

精测妙控，太空牧星50年

特约撰稿 宗兆盾 本报记者 赵征南



西安卫星测控中心某测控站进行“嫦娥”任务动员宣誓。(均受访者供图)

惊心动魄，“太空营救”中星9A

“5、4、3、2、1……”发射场撼天地、烈焰升腾、直上云霄……说到中国航天，人们首先想起的便是火箭发射时的壮观景象。与此同时，画面之外的西安测控中心，“牧星人”紧盯不停变化的数值、曲线和三维图形，操控着每秒运转上亿次的高速计算机，不断处理航天器与地面、中心与各测控站以及航天各大系统之间的各种数据信息交换，为发射任务保驾护航。

一个月前，中星9A卫星从“初轨异常”到“正常运转”，经历了一场起死回生的大剧。承担应急测控的西安卫星测控中心，又一次走进公众的视野。“真是一场惊心动魄的太空营救。”在宽敞明亮的第一指挥大厅，完成手头的工作后，测控中心技术部副总工程师杨永安终于有时间面对记者。回忆起那16个不眠之夜。尽管抢救过程已经过去一个月，但杨永安的讲述依然激动。

6月19日，中星9A卫星发射过程中出现异常，卫星未能进入预定轨道。一般情况下，卫星虽然没有进入预定轨道，但还能由地面控制卫星，利用其自身携带的推进剂实施变轨控制，最终进入同步轨道。

但现实显然更加“残酷”：中星9A的预定初始轨道远地点高度为41991公里，而卫星实际入轨后初始轨道远地点高度只有16420公里，相差了25571公里。“这个差距，相当于登山只登到半山腰。”杨永安说，“当时，包括制造方和用户在内的很多人都认为挽救的希望渺茫。”

但测控人不愿放弃，他们乐意向“不可能”发起挑战。

彻夜工作12小时，他们终于找到了原因——火箭第三级姿态系统工作异常，导致不能以足够的速度和高度将卫星送入预定轨道。

他们要做的，就是让卫星自带的发动机在近地点点火，尽量抬高远地点高度到同步轨道，完成第三级“未竟的事业”。

每次发射，无论成功与否，测控人都会提前做好故障预案。“预案中的抢救高度至少要高于2万公里，1.6万公里实在太低了。但有好消息激励着我们：地球敏感器的工作极限应该还有余量，我们通过‘天上’做实验，进一步证实了这一点，并由此确认，卫星工作状态正常；卫星刚刚发射不久，还有维持轨道高度的能力，无法一步到位也可以逐渐提升；测控资源得到了保障，在海上原本承担其他任务的远望号测控船也加入进来。这都给我们更多的信心。”杨永安说，“我们要快，可又不能急。快，是因为再不控制，卫星的轨道会落得更低，进一步增加‘不可能’；若是着急，在整个变轨过程中，卫星燃料耗尽，就算把卫星送入到定

如果把翱翔苍穹的飞行器比作“风筝”，那么传递空地信息的就是一根看不见的“风筝线”。而这根线，掌握在航天测控人的手里。测控人还有一个更文艺的名字——“牧星人”。

航天测控随着国家卫星事业的发展而发展，“牧星人”与中国星一同成长。1967年6月23日，中国组建了卫星地面测量部，即西安卫星测控中心的前身。西安卫星测控中心是我国组建最早、规模最大、功能最全的航天器测控与管理中心。50年来，中心先后圆满完成了300多次重大科研试验任务，成功抢救10余颗重大故障卫星，实现了“飞向太空、返回地面、同步定点、飞船回收、多星管理、深空探测”的跨越。

日前，记者走进西安卫星测控中心，听测控专家讲述为祖国“牧星”的故事。

点位置，也会成为一颗‘死星’。”

“从山腰到山顶有很多路，我们让卫星走上最省力的那条路。”最终，抢救工作组确定保全轨道阶段、补偿轨道阶段、转移轨道阶段和定点捕获控制的“四步变轨”策略，最大程度地保证卫星安全，节省卫星燃料。

然而，胜利在望之时，预案之外的风险显现了：前两次变轨，一切正常；第三次，卫星姿态出现了异常。怎么回事？“预案是建立在卫星正常运行的前提下。随着自带燃料的消耗，卫星从身强力壮的年轻人变为精疲力竭的老年人，对老年人的抢救和年轻人不同，这个细节之前忽略了。”杨永安说，来不及争执，来不及去办公室开会，就在大厅内，大家围在一起现场处置，少数服从多数，决定控制太阳能帆板从双分支改为单分支，减少共振。

那16个昼夜里，抢救工作组把控制大厅当成了自己的家，困极了要不就在机房靠一靠，要不就睡办公室的沙发，连几百米外的宿舍都很少回，每天休息时间不过五六个小时。7月5日21时，经过5000多条指令、10次轨道调整、6次定点捕获，卫星成功定点于预定轨道。这次抢救首次实现了地球同步卫星转移轨道段的近地点变轨，为卫星节省约100公斤燃料，延长卫星使用寿命近2年。

成功之后，工作组做出决定：取消原定的聚餐，最好的庆祝方式就是回家睡觉。

这不过是测控中心50年“太空营救”的缩影。目前，中心成功处置多起太空险情，使10余颗重大故障卫星“起死回生”，为国家挽回巨大经济损失。

问路星途，代代人薪火传承

“这是我的工作，我必须对它负责。”参与中星9A抢救任务的测控中心技术部工程师胡靖说。

她所从事的，是测控领域较为基础的遥测。尽管如此，她也能感觉到维护国家太空资产安全的那份神圣荣耀，“只有真正进入了这个行业，我才能体会父辈的执着和辛劳。小时候，我总觉得父亲太‘一根筋’，不理解他的工作……”胡靖说起父亲胡正海，眼圈逐渐红了起来。

测控中心像她这样的“测二代”不在少数。问路星途，需要一代代人的传承。

当年，初入测控中心的胡正海，只是一名高中生。他面对的是国内当时最先进的“320计算机”——一个庞然大物，包括近30个宽0.9米、厚0.6米、高1.8米的大柜子，占地约300平方米。他潜心钻研，连续几个月通宵达旦地加班，最终熟练掌握了计算机的操作性能——当时的计算机上没有操作系统，连键盘都没有，只有功能很简单的“管理程序”；也没有高级语言编译系统，使用“机器语言”手编程序；内存全靠人工分配；软件全部穿孔在纸带上，用“光电输入机”输入；每小时耗电7千瓦，机房噪音高达92分贝，讲话只能靠喊。

上世纪80年代初，我国地球同步卫星“东方红二号”的发射工作正紧锣密鼓地准备，在控制精度的高要求下，计算机的处理能力拖了后腿——不到60万字的存储容量，每秒钟20万次左右的运算速度，再加上计算机运行很不稳定，很难连续正常运行十几个小时。

在这种情况下，购买外国生产的百万次计算机似乎势在必行。可国外的技术封锁非常严，项目组收获的唯有拒绝和嘲讽：“用这样的计算机完成地球同步通信卫星的测控任务是不可能的。”航天人再一次向不可能发起挑战。

时任320计算机室副主任的胡正海和他的同事们，创造性地采用“四机串联”方案，即在体系结构上将两台320机和两台717机联网的功能分布式方案；用速度较高的320计算机承担控制计算任务，用稳定性较好的717计算机承担与各个测控站的数据交换任务。

当时，老将军张爱萍听闻此次创新，兴奋地从座位上站了起来，用拐杖捅了几下地板，激动地说：“了不起啊”等通信卫星发射定点以后，连人带机器都要记大功！”

从此，320功勋计算机一发而不可收，17年里完成了40余次测控任务。如今，见证着中国测控走向成熟的320计算机，安静地守在秦岭北麓的桥南小镇。这里是测控的起点，现已被改造成航天测控装备博物馆，一片“白钢锅、银碗碗，口口对着天”的“天线阵”，述说着此地昔日的辉煌。

1967年6月23日，卫星地面测量部组建，这是西安卫星测控中心的前身。次年1月，一支100多人的队伍，带着包括50张桌子、30把椅子和一些生活用品在内的全部家当，从巴丹吉林沙漠深处出发，走进秦岭深山的桥南镇。老一辈测控专家李济生和同事们白手起家，自己动手盖机房、架天线、铺电缆，在酷暑严寒中调试设备，在陋室油灯下编写程序，度过了测控史上“小米加步枪”的艰难岁月。

1984年，赴美进修两年的李济生用“祖国的需要就是我的选择”谢绝了美方的邀请，毅然回国，投入精密定轨新软件的开发中，让精度从百米提高到十米量级，为日后的载人航天奠定了基础。后来，有人问起他在国外的两年感受，李济

生朴实地回答：“看到国外测控技术发展得那么快，着急得睡不着觉，总想把我国的航天测控技术和国外的距离拉近一点。只有这样，我觉得我们这些搞航天的人脸上才有光。”

李济生对后辈关爱有加，在爱徒李恒年最需要的时候，他递出了那根“救命稻草”。当时，身为一名年轻的工程师，李恒年思考再三，提出了新的卫星姿态确定算法，但包括卫星研制方在内的很多专家强烈质疑：既然现在的算法已经用了几十年都没有问题为什么还要修改？谁敢保证这新的姿控方案没有问题？

李恒年的想法很坚定：新算法大大节省卫星燃料，不能只求可靠、不求进步。但周边的质疑让他的想法无从推进。使用老算法获得多次成功的李济生说了一句非常关键的话：“从我们定轨的经验来看，用这个方法可行的。”于是新方案获得了一次与老方案同台模拟测试的机会。结果，新方案获胜。

如今的李恒年，已成为新一代“牧星人”中的佼佼者。他设计的飞船返回舱落点预报方案，将误差从公里级缩小至百米级，创造了我国航天器返回控制技术里程碑。

李恒年现在也鼓励学生去挑战这块里程碑。更年轻的工程师钱山将返回舱着陆看作热气球降落，气球来回飘移打旋，挂篮却没有那么激烈的运动，而李恒年采用的模型却将它看成了一个整体。最终，在李恒年的支持下，改进后的模型气象风漂修正量精度提高了30%。

关键词

六大跨越 功铸九天

飞向太空:1970年4月24日，“东方红一号”卫星发射成功，测控中心分布在各地的地面观测站对卫星实施精确跟踪测量，我国地面观测系统初步形成。

返回地面:1975年11月26日，我国发射了第一颗返回式卫星。中心测控回收人员用无线电定向仪等设备，捕获了高速返回的卫星，创造了卫星回收一次成功的奇迹，我国成为继苏联、美国之后第三个掌握卫星回收技术的国家。

同步定点:1984年4月8日，我国发射了第一颗通信卫星“东方红二号”。中心及各测控站成功将卫星定点于东经125度、赤道上空36000公里的地球同步轨道，我国成为世界上第五个掌握地球同步卫星测控定点技术的国家。

飞船回收:1999年11月21日，在没有任何技术和经验借鉴的情况下，测控人自主摸索，精测妙控，成功回收了飞船返回舱。迄今为止，我国11次发射神舟飞船，中心先后创造了“救援人员30秒赶到落地现场”、“返回舱预报落点与实际落点仅差280米等航天纪录。

多星管理:进入新世纪以来，航天发射测控任务一年30余次，在轨航天器数量也随之急剧增加。目前，中心已经具备了同期对上百颗在轨航天器实施轨道测定、状态监视、姿态调整、轨道控制和维修的能力。

深空探测:2013年，中心组织对欧空局“金星快车”进行了跟踪测量试验，测控通信距离成功突破了2.5亿公里。随着我国月球探测等重大航天工程的牵引带动，测控能力实现了从地球轨道向月球、深空轨道航天器跟踪测控的重大跨越。

“牧星人”，为天上星延年益寿

西安卫星测控中心不仅承担着卫星发射实时测控任务，还承担着我国所有在轨航天器的长期管理，是名副其实的“中国卫星”大管家。中心目前长期管理着我国100余颗在轨卫星，承担着卫星日常遥测监视、轨道控制、故障诊断与维修等在轨管理任务。

随着在轨卫星数量的不断增多，“多星管理”成为一个新课题。令人吃惊的是，值班人数在下降：前台值班编组由2010年的每班次20人管理50余颗卫星，优化到目前每班次7人管理100余颗卫星。这是如何做到的？

“自动化联网控制。”中心网管室副主任高惠荔进一步指出，盲目增加管理人员，并非治本之策，中心将测控设备管理与航天器管理分开，将设备联网，如同火车、飞机那样调控。何时启用设备，启用哪个位置的设备，设备跟踪哪颗卫星，航天测控网逐步实现了“有人值班、无人值守”的自动化运行。

2009年的初秋，中心工程师李方正和同事们一起围在亲手制作的“卫星守卫祖国”蛋糕前，为远在苍穹中的主

角——实践六号双星过生日。李方正早已把卫星当成自己的孩子。孩子有时也会“感冒”“发烧”，他就会想尽办法“治病”，排除故障，让它们在空中“舒适”地翱翔。

如今，这对“双胞胎”卫星已经工作了13年，超期服役了11年。中心航天器长期管理部主任刘军透露，依靠“太空医生”们延年益寿的“药方”，我国的很多卫星，都处于超期服役状态。相当于一颗卫星干了多颗卫星的工作，为国家节省了大量的资金。

地上的“牧星人”诊断“天上星”的难度非常大。“我们收集整理国内外1800余次故障案例，建立10多万条诊断知识，自主研发了航天器故障诊断专家系统，解决了航天器微小故障发现晚、分析慢、定位难等难题。”中心航天器长期管理部高级工程师李卫平说。

效果显而易见：2009年，中心管理卫星约为80多颗，卫星故障率为2.7次/天；2017年，卫星数量大幅增加，故障率却下降了一倍。故障诊断与维修水平的提升，将很多故障消灭在萌芽状态。



神舟一号飞船返回舱着陆回收现场。

挑战深空，着力创新自主可控

坚守星空开功，征战苍穹远。寂寞原上花，独自开成苑。埋骨青山伴寒星，换得丹心暖……

2009年，对中心航天器长期管理部总工程师樊恒海来说是充满坎坷的一年。老父亲已经89岁高龄，被查出肺癌晚期；爱人被查出患有低度恶性平滑肌瘤，需要住院手术并进行化疗；孩子面临着6月份中考。任务进行到关键时刻，家中多次传来老人病危的消息，他唯有把对老人的牵挂藏在心底。当任务完成，他已经永远失去了与父亲见面的机会。

由于无法像美俄那样全球布网，为了增加测控网覆盖率，我国在原有固定测控站的基础上，兼顾发展了活动测控站，有效地填补了盲区。活动测控站又被称为“现代大篷车队”，他们走南闯北，四海为家。有这么一组数字：50年来，活动测控部人员外出执行任务期间，有150多人在爱人小孩时无法照顾，有100多人在直系亲属病危病故没能回去。

2013年，第二活动站圆满完成神舟十号任务。通信队长张斌已经一年多没有回家。父母听说儿子坐的火车途经老家甘肃天水，说什么也要见儿子一面。列车不能中途停车，于是，张斌和父母约定在火车经过路口时透过车窗“看一眼”。

由于列车晚点，张斌的父母和爱人一直等了6个多小时。晚上11点多，列车终于来了，为了能让儿子看见自己，父母把车灯双闪打开；而另一边，眼看就要经过路口，张斌和同事用尽全力齐声喊出：“妈……”

远处的身影向列车挥手，张斌有一肚子话和父母妻子说，可列车已无情地驶出百米之外，张斌哭成泪人，他的同事们也感同身受……

正是这平凡的大爱，铸就了中国测控走向辉煌。

“经过50年的努力，中国测控实现上得去、看得见、摸得着、控得住。”刘军说，“在测控网的利用率、自动化程度、控制精度等方面，我国已处于世界领先水平。”

在多位专家的口中，最能体现测控技术水平与能力的一个词就是精测妙控。精测是基础，妙控是目的。目前，近地轨道航天器位置确定精度最高可达厘米级；地球同步轨道航天器位置确定精度

可达几十米；月球轨道探测器位置确定精度可达公里级；对我国载人飞船、嫦娥探测器及各类返回式卫星，能够实现高精度返回控制计算和落点预报，精度优于1公里，处于国际先进水平。

不过，刘军坦言，在测控网的覆盖率和测量手段方面，我国和国际最高水平之间仍有差距。此外，新形势下，中国测控还面临诸多挑战。“实时发射任务显著增多，高强度、高密度成为常态，要保证高质量，就要继续提升人才、技术、设备的管理，让测控网高效稳定的运行，发现问题后立刻处理；大数据航天器的稳定运行和高效地服务用户方面也存在挑战，考验卫星管理的创新；空间碎片的增多，空间环境并不乐观，在轨航天的安全面临威胁。”

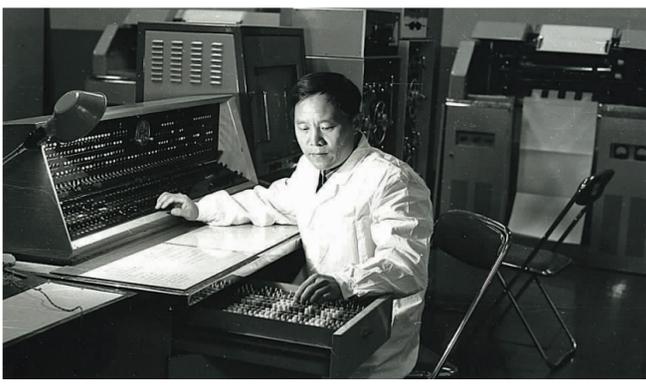
他认为，未来，测控人可在深空探测、智能化和国际合作等领域进一步探索。“在嫦娥三号任务中，中心采用干涉测量等先进深空测量手段，确保探测器精准落月，顺利开展月面探测等空间技术试验，这为我国后续开展火星等极远星际探测奠定了基础。与此同时，中心正在尝试‘从自动化到智能化’，让人的想法变成机器语言，让机器和卫星对话；而国际合作，不仅能带来理念、协议上的接轨，还能促进人员和技术的交流，提高测控网的利用率和覆盖率，省下大量建设、管理成本。”刘军告诉记者。

中心技术部研究员崔卫华则提到了未来的另一个方向——自主可控。目前，中心建立了一套拥有全部知识产权、规模超过1000万行的软件系统，实现了从火箭起飞、星箭分离、卫星入轨直到离轨的全程软件自主可控。“中心能同时支持4次实时发射任务，也就是说，如果我国酒泉、太原、西昌、文昌4个发射场同时发射火箭，中心也完全能够满足各方面测控需求。”他说。

“但是创建软件的平台还是国外的操作系统，一系列网络安全事件爆发后，我们也在软、硬件的安全性上做了工作，好消息是，无论硬件软件、国产化都有了方向，尽管还不甚完备，但核心的安全还是能保证。”崔卫华坚定地说，自主可控是必由之路，“把登山的保险绳紧紧握在自己手中”。



中心活动站测控人员正在调试设备。



老一辈测控专家李济生在320计算机乙机控制台上操作。