



中科院专家接受本报专访谈软着陆技术细节——

激光“慧眼”助嫦娥三号稳稳着陆

“激光测距敏感器在着陆前 30 分钟开机工作,激光三维成像敏感器在着陆前 5 分钟开机,在距离月面 100 米悬停阶段工作,两个产品圆满完成了测距和精避障任务。”昨晚,在北京飞行控制中心执行完嫦娥三号着陆器软着陆任务的中科院上海技术物理所研究员舒嵘回到驻地后与记者电话连线,讲述了他的任务执行过程。话语中,仍带着成功的兴奋。

一直测量到仅距十几米时

“通过相关电流和温度的反馈数据,我们可以知道它们有没有顺利开机。”舒嵘说。当两个敏感器处于关机状态时,电压为零,开机

后电压达到了预测的数值。温度也达到了 20 摄氏度,这是最适合它们工作的温度。

嫦娥三号着陆器能否安全软着陆,中科院上海技术物理所研制的激光三维成像敏感器和激光测距敏感器起了关键作用。舒嵘说,这就像飞机驾驶中需要的高度计一样。在距离着陆时间 30 分钟左右,激光测距敏感器开机,测到当时着陆器到月球的距离是 40 多公里。它一直工作到距离月面仅十几米时。

几秒之内算出一个避障结果

激光三维成像敏感器的任务主要是在悬

停阶段精避障。形象地说,它就是嫦娥三号的“慧眼”。舒嵘说,最后的数据显示,悬停的高度在 98 米。这时激光三维成像敏感器开始工作。

“虽然我们拿不到图像,但它算完一个避障结果,将这个值返回到地面,就说明它找到合适的着陆地点了。”舒嵘介绍,这个时间非常快,它获得信息一共只有 250 毫秒,处理时间也就是在几秒钟之内。

较嫦娥一号进步巨大

激光测距敏感器继承了嫦娥一号激光高度计的技术,在此基础上有所改进。一是精度

从原来的 5 米提升到了 0.2 米,二是大幅“瘦身”,重量从原来的 15.5 公斤降到 7.5 公斤。这是因为嫦娥三号既要着陆又载有巡视器,对整机重量的要求比较苛刻。

激光三维成像敏感器上有一个非常重要的光源叫光纤激光器,它是由中科院上海光学精密机械研究所研制的。这个光源重复频率高、脉宽窄,抗震动能力强。嫦娥三号着陆时,要使用 7500 牛的发动机反推,会产生较大震动,必须对这一点有所规避。舒嵘说,光纤激光器在国际上都属于领先水平,进入太空更是国内首次。

本报记者 姜燕

申城天眼遥看“嫦娥奔月”

昨晚 21 时 11 分,嫦娥三号着陆器准确落到预定的月球表面虹湾区。它落到月球上的位置,在 1 分钟内便从上海 VLBI 测控分系统发送到北京飞行控制中心。

从地球飞向月球的“高速公路”上,嫦娥三号会不会调皮地朝预先设定的轨道外“弯一弯”,用什么办法才能看到她的运行轨迹,在她走偏时及时拉她回来?

与两位“姐姐”不同的是,这次嫦娥三号不仅要“奔月”,还要真正地实现探访月球,落到月球表面,并“放”出月球车“玉兔”畅游月球。怎样才能“看”到她完成这一系列动作,并确定她和“玉兔”在月球上的位置?

这些任务,由中科院上海天文台的 VLBI(基本原理是把几个小型望远镜联合起来达到一架大型望远镜的观测效果)天文测量分系统这只“天眼”来完成。它是怎么工作的呢?记者走进位于上海佘山的上海 VLBI 深空探测指控中心一探究竟。

定位精度误差不到1公里

中科院上海天文台台长洪晓瑜说,着陆器落到月球表面后,有 50 分钟的稳定时间,要利用卫星测控系统精密测量它的位置。

“定位精度达到了 1 公里,即测量定位与它的实际位置相差不超过 1 公里。想做到这一点相当难。”洪晓瑜说,地月距离是 38 万公里,距离越远,同样的角度下,误差越大,1 公里是个相当高的精度。目前,达到这一精度的可靠程度预计是 99.7%。

怎样才能知道测量位置与实际位置相差不到 1 公里呢?洪晓瑜说,



北京航天飞行控制中心实时画面

图片来源:央视截屏

这要靠多次测量得知。“每天测量出来的数据之间相差不超过 1 公里,即可说明这一点。如果测量结果有时相差 1 公里,有时是 5 公里,测量的数据就有问题。”

当月球车“玉兔”从着陆器中被“放”出来后,测控系统的另外一个新测量手段——“同波束”也要大展身手。洪晓瑜介绍,着陆器着陆和月球车“玉兔”驶出后,都会向地面发射信号,VLBI 测控系统要通过 5 台射电望远镜同时接收它传递到地面的信号,计算它与着陆器的相对位置。着陆器发出的信号较强,而“玉

兔”的信号较弱,这也给测量提出了新挑战。

最快二十多秒完成定位

由于嫦娥三号新增了落月、软着陆和月球车开出后的测量和定位,北京飞行控制中心对测控系统提出了提供实时数据的新要求,着陆器落到月球表面后 1 分钟内,测控中心就要给出着陆器具体位置的数据,此后每 5 秒钟就要给出一个数据点。

“在嫦娥一号和二号任务中,北京飞控中心允许我们在接收到信号

后延迟 10 分钟提供数据,这次提高到 1 分钟,比原来短太多,这就要求我们必须更改处理方法。”洪晓瑜介绍,以前是 1 分钟打一个数据包传递到下一个动作,现在必须变成数据流。

VLBI 分系统副主任设计师黄勇介绍,上海、北京、昆明、乌鲁木齐四个 VLBI 观测站的 5 台大口径射电望远镜实时传输望远镜接收的嫦娥三号卫星信号,每个站的数据到达上海 VLBI 指挥调度和数据处理中心的时间只需几十毫秒,也就是在 0.1 秒也不到的时间里,数据会

源源不断地传过来。

“而且数据要同时到达才能计算,所以我们在数据到达前加了一道‘缓冲池’,各路数据到了池里再送到下一级处理,计算出它的角度,然后再通过角度和距离,确定它的位置。”黄勇说,处理有很多个步骤,但现在最快二十几秒就能出来一个结果发给北京中心,比任务要求的 1 分钟要快很多。

短时定轨精度提高10倍

为了实现落月的要求,测控系统将短时间定轨的精度比以前提高了 10 倍。对信号的精度影响较大的因素之一是大气层和电离层的阻隔,它们会使信号的传输产生延迟和误差。“如果不把延迟时间处理掉,得出的数据会是现在的几十倍,对定位会产生很大的影响。可以说,不修正这个指数就没法用。”上海天文台射电天文科学与技术研究室主任郑为民说。

这次,科研人员用了一种新的测量方法,即对射电源和卫星信号交叉观测,简单说来,就是观察一会射电源,观察一会卫星信号。射电源采用的是卫星在天空中飞过时离它较近的射电源,通过两种信号的交叉校准,能把信号穿过大气层和电离层时的延迟时间处理得更加精准。这个方法在嫦娥二号任务时已做过实验,这次是首次在工程上应用。

本报记者 姜燕

环境清幽的佘山脚下,驻守着上海 VLBI 深空探测指控中心嫦娥三号守望者。园区内,门禁森严,简单交错的几条马路,区隔开园内的科研区和生活区。嫦娥三号任务正式启动前不久,上海 VLBI 监控分系统的几十名工作人员便陆续“进场”,封闭工作直至嫦娥三号任务完成。

一个分系统十几个流程

走进监控大厅。迎面一块巨大的电子显示屏上,多个分屏幕显示着接收到的嫦娥三号信号,波动的点线是只有专业人士才能看得懂的“天文语言”。安静的大厅内,身穿蓝色工作服的监控人员驻守在各自的岗位上,严密监控着信号的变化,不时低声交谈,并在记录本上写点什么。航天任务分工精细,仅这一个分系统,就有测轨、定轨、后处理等十几个工作流程。

上海天文台台长洪晓瑜介绍,上海 VLBI 监控系统是嫦娥三号任务监控系统的一个分系统,它的“家族成员”由上海、北京、昆明、乌鲁木齐四个 VLBI 观测站的 5 台大口径射电

望远镜和上海 VLBI 指挥调度及数据处理中心组成,上海有两台射电望远镜,其中一台是去年增加的 65 米口径射电望远镜,这台“巨无霸”是特地为嫦娥三号测量定位任务新添的一大“神器”。另外,各个测量台站共有 100 多人参与其中,从技术创新到成熟花费了大量时间和心力。今年 8 月开始不停演练,每个星期做 3 次实验,确保任务的完成。

2万公里以外展开跟踪

VLBI 系统是整个测控系统的一个分系统,是一种高精度的高科技天文测量技术,通过合理利用四个站的空间距离,用四地的观测数据准确测量卫星的空间角位置。另一个测量分系统则负责提供嫦娥三号与地球之间

的距离。有了角位置和距离,便能知道它在空间上的精确位置。

VLBI 深空探测指控中心的任务从“三姑娘”飞到距离地心 2 万公里左右才算正式开始,那时候她已经飞了大约 30 分钟了。这是因为 VLBI 系统是个“远视眼”,它的大口径射电望远镜们,尤其是 65 米的“大家伙”习惯看超远的天体,对距离太近的物体,它的“眼球”转得不够快,跟不上“三姑娘”的脚步。所以,2 万公里以内的任务由测控系统的海洋测量船等测量设备来完成,超过 2 万公里,射电望远镜们就可以发挥特长了。

每天13小时遥望“三姑娘”

上海 VLBI 深空探测指控中心的工作时间

是从早上 9 时到晚上 10 时,其他的时间由地球那一边的海外监控站和国际监控站工作。

中心的工作人员每天到了监控大厅,第一件事就是先追踪到“三姑娘”,这由一个专门的组负责。工作人员根据此前观测的数据,计算出她在什么时候处于什么位置,然后再算出望远镜在哪个时间往哪个方向“看”。当然,它不是真的能看到“三姑娘”的芳容,而是接收到她发出的无线电波。

“你看那个显示屏。”VLBI 深空探测指控中心指挥、嫦娥三号副总师王广利说,“如果监测到了,它的信号就很强,反之则弱,甚至只有中间一条线。如果它一直在转,就会看到一会这个信号强,一会那个信号强。”

本报记者 姜燕

每天一上班 先找“三姑娘”

——上海 VLBI 深空探测指控中心守望者工作纪实