

科技自立自强之路

2017年9月25日至28日,微信启动画面突然“变脸”——那张标志性的地球照片从美国航天员拍摄的图片换成了我国新一代静止轨道气象卫星“风云四号”的成像图。地球从未如此清晰!

“风云四号”堪称科技领域的杰作,因为它搭载了多项世界级的先进载荷,其中运行在静止轨道的全球首台干涉式大气垂直探测仪,如同一颗璀璨的“明珠”。

这一先进的探测器在红外波段拥有1600多条探测通道,犹如一台

“超级CT”,使得每一层的温度、湿度等数值都得以精准测量,为深入研究大气三维对流、更精细预测灾害性天气提供了可能。

干涉式大气垂直探测仪的研制团队来自中国科学院上海技术物理研究所(以下简称上海技物所)。自1970年我国谋划气象卫星事业之初,上海技物所便积极投身于气象卫星探测仪器的研发之中,半个多世纪以来始终坚守阵地,未曾缺席。

然而,这支擅长空间红外遥感的“国家队”也曾前路迷茫过……

打造大气“超级CT”

■本报记者 胡珉琦

1 跨代“风云”

1969年初,一场罕见的雨雪冰冻灾害席卷半个中国,通信电路一度中断。面对只能依靠国外气象卫星资料的情况,周恩来总理坚定地表示:“要搞我们自己的气象卫星。”

从无到有,从弱到强。迄今,我国已成功发射21颗风云系列气象卫星。

大气结构本身是一个复杂而多维的存在,它的真实结构和变化往往需要三维观测才能全面揭示。

但人们有所不知的是,2016年中国成功发射“风云四号”之前,全球范围内的气象卫星搭载的光学遥感仪器捕获的大气成像图普遍为二维视角。

“如果能实现对大气结构的精细化探测,特别是感知温湿度在垂直方向上的精确分布和动态变化,对于环境和自然灾害种类繁多、发生频率较高的中国来说,具有重要意义。”上海技物所所长、干涉式大气垂直探测仪主任设计师丁雷表示。

早在20世纪80年代末,美国就已经着手布局静止轨道气象卫星的创新型仪器研发,其中一台关键核心设备便是探测大气三维结构的高光谱红外干涉仪。

在这一领域,美国威斯康星大学空间科学和工程中心、美国国家航空航天局(NASA)、美国麻省理工学院林肯实验室以及密歇根大学空间物理研究实验室均投入了大量精力进行研究,并成功进行了样机试验。

美国地球静止轨道气象卫星(GOES)曾雄心勃勃地规划,在21世纪前10年将这一

高科技的红外干涉仪送入太空。

然而,历史发展的轨迹总是出人意料。

1995年,在中国地球静止轨道第二代气象卫星研讨会上,中国科学院院士、上海技物所研究员匡定波等人就敏锐地提出,将干涉式大气垂直探测仪作为“风云四号”的主载荷之一。

匡定波曾说:“搞科研的人,一定要思维敏锐、坚持开拓,不能自满保守,要善于博采众家之长。我们的科研工作只有不断更新目标,才能追赶世界水平。”

正是这一极具远见的建议,为中国气象卫星遥感技术的跨代发展指明了方向。

2001年,上海技物所肩负起干涉式大气垂直探测仪预研工作的重任,我国在这一领域的探索正式起步。历经十五载,世界首台静止轨道干涉式大气垂直探测仪成功上星。

与此同时,曾一度在气象卫星技术领域领先的美国,由于相关计划屡遭延误,进展缓慢。

这场“后来者居上”的技术赛跑,中国究竟是如何实现的?



干涉式大气垂直探测仪核心——低温红外干涉仪。



红外干涉仪技术研发平台研制团队。



“风云四号”B星干涉式大气垂直探测仪出厂合影。

2 啃下“硬骨头”

2001年10月,上海技物所的一间会议室里正在进行一场重要的面试,来自香港科技大学的研究人员华建文的自我介绍很吸引人,尤其是他横跨光、机、电、热四大专业的学术背景,十分难得。

匡定波当即表示:“我看华建文就适合做干涉仪。”

干涉式大气垂直探测仪的关键技术攻关极其复杂,涉及的学科面很广,而华建文的知识储备恰好都能用得上。

干涉仪作为干涉式大气垂直探测仪的精髓,其运作基于傅里叶变换光谱探测原理。事实上,这项技术早在20世纪70年代后期便被引入国内,但由于其十分复杂,始终未能取得突破性进展。

华建文则勇敢地接过了这块难啃的“硬骨头”,这成为他职业生涯最重要的一次转折。

干涉仪的工作原理,简单来说就是通过光学系统对光信号进行干涉,干涉图像经过傅里叶变换形成光谱图,再经过气象学大气遥感反演,得到大气温度、湿度的三维结构。

干涉仪的主要功能模块非常复杂,包括红外干涉光路、光程差测量光路、动镜驱动机构、精密光校机构、稳频激光器、气锁系统、控制电子学和机械支撑结构等。其中,动镜的作用尤为关键,它如同干涉仪的心脏,一旦出现问题,整个系统就会失去效能。

在不断摸索中,华建文总结出研制干涉仪需要攻克的两难。

第一大难关是对运动机构精度的极致要求。一块平面镜在10mm范围运动时,倾斜量要始

终小于1~2角秒,这在傅里叶光谱领域是技术“制高点”。“当时的加工厂无法满足零件设计要求,测量运动角度的仪器精度无法达到要求的0.1角秒,甚至连现成的修模工具都没有。”于是,华建文只好带着团队亲自设计制作。

“对于亚微米量级的精度控制,所有关键器件都需要纯手工一点一点打磨。”在华建文眼里,干涉仪无异于一件极致的工艺品。

干涉仪对灵敏度的要求很苛刻,即使放在地下室高精度光学平台上,都可以看到干涉信号一直在飘动。于是,细微环境扰动较少的深夜,就成了华建文及其团队开展精确测量的最佳工作时段。

第二大难关是精密的干涉仪很难承受卫星发射振动冲击的试验。要想满足试验要求,就必须为动镜驱动机构增加锁定装置。由于没有现成可用的锁定装置,团队经过长时间摸索才攻克了这一难题。

除此之外,国际上,静止轨道干涉式探测仪一般都被设计为独立搭载,以免受同卫星平台其他光学载荷工作的影响。团队成员苦思冥想后提出一个设想——从10秒一幅干涉图改为1秒一幅,再将数据平均,实现环境干扰最小化,从而将两台气象用光学遥感仪器放在同一卫星平台上。

然而,科研需要实践证明,理论设想无法一步实现。华建文带领团队长年累月在地下实验室工作,不时质问自己:答案就在这里,为什么信号出不来?

通过反复测算,他们发现了光校装配有偏差。团队花费了数年心血才解决了这个难题,将仪器光校偏差控制在1角秒内。

4 每个人肩膀上都有一座“泰山”

“把实验室仪器做成可以上天的仪器,中间的跨越是巨大的。”丁雷指出,它不仅面临更多的资源约束,还要经受完全不同的力学冲击和温度考验。

在实验室进行技术攻关时,光、机、电、热等各个专业领域都会紧紧把握各自的技术指标,不容有丝毫妥协。然而,当这些专业领域需要整合成一个系统为卫星服务时,挑战随之而来。

“在整合过程中,我们需要不断调整、权衡和妥协,以确保各个部分能够和谐协同工作,从而让整个仪器整体效能发挥到最大。”上海技物所研究员、干涉式大气垂直探测仪副主任设计师孙丽霞说。

为了确保干涉仪的稳定性,科研团队从电子学、制冷机、结构等多个方面入手,为其提供全方位的“保驾护航”。他们内外兼修,多方结合,最终成功解决了这一工程难题,确保了干涉仪在复杂环境下稳定工作。

至此,干涉式大气垂直探测仪的工程化还有最后一个关键环节——整机定标。所谓定标,就是对仪器精度进行测试使其符合标准,它好比测量仪器的一把尺,直接关系到用户的使用效果。但静止轨道的红外干涉光谱仪定标系统

非常复杂,团队必须从零做起。

2010年,来到上海技物所仅一年的年轻人李利兵硬着头皮接过了这个“接力棒”。他和团队一起花了4年时间,为整个系统设计研发了14台套测试设备。

“探测仪的各个技术部分环环相扣,尤其到了工程阶段,每个环节都有相应的时间节点,完成了才能顺利向下传递,因此,我们不仅要承担各自的工作职责,更不能辜负他人的一片心。”李利兵感受到,虽然项目团队是一个整体,但其每个人肩膀上都有一座“泰山”。

时间来到2016年12月11日,干涉式大气垂直探测仪团队的很多成员到达“风云四号”A星的发射现场,目睹了它成功上星的全过程。

气象卫星是离百姓生活最近的卫星。“风

云四号”真正开始让人们领教其实力的是,它让台风这一气象灾害再也无处遁形。

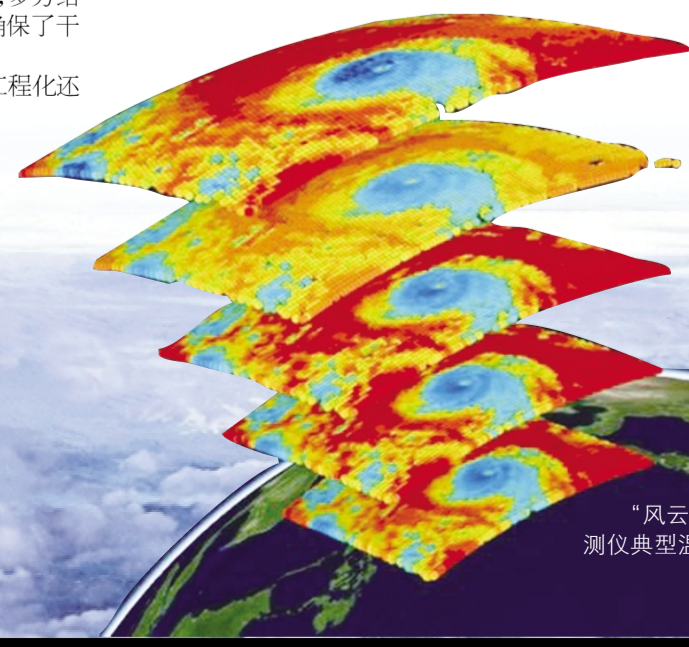
“天鸽”“苗柏”“南玛都”“玛莉亚”“安比”“云雀”“摩羯”……夏日台风一个接一个,而“风云四号”A星在3.6万公里高空的地球静止轨道上,实现大范围高频次大气垂直探测,最快可以每15分钟给台风做一次“立体扫描”,追踪它们的一举一动,所获取的数据应用于全球/区域通用数值天气预报系统(GRAPES),开启交互式“观测-预报”这一全新模式。

不只台风,当严重沙尘暴、特大暴雨、暴雪等灾害性天气登场时,“风云四号”A星也都经受住了考验。

2023年12月,“风云四号”A星在轨稳定运行七周年,此后正式开启了它的超期服役之旅。

有人用“功勋卓著”来形容“风云四号”A星。而这颗星成功的背后,干涉式大气垂直探测仪功不可没。

在被问及团队如何在前途迷茫、广受争议的情境中坚持下去时,丁雷坦然答道:“科研人员心里只有国家任务,是听不见其他‘噪声’的。不管有没有条件、有没有支持,任务都要完成,这是我们义不容辞的责任。”



“风云四号”干涉式大气垂直探测仪典型温度通道加密观测图。

上海技物所供图 蒋志海制版