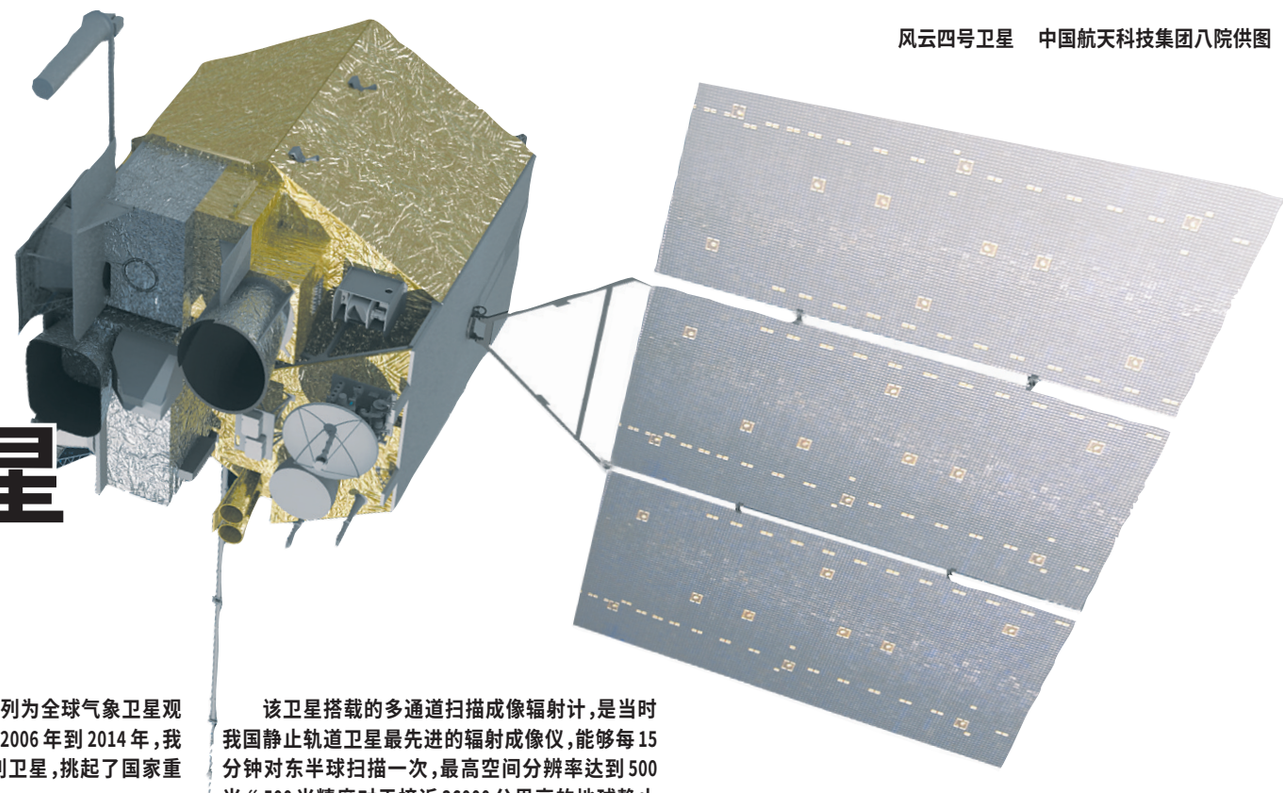


风云四号卫星 中国航天科技集团八院供图

从跌跌撞撞到一路逆袭 原来“风云”是这样的卫星

深瞳工作室出品

采 写：本报记者 付毅飞
策 划：陈 磊

启动微信，一个孤独的小人凝望地球。这张美国国家航空航天局向世界公开的第一张完整地球照片名叫“蓝色弹珠”。它是由阿波罗17号宇航员拍摄，视角在非洲大陆上空。

每当中国航天科技集团八院气象与环境总体室副主任、风云四号卫星主任设计师陈晓杰打开微信时，思绪总会不由自主地飞到2017年9月25日那天。

那天是我国新一代静止轨道气象卫星风云四号A星正式交付投入使用的日子，微信启动画面随之变脸——图像仍是蓝色地球，但展示的位置却变成东半球，拍摄它的正是风云四号A星。

“照片视角是从中国上空观测到的地球，那种感觉很不一样。”陈晓杰至今对此印象深刻。

1969年初，一场罕见的雨雪冰冻灾害席卷半个中国，而当时世界上拥有气象卫星的国家只有苏联和美国。我国虽然能接收国外气象卫星云图，但只是单纯的“黑白图像”，无法挖掘原始数据、反演各种气象要素，应用受到极大限制。

1969年1月29日，周恩来总理提出：“要赶快改变落后面貌，搞我们自己的气象卫星。”1970年2月，周总理亲自签发中共中央、国务院、中央军委文件，下达了研制气象卫星的任务。由此，我国气象卫星事业正式起步。

迄今为止，我国共成功发射17颗风云系列气象卫星，目前有7颗在轨运行。这些最“知人冷暖”的卫星，在太空中观察地球的风云变幻，提示我们添衣打伞。

据中国气象局消息，2021年我国计划发射风云四号B星和风云三号E星，“十四五”时期共计划发射7颗风云气象卫星。“到2035年，我国要建立监测精密、预报精准、服务精细的气象业务体系，气象综合实力达到世界先进水平，气象深度融入民生保障和行业发展，气象强国基本建成。”该局局长庄国泰透露。

命运多舛，首星发射39天就“夭折”了

1988年9月4日，风云一号卫星总设计师孟执中站在数十米高的发射塔架上，心中翻江倒海。

那是我国首颗风云卫星原计划发射的日子。但在指挥员发出“5小时准备”指令后，控制中心突然失去了卫星所有的遥测信号，发射被终止。

风云一号卫星工程总设计师任新民下令就地检查。孟执中、时任姿控系统主任设计师徐福祥带着试验队员爬上塔架，紧张地给卫星做着“手术”。此时，四周没有护栏，卫星下面是装满推进剂的火箭，每一个动作都要小心翼翼。

让孟执中倍感压力的是，预定发射时间将至，各地台站早已准备就绪，不断打电话询问消息；从北京到上海再到发射中心，沿途通信线路都部署了战士值守，大家都在岗位上等待着发射的消息。塔架上的排障工作进展缓慢，孟执中既焦急，又愧疚。

直到傍晚，故障原因终于查清，是遥测机的CMOS电路在特定情况下发生了“栓锁”。试验队员将遥测机取下来连夜返修，第二天早上将它装回卫星。

3天后，历时近10年研制的风云一号A星成功发射，使我国成为世界上第三个拥有极轨气象卫星的国家。然而仅过了一个多月，意外再次发生。

这天，国家卫星气象中心工作人员发现，接收到的卫星云图逐渐偏斜，最后只能看到地球的弧线。卫星失控了。

时任中国气象局局长邹竞蒙急切地问：还有办法吗？孟执中无言以对。

由于没有安装备份设备，风云一号A星在众目睽睽之下在太空“夭折”，此时距离它发射升空仅39天。

一场世界航天史上罕见的卫星地面营救

1990年9月3日，风云一号B星成功发射。它能及时为第十一届亚运会提供气象预报，但只过了十几天，它就出现异常。

科技人员及时完成了修复，但发现一个棘手的问题：卫星在元器件选用和软件设计上没有进行抗辐射加固，这一漏洞使计算机电路芯片暴露于空间高能粒子的轰击下，很容易产生单粒子翻转问题，随时会引发计算机工作失常，姿控系统故障。

漏洞无法填补，唯一的办法是加强地面对卫星的监视，出现问题及时纠正。

孟执中和徐福祥带领科技人员分成2个工作组，轮流在西安卫星测控中心值班。他们利用卫星每天6次过境的机会，监视其在轨工作情况。

1991年2月14日，大年夜里，卫星云图突然发生扭曲，滚动不止。在随后的75天里，工作人员不间断地轮流执勤，开始了一场世界航天史上罕见的卫星地面营救行动。他们像急救医生一样，一次次让“急症”发作的风云一号B星恢复元气。然而，频繁的“手术”让卫星元气大伤，寿命大打折扣。

最终，风云一号B星断断续续工作到1992年11月，在轨累计正常运行285天，未能达到1年的设计寿命指标。

“两弹一星”功勋科学家孙家栋院士，作为风云二号卫星工程总设计师与“风云”相伴了40多年。他曾说：“我一生做过多个卫星总师，风云二号最让我难忘。”

1994年2月，我国首颗地球静止轨道气象卫星——风云二号01星来到西昌卫星发射中心。经过多项测试后，卫星顺利加注了燃料，装上了固体远地点发动机，只待开展转场前的最后一次全面测试。

4月2日上午，测试开始。10点50分左右，固体远地点发动机燃烧爆炸，黑色浓烟夹着血红的火光涌出来，观测窗玻璃被震碎，厂房供电中断。

这次重大事故夺走了一位总装工人的生命，并导致30多位试验队员受伤住院。由于不了解肼燃料的性能和危险性，忽视了防静电和环境温湿度要求，航天人遭受了惨痛教训。

风云一号C星打了个漂亮的“翻身仗”

接二连三的事故，让风云卫星研制陷入低迷。但一次次跌倒的航天人，又一次次倔强地站了起来。他们将沉甸甸的经验教训汇编成册，成为指引后续工作开展的典型教材。

被任命主持风云一号C星研制工作时，孟执中已经60岁了。此前的挫折让他心有不甘。他分析，风云一号A星、B星未完成任务的原因，不在于性能指标没有达到要求，而是由于可靠性不高造成中途夭折。研制1颗长期可靠、稳定运行的业务应用气象卫星，成为团队共同的目标。

1999年5月10日，风云一号C星成功发射。这次发射后来被选为我国20世纪最后一年的3件大事之一，镌刻于中华世纪坛。2000年8月，世界气象组织将该卫星列入世界业务气象卫星序列。

风云一号C星打了个漂亮的“翻身仗”。它在轨稳定运行达7年，被誉为“太阳同步轨道长寿第一星”，揭开了我国气象卫星事业上新的一页。

此后，风云卫星发展之路越走越顺。

2002年，风云一号D星发射，成为国内寿命最长的遥感卫星之一。2004年发射的风云二号C星，是当时国内应用最为广泛的业务应用卫星，并获得世界气象组织的高度评价，被列为全球气象卫星观测网的重要业务卫星之一。2006年到2014年，我国先后发射4颗风云二号系列卫星，挑起了国家重大活动气象保障重担。

2008年，北京奥运会开幕前夕，我国第二代太阳同步轨道气象卫星风云三号首发星升空。此后，风云三号B星、C星、D星相继发射，实现了对风云一号的升级换代。它们组网运行、功能互补，实现从二维成像到三维探测、从单一光学到全谱段宽波谱探测，并使全球数值天气预报更新时间大幅缩短、预报时效延长，预报精度也进一步提高。

在国际“暗战”中逆袭，一颗星干两颗星的活

2021年1月15日，上海菜市场里的太湖矮脚菜，价格较10天前翻了一倍。当地媒体发现，这与近日连续出现的寒潮颇有关系。据气象台预报，1月16日又有寒潮侵袭，当地蔬菜供应单位提前部署，全力开展了应急保供工作。

天气变化影响着人们穿衣、出行，乃至生活的方方面面。国家卫星气象中心遥感应用室主任、风云气象卫星应用系统总设计师唐世浩介绍，为准确预报寒潮提供支撑，以及监测寒潮的发展和影响，只是风云卫星的“基本功”之一。

尤其是被称为中国气象卫星界“实力担当”的新一代静止轨道气象卫星——风云四号A星成功发射，使我国气象卫星技术从跟跑、并跑转向并跑、领跑，推动我国气象综合能力进一步提高。

回想起风云四号A星的研制和发射，陈晓杰感觉像一场激烈的竞赛。

2016年，仿佛事先约定过一样，中国、美国、欧洲、日本的新一代静止轨道气象卫星研制，均发展到紧要关头，大家暗中较着劲。

除了欧洲卫星由于种种原因至今尚未发射，2016年11月初，日本率先发射“向日葵9号”(Himawari 9)卫星。这颗卫星采用了许多美国的技术和产品，将代替该国此前发射的“向日葵8号”。

11月19日，美国新一代静止轨道气象卫星GOES-R发射。业界评价说，与以前的气象卫星相比，该卫星带来的飞跃如同从黑白电视变成高清彩电。

12月11日，我国风云四号A星发射。

陈晓杰表示，风云四号A星不仅对地综合观测能力全球领先，还是国际上首颗单星实现对地“多光谱二维成像+高光谱三维探测+超窄带闪电成像”综合观测的静止轨道气象卫星。

过去，垂直探测仪器和成像观测仪器的相互干扰，一直是国际上的难题。欧洲此前的做法是将两者分别放在2颗卫星上工作。

比起国际竞争对手，风云四号A星的性能毫不逊色。有人形容，这颗星同时干着2颗星的活。

据风云四号卫星系统总设计师董瑶海介绍，该卫星通过自主研制的SAST-5000卫星平台，实现了带有运动光学部件的多载荷同时工作，各载荷和谐共处。

该卫星搭载的多通道扫描成像辐射计，是当时我国静止轨道卫星最先进的辐射成像仪，能够每15分钟对东半球扫描一次，最高空间分辨率达到500米。“500米精度对于接近36000公里高的地球静止轨道来说，相当于在几公里之外放置几盏烛光，而且看得清清楚楚。”董瑶海说，这一精度与美国同期发射的GOES-R卫星相当。

同时，风云四号A星搭载的干涉式大气垂直探测仪，可以对大气进行垂直探测；搭载的我国首台星载闪电成像仪，可用广角镜头盯住我国及周边区域，不眠不休时刻准备拍摄，每秒能拍500张照片，记录闪电的频次和强度。

15年后，气象综合实力全球领跑

今年起，风云家族要“添丁”了。

据中国气象局消息，风云四号的第二颗卫星——风云四号B星，目前研制工作基本已经完成，按照计划，今年将择机发射。

风云四号B星的载荷得到了优化。例如，多通道扫描成像辐射计，部分通道得到了局部优化；大气垂直探测仪的空间分辨率也得到了提升。

同时，这颗卫星上新增了一台快速成像仪，它能通过调整镜头，根据指令对不同区域进行灵活的观测，分辨率在目前全球静止轨道气象卫星中最高。

唐世浩对此颇为期待。他说，目前风云四号A星对我国及周边区域的成像是5分钟一次，最高分辨率为500米。对一些尺度较小、持续时间较短的天气现象，可能就漏掉了。而风云四号B星搭载的快速成像仪，可以实现对数百万平方公里区域1分钟一次成像，最高分辨率达到250米左右，对中小尺度的天气系统具备更强的监测能力。

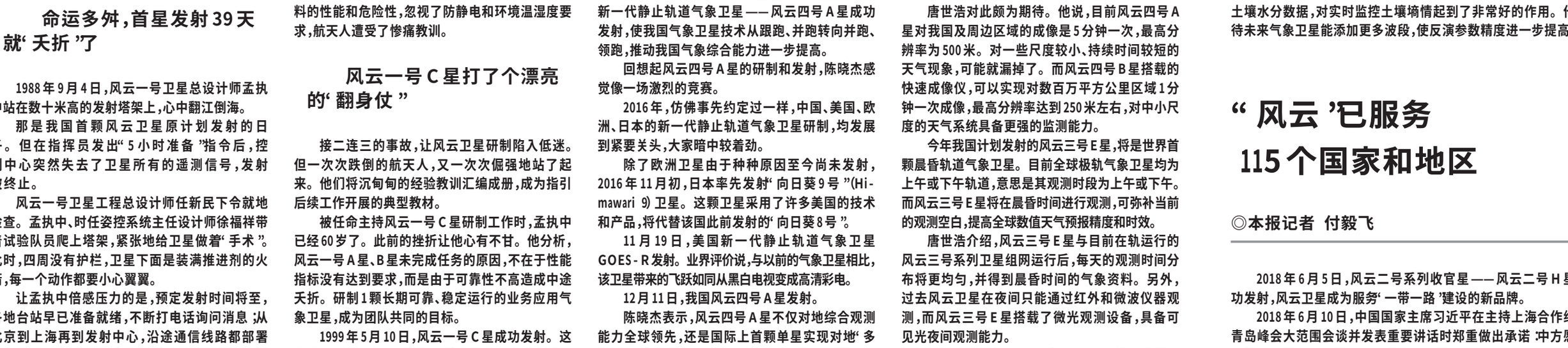
今年我国计划发射的风云三号E星，将是世界首颗晨昏轨道气象卫星。目前全球极轨气象卫星均为上午或下午轨道，意思是其观测时段为上午或下午。而风云三号E星将在晨昏时间进行观测，可弥补当前的观测空白，提高全球数值天气预报精度和时效。

唐世浩介绍，风云三号E星与目前在轨运行的风云三号系列卫星组网运行后，每天的观测时间分布将更均匀，并得到晨昏时间的气象资料。另外，过去风云卫星在夜间只能通过红外和微波仪器观测，而风云三号E星搭载了微光观测设备，具备可见光夜间观测能力。

记者从中国气象局获悉，“十四五”期间我国计划发射的风云卫星，轨道种类会进一步丰富。例如在地球静止轨道上，会有不同轨位风云卫星，通过光学和微波手段进行观测。在低轨方面，除了上午、下午轨道和晨昏轨道，我国还将向低倾角倾斜轨道发射降水卫星，主要对低纬度地区的降水进行监测。

唐世浩表示，未来风云卫星的发展主要包括提升对大气风场、云雨大气及其垂直结构的监测能力，提高监测精度和监测时效，同时增强卫星的协同机动观测能力等。

“十四五”时期我国共计划发射7颗风云气象卫星。到2035年，我国气象综合实力要达到世界先进水平，气象深度融入民生保障和行业发展，气象强国基本建成。



视觉中国供图

链接

观察地球风云变幻，提示人们添衣打伞

小卫星有大用途

◎本报记者 付毅飞

风云卫星数据和产品现已被广泛应用于气象、海洋、农业、林业、环保、水利、交通、航空、电力等行业，同时在灾害监测评估和抢险救灾中发挥了重要作用。

台风、暴雨监测是风云卫星的拿手好戏之一。根据中国气象局有关部门统计，自风云二号卫星投入运行至2020年8月底，西太平洋生成的566个台风、登陆我国的165个台风无一漏网。尤其是风云四号A星投入运行后，我国对台风、暴雨等灾害天气监测识别时效从15分钟提高到5分钟，暴雨预警准确率提高到89%，24小时台风路径预报平均误差从95公里减小到70公里，优于美国、日本等国。

在2020年10月底举行的风云气象卫星用户大会上，来自各领域的用户分享了风云卫星高质量应用的感受。

例如，自然资源部国土卫星遥感应用中心表示，水资源调查与监测涉及地表水、土壤水和地下水等，光学遥感卫星成像受天气影响较大，而风云卫星搭载的微波辐射计，为反演土壤水提供了比较丰富的数据。

另外，在火灾发生时，气象卫星产品如地表温度、气温、降水量、风速、气压和空气相对湿度等数据，是构建灾情演变模型的重要因素，为实现火场预测分析提供了很大支持。

农业农村部中国农业科学研究院研究员毛克彪表示，土壤水分和地表温度是最重要的农业气象参数，也是干旱监测中2个重要因子。传统依靠人工或站点获得的数据往往精度不够，用气象卫星微波亮温数据反演土壤水分，一天能够两次获取全国大面积土壤水分数据，对实时监控土壤墒情起到了非常好的作用。他期待未来气象卫星能添加更多波段，使反演参数精度进一步提高。

“风云”已服务115个国家和地区

◎本报记者 付毅飞

2018年6月5日，风云二号系列收官星——风云二号H星成功发射，风云卫星成为服务“一带一路”建设的新品牌。

2018年6月10日，中国国家主席习近平在主持上海合作组织青岛峰会大范围会谈并发表重要讲话时郑重做出承诺：中方愿利用风云二号气象卫星为各方提供气象服务。

2018年7月10日，在中阿合作论坛第八届部长级会议上，习近平指出，要共建“一带一路”空间信息走廊，发展航天合作，推动中国北斗导航系统和气象遥感卫星技术服务阿拉伯国家建设。

2018年9月4日，中非合作论坛北京峰会通过了《中非合作论坛—北京行动计划(2019-2021年)》，我国承诺：愿继续为非洲国家提供风云气象卫星数据和产品及必要的技术支持，继续向非洲国家提供气象和遥感应用设施和教育培训援助，支持非洲气象(天气和气候服务)战略的实施，提升非洲国家防灾减灾和应对气候变化的能力。

莫桑比克位于非洲南部，热带气旋等气象灾害频繁。

2019年3月，台风“伊代”对莫桑比克等国家持续影响，强降水引发严重洪涝灾害。风云气象卫星对台风及洪涝灾害进行了监测，并将产品及时提供给莫桑比克。这一年，该国3次启动风云卫星国际用户防灾减灾应急保障机制，请求中国气象局提供该地区风云卫星数据产品。

国家卫星气象中心遥感应用室主任、风云气象卫星应用系统总设计师唐世浩介绍说，目前我国已为115个国家和地区提供风云卫星资料和产品服务，有29个国家注册成为应急保障机制国际用户，面向39个国家开通了绿色服务通道。2020年共启动国际应急服务14次，为乌兹别克斯坦、斯里兰卡、尼泊尔等10余个国家提供气象卫星应急保障服务。