

载人航天器发展综述

一、2007 年国外载人航天器发展概况

2007 年,国际空间站的建设工作继续进行。美国进行了 3 次航天飞机发射,俄罗斯进行了 2 次“联盟”号载人飞船发射,执行了 3 次组装任务,为国际空间站安装了 S3、S4、S5、P6 桁架及“和谐”号节点舱。美国和俄罗斯航天员在 2007 年共安全完成 23 次出舱活动,支持国际空间站的建造和维护工作。2007 年是迄今为止单年完成出舱活动次数最多的一年。

2007 年最重要的国际空间站任务之一就是意大利为美国建造的“和谐”号节点舱送往国际空间站,并由航天员完成安装、调试。“和谐”号节点舱是美国航天飞机自 2005 年恢复飞行以来,运往国际空间站的第一个节点舱,它将成为后续送上空间站的欧洲和日本实验舱的连接舱。

同时,美国的“猎户座”载人探索飞船的研制工作取得进展,完成了系统需求评审工作,进入初步设计评审阶段。“猎户座”飞船外形类似于“阿波罗”飞船,但比“阿波罗”飞船更大、更安全、更可靠。它能够完成更多的载人和不载人任务,不仅仅是月球任务,还包括国际空间站支持任务,可能还会飞往火星。

飞船软着陆系统和热防护系统是“猎户座”飞船研制中的两项关键技术。过去两年中,“猎户座”飞船一直倾向于使用气囊系统的陆地软着陆方式。但后来 NASA 内部出现分歧,到目前为止还没有决定“猎户座”飞船将采用海上溅落还是软着陆的方式着陆。“星座”计划团队认为,从水上溅落的方式在安全性和性能方面要比陆地软着陆具有更大的优势。而且,重 680 千克的气囊系统对已经超重的飞船提出了更大的挑战。但陆地软着陆方式的拥护者们认为,使用软着陆方式可以使乘员舱反复使用 10 次,因此增加 680 千克的重

量是值得的。讨论仍在继续,究竟采用哪种方式,要等到 2008 年才能确定。

2006 年 9 月,NASA 授予波音公司价值 1400 万美元热防护罩初步设计合同。2007 年 11 月 13 日,波音公司宣布已经完成了“猎户座”载人探索飞船热防护系统原型的建造,而且硬件已经通过 NASA 的初步审查。波音公司将原型运往 NASA 的肯尼迪航天中心,在那里将进行进一步的检查。

二、2007 年国际空间站进展情况

2007 年,国际空间站继续建设,俄罗斯进行了 2 次“联盟”号载人飞船的发射,美国进行了 3 次航天飞机的发射,执行国际空间站任务。NASA 原计划 2007 的飞行任务为 5 次,后因第一次航天飞机飞行受到冰雹袭击而延误近 3 个月,因此将 2007 年飞行任务改为 4 次,原计划 12 月执行的“亚特兰蒂斯”号航天飞机任务也推迟到 2008 年 2 月进行,因此实施的航天飞机飞行只实现了 3 次。2007 年,国际空间站在大小、体积和电源生产方面都有所扩充,站上的发电能力和耗电量都较 2006 年增加了一倍。美国和俄罗斯的航天员在 2007 年共安全完成 23 次出舱活动,支持国际空间站的建造和维护工作。2007 年是迄今为止单年完成出舱活动次数最多的一年。执行了 3 次组装任务,安装了 S3、S4、S5、P6 桁架及“和谐”号节点舱。

2007 年 NASA 航天员创造了两项新的载人飞行记录。国际空间站第 14 和 15 长期考察团飞行工程师苏尼塔·威廉姆斯创造了女航天员单次在轨停留时间最长的记录,4 月份第 14 长期考察团任务结束时,迈克尔·洛佩斯-阿莱格里亚领导所有的航天员共完成 10 次出舱活动,总用时 67 小时 40 分钟。洛佩斯·阿莱格里亚的 215 天的站上停留时间也创造了美国航天员单次飞行时间最长的记录。

(一)航天飞机执行国际空间站任务概述

2007 年,美国进行的 3 次航天飞机发射,分别由“亚特兰蒂斯”

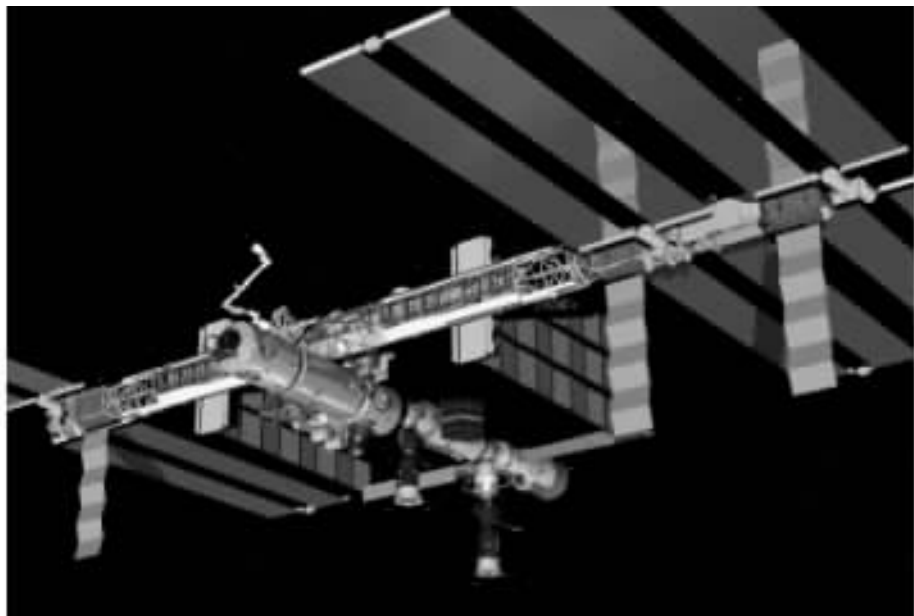


图 1 截至 2007 年 12 月 26 日国际空间站的构型

号、“奋进”号和“发现”号航天飞机执行 STS-117、STS-118 和 STS-120 任务。

1. “亚特兰蒂斯”号航天飞机执行 STS-117 任务概述

美国东部时间 2007 年 6 月 8 日 19 时 38 分(北京时间 2007 年 6 月 9 日 7 时 38 分),“亚特兰蒂斯”号航天飞机在佛罗里达州肯尼迪航天中心载 7 名航天员发射升空。此次任务代号 STS-117,是美国航天飞机第 21 次执行飞往国际空间站的任务,也是“亚特兰蒂斯”号航天飞机的第 28 次航天飞行。

“亚特兰蒂斯”号航天飞机于 6 月 10 日抵达国际空间站,与国际空间站成功对接。此次飞行的主要任务是继续国际空间站的建设,包括在空间站上安装重 17.8 吨的 S3/S4 桁架,部署一组太阳能电池阵。此次任务增大了国际空间站的电力,为日后到来的欧洲和日本实验舱做准备。

(1) 出舱活动

在为期近 14 天的飞行中,航天员共完成 4 次出舱活动,并与国

际空间站上的一名航天员进行了轮换。

① 6月11日,航天员詹姆士·莱利和约翰·奥利瓦斯进行首次出舱活动,历时6小时15分钟。桁架S3/S4由机械臂安装到国际空间站上之后,二人开始出舱活动,进行国际空间站与S3/S4桁架之间的电源、数据和冷却连接,为12日太阳能电池阵完全展开做好了准备。

② 6月13日,航天员帕特里克·弗里斯特和史蒂文·斯旺森进行第二次出舱活动,用时6小时30分钟。二人继续激活S3/S4桁架段,清除了剩余的启动限制,激活太阳阿尔法旋转头(SARJ),这个太阳阿尔法旋转头可以使电池阵跟踪太阳。这次出舱活动的主要任务是帮助收回P6桁架上的右侧太阳能电池阵,但只完成了部分收回。

③ 6月15日,约翰·奥利瓦斯和詹姆士·莱利完成第3次出舱活动,工作7小时58分钟,完成所有计划的任务。航天员修复航天飞机隔热板上的裂痕,为返航排除了故障。同时,詹姆士·莱利在“命运”号实验舱上安装了新型制氧系统的氢排气阀。在这些任务完成后,两名航天员辅助完成收回旧太阳能电池阵。

④ 6月17日,帕特里克·弗里斯特和史蒂文·斯旺森完成第4次出舱活动,用时6小时29分钟,进行了一系列校验及站外整理工作。

(2) 故障维修

6月9日,“亚特兰蒂斯”号机组在飞行中对机身隔热板等进行检查,发现在左侧隔热板上有一条长度约10厘米的裂痕。“亚特兰蒂斯”号与空间站对接后,位于波士顿的工程师们继续评估航天飞机轨道机动系统分离舱左侧的隔热层裂痕。6月12日,NASA临时决定任务延长两天,在原计划3次出舱活动的基础上再增加一次出舱活动,以便航天员在出舱活动过程中修复“亚特兰蒂斯”号航天飞机损坏的隔热层。

6月13日,空间站计算机出现故障。发生故障的电脑位于俄罗斯舱段,负责控制整个空间站的导航定位和生命维持系统。空间站

需要利用由这些计算机控制的推进器和导航系统辅助保持航行方向。NASA 甚至考虑撤离全部航天员。俄罗斯 Energia 公司发言人 6 月 14 日称, 空间站的计算机故障可能由美国航天员安装的太阳能电池帆板引起。发言人说, 这个强大的新能源引发空间站俄罗斯段和美国段灵敏的系统元件发生故障, 特别是电力供给系统。6 月 16 日, 空间站故障计算机修复完毕。出现故障的 6 台故障计算机全部恢复运转。

(3) 安全返回

“亚特兰蒂斯”号航天飞机在完成预定任务后, 载着 7 名航天员与国际空间站分离, 开始返航。原计划于 21 日在佛罗里达州肯尼迪航天中心着陆, 由于天气原因, 改降加州爱德华空军基地, 于美国东部时间 22 日 15 时 49 分(北京时间 23 日凌晨 3 时 49 分)安全着陆。

NASA 发言人约翰逊说, 改变降落地点使 NASA 要多花费 100 万美元将航天飞机运回佛罗里达肯尼迪航天中心, 但考虑到航天员和航天飞机的安全, 指挥中心还是决定更改降落地点。

2. “奋进”号航天飞机概况及飞行任务概述

美国东部时间 2007 年 8 月 8 日 18 时 36 分(北京时间 2007 年 8 月 9 日 6 时 36 分), “奋进”号航天飞机载着 7 名航天员从佛罗里达州肯尼迪航天中心 39A 发射台顺利升空, 飞往国际空间站, 执行 STS-118 任务。这是“奋进”号时隔近 5 年来, 首次执行飞行任务, 也是它的第 20 次航天飞行。

(1) “奋进”号航天飞机介绍

“奋进”号航天飞机是 NASA 5 架航天飞机中最年轻的一架。于 1991 年建成, 用来替代 1986 年在爆炸中损失的“挑战者”号航天飞机。“奋进”号航天飞机高 36.6 米, 宽 23.4 米, 重 78 吨, 造价超过 20 亿美元。“奋进”号航天飞机于 1992 年 5 月 7 日首飞, 执行国际空间站 STS-49 任务。以后的十年时间里, “奋进”号完成 19 次国际空间

站飞行任务。任务时间表如下：

表 1 “奋进”号航天飞机飞行任务

发射时间	任务代号	发射时间	任务代号
1992.05.07	STS-49	1996.05.19	STS-77
1992.09.12	STS-47	1998.01.23	STS-89
1993.01.13	STS-54	1998.12.04	STS-88
1993.06.21	STS-57	2000.02.11	STS-99
1993.12.02	STS-61	2000.12.01	STS-97
1994.04.09	STS-59	2001.04.19	STS-100
1994.09.30	STS-68	2001.12.05	STS-108
1995.03.02	STS-67	2002.06.05	STS-111
1995.09.07	STS-69	2002.11.24	STS-113
1996.01.11	STS-72		

“奋进”号航天飞机是使用“发现”号航天飞机和“亚特兰蒂斯”号航天飞机的备份零部件建造而成的。同时也装配了一些新的硬件,改进和增强了轨道器的性能。而大部分的新硬件在今后的检查和改进计划中也都装配进了其他 3 架航天飞机中。

“奋进”号航天飞机的改进主要包括：

- 加装直径为 12 米的制动降落伞,大大缩短了轨道器降落时滑行的距离；
- 改进电子设备系统,包括先进的计算机、惯性测量装置和战术空中导航系统、增强的主要事件控制器和多路调制器-分离器、一个固态星体跟踪仪；
- 改进前轮操控机制；
- 改进“辅助动力装置”(APU),为航天飞机液压系统提供动力；
- 安装一个外部气闸,使“奋进”号能够与国际空间站对接；
- 安装地面冷却悬挂装置,允许有效载荷舱冷却小型密封后勤舱(MPLM)；

- 减重计划,最大限度地提高国际空间站有效载荷的运输能力;
- 在几个翼梁上增加了加强板,可以承载更重的有效载荷。

(2) 焕然一新的“奋进”号航天飞机

2003 年“哥伦比亚”号航天飞机失事后,NASA 取消了“奋进”号航天飞机的发射任务。修整了近 5 年的时间后,于 2007 年 8 月恢复飞行。

时隔 4 年多的时间,“奋进”号航天飞机再次执行飞行任务。这几年间,技术专家们对这架航天飞机精心保养,进行了大小 200 余项更新和改造。

最引人注目的改进是“奋进”号安装了“国际空间站-航天飞机电力转移系统”(SSPTS),这是 NASA 首次将这一系统安装在航天飞机上。通过这个系统,航天飞机可从国际空间站上获取电力,将空间站 120 伏电压转换成适合航天飞机使用的 28 伏电压。可以节省“奋进”号自身能源,增强飞机续航能力。

“奋进”号拥有全球首套“全面激活先进健康管理系统”(AHMS),该系统能在发射阶段监控航天飞机的 3 个主发动机。先进健康管理系统的的设计用于监控每个高压燃料涡轮泵和氧化剂涡轮泵的振动状况,这两个涡轮泵的旋转速度分别为 3.4 万次/分钟和 2.3 万次/分钟。据悉,“奋进”号 3 个主发动机在空间航行 8.5 分钟需要 1991126 公升燃料,如果发动机的涡轮泵振动太大,AHMS 将关闭发动机。

此外,“奋进”号还安装了能够观测隔热板状况的传感器和记录碎片及微小陨石对机体影响的机翼前缘传感仪,这些设备都是在 2003 年“哥伦比亚”号航天飞机失事后研发的,此前升空的“发现”号和“亚特兰蒂斯”号也装有这些设备。

(3) STS-118 任务综述

美国东部时间 8 月 21 日 12 时 32 分 (北京时间 22 日零时 32 分),“奋进”号航天飞机载着 7 名航天员,经过 13 天的旅行,在美国

肯尼迪航天中心着陆,平安返航,完成了“奋进”号航天飞机近5年来的首次航天飞行任务。

“奋进”号于北京时间8月9日6时36分发射升空,北京时间8月11日2时02分与国际空间站对接,为空间站带去了约2000千克的设备和供给物资。在对接的9天多时间里,航天员共进行4次出舱活动,为国际空间站安装了新的桁架结构,更换了控制力矩陀螺,为下次任务做了许多准备工作。

8月10日,“奋进”号航天飞机与国际空间站对接后不久,NASA就发现“奋进”号腹部出现了一个“伤口”。这是航天飞机升空过程中由外部燃料箱脱落的泡沫撞击所致。

经过近一个星期的紧张分析和测试,16日晚NASA最终决定,不对这个伤口”进行在轨修复。NASA称,这不会影响奋进号安全返航。

NASA解释说,之所以最终决定不予修复,是因为专家们在经过大量的数据分析以及地面模拟材料测试后认为,此处“伤口”不会对“奋进”号或航天员构成安全威胁,“奋进”号返航过程中不会因此遭受结构性损伤。由于损伤位于机身腹部,在轨修复难度很大,对实施修复操作的航天员以及航天飞机本身都是冒险的。

不过,NASA也承认,“奋进”号在带伤重返地球大气层时将受到高温考验,机身腹部损伤部位的铝制框架可能会进一步受损。因此“奋进”号落地后可能需要接受较长时间的地面修复。

此次任务中,航天员共进行4次出舱活动,为国际空间站安装新的组件——S5桁架,并维修了国际空间站上的一个控制力矩陀螺。

①8月11日,任务专家大卫·威廉姆斯和理查德·马斯特拉奇奥完成首次出舱活动,为空间站安装一个新的结构组件。两名航天员将S5桁架连接到国际空间站结构上,并收回了P6桁架上的一个散热器,为下次STS-120任务部署P6桁架完成了最后的准备工作。此

次出舱活动持续 6 小时 17 分钟，航天员在完成了正常的工作任务外，还进行了几项额外的工作。

②8 月 13 日，任务专家大卫·威廉姆斯和理查德·马斯特拉奇奥再次出舱，为国际空间站更换一个有故障的控制力矩陀螺。第二次出舱活动用时 6 小时 28 分钟。

③8 月 15 日，任务专家理查德·马斯特拉奇奥和国际空间站飞行工程师克莱顿·安德森进行第 3 次出舱活动，为下一步太阳阵展开和声音通信系统升级做准备工作。但由于中途理查德·马斯特拉奇奥发现自己左手手套大拇指处出现破损，原定约 6 个半小时的出舱活动持续了 5 小时 28 分钟就提前结束。

2 名航天员还是完成了此次出舱活动的主要任务——2 人首先将 P6 桁架上的 S 频段天线组件移至 P1 桁架，在 P1 上安装了一个新的转发器，并收回了 P6 上的转发器。他们也对机械臂进行监控，把空间站右舷上的两个装备车移到左舷上，为下次任务做好准备。唯一没有完成的任务是没有回收两个样品包，将在下一次出舱活动中完成。

④8 月 18 日，任务专家大卫·威廉姆斯和国际空间站飞行工程师克莱顿·安德森进行第 4 次出舱活动，用时 5 小时 2 分钟，比原计划缩短 1 小时 28 分钟完成任务。他们安装了“外部无线装置系统”(EWIS)天线，为机械臂延伸杆安装了支架，并回收了两个样品包。原计划的另外两项任务：碎片的清理和防护以及将一个工具箱移动到中心位置将在未来的出舱活动中完成。

由于担心大西洋飓风“迪安”的影响，8 月 18 日在 2 名航天员顺利完成第 4 次出舱活动任务后，NASA 决定把“奋进”号航天飞机的返航时间提前了一天。“奋进”号在 19 日脱离国际空间站后，没有按照传统做法绕空间站飞行数圈，而是在脱离程序完成后径直向地球返航并于美国东部时间 8 月 21 日 12 时 32 分安全着陆，圆满完成任务。

3. “发现”号航天飞机执行 STS-120 任务概述

美国东部时间 10 月 23 日 11 时 38 分(北京时间 23 时 38 分),“发现”号航天飞机在佛罗里达州肯尼迪航天中心载 7 名航天员发射升空。此次任务代号 STS-120,是美国航天飞机的第 120 次飞行,也是航天飞机第 23 次执行飞往国际空间站的任务。

经过两天飞行,“发现”号航天飞机于美国东部时间 10 月 25 日 8 时 33 分(北京时间 20 时 33 分)与国际空间站顺利对接。

此次飞行最重要的任务是将意大利为美国建造的“和谐”舱送往国际空间站,并由航天员完成安装、调试。“和谐”舱是美国航天飞机自 2005 年恢复飞行以来,运往国际空间站的第一个内部节点舱,它将成为后续要送上空间站的欧洲和日本实验舱的连接舱。

航天飞机与国际空间站对接期间,航天员原计划进行 5 次出舱活动,后因为 P6 桁架太阳能电池帆板临时出现故障,只进行了 4 次出舱活动。第 5 次出舱活动推迟到航天飞机离开国际空间站后由站上航天员进行。

①10 月 26 日,STS-120 任务专家斯科特·帕拉辛斯基和道格拉斯·惠洛克进行第 1 次出舱活动,历时 6 小时 14 分。此次出舱活动中,航天员把“和谐”节点舱安装在国际空间站的临时位置上,在航天飞机离开后,将移至“命运”舱的前部。此外,航天员还回收了一个出现故障的无线电通信天线,并为日后挪动空间站 P6 桁架进行了一些准备工作。

②10 月 28 日,航天员斯科特·帕拉辛斯基和丹尼尔·塔尼进行第 2 次出舱活动,历时 6 小时 33 分钟。空间站的 P6 桁架需要从目前的位置移动到另外一个位置,因此这次出舱活动中航天员拆除了 P6 桁架与 Z1 桁架连接的电缆,为机械臂移动桁架做准备工作。塔尼也检查了空间站右舷的太阳阿尔法旋转接头 (SARJ),发现可能存在磨损,收集了接头多层绝缘覆盖层下方的碎屑样品,用于进一步研究。此外,航天员还为“和谐”舱安装了组件,为“和谐”舱移至最

终位置做准备工作。

③10月30日，航天员斯科特·帕拉辛基和道格拉斯·惠洛克进行第3次出舱活动，历时7小时8分钟。他们把P6桁架及其太阳能电池帆板安装在永久位置，虽然在出舱活动即将结束时，P6桁架太阳能电池帆板出现破损，帆板展开立即中止，但已经完成了大部分的安装工作。还在一个储物平台上安装了一个备份的主线切换装置。此外，斯科特·帕拉辛斯基还检查了空间站左舷的太阳阿尔法旋转接头，收集了比较数据，用于右舷旋转接头磨损问题的研究。

④第4次出舱活动原定11月1日进行，由于P6桁架太阳能电池帆板破损，推迟到11月3日，由斯科特·帕拉辛斯基和道格拉斯·惠洛克执行，持续7小时19分钟，修理了破损的太阳能电池帆板。根据地面控制人员的指令太阳能电池帆板继续展开，电池帆板完全展开，第4次出舱活动圆满结束。

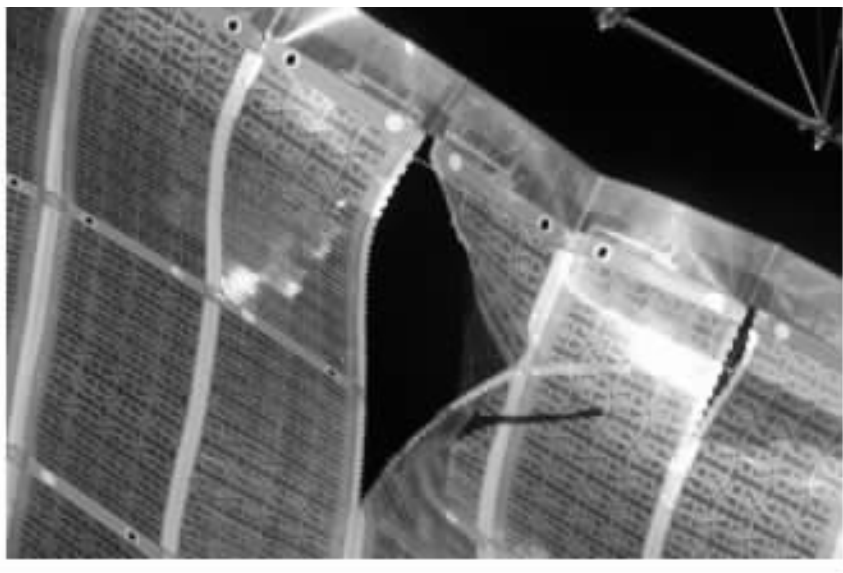


图2 破损的P6桁架太阳能电池帆板

“发现”号机组航天员丹尼尔·塔尼加入国际空间站第16长期考察团，而已在空间站工作近半年之久的航天员克莱顿·安德森被替换下来，随同其他6名“发现号”机组航天员一起返航。

11月5日,“发现”号航天飞机在与国际空间站对接运行10天21小时52分钟后,脱离国际空间站,于美国东部时间11月7日13时01分(北京时间8日2时01分),航天飞机在佛罗里达州肯尼迪航天中心按预定时间安全返航着陆。

(二)“联盟”号载人飞船执行国际空间站任务概况

1. “联盟”TMA-10飞船运送第15长期考察团到达国际空间站

2007年4月7日,格林尼治时间17时31分(莫斯科时间4月7日21时31分,北京时间4月8日1时31分),在哈萨克斯坦拜科努尔发射场,搭载国际空间站两名航天员和世界第5位太空游客的俄罗斯“联盟”TMA-10载人飞船升空。飞船于莫斯科时间9日23时11分(北京时间10日3时11分)成功与国际空间站“曙光”舱对接。

“联盟”TMA-10飞船将第15长期考察团成员送往国际空间站,包括俄罗斯航天员费奥多尔·尤尔奇欣和奥列格·科托夫。同行的还有美国太空游客查尔斯·西蒙尼。

(1)出舱活动

①5月30日,航天员费奥多尔·尤尔奇欣和奥列格·科托夫进行了首次出舱活动,持续5小时25分钟,在“星辰”服务舱上安装了轨道碎片防护板,并替换了“星辰”舱的实验装置。

②6月6日,航天员费奥多尔·尤尔奇欣和奥列格·科托夫进行第2次出舱活动,持续5小时37分钟,在“曙光”舱上安装了以太网电缆,在“星辰”舱上加装了碎片防护板,并部署了一个俄罗斯科学实验装置。

③7月23日,航天员费奥多尔·尤尔奇欣和克莱顿奥列格·科托夫安德森进行第3次出舱活动,持续7小时41分钟。更换了空间站桁架上出故障的电源控制器,投弃了一个冰箱大小的氨贮存箱,并清理了“团结”号舱上对接口的密封装置。

(2)搭乘“联盟”TMA-10飞船返回地球的航天员

搭乘“联盟”TMA-10飞船于10月12日到达国际空间站的马来西亚首位航天员谢赫·穆扎法尔·舒库尔只对空间站作短期考察,于10月21日搭乘俄“联盟”TMA-10载人飞船返回地球。在短暂的太空飞行期间,当过医生的Shukor进行了有关癌细胞、蛋白质和微生物的实验,与地面无线电爱好者进行了直接交流,并拍摄了太空景色。同时返航的乘员还包括替换下来的第15长期考察团指令长费奥多尔·尤尔奇欣和飞行工程师奥列格·科托夫,他们是在2007年4月乘“联盟”TMA-10飞船到达国际空间站的,已经在国际空间站上工作了196天。

(3)“联盟”TMA-10飞船返回

10月21日,“联盟”TMA-10载人飞船平安降落在哈萨克斯坦境内。由于返回舱以弹道方式降落,其着陆点偏离预定地点约200千米。俄罗斯航天局随后成立专门的调查组,对此事故展开调查。最新调查结果表明,导致该返回舱非正常降落的主要原因是控制台的电缆受损。

格林尼治时间10月21日7时14分(莫斯科时间21日11时14分,北京时间21日15时14分),飞船与国际空间站脱离,自动飞行程序控制飞船沿近地轨道绕地球飞行。飞船距地面高度约350千米时,其发动机开始减速制动,返回舱与飞船主体脱离。

返回舱降至距地面10千米时,减速降落伞被打开,随后返回舱开始以弹道方式降落。格林尼治时间10时36分(莫斯科时间14时36分,北京时间18时36分),飞船返回舱降落在哈萨克斯坦阿尔卡雷克市北部地区,偏离预定地点约200千米。

俄航天专家表示,飞船返回舱着陆地点出现如此大的偏离比较罕见,类似情形只在2003年5月发生过。当时国际空间站第6长期考察团3名成员乘坐的“联盟”TMA-1飞船返回舱着陆时,由于返回舱控制系统部件发生故障,导致返回舱以弹道方式降落地面,偏离

预定着陆点约 460 千米。

2. “联盟” TMA-11 飞船执行国际空间站任务

2007 年 10 月 10 日,格林尼治时间 13 时 22 分(莫斯科时间 10 月 10 日 17 时 22 分,北京时间 10 月 10 日 21 时 22 分),俄“联盟”TMA-11 飞船搭载 3 名航天员,从哈萨克斯坦境内的拜科努尔发射场升空,飞往国际空间站,发射 9 分钟后,飞船进入初始轨道。

经过两天飞行,格林尼治时间 10 月 12 日 14 时 50 分(莫斯科时间 12 日 18 时 50 分,北京时间 12 日 22 时 50 分),“联盟”TMA-11 飞船和国际空间站“曙光”舱成功对接,整个过程是在自动状态下进行的。对接后,“联盟”号航天员进行对接舱密封性检查等一系列操作。1 小时 32 分钟后,航天员打开舱门,进入国际空间站。

按计划,佩吉·惠特森和尤里·马连琴科将在国际空间站上工作 6 个月,截至 12 月底,共完成了下列出舱活动:

①11 月 9 日,指令长佩吉·惠特森和飞行工程师尤里·马连琴科进行首次出舱活动,持续 6 小时 55 分钟,为重新安置密封对接适配器-2 以及移动新的“和谐”号节点舱到其永久位置做准备工作。

②11 月 20 日,指令长佩吉·惠特森和飞行工程师丹尼尔·塔尼进行 7 小时 16 分钟的出舱活动,控制机械臂把“和谐”号节点舱移到美国“命运”号实验舱前端,然后进行“和谐”号节点舱的外部安装工作。

③11 月 24 日,指令长佩吉·惠特森和飞行工程师丹尼尔·塔尼进行出舱活动,持续 7 小时 4 分钟,继续“和谐”号节点舱的外部安装工作。还检查了空间站右舷上的太阳阿尔法旋转头。

④12 月 18 日,丹尼尔·塔尼和佩吉·惠特森再次完成出舱活动,持续 6 小时 56 分钟。主要任务是查找国际空间站右舷太阳能电池阵部分电力损失问题的原因。同时也检查了右舷太阳阿尔法旋转头。

此次出舱活动是执行国际空间站建造和维护任务的第 100 次出舱活动,也正是由于完成此次出舱活动,航天员佩吉·惠特森创造了女航天员出舱活动连续时间最长的新纪录:5 次出舱活动共用时 32 小时 36 分钟。

(三)国际空间站新增加舱段——“和谐”号节点舱

“和谐”号节点舱是意大利为 NASA 建造的。NASA 曾与欧洲航天局签署一份易货协议,根据协议,欧洲航天局为 NASA 建造节点舱,美国使用航天飞机运送欧洲的“哥伦布”实验舱到达国际空间站。意大利航天局负责节点舱的研制工作,位于意大利都灵的 Ale-nia Spazio 公司是主承包商,负责领导众多分包商来共同建造节点舱。节点舱的结构是基于“多用途后勤舱”(MPLM)和欧洲“哥伦布”实验舱的结构设计的。



图 3 “和谐号”节点舱

“和谐”号节点舱提供了连接 3 个空间站科学实验设施——美

国“命运”号实验舱、日本“希望”号实验舱和欧洲“哥伦布”实验舱间的通道。

它也为航天飞机和日本“H-2 转移飞行器”(HTV)提供了对接口,同时也用作“多用途后勤舱”的固定点。而且国际空间站的加拿大机械臂-2 也能够固定在节点舱外部的固定装置上进行工作。

铝制的节点舱长 7.2 米,直径 4.4 米。密封体积是 75.5 立方米,发射重量约为 14288 千克。

2003 年 6 月 1 日节点舱运抵肯尼迪航天中心,开始发射准备工作。NASA 在中小学生当中为这个节点舱征集名字,于 2007 年 3 月 15 日公布了它的新名字——“和谐”号。

该舱段在 2007 年 10 月 23 日由发现号航天飞机在 STS-120 任务中成功发射。2007 年 11 月 14 日,该舱与“命运”号实验舱对接成功。

NASA“和谐”号节点舱的安装为国际空间站增加了约 500 立方米的生活和工作空间,也可以连接欧洲和日本将要送往国际空间站的实验舱。

三、2007 年美国“猎户座”载人探索飞船进展情况

2007 年,美国“猎户座”载人探索飞船的研制工作取得进展,完成了系统需求评审工作,进入到初步设计评审阶段。

(一)“猎户座”飞船的技术进步点

“猎户座”飞船外形类似于“阿波罗”飞船,但是比“阿波罗”飞船,更大、更安全、更可靠。它能够完成更多的载人和非载人任务,不仅仅是月球任务,还包括国际空间站支持任务,可能还会飞往火星。可以说,“猎户座”飞船的设计是在“阿波罗”飞船基础上的重大进步。“阿波罗”飞船和“猎户座”飞船的区别如下表所示:

表 2 “猎户座”飞船与“阿波罗”飞船比较

项 目	“猎户座”飞船	“阿波罗”飞船
乘员人数	4	3
运载	“阿瑞斯-1”运载火箭发射“猎户座”飞船乘员舱和服务舱,“阿瑞斯-5”大运载火箭发射月球着陆器,“猎户座”飞船和月球着陆器在地球轨道对接,“阿瑞斯-5”火箭的第二级——飞离地球级和月球着陆器的组合体飞往月球轨道	土星 5 号火箭一次发射“阿波罗”飞船(指令舱、服务舱和月球着陆舱)
飞船乘员舱体积	20 立方米	6 立方米
乘员舱可重复使用情况	可重复使用 10 次	使用 1 次
电源	太阳能发电+锂-离子电池	氢燃料电池
月球轨道乘员状况	无航天员在月球轨道留守	1 名航天员在月球轨道留守
月球表面停留时间	4 名航天员停留 7~180 天	2 名航天员停留 3 天
返回地球	采用跳跃式再入大气层方式在陆地(或海上应急)着陆	在海上溅落

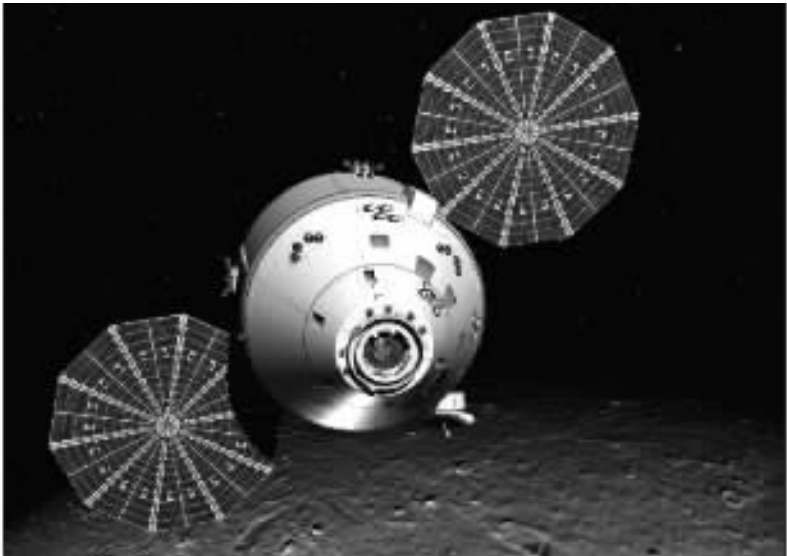


图 4 “猎户座”飞船圆形太阳帆板概念设计图

1. 结构

借鉴“阿波罗”飞船的经验，“猎户座”飞船由乘员舱、服务舱和发射异常中止系统构成，以求最安全、最经济和最快地实现国际空间站和登月任务的目标。

月球任务中“猎户座”飞船乘员舱体积为 20 立方米，可以乘坐 4 人(未来还将运送 6 名航天员到达国际空间站，甚至登上火星)，而阿波罗的 3 名航天员(加上设备)生活在只有 6 立方米的狭小空间里。

乘员舱(CM)即乘员返回舱，是“猎户座”飞船中唯一可以经历整个旅程的部分，最多可以重复使用 10 次。舱体结构主要由轻型钛增强型铝锂合金材料构成。

服务舱(SM)主要用于安装飞船电源、电子设备、推进系统、热控辐射器板以及与运载器接口的适配器。服务舱外径 5.5 米(同 CM)，主结构长 3.46 米，采用非承压半硬壳式结构(与“阿波罗”飞船相同)，以减轻重量，采用了轻型聚合物复合材料铝加强型蜂窝结构，简便的制造方法有利于降低成本。

飞船还装有一个航天器适配器，用作“猎户座”飞船和“阿瑞斯”1 运载器之间的结构和电力接口。

2. 热防护

乘员舱是“猎户座”飞船中唯一可以经历整个旅程的部分，舱外部覆盖有热防护系统，不仅能保护居住舱免受再入时高温的影响，也包括了坚硬的、防撞击保护层，可以在遭到高速微流星体或其他碎片撞击时起到防护作用。

乘员舱基座的热防护材料是“苯酚浸渍碳烧蚀材料”(PICA)。PICA 是酚醛树脂中嵌入的碳纤维充填物。在较高的温度下，PICA 层的一部分被烧蚀，带走大量的热量，留下烧焦材料的耐热层。PICA 较低的导热性也阻碍了向乘员舱的热传递。PICA 曾在 2006 年的“星尘”探测器任务中得到验证，探测器返回地球时的速度达到

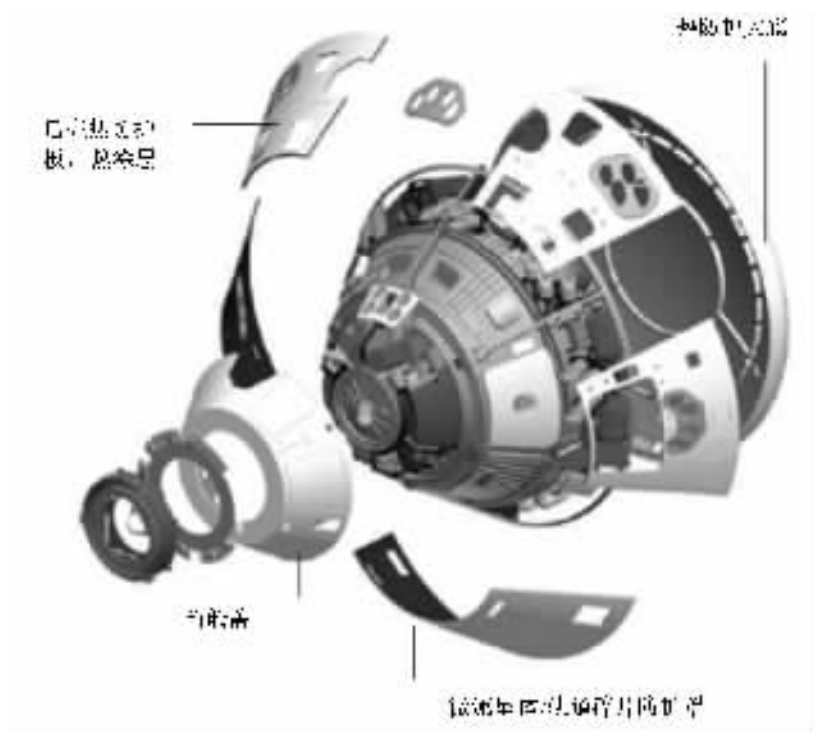


图5 “猎户座”飞船乘员舱热防护系统

13000 米/秒,这是迄今为止最快的控制再入速度。然而,“猎户座”飞船的热防护层在面积上要比“星尘”探测器大 40 倍,因此“猎户座”飞船的热防护层需要分段建造,因此增加了复杂性。目前,波音公司已经完成“猎户座”飞船热防护系统原型的建造,而且硬件已经通过了 NASA 的初步审查。

飞船服务舱的热防护系统主要包括被动热控所需要的内部隔热板。

3. 推进

乘员舱的推进系统主要是喷气操纵系统,用于乘员舱再入大气层时机动和姿态控制,这个系统采用气态氧和甲烷作推进剂。推进剂是无毒的,这是氧-甲烷推进系统的优点之一(而以前使用有毒的肼单元推进剂),将有助于确保飞行的安全性和返回地球后地面人员的安全性。

服务舱推进系统由轨控主发动机系统和姿态控制喷气操纵系统发动机系统组成。轨控主发动机用于提供飞船在轨飞行和上升段应急飞行所需的转移机动动力；喷气操纵系统的发动机系统用于飞船姿态控制和辅助的转移机动飞行（如：交会对接末段），可作为主发动机系统的备份使用。两个系统都使用液氧/甲烷（LOX/LCH₄）作为推进剂。

服务舱的总质量为 13647 千克，而推进剂质量就占 9200 千克以上。液氧/甲烷推进剂的贮箱采用被动隔热措施，使用 60 层不同密度的多层隔热板（总厚 0.041 米）和 0.025 米厚的喷涂泡沫隔热层。另外，在贮箱上备有汽化燃料被动式排放系统。

4. 电源

“猎户座”飞船区别于“阿波罗”飞船最显著的特点之一是给服务舱添加了伞形状的太阳能电池阵，在轨运行需要时展开。这是因为“阿波罗”号飞船是设计用于几天的月球任务的，它装载的氢燃料电池能满足很短时间任务的电源需求，而“猎户座”飞船产生的电能必须能够支持 6 个月以上的任务。

乘员舱的电源系统由可充电锂-离子（Li-ion）电池、28 伏直流电源母线、电源控制器（PCU）、遥控电源控制器（RPCU）和备份电池等组成。

服务舱电源系统由三结砷化镓太阳能电池阵、电源分配系统和电源控制器组成。太阳能电池阵包括 2 个 17.9 平方米帆板；每个太阳帆板均可提供飞船所需的 4.5 千瓦平均功率。实际按 6167 瓦能力设计，初期能力 5242 瓦。

5. 再入和着陆

在美国陆地上着陆是一个基本的问题，然而，将近一半的太阴月时间里，轨道条件适合在南半球着陆，远离美国西部计划的着陆地点。尽管飞往月球轨道的出发时间可以改变再入点的经度，而纬度是由月球出发时月球相对于地球的倾角（相对于赤道的角距离）

决定的,是不能改变的。因此,为了在太阴月不利的时间里使飞船在美国西部或者美国附近的水域着陆,“猎户座”飞船将通过自身推力在地球外层大气层偏转产生气动提升,使其着陆点进入北半球。也就是说航天器在穿越上层大气层时需要跳起,这种类型的再入形式叫做跳跃式再入大气层。跳跃式再入大气层技术的关键是在跳跃飞行的远地点进行修正机动飞行,以消除累积偏差,寻的到同一再入返回轨道,以使乘员和飞行器的每次飞行均经历相同的过热和过载。

“猎户座”飞船的着陆方式与“阿波罗”号飞船不同。像以前的“双子星”号和“水星”号飞船一样,“阿波罗”号在经过大气层后,溅落到海上。但由于水着陆要求回收船队,成本很高,而且还要使可重复使用的飞船经受盐水的腐蚀,因此“猎户座”飞船计划如同俄罗斯的“联盟”号飞船一样,在陆地上着陆。这个标准的“陆地着陆”模式也是最大程度减小生命周期成本的关键。如果出现紧急情况或天气不利等因素,“猎户座”飞船也能在海上降落。

“猎户座”飞船的着陆系统主要包括:伞系统、着陆缓冲气包和水上漂浮系统。伞系统由3个圆形主伞(直径34米)、两个锥形风标伞(直径11米)、3个引导伞以及相关结构和释放机构组成。同时配置了4个可充气 Kevlar 气包(分为内包和外包,各两个),安装在压力舱和防热大底之间,用于在着陆时缓冲冲击在抛掉防热大底后,触地之前,气包由高压氮气充起。受冲击后,随着两个外包减压,两只内包持续充气以保证着陆的稳定性。水上漂浮系统用于防止乘员舱落水后倾覆,以保证飞船的安全和便于乘员出舱。

但在2007年12月10日,NASA 副局长里克·吉尔而雷斯表示,NASA 还未确定是否采用陆地软着陆的方式,也可能采用水上溅落的方式。目前这个问题还在讨论中,要等到2008年才能作出决定。

6. 对接

“猎户座”飞船采用同体异构的“低冲击对接系统”(LIDS)与其

他航天器和国际空间站对接。月球任务中,飞船追上由“阿瑞斯”5送入轨道的月球着陆器和飞离地球级。在两个航天器交会时,航天员实施(或监控)最后的几次机动,密切关注自主的“软捕获”系统使两个航天器对准并慢慢地对接。力反馈和机电组件传感到负载,自动地捕获航天器的接合环,在连接过程中主动减弱所有的触点压力。然后,对接完成,飞船载着乘员朝月球飞去。

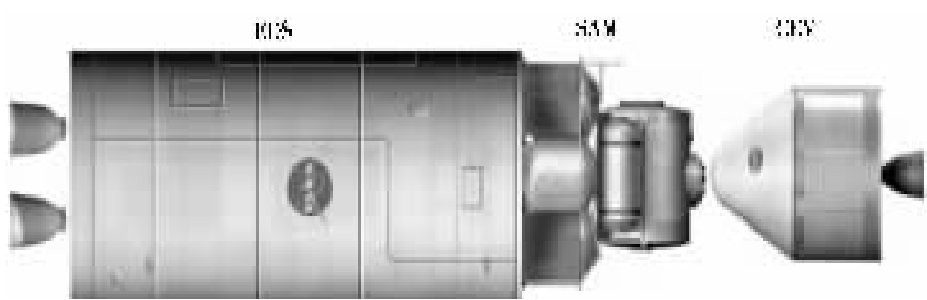


图 6 对接后的飞离地球级(EDS)、月球着陆器(LSAM)和载人探索飞船(CEV)组合体

7. 逃逸

为了提高安全性能,“猎户座”飞船还配置发射异常中止系统(LAS),作为发射场和上升段应急救生。在发射准备阶段或上升过程中,出现异常时,“猎户座”飞船的发射异常中止系统可以在几秒钟内传递相当于自身和乘员舱重量 15 倍的推力,以 10g 的加速度载着乘员逃离危险,而航天飞机不具备这个能力。如果在地面发射时发生严重故障,分离的系统将上升大约 1200 米的高度,打开降落伞,降落到安全的区域。

任务策划者们认为,异常中止系统和先进的制导与控制系统能够使乘员安全返回的几率达到 90%以上。“猎户座”飞船的发射异常中止系统与“阿波罗”飞船的“发射逃逸系统”(LES)相似,安装在乘员舱上端。不同的是异常中止系统的喷嘴安装在发动机顶部附近,这样就会减少对乘员舱的冲击负荷。异常中止系统的主动轨迹控制

系统包括固体推进剂、固体火箭逃逸发动机、喷嘴以及一个乘员舱适配器。

（二）“猎户座”飞船研制的进展情况

2007 年，NASA 完成了“猎户座”飞船的系统需求评审工作，下一步是初步设计评审和关键设计评审，将分别于 2008 年夏和 2010 年进行。

2006 年 11 月，NASA 完成了“猎户座”载人飞船和“阿瑞斯”运载火箭首次需求评审，同时评审结论也为 NASA 执行地球、月球以及火星探索任务所需的火箭和载人飞船的设计、研制、建造以及操作提供了理论依据。

2007 年 3 月 8 日，NASA“猎户座”项目的科学家与项目主承包商洛克希德·马丁公司合作完成了系统需求评审。“猎户座”飞船在系统需求评审后仍超重 700 千克。

2007 年 3 月，NASA 的格伦研究中心开始在航天动力装备间对“猎户座”飞船进行综合环境试验。环境试验旨在验证“猎户座”的硬件满足模拟环境条件下（如发射、在轨运行、再入飞行）的特殊性能需求。试验过程中，将对“猎户座”飞船进行热学、声学、机械振动和电磁兼容性试验。此外还将对发射异常中止系统、乘员舱、服务舱和航天器适配器进行试验。此项工作为期 5 年（2007~2011 年），成本约 6300 万美元。

2007 年 5 月，NASA 结束了长达 6 个月的“猎户座”飞船、“阿瑞斯”运载火箭与其他支持系统的系统需求评审，完成了“星座”计划基本能力需求清单。

2007 年 5 月 21 日，NASA 宣布“猎户座”飞船采用重新设计的服务舱，减重约 454 千克。

2007 年 11 月 13 日，波音公司宣布已经完成了“猎户座”探索飞船热防护系统原型的建造，而且硬件已经通过了 NASA 的初步审查。

(三)“猎户座”飞船的关键技术

1. 软着陆系统

软着陆系统包括气囊系统、制动火箭系统等几种方案,但目前项目工程师正在研发的是气囊系统,这个系统位于“猎户座”飞船乘员舱下侧,可充气,来减缓在硬陆地着陆时的撞击力。



图 7 NASA 工程师正在测试可充气式气囊系统

过去两年中,一直倾向于使用气囊系统的陆地软着陆方式。但目前 NASA 内部出现了分歧,到目前为止还不能确定“猎户座”飞船将采用水上溅落还是软着陆方式着陆。“星座”项目团队认为,从水上溅落的方式在安全性和性能方面要比陆地软着陆具有更大的优势。而且,重 680 千克的气囊系统对已经超重的飞船系统提出了更大的挑战。但陆地软着陆方式的拥护者们认为,使用软着陆方式可以使乘员舱反复使用 10 次,因此增加 680 千克的重量是值得的。讨论仍在继续,究竟会采用哪种方式,要等到 2008 年才能确定。

2. 热防护罩

尽管工程师们看好 PICA 作为乘员舱热防护罩的材料,然而建

造这样大型的结构面临着众多难题。

2003 年哥伦比亚号航天飞机失事表明,返回航天器的热防护系统是非常关键的。大气再入时,由于超声速行进的航天器与空气产生的磨擦使航天器下面产生了极高的热量(几千摄氏度)。由于月球任务中的再入速度(约为 11 千米/秒)要比航天飞机从近地轨道的下降速度高出 41%,因此热负荷要高出好几倍。“猎户座”飞船乘员舱要比“阿波罗”乘员舱大,因此也增加了难度。

2006 年 9 月,NASA 授予波音公司价值 1400 万美元热防护罩初步设计阶段的合同。2007 年 11 月 13 日,波音公司宣布已经完成“猎户座”飞船热防护系统原型的建造,而且硬件已通过 NASA 的初步审查。5 米宽的热防护罩使用了 PICA,此材料是由位于缅因州比迪福德的分包商 Fiber Materials 公司研发的。



图 8 波音公司为“猎户座”飞船制造的热防护罩