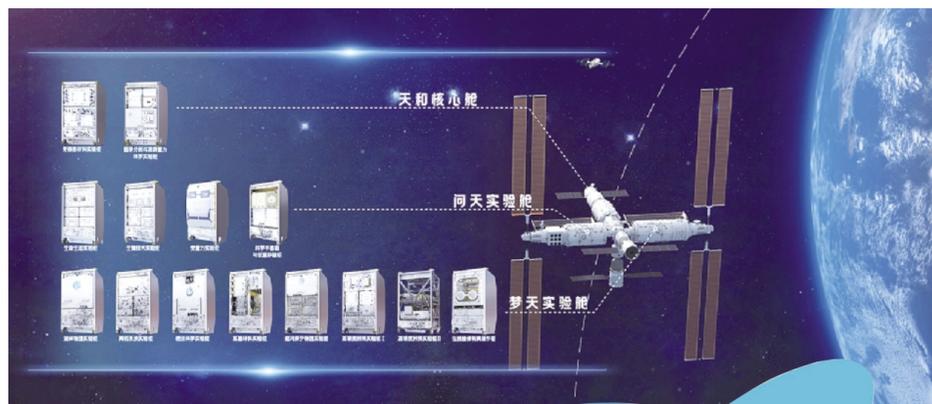


科技自立自强之路

“你们知道世界上最冷的地方在哪里吗？”
“就在我头顶。”2023年9月21日，在“天宫课堂”第四课上，神舟十六号航天员桂海潮指着超冷原子物理实验柜说，“它可以实现地面无法实现的温度，并制备出接近绝对零度的超低温物质，这种物质的原子会呈现特殊的状态，用于更好地探索量子力学的奇异世界。”
在中国航天员于正式运行的国家太空实验室给孩子们讲课的同时，中国科学院空间应用工程与技术中心

(以下简称空间应用中心)研究员张璐正在电视台“天宫课堂”的直播现场，给孩子们深入讲解国家太空实验室里的高科技。
张璐等来自中国科学院的科学家属于最了解太空实验的一群人，他们为国家太空实验室的诞生提供了强有力的科技支撑。
屏幕前，全国各地的孩子看着直播画面，听着科学家的讲解，眼里满是期待与惊喜。



▲空间站科学实验柜及其分布情况。

太空实验室，求索天地间

■本报记者 倪思洁 高雅丽

1 把实验室搬进太空

国家太空实验室是依托中国空间站建立的国家级太空研究平台。回溯中国空间站建设的历史可以发现，建立国家太空实验室是中国早在30多年前就已明确的目标。

1992年，我国批准实施载人航天工程，明确“三步走”战略——

第一步，发射载人飞船，建成初步配套的试验性载人飞船工程，开展空间应用实验；

第二步，突破航天员出舱活动技术、空间飞行器交会对接技术，发射空间实验室，解决有一定规模的、短期有人照料的空间应用问题；

第三步，建造空间站，解决有较大规模的、长期有人照料的空间应用问题。

“造船为建站，建站为应用”，这是我国载人航天工程建设发展的初衷。而“太空实验”是“应用”的重中之重，也是“三步走”战略实施过程中一直努力的方向。

在1992年中国载人航天工程确立之初，国家就把载人航天空间科学与应用的重任交给了中国科学院，由这支科技“国家队”负责相关任务的论证、立项与实施。

在载人飞船阶段，中国科学院组织开展了当时规模最大、领域最广的空间科学与应用计划，28项空间科学实验均为国内首次开展，在我国空间生命、材料等基础研究方面起到了开创奠基作用。

在空间实验室阶段，中国科学院组织开展了50余项科学实验与技术试验。其中，我国研制的世界上首台空间冷原子钟达到 10^{-18} 秒量级的超高精度，伽马暴偏振仪等项目也取得了国际领先的研究成果。

2021年，中国空间站迎来建设元年。这年4月29日，天和核心舱被长征五号B运载火箭送入太空，中国空间站在轨组装建造由此开启。中国科学院组织全国相关科技人员，在空间

生命科学与人体研究、微重力物理学、空间天文与地球科学、空间新技术与应用四大领域，规划布局了覆盖广泛的研究项目，研制了一批具有国际一流水平的科学实验机柜和舱外设施。

作为中国科学院空间应用工程与技术中心研究员张璐都认真作答：“我们要探寻‘我们是谁’‘我们从哪里来’，了解生命、宇宙的起源与演化；我们也要回答‘我们到哪里去’，如果地球未来不适合人类生存了，我们就需要找一个地外的生存空间。此外，我们还可以让太空资源为人类所用。”

每次遇到这个问题，载人航天工程空间应用系统总指挥助理、空间应用中心研究员张璐都会认真作答：“我们要探寻‘我们是谁’‘我们从哪里来’，了解生命、宇宙的起源与演化；我们也要回答‘我们到哪里去’，如果地球未来不适合人类生存了，我们就需要找一个地外的生存空间。此外，我们还可以让太空资源为人类所用。”

在他和同事看来，前往太空、探索太空，既是人类好奇心的驱使，也是人类发展的终极需求，而空间站为人类迈向宇宙奠定了基础，是人类开展太空探索、开发太空资源的前哨平台。

“太空实验室能够为我们提供很好的研究条件，比如长期的微重力、辐射条件，让我们可以研究这种环境下新的生命现象、物理科学现象，研究产生这些现象的机理，掌握未来人类长期在太空生存需要采取的措施。”张璐说。

向着明确的目标、带着美好的期待，2022年中国空间站迎来了忙碌的一年。2022年7月25日，问天实验舱与天和核心舱成功对接；2022年11月1日，梦天实验舱成功对接；2022年11月3日，梦天实验舱顺利完成转位，中国空间站“T”字基本构型在轨组装完成。

建成后的中国空间站成为一座国家太空实验室，也成为中国航天史上规模最大、长期有人照料的空间实验平台。其中，天和核心舱主要面向航天医学、空间科学实验和技术试验；问天实验舱主要面向空间生命科学研究；梦天实验舱主要面向微重力科学研究。

2 “方寸”之间显身手

当2023年8月18日中国国家太空实验室宣布正式启用时，张璐、张伟心里说不出的激动。“把实验室搬进太空”，是无数科研人员经过无数次尝试和努力的结果。

中国空间站三舱部署的实验机柜与一系列舱外设施，可开展上千项科学实验。其中，生命生态实验柜、流体物理实验柜、无容器材料实验柜、高精度时频实验柜、高微重力科学实验柜等14个科学实验柜均由中国科学院牵头完成。

这14个实验柜有共同的研制难点。难点之一是“小”，研制实验柜相当于把在地面上一整间屋子里的实验装置，塞进不到两立方米的柜子里；难点之二是实验柜要既轻便又牢固，用最小的重量搭载最多的科学载荷，以便未来能够承载更多的科学研究；难点之三是要有科学前瞻性，能满足后续十年的科学实验需求。

每一个科学实验柜都相当于一个综合性实验室，而柜子只有“方寸”大小——高1.7米、宽1.1米、深0.9米。“技术创新是唯一的办法。”张璐说。

科研团队针对实验柜进行了几百次仿真和力学试验验证；他们在柜体上进行了大量的减重优化设计，又对局部进行加固处理，满足发射需求。通过多轮“材料优选、轻量化设计、仿真分析、力学试验验证”的迭代，实验柜在柜体主体结构不到100公斤的情况下，承重能力达到500公斤，比国际空间站实验柜高出两倍以上。

此外，在科学研究规模越来越大、科学设施越来越复杂，以及学科之间不断交叉融合的当下，科学家和工程师的合作越来越重要。早在2011年，中国科学院就开始征集空间科学实验项目建议，从而最大限度地确保实验项目的前沿性和前瞻性。“当时有500多个项目建议，我们从项目建议中提炼出需求，再归纳总结形成实验装置的设计方案。”张伟感慨，“科学家就像大脑，需要酝酿出一个科学想法；工程师就像双手，把科学想法变成现实。”

不同于国际空间站里线缆管路杂乱无章，中国空间站整洁、清爽。这是因为科研团队针对每个科学实验系统的共性技术，提炼出一套基础支撑系统，在统一的需求上兼容各自独立的科学实验需求。

不过，14个实验柜也各有各的研制难点。

张璐常把这14个实验柜比作14个性格迥异的人。以高精度时频实验柜为例，作为空间站中最复杂的实验柜，它由13台单机组成，是世界上第一套由主动型氢原子钟、冷原子铷钟、冷原子光钟组成的空间高精度时频系统，目标是成为世界上最高精度的空间时间频率产生和运行系统。

在该研制项目立项后的很长一段时间里，研制工作一直推进缓慢。“技术难度超出预期，国际上没有人干过这件事，欧洲科学家一直想做，但因难度太大一拖再拖。”张璐说。

到2019年，中国科学院整合全院资源，成立工程攻关组，以中国科学院国家授时中心(以下简称授时中心)为任务总体单位，联合中国科学院上海技术物理研究所(以下简称上海技物所)，组织国内十余家单位共同研制。自此，高精度时频实验柜的研制进入快车道。

为了解决科学技术与工程的融合问题，授时中心和上海技物所通力合作，实现了前沿技术的工程化；为了保证星地时间传递的高精度和稳定性，中国科学院上海天文台研制出激光时频传递载荷，突破了单光子光电探测、皮秒精密计时、低时延抖动等多项关键技术；为了实现更加稳定和准确的时频信号指标，中国科学院上海光学精密机械研究所研制出冷原子微波钟，评定总光钟误差，长期驱动氢钟，为高精度时频系统的高精度时间频率提供了可靠保障……

通过强强联合，中国科学院科研团队建成了目前世界上在轨设计指标最高的空间时间频率系统。

除了解决共性和个性的技术难题之外，团队还要争分夺秒，在有限的时间内交付科学实验柜。

2021年4月29日，天和核心舱发射升空，张璐紧盯屏幕，屏住呼吸，心提到了嗓子眼儿。直到得到发射成功的消息，他才松了一口气。

此时，他脑海里闪过2020年国庆节前的一幕。那时，天和核心舱里所有实验柜的研制已完成，需要进行最后的状态设置和测试，留给张璐等人的时间只有8.75天，而需要研究和测试的工序多达上百道。他们把时间节点精确到分钟，拼命赶进度。张璐留意到，柜体从集成大厅被拉到电测大厅的短短3分钟时间里，一位同事已经见缝插针地躺在地上睡着了。

这其中每一项科研成果的背后，都离不开太空实验室里一个个科学实验柜的支撑。

科学家利用无容器材料实验柜开展多元偏晶合金制备项目，提出

3 “太空特产”带来的惊喜

所有的努力，都得到了最直接的回报——“太空特产”。

2024年5月1日凌晨，神舟十七号乘组回到地球的几个小时，20多位科学家满怀期待地在空间站应用中心的大厅里等待着。此刻，外面是漆黑的夜，大厅里灯火通明。

50份实验样品被层层包裹着，连夜送到科学家手中。经过拆包、称重、测温，最终科学家获得的样品总重量约有31.5公斤，有人类成骨细胞、骨髓间充质干细胞、蛋白质晶体、生命有机分子、种子、无容器材料、高温材料、舱外暴露材料……这些实验样品被科学家亲切地称为“太空特产”。

之后，这些“太空特产”被科学家带回各自的实验室。他们要对返回的生命类细胞样品进行转录组测序、蛋白质组学检测等生物学分析，对生命类蛋白质样品进行晶体衍射分析，对地面和空间样品的组织形貌、化学成分及其分布差异等进行测试分析……

这31.5公斤实验样品，是科学家从中国空间站收到的第6批“太空特产”。从神舟十二号到神舟十七号，航天员先后乘坐6艘载人飞船，为科学家们带回了6批、300多份科学实验样品，包括中国科学院在内的国内外百余家科研院所参与研究。例如，中国科学院分子植物科学卓越创新中心科研团队在国际上首次对空间站里水稻“从种子到种子”全生命周期的培养过程进行研究；中国科学院水生生物研究所联合上海技物所共同研制出一套水生生态系统，将斑马鱼送上空间站，实现我国在太空培育脊椎动物的突破……

据统计，目前科学家基于空间站返回样品，已经在空间生命科学、空间材料科学、微重力流体物理学方向取得重要成果，在国际一流期刊发表论文300余篇。

就在前不久，神舟十八号乘组将35公斤的上行实验单元及配套设备带进国家太空实验室，并着手开展“空间先进水生保系统关键技术研究”等4个新的科学实验。

神舟十八号发射的那天，戈壁滩已入夜，烈焰划破苍穹，现场观看发射的人群发出热烈又响亮的欢呼声。全国各地的人围在屏幕前，目送航天员和实验样品冲进太空。所有人都满怀期待，等待着国家太空实验室创造新的科学奇迹。

空间站水生生态系统研究。

空间站返回水稻实验样品。

神舟十七号载人飞船返回的样品。

空间站返回水稻实验样品。



▲空间站水生生态系统研究。



▲神舟十七号载人飞船返回的样品。



▲空间站返回水稻实验样品。



▲中国空间站国家太空实验室。

空间应用中心供图 蒋志海制版