



截至今年9月27日,天宫二号已在轨正常运行740天。虽然天宫二号空间实验室已达到两年在轨设计寿命,但目前其平台及搭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,9月20日天宫二号空间实验室运营管理委员会会议研究决定,天宫二号在轨飞行至2019年7月,之后受控离轨。
天宫二号空间实验室可以被称为我国“最忙碌”的太空实验室,上面进行的各种实验多达10余项,是历次载人航天任务中应用项目最多的一次。那么,“履职”两年来,天宫二号开展了哪些科学实验?取得了哪些科研成果?又有着怎样的重大意义?

天宫二号“履职”740天

1 把实验室搬上天

2016年9月15日,长征二号运载火箭搭载着天宫二号升入太空,国人振奋。

而对于盼了多年的科技工作者来说,天宫二号的使命可能更加重大。作为中国第一个真正意义上的空间实验室,天宫二号上搭载的三大领域、八大主题的10余项空间科学和应用任务,意味着许许多多的“第一次”。

如今,两年过去了,天宫二号上的这些科学实验开展得怎么样了,又取得了哪些成果呢?

“在深入研究国际空间科学和应用技术发展态势的基础上,空间应用系统充分利用天宫二号空间实验室平台支持能力和优势环境条件,安排了一批体现科学前沿和战略高技术发展方向的空间科学和应用任务。”中国科学院空间应用工程与技术中心研究员、天宫二号空间应用系统副总设计师吕从民说。

俗话说,人往高处走,水往低处流,可在太空中,水未必能往低处流。在此次天宫二号的液桥热毛细对流实验中,中科院力学研究所研究员康琦团队利用空间的微重力环境,在太空中“玩”起了水。

“太空特有的微重力环境为我们深入剖析热毛细对流的真实过程提供了绝佳条件。”康



从天宫二号上返回地面并开花的拟南芥

琦说。他们的团队利用3年时间,研制出一台抽屉大小的液桥热毛细对流实验箱,它能够在空间精准控制液桥的高度和注入液体的体积,也就是让液桥一会“高大上”,一会“土肥圆”。

借此,科学家发现了很多新的科学现象,例如,“瘦”液桥的流体失稳强烈地依赖于升温速率,并会直接表现出不同的失稳形态;而“胖”液桥的流体失稳对升温速率的变化只有

量的提前或滞后。

其实,康琦之所以能如此顺利地完成任务,还离不开一个“秘密武器”的助力,那就是中国首个基于虚拟现实技术建立的遥科学实验平台。

遥科学实验平台是目前国际上支持太空科学实验最有效的方式。它能够把远距离的空间实验与地面上的人连接在一个回路里,科学家可以一边观察实验现象,一边远程控制实验。2017年1月,团队还将天宫二号液桥实验过程进行了网络直播,大量的关注让科学家体验了一把“网红”的感觉。

在高等植物培养实验中,科研人员首次开展了微重力环境下植物光周期调控机理的研究。中科院植物生理生态研究所研究员郑慧琼告诉《中国科学报》记者,在天上研究植物,除了科学意义,还对未来的长期载人航天提供保障。

“在空间站这种密闭系统中,能量供给非常有限,要最大限度地利用现有资源,我们就要把植物的调控过程给研究清楚。比如调控植物开花,如果航天员要吃的是植物种子,就让它早点开花;如果要吃的是植物叶片,就让它

晚点开花。”郑慧琼说。

此次高等植物培养实验首次证明,光周期对植物开花的诱导确实会受到微重力的影响。科研人员验证了利用植物光周期调控植物营养与生殖生长的设计思路,为有效利用空间资源进行最大化的植物生产提供了重要依据。

除了“吃”的,还有“用”的。在天宫二号飞行任务中,空间材料生长制备实验团队完成了半导体光子材料、金属合金及亚稳材料、新型功能单晶、纳米及复合材料等12种样品的空间制备实验和后续科学研究,并成功实现了航天员在轨参与实验。

“虽然在这次天宫二号的一次飞行任务中取得了一系列有价值的成果,但这些结果基本是定性的探索型实验。”中科院物理研究所研究员潘明祥坦言。

“未来,我们将从探索型为主的实验转向规律性研究的材料科学实验,希望能获取更多原创性科学成果,贡献于世界。”他希望,这些实验能为中国高质量和尖端材料的制备,指导和设计开发特种材料提供科学与技术储备,帮助中国实现在外太空制造材料的能力。

天宫二号空间实验室除了验证航天员中期在轨驻留,还安排了14项体现国际科学前沿和高新技术发展方向的物理学前沿科学、空间科学实验、空间应用与技术试验,共计51件载荷设备,是目前我国载人航天工程历次任务中开展应用项目最多、最繁忙的一次任务。

那么,天宫二号的在轨运行安全要如何保障,这些太空实验和新技术验证是如何在几百公里的太空顺利开展,大量宝贵的科学数据又是怎样更好地为科学研究服务的?

“我们有效载荷运控中心就像太空实验大管家一样,负责规划安排载荷工作窗口,控制载荷在轨运行,监视载荷健康状态,及时响应应急情况,确保太空各项实(试)验万无一失,同时也为科学家提供数据处理与共享发布服务,支持各项科学研究有效开展。”中国科学院空间应用工程与技术中心有效载荷运控中心主任郭丽娟说,“能成为‘太空实验大管家’,我们感到无比荣耀。”

作为连接起科学家与空间科学实验、技术试验的桥梁和纽带,至今为止,有效载荷运控中心值守天宫二号空间实验室上的各项科学实(试)验700多天,安排任务2万余次,控制指令10万余条,获取的数据有几百TB,目前整个载荷状态良好,取得了丰富的科学应用成果。

为了保障各类实(试)验有序、高效开展,运控中心自主研发了一套非常先进的地面支持系统。例如,天宫二号的各项科学实验、技术试验的项目多、领域广、设备多,却共用了空间实验室上各类资源。因此,合理安排时间窗口,最优化调配资源和消解冲突就十分重要。

运控中心基于人工智能技术,研发了一套任务规划系统,它能够像人类的“大脑”一样,去合理安排、控制载荷的工作,让这个复杂的空间实验室能够做到忙而不乱。

有了地面上的“大管家”,天宫二号各类载荷的运行是否就可以高枕无忧了呢?非也。

2014年1月,太阳耀斑导致国际空间站货运飞船对接计划推迟;2018年4月,天宫一号受轨道大气阻力影响,再入时间和地点引发热议;2018年8月,国际空间站漏气,管理人员和专家一度怀疑是陨石撞击造成。

“这些案例告诉我们,太空并不是大家想象的真空。”中科院国家空间科学中心研究员张贤国说,“像太阳耀斑、轨道大气、陨石碎片这些空间环境因素,都会影响航天器的运行安全;空间的高能带电粒子可以导致DNA键断裂,直接威胁着宇航员的健康乃至生命。”

对应于我国载人航天工程三步走,天宫二号的空间环境探测任务主要是探测高能粒子、轨道大气,保障宇航员安全和交会对接成功。科研人员对空间环境和物理探测分系统进行了改进,在小型化、综合化的基础上实现了技术指标的大幅提升。

尤其是前段时间,天宫二号降轨到了300公里的高度,为科研人员获取宝贵的科学数据提供了一次绝佳机会。

“300公里轨道被称为临界轨道,在此高度以下,空气阻力很大,航天器的在轨寿命非常短,因此这个轨道上的数据就显得非常稀有。”张贤国说。

例如,在南大西洋的上空,存在着一个磁场异常区域,这里高能粒子富集,很多低地球轨道卫星路过这里的时候会发生故障,堪称低轨道卫星的“噩梦区域”。此前,人们关于这一区域的三维分布只有理论计算,从未有过实测结果。

此次天宫二号的降轨,让科研人员取得了最接近该异常区下边界的探测结果,为该区域的三维建模起到了不可替代的作用。张贤国相信,随着数据日趋完善,卫星就可以更加精准地规避这个区域,避免更多故障的发生。

太空实验大管家

2 “高冷”处见真实力

天宫二号空间实验室上进行的各类实验多达10余项,是历次载人航天任务中应用项目最多的一次。在这些实验中,有3个空间物理领域的项目,可以说是高、精、尖的典型代表,实验内容均属于国际科学前沿,科学意义重大。

原子钟是卫星导航定位系统的核心设备。但目前应用于空间的热原子钟性能已接近极限,制约了导航定位系统性能的进一步提高。

“我们突破了热原子钟的局限,满足诸如深空探测、基本物理常数测量、引力波测量等空间科学探索活动对空间超高精度时间频率基准的需求。”中国科学院上海光学精密机械研究所研究员、空间冷原子钟分系统主任设计师刘尧说。

近年来,空间冷原子钟的研制成为各国竞争的焦点。中科院上海光机所十年一剑,提出了空间冷原子钟总体技术路线,攻克了多项关键技术,最终将冷原子钟送上了太空。

这次天宫二号上搭载的空间冷原子钟,不仅是唯一成功在轨运行的空间冷原子钟,也是在空间运行的精度最高的一台原子钟,做到了

3000万年误差率不超过1秒,将飞行器自主守时精度提高了1到2个数量级。

目前,天宫二号空间冷原子钟在轨运行已满两年,状况良好,性能稳定,完成了所有计划内科学实验内容,完成了预定任务目标。相关研究成果于7月24日作为亮点文章在线发表在《自然—通讯》上。

天宫二号上另一个“第一次”则是小型化终端的量子密钥分发实验。

中国科学技术大学潘建伟及彭承志等人组成的研究团队,联合中科院上海技术物理研究所王宇宇研究组等单位,利用研制安装在天宫二号上的小型化量子通信与激光通信复合应用终端,在国际上首次成功实现了基于小型化终端的星地量子密钥分发实验。

“载人航天工程帮助我们培育了很多实用技术。”中科院院士王宇宇说,“未来我们可以把终端做得更小、更复合应用,可以搭载到其他卫星上,还可以结合小卫星技术,把终端降低到百公斤级,实现‘一箭多星’或星座组网,为构建覆盖全球的量子保密通信网络提供可



天宫二号空间冷原子钟功能结构与工作原理

行的低成本方案。”

除了上述实验,天宫二号实验室上还搭载了一个国际合作项目——“天极”望远镜。“天极”是一台专门用于测量伽马暴偏振的高灵敏度探测器,由中国科学院高能物理研究所牵头,瑞士、波兰等国家科研单位参加研制。

“这是天宫二号上唯一一台暴露在舱外的载荷。它背对地球指向天空,可以有效地捕捉

到伽马暴爆发过程中产生的伽马光子,并测量它们的偏振性质。”中科院高能物理研究所研究员张双南说。

为了测量伽马射线的偏振,“天极”望远镜采用了1600根塑料闪烁棒组成一个探测器阵列,很像是蜜蜂的复眼。目前,这只勤劳的“小蜜蜂”已经成功探测了55个伽马暴,超过了设计指标。

在实验过程中,科研团队还“意外”发现了探测仪的一个新功能——探测脉冲星。

虽然脉冲星导航不是其设计目标,但天宫二号上的伽马暴偏振探测仪在国内首次实现了在轨观测到脉冲星,并成功地实现了脉冲星导航技术试验,提出了一个脉冲星导航新方法,相关成果已正式发表。

“卫星导航定位系统虽然已经成为现代生活中必不可少的基础,但也具有不适用于深空、不能自主运行、可被人为摧毁等弱点。”张双南说,“而脉冲星可以发出周期稳定的脉冲信号,是天然的导航卫星。如果航天器能接收脉冲星的脉冲信号,就可以实现自主导航。”

3 换个角度看地球

与基础研究不同的是,技术试验能让科研人员很快知道技术体系、方法是否可行。因此,在天宫二号这样的空间实验室中安排新技术试验就显得很有必要,它能够成为验证国家战略和核心关键技术的绝佳平台。

此次随天宫二号上天的,包括宽波段成像光谱仪、三维成像微波高度计、紫外临边成像光谱仪等新一代对地观测遥感器和地球科学研究仪器,同时安排了伴随卫星飞行试验,对

飞行器进行近距离成像观测。

天宫二号上的三维成像微波高度计是迄今对地球进行成像观测的电磁波频率最高的雷达,自2016年9月22日首次开机以来,实现了多方面的技术突破和创新。

“天宫二号高度计以前所未有的1~8度视角从太空对地球海洋和陆地进行雷达成像观测,以这一独特视角所获取的观测数据呈现了很多独特现象。”中国科学院国家空间科学中心微波遥感技术重点实验室副主任张云华说,“有一些结果完全出乎我们的意料。”

从该设备的角度来观测,海洋和陆表水体呈现出非常强的反射,而陆地很暗,能够将一些较小的海岛分辨出来,在强杂波的背景下,甚至能观测到大量不同大小船只的尾迹;而在沙漠中,天宫二号用这只“眼睛”,发现了一些非常奇特的

纹理特征。

例如,2016年12月和2017年12月,天宫二号两次对江苏如东海岸带进行了观测,雷达图像反映出,这一地区的海岸带发生了明显的变化。

“这些全新的认识对科学研究和后续应用都非常有价值。”张云华说。其实,天宫二号高度计的技术成果已经应用于国家空间基础设施规划的新一代极轨海洋动力环境观测卫星的主载荷——宽幅成像微波高度计中,再次体现了载人航天工程对我国空间技术领域发展的引领作用。

“你在桥上看风景,看风景的人在楼上看你。”当天宫二号忙着“看”地球时,还有个“小家伙”在一刻不停地看着天宫二号。

在此次天宫二号任务中,由中科院研制的伴随卫星也进行了一系列飞行试验。“我们进一步验证了小型高密度卫星在轨释放、驻留伴随飞行等技术,对飞行器进行了近距离成像观测,并开展了微小型部件空间试验验证。”中科院微小卫星创新研究院研究员、伴随卫星副总师包海超说。

在轨运行两年来,这颗尺寸仅有一个打印机电大小的伴随卫星不但实现了零故障,还为飞行器拍摄了1100多幅红外图像、1500多幅可见光图像,拍摄到飞船大量的特征细节信息。

2016年初,一名领导来中科院微小卫星创新研究院视察后,认为伴星的变轨能力完全可以发挥更大的作用,当场决定进行飞越组合体的观测试验,为天宫二号与神舟十一号的组



伴星拍摄的天宫二号和神舟十一号组合体

合体拍摄高清照片。

伴星项目组积极响应,对临时增加的组合体飞越观测任务经过几个月的方案论证和接口协调,终于在天宫二号发射的三个月前确定了飞越方案。

2016年10月23日是伴星释放的日子,而24日是伴随卫星主任设计师吴会英母亲心脏病搭桥手术的日子,面对亲情与重大航天使命之间的抉择,吴会英选择留在了北京。在伴星成功释放后,当同事们任务间隙休息时,吴会英则在焦虑地等待随时可能从手术室外打来的电话。

“伴星的个头虽然不大,但也容不得一丝一毫的差错。”包海超说,“凭着我们所崇尚的载人航天精神,项目组多项工作齐头并进,有条不紊,最终圆满完成了国家任务。”



有效载荷运控中心