



问天启航 探梦天宫

□ 本报记者 陈丽平 廉颖婷

7月25日10时03分，神舟十四号航天员乘组顺利进入空间站问天实验舱。这是中国航天员首次在轨进入科学实验舱。

7月24日14时22分，搭载问天实验舱的长征五号B遥三运载火箭（以下简称长五B运载火箭），在我国文昌航天发射场成功发射。

由中国航天科技集团有限公司五院研制的问天实验舱，是中国空间站第二个舱段，也是首个科学实验舱，由工作舱、气闸舱和资源舱组成，起飞重量约23吨，主要用于支持航天员驻留、出舱活动和开展空间科学实验。

更大更强更足更优更细

问天实验舱，称得上更大、更强、更足、更优、更细。

体重大。问天实验舱舱体总长17.9米，直径4.2米，发射重量达23吨，这块头和分量，跟北京地铁13号线列车的一节车厢差不多，是全世界现役在轨最重的单舱主动飞行器。

问天实验舱的工作舱是迄今我国最大、世界第二大密封舱体。与天和核心舱完成对接后，中国空间站将更加温馨舒适，而且“床位”数增加到6个。

系统功能更强。问天实验舱是一个集平台功能与试验载荷功能于一体的“全能型”选手。

平台功能方面，问天实验舱与天和核心舱互为备份，关键平台功能一致，可以完全覆盖空间站组合体工作要求。也就是说，在天和核心舱“想休息”的时候，问天实验舱也能顶上，“带你一起飞”。

问天实验舱不仅保障航天员在轨长期驻留，而且提供专用气闸舱和应急避难场所，保证航天员安全，让中国空间站的在轨运行风险更加可控，在轨寿命运行更加可靠。

在试验载荷功能上，问天实验舱搭载了8个实验机柜，22个舱外载荷适配器，就像是一个大型科学实验室搬到了太空。航天员在问天实验舱工作，出了“卧室”就能“上班”。

问天实验舱配备了一对双自由度柔性太阳能帆板，全部展开后的翼展超过55米，比半个足球场还要长。这也刷新了我国航天器在轨使用太阳能帆板的纪录。

问天实验舱的太阳能帆板面积大、柔性也大，带着这么大一队“软翅膀”进行交会对接，控制难度之高堪称空前。为了降低系统复杂性和在轨风险，问天实验舱也相应地实现了多个系统功能创新，如采取太阳能帆板二次展开方案，发射后先展开约五分之一的长度，待对接完成后再展开到位。

能源保障更足。问天实验舱的能源管理系统十分强大，自带高性能“发电机”与“配电器”。

问天实验舱的每个太阳能帆板展开面积约110平方米，差不多相当于一套三室一厅房子的面积。两个硕大的太阳能帆板一起工作，将有效收集更多的太阳能，每天平均发电量超过430度，为空间站运行提供充足的能源。放在地面上，这个日发电量足够一个北京市普通家庭用一个半月。

空间站在轨建造完成后，天和核心舱的一个太阳能帆板将转移到问天实验舱资源舱的尾部，天和核心舱将“专心致志”地进行空间站管理工作，而问天实验舱将成为名副其实的“主发电站”。届时，问天实验舱的3条能源母线将发挥更大的作用，为组合体源源不断地供电送能。

出舱气闸更优。在问天实验舱中，气闸舱的视觉效果十分独特，外方内圆，是空间站系统唯一一个看上去是方形的舱体。里面圆柱状的，正是航天员开展出舱活动时的更衣间——出舱气闸。在这里，更衣间空间更大了，航天员做出舱准备和舱外返回时，可以更舒展、更从容，未来将成为整个空间站系统的主要出舱通道。

出舱气闸还有一个直径达1米的大门。航天员从这里进出，不仅更加方便，而且还能携带大个头的设备出舱工作。

出舱气闸外面，是看上去像方形的外壳。这是舱外暴露实验平台，上面配置了22个标准载荷接口，其中一部分还配备了流体回路温度控制。未来10年，在空间站搭载的科学实验载荷，可以通过机械臂精准“投送”到自己对应的标准载荷接口位置，“即插即用”，不再需要航天员出舱进行人工操作了。

舱外操作更细。问天实验舱是空间站系统中舱外活动部件最多的舱体。大量的舱外设施设备更好地保障了出舱活动，也为更精细的舱外操作提供了支持。

问天实验舱将在气闸舱外携带一套5米长的“小臂”，这套7自由度的机械臂小巧、精度高，“小手”方

便抓中小型设备，做更为精细的操作。小臂还可以与核心舱大臂级联成15米长的组合臂，开展更多舱外操作。届时，组合臂能够在天和、问天、梦天的空间站三舱组合体之间爬行，“机甲战士”能控制的舱外范围就更大。

“四大力士”送问天精准入轨

执行本次发射任务的长五B运载火箭，由中国航天科技集团有限公司所属中国运载火箭技术研究院（以下简称火箭院）研制，是我国目前近地轨道运载能力最大的新一代运载火箭，具备近地轨道25吨的运载能力。作为我国空间站建造工程的“运载专列”，长五B运载火箭主要用于空间站舱段等近地轨道大型航天器发射任务，于2021年成功发射天和核心舱，后续还将承担梦天实验舱的发射任务。

身为长征火箭家族中的“大力士”，长五B运载火箭将我国火箭近地轨道的运载能力由8吨提升至25吨。它可不是只有蛮力，其特有的“大推力直接入轨精度控制技术”，可以让空间站的舱段安全到达预定轨道。

“就好比一辆正在高速行驶的汽车，想踩一脚刹车就停到指定位置很难。”长五B运载火箭试验队员这样形容大推力火箭精准入轨的难度。为此，火箭姿控系统团队和制导系统设计团队创新性地采用了“姿态控制增益优化”和“复合制导”两种方法，保证了长五B运载火箭入轨精度，连续3次发射任务的高精度入轨都验证了这个方法的可靠性。

这次发射的问天实验舱，是我国迄今为止重量最大、包络尺寸最大的一个载荷。不过，这难不倒长五B运载火箭，除了超大推力外，研制团队在设计之初就考虑到空间站建造的任务需求，直径5.2米、长度20.5米的整流罩足以让实验舱在里面舒舒服服的。

据火箭结构总体设计师王乾介绍：“针对此次任务，在整流罩生产初期，研制团队采用了三维视觉扫描等技术，对整流罩以及问天实验舱的尺寸进行了精准仿真，反复详细校核，确认了关键位置的安全间隙，确保在飞行、分离的过程中，实验舱享有足够的空间，不会在飞行过程中贴近整流罩。”

在此次任务中，长五B运载火箭凭借它强大推力、精准入轨的优异表现，成功将重达23吨的问天实验舱顺利送入预定轨道。成功托举的背后，合抱在芯级上的“四大力士”——4个3.35米直径助推器功不可没。

据长五B运载火箭副总指挥鲍国苗介绍，中国航天科技集团八院研制的4个助推器，为长五B运载火箭提供了90%以上的起飞推力。每个助推器五脏俱全，相当于一枚单级运载火箭。

将以生命科学为主开展实验

据载人航天工程空间站应用系统副总设计师吕从民介绍，空间站应用系统问天实验舱任务以生命科学和生物技术研究为主，在空间生命科学与生物技术、微重力流体物理、空间材料科学、空间应用新技术试验四个领域规划部署了十余个研究主题。

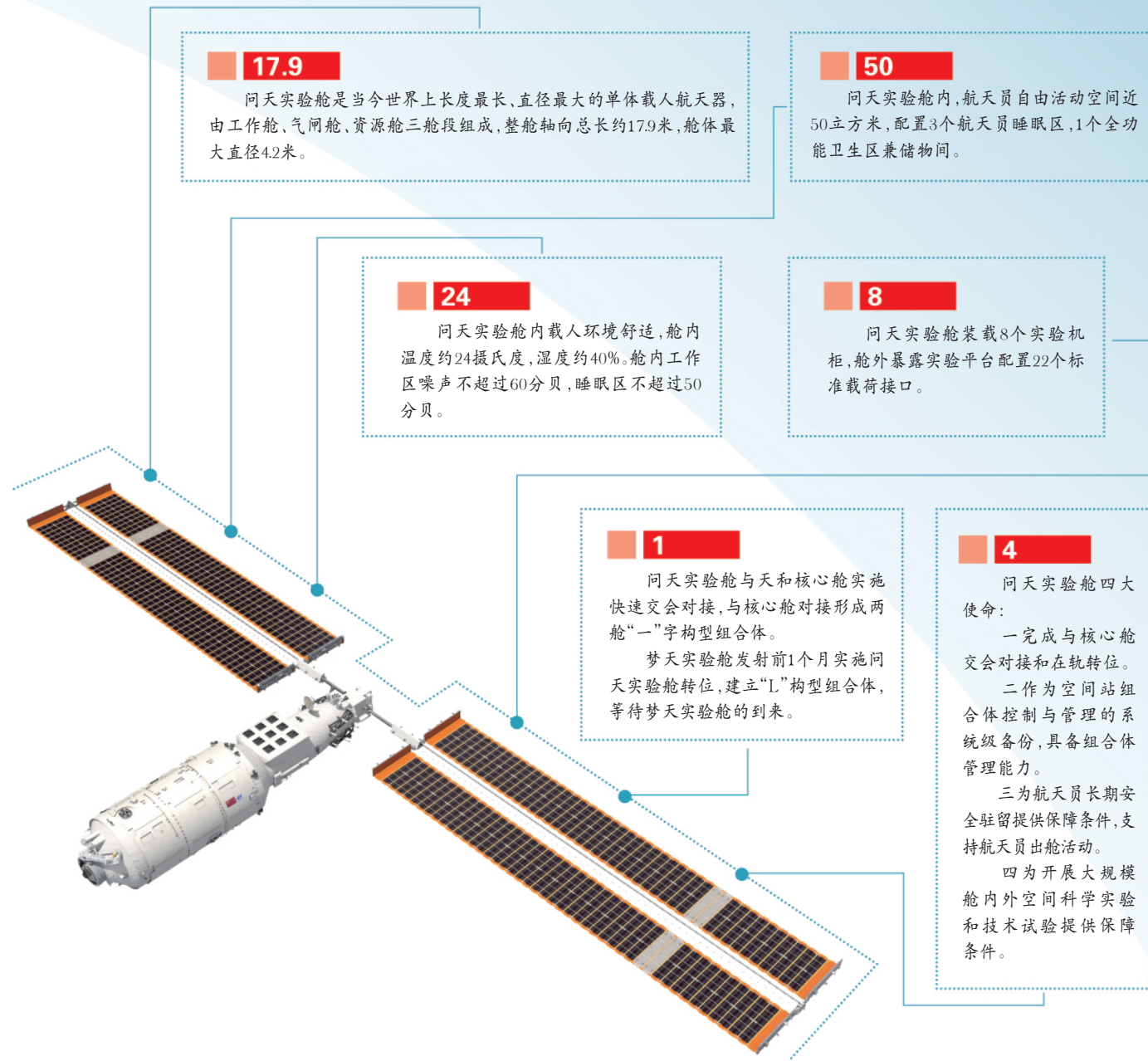
为保证上述科学任务顺利开展，不断产出科学成果，空间站应用系统在问天实验舱部署了生命生态实验柜、生物技术实验柜、科学手套箱与低温存储柜、变重力科学实验柜等科学实验设施，配置了舱内外应用任务共用支持设备，联合支持科学项目在轨全任务链实施。

生命生态实验柜以多种类型的生物个体（如植物种子、幼苗）为实验样品，开展拟南芥、线虫、果蝇、斑马鱼等动植物的空间生长实验，揭示微重力对生物个体生长、发育、代谢的影响，促进人类对生命现象本质的理解，研究空间辐射生物学和亚磁生物学效应与机制，探索建立应用型受控生命生态系统，为航天员在轨辐射损伤评估、防护提供科学依据。

生物技术实验柜以组织、细胞和生化分子等不同层次多类别生物样品为对象，开展细胞组织培养、空间蛋白质结晶与分析、蛋白与核酸共起源和空间生物学等实验，探索微重力环境下细胞生长和分化规律和机制，为人类健康、生殖发育提供理论基础。

科学手套箱提供洁净密闭空间和温湿度环境控制，配置灵巧机械臂具备细胞级精细操作能力；手套箱为航天员操作多学科实验样品提供安全、高效支持。

变重力科学实验柜为科学实验提供0.01g至2g高精度模拟重力环境，采用先进的无线传能和载波通信技术，支持开展微重力、模拟月球重力、火星重力等不同重力水平下的复杂流体物理、颗粒物运动等科学研究。



数说问天实验舱

分量最重的“太空之吻”

□ 本报记者 陈丽平 廉颖婷

7月25日3时13分，问天实验舱成功对接于天和核心舱前向端口。两个20吨级航天器首次在轨实现交会对接，被称作中国航天分量最重的“太空之吻”。

这其中，中国航天科技集团有限公司二院25所研制的核心产品——微波雷达持续输出高精度，有力确保交会对接精准可靠。

在中国载人航天工程交会对接任务中，微波雷达已十次出征，连战连捷，始终保持精确测量、稳定跟踪。

2011年11月3日，天宫一号与神舟八号成功实现交会对接，中国首次在太空上演“万里穿针”。2020年12月6日，嫦娥五号月球采样返回任务中，两航天器实现交会对接，中国首次在距离地球38万公里外成为“太空红娘”。

微波雷达是空间交会对接任务的关键测量传感器，具有测量及通信功能，可以在相对距离百余公里到几米范围实现两飞行器间距离、速度、角度等相对运动参数的高精度测量及可靠双向通信。

在交会对接任务中，两个航天器以极高的速度在太空中飞行，要快速精确“找到对方”，并且平稳地实现对接，就必须准确知道彼此的位置和运动状态，这就需要依靠一个太空导航，在太空地图上开启高精度的“共享实时位置”。微波雷达就是为两个航天器提供“共享实时位置”所需要的相对距离、速度和角度信息。

微波雷达的技术优势主要体现在小型化、低功耗要求下，可实现搜索空域大、作用距离远及测量精度高。在

中国首次交会对接任务中，微波雷达以优于工程总体要求的卓越表现首战告捷。此后，微波雷达不断升级，性能不断完善。

执行问天实验舱与天和核心舱交会对接任务的微波雷达，增加了测量通信一体化功能，这是为适应空间站建设阶段多舱对接增加的“定制化”功能，可识别不同对接口的应答机。

“我们把执行空间站建设的微波雷达定义为二代产品，它延续了第一代产品的测量性能，不仅增加了测量通信一体化功能，还采用软件加固方法为产品搭建了一套“自我修复系统”，就像披上了一层自我修复的盔甲，在应对空间高能粒子冲击时，能及时识别损伤并快速恢复产品正常功能。”微波雷达总设计师孙武说。

在交会对接任务中，两个航天器以极高的速度在太空中飞行，要快速精确“找到对方”，并且平稳地实现对接，就必须准确知道彼此的位置和运动状态，这就需要依靠一个太空导航，在太空地图上开启高精度的“共享实时位置”。

微波雷达就是为两个航天器提供“共享实时位置”所需要的相对距离、速度和角度信息。

微波雷达的技术优势主要体现在小型化、低功耗要求下，可实现搜索空域大、作用距离远及测量精度高。在

中国首次交会对接任务中，微波雷达以优于工程总体要求的卓越表现首战告捷。此后，微波雷达不断升级，性能不断完善。

执行问天实验舱与天和核心舱交会对接任务的微波雷达，增加了测量通信一体化功能，这是为适应空间站建设阶段多舱对接增加的“定制化”功能，可识别不同对接口的应答机。

“我们把执行空间站建设的微波雷达定义为二代产品，它延续了第一代产品的测量性能，不仅增加了测量通信一体化功能，还采用软件加固方法为产品搭建了一套“自我修复系统”，就像披上了一层自我修复的盔甲，在应对空间高能粒子冲击时，能及时识别损伤并快速恢复产品正常功能。”微波雷达总设计师孙武说。

在交会对接任务中，两个航天器以极高的速度在太空中飞行，要快速精确“找到对方”，并且平稳地实现对接，就必须准确知道彼此的位置和运动状态，这就需要依靠一个太空导航，在太空地图上开启高精度的“共享实时位置”。

微波雷达就是为两个航天器提供“共享实时位置”所需要的相对距离、速度和角度信息。

微波雷达的技术优势主要体现在小型化、低功耗要求下，可实现搜索空域大、作用距离远及测量精度高。在

中国首次交会对接任务中，微波雷达以优于工程总体要求的卓越表现首战告捷。此后，微波雷达不断升级，性能不断完善。

执行问天实验舱与天和核心舱交会对接任务的微波雷达，增加了测量通信一体化功能，这是为适应空间站建设阶段多舱对接增加的“定制化”功能，可识别不同对接口的应答机。

“我们把执行空间站建设的微波雷达定义为二代产品，它延续了第一代产品的测量性能，不仅增加了测量通信一体化功能，还采用软件加固方法为产品搭建了一套“自我修复系统”，就像披上了一层自我修复的盔甲，在应对空间高能粒子冲击时，能及时识别损伤并快速恢复产品正常功能。”微波雷达总设计师孙武说。

空间站运行“超长待机”

□ 本报记者 陈丽平 廉颖婷

空间站柔性太阳能电池阵用于天和核心舱，问天实验舱和梦天实验舱的在轨运行，是柔性三结砷化镓太阳能电池阵技术在我国航天工程领域的首次应用。

据中国电子科技集团有限公司电科能源（以下简称电科能源）空间能源事业部副部长于辉介绍，柔性太阳能电池阵技术主要有以下几个优势：

一是能量爆表，有效激活太空“发电站”。在太空中，每个航天器都会展开两扇巨大的“翅膀”，上面铺有许多深色玻璃般的“小镜”，每一个“小镜”宛如一座太空发电站，经串联、并联后组成太阳能电池阵，获得较高的电压和较大的电流，为航天器源源不断提供能量。用于空间站发射的柔性太阳能电池阵，光电转换效率突破30%，这一优异性能令传统太阳能电池望尘莫及。天和、问天、梦天三舱组合后，太阳能电池阵总发电面积接近400平方米，总共可提供超过100千瓦的电能，为航天器注入的能量再创新高。

二是体格庞大，却重量最轻。独特的设计结构让太阳能电池阵变得轻盈灵巧。在发射过程中，柔性太阳能电池阵产品起初宛如合拢的手风琴，紧紧收缩于收藏箱板内，单板厚度不足1mm，可谓薄如蝉翼，且单位面积重量仅为传统太阳能电池阵的50%。

三是虽然薄如蝉翼，却身披“防护铠甲”。为解决柔性基板长寿命空间环境适应性难题，电科能源、中国电科十八所研发团队仅用不到1年时间，突破了基于基板涂覆超薄硅橡胶方式的柔性基板原子氧防护技术，以“丝网印刷”基本原理为启发，研制自动化设备，精确控制压力、角度、速度等参数，实现柔性基板防护涂层自动均匀涂覆，顺利通过大剂量原子氧、低温等环境考核试验，为产品披上“防护铠甲”。

四是待机时间超长，循环次数创新高。为确保空间站在轨寿命，电科能源、十八所研发团队采用高压静电防护、大剂量原子氧防护、高温交变疲劳缓冲等防护手段，持续开展高压柔性太阳能电池阵长寿命空间环境评价试验，历经3年多，最终在问天、梦天实验舱发射前，8.8万次高温循环试验全部完成，验证太阳能电池寿命可提升至15年，确保空间站运行寿命实现“超长待机”。