

环境遥感监测技术进展

韩领弟

衡水市环境监控中心

DOI:10.32629/eep.v9i2.3072

[摘要] 随着全球生态环境问题日益凸显,精准化、立体化、智能化的环境监测需求持续升级,环境遥感监测技术成为生态环境保护的重要支撑。本文梳理了环境遥感监测技术体系的构成,阐述了传感器、数据处理与融合、定量反演、智能解译四大关键技术的最新进展。在该基础上,结合相关实践经验,深入剖析了当前技术发展中存在的数据处理效率不足等现存问题,并针对性提出了构建高效数据处理体系等改进策略,以期为进一步优化升级提供借鉴与参考。

[关键词] 环境遥感监测; 技术进展; 难点问题; 优化路径

中图分类号: P627 文献标识码: A

Advances in Environmental Remote Sensing Monitoring Technology

Lingdi Han

Hengshui City Environmental Monitoring Center

[Abstract] With the increasing prominence of global ecological and environmental issues, the demand for precise, three-dimensional, and intelligent environmental monitoring continues to rise, and environmental remote sensing monitoring technology has become an important support for ecological and environmental protection. This paper reviews the composition of the environmental remote sensing monitoring technology system and elaborates on the latest developments in four key technologies: sensors, data processing and integration, quantitative inversion, and intelligent interpretation. On this basis, combined with relevant practical experiences, it deeply analyzes existing problems in the current technological development, such as insufficient data processing efficiency, and proposes targeted improvement strategies, such as the construction of an efficient data processing system, with the aim of providing reference and guidance for the further optimization and upgrading of the technology.

[Key words] Environmental remote sensing monitoring; Technological progress; Difficult issues; Optimization paths

引言

随着工业化、城市化进程的加快,大气污染、水体富营养化、土壤污染等环境问题日益突出,对环境监测的精准度提出了更高要求。传统环境监测依赖地面采样等方式,存在监测范围有限等局限,无法满足新时期生态环境精准治污需求。在此背景下,探讨环境遥感监测技术的应用进展,剖析现存问题并提出改进策略,对于各项具体技术方法的规模化应用具有重要现实意义。

1 环境遥感监测技术体系构成

1.1 数据源体系

数据源体系是环境遥感监测技术开展的基础,核心构建了“天-空-地-人-网”五基协同的立体化数据获取网络,实现了环境要素的全方位、多尺度、全天候捕捉。其中,天基数据源以各

类遥感卫星为核心,涵盖光学卫星、微波卫星、高光谱卫星等,可实现大范围、长时序的宏观环境监测,能够捕捉大气污染物分布等全局信息,为区域生态环境评估提供数据支撑^[1]。空基数据源则依托航空遥感平台,用于中尺度区域的精准监测,可深入卫星监测盲区,实现小尺度、精细化的数据采集适用于城市局部污染源溯源、农田土壤监测、小型水体水质排查等场景。

1.2 技术核心

环境遥感监测的技术核心主要由传感器技术、数据处理技术、定量反演技术、智能解译技术四大核心模块构成,贯穿整个监测流程,各模块协同作用,实现环境信息的精准捕捉。其中,传感器技术性能直接决定了遥感数据的质量与监测精度,近年来朝着高分辨率、多载荷、智能化、小型化方向快速发展,尤其是光学传感器实现了高空间、高光谱、高时间分辨率的三重突

破。数据处理技术则主要解决海量多源遥感数据的降噪、校正、融合等问题,通过自动化去云、辐射校正、几何校正等预处理手段,消除数据误差,提升数据质量

1.3 应用体系

应用体系依托数据源体系与技术核心,已广泛渗透到大气、水、土壤、生态、灾害等多个环境领域。在大气环境监测领域,主要应用于大气污染物监测、温室气体监测、大气环境质量评估等方面,通过遥感技术可实现PM_{2.5}、PM₁₀、臭氧、NO₂等主要污染物的全域分布与动态追踪,精准识别污染热点区域与传输路径。在水环境监测领域,涵盖内陆水体与海洋环境监测,可实现湖泊、河流、水库等内陆水体的水面动态、水质参数、蓝藻水华等监测,为水资源保护、水生态修复提供技术支持。

2 环境遥感监测关键技术进展

2.1 传感器技术进展

传感器技术近年来呈现出高分辨率、多载荷集成、智能化发展趋势,且在不同类型传感器的专项突破中。光学遥感传感器作为应用最广泛的类型,打破了传统光学传感器“分辨率不可兼得”的瓶颈。高空间分辨率方面,我国高分系列卫星、美国WorldView系列卫星的载荷分辨率已达到亚米级,能够清晰捕捉城市建筑、小型污染源等微观地物信息,为城市局部污染溯源、小型水体监测提供了精准的数据支撑;高光谱传感器则通过捕捉不同环境要素的独特光谱特征,可精准识别大气中微量污染物、水体中不同类型藻类、土壤中重金属含量等。例如,我国“高分五号”卫星搭载的高光谱载荷,能够实现PM_{2.5}、NO₂、SO₂等污染物的精准探测,且可区分水体中叶绿素a与其他悬浮物的光谱差异^[2]。

合成孔径雷达(SAR)与干涉合成孔径雷达(InSAR)技术的不断完善,使得微波传感器能够穿透云层等遮挡,精准获取地表形变、水体面积、土壤湿度等环境信息;在地表沉降监测中,InSAR技术能够捕捉到毫米级的地表形变,精准识别华北平原、长江三角洲等区域的沉降热点与演化趋势。此外,新型传感器的研发与应用进一步丰富了监测维度,激光雷达(LiDAR)传感器通过发射激光脉冲获取地表三维信息,可精准估算森林碳储量、植被高度;微型机载气体传感模组则实现了小型化、低成本升级,可搭载于无人机平台,实现对挥发性有机物(VOCs)、甲烷等微量污染物的近距离精准探测。

2.2 数据处理与融合技术进展

随着遥感数据源的多元化与数据量的爆发式增长,数据处理与融合技术已成为破解“数据冗余、信息碎片化”的核心关键,近年来朝着自动化、高效化、高精度的方向快速发展。数据预处理技术的升级,重点解决了原始遥感数据中的误差干扰问题,大幅提升了数据质量。传统数据预处理依赖人工操作,效率低下且误差较大,而当前自动化预处理技术已实现规模化应用,通过算法优化实现了去云、辐射校正、几何校正、时序数据重建的全流程自动化。例如,基于深度学习的云检测算法,能够精准区分云、云影与地表目标;超分辨率重建技术则通过算法优

化,将低分辨率遥感数据提升至亚米级,填补了高分辨率数据覆盖不足的短板^[3]。

多源数据融合技术的突破,打破了单一数据源的局限性,实现了“1+1>2”的监测效果,成为当前技术研究的热点。融合技术核心是通过算法将不同类型、不同尺度、不同来源的遥感数据进行协同整合,挖掘数据背后的深层关联,提升环境信息提取的全面性与准确性。光学与微波数据融合,可结合光学数据的高光谱信息与微波数据的全天候优势。例如,在复杂气象条件下,通过融合Sentinel-2光学数据与Sentinel-1微波数据,可精准获取水体面积、植被覆盖度等信息,避免了单一数据源的监测盲区;卫星与无人机数据融合,卫星数据提供大范围全局信息,无人机数据聚焦局部重点区域。

2.3 定量反演技术进展

定量反演技术通过构建遥感数据与环境要素实际参数之间的数学模型,将遥感影像的光谱信息、辐射信息转化为可直接应用的环境监测指标,近年来随着算法优化与数据支撑能力的提升,反演精度与通用性得到显著提升。大气环境定量反演技术的进展,重点聚焦于痕量气体与气溶胶的精准反演,针对大气污染物,基于高光谱遥感数据的反演算法不断优化,实现了NO₂、SO₂、臭氧、甲烷等痕量气体的三维分布重建,例如通过改进DOAS算法,提升了对对流层NO₂浓度的反演精度,能够精准识别工业排放、交通尾气等污染源的排放热点。传统水环境反演多聚焦于单一水质参数,而当前反演技术已实现叶绿素a浓度、悬浮物、水体透明度、化学需氧量(COD)等多参数同步反演,通过构建多变量反演模型,结合高光谱数据的精细光谱特征,提升了多参数反演的效率与精度。针对复杂水体,通过引入机器学习算法,解决了传统模型在复杂水体中反演精度下降的问题,例如基于随机森林、神经网络等算法,可有效消除水体中多种物质的光谱干扰,实现浑浊水体中叶绿素a浓度的精准反演。

2.4 智能解译技术进展

深度学习技术的深度应用,是智能解译技术进展的核心驱动力,各类深度学习模型在环境遥感解译中得到广泛应用,且不断优化升级。Transformer架构、注意力机制等先进算法的引入,解决了传统卷积神经网络(CNN)在长距离依赖、小目标识别等方面的不足,提升了解译的精度与效率。在云检测、地物分类等基础解译任务中,基于深度学习的模型已实现自动化、高精度解译,例如云检测模型能够精准区分云、云影、冰雪与地表目标,准确率达到95%以上,为遥感数据预处理提供了高效支撑;地物分类模型则能够精准识别耕地、林地、水体、建筑、污染源等不同地物类型,实现了地物信息的快速提取,为土地利用变化监测、生态红线监管提供了技术支撑^[4]。

针对各类环境风险,构建了专项智能解译与预警模型,能够快速识别污染异常、生态扰动等问题,并实现风险等级评估与预警。例如,在蓝藻水华监测中,基于深度学习的智能解译模型能够自动识别水华的爆发范围、严重程度,并结合时序数据预测水华的发展趋势,为水生态应急处置提供快速支撑;在秸秆焚烧、

工业排污等污染源监测中,解译模型能够快速识别焚烧点位、排污口位置,并区分污染源类型,实现污染源的精准定位与动态追踪;在地质灾害监测中,通过融合遥感数据与地表形变数据,智能模型能够识别滑坡、泥石流等灾害隐患点,并预测灾害发生风险,为防灾减灾提供决策依据。

地球科学基础模型以海量遥感数据与地球科学知识为基础,通过深度学习算法构建统一的模型框架,能够实现多任务、跨场景的智能解译,例如在作物参数估算、云掩膜迁移、环境变化预测等任务中,基础模型能够无需针对单一任务重新训练,即可实现精准解译,大幅提升了解译效率与通用性。

3 环境遥感监测技术现存问题与改进策略

3.1 现存问题

当前环境遥感监测技术在飞速发展的同时,仍面临着一些亟待解决的深层矛盾与瓶颈。首先,随着卫星星座的密集组网与无人机等低空平台的普及,海量、多源的遥感数据呈指数级增长,然而现有数据处理体系的算力储备跟不上数据产生速度,大量数据被束之高阁,未能及时转化为有价值的环境决策信息。其次,目前许多通用模型在复杂场景下的反演精度显著下降,而针对特定场景的专项模型又缺乏通用性,难以形成一套可大范围推广的标准化技术体系。最后,虽然遥感技术已在大气、水体、生态等多个领域分散应用,但各部门、各领域之间缺乏统一的数据共享平台,监测结果难以形成闭环。

3.2 改进策略

3.2.1 构建高效协同的数据处理体系

一方面加大算力基础设施投入,依托云计算、边缘计算技术,搭建规模化、低成本的遥感数据处理云平台,优化并行计算算法,提升海量多源数据的处理速度,打破“数据冗余、价值闲置”的困境。另一方面,推动数据处理算法的智能化升级,融合深度学习与地球科学基础模型,实现数据预处理、融合、解译的全流程自动化,减少人工干预,提升数据向决策信息转化的效率,让海量遥感数据真正发挥实用价值。

3.2.2 构建“通用模型+专项模型”的协同反演体系

在通用模型优化上,整合不同区域、不同场景的遥感数据与地面观测数据,引入迁移学习技术,提升模型在复杂场景下的适配能力,形成可大范围推广的标准化反演框架。在专项模型研发上,结合不同监测场景的独特特征,针对性优化模型参数,开

发场景化专项反演模型,同时建立模型共享与迭代机制,实现通用与专项模型的互补共生,提升定量反演的整体精度与适用性^[5]。

3.2.3 完善协同机制与共享体系,推动技术应用系统化升级
建立跨部门、跨领域的数据共享平台,打破数据壁垒,实现天基、空基、地基等多源数据的互联互通,推动监测结果的协同应用。构建“监测-分析-预警-处置”的闭环应用模式,加强遥感技术与环境监管、应急处置等业务的深度融合,推动技术应用从“单一监测”向“系统支撑”转变。同时,建立标准化的技术应用规范,统一监测指标、数据格式与反演标准,提升不同区域、不同领域监测结果的可比性,为宏观环境管理提供系统性、一体化的技术支撑。

4 结语

综上所述,经过多年发展,环境遥感监测技术已形成完善的技术体系,在传感器、数据处理与融合、定量反演等关键技术领域取得了显著突破,为生态环境保护提供了有力技术支撑。随着人工智能、大数据、物联网等技术的持续迭代,环境遥感监测技术将朝着更精准、更智能的方向发展,多技术融合将更加深入,技术人员应加强核心技术研发,推动环境遥感监测技术的规模化,使其更好地服务于美丽中国建设、碳达峰碳中和目标实现与生态环境高质量发展。

[参考文献]

[1]王红雷,严文璞.基于深度学习技术的贵州省耕地占用遥感监测[J].测绘通报,2024,(3):134-139.

[2]李钰彬,王宗明,赵传朋.辽河口盐地碱蓬时空动态遥感监测及其识别机理研究[J].自然资源遥感,2025,37(1):195-203.

[3]宋文龙,冯天时,陈龙,等.基于遥感指数与深度学习的黄河冰凌遥感监测识别分析[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2024,22(1):28-35.

[4]王战勇,宁健,李华琴,等.5G通信基站电磁辐射环境监测技术规范研究[J].中国环境监测,2024,40(6):221-228.

[5]曹宇,甘霖,王杰,等.基于数字孪生的海洋牧场环境监测平台结构安全快速评估方法[J].渔业现代化,2025,52(4):15-30.

作者简介:

韩领弟(1984--),女,汉族,河北省枣强县人,本科,衡水市环境监控中心,中级工程师,从事的研究方向:环境监测与治理。