

湖南省生态环境遥感监测平台建设思考

曾钰, 易敏, 陈贝贝, 龙睿, 文新宇

(湖南省生态环境监测中心, 湖南 长沙 410001)

摘要: 简述了国内外遥感监测平台的发展现状, 基于湖南省生态环境遥感监测现状进行了分析, 指出遥感监测平台存在遥感监测与评估技术缺乏、监测能力薄弱以及监测网络建设不完善等问题。从平台建设架构出发, 构建了数据平台, 对卫星遥感数据、地面调查/监测资料、无人机航测数据进行管理、存储、分析等; 业务平台, 主要围绕水、气、土壤等整个生态环境监测体系开展相应的监测和管理, 还可针对重点区域, 环境督察等业务进行拓展; 展示平台, 主要是通过各种终端设备和硬件对各类业务进行可视化。提出发射独立高分遥感卫星、深化遥感监测应用研究、加强各部门协同合作等建议, 以为湖南省生态环境遥感监测平台建设与发展提供参考。

关键词: 生态环境; “天空地”一体化; 遥感监测平台

中图分类号: X87

文献标志码: A

文章编号: 1674-6732(2022)03-0088-07

Thinking on the Construction of Remote Sensing Monitoring Platform for Hunan Provincial Ecological Environmental Monitoring

ZENG Yu, YI Min, CHEN Bei-bei, LONG Rui, WEN Xin-yu

(Hunan Ecological & Environmental Monitoring Center, Changsha, Hunan 410001, China)

Abstract: This paper described the development status of remote sensing monitoring platform at home and abroad, and it analyzed the current status of remote sensing monitoring in Hunan province as well. Based on the problems such as technology, monitoring capacity construction and so on, we pointed out that the data platform is mainly responsible for the management, storage and analysis of satellite remote sensing data, ground survey/monitoring data, and UAV aerial survey data. The business platform mainly carries out corresponding monitoring and management around the entire ecological environment monitoring system such as water, gas, and soil, and can also be expanded for key areas, environmental supervision and other businesses. The display platform mainly visualizes various businesses through various terminal devices and hardware; and put forward suggestions for launching independent high-resolution remote sensing satellites, deepening remote sensing monitoring application research, multi-department cooperation and so on, in order to provide important reference for the future construction and development of ecological environment remote sensing monitoring platform in Hunan province.

Key words: Ecological environment; “Space, sky and earth” integration; Remote sensing monitoring platform

随着社会经济不断发展, 高质量的生态环境已成为人类生活的重要诉求之一。对地表生态环境开展遥感监测, 可系统、动态地掌握区域生态环境质量及变化特征, 有助于充分掌握经济、社会与生态环境之间的发展方向、优化产业结构、调整经济增长方式, 对加快区域生态保护与修复, 建设生态文明, 提升人类福祉具有重要意义^[1]。近年来, 极端气候频繁, 全球范围内面临着未来气候变化引起的环境挑战及风险, 提升环

境遥感卫星监测能力, 预知环境变化成为当前迫切需要解决的问题^[2]。当前, 我国生态文明建设正处于快速发展的攻坚期, 生态环境监测是支撑生态文明建设的重要内容, 科学谋划生态环境监测事业发展, 切实提高区域生态环境监测现代化能力水平是我国未来生态环境遥感监测的主要任务和目标^[3]。

湖南省是长江中游地区至关重要的省份, 对整体长江流域在洪水调节、粮食供给、生物多样性维

收稿日期: 2021-12-20; 修订日期: 2022-02-17

作者简介: 曾钰 (1991—), 女, 工程师, 硕士, 主要从事环境生态学研究。

护等方面有着不可替代的作用,面临新一轮的发展战略与规划布局,湖南省生态环境遥感监测平台需要更为系统、全面地建设与升级,补齐“生态”监测短板,加快形成“天空地”一体化生态质量监测能力,以全面支撑省域生态保护与管理^[4-5]。

1 国内外遥感监测平台现状

遥感对地观测技术是全球各国重点支持和发展的空间技术,随着全球变化引起的诸多生态环境问题,遥感技术因具有快速、准确、客观等优势,现已成为生态环境监测不可或缺的技术手段。如美国的综合地球观测系统可对农业、灾害、能源、气候、水循环、生物多样性等开展综合观测^[6];欧洲的全球环境与安全监测系统可对欧洲生态环境进行大范围的监测^[7];日本构建的海洋探测和陆地观测系统集成应用于海洋、陆地、气候变化、自然灾害等领域的探测^[8]。发展至今,国外很多遥感技术强国都基本构建起较为全面的遥感监测平台,注重遥感数据的集成和延续,并逐步形成对地观测综合信息集成服务应用平台,如美国航空航天局开发的戈达德交互式在线可视化和分析基础平台(GIOVANNI),该系统集成中分辨率成像光谱仪(MODIS)、臭氧监测仪(OMI)、大气红外探测仪(AIRS)等多种遥感数据,并提供检索、分析、下载、查询等功能,主要针对大气、海洋、陆地3大板块开展生态环境监测^[9]。与此同时,在商业层面,美国惠普公司启动的惠普地球观察平台,对全球气候及生态多样性进行监测与数据分析,国际商业机器公司(IBM)与北京市联合开发的“绿色地平线”大数据平台系统,联合气象卫星遥感和企业排放数据对城市未来空气质量进行模拟和预测^[10]。另外,针对雾霾问题,微软还推出城市空气质量(Urban Air)系统,结合气象遥感数据对空气质量实施监测与预报^[10]。

近年来,随着我国卫星技术的发展,也相继形成气象、资源、环境等全面的对地观测系统,在实现快速、动态以及大尺度的生态环境监测与管理方面展现出不可替代的优势^[11]。在监测应用平台建设方面,早期主要从环境监测指标、技术规范体系、以及业务内容等方面不断拓展,实现从技术研究向实际应用拓展^[11]。2008年以来,原环境保护部卫星环境应用中心以环境和灾害监测预报小卫星星座为数据源,形成以水、大气和生态环境监测应用为

中心的遥感监测业务化平台,使我国生态环境监测能力从一般性技术支撑走向高技术支撑^[12]。随着高分卫星对地观测星座的建立,有学者针对过去应用平台的复用性、开发效率等问题,提出基于面向服务架构的高分环境应用示范平台以满足平台的可拓展性,该系统以高分辨率遥感卫星影像数据作为基础数据源,集成开发了大气环境监测、水环境监测和生态环境监测的业务应用系统^[14-15]。2017年建设的国家环境监察遥感应用平台,构建主动生态环境遥感监察模式,实现面向水、大气以及生态环境异常问题的全覆盖、准确实时监测,全方位支撑生态环境监管能力和水平,从根本上改变了我国环境问题监测方式,为尽快形成全国业务化的环境遥感监测能力奠定重要的基础^[16]。

总体而言,国外许多遥感技术强国,其生态环境遥感监测系统全面,并充分应用大数据、云计算等先进技术,整体监测水平相对较高,而我国近年来虽然在遥感技术上有着快速发展,但在遥感应用深度、常态化监管以及应用灵活性方面还有待进一步提高。

2 湖南省生态环境遥感监测现状

自2005年开始,根据国家生态环境监测工作的要求,生态环境质量遥感调查与评价成为湖南省每年例行的监测工作任务。

2.1 生态地面监测

根据原环境保护部关于“建立卫星遥感监测和地面监测相结合的国家生态环境监测网络,开展生态环境质量监测与评估”^[17]的要求,湖南省建立了洞庭湖湿地生态系统和张家界森林生态系统2个地面监测重点站。洞庭湖湿地生态系统监测重点站主要开展湖泊生物群落、环境要素、景观格局等方面的监测;张家界森林生态系统地面监测重点站主要开展森林动植物群落、环境要素、景观格局等方面的监测。

2.2 重点区域生态遥感监测

根据原环境保护部和湖南省生态环境厅对环境管理要求,对湖南省一些重点区域开展生态遥感专项调查与评估工作^[17-19],如:湘江流域生态环境健康调查与评估、长株潭城市群生态遥感调查与评估、资兴市重点生态功能区生态环境质量评价等^[17]。

3 湖南省生态环境遥感监测存在的问题

湖南属亚热带季风湿润气候,多云降雨天气较多,水汽虽然丰富,但干旱和洪涝等自然灾害较多,受气候的影响,遥感应用与监测应用的能力相对较弱。与此同时,湖南水系丰富,需要重点对重要湖泊、河流、以及生态脆弱区域开展生态环境监测。随着我国大力推进生态文明建设,着力保护长江经济带生态环境,打好污染防治攻坚战,对湖南省生态环境监测也提出新的要求^[17-19]。而目前湖南省生态环境遥感监测工作的业务水平和能力还存在较大差距,对生态环境管理、环境执法和督查的支撑力度不足。

3.1 遥感监测能力薄弱

尽管我国遥感对地观测系统已逐渐趋于成熟,但许多遥感监测算法在环境监测业务中的应用还不够,导致生态环境的监测力度不足,进而使得整个生态环境遥感监测的基础能力比较薄弱,包括:

技术人员缺乏,监测技术手段落后,监测应用的软件、硬件及平台建设不足等。

3.2 遥感监测与评估技术缺乏

主要体现在气体、水环境污染监测以及无人机低空遥感监测技术等方面都未能深入开展相关的应用研究。

3.3 遥感监测网络建设不完善

生态环境遥感监测专业性较强,对人员和软硬件的技术要求都非常高。目前,省级层面还只具备基础的生态环境遥感监测能力,市、县(区)级的生态环境监测系统对于遥感监测的工作能力基本为空白,只能完成简单的地面野外核查工作。

4 湖南省生态环境遥感监测平台架构

湖南省生态环境遥感监测平台总体目标主要是形成“天空地”一体化的生态质量监测能力平台架构见图 1。

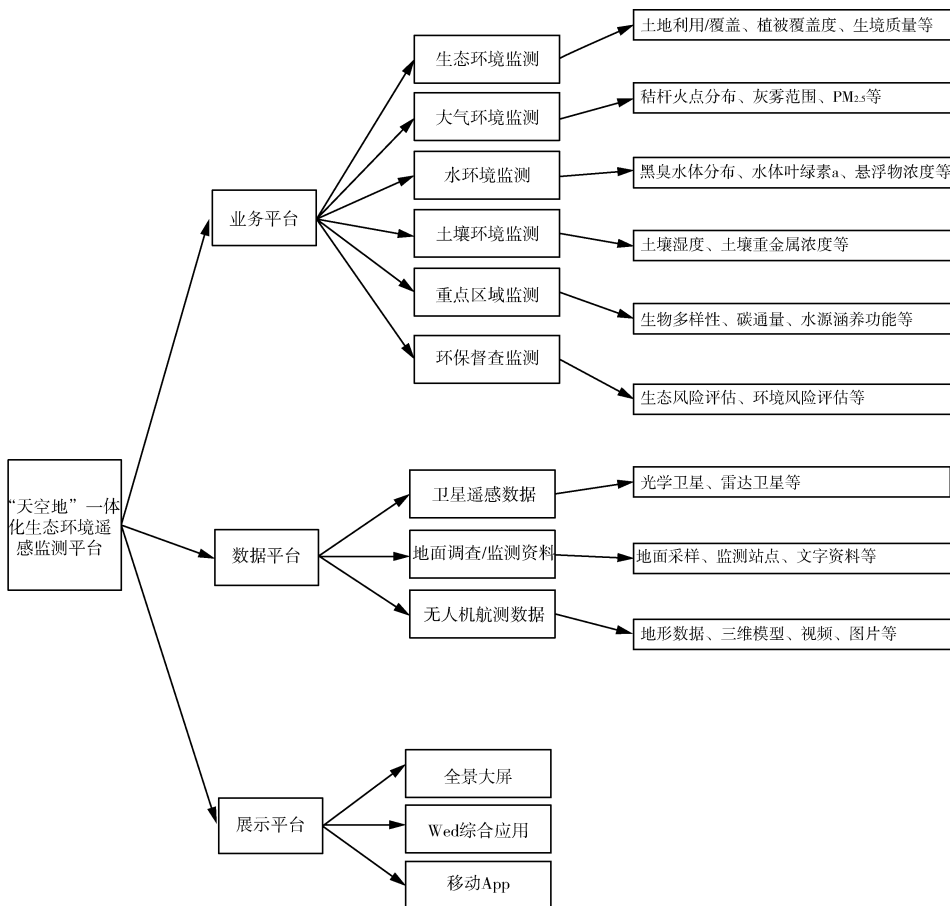


图 1 湖南省生态环境遥感监测平台架构

由图 1 可见,平台主要分为 3 个板块,即数据平台、业务平台、展示平台。数据平台主要负责包括卫星遥感数据、地面调查/监测数据、无人机航测数据在内的各类数据的管理、存储、分析等;业务平台主要围绕着水、气、土壤等整个生态环境监测体系开展相应的监测和管理,另外可针对重点区域,环境督查等业务进行拓展;展示平台主要是通过各种终端设备和硬件对各类业务进行可视化。

4.1 数据平台

数据平台主要功能在于整合卫星遥感数据、地面监测与调研资料以及无人机航测数据,为改善湖南省监测网络,数据平台建设还需进一步完善地面生态定位、生物多样性观测站点和碳通量监测站(洞庭湖湿地生态系统地面观测站、张家界森林生态系统地面观测站和重点区域碳通量观测塔)等,从而建立健全的“天空地”一体化的生态环境立体遥感监测网络,具体监测指标对应的遥感数据信息见表 1。

表 1 监测指标对应的遥感数据信息

应用领域	监测指标	遥感数据信息	
		数据源	分辨率
生态环境监测	土地利用/覆盖、植被覆盖度、生境质量、地表温度	MODIS、环境一号(HJ-1)、Landsat、高号四分(GF-4)等	中、低分辨率
大气环境监测	秸秆火点、灰霾、气溶胶光学厚度、PM _{2.5} 、PM ₁₀ 、SO ₂ 、NO ₂ 柱浓度	MODIS、HJ-1、GF-4 等	中、低分辨率
水环境监测	黑臭水体、水体叶绿素 a、悬浮物浓度、透明度浓度、化学需氧量、总磷浓度	高分一号/二号/六号(GF-1/2/6)、资源三号(ZY-3)、Landsat、哨兵 2 号/3 号(Sentinel-2/3)等	高、中分辨率
土壤环境监测	土壤湿度、土壤侵蚀、土壤重金属污染	GF-1/2/5/6、ZY-3、HJ-1、Landsat、Sentinel-2/3 等	高、中分辨率
重点区域监测	生物多样性、碳通量、水源涵养功能、水土保持功能、初级生产力	GF-1/2/5/6、ZY-3、HJ-1、Landsat、Sentinel-2/3 等	高、中分辨率
环保督查监测	高精度地形图、三维实景模型、高清现场视频与图片	无人机航测	

由表 1 可见,卫星遥感数据可分为光学卫星数据和雷达卫星数据,前者在生态环境领域应用相对广泛,如陆地卫星(Landsat)、国产“高分”(GF)系列大部分卫星,后者多应用土壤环境监测、湖泊水文监测,如高分三号(GF-3)卫星等,借助于多源卫星间的数据融合,可基本满足水、土、气各领域的监测需求。地面调查与监测资料是当前监测平台不可或缺的数据内容,在保证遥感技术应用准确度的同时,有效弥补卫星遥感对无法监测参数的缺陷,如湖泊水位、水情、湿地资源调查等数据。湖南省常年受季风气候的影响,多云覆盖,遥感信息获取相对困难,地面监测与调研在于整合地面基础数据,辅助遥感技术全方位对区域进行监测。无人机航测当前是遥感技术在数据动态、更新方面最强大的支撑技术。卫星遥感数据的更新周期有时候难以满足对月相、季相监测的需求,尤其是南方多雨多云气候使得遥感影像可利用程度不高,无人机航测则可针对特定区域,如湖泊湿地、生态脆弱区等进行定期数据更新,以满足高频次的监测需求。

与此同时,数据平台在实现数据分类管理的同时,强大的融合、存储、计算、挖掘等能力是不可或缺的。云计算、大数据技术的成熟对遥感技术深层次的应用有着质的飞越^[20],尤其在数据管理、服务、分析以及挖掘方面,海量存储与强大的计算能力极大地提高数据分析与利用效率,甚至接入三维模型,可有效扩展成二、三维一体化监测与管控,因此基于云计算+大数据的数据平台是实现整个监测平台高效运转的基础。

4.2 业务平台

业务平台主要针对生态环境监测需要,利用多源遥感技术完成监测服务,即基于多源遥感数据,辅以地面监测与无人机航测数据形成覆盖全省,涉及水、土、气等宽领域的监测评估、生态环境督查、监管服务。建立生态环境立体遥感监测业务体系和指标体系,依托多源卫星遥感数据,综合利用卫星遥感反演、多源数据融合、大数据分析和云服务等技术,形成覆盖大气、水、土、自然生态等环境领域的持续监测能力,实现实时动态的常规与非常规

的监测业务,以及利用无人机航空遥感监测手段加大对重点区域生态状况及突发性生态环境事件的监测。

4.2.1 常规化监测

常规化监测主要是对湖南省本底生态环境现状进行监测。参照《生态环境状况评价技术规范》(HJ 192—2015)、《“十四五”生态质量评价办法(试行)》和《全国生态状况定期遥感调查评估方案》^[21],可采用 MODIS、HJ-1 以及 Landsat 等中低分辨率遥感数据,采用机器与人工交互的半自动方式,实现全省范围内省域、市域、县域、自然保护区等土地利用/覆盖、植被覆盖程度、生境质量等参数变化监测,并进一步通过生态模型定量分析全省范围内生态系统质量和服务功能的变化,掌握生态资源现状和开发强度现状,评估生态保护措施成效、人类活动强度、生态承载力与潜在风险源,综合评价省域/市域/县域生态环境质量,开展全省生态状况调查。与此同时,结合卫星遥感数据与地面监测资料,形成水、土、气等逐月、季、年的数据产品,掌握省域自然因子的基本变化特征。

4.2.2 专题性监测

融合多源遥感影像,结合气、水、土、自然生态等生态环境监测数据、生态地面站和碳通量塔数据,在全省选择重点区域,开展针对性的生态功能遥感监测。

(1) 湿地/森林生态系统地面监测。将多源卫星数据与样地监测数据相结合,对区域生态环境状况、生态系统的结构、演替规律等形成全面认识,并进行综合判断,进而为区域生态环境保护以及经济可持续发展提供重要的决策支撑。对湖南省而言,洞庭湖湿地监测样点和张家界森林监测样点是2大重要监测点,通过建立生态系统野外综合监测站,结合中、高等分辨率遥感影像数据,建立生态过程模型,对区域能流、物流等重要的生态过程和生物多样性进行研究,如在洞庭湖构建植被格局与水情因子间的模型等^[22]。

(2) 重点区域碳通量监测。目前,碳循环研究长期以来是全球变化问题研究的重点和难点,也是地区和国家可持续发展的核心问题之一。对植被与大气二氧化碳(CO₂)通量的长期、连续观测能促进人们对陆地生态系统碳循环的理解^[23]。为准确监测区域碳通量,完善平台的监测网络,可选取农村、城市、自然保护区、重点生态功能区等多个区域

建立碳通量塔,它具有实时性强,可获得连续海量数据,良好的扩展性的特点。碳通量塔主要是借助于传感器对地面进行连续监测,每分钟取样可达数十甚至上百次,并通过计算机对这些数据进行记录与分析。通过在通量塔上安装传感器,可以了解区域内蒸发了多少水汽,吸收了多少CO₂,成为评价区域生态健康状况的重要基础设施。

(3) 重点生态功能区、县域生态环境质量和自然保护区监测。平台可基于GF-1/2等高分卫星数据,采用人机结合的半自动解译方法,结合地面调查数据,建立生境信息提取模型,提取包括自然保护区、重点生态功能区生境信息(不同生境类型的面积、数量和百分比),土地利用/覆盖的分类、生物多样性评估、植被生长参数、地表水环境信息、景观格局信息、生物量、植被覆盖度等在内多种参数,实现自然保护区、重点生态功能区生境遥感监测与评估,为县、市(区)生态创建提供数据支撑和决策服务。

(4) 气、水、土壤环境遥感监测。湖南水汽较为丰富,其气、水、土壤相关基础专题产品,绝大部分可以通过一定的生态过程模型来进行反演或估算。具体而言,平台可基于多源卫星遥感数据,结合气象、环境监测、土地利用分类数据和地面数字高程(DEM)数据以及基础地理信息等辅助数据,利用国内外成熟算法建立模型与模型反演自动生产大气、水、土壤业务特色产品。气象监测产品如气溶胶、痕量气体、挥发性有机物、火情火点、沙尘、扬尘源等大气环境遥感监测产品,而这些产品精度约在60%以上^[24],可针对湖南的气象特点进一步提升;水环境监测产品如水域面积、水质参数、水污染状况等,产品精度可达75%以上,精度相对较高^[24];土壤环境监测产品如土壤侵蚀、固废堆放点监测、土壤污染物质、土壤保持量等,产品精度约70%以上,有待进一步提升^[24]。综合遥感在水、土、气环境领域形成的基础专题产品,可使政府部门分别在大气环境质量综合评估与预警、水环境风险源快速识别、重点工矿企业环境风险评估等方面业务能力得到极大的提升。

(5) 生态环境督查/监管遥感监测。针对人类活动对区域生态环境的干扰,平台可利用中、低分辨率卫星实现大范围快速“筛查”、高分辨率卫星“详查”,无人机的“盯查”和现场的“点查”有机联动,有效提高生态环境督查效率。而对于实现重点

区域识别和精细化监管方面,如大气环境污染,可利用地理热点网格和建模技术,结合高分辨率卫星影像、地面站监测等数据,借助于阈值设置,筛选出重点监管对象,并将该网格单元作为环境执法和督查的重点区域^[25];采用人机结合的自动化解译方法,对网格内工厂厂房、露天作业等污染/风险源进行识别监控;通过设定报警规则,对该网格监测值高于周边国控站点的情况进行报警与预警,实现对热点网格的精准监管。最终实现重点区识别—风险源监控—热点网格监控报警/预警的精准管控技术线路。

4.3 展示平台

展示平台的核心在于提供直观、清晰的可视化效果以及易操作,可充分利用当前先进的终端设备来不断完善,如Web端,移动端,以及大屏终端,以承担生态环境保护督察、生态环境执法与应急等遥感技术支持工作,全面支撑生态保护监管任务。具体而言,在数据平台的基础上,基于综合性、全方位的业务需求,建设实用、易用、完整的业务应用系统是整个生态环境遥感监测平台不可替代的部分。软件上,展示平台通过不同监测和管理需求分成各子专题展示系统如三维全景、生态环境遥感监测评估、生态环境监管服务、生态环境一张图、数据资源可视化等^[26-28],简单明了、易操作。硬件上,通过多种终端展示业务应用,包括大屏(可视化综合应用)、中屏(Web端)、小屏(移动端App),形成终端的全覆盖,从而提高本地生态环境的精细化管理和科学决策。

5 建议

(1)发射独立的高分遥感卫星。随着卫星遥感技术的完善,独立拥有商业小卫星必将成为趋势,先后有“吉林一号”“珠海一号”相继发射成功。据了解,江苏省已经有构建“江苏一号”生态环境卫星(星座)的设想^[29],建议湖南省联合周边省份如湖北、广东等地,发射光学多波段高分生态环境监测卫星,以应对湖南气候变化的影响,弥补高分卫星在时间分辨率不足或难以深度利用的缺陷。

(2)深化遥感监测应用研究。当前,针对水、气以及土壤物质循环的遥感应用模型较多,但大多在湖南的适用性不高,需要针对湖南省自然地理环境特点,进行参数本地化,从而对模型进行校准、改进和升级。因此改进遥感应用深度,拓展遥感应用

宽度是今后需要长期努力的方向。

(3)加强多部门协同合作。要建成“天空地”一体化协同生态环境遥感监测平台,各级部门需上下协同合作,信息互联共享,充分提升遥感监测平台的信息化能力,完善监测、监管服务功能。

[参考文献]

- [1] 徐振华. 卫星遥感技术在智慧水利建设方面的应用[J]. 中国新通信, 2020, 22(23): 93-94.
- [2] 翟叠茂, 周佰铨, 陈阳, 等. 气候变化科学方面的几个最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(6): 629-635.
- [3] 闫亭廷, 严瑾, 王文龙. 遥感大数据服务平台设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(4): 76-79.
- [4] 生态环境部. 关于印发《“十四五”生态环境监测规划》的通知[EB/OL]. (2021-12-28)[2022-02-11]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202201/t20220121_967927.html.
- [5] 中华人民共和国国务院. 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》[EB/OL]. (2021-03-13)[2022-02-11]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm? pc.
- [6] 秦凯. 基于 GEOSS 的地震遥感热异常时空分析方法与检验[D]. 北京: 中国矿业大学, 2013.
- [7] 汤建平. GEMS: 全球环境监测系统[J]. 遥感信息, 1992(4): 43.
- [8] 冯伟泉. 日本 JAXA 航天器环境工程验证能力研究[J]. 航天器环境工程, 2013, 30(5): 453-461.
- [9] LEPTOUKH G, COX S, FARLEY J, et al. Exploring NASA and ESA Atmospheric Data Using Giovanni, The Online Visualization and Analysis Tool [J]. Proceedings of ENVISAT Symposium, Montreux, Switzerland, 2007(9): 23-27.
- [10] 蒋洪强, 卢亚灵, 周思, 等. 生态环境大数据研究与应用进展[J]. 中国环境管理, 2019, 11(6): 11-15.
- [11] 厉青, 王桥, 吴传庆, 等. 卫星遥感环境业务化监测应用平台建设[J]. 中国环境监测, 2003(3): 1-4.
- [12] 杨一鹏, 韩福丽, 王桥, 等. 卫星遥感技术在环境保护中的应用: 进展、问题及对策[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(6): 84-89.
- [13] 李芷珊. 多源遥感卫星环境监测综合应用平台的设计与实现[D]. 上海: 华东师范大学, 2017.
- [14] 姜俊, 孙中平, 王昌佐, 等. 面向服务架构的高分环境应用示范平台[J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(4): 77-79.
- [15] 游代安, 姜俊, 曹飞, 等. 高分环境遥感应用示范系统平台总体设计与实现[J]. 环境与可持续发展, 2015, 40(4): 43-47.
- [16] 黎珂, 孙志伟, 马文勇. 国家环境监察遥感应用平台建设[J]. 中国科技成果, 2020, 21(9): 20-21, 34.
- [17] 中华人民共和国国务院. 中共中央国务院《关于全面加强生

- 态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》[EB/OL]. (2018-06-06) [2020-02-11]. http://www.gov.cn/zhengce/2018-06/24/content_5300953.htm.
- [18] 薛毅, 李博, 张广科. 浅谈我国卫星遥感应用现状与发展[J]. 中国航天, 2020(4):51-53.
- [19] HU Y Q, YANG C X, YANG J, et al. Review on unmanned aerial vehicle remote sensing and its application in coastal ecological environment monitoring[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 821(1):18-20.
- [20] 熊丽君, 袁明珠, 吴建强. 大数据技术在生态环境领域的应用综述[J]. 生态环境学报, 2019, 28(12):2454-2463.
- [21] 国家生态环境部. 关于发布《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》等十一项国家生态环境标准的公告[EB/OL]. (2021-05-03) [2022-02-11]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202105/t20210518_833281.html.
- [22] 周静, 万荣荣, 吴兴华, 等. 洞庭湖湿地植被长期格局变化(1987—2016年)及其对水文过程的响应[J]. 湖泊科学, 2020, 32(6):1723-1735.
- [23] 王卿, 沙晨燕, 王敏. 上海城市碳通量监测系统框架研究: 第七届长三角科技论坛—环境保护与生态文明分论坛论文集[C/OL]. (2010-11-01) [2021-11-20]. <https://www.doc88.com/p-286362231805.html>2010.
- [24] 王桥, 赵少华, 封红娥, 等. 国家城镇生态环境综合监测技术体系构建[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(10):1922-1934.
- [25] 陈辉, 王桥, 厉青, 等. 大气环境热点网格遥感筛选方法研究[J]. 中国环境科学, 2018, 38(7):2461-2470.
- [26] 刘晓曼, 李静, 刘玉平, 等. 自然保护区人类活动天地一体化监管与评价技术体系[J]. 中国环境科学, 2016, 36(10):3135-3142.
- [27] 陈冠臣, 吴星星, 王伟, 等. 基于AR的三维城市信息系统设计与实现[J]. 地理信息世界, 2018, 25(3):109-113.
- [28] 高翔, 安辉, 陈为, 等. 移动增强现实可视化综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 3(1):1-8.
- [29] 江苏省生态环境厅. 江苏省生态环境厅关于印发《江苏省“十四五”生态环境监测监控体系与能力现代化建设规划》的通知[EB/OL]. (2021-10-28) [2022-02-11]. <http://sthjt.jiangsu.gov.cn/col/col83554/index.html>.

栏目编辑 谭艳

(上接第75页)

[参考文献]

- [1] 江文华, 马建中, 颜鹏, 等. 利用 GOME 卫星资料分析北京大气 NO₂ 污染变化[J]. 应用气象学报, 2006(1):67-72.
- [2] 李旭文, 张悦, 姜晟, 等. “哨兵-5P”卫星 TROPOMI 传感器在江苏省域大气污染监测中的初步应用[J]. 环境监控与预警, 2019, 11(2):10-16.
- [3] ZHENG Z H, YANG Z W, WU Z F, et al. Spatial variation of NO₂ and its impact factors in China: An application of Sentinel-5P products[J]. Remote Sensing, 2019, 11(16):1939.
- [4] JUDD L M, AL-SAAD J A, SZYKMAN J J, et al. Evaluating Sentinel-5P TROPOMI tropospheric NO₂ column densities with airborne and Pandora spectrometers near New York City and Long Island Sound[J]. Atmospheric Measurement Techniques Discussions, 2020, 13(11):1-52.
- [5] 张永佳, 葛建团, 徐敏, 等. 广东省对流层 HCHO 柱浓度时空动态分布及影响分析[J]. 环境科学学报, 2020, 40(8):2869-2881.
- [6] 李阳, 巨天珍, 马成, 等. 长江三角洲近 10 年甲醛柱浓度变化及影响因素[J]. 中国环境科学, 2019, 39(3):897-907.
- [7] 陈智海, 杨显玉, 古珊, 等. 基于 OMI 数据研究中国对流层甲醛时空分布特征及变化趋势[J]. 环境科学学报, 2019, 39(9):2852-2859.
- [8] 王少丽, 王会祥, 刘斌. 北京市大气甲醛浓度研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(3):27-30.
- [9] 王爽, 巨天珍, 咸龙, 等. 京津冀对流层甲醛的时空演变特征及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2018, 38(4):1297-1305.
- [10] 高诚, 张超, 余树全. 2005—2013 年长江三角洲地区对流层二氧化氮时空变化特征[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(5):691-700.
- [11] 郑子豪, 吴志峰, 陈颖彪, 等. 基于 SENTINEL-5P 的粤港澳大湾区 NO₂ 污染物时空变化分析[J]. 中国环境科学, 2021, 41(1):63-72.
- [12] 焦骄, 刘旻霞, 李俐蓉, 等. 近 12 年华北五省区域对流层甲醛柱浓度时空变化及影响因素[J]. 环境科学学报, 2018, 38(6):2191-2200.
- [13] 咸龙, 葛建团, 徐敏, 等. 珠江三角洲对流层 HCHO 柱浓度遥感监测及影响因子[J]. 中国环境科学, 2018, 38(9):3221-3231.
- [14] 高晋徽, 朱彬, 王言哲, 等. 2005—2013 年中国地区对流层二氧化氮分布及变化趋势[J]. 中国环境科学, 2015, 35(8):2307-2318.
- [15] 史家, 巨天珍, 张志成, 等. 基于卫星遥感的湖南省甲醛时空分布及影响因素分析[J]. 地球与环境, 2019, 47(4):448-458.