

# 新时期生态环境遥感监测发展思路与举措

吴季友

(生态环境部卫星环境应用中心, 北京 100094)

**【摘要】**近年来, 遥感技术发展推动了国家生态环境监测能力的显著提升, 生态环境遥感监测作为新质生产力, 已成为生态环境保护 and 生态文明建设不可或缺的技术手段和重要支撑。本文系统阐述了我国生态环境遥感监测的发展现状、面临的形势与需求, 分析了现有生态环境遥感监测存在的问题, 提出了新时期生态环境遥感监测的发展思路, 认为今后需进一步完善生态环境立体遥感监测网络, 对标美丽中国建设要求构建遥感监测业务体系, 创新运用卫星、无人机、地基、巡航车船和地面监测设备等构成的“天空地海一体化”协同监测手段, 推动形成监测精准、支撑全面、央地联动、智慧高效的生态环境遥感监测协同工作机制。

**【关键词】**生态环境; 遥感监测; 新质生产力; 发展举措

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2024) 03-0021-06 DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202403021

## 1 生态环境遥感监测发展现状

近 20 年来, 国家高度重视遥感技术发展, 实施了《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025 年)》和《高分辨率对地观测系统重大专项》, 设置了多个遥感科技重大研发项目, 建立了涉及环保、气象、国土、海洋、测绘、应急等多领域部门遥感应用中心。尤其是近 5 年, 伴随民营资本进入遥感行业和无人机技术的兴起, 遥感技术应用呈现爆发式增长。当前, 遥感技术已进入高空间、高时间、高光谱、全谱段、多角度、立体化的发展和应用阶段, 生态环境遥感监测基础能力显著提升, 业务应用更加成熟, 支撑生态环境保护和美丽中国建设的优势更加明显, 作为新质生产力, 已经成为现代化生态环境监测体系的重要组成部分。

### 1.1 监测能力显著增强

卫星体系基本形成。当前, 生态环境卫星体系主要以国家生态环境系列卫星为主体, 其他可接收国内外遥感卫星为辅助, 商业遥感卫

星为补充。其中, 以生态环境部为牵头主用户的在轨卫星 7 颗、可获取到数据的其他国产民用卫星 21 颗, 可调用的国内吉林一号、高景等商业卫星 100 余颗, 实现了全国 2 米数据 82% 的月度覆盖能力, 具备了亚米级卫星数据每年 9 次的覆盖能力, 有效提升了生态环境监管精细化水平。另外, 还可获取到美国的 Aqua、Terra、NPP, 日本的葵花、欧空局的 Sentinel(哨兵) 等多颗国外卫星数据, 空间分辨率从千米提高到百米, 监测时间频次由半天提升至小时级。

无人机监测能力明显加强。依托国家生态保护红线监管平台, 建立了无人机指挥和保障综合管理系统, 现已具备千余套无人机组网监测能力。通过搭载可见光相机、多光谱相机、热红外成像仪、高光谱相机、机载激光雷达等高精度传感器, 可精准监测植被类型分布、人为活动、大气污染源、温室气体等关键指标, 具有灵活机动、可达性强、空间分辨率高、捕获信息丰富等优势, 作为卫星遥感的有力补充, 广泛应用于生态环境监测、督察、执法及应急等

作者简介: 吴季友, 生态环境部卫星环境应用中心主任。

工作中。

多元化监测平台不断拓展。基于遥感技术研发的塔基、巡航车船等监测平台迅速发展,其中,塔基将卫星传感器“落地”高空平台,可实现近360度全方位观测,空间分辨率达分米级,时间频次达到小时乃至分钟级,有效弥补了卫星监测时效性和精度不足等问题。移动巡护监测车集成激光雷达、叶绿素荧光探测仪、红外相机、声纹识别仪、空气质量监测仪等多种载荷,实现对道路两侧植被生长状况、人类干扰活动、动物活动、工业园区大气质量状况等生态要素的移动监测,可补齐卫星和塔基遥感监测的时空盲区。无人船通过搭载水质分析仪、声学多普勒流速剖面仪等多种水质、水生态监测设备,可自动对河/湖中的主要水质指标、流速、流量、地形等进行实时监测,实现自动定点定量采样,大幅提升了监测效率,降低了工作强度、风险系数以及投入成本。

传感器种类和性能稳步提升。目前,基于紫外、可见光、红外、微波观测谱段,运用全色、多光谱、高光谱、超光谱、雷达等载荷,通过高低轨配合、成像与视频结合,实现了立体、多维、高中低分辨率结合的全球综合观测能力。大气探测激光雷达、高精度偏振扫描仪、多角度偏振成像仪、紫外高光谱大气成分探测仪等性能明显提升,可实现颗粒物、臭氧、氮氧化物、甲醛等污染物全球观测频次为4~6次/天,重点区域可达到小时级,空间分辨率优于1000米。在精度方面,二氧化碳和甲烷排放源识别精度分别达1~2ppm和10~20ppb,地表温度探测灵敏度可达50mK。

## 1.2 业务应用不断拓展

开展环境质量遥感监测,有力支撑蓝天、碧水、净土保卫战。在大气环境监测方面,开展了全国及重点区域气溶胶、气态污染物( $\text{NO}_2$ 、 $\text{HCHO}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{O}_3$ )、颗粒物( $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{10}$ )、全国秸秆焚烧、沙尘、工业热源、扬尘等遥感监测及重污染天气应急遥感监测。在水环境方

面,实现了全国重点湖库蓝藻水华、国控断面河流断流干涸、长江流域河湖岸线等水生态遥感监测业务应用,开展了全国县级以上饮用水源地、重点城市黑臭水体、农业面源污染、近岸海域赤潮和溢油等遥感监测。在土壤环境方面,完成了各省公布的建设用地土壤污染风险管控和修复名录地块监管、严格管控类农用地片区管控措施落实情况遥感核查。

开展生态状况调查评估与重要生态空间遥感监管,全面服务生态保护。完成了2000—2010年、2010—2015年、2015—2020年全国生态状况变化调查与评估,建立了五年定期调查与评估机制。对国家级自然保护区、省级自然保护区、生物多样性保护优先区的动态变化进行了定期监测。对国家重点生态功能区县域生态环境质量开展了卫星遥感普查和无人机遥感抽查。建成国家生态保护红线监管平台并实现了业务运行。

开展生态环境应急与执法遥感应用,大力提升执法应急效能。开展了长江、黄河等流域排污口无人机遥感排查,构建了入河入海排污口排查整治信息平台,支撑了全国入河(海)排污口排查整治。开展大气污染高值区遥感监测,实现了VOCs重点关注高值区域的快速识别和涉VOCs企业排放源定位,有效提升全国空气质量改善监督帮扶精准度。此外,及时响应生态环境应急事件,先后为贵州省盘州市洗油泄漏、蓬莱19-3油田溢油、嘉陵江广元段铊污染等40余起应急工作提供了遥感技术支持。

## 1.3 技术创新取得突破

近年来,通过实施国家科技支撑计划、高分专项、水专项、国家重点研发计划、总理基金、自然科学基金等科技项目,突破了生态环境遥感监测系列关键技术,建立了基于多源遥感数据的大气、水、生态环境遥感监测技术体系,生态环境遥感监测技术优势更加明显。

开展大气环境遥感技术研究。突破了卫星、塔基、无人机等多手段协同大气遥感监测、

大气污染高值区精准溯源、近地面大气环境质量卫星遥感监测、秸秆焚烧火点风险预警、沙尘遥感监测与评估、温室气体无人机监测、甲烷异常排放点位遥感监测、TROPOMI 臭氧垂直廓线反演等关键技术。

开展水生态环境遥感监测技术研究。突破了重点湖库蓝藻水华遥感监测预警、入海河流总氮污染通量遥感监测、非地表径流型面源污染遥感立体监测、基于多源遥感影像的河流干涸断流快速筛查、浒苔等海洋水体水色异常遥感快速提取、水体镉浓度无人机高光谱监测等关键技术。

开展生态保护修复监管技术研究。突破了大尺度生态质量遥感评价方法、样地尺度草地生物多样性参数高精度提取、基于多任务架构深度自注意力模型的人类活动变化检测、雷达与光学协同人类活动遥感监测、生态系统制图及红色生态系统名录编制、草原生态系统质量近地面遥感监测评估技术研究、地块影像自动裁剪和变化检测、基于多源遥感影像的固废堆场自动识别等关键技术。

## 2 新时期生态环境遥感监测形势与任务

党的十八大以来,生态文明建设取得举世瞩目的巨大成就,成为新时期党和国家事业取得历史性成就、发生历史性变革的显著标志。但当前和今后一个时期,我国生态环境保护结构性、根源性、趋势性压力尚未根本缓解,生态环境遥感监测工作任重道远。

### 2.1 新要求

2023 年 7 月召开的全国生态环境保护大会和 2024 年 1 月中共中央、国务院印发的《关于全面推进美丽中国建设的意见》,都明确提出要加快建立现代化生态环境监测体系,健全天空地海一体化生态环境监测网络的要求,为新征程推进生态环境监测工作标定了新坐标、指明了新方向、提出了新要求,这意味着生态环境监测体系需在监测手段、业务体系、网络规模

等方面更加现代化、立体化,以适应深入打好污染防治攻坚战、全面推进美丽中国建设的有关要求。因此,要加快建立新时期生态环境遥感监测体系,实现生态环境监测体系现代化,为全面推进美丽中国建设、建设人与自然和谐共生的现代化提供支撑保障。

### 2.2 新趋势

近年来,5G、人工智能、大数据、云计算、区块链等新一代信息技术的迅猛发展,进一步推动了多监测手段、多学科交叉、多数据源融合在生态环境监测工作中的综合运用,使生态环境监测的内涵更加广泛,智慧监测成为生态环境监测的新发展趋势。

手段更为多样。一是从“地面监测”一家独大向“天空地海一体化”监测的立体化发展,卫星、无人机、塔基、巡航车船和固定站点构成立体监测网。二是助推传统技术与新技术结合,加大遥感监测、视频监控等新技术的应用力度,促进生态环境监测评估由点及面、由平面到立体发展。三是从原位检测、实验室分析向自动化、连续和快速监测、从定量扩展到定性监测发展,如以支撑异常排放快速筛查的手持气体检测仪(PID)、无人机遥感、热红外成像、烟羽扫描等定性或半定量监测等。

方法更为智能。一是基于新型感知技术开发光学、声学、微波等多种传感器,以及多功能集成式自动化监测装备、智能实验室的大量出现,提升了监测支撑效能。二是通过大数据算法确定点位和频次,强化监测结果的全面性和客观性。三是数据推演模型、同化模型、人工智能模型等信息化技术的应用,强化多源数据融合分析,防止监测信息数据碎片化、零散化的状态,提升对生态环境考核评价的科学公正性。

内涵更为广泛。一是从单纯监测向监测管理一体化发展。随着生态环境监管更加精细化,监测逐渐从幕后走向前台,例如围绕生态质量开展监督监测等。二是从监测现状向预测预报预警发展。为提高决策的前瞻性预见性,做

好环境质量预测预报并主动发现问题已成为生态环境监测工作的新重点。三是从以“产数”为重心向全链条拓展。为更好地释放监测数据价值,生态环境监测已从单一的数据生产模式向生产、加工、存储、管理分析等全链条数据赋能转变。

### 2.3 新任务

我国已进入加快绿色化、低碳化的高质量发展阶段,生态文明建设仍处于压力叠加、负重前行的关键期。必须盯住新变化、瞄准新重点,以更高站位、更大力度、更宽视野谋划和推进新时期生态环境遥感监测工作,有力支撑生态环境保护 and 美丽中国建设。

区域性生态环境监测日益增长。一是面源污染监测工作启动。随着持续深入开展污染防治攻坚战,国内点源污染得到有效管控,面源污染逐渐成为主要污染源。我国已着手水气领域的面源污染监测工作,如农业面源污染监测。二是跨境污染监测工作逐渐增多。跨境污染源开始成为我国大气污染的主要因素,如每年东南亚的秸秆、香蕉等作物焚烧,蒙古国的沙尘等。三是重点区域一体化监测工作增加。京津冀及周边地区、长江经济带、黄河流域、粤港澳大湾区、成渝等区域一体化监测工作成为国家重点战略区域减污降碳、绿色发展的重要保障。

生态质量和生态安全监测成为新重点。一是生态质量状况关注比重上升,生态环境部联合中国科学院印发的《全国生态质量监督监测工作方案(2023—2025年)》,将生态系统质量与稳定性和重要生态空间中的人类破坏活动纳入监测重点。二是生态安全是国家安全的重要组成部分,国家高度重视生态安全监测预警,要求建立主动发现问题工作机制,及时反映生态系统完整性和健康的整体水平,为生态环境宏观决策提供支持。

全球生态环境监测成为新热点。一是全球化监测可有效支持全球性环境问题的解决。针

对跨国流动性的环境污染如酸雨、海洋垃圾等,以及气候变暖、臭氧层空洞等环境问题,只有通过全球性监测才能了解其影响和后果。二是全球化监测为实现“双碳”承诺、开展自主行动提供有效支撑。开展全球碳盘点,做好温室气体异常排放监测,可以有效把握国际话语权,控制好“双碳”目标的路径和方式、节奏和力度。三是全球化监测推动中国从全球环境治理参与者到引领者的转变。站在全球高度掌握世界生态环境质量动态,才能做到知己知彼,有效承担大国责任,为推动构建人类命运共同体贡献力量。

## 3 存在问题与不足

生态环境遥感监测工作取得了长足进展,但对标美丽中国建设的新要求、新趋势和新任务,在网络建设、业务体系、工作格局等方面还存在一定差距。

### 3.1 遥感监测网络体系不够完善

长期以来,我国生态环境监测工作都是以地面监测为主,已经建成了涵盖空气、地表水、地下水、海洋、辐射、土壤等要素齐全、空间布局科学合理的地面生态环境监测网络。相比之下,生态质量监督监测网络建设刚启动,“双碳”监测网络还处于试点阶段,生态环境卫星地面应用系统缺乏投入,生态环境遥感监测以卫星遥感为主,地面遥感验证站点偏少,塔基、无人机和巡航车船等遥感监测基础设施的部署严重滞后,立体化遥感监测网络尚未规划布局,直接影响了多元化遥感监测能力的发挥。

### 3.2 遥感监测业务体系亟待优化

一方面,生态环境遥感监测起步较晚,监测标准规范严重不足,现有生态环境监测评价体系仍停留在以地面数据为主要评价对象的阶段,指标体系顶层设计缺乏对遥感监测指标的总体考虑,遥感监测尚未实质性融入现有生态环境监测和质量评价体系中。另一方面,部分遥感业务尚未固定监测范围、监测对象、监测时

间和监测频次,主动发现生态环境问题的能力有待进一步提升;部分业务还需加强技术研究,提高监测精确度和预警的准确度。

### 3.3 遥感监测协同机制尚需健全

截至目前,全国已经建立了43个生态环境遥感应用基地,但从总体看,全国生态环境遥感监测能力表现为“全国腿粗、地方腿细”的特点,地方生态环境遥感基础能力、业务应用、机构人员等明显不足。面对多样性、复杂性、突发性、广域性的生态环境监测目标,尚未形成分工明确、央地联动、智慧高效的遥感监测协同机制。国家层面缺乏有关加强生态环境遥感监测的指导性文件和自上而下的生态环境遥感监测实施方案。地方层面亟需加强生态环境遥感监测力量,系统提升生态环境遥感监测能力和业务化应用水平。

## 4 下一步工作思路

在未来发展中,生态环境遥感监测工作要坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想,特别是习近平生态文明思想为指导,全面贯彻党的二十大精神 and 全国生态环境保护大会精神,以有力支撑全面推进美丽中国建设为根本目标,创新驱动生态环境监测领域新质生产力发展,全面加强“全方位、高精度、短周期”生态环境遥感监测工作,健全天空地海一体化生态环境监测网络,逐步实现生态环境遥感监测全地域、全领域、全要素覆盖,为全面推进美丽中国建设夯实监测基础。

### 4.1 完善“天”“空”生态环境监测网络,实现监测网络“立体化”

对标美丽中国建设目标和生态环境监测“现代化”“一体化”要求,大力推进实施生态环境卫星载荷研制和建设等重大工程,加快在全国范围建设地基、无人机、巡航车船等多元化、立体化生态环境遥感基础设施,研发和建设生态环境卫星地面应用系统。在生态保护红线等重点区域,布设相关遥感设备,与卫星遥感和地

面监测形成一体化协同监测体系,实现对重要生态空间的实时、精准监测。在工业园区、重要湖库等区域,布设地基遥感和巡航车船,提升对大气、水环境的精细化遥感和应急监测水平,增强对污染源的溯源能力,从而有针对性地提高污染治理与监管水平。加大大气环境地基遥感验证站和生态质量地面验证场站建设,提高卫星遥感监测精度,形成立体化的生态环境监测网络布局。

### 4.2 构建衡量美丽中国“颜值”的生态环境遥感监测体系,实现业务支撑“系统化”

全范围、大尺度、图像清晰、数据客观准确的监测结果是助力衡量美丽中国“颜值”的关键。进一步充分发挥遥感技术优势,统筹地面监测能力,构建覆盖全国可对生态、水、大气等进行全方位监测的遥感监测体系,同时开展全球CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>浓度遥感监测和跨境污染溯源遥感监测。加快制定水、大气、土壤、海洋和自然生态遥感监测等领域的标准规范,开展范围、时间、频次稳定的生态环境遥感监测业务,加大遥感与地面监测指标在美丽中国监测评价工作中的深度融合应用,系统支撑美丽中国建设。

### 4.3 加强多元感知手段融合研究与应用,实现监测手段“一体化”

落实生态环境部《关于加快建立现代化生态环境监测体系的实施意见》关于鼓励有条件的省域开展多技术手段融合组网要求,开展一体化监测试点要求,大力推进多模态、数值模拟等数据分析技术应用,加强遥感数据与地面数据的融合应用研究,提升生态环境高效感知和深度认知能力。加大卫星、无人机、地基、巡航车船等遥感设施的应用推广,鼓励地方在重点生态保护区、重点流域海域、重点工业园区等布设遥感监测平台,加强数字化技术应用,开展生态环境监测一体化试点,提高生态环境管理的精细化、智慧化水平,推动生态环境监测领域的新质生产力不断发展。

#### 4.4 形成央地联动、智慧高效的生态环境遥感监测协同工作机制,实现全国遥感监测“一盘棋”

在国家层面做好全国生态环境遥感监测顶层设计,建设生态环境遥感监测制度体系,打造国家生态环境遥感大数据中心、智慧应用中心、技术创新中心,开展技术交流与人才培育,全面

推进生态环境遥感监测与应用。在地方层面,加强生态环境遥感监测力量,开展省级生态环境遥感能力建设、业务应用和系统平台建设,满足国家对生态环境遥感监测“全方位、高精度、短周期”的要求和现有生态环境问题核实、上报与整改等全链条监管需求,提高主动发现问题能力,实现全国遥感监测“一盘棋”。

### Development ideas and measures for remote sensing monitoring of ecological environment in the new era

WU Jiyou

(Satellite Application Center for Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100094, China)

**Abstract:** In recent years, the development of remote sensing technology has significantly enhanced the national capacity for ecological environment monitoring. As quality productive forces, ecological environment remote sensing monitoring has become an indispensable technical means and important support for ecological environment protection and ecological civilization construction. This article systematically elaborates on the current status, situation and demand of ecology and environment remote sensing monitoring in our country, analyzes the existing problems, and puts forward thoughts and suggestions for the future development of ecological environment remote sensing monitoring in the new era, put forward that it is recommended to improve the “space” and “sky” remote sensing monitoring networks, build a remote sensing monitoring system aligned with the construction of building a beautiful China, innovative use of collaborative monitoring methods consisting of satellites, drones, tower bases, cruise vehicles, ships, and fixed stations for “unified monitoring system for sky, land, and sea” and form a precise, comprehensive, centrally–locally coordinated and intelligent ecological environment remote sensing monitoring working pattern.

**Keywords:** ecological environment; remote sensing monitoring; new quality productive forces; development measures

(责任编辑 安祺)

#### 中国环境科学学会绿色贸易与投资专业委员会获评 2023 年度优秀分支机构

2024 年 6 月 24 日,中国环境科学学会在京组织召开 2024 年分支机构工作交流会,会上表彰 2023 年度优秀分支机构并颁发荣誉证书。中国环境科学学会绿色贸易与投资专业委员会被评为中国环境科学学会 2023 年度优秀分支机构。

中国环境科学学会绿色贸易与投资专业委员会(以下简称“专委会”)成立于 2020 年 10 月,支持单位为生态环境部环境与经济政策研究中心(以下简称“政研中心”)。在中国环境科学学会、政研中心的指导和支持下,专委会按照中国环境科学学会工作总体部署,依托政研

(下转第 39 页)