

“舟山芯”如何布局卫星互联网新赛道？

——专访东海实验室博士后李娜雨

□记者 黄燕玲

聚焦低轨卫星毫米波通信终端，东海实验室已研发出目前国际上集成度最高的相控阵多波束赋形芯片。

近日，在东海实验室海空电磁感通装备研究所的实验室内，博士后李娜雨在电脑上打开一张“星图”，每一个白点代表的就是一颗卫星，这些围绕着地球分布的低轨卫星犹如“旺旺雪饼”上的“雪子”，密密麻麻，织就了一张信息互联互通的大网。

作为新质生产力代表和数字经济下一阶段发展的战略方向，商业航天、低空经济已成为全球主要经济体角逐的新领域、新赛道。目前，全球已发射低轨卫星总数约7000颗。2024年，商业航天首次被写入了政府工作报告，强调积极打造商业航天、低空经济等新增长引擎。去年12月召开的中央经济工作会议提出，打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业。

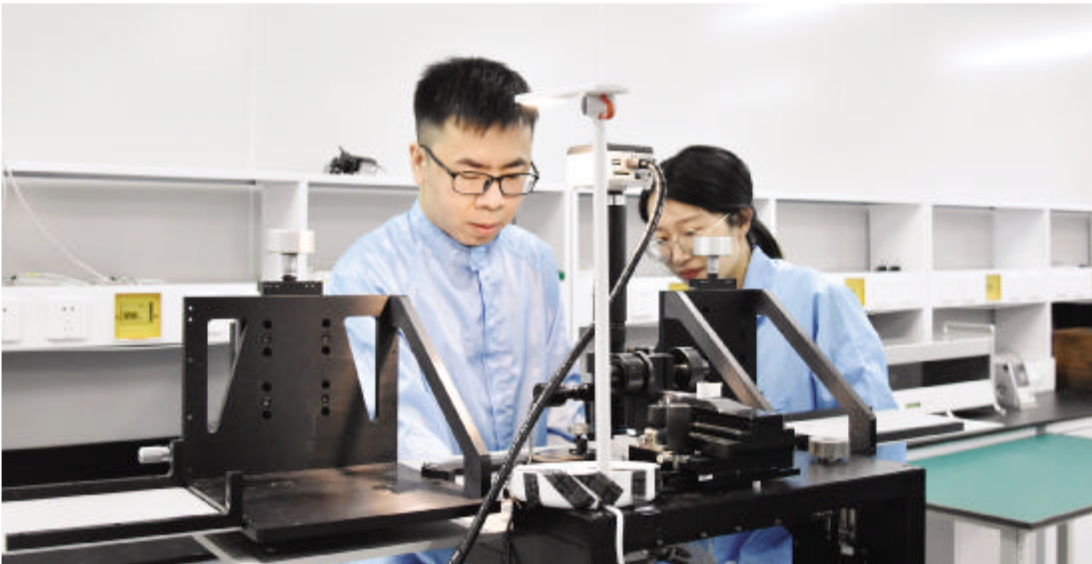
东海实验室海空电磁感通装备研究所正聚焦海洋低轨卫星毫米波通信终端、实时可重构多波束相控阵的研究，已完成毫米波收发芯片的研制，正积极推进基于自研芯片的1024阵元相控阵样机的研发，朝着2025年底完成初代产品样机开发的目标迈进。

那么，东海实验室研发的芯片如何用于低轨卫星通信？舟山又能从芯片研发中得到何种产业链布局启发？



多波束赋形芯片版图

本版图片由受访者提供



李娜雨（左一）正在测试芯片性能

卫星通信产业链快速崛起，市场广阔

说起航天产业，很多人会想到嫦娥探测器、神舟飞船、长征运载火箭等国之重器。其实，除了这些，近年来卫星互联网成为国际竞争的一个新焦点。

何为卫星互联网？和5G网络需要在地面建设基站、铺设光纤不同，卫星互联网相当于把平时建设在地面上的基站放到了太空，每一颗卫星就是一个基站，移动终端可以直接和卫星相连。卫星互联网具有不受空间限制，受自然灾害和战争影响小等特征，使其可以作为地面通信的有效补充。有数据显示，截至2022年，移动通信仅覆盖了20%陆地面积，约6%地球表面。这就意味着，未来，卫星互联网是可实现单一组网全球覆盖的重要路径，给海洋、沙漠、冰川等极端自然环境，以及基础建设薄弱的区域，提供一种低成本网络覆盖的解决方案。

要组建卫星互联网，低轨卫星是最优选择。卫星主要分为低轨、中轨、高轨三类。低轨卫星由于离地面最近，具有时延低、单星造价低、系统通信容量大、地面网络依赖性弱等优点，非常适合卫星互联网业务的发展，但是全球只能容纳约6万颗低轨卫星。根据国际规定，卫星轨道资源采取“先占先得”的原则，因此近些年，商业航空飞速发展。以卫星互联网的主要参与者埃隆·马斯克SpaceX公司旗下的

卫星公司星链（Starlink）为例，目前已经发射了6000多颗卫星，其计划发射3.2万颗，除此之外，国际上还有铱星、OneWeb等公司的尝试。

“近年来我国在商业航天上的步伐也逐渐加快。”李娜雨介绍说。2020年，我国将卫星互联网首次纳入新基建；2021年成立了中国星网，在卫星互联网发展上迈出了重要的一步。同年，“G60星链”计划发布，联合上海等长三角9个城市，打造国内首个卫星互联网产业集群。

李娜雨怎么做到把卫星互联网的动态如数家珍呢？2022年，他从浙江大学博士毕业以后，进入东海实验室开展学术研究，是东海实验室引进的第一位博士后。这些年，他和导师徐志伟教授、宋春毅教授一起，一直为低轨卫星通信装备的研发而努力。

李娜雨的主要研究方向是卫星通信相控阵芯片及系统。卫星的信号要和手机等设备相连，就需要相控阵系统。大规模相控阵是解决毫米波无线传输距离受限的核心关键技术，通信卫星主要通过相控阵系统完成来自地球站的信号接收、信号变换和向地球站的信号发送，用户终端也要通过相控阵系统实现信号的接收和发送。而在这关键技术中，不可缺少的就是波束赋形芯片。

其实，相控阵并不是一个新词，在雷达、5G通

信、物联网应用中，都要用到相控阵技术。应用于卫星通信的相控阵系统和这些不同之处在于，地面与太空的长距离导致信号十分微弱。如何研究出性能更优异的芯片，让卫星互联网的信号更加稳定、通信距离更长，且成本尽可能低，是李娜雨的方向。

放眼全国，这都属于一个比较前沿的研究领域。2018年到2021年，对于卫星互联网该如何建设、关键技术指标该如何定义，学术圈都还在讨论。舟山在这一方面的加入并不算晚。李娜雨的博士导师、浙江大学海洋电子与智能系统研究所所长徐志伟教授自2016年起，便开始了相控阵芯片的研发；东海实验室成立以后，着眼于将芯片的先发优势转化为实用终端产品的竞争优势，把搭载低轨卫星毫米波通信终端纳入实验室重大专项项目。

“芯片已经悄无声息地融入到了我们生活的各个方面，汽车、电脑、家电，芯片埋在了很多你看不到的地方。”李娜雨说。如何形容芯片的巨大能量，李娜雨做了个比方：“一颗芯片的亮起，就是一台印钞机的产生。”因为芯片的主要投入是前期研发成本，一旦研发成功并量产时，成本相应降低，它所带来的科技效能和经济效能，是不可估量的。因此，对于正在研发的相控阵芯片和终端，李娜雨也满怀信心。

聚焦海洋卫星通信需求，做好“舟山芯”

首先，是应用场景优势。卫星互联网优势应用场景在海洋，舟山拥有全国最丰富的涉船涉海应用场景。

其次，是科研优势。东海实验室是国内少数几家在研发相控阵芯片和阵列中展现突出竞争力的院所。从成立至今，东海实验室海空电磁感通装备研究所就一直在低轨卫星通信终端技术上攻坚克难。

舟山拥有先天的优势，面对卫星互联网的新赛道，舟山又该如何提前布局？

李娜雨介绍说，卫星互联网实际上是一条很长的产业链，包括卫星载荷制造商、卫星星座运营商、用户终端集成商等。单看用户终端所需的波束赋形芯片部分，就需要芯片设计、生产、封装、测试等各个环节，每个环节都可以诞生很有前景的企业，产业链中各个环节各司其职，实现降本增效。

这么多方向，舟山的发力点在哪里？李娜雨从自身研究出发。

他认为舟山可以从培育芯片相关应用场景出发，舟山是集聚海洋卫星通信需求之地，应用端在这里，开发与应用端相关的产业自然是合适不过。“舟山发展数字海洋产业的突破口在具有舟山天然禀赋优势的细分产业链，海洋卫星通信非常适合舟山构建全产业链的产业方向，建议充分挖掘浙江大

“在卫星互联这条赛道上，舟山要做的，是瞄准海洋特色，聚焦海洋方面的卫星通信需求。”李娜雨说。

得益于我国基建的完善，我国在陆地上的移动通信网络覆盖面广，信号稳定。李娜雨认为，中国发展低轨卫星通信，竞争力在海洋领域。海洋上没有地方建设基站，对卫星互联的需求更为迫切。“海洋上目前迫切需要可靠的、实时的通信手段，让海洋‘网络冲浪’像在陆地上一样便捷快速，研发这一应用的前景广阔。”李娜雨说。如果研发成功，不仅可以作用于渔船、货轮等船只，更可以供应邮轮。单艘邮轮载客上千人，远洋航行保持畅通的互联网需求迫切。

前景巨大，可难度也不小。

海面上，船只的摇晃倾角会影响信号的发射与接收。如何使相控阵一直对准卫星？终端尺寸有限，该如何在尽量小的电路面积上完成尽可能多的功能？面对如今芯片体积小、成本压缩的情况下，如何继续保持相控阵的性能，解决高密度信号之间的干扰？这一系列的问题，都是李娜雨需要去研究的。“我们需要不断地去试验，才能找到一个最优解。”李娜雨说。

在李娜雨看来，舟山聚焦海洋卫星通信需求，有着天然的优势。

东海实验室的各项研究正在不断推进中，在地理、平台优势加持之下，团队近两年取得突破性进展。

2022年，该团队自主研发的8通道4波束毫米波收发芯片是目前国际上集成度最高的模拟相控阵前端芯片；同时，还开发了具有自主知识产权的K、Ka频段多通道多功能相控阵收发芯片，并基于此开发了相控阵样机，构建了较完备的低轨卫星海洋宽带通信射频芯片和终端技术检验检测条件。

下一步，该团队将围绕下一代海洋宽带通信对大带宽、广覆盖和低延时的需求，研制具有完全自主知识产权的船载低轨卫星宽带通信终端样机，争

取2025年底前孵化一家聚焦终端产品研制和生产的科技型企业。

对未来，李娜雨充满信心；对当下，他也表示有诸多的困难。

摆在眼前的，是人才引进之困。这不只是舟山之困，更是行业之困。低轨卫星通信这是一个跨学科的行业，需要复合型的人才，要求专业人员有信息与通信工程、电子科学与技术的背景，能了解集成电路、天线理论、电磁场和电磁波、控制理论，又拥有材料和生产工艺的基础，还得具备一定编程能力用于芯片和仪器的自动化控制。“我们专业人才培养时间较长，在读的高年级博士才有机会产出高水平成果，非

学海洋学院和东海实验室等创新载体对发展这一战略性新兴产业的支撑作用，加大力度引进海洋卫星通信产业链主企业。”李娜雨表示。

更重要的是，相控阵在各类通信和感知领域应用广泛，不仅可以用于卫星互联网，还可以用于无人机的低速数据回传、5G基站、雷达等领域，某个技术点的突破可以带来相关应用领域的联动突破。

目前，李娜雨正在做这样的衍生。在他的研究室内，4个视频采集器摆放在研究室的4个角落，它们从不同方向同时向实验室自研相控阵接收样机发送所采集的视频信号，接收机实时处理并将不同方向的视频在显示屏上播放出来。这个相控阵样机应用在无人机通信系统中，将成为提升无人机回传画质以及速率的“秘密武器”。“它可以让无人机飞至20公里之外，也能实时回传高清数据。”李娜雨说。

距离远、回传快、画质高清、无人机电荷要轻、电池损耗要小，这对芯片性能提出了高要求。如果李娜雨在这方面研究成功，那么使用了这种相控阵技术的无人机不仅可满足无人机爱好者的日常使用，还可以用于电影拍摄、大型比赛的现场直播等。

“舟山芯”这条产业链，可拓展性强、可牵引范围广，或许未来还将带来更多的惊喜。

常考验大家的韧性。”李娜雨说。东海实验室的成立，为人才提供了一个良好的平台，这两年也让越来越多的相关人才将目标放到了舟山。

但东海实验室以科研为主，成果如何产业化，是摆在当前的另一个问题。李娜雨认为，舟山应该立足海洋应用需求，出台相关政策支持产业发展。产业做起来了，反过来也能作用于人才招引。

“其实，一颗芯片的背后，不仅有硬实力，还需要软实力的联动。”李娜雨表示。例如他们研究出了芯片，组成了样机之后，需要完成船级社的认证、频段资源的开发、通信协议的完善等等，这些如果能得到政府的支持，先从试点做起，才能更快地完成研究。

一颗芯片的背后，有硬实力也需软实力联动