

# 国际空间站值得关注的技术试验

作为近地轨道空间目前唯一的大型综合实验设施,国际空间站为空间应用开展提供了良好平台。国际空间站在进入全面应用之后,其独特的微重力环境和先进的科研设施受到参与国的高度重视,尤其是新技术开发与研制逐渐成为国际空间站上的重点应用方向。2012年,国际空间站技术开发与验证能力得到进一步发挥,相继开展各类技术试验数十项,如欧洲航天局(ESA)与美国国家航空航天局(NASA)在国际空间站上测试星际通信协议,实现对地面机器人的远程操控;日本航空航天探索局(JAXA)和NASA在空间站舱内首次使用机械臂释放5颗立方体卫星,用于科学探测、教育及科技研发;NASA利用“进步”号货运飞船验证“零推进机动”(ZPM)试验;NASA使用加拿大机械臂在国际空间站上进行在轨燃料加注演示验证等。同时,国际空间站上开展了多项维护国际空间站长期运行的技术试验,如新型交会对接系统试验、新型前定空间碎片规避机动系统等。

## 一、国际空间站在轨加注试验

### (一) 任务概况

国际空间站在轨加注任务(RRM)是由NASA与加拿大航天局(CSA)联合开展的一项空间站外试验,旨在验证针对在轨卫星的机器人维修和燃料加注所需的技术、工具和工艺。机器人在轨服务能有效减少发射载荷、延长卫星寿命,实现卫星按需变轨和

更远距离的空间飞行,具有巨大的应用前景,因而受到美国军方、NASA 和工业界的广泛重视。

任务由 NASA 和 CSA 有关专家组成的地面小组,通过遥控指挥方式,由“加拿大机械臂 2”(Canadarm2)和“灵巧机械臂”(Dextre)共同完成。臂长 17 米的 Canadarm2 固定在国际空间站外部,3.7 米长的 Dextre 被安装在 Canadarm2 的末端进行精细操作。

RRM 共进行 6 次试验,截至 2013 年 1 月已完成 3 次。①完成解锁并研究执行在轨维修任务时所面临的光照条件,旨在利用“灵巧机械臂”移去“发射锁”(launch lock),为后续利用 RRM 工具做准备。②移除配件试验,移除的配件包括锁线、阀门、安全帽和安全塞等。此项试验的目的有两个:一是演示 RRM 工具的在轨操作能力及其与机械臂和操控人员的协同工作能力,二是为后续的在轨加注任务做前期准备。③在轨燃料加注,目的是演示针对卫星的机器人在轨加注燃料能力。在剪断安全锁线、移走安全帽、拧开阀门后,机械臂通过连接管成功对模拟卫星加注 1.7 升的液体乙醇。④处理隔热垫片,演示利用“灵巧机械臂”操纵“隔热垫片处理”工具切开并掀开隔热垫片,露出隔热垫片下面的硬件。任务时间待定。⑤拧下螺栓,拧下模拟卫星上的螺栓。任务时间待定。⑥移除电插座帽,移去模拟卫星上的电插座帽。任务时间待定。

## (二) RRM 模块

RRM 模块是 NASA 卫星服务能力办公室(SSCO)负责设计制造的,由模拟卫星和 RRM 专用工具组成,RRM 模块重约 7.5 千克,四个独特的工具为:剪线钳和垫片操作工具,多功能工具,安全帽拆除工具和喷嘴工具,每个工具上都有两个摄像头及内置 LED 照明工具,任务控制人员能通过摄像头传输的图像观察和控制工具。地面团队通过机械臂对各类工具的控制,能够实

现剪开模拟卫星外皮、拆掉多个绝缘层、剪掉拧在安全帽上的锁线、为燃料阀门接通管路、向模拟卫星泵输送模拟液体燃料等多种操作。

RRM 工具箱的设计基于“哈勃”望远镜维修工具的设计理念,运用创新概念,以最大化提高工程效率为目的,用最精简的工具完成多项复杂任务。

## 二、国际空间站首次利用激光传输数据

10月2日,国际空间站俄罗斯舱段首次通过激光将宽带信息传输到地面站。传输数据量为2.8吉比特,传输速度达到125兆比特/秒。

该空间激光通信系统由俄精密仪器制造系统公司和能源公司共同研发。系统从空间发射激光信号,再由地面接收站将激光解调成电信号,从而实现信息传输。根据俄航天部门2012年2月进行的试验,该系统可在1000千米距离内以2~75兆比特/秒的速度传输数据。

此次激光通信技术试验目的是检验空间激光通信的硬件,并对数据传输的程序进行验证。试验主要任务包括3项:①“激光通信站载终端”(LCOT)设备的安装与使用;②在国际空间站上测试激光通信设备的工作情况;③验证激光通信线路的数据接收及发送程序。

与微波空间通信相比,激光空间通信的波长短,并具有高度的相干性和空间定向性,这决定了空间激光通信具有以下优点:①通信容量大。激光的频率比微波高3~4个数量级,作为通信载波有更大的可利用频带。光纤通信技术可以移植到空间通信中来,目前光纤通信每束光波的数据率可达20吉比特/秒以上,并且可采用波分复用技术使通信容量提高几十倍。因此在通信容量上,激光通信比微波通信有显著优势。②功耗低。激光的发散角很小,能量高度

集中,落在接收机望远镜天线上的功率密度高,发射机的发射功率可大大降低,功耗相对较低。这对能源成本高昂的空间通信来说十分适用。③体积小、重量轻。由于空间激光通信的能量利用率高,使得发射机及其供电系统的重量减轻;由于激光的波长短,在同样的发散角和接收视场角要求下,发射和接收望远镜的口径都可以减小。摆脱了微波系统巨大的碟形天线,重量减轻,体积减小。④高度保密。激光具有高度定向性,发射波束纤细,激光的发散角通常在毫弧度,使激光通信具有高度的保密性,可有效提高抗干扰、防窃听的能力。⑤建造和维护成本较低。

目前,国际空间站与地面的主要信息传输手段是卫星电话,但卫星信号并不是全天候存在。互联网服务依靠通信卫星的 Ku 波段,但网速不快(仅够浏览新闻)。激光通信系统的运用,将为航天领域快捷、可靠的空间通信开辟新的道路。

### 三、货运飞船 Kurs - NA 新型对接系统试验

#### (一) 试验过程

为试验 Kurs - NA 新型对接系统,在俄罗斯地面任务控制中心的监控下,俄“进步”M - 15M 货运飞船于北京时间 7 月 23 日凌晨与国际空间站分离,飞船在距离空间站约 161 千米的位置保持了近 24 小时之后,于北京时间 24 日上午 9 时 58 分开始启动对接程序,试图接近国际空间站进行对接试验。然而,对接系统突发故障触发了“被动中止”程序,对接被自动取消。飞船被保持在距离国际空间站下方 2.9 千米的安全距离,并随后撤离至国际空间站后方 484 千米处。

在查清故障原因并进行处理后,“进步”M - 15M 货运飞船在北京时间 29 日上午再次进行对接试验。飞船从距离国际空间站 46 千米处开始启动自动 Kurs - NA 对接系统,逐步向空间站靠拢,北京时间 29 日上午 9 时 01 分,“进步”M - 15M 货运飞船与国际空间站

“码头”号对接舱的 DC-1 对接口成功对接。

## （二）故障原因及处理

首次对接试验中止后,俄方工程技术人员多次尝试重新激活故障系统,但均未成功。最终,技术人员发现是飞船表面温度过低导致 Kurs-NA 传感器失灵,从而触发“被动中止”程序,导致对接失败。为解决这一问题,技术人员启动了所有可能的加热装置为飞船升温,最终使得飞船温度稳定保持在 22℃,从而成功激活对接系统。俄经过三次试验接通 Kurs-NA 对接系统,最后决定在 29 日进行再次对接试验并最终实现了成功对接。

## 四、NASA 与 ESA 试验行星际互联网

2012 年 10 月—11 月,NASA 与 ESA 在国际空间站上测试由 NASA 开发的“中断容错网络传输”协议(DTN)。利用该协议,未来将可能实现以在轨卫星为中继站,在火星轨道的航天器上或在地球操控火星表面机器人。

在 11 月的试验中,国际空间站航天员利用 NASA 研制的一台便携式计算机操控位于德国欧洲空间运行中心的一个小型“乐高”(LEGO)机器人。验证了利用新通信基础设施从轨道航天器向地面机器人发送指令,并接收从机器人发回的图像和数据的可行性。

## 五、国际空间站释放小卫星

2012 年 10 月 4 日,国际空间站上航天员首次利用机械臂释放 HTV-3 带来的 5 颗小卫星,其中 3 颗由日本制造,2 颗由美国制造。与直接由火箭发射相比,在国际空间站上释放小卫星产生的振动更小,有助于降低设计和生产成本。5 颗小卫星释放入轨后将执行多项任务,包括对地观测等,任务计划持续约 100 天。小卫星具体任务参见表 1、表 2。

表 1 JAXA 在空间站上释放的小卫星

卫星名称	RAIKO	EITSAT - 1	WE WISH
主要飞行任务	利用鱼眼相机对地球摄像； 采用摄像机摄取图像的方法从空间站上测量释放小卫星时卫星的相对运动； 验证新型高性能星敏感器； 利用展开膜进行降轨实验； 开发小型卫星移动地球站,用其执行国际共同接收使命； 利用 Ku 信标电波进行开普勒频率测量,并完成轨道测定实验； 利用 Ku 频段通信机进行高速数据通信实验	通过试验验证开发的新型小卫星用的高速发送模块； 利用高输出 LED 进行可见光通信实验	利用小型卫星获取的数据,为促进地区间的技术教育做贡献； 验证超小型热红外摄像机技术

表 2 NASA 在空间站上释放的小卫星

卫星名称	F - 1	Tech EdSat
主要飞行任务	验证立方体卫星用的磁强计； 验证 C328 低分辨率相机； 验证温度传感器	验证(SPA)软件产品； 通过铱星和轨道通信卫星进行卫星间通信试验

(中国国防科技信息中心、北京空间科技信息研究所)