



中国行星探测任务 天问

浩瀚星河见证“中国天路”

■祁登峰 韦琳可 余宇航

特稿

这是浩瀚星河里的一次远征——9月6日,在距地球3600万公里的幽远深空,中国天问二号探测器正沿着无形天路,奔赴小行星探测与采样返回之旅。

苍茫宇宙,天问二号探测器如孤勇者,代表中国航天向未知寰宇发起冲锋。孤勇,并不孤单。2025年9月6日这一天,正值天问二号探测器成功发射100天,北京航天飞行控制中心轨道团队齐聚机房,分析计算它的飞行轨道,共同纪念这个特殊的日子。

与天问二号长达10年的探测任务周期相比,100天的平安飞行十分短暂。但这一成功“起步”,承载了中国航天人的梦想与希冀,蕴含着中国航天人的心血与智慧,就像他们不断刷新中国精度、标定中国高度的一个个日日夜夜一样。

天路无形,使命有迹。成立29年来,北京航天飞行控制中心轨道团队建“天宫”、护“嫦娥”、搭“鹊桥”、牵“玉兔”、送“天问”,用精准的轨道计算与控制,在浩瀚星河间绘就一条“中国天路”。

对“中国精度”的追求永远在路上

时间回到今年5月29日。这一天,北京航天飞行控制中心迎来又一次太空大考——

凌晨1时50分左右,伴随着我国深空探测天问二号任务总调度“船箭分离”的通报,所有人翘首待轨道团队计算的一组重要数据。

初轨结果,是判断探测器发射是否成功的关键依据,直接影响任务决策和进程。此时,轨道机房里,轨道计算主任设计师张研究员正带领团队争分夺秒工作着。

分离点参数计算、数据采集和处理、轨道初值计算……飞控人紧盯满屏数据,大脑与计算机一起高速运转,运指如飞。

此刻,机房的击键声仿佛与心跳声同频,空气似乎凝固了,每一秒都弥足珍贵,每一秒等待又显得如此漫长。

近百项监视、判断和操作动作,张研究员带领团队仅用3分钟,便给出高精度探测器初始轨道参数。

随后,飞控大厅再次传来总调度洪亮的声音:“根据北京实时计算结果,天问二号探测器已进入预定轨道。”

发射取得圆满成功,张研究员如释重负。

对复杂的初轨计算来说,3分钟时间确实很短,但这一成绩远远不是轨道团队的极限。事实上,今年的神舟二十号载人飞行任务中,他们曾创造了初轨计算时间新纪录:50秒。

纪录的诞生,往往源于工程任务的需要。自2021年我国空间站任务进入组装建造阶段后,发射段应急响应更高、时间节点更紧,需要轨道团队短时间内给出最精确的初轨结果。

早在2016年实施的神舟十一号任务中,他们已经将初轨确定时间压缩至原来的一半。然而,对追求极致的轨道团队而言,更快更准才是他们的目标。

后续任务中,张研究员带领团队计算岗位人员潜心研究,经过精度分析、算法改进、仿真演练等,提出了“超短弧实时滚动定轨方法”,实现50秒内完成初轨计算的巨大跨越。

在风险系数最高的载人飞船返回环节,返回舱落点预报对引导搜救人员第一时间发现航天员、保障航天员生命健康至关重要。由于返回过程的高动态性和测量数据的随机波动,精确落点预报一直是个公认难题。

多年来,该中心轨道团队一直锚定高精度返回落点预报,深耕不辍,一步步向着更高、更精的目标迈进。

今年,神舟十九号返回任务中,负责返回落点预报的工作人员摩拳擦掌,准



北京航天飞行控制中心轨道团队工作场景。

夏天阳摄

备采用新攻克的首选技术大干一场。

然而,就在任务前2天,因预定落区突发大风,指挥部临时决策调整落区。这意味着,轨道团队此前的很多准备工作都要推倒重来。他们通宵达旦计算新的落区所需轨道控制参数,反复验算新的预定落点。

4月30日13时8分,神舟十九号返回舱平安着陆,实际落点与预报落点仅相差77米,真正实现了“舱落机到”。

那一刻,双眼布满血丝的工作人员激动得跳了起来。飞控人再一次刷新了“中国精度”。

精度一小步,梦想一大步。对该中心轨道团队而言,新的任务承载新的梦想,也承载着他们对“中国精度”的新追求。

5年前实施的嫦娥五号任务,是探月工程“绕、落、回”三步走收官之战,复杂程度高、技术要求难、协同程序多。其中,月球轨道无人交会对接属世界首次,对接策略规划约束多、控制精度要求高、两器轨道穿越碰撞风险大,稍有差池,满盘皆输。

在轨道专家李研究员带领下,工作人员经过11个月的连续奋战,破解了一道道难题,嫦娥五号的“探月天路”基本成形。

任务实施前一个月,探测器系统提出:为进一步提高可靠性,希望把交会对接的偏心率从千分之一提高到万分之一。

在38万公里外的月球轨道交会对接,如同用挖掘机穿绣花针,千分之一的偏心率已近乎极限。经过精度分析、算法改进、仿真演练等,提出了“超短弧实时滚动定轨方法”,实现50秒内完成初轨计算的巨大跨越。

面对前所未有的挑战,团队内一度出现不同声音:“既定方案也能圆满完成任务,为什么还要逼自己再提高精度?”

李研究员语重心长地对大家说:“精度高一分,安全就多一分。为了确保万无一失,再难我们都要拼一把!”

随后,团队下定决心不断迭代数据、优化模型、改进算法、仿真验证,一举突破多项核心关键技术,拿出了最理想的交会对接控制方案。

2020年12月,当嫦娥五号携带1731

克月壤从月面起飞、上升器与返回器交会对接时,偏心率仅为十万分之一,比设计指标提高了整整100倍。

轨道团队以分毫不差的精准控制,成功完成38万公里外的“穿针引线”,交出一份优异答卷。

心至苍穹外,目尽星河远。从近地到月球,从地月空间到宇宙深空,中国航天人正以永远在路上的进取姿态,在浩瀚宇宙中书写着新时代的航天答卷。

将攀登航天科技高峰的“保险绳”牢牢掌握在自己手中

李研究员是该中心轨道团队的“元老”。天问二号发射当天,年逾六旬的她来到机房。看到90后副主管设计师小李正坐在自己曾经的席位上认真复核数据,她动情地说:“加油!相信今晚会成为你人生中一次最难忘的记忆。”

在李研究员的内心深处,同样也珍藏着一段动人的回忆。

2022年12月31日晚,习主席在新年贺词中指出:中国空间站全面建成,我们的“太空之家”遨游苍穹。

那时,李研究员和同事正在机房里分析空间站轨道姿态。一种巨大的幸福感,顿时洋溢在整个机房。

空间站是极其复杂的巨系统工程,被称为载人航天“皇冠上的明珠”。从载人飞船到货运飞船,从交会对接到空间站建设,每一次都是从无到有的拓荒,每一步都是从0到1的跨越。

李研究员带领团队历时20多年,一路跋涉攻坚、创新求索,先后突破掌握了18项具有自主知识产权的关键核心技术,托举和守护中国空间站远航高飞、遨游苍穹。特别值得一提的,是空间交会对接轨道控制技术的突破。

我国实施首次空间交会对接前,世界上已经有过300多次空间交会对接。“我们起步时已经晚了!”一种前所未有的紧迫感和使命感,压在了李研究员和同事们心头。大家暗下决心:“必须以超常规的速度加快追赶!”

梦想有多高,创新赶超的步伐就有

多快。该中心轨道团队一边与时间赛跑,一边与困难鏖战。李研究员带领大家住进了机房。数不清开了多少次方案讨论会、推倒重建了多少个模型,优化设计了多少种算法……团队中,有人经常铆在机房加班加点,还有人因长期熬夜,患上眼疾。

天道酬勤,经过连续10个月的合力奋战,他们先后突破多项关键核心技术,将登顶空间交会对接这一航天科技高峰的“保险绳”牢牢掌握在手中,为中国首次“太空之吻”打通精准可靠的“圆梦天路”。

星河渺渺,天路茫茫。航天本就是一项探索未知、求解未来的事业,闯的就是“无人区”,走的就是“拓荒路”。

在这条人迹罕至的太空征途上,李研究员和同事们一步一个脚印,留下了行行奋斗足迹。

2018年5月21日,我国首颗月球中继通信卫星“鹊桥号”发射升空,目标直指距地球40多万公里之外的地月L2点。

这是世界上首次为实现地球与月背通信的探索,也是一场无法回头、没有补给的远征。任务实施前,有国外专家曾断言:中国人只有50%的成功概率。

为了把这50%变为100%,该中心轨道专家刘研究员带领团队立下军令状,誓要啃下这块硬骨头。他们像高速运转的马达一样,要么铆在机房废寝忘食攻关,要么奔赴高校和科研机构请教专家。

靠着一股拼劲闯劲,两年多时间里,他们反复优化计算模型,在国际上首次提出中国人自己的“平动点轨道设计方法”,全面突破掌握多项关键技术,将原计划12次轨道控制减至5次,牵引“鹊桥号”成为世界上首颗运行在地月L2点沿Halo轨道飞行的卫星,为人类首次月背探测打通了地月通信“天堑”。

九天揽月星河阔,一朝探火举世惊。与月球探测相比,火星探测难度更大,风险更高,全世界着陆并顺利开展探测的成功率只有20%左右。中国航天首次探火能不能马到成功?全世界都在等待中国人的答案。

火星探测,轨道至关重要。面对长达4亿公里的遥远距离和复杂多变的宇宙环境,轨道该怎么计算、控制该怎么实施、测站该怎么引导,都是轨道团队面临的全新课题。

探测器在星际空间飞行时,会受到多个天体的引力作用,轨道计算必须考虑“多体问题”,求解异常困难,甚至可能得不到解析。

梦想感召,使命催征。该中心轨道团队又一次向太空探索新高地发起冲锋,连续3年攻坚克难,在不断试错和改进中,一举突破地火空间精密定轨与预报等一项项崭新的关键核心技术,为我国首次火星探测规划出一条“最美天路”。

从2020年7月到2021年5月,轨道团队控制天问一号环绕器精准实现火星捕获,托举“祝融号”火星车平稳降落在火星乌托邦平原。中国航天实现从地月系到行星际的跨越,一跃迈进世界行星探测领域先进行列。

今年,随着天问二号开启小行星探测的远征,中国深空探测进入新纪元。沿着轨道团队的创新足迹,不久的将来,更遥远的星河中会有更多更美的“中国天路”。

力挽狂澜,天路见证轨道团队的硬核担当

10年前,当科幻大片《火星救援》上映时,该中心轨道团队工作人员看后不禁感慨:“太惊险刺激了!”

10年后,大家有了不同的感受:与虚构的电影相比,他们亲历的“太空救援”堪称现实的科幻大片,更让人刻骨铭心——

2024年3月13日晚,实施我国首次地月空间探索任务的DRO-A/B星在西昌卫星发射中心升空。北京航天飞行控制中心轨道机房里,键盘敲击声与电话铃声此起彼伏,交织成向深空挺进的交响乐章。

型号团队陈总师带领团队密切监视着火箭的数据状态。一切紧张有序,一切平静如常。大家翘首以待这次寄望星

辰的远征。

谁料,火箭飞行约7840秒后,突然出现姿态失控等故障。

此时,距离星箭分离时间已不足2分钟。天上,火箭正带着卫星高速旋转,相当于每1.8秒“翻一次跟斗”;地上,轨道机房的屏幕上参数剧烈跳变,跟踪信号时断时续,卫星随时可能失联。

瞬间,机房里的科技人员如坠冰窟,大家的心都提到了嗓子眼,伴随着跳变的轨道参数咚咚跳动。

短短数秒沉寂后,陈总师迅速下达指令:“启动应急预案,快速确定初轨,一定要引导测站捕获卫星!”

90后小将宋工程师反应迅速。按照轨道专家的指导,他从记录的数据文件入手,在上万帧数据中快速挑选出有效数据,以最快速度完成初轨计算,核准无误后第一时间向测站发出。

50秒后,测站传来消息:成功捕获卫星信号!

“卫星抢救行动”第一枪,成功打响!然而,大家的心弦仍然紧绷着。他们深知,真正的挑战才刚刚开始。由于火箭入轨高度过低,初轨远地点高度不足预期一半,推进剂余量又捉襟见肘,卫星实际上已经进入“绝望轨道”。

千钧一发之际,唯有尽快重构轨道,才能为任务赢得一线生机。目光再次汇聚在轨道团队身上,一场场与引力赛跑的战斗接续打响。

主管设计师梁博士与轨道专家们在机房一起写公式、建模型、敲代码、做仿真,一次次调整参数,比对分析,一遍遍推倒重来、优化改进。

连续40个小时不眠不休后,他们终于拿出一套重构方案,经专家集体审议通过后续付诸实施。

这是轨道团队为卫星精心构建的一条崭新“地月天路”。历时123天,历经10次高难度应急轨道控制,轨道团队最终将受损卫星“拽”回正轨。

每一次任务、每一次远征,轨道团队时刻准备着迎接一切风险变故、处置各类突发状况。

多年来,为有效应对险情,确保任务万无一失,他们立足最复杂、最极端情况,精心拟制200余项特情预案,为守护“中国天路”打造最坚实可靠的盔甲。

2024年,由于受到超强台风影响,天舟八号货运飞船发射计划曾一变再变。他们先后设计出13版最优窗口调变方案,支撑工程总体做决策、下决心。最终,天舟八号顺利发射升空,控制空间站精准到达指定位置,成功完成交会对接。

回望来路,一次次严峻的特情、险情,仿佛就在昨天——

2018年12月8日深夜,嫦娥四号探测器成功发射后不久,突发燃料意外泄漏。经轨道专家测算,燃料损失量已经远超设计余量。如果仍按照既定的轨道控制方案,嫦娥四号将无法安全落月,整个任务也将功亏一篑。

危急关头,更显担当。面对重大险情,刘研究员主动请缨,不到2小时就拿出一套初步可行的应急轨道重构方案。接连数日,他们夜以继日反复推敲,改进优化、分析验证,一套精确成熟的方案如期交付。

迎着曙光,嫦娥四号驶入崭新的“中国轨道”,向月球飞奔。

然而,不久后,新的难题接踵而至:由于一侧燃烧剂出现泄漏,探测器重心已发生偏移,会产生较大的干扰力矩,影响落月的安全性。

经过反复研究论证,轨道团队在两次环月轨道修正时,创新控制方案,既完美解决了燃料贮箱重心不平衡的问题,又保证了探测器动力稳定。

一次次化险为夷,终于迎来见证奇迹的时刻:2019年1月3日,嫦娥四号成功实现人类首次月球背面软着陆和巡视勘察,在古老月背留下了中国探月的第一行足迹。

在轨道团队的科研人员心里,这一行足迹是中国人类代表全人类开辟出的探月天路。正如他们在《月背征途》一书中所言:月背本没有路,我们来了,便走出了属于自己的路。

