

## 载人航天工程取得丰硕应用成果

2018年9月15日，我国第一个真正意义上的空间实验室天宫二号圆满完成2年飞行试验和各项任务，达到在轨设计寿命，空间应用硕果累累，工程应用效益日益显著，为服务国计民生、提升国民素养、推动后续发展奠定了坚实基础。目前，天宫二号平台及装载的应用载荷功能正常、状态良好。为进一步发挥空间应用效益，天宫二号将在轨飞行至2019年7月，之后受控离轨。

### 一、重在应用是载人航天工程一直秉持的价值理念

工程自1992年立项实施起，就提出“造船为建站，建站为应用”，即建造神舟飞船是为建设空间站提供天地往返运输工具；同样，建造空间站是为开展大规模空间应用提供平台。正是按照这一思路，规划了载人航天工程“三步走”发展战略，先后突破了载人天地往返、空间出舱和空间交会对接等载人航天基本技术，验证了推进剂在轨补加、航天员中期驻留等关键技术，为实现“建站为应用”打下了坚实基础。2010年中央批复载人空间站任务时，明确指出将空间站打造成“国家太空实验室”，要开展较大规模的空间科学实验和技术试验。

载人航天工程立项之初，能够开展空间应用的资源十分有限，但工程放眼长远，设立了空间应用系统，与神舟飞船、长征二号F运载火箭等并列为工程七大系统之一。任命空间应用系统两总，大力培养空间应用方面的专业人才，工程实施过程中成长起来的两院院士达10余名，形成了与载人航天工程发展形势相匹配的空

间应用团队。

通过科研经费的持续投入，形成了体系化的空间科学研制试验条件，特别是在空间科学系统设计、集成测试、在轨运控等共用技术平台和光学载荷研制等方面形成了较强的核心能力，为实现空间站阶段空间应用目标奠定了坚实基础。

## 二、载人航天工程已取得了一批重要的空间应用成果

在突破载人航天基本技术的同时，工程安排了一定数量的空间应用项目，取得了一批具有国际领先水平和重大应用价值的成果。工程第一步任务中，利用神舟飞船留轨舱和返回舱，开展了以多模态微波遥感器为代表的 29 项实验；神舟三号中分辨率成像光谱仪和神舟四号多模态微波遥感器是当时国际上先进的地球遥感仪器，前者主要进行陆地土壤/植被、海洋水色、大气水汽和气溶胶观测，后者采用微波辐射计、散射计和雷达高度计三种模式组合探测，为国家海洋资源开发利用提供了重要数据。这两台遥感仪器技术体制和相关成果已经成功转移到我国海洋、气象系列卫星。

空间生命科学、空间材料晶体生长实验和微重力流体物理学研究等，促进了我国空间生命科学和微重力科学领域发展和实验水平提升。空间环境监测及预报研究，为飞船发射和在轨运行安全起到了重要的保障作用，并促进了相关学科研究的发展。

工程第二步任务中，利用天宫一号目标飞行器、天宫二号空间实验室、神舟飞船和天舟飞船，开展了 70 余项实验。特别是天宫二号空间实验室支持空间应用的能力比前期有了大幅的跃升，是我国第一个真正意义上的太空实验室，上面搭载的 14 项约 600 千克重的应用载荷，在规模和水平上有了长足的进步。

空间基础物理学前沿取得重大突破，重点领域方向进入世界

先进行列，取得了具有国际影响力的成果。空间冷原子钟是国际上首台在轨运行的冷原子钟，日稳定度达到  $7.2E-16$  (3000 万年的误差小于 1 秒)，Science 网站、路透社、塔斯社等国际媒体给予高度关注，国际同行专家给予高度评价。该实验掌握了冷原子团的在轨激光冷却、操控、与微波相互作用及冷原子探测等关键技术。原子激光冷却的方法和技术对未来空间高精度时频系统提供了直接技术支持。

天宫二号伽玛暴偏振探测仪 (POLAR) 是国际首台宽视场、高效率的专用宇宙伽玛射线暴偏振探测仪器，开辟了伽玛暴偏振探测新窗口，成功探测到 55 个宇宙伽玛暴事例，已被美国、欧洲和俄罗斯等空间天文卫星观测所证实，为国际伽玛暴联合探测作出了重要贡献。在国内首次实现了利用观测到的蟹状星云 (Crab) 脉冲星的脉冲信号进行定轨，推动了脉冲星观测和导航技术发展。此外还成功观测到了太阳 X 射线暴，探测能力与国际天文卫星相当。

地球科学观测遥感器采用了创新的技术体制，并率先实现了空间验证，彰显了载人航天工程空间应用技术体制创新引领作用，开展了遥感应用，取得了显著应用效益。天宫一号高光谱成像是当时我国空间和光谱分辨率综合指标最高的光谱成像设备，具有波段多、光谱分辨率高的特点，主要用于获取地球环境监测的光谱图像。天宫二号多角度宽谱段成像是集宽波段光谱和多角度偏振成像的新型综合遥感器，在国内首次实现了 12 个角度光学偏振遥感技术新体制验证，开拓了获取重要的陆地/海洋/大气信息的新途径。

空间生命科学实验、空间材料科学实验、微重力流体物理实验发现了一批新的科学现象，提高了对于相关规律的认识，获得了具有特色的科学成果。天宫二号高等植物培养实验，在我国首次完成了“从种子到种子”的空间长周期培养，为未来建立以植物

为基础的空间生命生态系统，控制植物的开花，提高系统的生产效率提供依据。在空间材料实验方面，神舟七号首次开展了航天员参与的材料外太空暴露试验，为发展具有良好耐空间环境特性的新型润滑材料，满足航天发展需求，提供研发基础。天舟一号蒸发冷凝实验首次实现了液滴蒸发与液层蒸发全过程的定量观测，获得了空间不同温度、体积和形貌的液体蒸发变化规律，为空间热交换与冷却设备的设计提供了重要理论依据。

开展了多项空间应用新技术试验，为未来空间应用技术发展提供了先进的解决方法和手段，实现了技术体制创新。天宫二号量子密钥分配试验采用对光量子诱骗态方法，成功进行了天地量子密钥分配和激光业务数据传输，密钥成码率、跟瞄精度优于技术指标要求，该项工作巩固了我国在空间量子科学技术方面的领先地位。伴随卫星先后在神舟七号和天宫二号上成功开展了在轨释放、飞行试验。在我国首次实现了对非合作目标近距离成像观测、远距离逼近、精确绕飞和飞越观测，获得了神舟飞船和天宫二号组合体的清晰图像，为未来新型航天器编队飞行奠定了技术基础。天舟一号非牛顿引力实验检验的关键技术验证项目验证了空间高精度静电悬浮加速度计技术，该加速度计整体性能达到国际先进水平，对我国其他空间计划在弱力测量方面具有重要支撑作用，并已正式立项成为我国首颗重力卫星任务主载荷。

航天医学方面，充分利用历次载人飞行的机会，围绕制约人类长期载人航天飞行的主要医学及人因问题，在“人的健康”“人的行为能力”“人因工程技术研究”和“人的保障技术”四个方向，开展了一系列创新性、前瞻性在轨研究，获得了大量宝贵的实验数据和研究成果，深化了我们对人在空间的认识；研发了一系列设备，提高了保障能力，研发了系列航天医学空间实验设备，提升了航天医学空间实验技术体系和平台建设能力；为空间站建造

和长期载人飞行任务奠定了技术基础，部分项目对服务于地面大众健康也具有良好的应用前景。

工程实施以来，空间应用领域成果获得国家科学技术进步奖特等奖两次，取得省部级科技进步奖 90 余项，取得专利 400 余项，发表核心期刊论文 1000 多篇。

### 三、载人航天工程在航天科普教育和服务国计民生方面成效显著

载人航天事业，在展示人类探索精神方面具有巨大优势，在开展空间应用方面能够发挥人在太空的独特作用，对于提升公众航天素养，激发科学探索精神，以及开发利用空间资源服务国计民生等，都具有十分重要的意义。

在科普教育方面，神舟十号任务中组织了太空授课活动，神舟十一号任务中搭载了香港中学生太空科技设计大赛获奖的 3 个实验项目；启动载人月面着陆与上升飞行器创意方案征集大赛，瞄准我国未来载人月球探测任务，充分挖掘载人月球探测创新思路，鼓励新概念、新方法、新技术；自 2006 年以来，共组织航天员体验夏令营 40 多期。20 年来，航天员们走进校园、走进军营、走进工厂矿山，用上千场报告、数百次公益活动，宣传载人航天精神，播撒科学种子，诠释了肩负的社会责任，产生了巨大的社会效益，对提高国民科技素养、促进国家科技人才培养发挥了重要作用。

在航天技术的推广应用方面，航天员选拔训练技术在极端环境从业人员的选拔训练领域进行了推广应用，为选拔标准的制定、心理测评、基础知识培训等方面提供了技术指导；在个体防护领域，与北京市消防局等单位研制了多功能新型消防单兵系统，有效提升了消防官兵的防护能力。

在服务地方经济方面，载人航天工程办公室先后与云南、宁

夏等地签署了战略合作协议，利用载人航天资源来推动地方特色产业发展；此外，我们还对载人航天空间科学与应用数据不断进行科学管理与推广，建立了载人航天空间应用数据推广服务平台，已提供数据产品约 40TB，目前已拓展公益用户 70 余家，涵盖国家部委、科研院所、高等院校等，产生了一批典型应用成果。这些都体现了载人航天工程作为国家重大科技专项的社会责任，是载人航天工程应用效益的重要组成部分。

#### 四、载人航天工程在空间应用领域的国际合作与交流蓬勃发展

中国载人航天工程始终致力于和平探索和利用外空，积极开展载人航天领域的国际交流与合作，共同推动世界航天技术和空间应用的进步发展。

截至目前，载人航天工程办公室已与联合国外空司、俄航局、欧空局、法宇航、德宇航等航天机构签署了合作框架协议，特别是 2017 年 2 月，在习近平主席与意大利总统赛尔焦·马塔雷拉见证下，中国载人航天工程办公室主任与意大利航天局局长签署了《中国载人航天工程办公室与意大利航天局围绕中国空间站开展载人航天活动的协定》。在这些合作框架协议下，一些具体的合作项目已经顺利实施，取得了丰硕成果，围绕中国空间站更多的合作项目正在酝酿孵化。比如，神舟八号任务实施了中德空间生命科学实验项目，天宫二号任务实施了中欧伽玛暴偏振探测仪项目，神舟十一号任务实施了中法心血管研究项目，2017 年 8 月开展了中欧航天员海上救生训练等。2018 年 5 月底，中国与联合国外空司共同举办了中国空间站国际合作机会公告发布仪式，正式开启中国空间站国际合作，邀请世界各国积极参与，利用未来的中国空间站开展舱内外搭载实验等合作。

## 五、空间站任务阶段空间应用必将大有可为

在做好天宫二号运营管理工作的同时，工程全线正在全面开展空间站研制建设。为支持面向国际前沿的大规模科学研究，我国空间站部署了 10 余个先进科学实验柜、舱外暴露实验平台以及共轨飞行的巡天望远镜。空间站舱内、舱外均可支持开展空间应用，而且应用载荷可在轨更换。工程总体还成立了空间站工程任务规划专家委员会，全面负责相关空间应用项目的遴选把关。经过论证，空间站空间科学与应用领域确定了空间生命科学和生物技术、微重力流体物理与燃烧科学、空间材料科学、微重力基础物理、空间天文和天体物理、空间物理与空间环境、空间地球科学等领域，并提出了若干研究主题。将围绕制约人类长期航天飞行的主要医学问题及人因问题，聚焦前沿理论和关键技术，从长期失重和空间辐射对航天员健康的影响与防护研究、航天员行为与能力、先进的在轨监测与医学处置技术、传统医学航天应用等五个方向开展深化研究和创新性研究，持续促进新技术的应用与转化，服务于人类健康和社会进步。仅从首次入轨携带规模看，空间站相比天宫二号空间实验室提升 10 倍以上。

空间站阶段工程开展空间应用的目标是，在基础研究方面，取得一批具有国际重要影响的科研成果，为人类探索认识自然贡献更多的中国智慧；在航天技术和航天医学研究方面，产出一批占领航天科技制高点的理论成果，推动技术进步并积累经验，使中国人在太空飞得更远、飞得更久；在科普文化教育方面，持续激发和吸引青少年探索未知世界和对科技创新的热情，积极服务创新型国家建设；在服务国计民生方面，更大规模地支持与空间相关的产业经济发展，并探索空间产业发展，支撑国家重大战略与发展规划；在国际合作方面，以积极开放的姿态与世界各国开展全方位交流与合作，服务“一带一路”倡议，积极构建人类命运

共同体。

2016年5月，习近平总书记在“科技三会”上的重要讲话中特别强调，“浩瀚的空天还有许多的未知奥秘有待探索，必须推动空间科学、空间技术、空间应用全面发展”。在阔步走进“空间站时代”的新征程上，我们将牢记习总书记的嘱托，不忘初心、继续前进，努力推动中国载人航天事业迈向新的更高水平。