

国家太空实验室硕果频出

本报记者 刘 晓

日前，神舟十八号航天员乘组圆满完成第二次出舱活动。截至目前，神舟十八号航天员乘组的大空之旅已完成近半，后续还将在轨开展大量科学实验与技术试验。

中国空间站部署了科学实验柜等具有国际领先水平的空间科学研究与应用设施，能够在轨支持空间生命科学与生物技术、空间材料科学、微重力基础物理、微重力流体物理等诸多领域的研究与应用。进入应用与发展阶段后，中国空间站已成为我国覆盖空间科学相关学科领域最全、在轨支撑能力最强、兼备有人参与和上下行运输等独特优势的国家太空实验室，各项应用有序展开、成果频现。

空间站提供科研新路径

近日，中国科学院院士、西北工业大学教授魏炳波团队在中国空间站开展的高性能难熔合金研究取得新进展，成功取得难熔合金熔体的关键热物理性质等多项空间材料凝固制备科学新发现，为中国空间材料科学理论研究、新型高性能的难熔合金材料制备等奠定重要基础。

高性能难熔合金是战略性、特种稀有金属材料，熔点通常超过2000摄氏度，具有“超高温、高活性”等特征，常被用于制造高温、高速、高压等关键部件。在地面环境下，难熔合金研究受重力、容器等条件制约，而中国空间站无容器材料实验柜提供的“无容器+长时微重力”环境，为高性能难熔合金研究提供了新的路径。

2021年，无容器材料实验柜随天和核心舱发射升空。无容器材料实验柜可利用静电场所提供的电场力，使材料样品在真空环境中保持稳定悬浮状态，避免与容器壁接触的影响，加热温度可达3000摄氏度，可进行金属、非金属等无容器深过冷凝固和热物理性研究。

据介绍，魏炳波团队制备的10余种数百个高性能难熔合金样品，先后在无容器材料实验柜进行了6批次在轨实验，成功完成难熔合金微重力条件下的静电悬浮、加热熔化、降温、过冷、凝固、热物理性质测定等重要实验，其中，4批次难熔合金已搭乘神舟飞船返回舱回到地面。

除了无容器材料实验柜之外，天和核心舱内还有微重力实验柜，为航天医学分析、基础物理研究等提供理想的微重力实验环境。问天实验舱部署了生命生态实验柜、生物技术实验柜、科学手套箱与低温存储柜、变重力科学实验柜以及舱外暴露实验装置等科学实验设施。梦天实验舱则配置了13个标准载荷机柜，目前已搭载了超冷原子物理实验柜、高精度时频实验柜、高温材料科学实验柜、两相系统实验柜、流体物理实验柜、燃烧科学实验柜等实验“神器”，主要面向微重力科学研究。

航天员参与更有成就感

今年4月，神舟十七号飞船顺利返回地球，中国空间站第六批空间科学实验样品也随之返回。下行返回的科学实验样品涉及23个科学实验项目，包括人成骨细胞、骨髓间充质干细胞、蛋白质晶



位于中国空间站问天实验舱的部分科学实验设施示意图。

图片来源：中国科学院空间应用工程与技术中心

体、生命有机分子、种子等32种生命类实验样品以及无容器材料、高温材料和舱外暴露材料等18种材料类实验样品，总重量约31.5公斤。

神舟十七号任务期间，航天员乘组在地面科研人员的精心配合下，在空间生命科学、航天医学、空间材料科学、微重力流体物理等方面，开展了84项空间应用在轨实验，生成了200多项实验样品。

航天员唐胜杰说，在轨科学实验最有成就感。作为“太空菜农”，神舟十七号航天员在“太空菜园”种植了生菜、樱桃番茄等多种蔬菜品种。在微重力环境下给蔬菜浇水，水滴

会漂浮在根系的表面，不易被基质吸收，需要用特殊的装置进行补水。航天员还通过不断地实践摸索，逐渐掌握了在微重力环境下种植蔬菜的技巧。不仅使小小的种子体积变小、方便夹取，也不会影响种子的萌出和发芽。

实验样品将如何进行研究？以生命类实验样品为例，科学家将对返回的生命类细胞样品进行转录组测序、蛋白质组检测等生物学分析，通过微重力环境下细胞生物学机制研究，为相关疾病预防与干预提供新的线索；对生命类蛋白质样品进行晶体衍射分析，获得更精准的蛋白质三维结构信息，研究靶点蛋白，为相关药物研制、疫苗开发提供技术支持。

坚持应用为纲效益为先

神舟十八号乘组在轨工作期间，将利用舱内科学实验柜和舱外载荷，在微重力基础物理、空间材料科学、空间生命科学、航天医学、航天技术等领域开展90余项试（实）验。

目前，神舟十八号乘组3名航天员已经开展了大量在轨实验和试验工作。比如，乘组利用生命生态实验柜，开展空间先进水生生态系统关键技术研究实验项目，完成了4条斑马鱼和金鱼藻实验组件水样采集和鱼食盒更换等操作，发现了斑马鱼在微重力环境下表现出腹背颠倒游泳、旋转运动、转圈等定向行为异常现象。后续，科学家将利用返回的回收水样、鱼卵等样品，结合相关视频开展空间环境对脊椎动物生长发育与行为的影响研究，同时为空间密闭生态系统物质循环研究提供支撑。

目前，神十八航天员完成了无容器材料实验柜实验柜体的样品更换、轴心机构维护工作，以保障空间科学实验的连续性、准确性和安全性，确保实验设备和实验环境状态稳定，相关实验项目顺利推进。此外，乘组还对梦天实验舱的燃烧科学实验柜进行了燃烧器更换、抽真空排废气等操作，并且完成了燃烧电磁阀转接线缆安装。2023年，燃烧科学实验柜成功实施了首次在轨点火实验，近一年来，已开展了多项燃烧实验，有望产出一批代表性的科研成果，对于完善燃烧基础理论、发展先进燃烧技术具有重要意义。

利用高温科学实验柜开展的新型材料空间生长研究项目，中国首次在空间获得了地面难以制备的高质量晶体材料，对高性能多元半导体合金材料制备具有指导作用；利用生物技术实验柜开展的人骨细胞定向分化的分子靶点研究、对骨骼肌影响的生物学基础研究等项目，取得的成果为促进骨折、脊柱损伤修复等骨质疾病的防治以及对抗肌萎缩、防治代谢性疾病提供了新的解决方案……中国载人航天工程新闻发言人、中国载人航天工程办公室副主任林西强此前表示，中国空间站已在轨实施了130多个科学研究与应用项目，在空间生命科学、航天医学、空间材料科学、微重力流体物理等方面取得重要成果。中国将继续坚持应用为纲、效益为先，充分发挥国家太空实验室平台优势，持续产出更多高水平成果。

近日，全球首台商用低温版扫描氦—空位探针显微镜在安徽合肥发布，该仪器主要用于检测纳米材料的表面磁性，将为材料科学、凝聚态物理、生命科学等领域研究提供一种全新的工具。该仪器由中国企业自主研制，标志着我国量子精密测量技术产业化发展取得了新的突破。

量子精密测量，是指利用能级跃迁、相干叠加、纠缠等量子特性，在测量精度、灵敏度、分辨率等方面实现大幅跃升。举个例子，我们可以用体温计测量人的体温，但无法用体温计测量蚊子的体温，因为体温计的探头比蚊子还要大，一个大的传感器难以测量一个小的物体的。若要测量比蚊子还要小得多的物体，比如单个DNA分子、药物蛋白分子等，我们就需要比分子和细胞更小的传感器。

近年来，科学家发现了一种基于“钻石缺陷”的量子传感器，这种传感器的感测单元只有原子尺度大小，可以说是人类所能研制的最小传感器之一。钻石看似完美无瑕，实则有很多“缺陷”，也正是这些“缺陷”，让钻石显现出某些可被利用的特性。比如，当钻石中相邻的两个碳原子被一个氮原子和一个空位替换后，形成的结构就表现出一种非常好的光学特性和量子相干性，科学家将它命名为金刚石氮—空位（NV）色心。

NV色心是一种优异的量子传感器，可以将其简单地看作一个极其微小的磁针。通过光探测磁共振技术，研究人员不仅能够观测到NV色心，还能用它测量周边磁场，并利用光和微波读出具体的磁场大小。经过氦离子注入、退火等几十道精细的微纳加工步骤，研究人员能够人工制备出金刚石NV色心，并能将其规模化生产成可以用于扫描成像的扫描NV探针。

此次研究人员研制的商用低温版扫描NV探针显微镜，就是一款结合了NV色心光探测磁共振技术、原子力显微镜扫描成像技术的量子精密测量仪器，可在宽温区下实现高分辨、高灵敏度、定量无损的磁学成像，具有纳米级的高空间分辨率以及单个自旋的超高探测灵敏度。

除了金刚石NV色心，量子精密测量还有很多技术路线，包括原子磁力计、原子钟等。原子磁力计是用光与原子的相互作用来探测磁场的技术，可以进行冠心病与心率异常检测；光晶格钟作为新一代原子钟，目前能达到百亿元误差仅有1秒。各个技术路线，依据应用场景各显神通。

量子传感器被誉为“打开微观世界的一把钥匙”。它不仅小，灵敏度也非常高，可以测到过去很多探测不到、测不准的信号，如脑磁、心磁信号等，可用于神经性疾病、冠心病等疾病早期诊断。同时，量子精密测量还带来一些检测手段的革新，例如在新能源领域进行锂电池内的漏电流检测，在能源勘探领域可用于电网管理，在半导体/集成电路领域可用于芯片电流成像等。

业界将量子精密测量视为量子信息技术领域又一个“产业化条件成熟”的方向，技术创新也日趋活跃。近年来，全球孵化出多家量子测量领域初创公司，挖掘各类应用场景，推动量子商业化进展。

通俗地讲，量子精密测量就是变“不可见”为“可见”。如果把我们的世界比作冰山，那么水面之上的是现在的传感器能够看到的，仅仅是冰山一角，水面之下则是未来量子精密测量可以观察到的。量子精密测量将成为我们挖掘宝贵信息“冰山”的有力工具，不断拓展人类的认知边界。显微之中，预见的是全球技术发展的不可限量的未来。

（作者为安徽省量子精密测量制造业创新中心主任）

中国科学家在「紫外成像」超高温测量领域获突破

本报电（立风）近日，中国科研人员在国际无损检测领域的权威杂志《无损检测与评价国际》上发表署名文章《高达3000℃的基于紫外—数字图像相关应变场测量》，文章显示我国在超高温极端环境应变场测量领域突破了3000℃。

此前，在超高温极端环境应变场测量领域一直缺乏有效测量表征手段，主要难点包括：一是超高温热辐射导致测量图像过度曝光，无法表征；二是使用中性密度、蓝光、偏振等多组滤光片，导致测量步骤繁琐，表征成像效果欠佳；三是作为变形信息载体的散斑在超高温中容易脱落，导致测量失败，无法表征。以上难点在紫外—数字图像相关的应变场测量方法中均被很好地解决，该测量方法在超高温测量领域已处于国际领先水平。

该文章通讯作者、北京航空航天大学材料学院高性能纤维检测评价中心助理研究员董亚丽表示，该测量方法首次利用紫外—数字图像（UV-DIC）系统，在3000℃环境下成功测量了石墨热膨胀系数（CTE），同时开发了以碳化钨（HfC）粉末为散斑材料的超高温散斑制备工艺，并且仅利用单个紫外滤光片就有效抑制了3000℃热辐射，清晰记录了被测对象从室温到3000℃的高质量图像。该测量方法能够有效、准确测量热端部件在超高温极端热耦合条件下的热变形，对于助力我国航空航天技术发展具有积极意义。

科普相伴 乐享暑假

暑假期间，各地的孩子们参加形式多样的科普活动，丰富暑期体验，拓展兴趣爱好，乐享快乐时光。



上图：小朋友和家长在江苏扬州科技馆内观看机器人跳舞。

孟德龙摄（新华社发）

左图：小朋友在福建厦门科技馆体验“时光隧道”。

曾德猛摄（新华社发）

量子精密测量·变「不可见」为「可见」

贺羽