

“风云四号”：地球从未如此清晰

本报记者 杜 芳

前沿探密

还记得去年12月11日发射的风云四号气象卫星吗？作为我国新一代静止轨道气象卫星，风云四号已经在太空运转多时，它究竟看到了些什么？任务完成得如何？日前终于有了回信。首批透过“风四”之“眼”拍摄的图像新鲜出炉，并传回地球。2月27日，在国防科工局、中国气象局联合举行的发布会上，不仅有世界首幅静止轨道大气高光谱图正式亮相，还能有幸看到我国首次获取的彩色卫星云图和闪电分布图。透过气象卫星的视角，地球从未如此清晰。

“首图秀”领先国际

首次制作彩色卫星云图，风云四号就“出手不凡”：青藏高原上的湖泊、黄海细胞状云系、赤道附近热带对流等，均清晰可见；喜马拉雅山脉的积雪纹理清楚，空间分布范围一目了然。

这些“风四出品”的首批影像图和数据已经集结成册，主要包括：多通道扫描成像辐射计获取的图像、干涉式大气垂直探测仪获取的大气红外辐射光谱、闪电成像仪获取的闪电分布和强度信息、空间环境监测仪获取的空间效应及粒子探测信息。

据国防科工局总工程师田玉龙介绍，风云四号卫星是我国静止轨道气象卫星从第一代风云二号向第二代跨越的首发星，首批图像与数据的发布，标志着我国静止轨道气象卫星成功实现了升级换代。经过对首批获取的图像和数据初步分析，风云四号的主要探测功能得到了全面验证，综合探测能力达到了国际领先水平。

与上一代静止轨道气象卫星风云二号相比，风云四号更为强大。风云四号扫描成像辐射计主要承担获取云图的任务，共14通道，是风云二号5通道的近3倍；在风云二号观测云、水汽、植被、地表的基础上，还具备了捕捉气溶胶、雪的能力，并能区分出云的不同相态和高、中层水汽。值得一提的是，风云四号首次制作出彩色卫星云图，最快1分钟生成一次区域观测图像。

国家卫星气象中心主任杨军说，“风云四号卫星寿命更长，信息获取速度更快，功能更强大。直观来看，新获取的卫星云图相比上一代细节更多，色彩更真实、更丰富”。纵观国际，风云四号也毫不逊色。它带领中国高轨气象卫星赶超欧美，抢占国际竞争制高点；在世界上首次实现了静止轨道高光谱大气垂直观测，可实行高频次、高精度垂直大气观测，获取大气温湿结构信息，将有力提高天气预报准确率和精细化水平；自主突破了静止轨道三轴稳定平台的图像导航配准技术，使得图像定位精度达到国际一流水平……

自带“神器”显“神威”

目前，风云四号已完成卫星平台主要功能测试和主要载荷成像模式测试，与地面应用系统协调匹配，工作状态良好。田玉龙介绍，风云四号卫星是我国航天科技自主创新的新成就，实现了多项重大技术



风云四号气象卫星接收天线。

本报记者 杜 芳摄

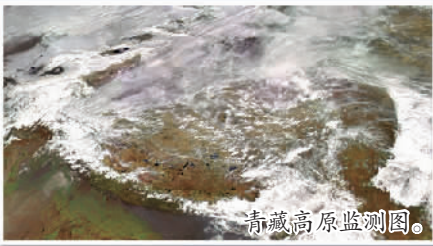
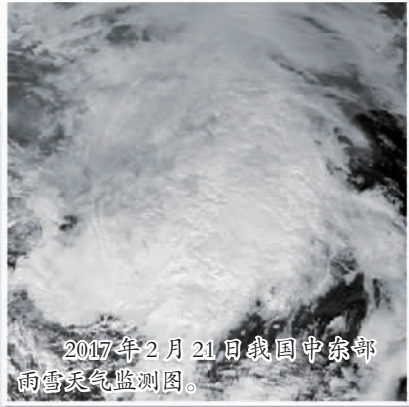
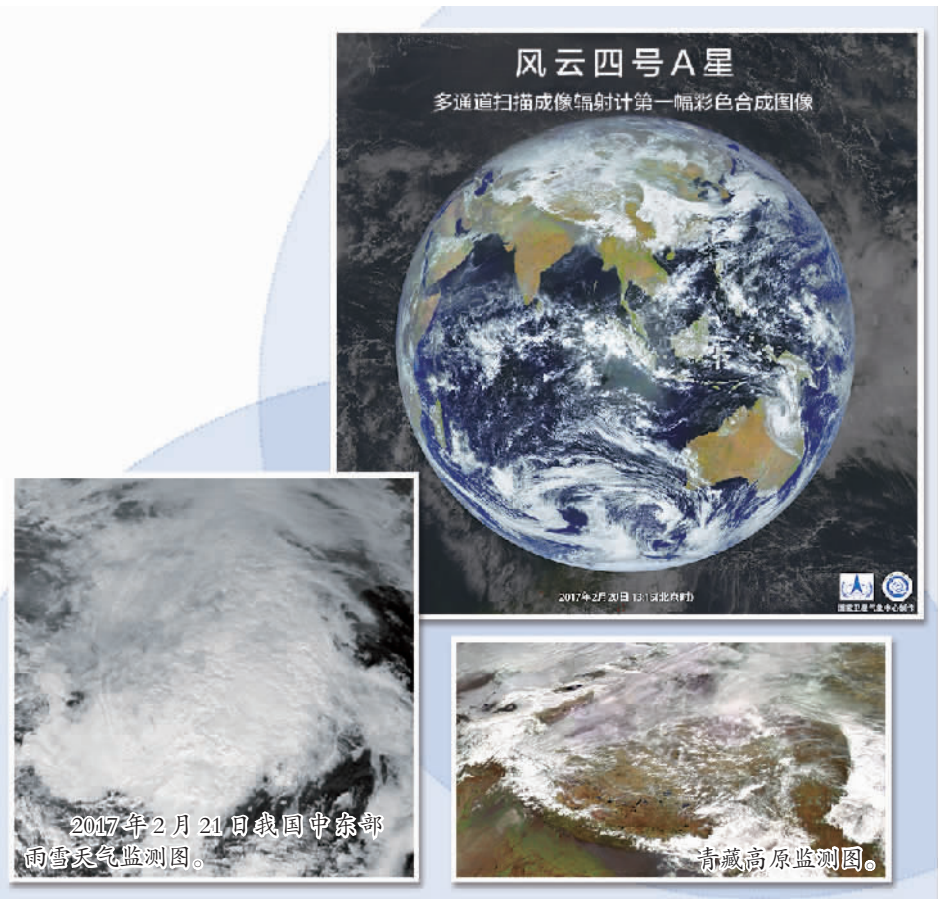
日前，我国新一代静止气象卫星风云四号A星完成了一件大事：“风四”制造的首批图像新鲜出炉。从风云“流水线”前端的黑白照片变身眉眼清晰的彩色美图，再到各种服务类产品，风云四号卫星的主要探测功能得到了全面验证，综合探测能力达到了国际领先水平。这些美图是如何诞生的呢？又如何变身服务产品？《经济日报》记者带您一起走进国家卫星气象中心北京气象卫星地面站，一探究竟。

精准控制：每天5000次问候

风云四号A星是我国首颗静止轨道上三轴稳定的定量遥感卫星，所搭载的4种观测仪器已全部开机，在轨测试，卫星工作状态良好。



国防科工局、中国气象局联合举行发布会，风云四号首图出炉。本报记者 杜 芳摄



突破，完美“首秀”的背后，正是因为自带“神器”显“神威”。

“神器”之一是多通道扫描成像辐射计。它覆盖了可见光至波长达13.8微米的甚长波红外波段，光谱通道增加到14个，能够每15分钟对东半球扫描一次，最高空间分辨率较之前提高了6倍，达到500米。它以全新的方式揭示台风、暴雨、洪涝、森林火灾、沙尘暴和空间天气的变化规律，承担获取地球表面和大气的多种光谱辐射信息，为天气预报、气候观测提供观测数据的重任。

与风云二号配置的扫描辐射计相比，风云四号成功实现了技术的代际跨越：探测波段数大幅增加，空间分辨率和时间分辨率成倍提高，温度分辨率、光谱分辨率显著提高，辐射定标精度进一步提升；载荷具有灵活的区域成像功能，可获取地球表面和云的多光谱、高精度定量观测数据和图像，包括昼夜的地球全圆盘图像、高频次的区域图像，将全面提高对地球表面和大气物理参数的多光谱、高频次、定量探测能力。干涉式大气垂直探测仪是风云四号的关键有效载荷之一，也是风云四号自带的第二大“神器”，最受同行关注和瞩目。据介绍，早在1997年风云二号卫星上天，下一代高轨气象卫星开始规划之际，中科院院士匡定波便提出，“我国应该发展干涉式大气垂直探测技术”。这是遥感领域红外光谱技术的一场革命，将引领人类对地遥感探测步入三维立体阶段，为气象观测提供一种新的更可靠手段，发达国家都在朝这个方向努力。由于技术难度过大、所需经费太多，美国选择放弃，欧洲也延迟了计划。

作为国际首台静止轨道的干涉式大气垂直探测仪，风云四号的探测仪在长波红外和中波红外波段可实现1500个以上细分光谱的探测，光谱分辨率达0.625波数，

像，包括昼夜的地球全圆盘图像、高频次的区域图像，将全面提高对地球表面和大气物理参数的多光谱、高频次、定量探测能力。

干涉式大气垂直探测仪是风云四号的关键有效载荷之一，也是风云四号自带的第二大“神器”，最受同行关注和瞩目。据介绍，早在1997年风云二号卫星上天，下一代高轨气象卫星开始规划之际，中科院院士匡定波便提出，“我国应该发展干涉式大气垂直探测技术”。这是遥感领域红外光谱技术的一场革命，将引领人类对地遥感探测步入三维立体阶段，为气象观测提供一种新的更可靠手段，发达国家都在朝这个方向努力。由于技术难度过大、所需经费太多，美国选择放弃，欧洲也延迟了计划。

作为国际首台静止轨道的干涉式大气垂直探测仪，风云四号的探测仪在长波红外和中波红外波段可实现1500个以上细分光谱的探测，光谱分辨率达0.625波数，

面站，一口口“大碗”整齐划一，面朝西南矗立着，它们是风云四号的接收天线。天线的罩子部分包裹着一层特殊材料，正是有了这个“头巾”，雪天里，这些天线能够启动加热装置，为自己除雪，确保接收数据的准确性和连贯性。

通过这些专属接收天线，遨游天际的海量数据回到地面，坐上早已经经过反复测试的“加工流水线”，开启变身之旅。

身为静止气象卫星的天线，需要时时刻刻面向身处赤道上空35800公里处的卫星。因此，通过北京与赤道相对位置的判断，这些天线要时刻面朝西南方向接收数据。实际上，每个天线的方向都需要精密判断。

知道卫星在哪儿，才能对准卫星。定位卫星，需要对其位置做出预报。在北京气象卫星地面站，有特别设置的风云四号卫星测距天线。这些测距天线堪称数据接收天线的“迷你”版，能从地面发射无线电信号，测定卫星距离。通过将北京站、广州站、佳木斯站等地面站测量的距离整合分析，得到的空间位置预报结论，误差范围只有40米左右。

风云四号卫星接收天线自重约120吨，这个庞然大物在调整时，如何做到令行禁止？地下埋伏着“玄机”。郎宏山告诉记者，“这些天线下面设置有31根直径80厘米的柱子，直接打到地下20米深的岩层，这可比楼房地基深多了，在6级至7级大风天气里，这些天线都能正常工作”。

红外波段空间分辨率达16公里。这相当于给大气做超过1500层的精细“立体CT”切片式探测，为人类深入研究大气对流、更精细预测灾害性天气提供了新的可能。

这两大光学载荷“神器”均为中国科学院上海技术物理研究所研制。据了解，它们成功传回了大量气象探测数据，图像细节清晰、波段光谱特征明晰。

风云四号的厉害神器还不止这些。此次，它携带的闪电成像仪首次实现了我国静止轨道闪电成像观测，可对我国及周边区域闪电每秒拍摄500张照片，准确记录闪电的频次和强度，为强对流天气的监测和跟踪提供全新的观测手段。空间天气仪器包具备监测太阳活动和空间环境的能力，探测通道数量、探测精度显著提高，将进一步增强我国空间天气监测能力。

28类产品服务百姓

与我国第一代卫星观测系统相比，风云四号卫星观测的时间分辨率提高了1倍，空间分辨率提高了6倍，大气温度和湿度观测能力提高了上千倍，整星观测数据量提高160倍，观测产品数量提高了3倍，综合探测能力达到国际领先水平。

正因如此，它可以更加精确地开展天气监测与预报预警、数值预报、气候监测，还将对灾害及环境监测、人工影响天气、空间天气研究等提供有力支撑。目前，国防科工局、中国气象局正在按计划组织有关单位开展卫星在轨测试，集中力量在天气预报、防灾减灾、应对气候变化、资源开发、生态环境监测等领域开展应用攻关，积极推动在水利、农业、林业、环境、减灾、海洋、能源和航空等行业的应用。

事实上，这次代表风云四号参加发布会的圆盘图、大气光谱图、闪电分布图以及磁暴监测图，仅仅是众多产品中的冰山一角。风云四号提供了28类定量产品，包括云和大气产品、地表类产品、天气产品、辐射产品等种类。其中，云和大气类产品主要用于监测云和大气的相关信息，地表类产品主要用于环境监测，天气类产品主要用于环境灾害天气的监测，辐射类产品主要用于反映地气系统辐射收支情况等等。基于这些产品，预报员们可以准确了解到哪里有没有闪电，台风的精细化路径是什么，强对流天气的初生对流发生在哪里……

中国气象局副局长、风云四号工程总指挥于新文表示，“截至目前，风云四号A星已开发的定量产品种类和数量是风云二号的3倍，数据量是风云二号的160倍”。

风云四号工程总师李卿回顾，2004年，随着风云二号C星的业务应用，我国结束了气象卫星数据依赖国外的历史。现在，风云四号A星同日本向日葵9号、美国GOES-16一起，跻身国际新一代静止气象卫星的先进行列。

据悉，风云四号卫星已被世界气象组织纳入全球对地观测气象卫星序列，根据在轨测试初步计划，风云四号A星有望在今年我国夏季汛期开展天气预报试验试用，在年底具备试运行的能力。届时，风云四号将实时提供高精度的观测资料，为我国及亚太地区防灾减灾和经济社会发展发挥重要作用，进一步提升我国气象事业和航天事业的国际地位和影响力。

解码“翻译”：让图像“站起来”

“您在‘风四’上预订的打包数据已经抵达地球，请接收！”

超过1700GB的首批数据通过解压、拆分、提取，再经过定标、定位，整合形成一张以卫星为视角拍摄的地球灰白“CT图”。实际上，刚提取出来的原始数据看起来杂乱无章，除了专业人员的“火眼金睛”，使用者无法分辨出有效信息。

想要让原始数据进阶成为“一级数据”，必须时作数据预处理。“这主要是完成定位和定标两项工作。前者是告诉用户观测目标在哪里，后者则是告诉用户来自于目标的辐射。在红外波段，辐射则主要由目标的温度等信息决定。”郭强说。

一张灰白色的地球图像中，蕴藏着丰富的温度数据。让一张图像“站起来”，表示出不同位置的不同温度，就是技术人员要解决的问题。他们把不同灰度“翻译”为不同温度，这是对卫星数据作定量化应用中最重要的一步。

“就像利用显微镜观看一片平整的叶子，简单的灰白图像下，覆盖的是卫星高精度仪器观测的精细化数据。每个细节对应的温度不同，所对应的温度也会发生改变，需要准确实时调整，确保卫星数据的定标精度。目前，风云四号在海面温度、云顶温度方面的定标误差已经非常小，可以控制在正负0.5℃之间。”郭强说。（文/杜 芳）

科海观澜

风云四号气象卫星是我国第二代地球静止轨道气象卫星，这一类高轨气象卫星历来是国际竞争的制高点。国际上并非没有此类卫星的发射，美国国家航空航天局（NASA）2016年发射了新一代静止气象卫星GOES-R，日本同年发射了向日葵9号静止轨道气象卫星，但正是这颗后发而至的中国卫星，引发了国际上的高度重视和评价。

美、俄、拉美国媒体第一时间给予了报道和关注，认为风云四号气象卫星将提高中国气象局的定量观测和应用能力。欧洲气象卫星开发组织原主席、世界气象组织空间计划卫星事务资深咨询专家蒂尔曼·莫尔表示：“国际气象界都在迫切盼望使用这种新型数据……如果这类探测数据的价值得到确认，干涉式大气垂直探测仪将成为气象卫星的重大突破，中国气象部门将走在这一领域的前列。”

中国卫星何以傲视群雄，笑着风云？创新给中国卫星披上了征服世界的铠甲。

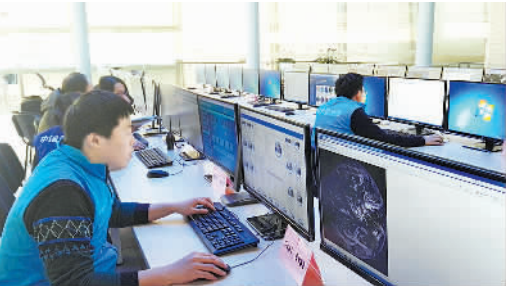
从1995年10月份召开的风云四号气象卫星专家研讨会，到2002年布局卫星和有效载荷预先研究，2010年国家正式立项开展工程型号研制，直至2016年12月11日零时11分卫星发射升空，前后历时整整21年。21年来，无数科研人员不断创新，研制各种高科技产品，让风云四号“神技傍身”“耳聪眼明”。

上海技物所研发团队是风云四号相关技术研发团队之一。多年来，团队先后破解了亚秒级指向精度的碳化硅双扫描镜二维扫描机构研制技术、高灵敏度面阵探测器技术、甚长波红外探测技术等难题，填补了多项国内空白，实现了所有核心技术自主研发，完成了从基础机理到系统集成全创新链的自主可控研制，确保风云四号的两只超级“慧眼”——多通道扫描成像辐射计和干涉式大气垂直探测仪为纯正的“中华牌”。

这两大红外光学载荷充分利用卫星姿态的三轴稳定方式，成功抢占了地球静止轨道气象卫星国际竞争的制高点：高频次观测和高分辨率区域机动探测能力。其中，多通道扫描成像辐射计大幅提升了仪器性能，可加强中小尺度天气系统的监测能力；干涉式大气垂直探测仪更是填补了人类的高轨三维精细遥感知识的空白。两台主载荷同时装载在高轨气象卫星上，在国际上率先实现高时效对地三维探测，对提高我国气象卫星全球观测能力具有划时代的重要意义。这在国际气象组织中将更强烈彰显“中国元素”，可切实提升我国空间天气监测预警能力。

与欧美国家的静止轨道气象卫星相比，一星同时搭载先进成像辐射计和新型高光谱探测仪的风云四号，综合实力已在国际上遥遥领先。在风云四号首次传回的数据中，部分是国际气象界迫切期望使用的数据。当前，除了中国的风云四号气象卫星，还没有任何一颗在轨卫星能够提供这样的数据。

创新赋予了中国卫星闪耀世界的光环，也给予中国更多的大国使命。国际上期待中国发挥更大作用，为气象科学研究作出更大贡献。我国将充分利用风云四号卫星数据为“一带一路”沿线国家提供高精度的气象卫星资料，为共同构建防灾减灾体系提供支撑，在区域各国的经济社会发展中发挥作用，彰显大国担当。



地面人员正在对风云四号首批图像作最后处理。



北京气象卫星地面站的一处信息处理中心。



北京气象卫星地面站工作人员在介绍风云四号数据接收系统。 本报记者 杜 芳摄

本版编辑 郎 冰 周明阳

联系邮箱 jirbxzh@163.com