

昨晚成功实施制动 顺利进入环火轨道 实现“绕落巡”第一步目标

# “天问”刹车踩得牛 昨去火星过牛年

本报记者 叶薇

昨天19时52分,由中国航天科技集团研制的天问一号火星探测器抵达火星,顺利实施制动点火,正式成为火星的人造卫星。这也标志着我国首次火星探测任务“绕、落、巡”三大目标中的环绕目标顺利达成,为后续着陆、巡视任务的实施奠定了基础。

火星环绕器,是实现火星捕获的主要担当,由中国航天科技集团八院(上海航天技术研究院)抓总研制。今晚,上海航天火星研制团队20多名队员将在北京飞控中心度过除夕之夜,陪天问一号一起异地过年。

## 全自动“刹车”精准可控

制动捕获,简单来说就是通过发动机推力减速控制,降低探测器的速度,使其能够被目标星体的引力所捕获,这一动作也被形象地称为“踩刹车”。这一脚刹车至关重要,关系着整个工程任务的成败。

本次火星探测任务捕获时,探测器的目标轨道距离火星最近处仅400公里,一不留神就会撞击火星或飞离火星。捕获过程中,火星环绕器需要准确地点火制动,只有点火时机和时长都分秒不差,才能形成理想的目标捕获轨道。打个比方,地火转移轨道就像是一条以太阳为中心的椭圆形闭环高速,火星只是这条高速上的一个出口,一旦探测器不能及时刹车、从火星出口下高速,那就只能多绕一圈(需要数年时间)到下次路过该出口了。

对于以每秒28公里高速靠近火星的探测器来说,要想被火星引力捕获,也必须在“捕获窗口”对应的轨道弧段,精准、自主可靠完成“刹车”。

火星探测器配置了1台3000N的轨道控制发动机,用来引力捕获时的制动减速控制。火星引力捕获

## 窗口有限,要求探测器在10分钟内将速度降低约每秒1公里

与常规卫星可以由地面实时操控不同,制动捕获过程中,探测器距离地球1.92亿公里,地球与探测器之间数据通信的单向时间延迟超过10.7分钟,探测器必须完全依靠自身完成发动机点火和关机,克服发动机点火期间的扰动,实现点火方向和点火时长的精确控制。

“在失去地面实时测控的环境下,我们只有通过方案设计,充分考虑发动机推力存在偏差、探测器质心(物体质量集中点)不断变化等情况,全自主执行精确轨道控制;再通过多因素组合的测试和仿真分析,让控制方案更加可靠。”环绕器副总设计师朱庆华说。

自2020年7月23日发射以来,火星探测研制团队已经持续开展了202天的在轨飞行控制任务,完成了四次中途修正和一次深空机动,开展了各种自检和功能验证工作,对探测器的测控通信能力、能源保障能力、姿轨控能力、自主管理能力等逐一测试,确保制动捕获过程涉及的功能、性能得到充分检验。后续天问一号还将经过多次轨道调整,进入火星停泊轨道,开展预选着陆区探测,计划于5月至6月择机实施火星探测。

## “超轻薄羽绒服”自主控温

面对极端温度环境与超远距离热控制的难题,八院热控团队创新性提出为卫星穿上最新款超轻超薄“羽绒服”,给热控系统开启“自动驾驶”功能,成功解决了超低温环境下的热控自适应和超远距离热控自主管理的难题,为“天问一号”的奔火之路提供了一个温暖如春的“冬季”旅行环境。

火星环绕器在地球附近受到太阳辐射最大,抵达火星附近受到太阳辐射最小,导致卫星外部面对温差巨

大,存在几百次温度交变,阴影期器上极端低温低达-180℃。另一方面,由于火星轨道存在约2小时的超长阴影期,阴影期间接收不到太阳光照,导致无法储存能源,如何使环绕器既能适应地球附近的高温又能适应火影期的极端低温,是热控设计师首先需要解决的难题。

热控团队一改以往近地卫星“散热为主”的设计思路,大胆提出为环绕器穿羽绒服保温的思路。热控团队

开展了多层次、多姿态、高精度热控仿真分析,涵盖15个飞行阶段、20个飞行姿态,精确分析出环绕器外表面漏热点的漏热量,针对漏热多的区域,导致无法储存能源,如何使环绕器既能适应地球附近的高温又能适应火影期的极端低温,是热控设计师首先需要解决的难题。

热控团队一改以往近地卫星“散热为主”的设计思路,大胆提出为环绕器穿羽绒服保温的思路。热控团队

## 明亮“眼睛”看清火星的脸

2月5日,国家航天局发布了天问一号在距离火星约220万公里处,获取的首幅火星图像。天问一号用光学导航敏感器,在浩瀚的星空中找到火星后,测出相对角度,然后控制天问一号精准指向火星,再用高分相机对火星拍摄,火星首图由此诞生。

天问一号离开地球以后,北斗等全球导航系统便逐渐派不上用场。而在没有北斗,没有GPS的情况下,茫茫太空中,天问一号靠的就是光学导航敏感器实现导航引路。

光学导航敏感器由航天科技集团八院控制所研制,可以利用拍摄的恒星与火星图像,精确计算出自身的

飞行姿态、位置与速度,实现相对火星的自主导航。这也是我国首次在行星际转移飞行过程中应用光学自主导航技术。

“光学导航敏感器就好比天问一号自动驾驶过程中的‘眼睛’。”八院光学导航专家郑维江打了个比方。一旦有了这双明亮的眼睛,在飞近火星的航行中,探测器靠这双眼睛实时观测火星的距离和方向,让飞控团队可以更直观地确认飞行轨道和姿态,计算图像中火星的几何中心和视半径,天问一号就可以通过最优估计算法来自主获取实时的位置和速度信息了。

天问一号在飞近火星的过程中,导航敏感器是一只“千里眼”,最远可以在1000万公里的距离识别火星,还能自主适应火星从点目标到面目标、从弱目标到强目标的火星图像提取,从而实现即使没有外部导航信息,也能够深空飞行中自主找到前进的道路。这也是支撑中国未来进一步走向宇宙更广阔空间的重要技术之一。

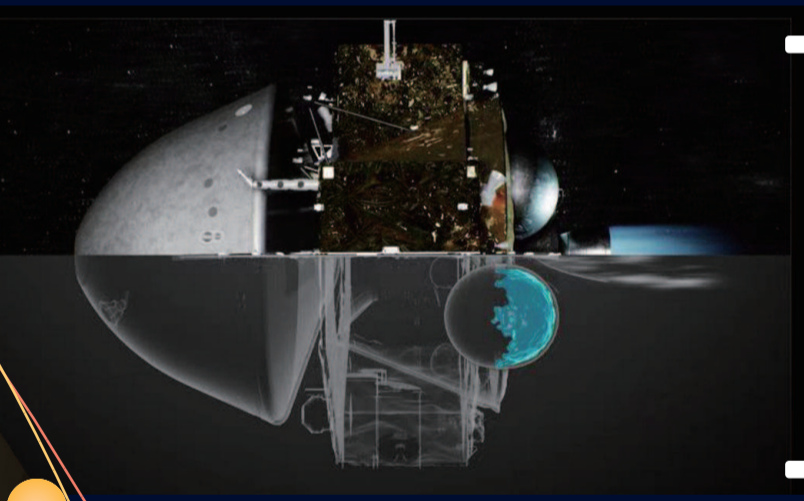
除了光学导航敏感器等拍照神器,八院火星环绕器工程测量团队结合全飞行过程,设计了太阳翼展开、定向天线展开、地月拍照、太空自拍、火星拍照、器器分离过程等监测任

务。既要实现如此多的监测任务,又要保证质量、功耗、体积等资源需求小,团队还专门研制了一组“小块头”组成的工程测量分系统,包括固连遥测探头、近距遥测探头、国旗。

在飞向火星的旅程中,固连遥测探头一路监测天问一号的状态,完成太阳翼展开过程,定向天线展开监测,在定向天线展开到位的同时拍摄到了地球。近距遥测探头由控制线路盒、分离测量传感器和回拍测量传感器组成。分离测量传感器就是完成天问一号全貌拍摄及国旗自拍的那个“小块头”。有别于分离测量传感器,回拍测量传感器安装于火星环绕器本体、无法实施分离,但配置了100°的超大视角,尽可能地拍摄镜头中看到的一切。

202天 4.75亿千米奔袭 他从太阳系“三环”到了“四环”

# 火星:探测考验开始了 天问:等着见证奇迹吧



历经202天,4.75亿千米孤独的奔火之旅,天问一号昨晚成功被火星捕获,成为一颗“绕火卫星”。在太阳系,八大行星以太阳为核心公转,形成了8个环形轨道,其中地球位于“三环”,火星则在“四环”运行。做客太阳系“四环”,天问将进入火星停泊段,开始给火星“拍照”。而这,只是火星探测考验的起点。

## “软着陆”需要自主控制

历经近7个月亿里追追的奔袭,天问一号接近火星,探测器发动机点火进行近火制动,将探测器的飞行速度降下来,俯下身段,让火星将自己“抓住”。在被火星成功捕获后,探测器就会在火星轨道运行,成为一颗“绕火卫星”。

之后,天问一号要再调整轨道。中国科学院国家天文台研究员郑永春打比方说,这就像是准备推门进

屋之前,要先到门口站好。“推门”的动作是天问一号面临的又一考验。此时,航天器的环绕器和着陆器分离,环绕器还在空中飞;着陆器则穿过火星大气层,穿过火星大气层的过程,是煎熬的“黑色七分钟”。别看时间不长,世界上现有的40多次火星探测任务中,能够安全度过这7分钟的屈指可数。“因此,它也被称作‘恐怖7分钟’。”郑永春说,“这个过程中,航天器就像流星穿过地球大气层般,要经历上千摄氏度的高温,还要在这7分钟内尽快减速,不至于撞毁,保护好精密元器件,轻轻、稳稳地落在火星地面上。”

“软着陆”将发生在今年5月。安全着陆后,着陆器会伸出一个坡道,火星车沿着坡道下来,在火星上开动。中科院上海天文台火星及探月任务VLBI分系统副主任设计师吴晓静介绍:“月球的单程通信是1.3秒,科学家几乎可以实时控制月球探测器。但是火星的最远单程通信需要22分钟,也就是说地面不能及时控制探测器。”这就要求火星车有又快又好的自主控制能力。

此后,火星车将在火面持续工作3个月。“如果一个完成任务的航天器有富余的能力,一般会设计它们做拓展任务,去另外的目的地做更多考察。”郑永春表示。

## “先锋官”不走别国老路

天问一号上一共配置了13台(套)有效载荷。中国探月工程首席科学家、中国工程院院士欧阳自远介绍,环绕器上有7台(套),主要探测整个火星的地形地貌、岩石分布、气候变化;火星车上有6台(套),要探测火星地下的土壤分布、土壤的成分,底下是不是有地下水的分布。

“很多国家对火星进行探测时,都会在地上找一个相关的模拟基地。这个基地要符合几个条件:第一,非常类似火星的地貌。首先是沙漠地带,像西北青海的雅丹地貌,光秃秃的,非常荒芜,几乎没有一根草,拍出来的照片和火星上的很像。第二,那里也有很多沙尘。因为火星车需要在沙尘里走,进行模拟实验。”欧阳自远表示,“此外,青海还有盐湖。目前,探测器在火星上找到很多干涸的盐湖,与西北地区干涸的盐湖一模一样。通过对这些干涸的盐湖进行研究,我们可以了解盐湖干了以后会析出哪些盐类,这些盐类对火星车的运行以及对人体是否有影响。我们还在干涸的盐湖上试种了一些植物,这可能对未来在火星上种植物有所帮助。”

天问一号虽然是我国火星探测之旅的

“先锋官”,但并没有走美国、俄罗斯等在火星探测上的“老路”,而是有望成为人类星际探测史上,第一台一次性完成“环绕、着陆、巡视”,以及在火星开展全球巡查和精细探测的探测器。

对于这颗红色星球,人类的探索热情不会减退。欧阳自远曾说,在太阳系中,火星是地球之外最有可能存在生命的天体。继阿联酋、中国、美国上演火星“三国演义”后,还将有更多“玩家”继续“探火”——明年,欧洲航天局和俄罗斯将执行联合火星探测计划。2024年,日本也将开启火星探测任务……

“这次是中国首次自主的火星探测,再过几年,至少在2030年以前,中国要在火星上采样返回。”这是欧阳自远的愿望。“现在人类还没有得到任何一块样品,是自己从火星上采回来的。”

在他看来,人类的深空探测能力已经进入向太阳系的星辰大海挺进的阶段,到了月球探测是起点,火星探测是重点,小行星探测是热点,木星系及行星际穿越探测是亮点时代。“中国有能力飞得更远,我们也应该飞得更远。”

本报记者 邵阳 叶薇

## “云”陪伴 守护“异星”的你

在遥远的“家乡”,无人牵挂着天问——这位“异星”过年的“游子”,其中就包括中国科学院上海天文台甚长基线干涉测量(VLBI)测轨分系统团队。

记者了解到,目前VLBI测轨分系统已经观测天问一号探测器百余次,测量精度达到0.1纳秒。自本月1日起,团队将连续观测28天,以支持完成近火捕获等各种动作。有这么多“亲人”陪伴,相信远方“游子”的牛年春节,不会孤单。

## “火眼金睛”来护航

2020年7月23日12时41分,天问一号搭乘“胖五”离开了家乡的怀抱,奔向遥远的火星。从天问一号发射开始,VLBI测轨分系统就瞪大“眼睛”,关注起天问一号的变化。中科院上海天文台研究员洪晓瑜告诉记者,VLBI是天问一号在各个测控段精密测定轨必不可少的手段,特别是在巡航段、火星捕获段、着陆降落段、科学探测段等关键弧段发挥着至关重要的作用。

对于VLBI的大名,相信你已经在我国各项航天任务中听了很多遍了。VLBI测轨分系统由北京站、上海站、昆明站和乌鲁木齐站,以及位于上海天文台的VLBI指挥调度和数据处理中心组成。这样一个网所构成的望远镜分辨率相当于口径为3000多千米的巨大的综合口径射电望远镜,测角精度可以达到千分之几角秒,甚至更高。对中国航天来说,VLBI可谓功勋卓著——作为重要的“导航装备”之一,它从探月开始“加入编队”,已经圆满完成嫦娥“五姐妹”等测定轨任务。

“自天问一号发射之日起至2020年8月6日,我们利用VLBI测轨分系统每天执行测定轨任务。此后至今年1月31日进入巡航段,我们每两至三天观测一次。这半年多,天问一号探测器历经3次轨道中途修正以及1次深空机动。”洪晓瑜介绍。在这期间,团队还要“分心”嫦娥五号和嫦娥四号中继星“鹊桥”的观测,即使人手再紧张,大家也克服困难,保证掌握天问一号的动态。

## 实操远优于指标

做客火星,可要比“嫦娥奔月”遥远上千倍。这对VLBI系统提出了更高精度的要求。“同样角度的时延误差,到月球上可能就是几米的差距,而放大到火星轨道上则是几公里的偏航。”中科院上海天文台研究员刘庆会说。这可是真正的“差之毫厘,谬以千里”,如果精度不能大幅提高,那对远行的“游子”来说,就成了不能承受之痛。

工欲善其事,必先利其器。在天问一号“问天”前,VLBI分系统团队做了足准备。他们克服疫情带来的不便,完成了40多台套的软件和硬

件的研发,分别布置于四个测站和VLBI中心,如VLBI中心的火星探测VLBI数据处理系统和定轨定位系统,四个测站的致冷接收机、前置型数据采集终端、基准信号锁相传输系统、GNSS接收机、氢原子钟、水汽辐射计等。“这些软件和硬件的研发,能够进一步提高观测装置的测量精度和可靠性、大气和电离层时延的改正精度,更好地完成火星探测器的VLBI测定轨任务。”

截至2月10日,VLBI测轨分系统共进行了106次观测,VLBI时延测量精度0.1纳秒,比任务要求提高了一个量级。时延率(指时延随着时间的变化)的测量误差不超过每秒0.3皮秒,同样远优于技术指标要求。“这既满足了火星探测器测定轨需求,也为后续火星采样返回、木星探测和其他小行星探测VLBI测轨打下了良好基础。”刘庆会自豪地表示。

## 强信号传回“家书”

牛年新春,VLBI测轨分系统团队的科研人员,或许和休息无缘了。每天12时至凌晨零时,他们都将坚守岗位,为“异星过年”的天问一号保驾护航。洪晓瑜说,整个2月的测控弧段很重要,VLBI测轨分系统也到了任务最关键的时刻,要保证每天观测,支持天问一号探测器完成1次平面机动以及3次近火制动等动作。

“要说和探月工程观测时的最大区别,那还是距离造成的。”刘庆会解释,“嫦娥‘五姐妹’的一举一动,几乎可以实时看到,但天问一号收到家乡的‘问候’就要600多秒,再‘回信’又是600多秒。”这1300秒或许对普通人来说并不长,但对于团队成员而言,着实难熬。

火星的这个新年注定不平凡,它不得不史无前例地迎接三位远道而来的客人。阿联酋的“希望”号先发后至,在10日凌晨已成功进入环火轨道。美国的“毅力”号预计在北京时间2月18日晚间到火星“拜年”。这几天,VLBI中心的大屏幕上,已陆续出现探火“小伙伴”的信号。大家“集体拜年”,是否会对天问一号的探测造成干扰呢?刘庆会表示,影响虽然有,但并不大。

远行的“游子”可不舍得让家乡的亲人找得太苦,天问一号自身的信号就足够强,让科研人员能轻松收到“家书”。如果有干扰,科研人员还能将接收信号的带宽调节和数据处理,将其他信号“拒之门外”。“我们对天问一号的轨道计算过预测值,对准后在做信号处理的时候会加强,而对他的信号会减弱。”刘庆会说。

天问一号,新年快乐! VLBI测轨分系统团队的科研人,新年快乐! 本报记者 邵阳

本版图片 天问环火效果图 上海航天 供图