遥感技术在生态环境监测中的应用研究

赵琛[1] 杨炘[2] 郭园[2] 王洁瑜[2] 张群[2]

1 陕西能源职业技术学院，陕西 咸阳 712000；2 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司，陕西 西安 710065

摘要：遥感是一种基于地物电磁波谱特性，实现对生态环境要素大范围、全方位、快速动态监测的技术方法，可应用于水体污染物追踪溯源、大气成分分析、大气输送通道追踪等重点领域的监测工作，是当前开展环境监管工作的重要技术支撑。对遥感监测的理论基础进行论述，分析各个领域遥感监测的应用情况，以标准化体系建设、多源数据融合、服务国家战略等方面为切入点，深入研究遥感监测系统化建设、精准化发展、服务于国家战略建设的路径，以此促进遥感监测技术从研发转变为业务化、精准化的监测体系。

关键词：遥感技术；生态环境；环境监测；技术应用

Research on the Application of Remote Sensing Technology in Ecological Environment Monitoring

Zhao Chen[1], Yang Xin[2], Guo Yuan[2], Wang Jieyu[2], Zhang Qun[2]

1Shaanxi Energy Institute, Xianyang, Shaanxi, 712000, China

2Power China Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

Abstract: Remote sensing is a technical method based on the electromagnetic spectrum characteristics of terrestrial objects, enabling large-scale, comprehensive, and rapid dynamic monitoring of ecological environment elements. It can be applied to key areas such as tracking sources of water pollution, analyzing atmospheric components, and tracing atmospheric transport pathways, serving as an important technical support for current environmental supervision work. This paper discusses the theoretical foundation of remote sensing monitoring, analyzes the application of remote sensing monitoring in various fields, and explores the paths for systematic construction, precise development, and service to national strategic construction of remote sensing monitoring, focusing on aspects such as standardized system construction, multi-source data fusion, and service to national strategies, thereby promoting the transformation of remote sensing monitoring technology from research and development to a business-oriented and precise monitoring system.

Keywords: Remote sensing technology; Ecological environment; Environmental monitoring; Technical application

DOI: 10.62639/sspeet05.20260201

引言

生态环境监测对评价环境质量和加强科学管理具有关键作用，传统的监测方法存在着监测对象大、时间响应慢等问题，通过遥感监测可实现大范围、连续的生态环境要素观测。本文从遥感理论出发，对遥感技术在生态环境监测领域的应用展开论述，并详细论述了遥感技术在水质监测、大气监测、土地利用监测领域的工作原理和应用现状，提出了遥感技术进一步发展的方向，以期为遥感技术在生态环境监测上的合理应用提供参考借鉴，更好的服务我国生态文明建设需要。

一、遥感技术在生态环境监测应用中的理论基础

遥感技术是以电磁波理论、地物波谱特性和信息处理技术为基础，在遥感监测过程中，依据地物对电磁波的反射、发射和吸收特性，利用传感器获取不同波段下的地物辐射能量数据，并对其进行处理分析，获取能反映生态环境质量的各类物理、化学和生物等遥感参数。遥感技术根据接收电磁波方式的不同，可分为被动式遥感和主动式遥感。被动式遥感能够利用多光谱和高光谱传感器接收地物反射太阳辐射或者自己发出的热辐射获得大量的地表光谱信息，其中高光谱技术可提供精度达到纳米级的光谱空间分辨能力，对于分辨水体污染中某些物质成分或者植被生化参数，具有很大的应用价值；主动式遥感能够通过主动发出微波并对后续回波信号进行测量，从而突破云雾和部分植被冠层的影响，实现 24 小时无间断的昼夜监测。而如何将获取的原始数据转化为可支撑后续生态环境监测的基础数据，是遥感监测实践中的核心关键，这就需要将信息处理的过程转化为以下步骤：辐射定标—大气校正—几何精校正—

（稿件编号：EET-26-1-17003）

作者简介：赵琛（1983-），男，回族，河南开封人，陕西能源职业技术学院，副教授，硕士研究生，研究方向：测绘地理信息。

基金项目：陕西省教育厅 2022 年度服务地方专项科研计划项目（政企联合资助项目）：“基于水情监测物联网的洪涝灾害预警预报信息化系统研究”（项目编号：22JE009）。

灰度变化点检测。基于物理模型、经验统计模型或者机器学习算法建立特征提取和参数反演模型，从校正后的影像中提取水质参数、气溶胶浓度、植被指数、土地利用类型等各类生态因子的定量信息；采用该方法可以实现大范围、周期性、非接触式的生态环境观测，在宏观尺度上可以解释生态环境要素的时间—空间分布与变化规律，弥补了传统地面点状监测的空间覆盖缺陷，完善了生态环境监测体系，使全球变化研究、区域环境评价与可持续发展管理等方面的监测工作有了可靠的监测数据 [3]。

二、遥感技术在生态环境各要素监测中的实践应用

（一）水环境监测：水质参数反演与污染追踪

遥感技术在水环境监测中的应用主要是建立水体光学特性与水质参数间的定量关系模型 [1]。其中，高光谱遥感凭借波段连续且窄的技术特点，分别测得水中溶解性有机质、叶绿素 a、悬浮颗粒物各组分对不同波长光谱的微弱吸收和反射差异，通过构建叶绿素 a 浓度、悬浮物含量、透明度和有色可溶性有机物等关键技术参数的高精度定量反演模型，可直接反演水体富营养化状态，同时对湖泊、水库及近海水域藻类水华、赤潮的发生范围、程度及时空变化过程开展动态监测，还可以根据一定区域内各时相间遥感影像序列，区分出点源（如排污口、河流等）污染羽流的空间分布、传播路径与影响范围；对于面源污染，可以通过遥感观测到其输入量的关联性因素，包括土地利用类型、植被覆盖、水体光谱特性等。利用遥感手段开展突发性水污染事件监测，可及时发现水污染位置，判断污染物类型（对具有特征光谱响应特性的油膜污染物等可以实现快速鉴别），并实时监测污染带漂移轨迹和扩散范围等关键指标，并将所获取的信息用于为相关部门开展紧急拦阻、清污工作及生态损害评估提供精准的时空数据支撑，大幅度提高水环境应急监测的反应速度、空间覆盖范围及全方位保障水平。

（二）大气环境监测：气溶胶与痕量气体监测

在大气环境遥感监测中，卫星传感器接收的是地球大气系统反射、散射及发射的电磁辐射，这对开展气溶胶与痕量气体的反演有着非常重要的作用，具体在于利用气溶胶粒子和痕量气体分子的吸收、散射对某一波段电磁辐射的作用机制 [5]。对于气溶胶而言，在特定波段内，采用遥感手段反演其表观反射率的大小以得到气溶胶光学厚度（AOD），此数值可反映大气浑浊程度及颗粒物含量；结合地面监测数据和气象模型，还可以建立 AOD 和近地面 PM2.5 浓度之间的统计或者物理关系模型，可以生成大面积高空间覆盖度的 PM2.5 浓度分布图，有助于了解区域内污染的产生累积过程以及污染在区域间的传输情况。除此之外，也可以基于差异吸收光谱技术，通过测量经过大气透射后的大气路径中太阳光谱随高度发生的变化直接获得二氧化硫、二氧化氮、臭氧以及甲烷等气体垂直柱浓度的大范围连续性观测结果，能够客观地呈现大型点源的大气污染物排放分布情况，判定污染物跨境输送的状态，并且为相关区域的排放清单的检验与核定提供独立观测的资料。在服务“双碳”战略的过程中，卫星遥感可作为观测手段，用于探测全球和区域尺度下甲烷等温室气体浓度时空变化情况，从而可以反演自然碳汇与人为排放通量，为大气污染防治以及气候变化应对政策的制定和评估提供客观的、宏观的数据依据。

（三）陆地生态监测：植被动态与生态评估

对于陆地生态环境遥感监测而言，地表覆盖的宏观感知和动态解析能力是这项工作的主要内容，其核心内容主要包括植被动态监测、土地利用 / 土地覆盖变化以及综合生态评价等内容。以植被动态监测为例，在可见光、近红外光谱波段下植被反射率的变化会形成归一化差值植被指数等光谱指数，能够准确表达植被覆盖度、植被长势、物候变化的信息；基于辐射传输模型、利用多角度观测资料可实现叶面积指数、植被初级生产力等重要生物物理参量反演，可为评价生态系统健康的程度、生态系统的生产力大小以及生态系统固碳能力等方面提供必要的量化参考依据；遥感技术也是快速获取大面积的土地利用 / 土地覆被分类信息和检测土地利用 / 土地覆被变化的有效途径，通过对不同时相、不同分辨率的遥感影像进行解译，可以准确地制作出森林、草地、湿地、农田、建设用地等各类用地的空间分布图，并且还可以自动发现森林砍伐、湿地萎缩、城市扩展、耕地变化等土地覆被的变化情况，实现地表覆被变化的跟踪；同时在综合生态评估过程中，将以上多源遥感信息产品融合进入地理信息系统与生态学模型中，对各个地区生态系统的服务功能（水源涵养、水土保持、生物多样性维持）进行定量化评估。此外，运用植被状况、地形、气候等多个方面的评价指标体系开展遥感评价分析，可以对区域内的生态脆弱性分区与生态环境质量评价工作提供有效支撑，并且能够对重大生态保护和修复工程的实施效果进行客观地评价与宏观监测，从而达到服务国土空间规划、生态保护红线监督、推进国家可持续发展的战略部署目的。

三、推动遥感生态环境监测应用深化的关键路径

（一）标准化与自动化体系建设

首先要将遥感生态环境监测由科研验证推向大规模业务化应用的关键，就是建立统一的标准规范和高效的自动化处理方法。标准化就是要建立统一的遥感数据处理、信息反演和产

品生成的技术规范和质量评估标准，其核心是对遥感数据预处理操作、生态环境参数遥感反演算法技术指南、遥感监测产品精度分级与检验规则等进行规范，确保不同数据源、不同算法得出的结果具备可比性与权威性，为环保管理部门的各种决策提供详实、精准的信息服务；其次还必须要建立起一套高度自动化的智能处理系统，才能支撑处理大体量多源的遥感数据。该系统需将全流程拆解为系列子任务并形成自动化流水线：一是接收传感器（如相机）采集的本底光谱数据；二是开展辐射校正与几何校正；三是完成云检测与去噪处理；四是基于物理模型或机器学习方法实现参数自动反演；五是自动生成并发布专题图，并能够实现全流程的不间断处理，满足环境监测所需的高频率以及时效性的要求。同时，可减少人工参与较多带来的主观性偏差与不确定性问题，从而保持质量的稳定性。统一和融合是实现生态环境遥感监测业务化、常态化的基础，只有标准化、自动化的结合才能让遥感能够如常规的环境监测手段一样，持续、稳定地向环境质量管理、污染监管、生态保护效果考核等业务中提供必要的业务可交付的数据产品和服务。

（二）多源数据融合与协同监测

拓展遥感生态环境监测的广度与深度，需突破单一数据源的局限，要加强对多种遥感数据的融合应用，并“空－天－地”协同构建遥感生态环境监测网。“空－天－地”协同监测网的内涵首先是不同遥感技术的相辅相成，例如将高时相、高空间分辨率的光学遥感图像与全天时、全天候、穿云破雾的合成孔径雷达影像融合起来，就可以克服多云多雨地区对地表覆盖、结构信息光学遥感观测的先天性缺陷；运用高光谱遥感获取更为精细的光谱特征来更好地区分地物成分，这些数据融合方式能够生成比单一数据源更具可靠性的信息产品。进一步还应该建立分级分类的协同观测，打造“空－天－地”协同监测网：以卫星遥感大范围、周期性宏观扫描及普查为基础，用无人机遥感机动灵活的查漏补缺功能来进行某一时点或某个时期的高分辨率、高频度高精度专项调查与详查，辅以地面传感器网络布设及野外实地核查，实现精准定点测量与验证。这样的协同观测机制可以把不同空间尺度、时间频率、观测精度的数据有机集成、同化，进而形成从宏观发现异常开始——中观定位问题后——微观校验与机理分析结束的技术闭环。这一协同观测机制可实现时空覆盖更广、细节更丰富的监测，通过多源信息相互校验与订正，获取更准确可靠的反演参数，为环境全要素分析中所涉及的复杂生态环境问题开展系统的、深入的过程机理研究和精准的管理决策提供事实基础[2]。

（三）服务国家战略与拓展应用

遥感生态环境监测应用要最终密切对接、主动服务国家重大战略需求，按照这一导向扩展和强化应用的广度和深度；在“双碳”目标任务的大背景下，遥感技术对生态系统的核心价值，集中体现为对生态系统碳汇能力的精准评估[4]。针对森林、草地、湿地等不同类型的生态系统，开展连续、高频度的类型判读与面积核定以及结构参数、生物量等变化监测，获得从省域到国域的碳汇时空分布格局，确定固定速率和潜力，为碳交易、生态补偿及国家温室气体清单等提供科学的数据支撑；另一方面，在生态安全屏障构建方面，开展定期化、自动化的生态保护红线内的人类干扰、地表覆盖变化、生态状况等的监测工作，及时发现违规开发建设现象，定量化分析生态系统完整性和生态服务功能的稳定性，切实做到生态保护红线“划得实、守得住”；利用遥感技术开展重点生态工程建设区以及修复工程后的植被恢复情况、水土流失控制成效、生物栖息地质量变化情况等方面的长时序、客观化跟踪监测及量化评价，对重大生态保护与修复工程进行评估，进而给出工程优化改进方案、相应的精准化管理建议。针对突发环境事件及生态损害引发的污染破坏问题，遥感技术可在事发后第一时间获取现场影像数据，查清破坏污染源，并确定被污染破坏面积和污染损害程度，从而为生态环境损害鉴定和修复，甚至于提起公益诉讼及损害赔偿提供第一手证据；不仅如此，将遥感的具体应用嵌入生态环境保护政策制定、空间规划管控、执法监管及绩效考核中去，使遥感真正成为支撑生态环境治理体系和治理能力现代化的核心科技利器，从技术能力到实实在在的治理效能，实现遥感这种技术价值的最佳升华。

四、结语

遥感凭借独有的空、时域覆盖特点，是生态环境监测体系重要组成，应用于水、大气、陆地等多种要素的监测中，能够为环境态势感知、污染溯源、生态评价提供准确的数据，今后要继续推进体系建设的标准化、智能化、协同化，加强多源数据汇聚，紧紧围绕国家生态战略所需应用领域开展工作，让遥感为精准治污、科学监管、生态保育发挥更大力量，实现由技术能力建设向治理效能提升的转变。

参考文献：

[1] 亓宝艳．高光谱遥感技术在水环境监测中的应用研究 [J]. 皮革制作与环保科技 , 2024, 5(21) : 144-146.
[2] 向亚亚．探讨遥感技术在环境监测中的应用 [J]. 环境与生活 , 2024, (11) : 75-78.
[3] 李洁，王晓宇．遥感技术的创新应用与技术实践 [J]. 信息记录材料 , 2024, 25(11) : 96-98+104.
[4] 程自昆．双碳目标下遥感技术在生态环境监测中的应用 [J]. 皮革制作与环保科技 , 2024, 5(19) : 49-51.
[5] 于佳冉．遥感技术在现代环境监测与环境保护中的应用 [J]. 黑龙江环境通报 , 2024, 37(08) : 166-168.