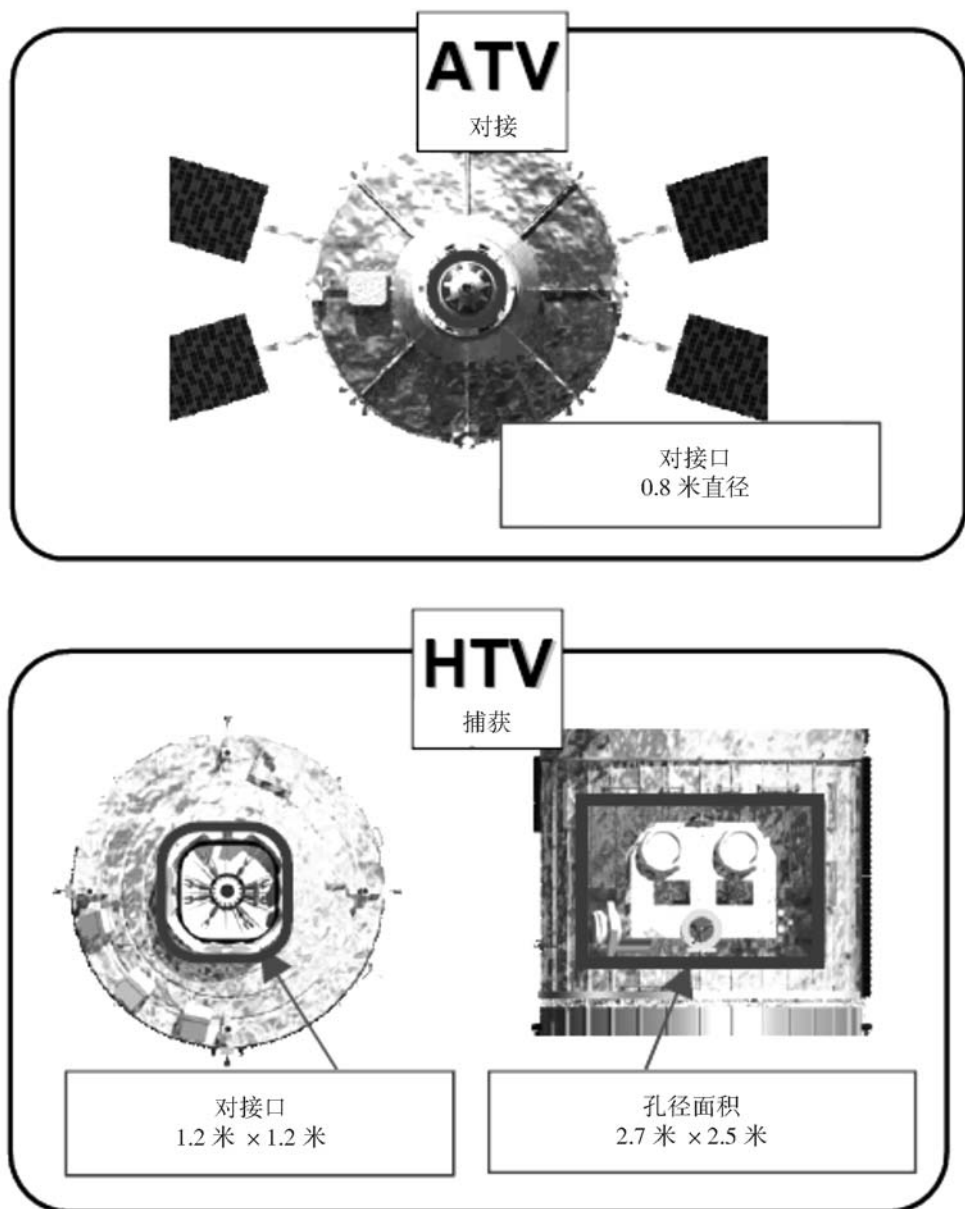


图3 HTV 与 ATV 的对接口特点对比

### (三) 货运飞船未来发展

航天飞机退役后，“H-2 转移飞行器”可以支持国际空间站的后勤补给任务。目前日本每年可以建造一艘“H-2 转移飞行器”，如果

有充足的经费支持,生产能力可以增长一倍,达到每年生产两艘“H-2 转移飞行器”的能力。

此外,NASA 更倾向于依靠本国的承包商来满足航天飞机退役后国际空间站的货运需求。NASA 已经同空间探索技术公司和轨道科学公司签订合同,建造商业货运飞船,并计划于 2010 年和 2011 年发射。

空间探索技术公司的“龙”太空舱计划 2010 年初进行首次试验飞行。可以运送较大型外部设备的“天鹅座”货运飞船计划在 2011 年进行飞行验证。NASA 表示,只要这两艘飞船中的任何一艘可以按计划飞行,国际空间站美国舱段就不存在货运断档期。

但 NASA 空间站项目经理迈克·弗雷迪尼也表示,美国商业货运飞船的发射还有一段时间,在研制过程中可能会出现进度延迟或技术障碍。

只有与国际空间站美国舱段对接的到访航天器可以运输标准的供给和有效载荷机柜。而与俄罗斯舱段对接的“进步”号飞船和“自动转移飞行器”由于圆型舱门太小,不能运输国际空间站标准机柜。因此在 2010 年航天飞机退役后,“H-2 转移飞行器”可能成为能够为国际空间站运送这些标准机柜的唯一航天器。

### 三、“猎户座”载人探索飞船进展

#### (一)进展情况

2009 年,“猎户座”载人探索飞船的主要进展情况如下:

2009 年 3 月—4 月,完成了“猎户座”全尺寸模型试验(PORT)。3 月 23 日开始,一个海军建造的、重 8163 千克的“猎户座”全尺寸模型在马里兰的西贝瑟斯的水池中试验。海中试验于 4 月 6 日在肯尼迪航天中心进行。此次“猎户座”返回试验的目的是确定航天员着陆后哪种姿势对其、及外面回收团队条件最有利。这次经历将帮助 NASA 设计着陆返回运作模式,包括设备、船只和乘员必需品。



2009年4月,进行了“猎户座”发射逃逸系统姿态控制发动机推进系统试验,这是“猎户座”研制过程中的一个里程碑。使得“猎户座”进入飞行预备状态又迈进了一步。

2009年4月,NASA选定“猎户座”的热防护罩所使用的材料为Avcoat烧蚀材料。这种材料能抵御飞船在返回时高达2760°C的高温。

2009年4月,NASA考虑将“猎户座”的座位从6个减少到4个,以解决“猎户座”的超重问题。这可能意味着NASA在后航天飞机时代运送航天员进入低地球轨道的能力是4名航天员而不是6名。

2009年9月,“猎户座”飞船通过具有里程碑意义的初步设计评审(PDR)。这意味着“猎户座”飞船的设计可以进入关键设计评审(CDR)阶段。关键设计评审阶段是在硬件制造开始之前必须通过的里程碑节点。评审认为,飞船设计的各项组件和子系统能够满足NASA关于安全与可靠性飞行的需求。从初步设计评审转向关键设计评审的阶段,将继续加强飞船的安全性和生保系统设计。

2009年12月,阿连特技术系统(ATK)公司成功完成了“猎户座”发射中止系统全尺寸姿态控制发动机的地面试验。这次试验的成功完成使“星座”计划接近飞行准备状态更近一步,并验证了航天员飞行安全技术,这是“星座”计划成功的核心。

其中,“猎户座”通过的几个重要里程碑事件包括:全尺寸模型试验;操作系统与验证设备的革新与验证;地面测试设备的装配,以及发射中止系统的中止及备用发动机的最终交付及元器件和子系统的试验。

下一个里程碑事件是“猎户座”飞船发射逃逸系统的首次试验,已经推迟到2010年在美国白沙试验靶场进行。发射逃逸系统包含一系列三级固态燃料火箭发动机,在紧急情况下这些发动机将被点燃,将航天员安全地弹出。设计发射异常中止系统就跟设计整个火箭一样,需要设计电子元件、电池、控制系统和所有的发动机。在四

年内完成所有工作确实是一件充满挑战的事情。现在导致任务延期是因为其中一个控制发动机的设计出现问题。

## **(二)存在问题**

由于资金不足进度推迟和技术上的问题，在美国 2011 财年预算申请中，奥巴马政府取消了“星座”计划，发展商业运输工具取代“星座”计划实现国际空间站的货物和人员运输。

“猎户座”载人探索飞船包括一个与“阿波罗”飞船样式一样的乘员舱、一个服务舱和一个发射异常中止系统。飞船设计用于支持最长 6 个月的空间运行任务，最多可乘坐 6 人，但目前正在研制的“猎户座”飞船的配置是支持运送 4 人执行国际空间站的任务。改进的构型(第二批次)计划用于月球及更远目的地的任务。“猎户座”飞船的性能受到再入和着陆设计因素的限制，也受到“阿瑞斯”1 运载火箭运载能力的限制。它已经经历了多个重新设计周期，以满足不断变化的需求。

目前的“猎户座”设计适合于广泛的载人航天任务。但是其后续成本可能会较高。飞船乘员舱直径为 5 米，比之前的舱(如“阿波罗”飞船)要大，而且一些证据表明更小、更轻的 4 人“猎户座”飞船可以降低运营成本。比如说，这样的配置可以在陆地上着陆，而不是在海洋上溅落，还可以简化发射异常中止系统(目前比较大而且复杂)。而且，也可以提高发射裕度，为“星座”计划减少成本和进度风险。然而，重新设计很可能导致研制时间延长一年，可能增加 10 亿美元的成本。为了提供一个可持续性的计划，应该采取任何有效的措施来尽可能地减少“猎户座”飞船的后续成本。

## **四、俄罗斯与欧洲飞船研制计划和美国商业航天运输系统发展**

### **(一)俄罗斯航天局授出新飞船合同，并与 NASA 签署国际空间站乘员运送合同**

4 月，俄罗斯联邦航天局签发了总价值约 2400 万美元的合同，开

始设计能将航天员送往月球的下一代载人飞船和运载火箭，并选定能源公司为国家的新一代载人航天器的首要开发商。俄罗斯“新一代载人运输系统”(PPTS)能搭载 6 名航天员飞往低地球轨道，它的变型体还可以用于登陆月球。其中用于执行低地球轨道任务的飞船可能重 12 吨，可携带 6 名航天员和至少 500 千克的货物。而执行载人登月任务的飞船将重 16.5 吨，有四个座位，能够往返运输 100 千克的货物。“非载人货船型”飞船的低地球轨道运载能力不低于 2 吨，最少能运回 500 千克的货物。初步的可行性研究将持续到 2010 年 6 月。

5 月，NASA 与俄罗斯联邦航天局签署一份价值 3.06 亿美元的修订合同，关于 2012 年—2013 年国际空间站乘员运送及相关服务。

合同涵盖全面的“联盟”飞船的支持服务，包括必要的训练、发射准备、乘员营救和着陆。俄罗斯将在 6 名 NASA 航天员的任务期间为其提供全面支持。依据合同，“联盟”飞船将承担有限的货运任务和垃圾处理任务。

NASA 空间站乘员将搭乘 4 艘“联盟”飞船发射：两艘于 2012 年春发射，两艘于 2012 年秋发射；预计着陆将分别在 2012 年秋季和 2013 年春季进行。

## **(二)欧洲计划拥有自己的载人飞船**

7 月，欧洲航天局已经要求工业界制定载人飞船的需求以及计算可能的成本。这是欧洲向建造自己的载人飞船迈出的第一步。与“自动转移飞行器”相比，“先进返回舱”(ARV)将拥有受控再入地球大气层的能力，目标是能够使货物和实验往返于地球和国际空间站之间，具备返回地球的能力。

## **(三)空间探索技术公司向 NASA 交付商业轨道运输服务的超高频通信单元**

空间探索技术(SpaceX)公司宣布，已向 NASA 交付了商业轨道运输服务(COTS)的超高频(UHF)通信单元。该单元将由“亚特兰蒂斯”号航天飞机送入国际空间站并集成，为空间探索技术公司的未

来轨道实验室飞行做准备。

这个通信单元由空间探索技术公司与 NASA 联合研发,可实现国际空间站、该公司的“龙”太空舱与地面任务控制站进行通信,同时还可满足空间站乘员监控靠近和驶离的太空舱。

根据竞标需求,空间探索技术公司将开始执行 2008 年底 NASA 授予的商业再供给服务(CRS)合同。其中包括在 2010 年—2015 年间执行 12 次货运运输服务,并确保至少将 20 吨货物送抵空间站。“龙”太空舱还将把加压和非压货物送抵空间站,并把加压货物再送返地球。

#### **(四)“太空船”2 号已建成,准备 2010 年首次试验飞行**

英国维珍银河公司建造的搭载游客去太空旅行的商业宇宙飞船“太空船”2 号(SpaceShip 2)已经完工,准备在 2010 年初进行首次试验飞行,此后“太空船”2 号将被正式用于开展太空旅行业务。目前已有 300 人预定了太空旅行舱位。此前,维珍银河太空旅游公司在 5 月成功对“太空船”2 号的火箭发动机进行了测试。该混合动力火箭发动机可以将“太空船”2 号以超过 4000 千米/小时的速度送入距离地球 110 千米的高度。火箭发动机还将进行一系列的燃烧试验。

“太空船”2 号能够极大地满足任何渴望太空探险的爱好者的需要,探险者仅需支付 20 万美元,就能够在太空亚轨道逗留几分钟,从遥远的太空俯瞰地球,同时享受从未有过的失重感觉。

“太空船”2 号是一种空射飞行器,大小就像一架轻型飞机,船体长 18 米。船体尾部有火箭助推装置为挣脱地球引力提供动力。船体两翼设有可移动的、如同翅膀般的稳定鳍。设计者伯茨·鲁坦说,这种设计使飞船更易于操控,着陆时更安全。根据计划,“太空船”2 号将飞到海平面以上 15 千米的高度,比一般的客机高 9 千米。