

欧洲航天局载人航天测控通信设施

一、引言

随着欧洲一体化程度的逐步深入,欧洲国家联合发展载人航天已经成为欧洲“崛起”的标志之一。现阶段,欧洲航天局(ESA)的载人航天任务主要是积极参与国际空间站的建设和利用,同时,随着“曙光”(Aurora)计划的进展,还积极开展与载人登陆月球、登陆火星有关的准备工作。

在此过程中,欧洲航天局建设了与国际空间站“哥伦布”(Columbus)舱、“自动转移飞行器”(ATV)及有关载荷的测控操作相对应的“哥伦布”控制中心(Col-CC)、自动转移飞行器控制中心(ATV-CC)以及互联地面子网(IGS)等设施。

在欧洲航天局已经进行的 ATV 与国际空间站的交会对接中,其发射的试验性数据中继卫星——ARTEMIS 数据中继卫星发挥了作用。在多方需求的推动下,欧洲航天局已经开始建设其数据中继卫星系统——欧洲数据中继卫星(EDRS)系统。建成后的 EDRS 系统将为国际空间站和 ATV 提供支持,并将为未来的载人登陆月球、火星提供有效支持,同时还满足其他的用户需求。

在欧洲航天局已经进行的与国际空间站有关的载人和无人航天操作中,“哥伦布”控制中心和 ATV 控制中心、IGS 网络、ARTEMIS 数据中继卫星以及美国国家航空航天局(NASA)的数据中继卫星系统 TDRSS 发挥了重要作用。例如,2005 年 4 月,欧洲航天局航天员 Roberto Vittori 参与“联盟”10S 任务;2006 年 7 月到 11 月,欧洲航天局航天员 Thomas Reiter 在国际空间站上执行国际空间站的操作系统,任务周期长达半年;以及后来的“哥伦布”舱发射安装到位和 ATV 与国际空间站的对接。

虽然在欧洲航天局已经进行的与国际空间站有关的载人和无人任务中,在发射阶段和早期轨道调整及返回段还需地面测控站的支持,但其运行段和交会对接段的测控通信支持主要由“哥伦布”控制中心、ATV 控制中心、IGS 网络、ARTEMIS 数据中继卫星以及美国 NASA 的数据中继卫星系统来完成。

二、载人航天地面控制通信设施

欧洲航天局的载人航天地面控制通信设施主要包括:“哥伦布”控制中心,位于德国慕尼黑附近;自动转移飞行器控制中心,位于法国图卢兹;用户支持和操作中心(USOC);互联地面子网。一些设备生产厂家和来自欧洲航天研究与技术中心(ESTEC)的操作管理团队(OMT)也为“哥伦布”舱和 ATV 的操作提供支持。

其他用于载人航天的地面设施还包括:ATV 和“哥伦布”舱航天员训练设施,载荷与“哥伦布”舱的兼容性测试设施等。

在载人航天地面控制设施中,“哥伦布”控制中心和 ATV 控制中心都是主备份工作制,主控制中心用于实时操作,备份控制中心用于准备活动(操作员的训练,仿真等),同时还作为主控制中心的备份。控制中心及与载人航天有关的其他设施通过互联地面子网连接在一起。

“哥伦布”舱和 ATV 系统大部分都是自动操作,控制中心监视操作按规划进行,在有变化或故障的情况下,进行必要的更新。维护由在轨的航天员进行,地面控制中心和相应的载荷操作中心进行监视。

(一)“哥伦布”控制中心

1. 控制中心简介

位于德国空间操作中心(GSOC)下的“哥伦布”控制中心主要职能是:星上和地面的任务规划;监视、控制“哥伦布”舱的技术系统以及有效载荷;操作互联地面子网;协调国际空间站上欧洲有效载荷

的操作；在 ATV 控制中心控制和操作 ATV 期间协调欧洲实验载荷的操作；培训地面操作团队。

有 3 个小组为“哥伦布”控制中心的任务控制提供支持，分别是：

飞行控制小组 位于控制室，管理国际空间站的欧洲部分，包括控制和运行“哥伦布”系统、实验的协调、“哥伦布”舱内所有的航天员活动与安全问题。

规划小组 位于操作规划支持室，负责欧洲部分实验的任务规划。

地面控制小组 位于地面操作控制室，负责 IGS 网络、控制中心技术系统的操作。

所有与“哥伦布”舱有关的地面业务，包括语音、视频和数据通信都由“哥伦布”控制中心提供。“哥伦布”控制中心与国际空间站的休斯顿任务控制中心（MCC-H）、位于亨茨维尔的操作支持中心（POIC/HOSC）、ATV 控制中心、欧洲航天员中心（EAC）、位于 ESTEC 的 ESA 管理团队密切协作，支持“哥伦布”舱的操作。此外，它还为载荷操作提供下列支持功能：

- 将来自载荷操作站点的遥控指令发往“哥伦布”舱；
- 向载荷操作中心分发支持数据；
- 中（Ku 波段）、低（S 波段）速率遥测及遥控、音频、视频数据的归档；
- 本地载荷操作。

“哥伦布”舱和载荷的遥控指令通过休斯顿任务控制中心上行；“哥伦布”舱的下行遥测以 S 波段、Ku 波段通过休斯顿任务控制中心和亨茨维尔操作支持中心（POIC/HOSC）接收和处理。“哥伦布”控制中心也接收所有国际空间站状态的处理数据，接收来自休斯顿任务控制中心、亨茨维尔的操作支持中心、俄罗斯莫斯科任务控制中心的天/地链路数据。

“哥伦布”控制中心监控子系统利用“哥伦布”地面软件（CGS）支持包，扩展控制中心的操作。训练、鉴定和检验子系统（TQVS）飞行

系统仿真器——作为“哥伦布”控制中心的一部分,主要用于地面操作员的训练,也基于 CGS。

CGS 为“哥伦布”舱而开发,已经作为不同飞行系统开发和验证支持系统的一部分进入运作。使用基于 CGS 的监视控制系统,以及基于 CGS 的“哥伦布”任务数据库(开发自“哥伦布”C/D 阶段,位于“哥伦布”控制中心),降低了地面和飞行系统间的不兼容风险。

2. “哥伦布”控制中心的开发与管理

“哥伦布”控制中心由德国航天局负责开发和管理,并代表欧洲航天局为“哥伦布”舱的所有在轨操作提供协调和保障。德国航天局参与飞行器操作已有 30 多年,从 1983 年操作欧洲空间实验室开始负责载人飞行任务的管理。

德国空间操作中心(GSOC)掌管着“哥伦布”控制中心,综合管理子系统(IMS)是 GSOC 的一个综合子系统,用于监视、控制和配置整个“哥伦布”地面中心,其主要站点分布在德国、美国、法国和俄罗斯,用户操作中心遍布欧洲。IMS 为“哥伦布”控制中心地面终端子系统提供概况监视和集中控制。IMS 主要管理任务包括监视、故障管理以及对子系统进行局部控制。从“哥伦布”控制中心顶层可以监控整个网络和各个分布中心。

休斯顿、亨茨维尔、莫斯科和图卢兹以及载荷操作中心(USOC)等都可以通过 IMS 进行监视。服务和 IGS 节点本身也都可以通过 IMS 进行详细监视,操作者可以得到温度、湿度、通信链路等状态参数,以及位于 IGS 节点不同子系统的路由器和交换机直至防火墙的端口状态参数。外部节点的状态和命令在子窗口中给出。

3. 自动转移飞行器控制中心

ATV-CC 负责操作 ATV,并与位于莫斯科和休斯顿的任务控制中心、以及“哥伦布”控制中心合作,在任务和交会对接期间全天时工作。ATV 发射阶段,ATV 控制中心协同圭亚娜航天中心工作。

ATV 控制中心由法国航天局根据 2003 年与欧洲航天局的合同

承建。在欧洲航天局管理下,ATV 控制中心负责准备和验证在飞行期间使用的监控工具,编制任务计划并在必要时修改。

除了传统的监控,ATV 控制中心具有尖端的飞行动力学支持功能。飞行动力学由 ATV 上的软件和地面共同完成。

ATV 控制中心拥有 ATV 任务数据库。ATV 控制中心操作数据库供监控子系统及飞行动力学子系统使用,它们可以直接使用该数据库的数据定义。与“哥伦布”控制中心一样,ATV 控制中心也安装了飞行元素仿真器,以支持 ATV 控制中心的验证、操作程序验证和地面操作员训练。该仿真器还支持包括 ATV 控制中心、休斯顿任务控制中心、莫斯科任务控制中心和“哥伦布”控制中心在内的多个部分的联合训练。

为了持续与其他控制中心保持联系,并使用中继卫星(美国的 TDRSS 和欧洲的 ARTEMIS) 与在轨的 ATV 保持联系,ATV 控制中心的通信依赖互联地面子网。

(三)互联地面子网

1. 网络概况

互联地面子网是欧洲航天局支持“哥伦布”舱和 ATV 的网络。IGS 是 ATM 网络,ESA 确信基于 ATM 的所有业务综合将使该通信网络系统实现最佳的费效比。在建设过程中,由于 Internet 技术的发展非常迅速,IP 成为事实上的工业标准,IGS 采用了 IP 协议,通过 IP 网关提供各项业务。IGS 具有到其他航天局保密网的网关,可以满足空间实验平台或实验室的远程操作对通信系统提出的高安全、高可靠、高保密要求。未来,IGS 将提供“全 IP”业务。

主要的国际合作伙伴和四个 USOC 站点通过 ATM 网络连接到“哥伦布”控制中心,其他的 USOC 站点都通过 ISDN 连接到“哥伦布”控制中心。

大多数通信都通过“哥伦布”控制中心,但不在“哥伦布”舱上的

载荷的遥控、遥测直接从载荷操作中心到莫斯科任务控制中心或亨茨维尔操作支持中心。“哥伦布”舱上载荷高速率 Ku 波段数据也直接从亨茨维尔操作支持中心到载荷控制中心。不过,所有这些链路都从“哥伦布”控制中心进行控制。

2. 网络管理和数据通信

IGS 的资源 and 业务都在德国空间操作中心进行监视和控制,IGS 管理控制设施、用于数据处理的中央 DaSS 服务器都位于“哥伦布”控制中心。包括:交换节点的管理,提供和监视数据、音频和视频业务的连通性,提供和监视相关音频、视频设备以及数据业务系统(DaSS)。“哥伦布”舱和 ATV 使用了 NASA 和俄罗斯的天/地链路,所以,IGS 有到 NASA 和俄罗斯设施的接口,IGS 数据支持业务系统支持不同的接口数据协议。

尽管如此,DaSS 为所有的“哥伦布”载荷提供单一的标准化的协议,用于遥控、遥测(低速率和中速率),并处理来自不同国际空间站控制中心的数据。标准化、加密的 DaSS 接口同样用于 ATV,作为通过莫斯科的 ISS 已处理数据和遥测/遥控链路的接口。

3. 语音通信和视频通信

IGS 支持传统语音系统和 VoIP 语音系统。

在微重力先进研究和支持(MARS)中心(位于意大利那不勒斯)、加拿大航天局(位于加拿大蒙特利尔)、“哥伦布”控制中心之间已经安装了安全、加密的 VoIP 语音系统,运行效果良好。该 VoIP 语音系统与现有任务语音会议系统通过标准的模拟语音接口实现无缝集成。

IGS 通过 MPEG-2 视频分配系统(MVDS)提供全数字视频,已经安装 MVDS 的站点包括:休斯敦任务控制中心,亨茨维尔操作支持中心,莫斯科任务控制中心,ATV 控制中心,位于科隆的欧洲航天员中心,以及遍布欧洲的 13 个用户载荷操作中心。

三、数据中继卫星

(一)运行中的 ARTEMIS 试验中继卫星

为了弥补地面测控网对航天器/卫星的测控覆盖率低的不足,欧洲航天局于 1989 年决定发展数据中继卫星。欧洲航天局的数据中继卫星,曾计划由定位于 44°W (DRSS-W)和 59°E (DRSS-E)的两颗地球同步卫星组成天基部分,以保证对欧洲的低地球轨道卫星实现宽的轨道覆盖。1989 年欧洲通过“数据中继和科学任务”方案,决定先搞 ARTEMIS 试验卫星,再搞实用数据中继卫星。ARTEMIS 试验中继卫星于 2001 年 7 月发射,除了进行试验新技术外,还在 ESA 的 ATV 任务中发挥了作用。

ARTEMIS 数据中继卫星 (21.5°E) 的任务控制中心和地面站 (13.5 米天线系统, Ka 波段)位于比利时的雷杜。

作为欧洲航天局未来中继卫星的先驱,ARTEMIS 卫星载有三个主要载荷以及若干试验设备。卫星位于大西洋上空,主要用于试验和验证新的通信技术,目的有三:

- 在欧洲、北非和大西洋区域为移动终端提供话音和数据通信服务;
- 作为欧洲 EGNOS 卫星导航系统的一部分,广播增强的 GPS 和 GLONASS 信号;
- 使用先进 S 频段和 Ka 频段射频链路和激光技术提供星间通信服务。

2008 年 ATV 发射后,ARTEMIS 为飞船和位于法国图卢兹的 ATV 控制中心提供通信服务;在 ATV 对接后,数据中继服务由 ATV 和 ESA 的 Envisat 地面观测任务分享,并将长期为 Envisat 提供数据中继服务。

(二)建设中的欧洲数据中继卫星(EDRS)系统

欧洲数据中继卫星 (EDRS) 系统目前正在电信系统预研-7

(ARTES 7)项目下进行。

EDRS 系统作为一个军民两用系统,将为对地观测到深空探测器的各种航天体系提供军用和民用通信与定位业务。其用户包括:

(1)空间用户终端,如低轨和中轨卫星以及发射器,包括国际空间站和 ATV;

(2)地面用户移动终端和固定终端;

(3)飞到平流层高度的航空用户,如无人机。

EDRS 系统还将有效支持新兴的空间探测计划和深空任务,主要是各阶段的月球探测,包括早期机器人到载人登月探测和建立前哨基地等阶段,以及火星探测,尤其是计划于 2030 年以后进行的新型机器人探测和随后的载人探测。

欧洲航天局于 2008 年初将意大利 Thales Alenia 宇航公司 (TAS-I)和罗马 Tor Vergata 大学(TOR)联合提出的初步方案提交 ESA 导航与通信计划管理委员会,获得批准后提交 2008 年 11 月 25 日-26 日举行的成员国内阁会议讨论。

在 TAS-I 和 TOR 的联合初步方案中,EDRS 系统包括 3 颗同步轨道卫星,但真正的数据中继卫星只有 1 颗,另外两颗卫星是搭载有 EDRS 载荷——激光通信终端的大型同步轨道卫星。

按照欧洲航天局的 EDRS 系统发展规划,中继卫星将于 2012 年发射,整个系统将于 2019/2020 年全面投入运行。

ARTES 7 (EDRS) 项目于 2009 年 2 月正式启动,欧洲航天局 2010 年 2 月在其网站上公布了相关信息:EDRS 系统包括 2 个位于地球同步轨道的数据中继载荷(EDRS-A 和 EDRS-C)和 1 个地面部分。地面部分由任务和操作地面部分(1 个 EDRS 卫星控制中心,E-EDRS 任务和操作中心,1 个 EDRS 馈线链路站(feeder link station))和 EDRS 用户地面部分组成。EDRS 系统将提供激光链路和 Ka 频段射频链路。

欧洲航天局的项目分为 A、B、C、D、E 几个阶段,A 阶段为项目

规划阶段,ARTES 7 (EDRS)项目于2009年2月正式启动后,到2010年2月,已经进入到B/C/D/E1阶段的公开招标。

EDRS项目在B/C/D/E1阶段的工作包括:

- 完善EDRS任务;
- 在一颗地球同步轨道卫星上实现EDRS-A;
- 在一个共享的小的地球同步轨道平台上实现EDRS-C;
- 建成EDRS地面部分,包括EDRS任务和操作地面部分、EDRS用户地面部分;
- EDRS的地面验证,包括到用户的接口;
- EDRS的发射和试运行;
- 将Sentinel 1A和2A纳入EDRS,确保EDRS为欧洲和加拿大用户提供有效服务。

按照计划,确定合同商后,在2010年年底开始执行合同,EDRS系统计划于2012年投入运行。

四、ATV的测控通信

ATV是目前为止最先进的无人货运飞船,主要承担为国际空间站运送货物的任务,并可充当空间站的拖船。在与俄罗斯合作设计载人飞船的计划流产,ESA正在ATV的基础上自行设计载人飞船。

参与2008年ATV飞行任务的控制中心包括:ATV控制中心、休斯顿任务控制中心和莫斯科任务控制中心。

在此次任务中,ATV控制中心主要负责ATV的控制,所有的对接及操作都在NASA的监督下进行。

莫斯科任务控制中心在此次任务中主要负责:ATV与国际空间站所有对接操作的任务控制;与国际空间站乘员的接口;通过俄罗斯“星辰”舱与ATV建立联系;把ATV的操作整合进总的国际空间站操作日程等。

休斯顿任务控制中心在此次任务中的职责是:国际空间站任务

的总指挥;为 ATV 任务提供 TDRS 链路;建立国际空间站的运行规划;领导和协调所有国际空间站的管理团队(包括规划、操作、安全、连接程序等);领导对所有异常事件的调查、研究。

ATV 飞行任务包括几个关键阶段:发射,轨道调整,交会对接,再入焚毁。

ATV 发射后的上升段,由库鲁的测距站、大西洋中部的遥测站、位于亚迷尔群岛的机动站接力跟踪;其后,法国海军跟踪船 Monge、德国应用科学研究所的雷达设备接力跟踪;这些雷达站还为澳大利亚和新西兰的遥测站提供目标轨道根数;火箭分离过程由新西兰地面站完成监控。

火箭分离前 4 分钟,ATV 上的 2 套互为冗余的 S 波段系统开始工作,几乎覆盖全部飞行过程。期间,通过 NASA 的 TDRSS 和 ESA 的 ARTEMIS 卫星及其配套地面传输网络与任务控制中心建立通信链路,具备前向发射 5000 条遥控指令、反向传送 35000 个遥测参数的能力。

多个控制中心、国际空间站和 ATV 之间通过数据中继卫星(NASA 的 TDRSS 和 ESA 的 ARTEMIS 卫星)和位于“哥伦布”控制中心的 IGS 网络中心保持联系和信息交换。

对 ATV 的遥控和遥测路由随不同的操作阶段(自由飞行、交会对接、对接上以后)而变,主要有 3 种途径:

——自由飞行阶段,通过休斯顿任务控制中心使用 NASA 的 TDRS 卫星,或通过雷杜任务控制中心使用 ARTEMIS 卫星与 ATV 联系;

——在接近和交会阶段,通过莫斯科任务控制中心、俄罗斯的“星辰”舱,使用“接近通信系统”(Proximity link)与 ATV 联系;

——对接完成后,通过莫斯科任务控制中心,使用国际空间站的“星辰”舱与 ATV 建立总线连接。

国际空间站和 ATV 在轨数据以及来自休斯顿任务控制中心、

莫斯科任务控制中心和 ATV 控制中心的地面部分数据通过 IGS 收集,处理过的数据在 3 个控制中心间以 DaSS 协议交换。

ATV 控制中心通过 DaSS 协议以 CCSDS 标准包的形式与莫斯科任务控制中心交换遥控指令和遥测数据。DaSS 协议确保必要的安全级别和 MSM 数据交换的标准化。在通过休斯顿任务控制中心的 TDRS 链路,ATV 控制中心以嵌入 CCSDS CLTU(指令链路传输单元)的加密包的形式发送遥控指令,以 CCSDS CADU(信道存取数据单元)的形式接收 ATV 的遥测数据。这些 CCSDS 数据帧通过标准协议在 ATV 控制中心和休斯顿任务控制中心之间交换。CNES 设备将各个方向的 CCSDS 数据转换成钟控连续比特流。由此,通过 TDRS 卫星建立到 ATV 的天/地通信链路。

五、结束语

在与国际空间站载人和无人任务中,通过国际合作,欧洲航天局使用数据中继卫星提高了测控覆盖率,积累了载人航天中的天基测控经验。同时,由于“哥伦布”舱和 ATV 系统技术先进,其载人航天地面控制设施也采纳了先进技术,具有很高的自动化程度。而 IGS 自建设之初就采纳 IP 协议,未来将提供“全 IP”业务,因此,欧洲航天局载人航天飞行的测控通信水平具备了很高的起点。随着未来 EDRS 系统投入使用,ESA 将具备独立进行载人航天飞行测控的能力。

欧洲已经在“曙光”计划中列入了载人登陆月球和火星的内容,计划在 2020 年-2025 年向月球发射载人飞船,在 2025 年-2035 年向火星发射载人飞船。未来,随着该计划的进展,ESA 用于载人航天的测控通信设施将在实践中继续发展完善。