近60年航天器回收着陆技术探索，神秘的安返神器，打包三个篮球场大的降落伞——

神舟十一号回家背后的故事

本报记者 董碧娟

前沿探索

11月18日13时59分，神舟十一号飞船返回舱在内蒙古中部预定区域成功着陆，执行飞行任务的航天员景海鹏、陈冬身体状态良好，天宫二号与神舟十一号载人飞行任务取得圆满成功。在神舟十一号顺利回家的背后，有哪些看不见的力量在默默支撑？《经济日报》记者专程采访了中国航天科技集团公司第五研究院的科研人员，探听神舟十一号回家背后的故事。

一项始于1958年的探索

中国航天科技集团五院508所自1958年起，一直进行航天器回收着陆技术的研究，承担我国各类航天器的回收着陆重任，是保障神舟十一号顺利回家的重要力量。508所相关科研人员向记者介绍了我国航天器回收着陆技术的发展历程——

1959年7月10日，508所提出T7M探空火箭研制任务，以此探索液体探空火箭研制的技术途径。该型号是我国航天器回收着陆技术的启蒙型号。1960年4月17日，T7M-003探空火箭发射升空，箭体乘降落伞徐徐降落在东海之滨，这是我国航天器回收着陆历史上的首次成功。1966年发射的两枚T—7A火箭，成功实现了我国首批次小狗上天的回收着陆任务。

相关科研人员介绍，在我国国防装备大型实验数据舱回收系统研制中，为摸清有效载荷再入大气层过程中的各种情况，需对再入段进行实时测量。当再入速度达到马赫数10甚至更多时，有效载荷与周围空气摩擦产生的温度可达到千摄氏度以上，会出现“黑障”现象。在当时遥测技术无法解决的情况下，必须将这阶段的数据先存储在有效载荷的数据舱磁带中，在着地前将数据舱弹出，对其实施减速并回收，然后通过回收磁带的方式获取数据。

508所承担了此项任务，先后参加了四十余次发射，全部完成回收任务，为我国国防事业发展作出了重要贡献，也使航天器回收着陆技术得到了进一步发展。1980年5月18日，在我国首次远程火箭全程试验中，南太平洋成功回收数据舱就是一个意义重大的成功范例。

返回式卫星的回收是我国航天器回收着陆技术跨越的又一大步。科学实验卫星回收系统是我国第一个卫星回收系统。在此次系统研制中，508所科研人员经过大量理论分析计算、地面试验和风洞试验验证，解决了降落伞、时间机构、真空润滑等多项关键技术。1976年12月10日，508所首次成功完成科学实验卫星回收舱的回收任务，使我国成为世界上第三个实现卫星回收的国家。2016年4月18日，实践十号卫星安全降落在预定着陆区域，我国返回式卫星时隔十年后再次安全回家，为我国返回式卫星金牌回收系统再添一枚新的勋章。

截至目前，508所先后完成了我国所有7个型号返回式卫星回收系统的研制，参加了25次发射飞行试验，成功率达到100%。

载人飞船回收是我国近年来取得的又一大突破。1999年11月20日，神舟一号无人试验飞船发射，次日成功降落在着陆场，回收着陆系统首次圆满完成飞船回收与着陆任务。神舟五号于2003年10月15日发射升空，次日返回舱载着我国首位航天员杨利伟安全着陆，圆了中华民族的飞天梦想。2013年6月，神舟十号飞船返回舱载着3名航天员成功着陆，为我国载人天地往返运输系统首次应用性飞行画上了圆满句号。2016年6月26日，多用途飞船返回舱安全着陆，为我国载人航天工程空间实验室阶段首次飞行任务画上圆满句号。

2014年，嫦娥五号飞行试验器在完成近80万公里的绕月旅行后，以接近第二宇宙速度进入大气层，并采用半弹道跳跃的方式再入返回地球家园。这是我国首次航天器深空飞行后进行回收着陆，标志着航天器回收技术达到了能够满足深空探测返回的水平，是我国航天器回收技术发展的重要里程碑。

在我国后续飞船的论证和研制中，基于返回质量和飞行参数等技术条件的不同，回收着陆系统将采用基于群伞的气动减速方案，并需要在超音速条件下打开稳定减速伞。目前，508所已经成功完成了大型群伞技术的验证和超音速稳定减速伞技术验证，为我国载人航天的创新发展提供了重要参考。

多项安返神器显神功

中国航天科技集团公司第五研究院相关负责人说，“面对从神舟一号到神舟十号‘十战十捷’所积累下的雄厚技术储备和成熟产品序列，五院没有止步不前，而是针对神舟十一号飞船运行、返回轨道提高所带来的新风险，开展了持续的技术创新，在保证航天员返回生命安全的基础上，自我加码，聚焦保障航天员身体健康这一更高的要求，对成熟技术、产品、工艺进行了创新和优化，让航天员回家之路更安全、舒适”。

检漏是航天员进入返回舱后的首要工作，只有确保舱门与接口处完全密闭，才能保障航天员在乘返回舱回家时，始终处于一个安全的空间内。“我们研制的载人飞船舱门快速检漏仪，整个仪器不到5公斤，自动完成全部检测所需时间小于8分钟，可以实现对舱门密封情况的快速、准确检漏，产品性能达到国际先进水平。”五院510所技术人员告诉记者，舱门快速检漏仪将成为后续空间站和货运飞船等任务的标配，为中国载人航天工程实施提供重要保障。

从距离地球393公里的深空返回，对于神舟飞船返回舱而言是一次从未经历过的极端挑战。返回舱身处深空低温环境中时，轨道高度的增加将让返回舱经受更长时间的低温考验，舱内数十台设备存在因低温结露而罢工的风险；返回舱在进入大气层后，又因与大气的剧烈摩擦，表面温度会急剧上升，最高可以达到1500多摄氏度。为让航天员和舱内设施经受得起这“冰火两重天”的挑战，五院总体部勇于创新，为神舟十一号返回舱武装上了“多层防护衣”这一利器。

防护衣的里层是厚厚的划分成网格状的防烧蚀材料，防护衣外表面喷涂了特殊设计的有机热控涂层，在大大提高外热流吸收能力的同时，还能有效降低红外辐射能力。此外，在防护衣内部，五院技术人员还通过增加舱壁加热回路、优化风机管道布局、增加设备单独隔热层等措施，增添了新保险。通过多重保护，科研人员确保了返回舱温度始终维持在30摄氏度以内这一适宜的温度。

为让航天员在返回过程中遇到突发情况也能泰然处之、安全归来，五院502所和西安分院采用更加智能的产品武装神舟十一号，让其具备“出现一个故障系统正常工作，出现两个故障保证飞船安全返回”的本领。西安分院研制的仪表控制器应用软件显著提升了飞船自主运行的能力，确保飞船可以在地面指挥系统无法提供支撑的紧急关头，自主进行应急返回，并通过神经网络计算落点的控制参数，辅助航天员确定落点的优选方案。

在502所自主研制的新一代SoC片上系统芯片和SpaceOS高可靠实时星载计算机操作系统支撑下，神舟十一号返回的制导与控制性能将更为优异：在落地精度上有了大幅提高，优化的轨道方案将减轻失重下高负荷对航天员的压力；并使得飞船具备了“半自动控制模式”这一独特本领，在航天器姿态失控时，航天员只需要操作几个按钮就可以建立正常姿态，为安全回家再上一道保险。

降落伞和缓冲发动机是保障航天员安全返回的重要防护网，他们将联手合作，让返回舱温柔地拥入地球母亲怀抱，减轻着陆冲击对航天员健康的损害。针对飞船回收着陆系统不可测试环节多的特点，五院508所利用仿真手段进行了充分有效的校核验证。γ光子测距技术是决定缓冲发动机“精准刹车”的关键，508所研制出具有自主知识产权的γ高度控制装置，填补了国内高精度γ光子测距技术空白，通过神舟十号全面验证了产品性能，为神舟十一号返回舱落地前“稳、准、好”的刹车提供了有力保障。

把“3个篮球场”装进“冰箱”

把3个篮球场装进冰箱需要几步？这个听起来像开玩笑的问题，却真真切切地摆在五院508所科研人员面前。原来，神舟十一号飞船降落伞装置主要用于降低返回舱的速度，保证返回舱的稳降姿态，使航天员安全平稳降落。其中，主伞面积约1200平方米，全部展开后可以覆盖3个篮球场。主伞虽然块头大，但重量却不到100公斤，收拢后装进伞包内的体积还不到200升，可以塞进普通的家用冰箱。然而，这种“塞”可不是随便一揉塞进去，而是需要一项高技术含量的工作——包伞。

“按专业说法，包伞就是将降落伞的伞衣、伞绳和连接吊带等部件装进伞包内，使之保持一定的几何形状，并保证伞衣等部件在工作前不受气流吹袭和不与其他物体钩挂，在工作时则要保证按预定程序开包工作。”五院508所相关技术人员告诉记者。

原来，降落伞制作完成经检验合格后，就进入了包伞环节。整个包伞流程有几十道工序，主要步骤有：晾伞（用于释放材料内应力和清理多余物）、叠伞衣（将伞衣按顺序整理）、梳理伞绳（确保任意两根伞绳不出现交叉或缠绕）、整理伞包、装填降落伞、封包、称重。每一步都影响着1200平方米的巨伞怎样装进200升的伞包，其中最关键的就是梳理伞绳、装填伞衣、封包等环节。

生活中，我们经常会遇到耳机线、电源线、项链等打结的情况，得花不少时间将其解开。神舟飞船降落伞有96根伞绳，伞绳长度将近50米，该如何摆放确保它们不会缠绕“打架”呢？相关技术人员道出了“秘诀”：首先，伞绳采用特殊材料制成，表面光滑，本身就不容易打结。其次，工作人员会用一种叫梳绳夹的工具，将伞绳按照编号顺序依次排列进梳绳夹内。工作人员手持每12根一组的梳绳夹，从头理到尾，近50米的距离来回要走好几趟。梳理之后的伞绳就可以整齐有序地排列在伞包内，保证了伞绳拉出时不打结不缠绕。

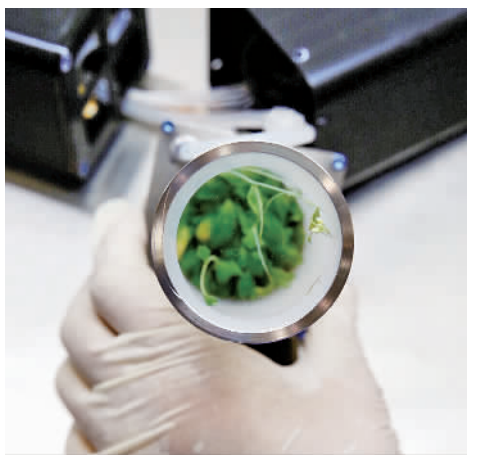
要把降落伞装进伞包既需要技术人员灵巧的双手，也需要借助15吨的压力。把伞衣装填进伞包时，需要3个人同时操作，一人为主，两人为辅。辅岗两名人员负责整理伞衣并送入伞包，主岗人员负责将伞衣叠放平整并初步压实。伞衣折叠后像卷起来的棉被一样粗，装填进伞包既要均匀有序，又要充实饱满，不留空隙，这力度的控制全靠包伞人员的双手。压实伞衣时，用拳、用掌还是用手指，要根据伞衣在伞包中的位置灵活使用，不能蛮干，否则会损伤伞衣，一定要用那么一股巧劲儿。当然，只靠人的双手，很难将降落伞全部装填进伞包中，还需要来自压力包伞机重达15吨的压力，将伞衣、伞绳和连接吊带等部件压进伞包内。包伞过程需人工与压力包伞机配合进行，底层伞衣用包伞机压实后，便可以继续手工装填。反复数次，降落伞便全部被装进伞包内。

伞衣伞绳全部装填进伞包后，需要将伞包的口封住，专业人员管这个叫“封包”。由于伞衣伞绳是在压力包伞机的巨大压力下塞进伞包内部，当包伞机压力撤除，伞包内压实的伞衣伞绳也会随压力减小而膨胀。因此，封包就需要在压力解除但伞衣还未来得及膨胀的一瞬间进行。两名操作人员同时抽紧封包绳，要求两人力量均等且同步，慢慢收紧封包绳。围成的绳环大小达到规定尺寸后，第三名操作人员系紧封包绳。整个封包过程持续十几分钟。封包结束，操作人员一般都会甩甩手，缓解一直紧绷的肌肉，强度不亚于在健身房锻炼两个小时。

从200升的伞包到空中1200平方米的巨型降落伞，其展开过程也就几十秒。但这短短几十秒背后，却是包伞人员数天的包装、加工人员数月的缝制、设计人员数年的计算与试验。

本版照片均由新华社发
本版编辑 郎 冰
联系邮箱 jjrbxzh@163.com

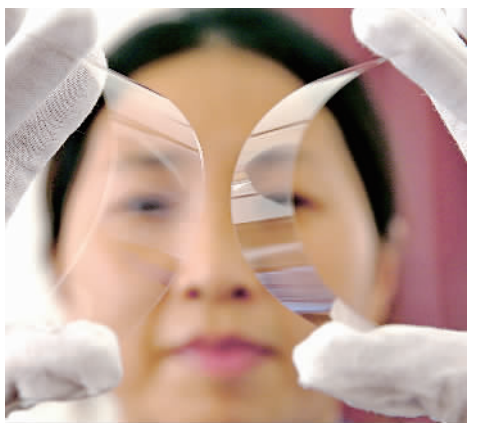
在中科院空间应用工程与技术中心，研究人员在检查空间材料制备样品外观状态。



在中科院空间应用工程与技术中心，科研人员展示从太空返回并开花的拟南芥。

10月16日，太原卫星发射中心阳曲站的技术人员进行雷达标校。

上海东华大学航天员服装研发设计团队负责人李俊教授在整理模特身上的航天员服装。



图为应用在“天宫二号”上的高强度抗辐照玻璃盖片，它能够抵抗太空中各种有害离子的撞击，透光率高、抗高低温冲击。

社址：北京市西城区白纸坊东街2号 读者服务窗：dzzs@ced.com.cn 010-58393509 查号台：58392088 邮编：100054 传真：58392840 定价：每月24.75元 每份：1.00元 广告许可证：京西工商广字第8166号 广告部：58392178 发行部：58393115 昨日（北京）开印时间：2:15 印完时间：4:00 本报印刷厂印刷