



# 神舟十五号航天员乘组安全返回 中国载人航天技术迭代创新让航天员“感觉良好”

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 任昕宇 罗维玮

6月4日，神舟十五号载人飞船返回舱在东风着陆场成功着陆，航天员费俊龙、邓清明、张陆全部安全顺利出舱。

## 百战归来从零开始

此次神舟十五号载人飞船返回，是我国空间站转入应用与发展阶段后的首次返回任务。中国航天科技集团有限公司五院（以下简称五院）GNC（制导、导航与控制）分系统、热控分系统、结构机构分系统、回收着陆分系统、测控通信分系统、数管分系统、总体电路分系统等各支技术队伍密切配合、协同作战，做好最充分的准备。

神舟十五号载人飞船着陆回收试验队进场时，载人飞船系统总指挥何宇动员大家，“百战归来，从零开始”。

五院载人飞船系统总体主管设计师刘庆博表示：“虽然我们之前已经圆满完成多次回收任务，但不能有一丝懈怠，必须更加严谨地对待每一项工作流程，做好每一次演练与每一次复盘。”

为强化返回舱现场处置流程管理，试验队员们对处置流程与预案等相关文件进行了更加细致的优化与完善。他们严格执行班前会和复盘会等制度，查找问题、识别风险、制定预案，做到事前周密部署、事后精心复盘，确保任务准备充分。

“一进入发射场，我们就立刻着手细化与完善着陆场工作流程，进一步提高任务实施的效率和规范性。”五院载人飞船回收试验队总体负责人彭华康说。

## 环环相扣步步精心

据彭华康介绍，此次神舟十五号载人飞船返回分为分离、制动、再入、减速、着陆缓冲五个阶段，可以说环环相扣，步步精心。

分离阶段——此次返回仍然延续神舟十三号以来的快速返回方案，即神舟十五号载人飞船与空间站组合体分离后绕地球飞行5圈，之后开始返回地面。随后，飞船返回舱与轨道舱分离。

制动阶段——神舟十五号载人飞船延续了神舟十二号以来的预测——校正双环制导方式，使返回舱以精确计算的再入角度进入地球大气层，推进舱在穿越大气层时烧毁。

再入阶段——舱上自带的发动机将返回舱调整为大底朝前的配平状态，以升力控制的方式再入。在再入过程的黑暗区，返回舱与地面信号中断，研制团队设计了一套全自动处理方式，保证舱体顺利过渡黑暗区。

减速阶段——距离地面10公里左右时，返回舱引导伞、减速伞和主伞相继打开，将飞船速度降低到每秒几米。

着陆缓冲阶段——距离地面1米左右时，反推发动机向下点火，使返回舱进一步减速，最终以1到2米每秒的速度着陆。

为了确保万无一失，试验队提前进行了4次全流程桌面推演和3次全系统综合演练，重点对正常和故障处置流程、故障预案、处置程序、安全要求、关键环节进行学习与演练，并联合着陆场系统对薄弱环节进行演练与验证。

“每一次全系统综合演练都是1:1模拟，把返回任务中的每一个环节、每一个关键动作都练到位。”彭华康说，围绕返回过程故障、着陆环境异常、处置工序故障三大类故障模式，他们还准备了20多种处置预案。

最终，五院技术团队高质量确保飞船返回舱成功着陆，再次护佑航天员平安回家。

## GNC系统更新换代

空间交会对接GNC技术是载人航天三大基本技术之一。我国迄今发射的所有神舟载人飞船和天舟货运飞船的GNC系统，均由五院502所研制。

此次神舟十五号载人飞船返回任务告捷为标志，我国自神舟十二号飞船起全面升级的，以自主快速交会对接、自主自适应预测再入返回制导为特征的GNC系统，完成全面更新换代。

我国飞船返回再入GNC技术共经历了三代。第一代返回技术在神舟一号到神舟十一号11艘飞船上应用，神舟十二号到神舟十五号这一批次4艘神舟飞船，采用的是第二代返回再入技术，实现了由慢速交会对接到快速交会对接，由面对单舱到面对多舱，由单对接到多对接等多个突破。

“采用二代返回技术后的最差返回精度，比一代的最好都好。”五院载人飞船系统副总设计师胡军说，如果采用一代技术，当出现大范围轨道条件变化时，就需要地面进行人工干预。如果采用二代技术，GNC系统则可以自主适应，而且可以实现一系列“更强”“更优”，在返回精度上也能做到“指哪儿打哪儿”。

## 光测系统率先捕捉返回舱画面

在神舟十五号载人飞船返回任务中，中国航天科技集团有限公司二院（以下简称二院）自主研制生产的多项技术产品，为神舟十五号航天员乘组顺利返回提供了全程保障。

## 光测系统率先捕捉返回舱画面

在神舟十五号载人飞船返回舱下降阶段，二院25所三套靶场光电测量系统在着陆场率先捕捉到返回舱画面，并稳定跟踪至返回舱着陆，跟踪过程视频画面实时传送到着陆场地面测量中心。同时，系统通过多站交汇定位技术，及时测量出返回舱位置。

此次任务中，25所靶场光电测量系统顺利保障



图为6月4日，神舟十五号航天员乘组顺利出舱，航天员费俊龙、邓清明、张陆（从左至右）挥手致意。

本报通讯员 汪江波 摄



图为6月4日，1200平方米特大型伞降落伞在东风着陆场，神舟十五号载人飞船返回舱成功着陆。

新华社记者 连振 摄



图为6月4日，神舟十五号载人飞船返回舱在东风着陆场成功着陆。

新华社记者 任军川 摄



图为神舟十五号载人飞船船艙组合体吊装。

本报通讯员 高楠 拍摄

4艘神舟飞船连续“落点精准”，进一步证明了该方法的科学性、稳定性、先进性和强适应性，推动了中国空间站任务顺利推进。

谈到团队多年攻关经历，五院502所交会对接首席专家解永春说：“中国的交会对接技术体现着中国智慧、中国力量。”

## 生命大伞再立新功

神舟十五号载人飞船返回过程中的每一个动作都牵动人心。当飞船快要回归地面时，一顶红白相间的大伞如期绽放，这顶航天员的“生命之伞”由五院508所研制，伞衣面积达1200平方米，在地面铺展开来，大约可覆盖三个标准篮球场。

1992年中国载人航天工程立项后，载人飞船降落

伞研制便提上日程。五院508所回收着陆分系统研制团队在详尽分析技术指标和使用条件的情况下，确定了把1200平方米特大型伞作为主伞的减速方案。

经过大量、反复的试验验证，研制人员苦攻多年，终于攻克了特大型降落伞的设计、制造、试验、总装等多项技术难关。

从神舟一号成功发射再到神舟十五号荣耀归来，大伞持续创新优化。在神舟十二号到神舟十五号返回任务中，回收着陆分系统批次产品研制涉及5大类共12项技术状态更改。研制团队深入研究产品机理，充分论证与试验验证，加强研制过程质量控制，保证所有关键过程记录完善、万无一失。

伞花绽放，意味着航天员即将平安抵达。神舟十五号航天员乘组“圆梦”归来，意味着大伞已经护佑中国人完成了第10次载人飞行。

## 搜救“密网”护佑航天员平安回家

二院706所研制的搜救信息系统，是空间站着陆场常态化应急待命搜救模式的重要组成部分，具备搜救任务筹划、预案推演评估、搜救态势监控等功能，可以对载人飞船、回收场站、搜救力量等状态进行实时跟踪显示，以统一、完整、准确的搜救回收态势，为航天员搜救任务全程的指挥调度提供服务。

此外，二院203所研制的一系列优质晶体元器件，利用稳定的石英晶体的压电效应和频率特性，在太空恶劣的环境中保持稳定跳动，是整机系统实现频率选择、频率控制并提供稳定精准频率信号的关键器件，有效保证地面指挥中心清晰准确监测航天器飞行状态，为确保航天员安全返回地球起到重要作用。

这两部雷达从2021年神舟十二号载人飞行任务开始，已连续4次圆满完成神舟系列载人飞船返回舱回收任务。

## 延伸阅读

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 刘淑芬 陈豪 王天明

从1999年神舟一号飞船成功发射，到2003年神舟五号完成首次载人飞行，再到今年神舟十五号载人飞船顺利返回，二十多年来，“神舟飞船家族”持续受到关注。

神舟飞船由返回舱、轨道舱和推进舱构成，和人体结构类似，返回舱也有“内脏”“骨骼”“皮肤”，甚至“外衣”。返回舱的“皮肤”和“骨骼”是紧密连接的，中国航天科技集团有限公司五院研制人员把它们叫作“蒙皮+筋”结构，蒙皮类似于“皮肤”，起到舱体密封作用，筋类似于“骨骼”，起到支撑加强作用。为了让返回舱能够在太空超200摄氏度的巨大温差环境下维持舱内适宜的温度，研制人员还会为返回舱穿上一层特殊的“外衣”——热控涂层。在返回舱内，还有降落伞舱、航天员座椅等产品。

返回舱的制作过程，可以用“铣”“卷”“吹”“缝”“热”“穿”6个字概括。

## “铣”外形 雕琢精准身躯

“铣”不是普通的清洗，而是数控加工的一种形式，也称之为“铣削”。铣加工过程中，返回舱要保持姿势不动，通过加工工具的旋转和移动雕刻出标准体型。返回舱的出舱舱门、舱门门框等部位，都是通过这种方式打造的。

由于返回舱体型具有薄壁、精度高的特点，加工时犹如在气球上进行雕刻。为此，研制人员对加工过程的工具旋转速度和加工路径进行了精密设计。同时，为确保航天员安全，他们还通过选择最佳的切削参数和过程控制，满足返回舱密封部位对平面度、粗糙度苛刻的加工要求，为后续高质量装配奠定基础。

## “吹”座椅 护航天地往返

神舟飞船返回舱内的航天员座椅，有着特殊的外形轮廓。航天员坐在其中就像胎儿在母体中的姿态。在强烈冲击下，能够最大程度地减轻伤害。很多人并不知道，这套座椅是“吹”出来的。

研制人员挂在嘴边的“吹”，其实是一种比较先进的热成形工艺方法，它的学名叫做“超塑成形”。这种工艺方法在特定温度和大气压的条件下，实现整体精密成形。生活中，这项技术在一些豪华跑车的变化流线条身蒙皮等产品制造中也有应用。

## “卷”蒙皮 实现量体裁衣

返回舱的“皮肤”是一层金属蒙皮，其中“头部”和“底部”是“吹”出来的，而返回舱的“腰身”是通过滚弯成形实现的，可以形象地理解为“卷”。要实现精确地“卷”，就需要滚弯机这一利器。在它的加持下，4块金属板材从平面“卷”成弧面，并组合成三维锥筒。

为保证返回舱体型标准，研制人员提前精确剪裁金属材料，确保平面状态的尺寸及轮廓精准，为“卷”奠定良好基础。随着滚弯成形技术的发展，该技术已经应用到天和核心舱、问天实验舱、梦天实验舱、天舟货运飞船等大型舱体的复杂一体化舱体蒙皮结构中。

## “缝”舱体 确保天衣无缝

返回舱由多个部分组成，为保证航天员安全和舱体密封要求，需要通过焊接的方法实现，负责焊接的操作者们常常被称为“铁裁缝”。事实上，要让返回舱的身体“天衣无缝”，难度很大。

为了把返回舱完美打造出来，需要用到10余套工装，70余道工序，上百个零件，涉及手工焊和自动焊两种方式。为保证焊接质量，焊接时要时刻观察“缝合”质量。因此，焊接技能大师们往往一趴就是半天，每次身上都会被汗水湿透。美丽的“鱼鳞”状焊接纹路，是焊接技师们高超技艺的体现。

## “热”处理 保持标准身材

返回舱在“塑形”过程中，要先经历490摄氏度至500摄氏度，以及160摄氏度至190摄氏度的高温历练，使返回舱的骨骼更加健壮。另外，在加工阶段和整舱焊接过程，返回舱会产生残余应力，它的存在会导致返回舱在执行任务时有裂纹、变形的风险。研制人员会设置“热敷”，以特定的温度将残余应力进行释放，从而保证返回舱在飞行时的良好状态。

## “穿”外衣 呵护在轨冷暖

当载人飞船与空间站交会对接后，返回舱难免会被其他舱体遮挡，表面最低温度会低于零下100摄氏度。有时候，返回舱局部又会持续受到太阳照射，最高温度会超过100摄氏度。

为了给航天员提供舒适的环境，研制人员设计出一款热控涂层，喷涂在返回舱表面。返回舱就像穿了一件银色控温“冲锋衣”，能够在200摄氏度大温差、长期低温及强辐射的太空中，将舱内环境温度控制在18摄氏度至26摄氏度。

当返回舱返回地球后，表面会呈现出金光闪闪的样子，那是返回舱的银色“外衣”在返回地球时，与大气层高速摩擦并氧化变黄后的样子。

# 神舟飞船返回舱是如何建成的

# 光电测量系统完成返回舱着陆观测“首秀”

□ 本报记者 廉颖婷 □ 本报通讯员 张明明 陈楠

神舟十五号载人飞船返回舱着陆观测，出色完成返回舱着陆观测“首秀”。

25所自研靶场光电测量系统集成红外热像仪、可见光相机等多种传感器，采用高精度伺服系统，可实现全天时、大范围、远距离目标跟踪与测量，能够满足航天器发射回收时的实况记录、高精度测角、高分辨率成像的需求。经过多年迭代优化，该系统已经成为一款高性能、高可靠性的光测系统。

## 雷达“利眼”在黑障区内跟踪测量

本次任务中，二院23所自主研制生产的两部测量雷达，全程护航神舟飞船顺利返回。从神舟十五号载人飞船返回舱进入大气层，两部雷达就开始接力跟踪测量，向指挥控制中心实时提供准确的目标信息，并为前方搜救人员提供有效的目标落点预报数

据，护航返回器平安落地。

两部测量雷达主要用于完成各类返回器的跟踪测量任务。

其中，相控阵体制测量雷达的核心任务是对返回器在黑障区内的跟踪测量。本次执行神舟十五号返回任务的雷达，在吸收了回收一号雷达研制经验的基础上优化产品设计，在任务保障预案、保障准备等方面储备扎实。回收一号雷达曾11次成功保障神舟系列飞船返回。

另一部被动无源定位系统，是回收任务最末端的跟踪测量雷达，能通过无源定位体制实现对返回器从开伞后至落地阶段的高精度定位，全天时全天候工作且无人值守，为落点预报和返回器搜救提供及时准确的数据信息。

这两部雷达从2021年神舟十二号载人飞行任务开始，已连续4次圆满完成神舟系列载人飞船返回舱回收任务。

## 搜救“密网”

## 护佑航天员平安回家

二院706所研制的搜救信息系统，是空间站着陆场常态化应急待命搜救模式的重要组成部分，具备搜救任务筹划、预案推演评估、搜救态势监控等功能，可以对载人飞船、回收场站、搜救力量等状态进行实时跟踪显示，以统一、完整、准确的搜救回收态势，为航天员搜救任务全程的指挥调度提供服务。

此外，二院203所研制的一系列优质晶体元器件，利用稳定的石英晶体的压电效应和频率特性，在太空恶劣的环境中保持稳定跳动，是整机系统实现频率选择、频率控制并提供稳定精准频率信号的关键器件，有效保证地面指挥中心清晰准确监测航天器飞行状态，为确保航天员安全返回地球起到重要作用。