**空间站，开始了**

□ 口述 王翔 记者 陈立

“一横一竖”，十年的苦功。空间站建成，说明我们的系统工程实践向前跨了一大步，这是我最引以为荣的。大家都很开心，我也是，但感受还不太一样。这是新的开始，我们要做的事还有很多，好戏在后头。我很期待这座由中国人设计并主导、向世界开放的空间站，在运营中充分体现载人航天的价值。

**是目标，也是开始**

“未来它会像一个工业区，不仅工程师、科学家能来，外面的企业、机构也可以。”

**《载人空间站工程实施方案》2010年获批，载人航天“三步走”战略中的“第三步”拉开序幕，也就是神舟八号飞船发射的前一年。在那之前，“第二步”的飞行任务主要是在做突破性、验证性工作。像航天员出舱，是证明人具备在天上工作的能力，因为空间站需要航天员长期驻留。而空间站的组装、建造和长期飞行，又要靠交会对接来实现，先得把多个舱段拼成整体。这是建造空间站前要掌握的两个“大技术”。再往前，“第一步”更是基础的基础，保证人在天上能生存，能安全返回。“第一步”和“第二步”都是在为“第三步”做验证和铺垫。**

**所以从广义上讲，建造空间站的时间跨度远不止这12年。我们的副总设计师刘刚过去30年都在干载人航天，从分系统岗位干到总体岗位。这种“老资历”对团队的帮助是很大的。我2003年才进入航天科技集团五院工作，第一个从头到尾参与研制的项目就是交会对接（神舟八号）任务。**

**考虑到空间站要长期运营，我们从一开始就要照着“可更新、可扩展、可开放”的目标来设计它。其实我们有3座空间站。按照工程总体赋予的任务，五院成立载人航天器运营支持中心（八院成立分中心），里面有一座与天上空间站1:1镜像的数字空间站，可以进行仿真验证、数字推演。还有一座测试用的电性空间站，软硬件和天上的一模一样，由三舱的初样产品改造而成，能和天上航天员视频连线并同步模拟系统工作与在轨活动。坚持“1+1=1”设计理念的空间站作为一个可更新、可扩展、可开放的系统，运营起来一定是动态的，所以我们非常需要这种天地协同。**

**以后，站上的硬件设备坏了能修，到寿命了能换。软件也没问题，信息技术发展日新月异，天地同步更新不在话下。许多人关心空间站会如何扩展。“T”字基本构型建成后，可以在前向对接新舱段形成“十”字构型，新舱段上带有节点舱，增加4个对接口和1个出舱口，既可以为巡天望远镜这一级别的航天器进行补给、维护、服务保障，还可以对接舱段级的“大块头”科学载荷。现在我们送上天的实验项目都是基于机柜一级的载荷，量级小。像柔性充气舱这种舱段级的实验项目，就需要有专门的对接口和足够的资源来保障。值得期待的还有很多，新一代可重复使用的载人飞船服役后，一次可以运6~7个人到空间站，还可以带很多东西回来。**

**不管是“十”字还是“干”字构型，想象空间巨大，与带人工重力的航天器甚至另外一个空间站对接在理论上也是可行的。有了这种扩展能力，开放合作就可以上升到更高的层次。目前空间站上的国际合作还停留在外国来做实验阶段，有了新的对接口后，国外的飞船或舱段可以过来，空间站的功能就扩展了。大家还可以联合研制新技术，比如我们的国外同行正在研究新一代对接机构，如果用中国空间站作为试验验证平台，双方会有很多交流和收获，这些都可以算进空间站费效比的账里。未来它会像一个工业区，不仅工程师、科学家能来，外面的企业、机构也可以。我们把水电气网这些资源保障好，“厂房”和设备一应俱全，大家可以开展深层次项目合作。**

**现在空间站上资源有限，主要还是用来保障整个平台可靠、安全、长寿命运行。我们正在开展第四个舱段的方案论证和先期设计，以后会将更多精力用在为航天员提供更多活动空间、增加人性化设计、提升用户体验上。比如，仪器仪表还可以设计得更有科技美感和更适于随身穿戴。再比如，操纵杆为什么不能更符合人体工学、功能更强大点呢？总之，资源够了，发挥的空间就大了。**

**“未知”和“已知”**

“‘已知’和‘未知’是天壤之别。但我们造空间站，光有定性的‘已知’还不足以真正解决工程问题，得足够准确地量化‘已知’才行。”

**空间站的好戏还在后头，我们过去所做的一切就是尽可能把基础打牢，把平台、结构、能源、信息、控制、生命保障等功能做到令人放心，同时又赋予其足够的扩展能力和适应能力。**

**要做到令人放心并不容易，在这个过程中遇到了不少问题，讲两类有代表性的。**

**第一类跟长寿命长周期长时间有关。一些材料在载人航天一期、二期工程中表现很好，却在三期工程研制中出问题。这跟我们对材料特性的了解、对关键风险点的识别不够有关系，导致做长寿命试验时未能抵近极限。还有工艺的问题。我们在小尺寸材料上做防原子氧的处置可以做得很漂亮，有很多新方法新技术，在某些大尺寸材料上做就有瑕疵。另外，对一些成熟工艺做了改进，带来的蝴蝶效应要很长时间才显现。**

**第二类问题的源头是地面没法完全真实地模拟某些空间环境。谁都知道要用好地面仿真手段，可对仿真对象的了解不够深，模型就做不准。我们自认为地面验证情况已经与微重力环境比较近似了。例如液体收集管理，我们在试验中关注收集率，比如说达到了99%，指标很好了，但这个结果很可能是在地面重力的帮忙下达到的。实际在天上即使达到了98%，好像与地面试验只差1%，但残留量就多了一倍。残留的总量不大，日积月累也会给我们带来麻烦。**

**“已知”和“未知”是天壤之别。但我们造空间站，光有定性的“已知”还不足以真正解决工程问题，得足够准确地量化“已知”才行。航天人老讲“识别关键技术进行攻关”，这些攻关最大的特点或者难点就在于你不光要攻技术原理，还得把工程实现的全过程走通，把每个产品都做到家，把各种状态都摸透，最后有一套手段“控制住”。**

**是不是很难？这就是我们每天经历的，也是工程从构想、蓝图到最终实现所必需的。**

**从识别“未知”到量化“已知”，我们主要还是通过各种分析验证，做一些有针对性的地面试验。来自天上的数据反馈能助上一臂之力，甚至直接决定了我们的成败。**

**实验舱上硕大的太阳翼可以像大风车一样360°转动，看上去很酷，给它做试验就经历了这么一个过程。**

**这个太阳翼尺寸特别大，单侧长27米，展开面积138平方米，它在天上展开后会怎么振动是未知的。**

**太阳翼连同伸展机构那么大一片，在地面展开的话，没办法做1：1的动力学特性验证，我们最大的真空罐也就能放下实验舱（不到20米高）。我们只能从局部入手，对伸展机构做单独的动力学特性验证，再通过仿真、数值补偿等办法去推出完整的动力学特性，但总是不放心。**

**这时候天上的核心舱就起作用了。舱上带了一套辨识系统，通过监测核心舱太阳翼在天上的振动、扰动，测出振动频率。**

**“正问题”是知道振动频率，去预测怎么振动。现在是在天上看怎么振动，再反推出振动频率，研究它的动力学特性。我们把这叫“反问题”，通过表征反推本质。**

**有了核心舱的数据反馈，眼见为实了，我们在实验舱上天前把它的太阳翼控制参数、仿真模型参数都修正了一遍，心里才踏实。**

**“T”字构型是设计出的最优解**

“它是‘设计’出来的最优解，凝聚了我们在特定约束条件下创造最大价值的智慧。”

**从2010年空间站立项开始，先后有十几种构型布局方案摆在桌面上。**

**太多了，大家花了一两年讨论这个事。首先构型必须有理有据，既要考虑到每个方案的优势，又要跟实际的工程能力结合，还不能太保守——全用现成的技术，等建好就落伍了。之所以讨论那么久，因为它从根儿上决定了空间站功能性能的天花板。**

**一般来说，航天器构型要满足三大原则：适配天地环境，满足功能性能要求，保障重要设备在轨工作。空间站作为一个多舱段航天器组合体，特有的建造方式又让三大原则更复杂。**

**举个例子，有些设备在单舱段单飞时表现完美，但进入组合体状态后就很受影响。像苏联和平号空间站组合体的太阳帆板因为相互遮挡，一共损失了40%的发电能力。我们当时也面临抉择。选“T”字构型，是为了获得最大发电效率，可以在“T”字一横的两头采用双自由度太阳翼，但当时我们并不掌握这项技术，这是要下很大决心的。不选双自由度方案，就得多布几个单自由度的太阳翼并保证都晒到太阳，发电能力才够用。布在哪、怎么布，这势必又会反过来影响到构型方案。**

**“T”字构型在对称关系中保持着前、后、下三向对接的能力。后向对接货运飞船，空间站可以直接用货运飞船发动机进行轨道机动；前向、径向两个对接口可以接纳两艘载人飞船实现轮换，而且两个对接口都在轨道平面内，飞船可以在轨道面内沿飞行方向和沿轨道半径方向直接对接，无需对接后再转位。简洁不仅是美的，更是安全的。**

**最后我们选了“T”字构型，它是“设计”出来的最优解，凝聚了我们在特定约束条件下创造最大价值的智慧。**

**“T”字构型不是“完成时”，而是“进行时”。所以在方案论证阶段，我们就要做大量的前瞻性规划，确保在10年后、15年后这个空间站还是相当靠谱的。整个航天科技集团、全国航天领域的专家都在帮我们做这件事，尽可能避免走到半路才发现自己跟不上趋势；也不能一下把目标定太高，最后死活实现不了。曾经有一些局部方案走到半路往后退，但总体来说我们对技术的把握还是相当到位的，没有出现大的偏差。**

**系统工程与团队协作**

“最后每个人想的都是倾尽所有去成全整个大系统。”

**空间站的设计空前复杂，系统多、接口多、状态多，组织体系和设计体系比较特殊。五院和八院都分别抓总研制了实验舱段，舱段上各分系统由众多不同单位负责。每一个舱段的研制难度超过了很多航天器，自身是一个独立系统，又要融入到整个大系统里，所以协调、均衡和优化工作特别多。我的脑子里时刻都在想各系统之间相互会产生什么影响。要做“系统决策”，就得从空间站大系统的视角来看问题，而不是站在某一方立场上。**

**在我们这个团队里，不管哪个岗位，哪怕就是做些很琐碎事情的人，遇到多少麻烦、受到什么样的环境影响，都是反反复复地磨。10多年了，大家一路这么走过来，对这个事业是有感情有期待的。**

**团队的大局观和协作精神很了不起。做一次对接转位试验，十几家单位的人都得搬着设备赶去上海，而到了AIT阶段全系统的队伍都集中到天津，大家都非常配合。各单位联合设计时，所有人都非常坦诚——“我的性能是什么，我的参数是什么”，最后把模型交给总体单位。为了同一个期待，大家都毫无保留地贡献自己。**

**实验舱太阳翼采用二次展开方案，先展开6米多，发电量够用，只为给控制系统创造好的条件，保证对接精度。对接成功后，太阳翼再全部展开。**

**你说太阳翼的研制方拿到这个方案能不犯难吗，结构机构的复杂性要增加、重量要增加、可靠性受影响……但最后每个人想的都是倾尽所有去成全整个大系统。**

**总体也要通盘考虑做取舍，不能片面追求个别指标导致某个方向技术难度过大，甚至对整个系统产生影响。比如在太阳翼方案上，总体综合了功耗需求和各方情况，通过余量共享来降低对发电能力的要求，进而减小了帆板尺寸。**

**空间站系统与载人飞船系统、货运飞船系统、长征五号B运载火箭系统、发射场系统和测控系统等的协作配合也是如此。有些技术飞船系统已经用了很久，非常成熟了，要改的话波及面很广，但空间站是新研制的，可以去适应，麻烦一次没什么。此外，我们也希望火箭发射重量越大越好，箭舱分离时的冲击力越小越好，但火箭可靠性要求摆在那儿，双方就都努努力，各自优化改进设计，合作愉快。**

**空间站舱段发射对入轨精度要求高，发射窗口有限制，发射场和火箭系统也一直在给我们创造好的交会对接条件，测控系统不断加强和优化陆海天基测控资源。航天是“千人一枚箭、万人一杆枪”的事业，没这精神，这么多人、单位、系统就捏不到一起。**

**面对内外接口和协同方面的问题，团队里难免出现焦虑和不理解的情绪。我作为总指挥，更愿意从技术角度与自己的团队沟通，并引导他们也从技术角度与外系统沟通。技术是客观的，也是最好的调和剂，大家一起冷静找出问题所在、分析问题影响，情绪就慢慢化解了。**