

# 区域生态环境监测体系构建与应用研究

刘龙龙 万艺芳

奎屯市环境保护监测站 新疆 奎屯 833200

**【摘要】**：区域生态环境监测是实施生态保护与修复的基础性工作，其监测体系的完备程度直接决定了生态环境管理的科学性和有效性。本文以新疆干旱区为研究对象，系统分析了当前生态环境监测体系在站点布局、数据整合、信息共享及技术手段等方面存在的结构性短板。针对区域生态系统的复杂性与敏感性，提出了“空天地一体化”多维监测网络的架构设计，融合物联网、遥感、无人机、地面自动站等多元技术手段，构建了涵盖数据采集、传输、存储、分析与决策支持的生态环境大数据平台。研究表明，通过优化监测站点布局、统一数据标准、构建生态安全预警模型，可显著提升区域生态环境的感知能力、响应速度与治理效能。本文结合新疆典型生态区的应用实践，验证了该监测体系在荒漠化监测、水资源管理及生态红线管控中的实际效果，为同类区域的生态环境监测体系建设提供了可复制的技术方案。

**【关键词】**：生态环境监测；多维监测体系；物联网；数据整合；新疆干旱区

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.075

## 1 引言

生态环境监测属于生态文明创建的根基支撑，是把握环境质量状况，预估生态危险，评判治理成果的关键途径。新疆位于我国西北干旱区，具有草原、荒漠、绿洲、湿地、冰川等众多生态系统类型，生态环境十分脆弱，对气候变化和人类活动的干扰非常敏感<sup>[1]</sup>。近几年来，伴随着西部大开发以及“一带一路”的持续推进，新疆地区经济社会发展迅速，但是水资源短缺、土地荒漠化、草地退化、生物多样性降低等问题也愈加严重。传统的生态环境监测依靠人工巡查、固定站点，存在着覆盖范围小、数据滞后、多源信息孤立等缺点，不能满足区域尺度生态安全精细化管理的要求<sup>[2]</sup>。

## 2 生态环境监测体系的发展现状与问题分析

### 2.1 新疆生态环境监测的已有基础

新疆目前已经初步建立起了覆盖大气、水、土壤、生态等要素的常规监测网。环保部门有国控、区控水质监测断面和空气自动站，林业和草原部门有荒漠化监测样地和草原地面观测点，水利部门有地下水监测井网和河流水文站，自然资源部门用卫星遥感定期开展土地利用调查<sup>[3]</sup>。这些监测资源在各自的领域里起到了重要的作用，形成了长时间序列的基础数据。但是各个部门的监测点存在重叠和空白并存的情况，数据标准不统一，信息共享壁垒严重，不能形成对区域生态环境的系统认识<sup>[4]</sup>。塔里木河流域虽然有很多水质监测断面，但是和地下水监测点、气象站的数据之间缺少了时空联系，不能准确地评价水土盐渍化之间的耦合状况<sup>[5]</sup>。

### 2.2 现行体系的核心短板

第一，监测站点分布不均。新疆面积 166 万平方公里，目

前监测站点主要分布在城市、绿洲和交通干线沿线，广袤的荒漠、戈壁和山区监测空白较多。由于其分布是点状的，所以不能对沙尘暴的来源、冰川退缩、野生动物迁徙等大尺度的生态过程进行有效的监测。第二，监测手段单一，技术集成度低。大多数站点仍然采用人工采样、实验室分析的方式进行监测，自动化、智能化程度较低，不能实现实时连续监测。在高海拔、无人区，由于数据获取频率低，一般以月或者季度为单位，远远落后于生态系统的变化。第三，缺少多源数据融合共享机制。遥感数据同地面实测数据、各个部门的监测数据缺少标准接口和交换协议，“信息孤岛”现象十分普遍，致使数据无法被综合分析。第四，生态安全预警能力弱。现有的监测多为现状描述、趋势统计，缺少以机理模型为基础的生态风险预测、早期预警，不能给应急决策提供前瞻性支持，具体如下表 1 所示。

表 1 新疆现行生态环境监测体系主要问题汇总

问题维度	具体表现	影响程度
站点布局	北密南疏、荒漠区空白、山区覆盖不足	高
监测手段	人工/离线为主，自动化率低	高
数据共享	部门壁垒、标准不一、信息孤岛	高
预警能力	缺乏预测模型，响应滞后	中
运维保障	无人区维护难，数据易断档	中

### 3 区域生态环境监测体系构建的总体框架

#### 3.1 体系设计原则与目标

建立新疆区域生态环境监测体系要遵循如下原则，一是系统性原则，把山水林田湖草沙看成一个生命共同体，统筹规划水、土、气、生等要素的监测；二是分层互补原则，形成天基卫星、空基无人机、地基自动站三级监测网络，实现宏观普查和微观定点相结合；三是智能化原则，用物联网、边缘计算、人工智能等技术提高数据采集、传输、处理的自动化程度；四是标准化原则，统一数据采集规范、传输协议、质量控制标准，保证数据可比、可融合、可追溯。

总体目标是经过3到5年的建设，创建起涵盖新疆主要生态功能区、空天地一体、数据实时共享、具备风险预警能力的生态环境监测体系，给生态保护红线监管、自然资源资产审计、生态补偿绩效评价和重大生态工程效果监测赋予技术支撑。

#### 3.2 “空天地一体化”监测网络架构

天基层（卫星遥感）利用高分系列、环境减灾、Landsat、Sentinel等卫星数据进行大范围土地覆被、植被指数（NDVI）、水体面积、积雪覆盖、荒漠化程度等指标的周期性监测。用时间序列分析法来研究生态格局变化的趋势，并找出突变热点区域。天基层检测频率由原来的每周一次提高到现在的一周两次，重点地区加密为三天一次。

空基层（无人机/有人机）是对卫星遥感分辨率低或者云层遮挡的区域进行精细化调查，使用多光谱、高光谱、热红外和激光雷达等传感器。无人机航测可以得到亚米级分辨率的植被结构参数（树高、冠幅）、土壤水分、微地形等信息，用来验证、校准卫星反演模型。对塔里木河下游的胡杨林保护区、天山雪岭云杉林等重要生态区实行无人机定时巡视。

地基层（地面自动监测站）是加密布置小型化、低功耗、多参数集成的地面自动监测站，每个站点可以同时采集空气温湿度、风速风向、降水量、太阳辐射、土壤水分/盐分、地下水位、水质常规指标等15项以上的参数。采用太阳能供电、4G/北斗双模通信，保证无电网覆盖的荒漠区也可以长期稳定工作。站点选址要覆盖不同的生态类型，优先布置在生态保护红线区、自然保护区、重要湿地和冰川末端。

#### 3.3 生态环境大数据平台架构

以云、边、端协同为架构，创建起统一的生态环境大数据平台。端侧即各种传感器和智能终端，完成数据采集和初步处理；边缘侧设在区域数据中心，做数据清洗、格式转换、异常值剔除、实时报警等工作；云侧为自治区级大数据中心，汇集全区监测数据，提供存储、计算、分析、可视化等服务。平台

数据层就是把卫星影像、无人机航片、地面站时序数据、社会统计资料等各种类型的生态数据库进行整合。

平台应用层开发以下功能模块，①生态状况综合评价模块，用主成分分析和层次分析法建立区域生态健康指数；②荒漠化动态监测模块，用像元二分模型提取植被覆盖度，计算荒漠化程度指数；③水资源—生态耦合分析模块，将水文、气象、植被数据结合起来，模拟生态需水和地表水—地下水转化；④生态红线预警模块，用机器学习算法对植被退化、土壤盐渍化、湖泊萎缩等风险做超前预警，预警信息通过手机APP和短信及时发送到管理人员手中。

### 4 关键技术及应用实现

#### 4.1 物联网边缘计算与低功耗广域网组网技术

偏远无人区蜂窝网络覆盖不全，用低功耗广域网络技术（LoRa、NB-IoT）建立自组织监测网络。每一个监测节点都会使用LoRa模块把数据传送到汇聚节点，汇聚节点之后会用北斗短报文或者4G回传到中心平台。该技术功耗极小，在太阳能供电的情况下节点可以工作一年以上。边缘计算技术把部分分析任务下放到网关或者传感器节点，现场计算土壤水分变化速率、识别异常波动等，只把重要的结果传送到中心服务器，大大减少数据传输量和中心服务器的负载。

#### 4.2 多源遥感数据融合与生态参数反演

为了解决新疆云覆盖频繁、单一遥感数据源时间分辨率低的问题，用多源数据融合的方法。采用MODIS（250m分辨率，每天一次）和Landsat（30m分辨率，16天一次）的时空自适应反射率融合模型（STARFM），得到高时间、高空间分辨率的地表反射率产品。在此基础上，反演植被指数（NDVI、EVI）、地表温度、土壤湿度和蒸散发量。草地生物量监测采用光学和雷达数据融合的方式，用支持向量机或者随机森林模型来估计地上生物量，精度可以达到85%以上。

#### 4.3 基于深度学习的地物分类与变化检测

高分遥感影像自动解译属于监测体系的重要部分。使用U-Net、DeepLab等深度学习语义分割模型，以新疆典型地物样本库为数据源，对耕地、林地、草地、水域、建设用地、荒漠、冰川等类型进行自动分类，分类总体精度大于90%。利用双时相影像变化检测网络可以快速发现违规占用草地、非法开垦、湖泊萎缩等违法或者生态退化事件，将疑似图斑推送给执法或者管理部门进行核查。

#### 4.4 生态安全预警模型构建

根据新疆主要生态风险，建立如下预警模型①荒漠化预警模型，用植被覆盖度、风蚀强度、土壤有机质含量等作为输入，

用逻辑回归法把风险区分为轻度、中度、重度、极重度四级,当监测指标连续两年恶化时启动黄色预警;②绿洲地下水安全预警模型,用地下水流数值模拟和神经网络预测地下水位下降速率,地下水位埋深超过生态警戒埋深(如胡杨林区5米)时发出红色预警;③草地退化预警模型,用植被指数时间序列识别生长季 NDVI 显著负向趋势的草场地块,结合载畜量数据发出超载预警。

## 5 应用成效与典型案例

### 5.1 塔里木河下游胡杨林保护区监测实例

在塔里木河下游喀尔曲杂断面布置6个地面自动监测站(间隔为10公里),观测地下水位、土壤水分、空气温湿度和水质,并且每季度做一次无人机高光谱航测(总面积为200平方公里)。经过连续两年的数据积累后可以发现距离河道500米以外的胡杨林地下水位年均下降0.35米,叶片含水量指数下降22%,属于橙色预警。因此水利部门及时调整了生态补水方案,加大了下游泄水流量,2025年胡杨林活力指数上升12%。该案例说明“空天地”监测系统可以及时发现生态退化初期的信号,给水资源调度、生态修复提供科学依据。

### 5.2 准噶尔盆地南缘荒漠化动态评估

利用2015年至2025年Landsat和MODIS融合数据,对准噶尔盆地南缘荒漠化程度做了动态分析。结果表明,近十年来该区域植被覆盖度总体呈弱增长趋势,但是克拉玛依油田作业区周边5公里范围内植被覆盖度下降7.2%,盐渍化面积增大12%。通过将监测结果与土地利用规划叠加,发现两处未

经审批占用草地的作业活动,已交由自然资源部门依法处理。该应用体现的是一个监测体系在执法监督、绩效考核方面起到的支撑作用。

### 5.3 天山北坡经济带生态红线智能监管

天山北坡经济带是乌鲁木齐、昌吉、石河子等城市分布地,生态保护红线与城镇开发边界存在矛盾。平台把高分遥感影像输入到变化检测模型当中,每个季度就会产生一份疑似违规图斑清单。2024年第三季度系统自动识别出三个在饮用水源保护区内的在建厂房,经过核实后及时制止,防止了水源污染的风险。智能监管提高了执法效率和威慑力,由原来的被动处理变为现在的主动发现。

## 6 结论

本文以新疆干旱区生态环境监测体系的建立和应用为研究对象,提出空天地一体化的监测网络架构,将卫星遥感、无人机巡检、地面自动站、物联网技术融合在一起,创建出大数据平台以及生态安全预警模型。经过实践证明,该体系可以较好地弥补传统监测的覆盖范围广、时效性差、集成度低等缺点,提高荒漠化跟踪、水资源生态调节、生态红线监管的精细化程度。为使该体系更进一步完善,可以从以下几个方面来推进工作开展,第一扩大监测站点密度,加快塔克拉玛干沙漠腹地、阿尔金山无人区等监测空白的填补工作,第二推动跨部门数据共享立法,创建生态环境大数据共享交换机制,第三加强基层技术人员培训,提高数据解译和设备维护能力,第四探索把监测数据同生态补偿、绿色GDP核算联系起来,发挥生态监测的经济杠杆作用。

## 参考文献:

- [1] 尤卫军,曹彦嵘,蒋晓彤,等.应用数据治理的生态环境监测系统研究[J].浙江工业大学学报,2024,52(6):633-640.
- [2] 高吉喜,万华伟,卢龙辉,等."五基"协同生物多样性监测技术体系构建研究[J].环境科学研究,2024,38(1):18.
- [3] 刘绍民,徐自为,黄晓东,等.极端生态环境水循环关键参量监测设备与物联网监测系统研制和示范[J].生态学报,2025,45(3):1251-1260.
- [4] 王婷,宋伟东,孙尚宇.基于新遥感生态指数环境质量动态监测——以阜新市为例[J].西北林学院学报,2024,39(3):205-211.
- [5] 王经宇,杨丽萍,王美,等.陕北黄土高原生态环境质量时空变化监测及驱动力分析[J].环境科学,2025(7):4522-4533.