

首颗中国碳卫星成功发射,将为应对气候变化作出积极贡献——

“地球体检师”升空勘“碳”

本报记者 杜芳



12月22日3时22分,酒泉卫星发射中心,全球二氧化碳监测科学试验卫星(简称“碳卫星”)发射升空。这是首颗中国籍碳卫星,它将带着为地球体检的使命,从遥远的大空探视全球二氧化碳分布的秘密,摸清全球气候变化的“病因”。“地球体检师”为何要远赴太空看病?它的技术水平如何?其到达太空后将如何履行使命?《经济日报》记者带您一探究竟。

为气候变化“号脉”

气候变化让地球上很多地方出现种种天气的怪现状,包括冬天不那么冷了、极端天气增多、时而旱况连连,时而又水涝成灾……从人类有限的对大气二氧化碳的地面直接观测史来看,150年来,大气中的二氧化碳浓度已从280ppm上升到400ppm,这相当于给地球又盖了层“棉被”,导致过去100年全球平均气温上升了约0.7℃。

科学家对此非常担心,如果照此态势发展下去,人们眼前可以看到的是冰川融化,感知到的将是灾害性天气频发,强度增大,人类的生产生活将随之改变。“研究人员对气候变化进行模拟发现,如果碳排放继续上升超过一个极限之后,届时即便是想尽办法降低二氧化碳排放,地球大气中高浓度的二氧化碳也将长期存在,气候变化将产生不可逆的后果。”碳卫星首席应用科学家、国家卫星气象中心总工程师卢乃锰说。

应对气候变化是牵动每个国家、每个生命的课题。观测和研究表明,二氧化碳、甲烷等大气温室气体及臭氧、气溶胶等是影响气候变化的关键因子,其中二氧化碳的作用最大。通过卫星遥感手段实现对全球气候变化敏感因子的连续观测是评价和应对气候变化的有效途径。

因此,发达国家纷纷积极研发专用的高精度的温室气体观测卫星,由于技术难度大,目前仅有两颗卫星巡天勘“碳”:2009年,日本发射了世界首颗温室气体观测卫星(GOSAT),同年,美国的碳卫星(OCO-1)首次发射失败,后于2014年再次发射其替代者OCO-2。

“探测二氧化碳分布不仅仅是科学问题,也涉及政治及环境外交问题。我国在应对气候变化的国际谈判中是否有话语权,必须清楚全球的碳排放情况。因此独立自主发展自己的碳卫星,实现对全球碳排放的观测,非常重要。”卢乃锰说。

基于此,早在2009年,中国就开始紧锣密鼓地对碳卫星项目进行论证;2011年,启动实施“863”计划“十二五”重大项目“全球二氧化碳监测科学试验卫星与应用示范”。经过近6年的攻关研制,我国首颗碳卫星TANSAT终于在2016年末发射成功,填补了我国碳卫星的空白,而且仪器设计不亚于美日的水平,还有自己的独到之处。

“日本的碳卫星每天的有效观测点只有300多个,相当于地球几十万平方公里范围内只有一个观测点,而我国卫星扫描宽度相对而言更宽,能达到20公里。此外,我国碳卫星的有效采样点比GOSAT高一个量级,相当于它的10倍。”卢乃锰说。

除对二氧化碳观测外,我国碳卫星还可同时观测气溶胶。“二氧化碳和气溶胶异常更多是人类活动的产物,加载云与气溶胶探测器,实现联合观测,不仅可以解决对二氧化碳监测的‘噪音’干扰问题,提高反



龚建村
工程总体副总指挥、中科院空间中心副主任

尹增山
中科院微小卫星创新研究院碳卫星系统总设计师

李加洪
科技部遥感中心总工程师

杨忠东
地面应用系统总设计师

照片均由本报记者 杜芳摄

演精度,而且对于科学分析两者之间的联系非常有利。”卢乃锰说。在这一点上,美国碳卫星没有考虑,日本的则考虑不足。

卫星发射后,将定期提供我国及全球二氧化碳浓度分布图,从图上能够分辨二氧化碳随季节、区域的变化,从而监测各国家、地区的碳排放情况,摸清全球碳排放家底,这将为全球气候研究提供依据,为保护地球环境和应对气候变化作出积极贡献。

跳着“华尔兹”巡天

相比发射卫星从上往下监测二氧化碳,其实通过地面系统从下往上看更容易操作。据不完全统计,在2010年左右,全球的二氧化碳地面观测站就约有200多个,它们已经对大气中的二氧化碳等温室气体进行观测并且获得了全球一些区域气体浓度分布数据。既然全球有这么多观测点可以采集大气中二氧化碳浓度的相关数据,为什么还要发卫星?卫星在天上如何获得精确的相关探测数据呢?

据中国科学院微小卫星创新研究院专家介绍,相比庞大的地球而言,地面监测站数量有限,难以获得全球的数据,全球碳排放的总账还不清楚,所以需要一种全球范围区域尺度二氧化碳的测量手段。全球碳

卫星发射后,不仅会明确各国收支的明细,还将有助于提高对全球碳循环机制的认识,从而改进气候变化预测结果的可靠性和稳定性。

卫星系统总设计师尹增山表示,当今碳循环科学面临的重大问题是,在洲际、区域和局部尺度上无法观测获取量化的、精度高的碳通量信息,需要一种可以不断在全球尺度上获取高精度通量的手段。而利用卫星进行全球二氧化碳监测已经成为重要手段。

究竟卫星在太空如何探测二氧化碳呢?其实,碳排放的秘密就暴露在阳光下。据卢乃锰介绍,碳卫星对二氧化碳的测量原理,是通过“二氧化碳对太阳光的吸收谱线”来实现的,二氧化碳探测器从太空观测地气系统反射的太阳光,利用气体分子的吸收特性,测量出吸收谱线强度变化,从而推算出大气中二氧化碳的浓度。

碳卫星有几种观测模式。一种是“斜着看”,即“耀斑观测模式”,利用太阳在海面的镜面反射提高信噪比,获取海面上空的二氧化碳数据。一种是“竖着看”,即“天底探测模式”,利用地面的漫反射特性开展地面二氧化碳的观测。还有一种是“盯着看”,即卫星在飞行过程中,“目光”始终驻留在特定目标上,完成精细观测和验证任务。

卢乃锰告诉《经济日报》记者,由于太

空环境恶劣,时间一长,元器件容易老化,卫星定标系统可能发生变化,监测就不准了,所以卫星用一段时间,需要标定一下。卫星有两种定标模式,一种是以太阳为参照物,盯着太阳定标,由于太阳的光谱非常稳定,因此可以利用太阳光作为标准源标定仪器的观测值;还有一种模式是看月亮,月亮光比较暗,卫星飞到看不到太阳的时候,就掉个头看月亮定标。不断定标加上多种观测模式交互进行,碳卫星就要不断调整姿态,在巡天勘“碳”的过程中跳起“华尔兹”。

“很少有卫星冒险在天上不停地‘翻跟头’,一般都要求卫星动作越少越好。为实现全球二氧化碳监测,需要碳卫星在天上翩翩起舞,对卫星平台设计是很大的挑战。”卢乃锰说。为此,卫星平台研究人员攻克了“复杂姿态指向控制技术”难题,给卫星配备了复杂姿态控制系统,使它可以在太空中实现天底观测、耀斑观测、目标观测、对日对月定标等多种模式的观测。

按时分区提交“体检报告”

碳卫星是我国民用卫星里最敏捷的。它到达太空后,将每16天对地球进行一次体检,分辨率达到2×2公里,检测的数据发送给地面。经过2至3个月的数据累计,碳卫星的观测就可以完成对整个地球的全覆盖。通过解析和处理可以最终形成不同季节、不同地区排放情况的“体检报告”。

这个报告将是一份高质量的报告。碳项目要求,对大气中二氧化碳的浓度监测的精度优于4ppm,而在大气中,二氧化碳的浓度只有约万分之四,如此低浓度的二氧化碳,只要有1%的浓度变化,碳负荷就必须能发现。为此,碳负荷研究人员采用了大面积光栅分光技术,使得卫星的光谱分辨率超过一般高光栅载荷1至2个数量级。

碳卫星在天上忙碌,还要有一套完善的地面应用系统与之配合。中国气象局国家卫星气象中心承担此重点项目中“地面数据接收处理与二氧化碳反演验证系统”的课题研究,目标是建立地面数据处理与二氧化碳反演验证系统,形成对全球、中国及其他重点地区大气二氧化碳浓度监测能力,使我国在大气二氧化碳观测方面达到国际先进水平。国家卫星气象中心科技人员联合中科院大气所等国内优势单位,依托风云三号地面应用系统工程,通过精心设计和适用性改造,建立了由风云三号佳木斯、乌鲁木齐、瑞典基律纳站组成碳星的接收站网,实现了对碳卫星全球数据的接收和处理。

卢乃锰表示,这并非易事。研究人员需攻克“二氧化碳高精度反演技术”等一系列难关,研究光谱和辐射高精度定标技术,开发高精度的数据预处理和产品生成系统,获得相对误差小于1%的全球二氧化碳浓度分布图。

全球二氧化碳监测科学实验卫星与应用示范项目具有广泛的应用前景,待卫星发射入轨之后,碳卫星将开始长达3年的工作,利用白天的分分秒秒,每天记录长达约10小时的数据,这将成为我国第一手的二氧化碳监测数据。

目前,正值巴黎协定正式生效,我国处于经济发展转型期,大气环境保护、环境外交以及生存与发展的矛盾带来的压力十分巨大。这迫切需要发展卫星大气温室气体业务监测能力,为全面理解和掌握气候变化的事实和科学规律,加强应对气候变化能力建设提供客观科学依据。因此,可以说,碳卫星是一颗担当之星。

气候问题是全人类共同面对的问题,解决气候问题、监测碳排放也是需要世界各国共同努力加强合作的问题。

早在1992年,世界各国即签署了《联合国气候变化框架公约》,旨在将大气二氧化碳浓度稳定在某一水平上以防止人类活动严重干扰气候系统。去年召开的巴黎气候大会达成历史性气候协议,成为人类保护地球战斗中的一个重要里程碑。

柯 菱

数次全球范围内的气候大会,都显示出国际社会对温室气体排放导致全球气候变化的普遍认同,气候变化问题已超越地缘政治成为关系人类命运的重要议题。但与此同时,在应对气候变化落实具体行动方面,各国仍存在分歧。特别是一些发达国家,在2020年前提高行动力度上意愿较弱,也颇有将过多的减排压力转移给发展中国家的嫌疑。

其实碳排放的谈判,涉及每个国家的发言权,其公平性对于发展中国家尤为重要。我国也面临着同样的问题,我国科学家通过获得中国碳排放参数进行核算,发现中国碳排放被国外研究机构长期高估10%至15%。重新核算后的中国碳排放,在2000年至2013年间比原先估计少106亿吨二氧化碳,减排空间可增加25%至70%!这对中国碳减排强度影响不大,但可大幅降低中国的累计排放量。

要推动建立公平有效的全球应对气候变化机制,获得平等的发展机会和公平的发言权,中国需要过硬的底牌。而要实现更高水平全球可持续发展,促进各个国家在减排的具体落实行动上达成共识,尽早达成温室气体净零排放的目标,世界也需要一张明晰的底牌。那就是要摸清全球的碳排放状况,达到《巴厘路线图》的“三可”量化减排目标(可测量、可报告、可核查)和相应的计量方法,拿出切实可行的测量方法和技术,为全球碳循环的研究提供可信的数据支持。

此次发射的碳卫星可以通过空间观测手段,完成对全球和区域范围内二氧化碳的测量,以提高人类对全球碳循环过程的理论认识,改进气候变化预测结果的可信度和稳定性。这不但有助于世界各国在应对气候变化过程中认清自己的责任,也有助于解决当今碳循环科学面临的重大问题:在全球和区域尺度上准确获取二氧化碳通量信息。

未来,碳卫星数据将加载到国家综合地球观测数据共享平台,除了向国内各类用户提供数据共享服务外,还将通过全球生态环境遥感监测年度报告发布专题报告。在国际合作方面,将向地球观测组织(GEO)共享,作为对中国对GEO的实质贡献,通过中欧“龙计划”合作将与欧空局开展深度合作。

在应对气候变化方面,我国已经作出不懈努力,并取得巨大成果。我国通过节约能源和提高能效,优化能源结构,增加森林、草原、湿地、海洋碳汇等手段,有效控制二氧化碳、甲烷等温室气体排放。此次我国研制并成功发射碳卫星,对全球大气中二氧化碳浓度进行动态监测,进而给出全球碳排放分布数据,不仅是我国应对全球气候变化采取的积极行动,而且也体现了负责任大国的担当。可以说,未来不管在谈判桌上,还是在行动落实上,我国应对气候变化底牌硬,底气足。

而要让人类应对气候变化的底气充足,需要在科学上探索,比如形成多卫星联合观测,进一步实现对外开放,数据共享;更需要各个国家,特别是大国的责任担当和积极行动,切实承担起减排重任,为应对气候变化贡献应有的力量。



工作人员在低温实验室进行仪器调试。(资料图片)



大面积全息衍射光栅。(资料图片)

碳卫星是怎样“炼”成的

碳卫星很小,但它却是我国迄今为止观测模式最复杂的民用卫星,它通过多种观测模式的组合,让碳排放无处遁形。

碳卫星工程副总指挥龚建村表示,要获取高精度的大气吸收光谱,就要依靠碳卫星的主载荷——高光谱与高空间分辨率二氧化碳探测器。别小看这个二氧化碳探测器,它可是监测碳排放的主力,采用大面积衍射光栅对吸收光谱进行细分,最高分辨率达0.04nm,如此高的分辨率在国内光谱仪器上尚属首次。

科学家将这项操作类比检查人的指纹,普通仪器只看到纹理,而二氧化碳探测器可以把指纹放大100倍,精细地测量每条指纹的宽度和深度。

要实现这些核心指标可不是一件容易的事情。科学家们既需要对观测和定标进行巧妙的设计,还需要能做出极高的衍射效率和面型精度大面积全息光栅。据中科院长春光学仪器研究所研究员郑玉权介绍,为突破探测器上的关键技术,科研人员从最基础的、制造全息光栅所需的高精度曝光系统

研究出发,一点点攻克技术难点,最终在SiC基底上制造出高精度衍射光栅,并在航空校飞试验中进行了验证。

二氧化碳探测器与其他很多星载光学载荷不同,为提高两个红外通道的信噪比、保证光谱探测精度,其在轨工作时要保持保持在-5℃的温度水平。就是这一简单的条件变化,让科研人员付出巨大努力。在载荷初研、正样研制最紧张的阶段,研究人员连续数月在低温室里工作,经常是户外30℃以上的高温,而在低温室内,却要穿着厚厚的羽绒服、冻着手坚持装调。

好容易练就了观测技能,碳卫星还面临着定标难题。二氧化碳探测器定标系统负责人蒯超介绍,定标技术是确保光谱仪器最终实现精度的关键技术,为保证光谱数据的精准,必须在实验室和在轨工作时,对仪器的光谱性能和辐射性能进行精准标定。科研人员不但为二氧化碳探测器量身特制了真空定标系统,还利用可调激光器波长及搭建自动化定标系统,大幅提高了实验室定标的效率,使仪器的定

标周期较美国的碳卫星OCO-2大幅缩短。

为让二氧化碳浓度探测更加精准,科研人员还给碳卫星装上了另一台载荷——多谱段云与气溶胶探测器可以测量云、大气颗粒物等辅助信息,为精确反演CO2浓度剔除干扰因素。

当然,云与气溶胶探测器作用还不限于此。据科技部国家遥感中心总工程师李加洪介绍,它还能够获取全球尺度的气溶胶数据,这不仅可以帮助气象学家提高天气预报的准确性,还可以为研究PM2.5等大气污染成因提供重要数据支撑。

此外,在科技部、中国科学院的共同组织下,碳卫星按照航天工程模式,组成了卫星、运载、发射场、测控、应用五大系统。

碳卫星发射运行后,科学数据将依托风云系列地面接收站资源完成数据下传。这些数据并不是直接可用的二氧化碳浓度分布,需要经过气象学家进行高精度的全球二氧化碳分布反演计算,才能最终成为全球二氧化碳观测数据产品并共享发布。

“相比以往气象卫星涉及的反演问题,碳卫星所涉及的是可见光和近红外波段的反演问题,机理不同,难度加大。这需要考虑云与气溶胶、气压、温度、反照率等多因素的影响,重新设计全新的反演验证系统。”碳卫星首席应用科学家、国家卫星气象中心总工程师卢乃锰说。

碳卫星地面应用系统总设计师杨忠东告诉记者,“二氧化碳气体绝对含量少,要在大的噪音中找到如此小的量,非常难。为此,国内优势单位集中起来联合攻关,啃下了这块硬骨头,填补了国内技术空白。我们以物理模型为基础对大气化学成分二氧化碳的反演,进入了一个新领域”。

碳卫星肩负着巨大的使命进入太空探索,除了进行相关科学试验,更好地掌握二氧化碳的全球分布规律、机理,还有巨大的应用价值。“后期卫星传送的信息进行处理、加工、分享、服务时都会按照应用需求,与其他国家共享,同时有效指导我国的节能减排。”李加洪说。(文/杜芳)

本版编辑 郎冰
联系邮箱 jjrbxzh@163.com