

轻舟试验飞船首批成果来了—— 它不只送货，还能做太空实验

■本报见习记者 江庆龄

4月15日，在轻舟试验飞船(白象号)发射入轨半个月后，中国科学院微小卫星创新研究院(以下简称卫星创新院)正式发布飞船的首批科学与工程技术试验成果。

卫星创新院微纳卫星总体研究所所长、轻舟货运飞船总设计师常亮表示：“经在轨测试，飞船平台各项关键技术得到有效验证，获得了良好试验数据。各项科学载荷试验也在按计划有序推进，已取得阶段性成果。后续，团队将持续对飞船稳定性进行监测。”

为正常首飞船探路

2023年5月，为进一步降低空间站上行货物运输成本，增强上行货物运输的灵活性，探索发展商业航天模式，中国载人航天工程办公室发布空间站低成本货物运输系统总体方案征集公告。

这一空间站“快递小哥”的核心使命，是为我国空间站提供安全、可靠、低成本的货运服务。未来，它将与现有天舟货物运输系统优势互补，共同构建空间站天地货物运输体系。

2024年10月，经过第二轮择优，卫星创新院的轻舟货运飞船方案胜出。对于这个长期从事微小卫星研制的团队而言，轻舟货运飞船是一道全新的考题。要在尽可能短的周期内，从零起步完成一套新构型、新任务模式、新技术路线的设计研制，并将其送入太空接受检验，压力可想而知。

“项目推进过程中，我们始终在思考应该采用什么样的验证方式。”常亮回忆道：“我们最终决定借鉴美国太空探索技术公司(SpaceX)的试飞理念。试飞有利于推动货运飞船的快速创新，并以最低成本、最快速度获取真实飞行环境下的关键数据。”

可以说，这次试飞是为正常首飞船探路。轻舟试验飞船采用与正常首飞船一致的一体化单舱构型，具备3年在轨飞行能力。试飞的核心使命是对轻量化密封舱、高效推进、精细热控等10余项关键技术进行在轨验证，为正常首飞任务沉淀技术、积累经验，最大程度降低首飞风险。

为赶上火箭的发射周期，自2025年1月确定方案后，团队就开始“和时间赛跑”。他们秉承载人航天精神，坚持高度协同、快速学习、集智攻关，在极限状态下推进研制工作，仅用11个月便完成新型飞船研制。3月30日，轻舟试验飞船搭载力箭二号遥一运载火箭成功发射入轨。回顾这段历程，卫星创新院院长胡

启动会在京举行 联合国教科文组织“科学十年”倡议

本报(记者陈彬)近日，联合国教科文组织“科学十年”倡议启动会暨水与卫生创新技术国际合作研讨会在北京科技大学举行。来自全球16个国家的高校、科研机构、国际组织及产业界的专家学者共同探讨水与卫生领域创新技术发展和国际合作路径。

北京科技大学校长吕昭平表示，由北京科技大学发起的“促进水与卫生创新技术国际合作倡议”正式获批纳入联合国教科文组织“科学促进可持续发展国际十年”框架。这是学校在服务全球可持续发展、推动实现联合国可持续发展目标方面迈出的坚实一步。

非洲科学院院士、摩洛哥卡迪·阿亚德大学教授莱拉·曼迪在致辞中表示，水与卫生不仅是技术问题，更是基本人权，是关乎尊严、健康与繁荣的重要支柱。没有任何一个国家或地区能够单独应对挑战，期待加强在科研合作、技术转移、能力建设和政策对话等方面的协作。

中国联合国教科文组织全国委员会副秘书长葛思颖表示，北京科技大学这一倡议对推动水科学发展与成果转化、提升发展中国家饮用水安全与卫生服务能力具有重要现实意义，期待该倡议在联合国教科文组织有关框架下持续深化合作内涵，真正造福各国人民，破解共同难题。

随后，与会嘉宾代表共同启动“促进水与卫生创新技术国际合作倡议”，并发布《促进水与卫生创新技术国际合作北京宣言》，明确以加强科研协同、推动技术创新与成果转化、深化国际合作为路径，共同推进实现人人享有安全饮水与卫生服务的目标。



轻舟试验飞船(白象号)。 卫星创新院供图

海鹰表示：“从方案论证、择优迭代到详细设计、试飞飞船研制，轻舟货运飞船项目团队始终秉承严谨务实的工作作风，确保每一步都经得起检验。”

据了解，轻舟首飞正常船计划于2027年与空间站对接，正式开展货运服务。届时，飞船将在完成上行货物运输后，装载空间站废弃物。最终目标是通过高频次的飞行，形成稳定运行的“太空物流班车”。

首批成果验证多项关键技术

“轻舟货运系统项目在技术、设计和商业模式上实现了多项突破。”常亮说，“本次试飞的圆满成功不仅为正常研制提供关键数据支撑，探索了高效、可靠的研制新模式，还为商业化运营与合作模式开辟了可行路径。”

据了解，本次试飞围绕关键技术验证、低成本设计探索和拓展任务3个方面展开。在关键技术验证方面，团队结合轻舟货运飞船实际工作场景，开展了一系列有针对性的设计与验证。

举例而言，为最大限度提升空间利用率与货物装载能力，团队以密封舱为核心，采用一体化单舱构型，有效降低了结构重量与整船成本。此外，团队改变传统喷气控制姿态的方式，采用基于小角动量控制力矩陀螺的大型航天器自主高效稳定控制技术，为轻舟试验飞船长期稳定在轨飞行提供了支撑，使其在轨寿命由过去的数月延长至3年。

“在与航天员沟通时，我们了解到太空中对冷链箱有较大需求。为此，团队围绕未来300升冷链箱上行需求开展了关键技术攻关。”常亮特别提及，此次试飞

专门搭载了一台冷链箱。在轨验证结果显示，大容量冷链箱可在太空中快速从室温降至冷藏温度，配套的管路热管传热性能良好。此外，团队已在地面完成便携式蒸汽压缩冷链箱的验证，为未来细胞上行搭载提供技术验证。

在低成本设计与探索方面，团队在电子系统优化、新材料应用、民用技术移植、低成本制造等多个环节同步发力，通过分系统级创新和全链条优化进一步降低成本。

“为确保在轨工作性能，传统航天器通常优先选用宇航级元器件，成本相对较高。”常亮说，“轻舟试验飞船选用了不少工业级元器件，同时对关键器件进行冗余备份，以确保系统性能可靠。”

降本增效还体现在多项创新探索中。例如，可折叠超薄柔性单晶硅太阳能电池在轨表现稳定，成本仅为传统电池的1/10；新型制空通信模块性能优异，可实现450公里以上数据传输；3D打印技术等高性价比新材料的在轨适用性与可靠性得到了充分验证。

除上述工作外，多星释放与在轨服务等拓展任务也已圆满完成。4月2日、3日，轻舟试验飞船先后成功释放两颗小卫星，并与新程01星开展了远距离抵近与安全撤离试验，验证了多体变轨变轨耦合控制技术的实用性。“试验结果为未来货运飞船相关交会对接任务积累了重要技术经验。”常亮指出。

“太空实验室”启用

完成送货运输任务后，飞船不会直接受控陨落，而是继续支持多类空间科学实验和技术验证，最大化任务价值。为此，团队特别设计了可灵活拓展

的通用化搭载平台，使载荷能够“即插即用”，确保各类搭载载荷快速完成集成测试。

本次轻舟初样试验飞船共搭载10家单位的27套产品，覆盖空间制造、在轨维修、低成本可靠性增长、新技术储备四大领域。常亮透露，目前已有6项新技术载荷试验完成，1项正在开展，其余试验也在按计划有序推进。

此次载荷试验中，“未来太空医院”相关项目是最受关注的方向之一。

深圳理工大学校长樊建平介绍，此次搭载的5个载荷中，有4个与“未来太空医院”相关，分别涉及皮肤健康、细胞测量、骨骼生长和肌肉监控；另有1个与太空能源利用相关，旨在探索利用藻类和浮萍在太空中生产人类所需蛋白质的可能性。

其中，由中国科学院院士、深圳理工大学未来医学中心主任顾瑛牵头研制的接触式紫外无创光谱仪载荷，已完成在轨验证。

顾瑛表示：“维生素D不足已成为全球性公共卫生问题。在国家重点研发计划支持下，我们组织全国20家单位，历经10年科研攻关，不仅实现了‘从0到1’的突破，还进一步完成了相关产品研发。”这款设备可复刻阳光中高效合成维生素D的297纳米“黄金波段”，应用微瓦级均匀面光源调控技术照射人体皮肤，安全、高效地促进人体合成维生素D。

在轨试验进一步验证，接触式紫外无创光谱仪突破了舱内紫外光缺失瓶颈，可实现维生素D原位合成，填补了微重力骨骼健康维护技术空白，并破解了在光照不足引发的生物钟调控紊乱难题。“验证试验有助于推动航天医学与光谱技术融合，建立极端环境应用标准，为深空探测健康保障提供技术支撑。”常亮补充道。

这意味着，轻舟试验飞船此次发布的首批成果，意义并不止于几项单独试验取得阶段性进展，更在于验证了一种新的平台能力——货运飞船不再只是单纯承担物资上行任务的“运输工具”，也可以成为集关键技术验证、科学载荷试验和未来应用拓展于一体的“太空实验室”。

“航天事业承载着国家的梦想和民族的希望。每一次发射、每一项突破背后都是无数航天人对初心使命的执着坚守。轻舟货运飞船正是我们这份坚守的最新答案。”胡海鹰表示，“接下来，我们将继续做好在轨试验和系统优化工作，力争早日拥有常态化太空送货能力，确保轻舟正常船与空间站实施对接，正式开启货运服务。”

创新的种子藏在「不确定性」中

■本报记者 孙丹宇

水蕴藏着破解未来能源安全难题的无限可能。第一次将水系电解液放入电池的微观世界时，中国科学院大连化学物理研究所(以下简称大连化物所)研究员窦浩桢或许并未想到，这捧水将贯穿他的整个科研生涯，也把他带向一次次与“不确定性”的正面交锋。

“科研的魅力恰恰在于不确定性中藏着创新的种子，那些‘意外’和‘挫折’是校准方向的罗盘。”窦浩桢说，“从2020年到现在，在水系锌基电池研究中，我最大的收获就是学会与‘不确定性’共处，在‘安全、成本、性能’的多重约束中，找到通向实用化之路。”

“兴趣”与“国家需要”的奔赴

窦浩桢坦言，自己对“水”这种地球上最安全、最常见的介质所蕴含的能量充满了天然的好奇。“水是安全的、环保的，不像有机溶剂那样易燃易爆。我想知道能不能利用好它，让它为能源存储服务。”

而真正使他兴趣转化为坚定不移的选择，是求学过程中的一次深刻认知。随着国家提出构建新型能源体系，风能、太阳能等可再生能源的大规模并网对大型储能技术提出了前所未有的迫切需求。这不仅要求储能设备具备高安全性，还对其资源丰富度、成本可控性提出了刚性约束，为水系锌基电池打开了想象的空间。

“我意识到，这个方向的社会价值很大。”窦浩桢说，“这种‘被需要’的感觉，让我觉得这个方向值得深耕。”于是，在兴趣驱动与国家需求的牵引下，窦浩桢将目光投向了大连化物所。“这里有顶级的平台和严谨的学风，如果在这里扎根，就能接触到最前沿的问题，得到最扎实的训练。”他说。

进入研究所后，“国家需求”不再是宏大而遥远的概念，而是具象化为每一天实验中的技术指标。“它具体体现在成本要低于每瓦时多少钱、循环寿命要超过多少圈、安全测试要通过哪些严苛的标准。”窦浩桢说，这决定了他的研究不能只停留在发表论文的阶段，而必须始终盯着“实用化”这个靶心。“任何选题，我都会先问它能不能解决产业化道路上的一个真实存在的问题、成本和安全的底线能不能守住。”

抱着这样的想法，他第一项研究就瞄准了水系锌电池最核心的痛点——锌负极的枝晶生长问题。这是导致电池短路、寿命缩短的“罪魁祸首”。“当时我就想，能不能不从材料堆砌的角度，而从电解液的基础相互作用入手，去理解和调控锌离子的沉积行为。”这个想法最初是稚嫩的，却为他打开了一扇通往微观世界的大门。

给锌离子穿上“防护服”

在研究初期，窦浩桢遇到了第一个“拦路虎”——观测“难”。传统的表征手段就像肉眼观察细菌，根本无法捕捉锌枝晶微观的形成过程。“看不到就没法理解，不理解就没法调控。”窦浩桢说。为了突破这一瓶颈，他和团队搭建了原位观测平台，就像给电池装上了一台“实时摄像机”。

经过反复调试，他们终于直观地看到了枝晶从萌发到生长的完整“生长轨迹”。这项成果不仅明确了抑制枝晶的关键界面特征，也为后续精准设计电解液提供了直接证据。

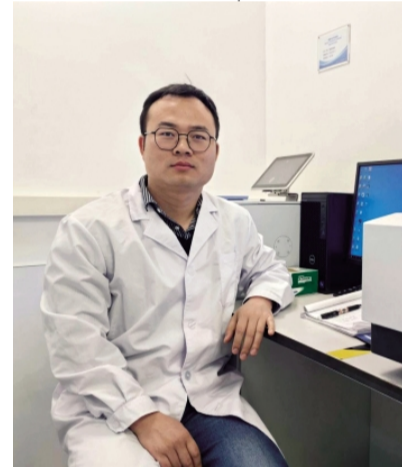
解决了枝晶问题，电解液的挑战接踵而至。传统水系电解液中，水分子会与锌离子紧密结合，在充放电过程中不可避免地引发析氢、腐蚀等副反应。如何让活泼的锌离子在水环境中“安分守己”？

窦浩桢想到通过溶剂化结构重构来抑制副反应。“你可以想象给锌离子‘挑保镖’和‘定规矩’。”他说，“我们在电解液中加入特定‘添加剂’，也就是‘保镖’。这些‘保镖’能更紧密地吸附在锌离子周围，替换一部分有害的水分子，形成一层稳定的‘保护壳’。同时，我们调控电解液的整体成分，让这层‘保护壳’在充放电过程中保持稳定，就像给离子穿上了一件定制的‘防护服’。”

通过给锌离子设计这层精妙的“防护服”，他们成功抑制了副反应，大幅提升了电池的库仑效率和循环稳定性。在追求高性能的同时，安全和成本是团队的“一票否决”项。窦浩桢表示：“任何新材料、新工艺的引入，我们首先要评估它的毒性、燃爆风险，以及原料价格和加工复杂度。很多高性能但昂贵或不稳定的方案，我们在立项阶段就会主动放弃。研发就是在多重约束中寻找最优解。”

“顶天立地”的传承

水系锌基电池毫克的扣式电池在实验室研究成功后，窦浩桢和团队将目光放在了工业化应用上。“最大挑战是均匀性和一致性控制。”窦浩桢坦言，实验室里的扣式电池对微小缺陷并不敏感，但放大到安时级软包电池后，任何微小的电极厚度不均、电解液浸润不佳或界面副反应的累积，都会被无限放大，导致电池提前失效。“我们花了大量精力去优化



窦浩桢。 受访者供图

电极浆料的制备、封装工艺和化成流程，确保大电池内部状态均一。这远比实验室‘做几个好样品’复杂。”

当团队成功制备出稳定的5安时软包电池时，窦浩桢将其视为一个“里程碑”。“它意味着我们从实验室的材料研究迈向了产品原型开发阶段，证明了技术路线的工程可行性。”他清醒地知道，“距离真正的商业化，比如应用于储能电站，我们还需在成本、寿命和系统集成上再提升一个数量级。路还很长，但我们的方向越来越清晰。”

在研究过程中，团队引入了一套全新研究范式——“高通量智能设计平台”。这一平台改变了过去依赖经验、试错式的研发模式，通过机器学习和模拟计算，几天就能虚拟筛选数千种组合，快速锁定最有潜力的方向。

窦浩桢说：“更大的冲击在于思维方式的转变。它要求我们将化学知识转化为算法可理解的‘描述符’，促使我们更深入地思考物效关系的本质，从‘经验驱动’迈向‘数据与模型双驱动’。”

当被问及谁对其科研思维影响最深时，他毫不犹豫地提到了自己的博士后合作导师、能源催化转化国家重点实验室主任陈忠伟研究员。“他教会我最重要的一课，就是‘做有用的科研’和‘对数据诚实’。”窦浩桢回忆道，“他强调，真正的创新要解决真问题，而严谨是科学的生命线。”

如今，作为导师的窦浩桢正在努力传承这种“顶天立地”的追求。“顶天”是探索科学本源，“立地”是心系实际应用。“科研是探索未知，导师无法时时推着走。”窦浩桢说，“有内驱力的学生会自主学习、思考并提出想法。扎实的基础和执行力是必备的‘腿脚’，天马行空的想象力是宝贵的‘眼睛’，但驱动他们前进的‘心脏’必须是源于内心的好奇与热爱。”

展望未来，窦浩桢描绘了一幅清晰的图景：水系锌基电池将在分布式储能、备用电源、低速电动车等对安全和成本敏感的领域率先实现规模化应用。而他和团队最大的目标不是简单地发表论文，而是成为推动这项技术从实验室走向产业化的关键力量之一。“我们希望实现核心材料的规模化供应和制造工艺的突破，为社会提供一款真正安全、便宜、好用的储能产品。”

