

# 遥感技术在环境科学与工程应用中的进展

贺焱

宁夏绿博环保科技有限公司 宁夏 银川 750011

**摘要：**遥感技术在环境科学与工程领域应用广泛且进展显著。其凭借卫星、无人机、地面传感器网络等平台，结合多光谱、SAR、高光谱等技术，实现大气、水体、土壤等多要素综合感知与动态监测。在污染监测、生态评估、灾害预警等方面发挥关键作用，如精准定位污染源、监测蓝藻水华、追踪油污污染等。同时，多源数据融合、智能化处理算法及新型传感器研发等进展，进一步提升了遥感技术的精度与效率。

**关键词：**遥感技术；环境科学；工程应用；进展

引言：在环境问题日益严峻的当下，环境科学与工程领域对精准、高效监测技术的需求愈发迫切。遥感技术作为一门融合多学科知识的先进手段，凭借其宏观覆盖、多要素感知、动态监测及非接触式探测等独特优势，在环境科学与工程中占据关键地位。从大气质量评估到水体生态监测，从土壤侵蚀分析到生物多样性保护，遥感技术不断拓展应用边界。本文将深入探讨其在该领域的具体应用进展，剖析现存挑战并展望未来发展方向。

## 1 遥感技术体系与核心优势

### 1.1 技术体系构成

(1) 平台类型：包含卫星遥感、无人机遥感、地面传感器网络三大类。卫星遥感细分光学、SAR（合成孔径雷达）、高光谱类型，分别适用于不同场景，如光学卫星擅长可见光波段观测，SAR卫星可穿透云雾；无人机遥感灵活度高，适合小区域精细化监测；地面传感器网络则能实现定点持续数据采集，三者形成互补。(2) 数据获取方式：分为主动式与被动式。主动式通过发射信号接收回波获取数据，典型代表为雷达、激光雷达，可主动探测目标信息；被动式依赖接收地物反射或辐射的电磁波，如多光谱、热红外遥感，能捕捉地物自然电磁特征，两种方式满足不同数据需求。(3) 数据处理流程：遵循“数据预处理-特征提取-分类建模-结果验证”的逻辑。预处理消除噪声、辐射校正等误差；特征提取筛选地物关键信息；分类建模通过算法实现地物识别与分类；结果验证结合实地采样等方式，确保数据准确性，形成完整处理闭环。

### 1.2 技术优势分析

(1) 宏观覆盖能力：单次观测可覆盖数千平方公里，突破空间限制，能快速实现区域乃至全球尺度的同步监测，如监测大范围植被生长状况、海洋环流变化

等，效率远超传统地面调查。(2) 多要素综合感知：可同步获取大气、水体、植被、土壤等多环境要素信息。例如，通过一次遥感观测，既能获取大气颗粒物浓度，又能监测水体叶绿素含量、植被覆盖度及土壤湿度，为多领域协同研究提供数据支撑。(3) 动态监测能力：借助多时相遥感数据对比，能清晰揭示环境变化趋势与驱动机制。比如，通过分析不同年份同一区域的遥感影像，可追踪冰川退缩、城市扩张、土地荒漠化等变化过程，助力把握变化规律<sup>[1]</sup>。(4) 非接触式探测：无需直接接触监测目标，避免了传统采样方式对生态系统的干扰，如在监测珍稀动植物栖息地、脆弱湿地生态系统时，可在不破坏环境的前提下获取数据，保障了数据的客观性与生态环境的完整性。

## 2 遥感技术在环境科学与工程中的典型应用

### 2.1 大气环境监测

(1) 气溶胶分布监测：依托多光谱遥感数据的辐射特性，构建气溶胶光学厚度反演模型，精准计算PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>等细颗粒物浓度。通过连续观测数据的时空分析，可清晰识别污染源头及跨区域传输路径，如华北地区冬季雾霾向华东地区扩散的轨迹，为区域联防联控提供数据支撑，助力制定针对性污染管控策略。(2) 痕量气体监测：高光谱遥感凭借其精细的光谱分辨率，能捕捉SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>等痕量气体的特征吸收波段。通过分析特定波段的辐射强度变化，可定量反演气体柱浓度，精准定位工业企业、火力发电厂等排放源的位置与排放强度，实时监控企业是否达标排放，为大气污染溯源与执法监管提供技术依据<sup>[2]</sup>。(3) 灾害性大气监测：基于红外遥感技术对温度、湿度等参数的敏感探测能力，可快速识别沙尘暴、秸秆焚烧、雾霾等灾害性大气事件。例如，通过红外波段监测地表温度异常区域，结合纹理特征判断秸秆焚烧火点位置与燃烧范围；利用微波遥感穿

透云层的优势,在恶劣天气下仍能追踪沙尘暴的移动方向与影响范围,为灾害预警与应急处置争取时间。

## 2.2 水环境监测

(1) 水体富营养化评估:叶绿素a作为水体富营养化的关键指示因子,其浓度与特定波段的光谱反射率存在显著相关性。通过建立叶绿素a浓度反演模型,结合多光谱或高光谱遥感数据,可快速识别蓝藻水华的分布范围、覆盖面积及严重程度。例如,对太湖、滇池等湖泊的定期监测,能及时掌握水华爆发动态,为水体生态修复与水质改善方案制定提供参考。(2) 悬浮物浓度监测:水体中悬浮物(SS)对0.58-0.68 $\mu\text{m}$ 波段的电磁波具有较强反射作用,通过测量该波段的辐射值,结合实地采样数据建立SS浓度反演模型,可实现大范围水体悬浮物浓度的快速监测。该技术广泛应用于河流、港口、近岸海域等区域,能有效评估水土流失对水体的影响、监测港口航道淤积情况,为水资源保护与水利工程建设提供数据支持<sup>[3]</sup>。(3) 油污染追踪:雷达遥感对油膜与海水的介电常数差异敏感,可清晰识别海洋表面油膜的分布;高光谱遥感则能通过油类物质的特征光谱,区分油污类型。两者结合可精准定位海洋溢油源头,追踪溢油扩散轨迹与影响范围,如在船舶泄漏、油田开采泄漏等事件中,为污染清理方案制定、责任认定及生态损害评估提供关键技术支撑。

## 2.3 土壤与生态监测

(1) 土壤侵蚀评估:数字高程模型(DEM)可提供地形坡度、坡长等关键参数,结合遥感获取的植被覆盖度数据,代入通用土壤流失方程(USLE),能定量计算土壤侵蚀模数,划分侵蚀强度等级(轻度、中度、重度)。该技术可应用于黄土高原、南方红壤区等水土流失严重区域,明确侵蚀热点区域,为水土保持工程(如梯田修建、植被恢复)的规划与实施提供科学依据。(2) 土地利用动态监测:利用深度学习算法(如卷积神经网络CNN)对高分辨率遥感影像进行处理,可自动识别耕地、林地、建设用地、水域等土地利用类型,并对比不同时期影像,实现城市扩张、耕地侵占、林地变化等动态监测。例如,监测京津冀、长三角等城市群的建设用地扩张速度与方向,分析耕地保护现状,为国土空间规划、耕地红线管控提供数据支撑<sup>[4]</sup>。(3) 生物多样性保护:高分辨率遥感影像能清晰呈现植被类型、栖息地斑块形态等细节,通过分析影像纹理、光谱特征,可监测栖息地破碎化程度(如森林被道路分割情况),结合物种分布模型,预测珍稀动植物的潜在分布区域。例如,对大熊猫、东北虎等濒危物种栖息地的监测,能及

时掌握栖息地变化动态,为建立自然保护区、制定物种保护策略提供技术保障,助力维护生态系统多样性与稳定性。

## 3 遥感技术在环境科学与工程应用中的进展与突破

### 3.1 多源数据融合技术

(1) 空天地一体化监测:打破单一平台监测局限,构建“卫星+无人机+地面传感器”协同体系。卫星凭借宏观覆盖能力,实现区域乃至全球尺度环境要素初步监测,如大范围大气污染分布筛查;无人机聚焦中尺度细节补充,针对卫星影像模糊区域(如城市复杂建筑群、山区局部流域)开展精细化探测;地面传感器则进行微观验证,通过定点实时采集数据(如高精度PM2.5浓度、水体pH值),校准卫星与无人机数据误差,形成“宏观-中观-微观”三级监测闭环,大幅提升环境监测的准确性与全面性。(2) 跨模态数据融合:整合不同类型遥感数据优势,实现信息互补。光学影像擅长捕捉地物纹理特征,可清晰呈现植被覆盖细节、水体颜色变化;SAR数据不受云雨天气影响,能精准反映地形结构、地表粗糙度,适用于复杂气象条件下的环境监测;LiDAR点云可构建三维立体模型,清晰展现地表高程差异、建筑物高度等信息。三者联合分析时,例如在城市水环境监测中,光学影像识别水体范围,SAR数据排除云雨干扰获取水体边界,LiDAR点云计算水体深度,共同提升水环境参数反演精度。

### 3.2 智能化处理算法

(1) 深度学习应用:将CNN(卷积神经网络)等深度学习模型引入遥感影像处理,突破传统人工解译局限。CNN通过多层卷积操作自动提取影像深层特征,在土地利用分类、污染区域识别等场景中,实现自动化分类与目标检测。目前,基于CNN的遥感影像目标检测准确率已提升至90%以上,例如在大气污染源识别中,可快速从海量影像中定位工业烟囱、燃煤锅炉等污染源,大幅提高数据处理效率。(2) 边缘计算赋能:在卫星等遥感平台搭载AI芯片,实现边缘计算功能。传统遥感数据需全部传回地面处理,存在传输延迟、数据冗余等问题;边缘计算可在卫星上完成实时数据预处理,如筛选有效监测数据、去除噪声干扰、初步提取关键信息,仅将核心数据传回地面,显著减少地面传输压力,提升数据处理时效性,尤其适用于灾害性天气监测、突发污染事件响应等对时间敏感的场景<sup>[5]</sup>。

### 3.3 新型传感器研发

(1) 超光谱遥感:突破传统多光谱遥感波段数量限制,波段数量已突破1000+,光谱分辨率大幅提升。其能

捕捉地物更精细的光谱特征,在水质监测中,可精准反演叶绿素a(Chl-a)、总磷(TP)等水质参数,目前反演误差已控制在5%以内,能更准确识别水体富营养化程度,为水环境治理提供精准数据支撑。(2)量子遥感技术:借助量子纠缠效应,大幅提升传感器探测灵敏度。传统光学遥感受限于光子噪声,探测精度存在瓶颈;量子遥感通过量子态调控与测量,突破传统光学极限,可捕捉更微弱的地物辐射信号,在痕量气体监测、微弱污染物识别等场景中,能检测到更低浓度的污染物,进一步拓展遥感技术在环境监测中的应用边界。

#### 4 遥感技术在环境科学与工程应用中的挑战与未来发展方向

##### 4.1 当前技术瓶颈

(1)数据标准化缺失:多源异构数据(如卫星、无人机、地面传感器数据)格式、精度、坐标系差异大,融合时缺乏统一规范。不同平台数据采集标准不统一,导致数据兼容性差,模型训练时易出现偏差,严重影响模型泛化能力,难以在不同区域、不同场景下稳定应用,制约了多源数据协同监测效能的发挥。(2)复杂场景适应性不足:面对云雾遮挡、地表覆盖类型混合(如城市中建筑与植被交错)等复杂场景,遥感数据易受干扰。云雾会削弱地物反射信号,导致影像信息模糊;混合像元使得地物特征难以精准区分,进而造成分类精度下降,例如在山区复杂地形的土壤侵蚀监测中,易出现误判情况。(3)实时性限制:传统卫星重访周期较长(多为几天至十几天),无法快速捕捉环境动态变化。在突发污染事件(如化工企业泄漏、突发水华)应急监测中,难以及时获取连续数据,导致应急响应滞后,无法为快速处置提供及时的数据支撑。

##### 4.2 未来发展趋势

(1)智能化与自动化:构建AI驱动的全流程自动化处理流水线,从数据获取、预处理到特征提取、结果分

析,全程减少人工干预。通过深度学习模型迭代优化,实现数据处理自主纠错、参数自动调整,提升处理效率与精度,满足大规模、高频次环境监测需求。(2)高精度与高频次:发展超低轨卫星(150-300km轨道),其轨道高度低,可实现米级甚至亚米级分辨率,同时缩短重访周期至分钟级。能更精准捕捉细微环境变化,如小范围污染源扩散、短时强降雨引发的水体污染,为精细化环境管理与应急监测提供有力支撑。(3)服务下沉与普惠化:推动遥感技术从政府、企业等专业领域,向消费级场景延伸。开发轻量化、低成本的遥感应用产品,如个人地理信息查询、户外出行环境评估等,让遥感技术走进日常生活,实现更广泛的应用价值。

##### 结束语

遥感技术为环境科学与工程领域带来了前所未有的监测与分析能力,在大气、水、土壤及生态等多方面应用成效斐然,有力推动了环境问题的精准治理与生态保护。然而,数据标准化、复杂场景适应性及实时性等瓶颈仍待突破。未来,随着智能化、自动化、高精度高频次等发展趋势的推进,遥感技术将不断完善,更好地服务于环境科学研究与工程实践,为构建美丽地球家园提供坚实的技术支撑。

##### 参考文献

- [1]张歆,张澍.以白鹤滩水电站工程为例谈遥感技术在水土保持监测中的应用[J].中国防汛抗旱,2022,32(S1):65-68.
- [2]蔡奇.无人机遥感技术在测绘工程中的应用[J].工程建设与设计,2022,(23):167-169.
- [3]申继财,廖盛成.无人机遥感技术在矿区测绘工程中的应用[J].世界有色金属,2022,(22):40-42.
- [4]杨晓东.遥感与GIS技术在环境科学中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2022,3(15):68-70.
- [5]王琳,原凌飞.遥感技术在环境监测中的有效应用[J].科技风,2018,(34):129.