

一次成功的空间高技术合作

——“阿波罗”飞船与“联盟”号飞船空间对接试验综述

刘宗映 方吉士

(上海航天技术研究院宇航系统工程研究所)

摘要 载人航天技术中,交会对接是最重要、最复杂的技术之一。美国和前苏联在空间交会对接技术方面占有优势,1975 年两国联合研制了新型对接机构,并成功地进行了对接试验,完成了一次高水平、高难度的技术合作。

关键词 飞船 空间交会对接 对接机构 空间对接试验

1 引言

1975 年 7 月 17 日至 19 日,美国“阿波罗”飞船与前苏联“联盟”号飞船成功地进行两次空间交会对接试验,两国 4 名航天员在太空会面,相互访问了对方的飞船,共同进行了若干试验。两船分离后,两国航天员分别于当年 7 月 21 日和 7 月 26 日安全返回地面。

这次空间技术合作虽然是三十年前的事了,但是它在技术上的亮点和它的合作精神却永载航天史册,它充分展示了两国当时空间交会对接技术的最高水平,有力地推动了航天器空间对接技术的发展,也为此后的一系列国际空间对接活动打下了良好的技术基础,并提供了多方面的经验。两艘飞船对接要求精度极高、技术难度极大,为此要研制新的对接机构,要解决一系列技术难题,要进行紧密的技术合作,而美苏两国当时是如何解决这些问题的,对许多人来说至今却还是一个谜。不久前,我们有幸见到了当时参与对接机构研制的俄罗斯专家 B.C.塞洛缅特尼可夫,接受了他本人编著的《太空对接 100 个故事》一书,在与他的交流和他的这部著作中获得了这次空间对接合作过程中一些鲜为人知的细节。今择其精华,并结合我们的分析判断撰写成文推荐给读者。

今天追述这段有着历史意义合作的故事,对了解异体同构周边式对接机构的发展历史和当时美苏两国对接机构的研制水平,以及两国科学家的合作共事精神均十分有益。

2 “阿波罗”与“联盟”飞船对接的背景

1975 年“阿波罗”与“联盟”号飞船的空间对接活动(以下简称“ASTP”)不是贸然决策的,它是美国和前苏联当时在各自国内多次成功地进行空间对接技术试验的基础上策划的。1966 年 3 月 16 日,美国“双子座”8 号载人飞船与“阿金娜”火箭实现了手控对接,这是人类第一次空间对接活动,它的成功对奠定美国的对接技术设计基础起了很大的作用。此外,美国从 1961 年就着手研制并于 1969 年 7 月登月的“阿波罗”飞船也携带了对接机构。

前苏联在 20 世纪 60 年代初就着手研究空间对接技术,前苏联科学家认为发展载人空间技术应主要解决三大问题:发射、对接与返回。他们对空间对接技术的研究与对飞船技术的研究是同时起步的。1967 年 10 月,“宇宙 186”和“宇宙 188”号无人飞船首次用对接机构在空间实现了自动对接;1969 年 1 月 16 日“联盟”4 号飞船与“联盟”5 号飞船完成了前苏联第一次载人飞船对接,使用的是锥杆式对接机构。

由于两国都掌握了基本的空间对接技术,出于共同需要,1970 年 10 月美国国家航空航天局(NASA)和前苏联科学院的领导者在莫斯科进行了空间对接活动的协商,并于 1972 年 5 月底签署了两国间的正式合作协议。

3 对接飞行器的选择

两国专家反复研究了几种飞船对接方案。美国

专家一开始就提出“阿波罗”与“联盟”号对接的方案,但前苏联专家有异议,不想采纳美方的建议。首先是因为“联盟”号飞船相对“阿波罗”来说太小,也太轻;前苏联想利用“礼炮”1号空间站发射成功的契机,提出“联盟”-“礼炮”-“阿波罗”依次串联的对接方案(见图1),这样可以提高自己空间技术的声誉和威望。但是,由于双方意见不统一,对这个问题的决策拖了很长时间,直到1972年5月,两国签署国家间正式协议时才最终决定还是采用“阿波罗”与“联盟”号的对接方案。前苏联改变主意的原因很可能是由于“礼炮”1号只有一个对接口,要改为两个对接口也不是短期内能办到的事,此外在技术上也难以把握。

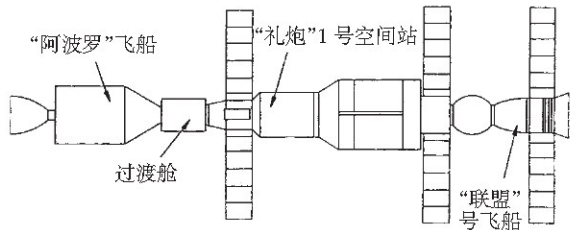


图1 “联盟”-“礼炮”-“阿波罗”串联对接方案

4 新型对接机构的研制

1971年6月,双方专家在美国休斯顿就对接机构的设计思想、方法及产品构形等技术问题进行详细研究,并确定了对接机构设计技术要求,其主要内容是就总的原理图、相互作用和连接部件的几何尺寸、承受的负载、捕获锁与对接锁的结构,以及密封机构等方面制定了双方必须严格遵守的若干技术规定,这些技术规定后来成为双方设计的准则。

航天器的空间对接最好无主动与被动之分,任何一方既可作为主动对接飞行器,也可作为被动对接飞行器,这一构思对空间救援作业非常重要,另外对两国合作来说也有重要作用,这样做可以体现技术平等,也使成功的机会均等,这类类似于体育运动中换场地比赛的道理,因此就产生了“异体同构”新型对接机构的思想,即“周边式对接机构”(APAS),这个名词以后就成为前苏联的词汇,也是现在俄罗斯能源火箭宇航公司对接机构产品的标志之一。双方在认同的技术要求前提下分别开展 APAS 式对接机构的方案设计,但是在方案设计中还要满足下述基本原则。

4.1 对接机构设计的基本原则

(1) 将对接组件设计成结构上和技术上都是完整的独立系统。这样做不仅可以从真正意义上做到

无主动被动之分,便于试验各自的对接组件,同时也简化了以后对系统的考核和试验。这一原则在后来共同对接飞行期间起了非常大的作用。

(2) 将对接组件划分为对接机械和对接框机构两个独立部分,然后再集成为一个整体,两个航天器的对接框对接后联成一体并组成完整的结构,确保共同飞行。

(3) 对接机械缓冲器是带导向片的对接环,它有6个自由度,当与对面的对接环相互作用时,可以任意活动,以确保捕获。

(4) 异体同构是以逆对称(镜面对称)来实现的,所有的对应零部件相对主轴呈对称布局,主轴在对接后重合在一起。

(5) 在两个对接框上,共有8把锁,每把锁有两个锁钩,主动和被动各一个。

根据技术要求和以上列出的这些原则,双方专家高效率地进行了方案设计,在短短的4个月时间内做了大量工作,并准备了下一轮深入合作的技术资料。1971年10月27日,美国 NASA 代表团抵达莫斯科参加联合设计,这次联合设计是整个合作的重要阶段。经过一个多月的紧张工作,在1971年底终于完成了对接机构系统的方案设计,为下一步的技术设计迈出了关键的一步。

联合设计之初,美方专家介绍了“阿波罗”与“联盟”号对接时为“阿波罗”增加一个过渡舱的设计方案。增加这个舱是必要的,因为不用过渡舱 APAS 就无法与“阿波罗”连接。新的过渡舱一端安装了美国的老式对接机构,即与原来装在“阿波罗”登月舱上的一样;而另一端安装的是 APAS。这个新舱段实际上是“阿波罗”登月舱的改型,它不仅解决了对接组件的兼容性问题,而且还有助于保持飞船内气体条件的兼容,因为在“阿波罗”内用的是纯氧气,而“联盟”号飞船上用的是氧氮混合气体。美方专家的这一方案,受到了对方专家的肯定和高度评价,过渡舱方案的确定使对接机构的联合设计有了真实的技术基础。

一个多月的对接机构联合设计是在矛盾、竞争和紧张工作的气氛中度过的。

4.2 一项重要的展示活动

设计一开始,双方均希望显示自己的实力。美方带来了一盘电影短片,介绍了一套全尺寸对接组件木质模型的试验情况;而前苏联则异乎寻常地决定让美方专家参观“联盟”号飞船与“礼炮”号空间站对

接时使用过的对接机构实物样机。在那个年代,这个做法非同小可,尽管前苏联有时也用技术来炫耀自己的成就,但很少在国内外展出其航天产品,这次之所以这样做,通过实物展示,可为自己在联合设计中的地位加分,此外这样做也可推进联合设计工作,在很大程度上影响了后阶段的联合设计,这是因为前苏联的对接机构技术在某些方面优于美国。

4.3 对接机构方案的确定

随着对接机构方案设计工作的深入,也逐渐出现了矛盾和竞争,进展有些曲折,但双方都希望将机构方案尽快定下来。在 K.强森和 B.C 塞洛缅特尼可夫为代表的专家们努力下,就对接机构的一些重要方案达成了如下一致的意见:

4.3.1 带导向片的对接环方案

新型对接机构的一个重要部件是带有导向片的对接环,这种结构最早是由美国专家提出来的,他们的想法是将对接环作为一种缓冲部件,但是怎样使其具有缓冲减震性能,起初并没有答案。到 1971 年联合设计时,美方抛出了一种对接环方案,它的构造是有 4 个导向片,分别安装在 4 副移动杆上(见图 2),而前苏联则主张三个导向片三副螺杆,其理由是减少零件数量、简化设计。对于这一差异,美国专家 K.强森到莫斯科后说,要改变观念,学会从共同设计的思想上找出设计上的让步。这也就是暗示同意采用苏联的方案。

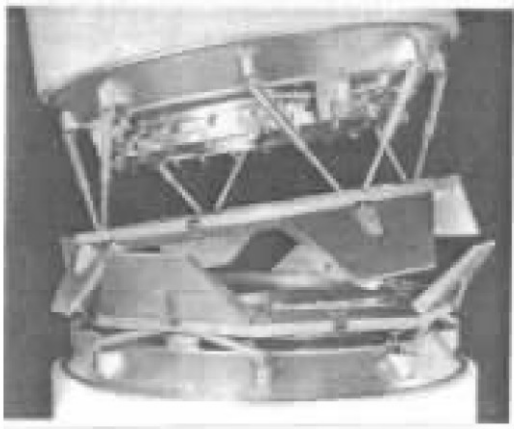


图 2 对接环方案

4.3.2 对接框及对接锁方案

新型对接机构的主体结构是对接框,前苏联专家提出的对接框方案基本上相同于“联盟”号与“礼炮”号的对接方案,这种对接框本身就是异体同构的,完全可以引用;由于对接机构实物样机已在控制研究所的大厅里展示出来,而这种机构美国人还刚

开始研制,前苏联有明显的优势,因此对接框和对接锁的方案基本上是沿用前苏联的方案,双方无异议。

4.3.3 捕获锁方案

前苏联专家承认,美国对捕获锁的研究比他们深入得多。B.C 塞洛缅特尼可夫认为,没有必要对它再重复花费精力,因此同意采用美国的捕获锁方案。

总的看来,对接机构方案的确定,美方做了些让步,K.强森在全体会议上公开表态,以对方的方案作为下一步设计的基础。B.C 塞洛缅特尼可夫认为,K.强森的让步是明智的,他的这个表态可以为下一阶段的设计点明方向,是完成新型对接机构研制的捷径,他赞扬 K.强森比其他人更有远见。B.C 塞洛缅特尼可夫回忆说:“后来,常有人问,APAS-75(1975 年美苏空间对接试验用的对接机构)是谁的创意?这个问题没有肯定的回答。从整体上看,它是双方共同的成果,是真正联合设计的产物,当然,由于一系列的主客观因素,这里面我们的东西多一些。”

4.4 两国对接机构的差异

以上仅就对接机构的一些共性技术达成了共识,当然这是最重要的。实际上,双方对接机构的具体构造还有许多不同点,最大差异是两国对接机构的驱动、缓冲原理及其结构不同。美国的对接机构采用的是液压缓冲器,带动导向环运动的六根杆子是独立的弹簧液压缓冲器,碰撞时缓冲器不受驱动器左右,拉紧时驱动器要克服缓冲器的阻力将其压紧,这种传动称为平行式传动;而前苏联用的是滚珠丝杠杆子,采用的是机电缓冲器,这就将缓冲器和传动驱动器巧妙地耦合在一起,将他们组成一个缓冲驱动系统,使之具有自己的“传动学”特色,并且还将在此前月球计划中已经应用于吸收撞击能量的主要器件——摩擦制动器也用在 APAS-75 中。摩擦制动器一方面可以吸收纵向冲击的能量,另一方面,当驱动器工作时它又有保险离合器的功能,这是一种具有创意的优秀设计。K.强森说,如果不是因为他们短期内无法掌握相关工艺,他们也会采用纯机电方案来代替他们的液压方案。

5 结束语

两国在 20 世纪 70 年代,仅仅用了短短的时间完成了一次从设计构思到实施航天器交会对接的全过程高技术合作,这项任务在当时影响巨大,意

(下转第 39 页)

难的,因为它们相距 45000km,并且以每秒几千米的相对速度运动。JAXA 在一份声明中称,这样的成就有如“从东京命中富士山顶上的针眼”。

OICETS 及 Artemis 卫星之间的光链路试验将持续到 2006 年,并在不同的环境条件下建立几种光链路,以完全证明并表征 OICETS 技术。

光技术用于数据中继具有几种优点,包括提供高数据率的能力、低功率终端、实现安全且抗干扰的通信。地球观测、电信业务、科学应用及太空运行能够真正地受益于这种数据传输的新方法。

日本最终将计划发射 2 颗实用型 DRTS (位于 170°W、90°E)。卫星装载 2 副 5m 的 Ka/S 频段反射

器天线。其性能如下:

(1) S 频段中继链路

其前向与返回轨道间链路频率为 2.205~2.110/2.200~2.290GHz, EIRP 为 38~47dBW, G/T 值为 7dB/K, 前向与返回链路的带宽分别为 10/20 MHz, 数据率前向为 300kbit/s, 返向为 3Mbit/s。

(2) Ka 频段中继链路

其前向与返回轨道间链路为 23/26GHz, EIRP 为 60 dBW, 前向链路及返回链路的信道带宽为 30/300MHz, 数据率为 30/300 Mbit/s。

NASA、ESA 和 JAXA 都在发展 S、Ka 频段的数据中继与跟踪系统,三方拟建立互操作系统,以实现三方联网。◇

(上接 17 页)

义非凡。这是一项极具创造性、高效率的技术合作,是一次非同寻常的高技术竞赛,美苏两国专家克服了重重障碍和困难,开展了技术攻关……。合作的曲折复杂性用俄罗斯专家的话来说,“恐怕在世界技术史上是绝无仅有的”。这种合作精神使国际航天界业内人士深受激励。

“阿波罗”飞船与“联盟”飞船对接试验(ASTP)说明,即使是不同政治制度的国家也能进行深层次的高技术合作。许多事实证明,航天国际合作是快速发展航天技术的重要途径,但是要进行类似 ASTP 的国际合作,自身则要具备相当的技术实力,否则易受制于人,达不到良好的效果。◇

(上接 28 页)

为了实现建模的准确性,提高测试效率,可以预先将目前国内外比较成熟的软件可靠性模型存放到一个模型库中,并预留对模型的修正接口。进行可靠性测试时可以选用与被测对象比较接近的模型展开测试活动,如果测试过程中需要修正模型可以随时进行,只需保存修正记录。其次,进行软件可靠性测试需要选择不同的任务剖面,随机运行各种测试用例,并记录测试过程中出现的各种故障,及保存测试结果。可靠性测试是一个测试量相当大的工作,要想提高测试效率,就应利用软件的特点,建立一个能够自动进行测试的系统,对被测对象的运行环境进行模拟,应用 TDL(Test Description Language)技术,编写测试脚本,预留故障(用例)随机注入接口,实时记录测试过

程,并对测试用例和测试过程进行自动管理。最后,进行软件可靠性测试还需要对大量测试数据进行处理,不同的数据处理方式可能会得出不同的评估结果。因此,还要在模型库中预存与可靠性模型相适应的可靠性测试数据处理公式。当然也要为可靠性测试数据处理公式预留修正和扩充接口,在对可靠性模型进行修正的同时,一并修正其数据处理公式。

相信这些设想在我们的不断努力下,不久的将来一定会变成现实。◇

参考文献

- [1] 周涛.航天型号软件测试.北京:宇航出版社,1999.
- [2] 贺红卫.Intel 8086 软件仿真器的设计与实现.系统仿真学报.1996,(3): 50~55.