



嫦娥六号回家啦!6月25日,嫦娥六号携带1935.3克月背样品成功返回,实现了人类首次月背采样返回的壮举。这次任务也为中国探月工程立项20周年献上了一份大礼。

20年来,我国不仅成功实施了月球探测任务,还成功实施了火星探测任务,开启全面建设航天强国新征程。这其中,甚长基线干涉测量(VLBI)技术发挥了重要作用。中国科学家的智慧和勤奋,令这一技术

大放异彩,也令国际学术界赞叹:将准实时VLBI技术应用于月球与深空探测,已经成为特色鲜明的中国招牌!

而VLBI技术同中国结缘,归功于今年已97岁高龄的中国科学院院士叶叔华。

东方“巨眼”:深空探测的幕后功臣

■本报记者 陈欢欢

① 跟不上就落后

射电望远镜的口径越大,看得越清楚,但成本也越高,且口径不可能无限增大。于是,科学家想出一个办法,把两台或多台望远镜组合成一台“巨型望远镜”,这就是VLBI技术。每两台望远镜之间的距离就是它的等效口径,也叫基线。基线越长,这只“巨眼”看得就越清楚。

例如,人类首张M87黑洞照片就是天文学家利用全球8台VLBI射电望远镜获得的。最长基线达到1.2万公里,接近地球直径,是人类在地球上能够获得的最长基线。

VLBI技术自20世纪60年代问世以来,一直是所有天文观测技术中空间分辨率最高的,比哈勃空间望远镜的分辨率高数百倍。

20世纪70年代初,时任中国科学院上海天文台(以下简称上海天文台)时间纬度测量研究室负责人的叶叔华从一份国际学术期刊上看到,新出现的VLBI和人造卫星激光测距等技术,测量精度比传统技术提高1~2个数量级,推动天体测量界发生了革命性变革。

叶叔华判断,我国如果不及时发展这些新技术,将来势必落后。

在她的积极建议下,上海天文台将VLBI、人造卫星激光测距及氢原子钟等新技术确定为新开拓领域,1973年组建射电天文研究小组,正式开启VLBI技术预研工作。

天文观测由于极度依赖设备,常被戏称为“富人的游戏”。叶叔华提出,先在上海佘山建设25米口径射电望远镜。

要建这么大的射电望远镜,首先要解决经费问题。

叶叔华单枪匹马来到当时的第四机械工业部(以下简称四机部),找到相关工作人员询问能否支持建设一个25米口径射电望远镜。对方都没抬就说“不行”。叶叔华站了一会儿,又提出:“我能不能见部长?”对方这才抬起头,仔细打量这位貌不惊人的女科学家。没想到,主管相关工作的四机部副部长王士光真的接待了她,并同意支持。

这次主动争取为上海天文台带来一次发展机遇,也为30年后的嫦娥探月埋下伏笔,但在当时却引发了不小的争议。

在那个经费紧缺的年代,学界流传着一种说法:天文学研究的经费都被叶叔华一个人用完了。还有人质疑:射电天文都是有钱人搞的,我们能搞吗?

事实证明,我们确实可以。回忆起往事,叶叔华笑着说:“只要我想做一件事,是会奋不顾身的。”

② 从无到有

要进行VLBI测量,至少需要两台射电望远镜形成干涉信号,最好是3台。

叶叔华根据我国国情,提出在上海、昆明、乌鲁木齐三地建设观测站,形成中国VLBI网。这一三角形基本覆盖我国国土面积,最长基线为从上海到乌鲁木齐约3200公里。

经过5年预研,1978年,在中国科学院和四机部联合召开的论证会上,上海天文台正式提出这一技术方案,并在次年获准立项。

但难度依然很大。“当时只知道要做什么,却不知道怎么做。”叶叔华说。VLBI技术是一项高精尖技术,在我国完全是空白,只能边学边干。

一次偶然的邂逅给此事带来转机。

1978年,叶叔华在接待归国访问的美籍华人科学家郭宗汾时介绍了自己的工作,对方非常惊讶地说:“这么难的东西难道你们闭门自己做吗?”

在他的帮助下,叶叔华等人第一次访问了美国。当得知中国准备发展VLBI技术时,美国同行吃了一惊,因为美国也仅发展了十来年,并不成熟。

“到现在都很感谢他,加快了我们的研发进度。”叶叔华表示,这次经历打开了上海天文台“请进来、走出去”的大门。

1976年以来一直在上海天文台从事VLBI工作的钱志瀚清晰地记得,1979年美元对人民币的汇率不到1:2,后来一路上扬,最高达到1:8,由于项目是按人民币编制预算的,致使经费总是不够用。大家想了很多办法,比如少买一点部件、安排专人自学自研等。

“VLBI是国际合作很密切的项目。”钱志瀚记得,他第一次去美国参加学术会议,报告了中国第一个VLBI观测站的建设过程,当展示上海佘山25米口径射电望远镜天线的照片时,会场上响起热烈的掌声。

“当时他们觉得中国挺落后的,能干这个事情很意外,也愿意跟我们合作。”钱志瀚表示。

1987年10月,上海佘山25米口径射电望远镜终于建成,次年开始参加国际联测。这是我国首个真正意义上的国际先进水平的VLBI测量系统,1991年获得中国科学院科技进步奖一等奖,1993年获得国家科学技术进步奖二等奖。

随后,叶叔华又带领团队在新疆乌鲁木齐南山建设中国第二台25米射电望远镜,1994年建成后,中国VLBI网终于有了第一条基线。

由于地处欧亚大陆腹地,独特的地理位置和先进的配置使得该望远镜在国际VLBI观测中发挥着不可或缺的作用。后来,中国科学院新疆天文台全程参与了我国探月工程的测轨任务和火星探测任务,有力支撑了我国航天科技的发展。



上海天文台佘山25米口径射电望远镜。



1994年,叶叔华(左二)参加乌鲁木齐25米射电望远镜揭幕仪式。



2020年12月,嫦娥五号着陆器成功着陆后,叶叔华在上海天文台VLBI深空探测指挥控制中心与台领导和科研团队合影。



2021年春节前,天问一号成功环绕火星,上海天文台团队在VLBI深空探测指挥控制中心合影。

上海天文台供图 郭刚制版

⑤ 目标星辰大海

嫦娥探月六战六捷,但这并不是极限。2020年,我国实施首次火星探测任务,天问一号在火星表面首次留下中国印迹。

从地球到火星,最远距离4亿公里,历时7个月,是谁在指路?答案还是VLBI与测距测速联合作业。

2021年2月10日,天问一号与火星交会,成功实施捕获制动,进入环绕火星轨道。那一天,上海天文台研究员刘庆会经历了人生中最煎熬的11分钟。

由于月球距离较近,成功捕获后,地面几乎是实时知道消息。而当时火星距离地球2亿公里,当信号成功传回地球时,已经过去了整整11分钟。

“这煎熬的11分钟里,整个大厅一片寂静,所有人的心都悬着。一直等到遥测数据显示捕获成功,大家才松了一口气。”刘庆会回忆说,其实当时紧张也没用,就算发现问题,已经过去了11分钟,地面来不及做任何干预。也正因此,天问一号上天前,大家进行了200%的准备作业。

从中国开展探月以来,历次发射均告成功,这是否意味着此事毫无悬念?

刘庆会表示绝非如此。“老百姓觉得咱们国家放天上的东西肯定能成功,其实我们现场的人都快吓死了。毕竟是第一次前往火星,心里没底。可能的影响因素太多了,拼命考虑了100个因素,还担心不是有第101个。”

③ 国际首创

20世纪末,国家正式组织探月工程论证,中国科学院是重要的参与单位之一。

当时,对探月航天器的测轨成为重大难题:成熟的无线电测距测速技术,最远测距距离可达约8万公里;但嫦娥一号卫星进入绕月轨道后,最远距离达40万公里。如何突破这一技术瓶颈?

本世纪初,上海天文台提出将VLBI技术应用于探月卫星实时跟踪测轨的建议,结合我国已有的航天测距测速技术,共同完成高精度测定轨及定位任务。

上海天文台研究员、原台长洪晓瑜介绍,原有的测距测速方法,其长处是视向测量,而VLBI的长处为横向测量,两者结合,相辅相成,是“一加一大于二”,可以测定航天器的瞬时三维位置、实现短弧段精确测定轨。

这一提议极为巧妙,也极为大胆。国际上,美国是首个将VLBI用于航天的国家,曾在阿波罗计划中用射电天文干涉的办法测量了月球车的路线。我国则是首个将VLBI用于航天器实时测轨的国家。

叶叔华回忆:“当时我们在国际会议上作报告,大家都惊呆了,因为天文学界没这么干的。天文观测向来是今天观测不了就明天再看,但我们用到探月工程上要出实时数据,绝不能出任何差错。”

后来,能否及时提供测量数据也成为总体技术方案论证时的最大质疑。到底有没有十足的把握?

上海天文台科研人员经过调研与分析,认为通过在国内建设数据网络,同时采用人工智能技术,可以大

大节省时间。因此,上海天文台在首次探月工程的总体技术方案讨论会上郑重承诺:向北京航天飞行控制中心提供VLBI测轨数据的滞后时间不超过10分钟。

最终,探月工程总体领导采纳了上海天文台的建议。由此,上海天文台牵头联合中国科学院所属的其他几个天文台,于2007年建成了“四站一中心”的中国VLBI测轨网,涵盖上海佘山、新疆乌鲁木齐、北京密云和云南昆明四地的射电望远镜;同时在上海天文台建设VLBI数据处理中心,并与电信部门合作建立高速数据通信线路,有效保证了观测数据的实时传输。

2007年10月24日,我国首颗探月卫星嫦娥一号在西昌卫星发射中心成功发射。VLBI测轨分系统最终在6分钟内将VLBI测轨数据发送至北京航天飞行控制中心。

洪晓瑜感叹:“中国科学院这一项长期的基础研究,终于在国家战略领域得到成功应用。”

但大家并未止步于此,依靠进一步的能力提升和技术进步,从嫦娥三号开始,通过改进算法、提高算力、改进流程,VLBI测轨实时性已经缩短到1分钟以内,并保持至今,是目前国际最高水平。一个曾经想都不敢想的数据,中国科学家通过自己的努力做到了。

探月工程首任总设计师、中国科学院院士孙家栋曾评价:VLBI的加入使我国探月工程立项至少提前了5年。如果没有VLBI加入,解决短弧高精度测定轨难题,还需要再建几个大型的测控站,至少要5年时间。

对于我国两种测轨技术的作用,探月工程首任总指挥、中国工程院院士栾恩杰有一个很形象的表述:VLBI测角和测距测速不是相加而是相乘的关系,“缺少任何一项,最后的结果都是0”。

④ 从未失手

在嫦娥一号之后,嫦娥二号实现环月飞行,嫦娥三号在月面软着陆,嫦娥四号实现人类首次月球背面软着陆,嫦娥五号获得1731克月壤样品,嫦娥六号首次获得月球背面月壤样品……其间,VLBI屡立功。

2020年12月17日,嫦娥五号圆满完成我国首次月球采样返回任务。那天凌晨,93岁的叶叔华来到上海天文台VLBI深空探测指挥控制中心,与年轻人一起见证这个激动人心的时刻。

当年那位为国家科技发展出高招的中年人已到耄耋之年。她叮嘱大家:“千万要记得,这是国家重要的事情。凡是国家需要的,我们都要做好。”

叶叔华清醒地指出:“国际评价是依据你做出了什么,现在国际上都在看着,做好了没人夸我们,但是做坏了就影响国家的体面,好在我们从来没有失手过。”

从嫦娥一号到嫦娥六号,任务难度不断提升,中国科学院科研团队的能力也在不断提高。

上海天文台研究员郑为民在加入VLBI项目组后,主攻核心设备VLBI处理机的研发。在认识到软件处理机是趋势

后,他用5年时间瞄准一件事——开发相关处理软件。他说:“只要是国家有重大需求的领域,都是我们值得做的。”

2012年,高约70米、重约2700吨的上海65米口径天马望远镜落成,这是一台全方位可转动的大型射电望远镜系统,综合性位居世界同类型射电望远镜前三。2013年,它作为主力测站参与嫦娥三号VLBI测定轨任务,使得测轨精度有较大提高,在后续任务中发挥了重要作用。

到嫦娥五号任务时,为满足对轨道器与上升器同时测轨的需求,上海天文台突破一系列关键技术,在国际上首创了“动态双目系统同步实时VLBI测轨系统”,采用一个VLBI网,助力我国首次月面起飞以及人类首次月球轨道无人交会对接任务圆满完成。

“看人挑担不吃力。别人以为很容易的事情,其实很难做到。这些年轻人非常了不起!”叶叔华赞叹。

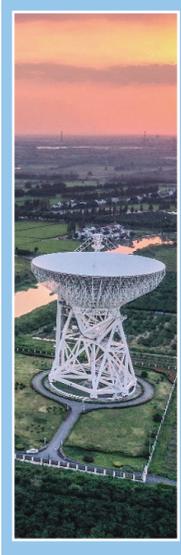
洪晓瑜也表示,过去做天文学研究,喜欢自由探索;现在融入国家航天事业,更深刻地感受到使命感。

正是因为满足了国家需求,该科研团队先后两次作为主要参加单位获得国家科学技术进步奖等奖。

任意3个站一组形成两个子网,像两只“巨眼”同时测量不同天区的两个探测器,综合测量能力提升一倍,最长基线延长至3800公里。

科学无止境,科学家永不满足。空间VLBI被认为是未来发展的必然趋势,也就是将VLBI望远镜发射至太空,大幅延长基线。今年3月20日发射的鹊桥二号中继星就搭载了上海天文台研制的月球轨道VLBI试验系统,将使VLBI基线的长度延伸到地月距离。我国也将成为继美国、日本、俄罗斯之后,世界上第四个在空间开展VLBI科学试验的国家。

展望未来,随着航天科技的进步,中国VLBI技术的发展还将迎来新高潮。



上海天文台65米口径天马望远镜。