

遥感测绘技术在区域生态环境水污染监测中的应用

刘红晓

洛阳市生态环境局偃师分局，河南洛阳，471000；

摘要：传统监测存在局限，为实现有效掌握区域生态环境中水体污染状况、助力精准治理以及为水污染监测提供科学、高效且全面的数据支撑，进而推动生态环境保护这一系列目标，本文聚焦遥感测绘技术在区域生态环境水污染监测中的应用且以太湖作为案例展开深入探讨。在探讨时先是对遥感光谱分析技术原理、数据采集与预处理、特征光谱提取分析以及水质参数反演模型建立等关键环节予以阐述，随后展示相应监测结果及分析，而研究结果显示遥感测绘技术确实克服了传统监测的局限，对区域生态环境中水污染监测有着重要意义。

关键词：遥感测绘技术；水污染监测；光谱分析；太湖；水质参数反演

DOI：10.69979/3060-8767.25.08.029

引言

区域生态环境的水污染问题日益严峻，使得精准且高效的监测手段已然成为治理的关键所在，可传统监测方式却因存在时空局限、成本较高等诸多不足，难以满足大面积、实时性的监测需求，进而急需一种更有效的监测手段。而遥感测绘技术凭借其远距离、大面积获取数据的优势在这样的情况下得以崭露头角，特别是我国太湖正面临着富营养化等亟待解决的水污染问题，迫切需要突破传统监测困境来全面、动态地掌握水体污染状况，以便为后续生态保护与治理工作提供有力支撑，所以对遥感测绘技术在太湖水污染监测方面展开研究有着重大的意义。

1 遥感测绘技术概述

遥感测绘技术作为一种远距离获取目标信息并进行测绘的先进技术手段，依托于卫星、飞机等多种遥感平台，通过搭载各类传感器，凭借物体对电磁波的反射、吸收、发射等特性差异，让传感器捕捉这些特征信息后转化为可识别的数据，以此能够大面积、快速地收集地表数据^[1]。在数据获取时，它能突破地理限制，获取人难以到达区域的数据。从功能层面来讲，其可用于地形地貌测绘、资源调查、生态环境监测等众多领域，比如在环境监测中，就可以及时发现水体污染、植被覆盖变化等情况，并且随着技术的不断发展，遥感测绘的分辨率持续提高、数据处理变得更为高效，从而正持续为各行业提供精准、可靠的基础数据支持^[2]。

2 案例介绍

以太湖为例，太湖地处长江三角洲的南缘，作为我国第三大淡水湖，其湖泊面积约2427.8平方公里，水域十分辽阔。然而近年来，太湖面临着较为严重的水污

染问题，像水体富营养化现象突出、蓝藻频繁爆发等情况较为常见，而传统的监测方式大多依靠人工定期采样检测，这种方式不仅耗时费力，而且很难做到对整个湖区进行实时、全面覆盖。不过在对太湖的生态环境监测中，遥感测绘技术发挥了重要作用，它借助卫星遥感平台，搭载高分辨率的光学传感器，以此能够周期性地获取太湖大面积水体的光谱数据，进而通过分析水体反射的光谱特征，去判断水体中叶绿素含量、悬浮物浓度等关键水质参数，最终及时且较为精准地掌握太湖不同区域的水污染状况，为后续治理提供有力的数据支撑。

3 遥感光谱分析技术在案例中的应用过程

3.1 光谱数据采集与预处理

首先，在数据采集环节，主要依托像高分一号卫星这类具备光学遥感能力的多颗卫星来作为数据采集平台，高分一号卫星的空间分辨率可达2米，凭借此分辨率能够清晰分辨太湖湖面的不同区域情况，且其重访周期为4天左右，依靠这样的重访周期可较为频繁地获取太湖水体的光谱影像，进而保证数据的时效性^[3]。同时在传感器方面，所搭载的多光谱传感器能够获取涵盖了从可见光到近红外波段（波段范围从0.45微米至0.85微米）的多个波段的数据，而不同波段对于水体中各类物质有着不同的响应特性，例如在蓝光波段（约0.45-0.52微米）对水体中的溶解性有机物较为敏感，红光波段（约0.63-0.69微米）可反映水体中叶绿素的相关情况，并且采集时将采集时间多设定集中在晴朗无云的天气条件下，具体是每天的上午10点至下午2点之间，因为此时太阳高度角合适，这样能最大程度减少大气散射等因素对光谱数据准确性的影响。每次采集还会覆盖太湖全湖区域，以此确保数据的完整性。

采集到的原始光谱数据往往存在诸多问题，需要进

行预处理，一是辐射定标，要通过将传感器记录的数字化值依据卫星提供的定标系数（如高分一号卫星的定标系数有着明确的数值范围）按照相应公式转换为对应的辐射亮度值，以此减少因传感器自身性能导致的数据偏差。二是大气校正，太湖地区大气状况复杂，受气溶胶、水汽等影响，需利用6S等大气辐射传输模型，输入当地的气象参数（如大气能见度、水汽含量等实测值）对大气影响进行校正，使得获取的光谱数据更真实地反映水体实际的光谱特征。另外是几何校正，要结合在太湖周边均匀选取的有着精确地理坐标的地面控制点，利用多项式拟合等方法，将遥感影像的几何位置与实际地理坐标进行精准匹配，消除因卫星姿态、地形起伏等带来的几何变形，从而确保后续分析的准确性，为进一步的特征光谱提取与水污染状况分析奠定坚实基础^[4]。

3.2 特征光谱提取与分析

首先，基于前期采集并预处理后的光谱数据，重点关注那些与水体污染相关物质有密切关联的特定波段范围，像对于反映水体中叶绿素含量这一关键水质指标，通常会聚焦于红光波段（约660-680纳米）和近红外波段（约700-750纳米），这是因为叶绿素对这两个波段的光吸收和反射特性有着明显的变化规律，即在红光波段有较强吸收，而在近红外波段呈现高反射，所以提取这两个波段的光谱数据能为后续分析叶绿素浓度提供基础依据^[5]。对于水体中的悬浮物而言，其在可见光波段（约400-700纳米）的反射率会随着悬浮物浓度的增加而升高，尤其是在绿光波段（约500-560纳米），悬浮物的散射作用更为显著，故而绿光波段的光谱数据提取至关重要。此外，溶解性有机碳（DOC）在紫外波段（约200-400纳米）有着独特的吸收特征，不过受大气吸收等因素影响，实际操作中更多参考可见光波段的部分特征变化，比如蓝光波段（约450-500纳米），其反射率会因DOC含量不同而有所差异，提取这部分光谱能辅助判断DOC的含量情况。接着利用主成分分析（PCA）等方法，从众多波段数据中筛选出最具代表性、能有效区分不同污染程度和类型的特征光谱，例如通过PCA分析太湖多次采集的数据，发现前三个主成分累计贡献率能达到85%以上，这意味着提取出的对应主成分所关联的光谱波段，可高度概括水体的光谱特征变化，进而为后续分析提供关键信息。

在分析阶段，一方面采用光谱匹配技术，将提取的太湖水体特征光谱与已知的标准光谱库中的各类水体光谱进行对比，比如把太湖不同区域提取的光谱与富营养化水体、清洁水体等标准光谱对比，通过计算光谱夹角、相关系数等参数来衡量相似程度，光谱夹角越小、

相关系数越高，表明水体特征越接近相应的标准类型。另一方面运用光谱导数分析方法，对特征光谱求一阶导数、二阶导数，来增强光谱曲线的细节特征，更敏锐地发现光谱变化的转折点等关键信息，以一阶导数为例，在水体中某种污染物浓度发生微小变化时，光谱一阶导数曲线在特定波段处的斜率会相应改变，通过分析这些斜率变化对应的波段位置及变化幅度，就能精确判断污染物浓度的增减情况，从而为太湖水体污染程度的量化评估以及污染区域的精准定位提供有力支撑，进而为后续的治理措施制定提供可靠的数据导向。

3.3 建立水质参数反演模型

针对太湖水体的实际情况，为了能精准地反映太湖水体受污染的程度以及富营养化水平等状况，选取了化学需氧量（COD）、总磷（TP）、总氮（TN）以及叶绿素a（Chl-a）等多个关键的水质参数进行反演建模。而为构建模型，一方面要收集大量通过遥感获取的经过采集、预处理以及特征光谱提取后的光谱数据，这些光谱数据涵盖了多个波段以及不同时间段、不同区域的太湖水体光谱信息，例如会采集太湖湖心区、沿岸带等不同位置，在连续三年内每月一次的光谱数据，且每次的数据包含从可见光到近红外的多个波段数据，进而形成一个庞大且具有代表性的光谱数据集。另一方面要同步结合通过在太湖湖面均匀布设多个采样点（像每隔5公里设置一个固定采样点），按照规范的分析方法测定各采样点处的COD、TP、TN和Chl-a等参数准确数值后所获取的水质参数实测值，以此确保样本数据中水质参数的准确性与可靠性，从而为后续模型构建提供坚实的基础。

在建模方法的选择上有多元线性回归（MLR）、偏最小二乘回归（PLSR）以及人工神经网络（ANN）等多种方法，以多元线性回归为例，假设水质参数（如COD）与多个光谱波段的反射率（设为 X_1 、 X_2 、 X_3 …… X_n ）存在线性关系，便可建立形如 $COD = \beta_0 + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \dots + \beta_n \times X_n$ 的模型，其中 β_0 为常数项， β_1 、 β_2 等为回归系数。接着通过对大量样本数据进行分析计算，利用最小二乘法等手段确定各回归系数的值，让模型预测值与实测值之间的误差平方和最小。比如在对太湖COD反演建模时，经过多次试验筛选出与COD相关性较高的5个光谱波段（如绿光波段、红光波段等）参与建模，最终得到的模型决定系数（ R^2 ）达到了0.75左右，表明模型对COD的解释能力较强，能较好地根据光谱数据反演其实际浓度。

而人工神经网络方法是构建具有输入层（输入光谱数据）、隐藏层（若干神经元节点，数量通过多次试验优化确定，如设置为10个左右）和输出层（输出水质

参数)的神经网络结构,设定合适的激活函数(如Sigmoid函数等),利用大量样本数据进行训练,通过不断调整网络节点间的连接权重,使得模型输出的水质参数值与实测值尽可能接近。以对太湖Chl-a的反演为例,经过训练优化后的神经网络模型,其均方根误差(RMSE)能控制在较低水平,比如RMSE约为0.05mg/L,说明模型反演精度较高,可有效反映太湖水体中叶绿素a的真实含量。为确保模型的准确性和泛化能力,采用交叉验证等方法对构建好的模型进行验证,例如将样本数据按照一定比例(如7:3)划分为训练集和验证集,用训练集构建模型后,用验证集进行检验,观察模型预测的水质参数与实际测量值之间的误差情况,若误差超出合理范围,重新调整模型参数、优化建模方法或者补充更多样本数据,不断完善模型,使其能更精准地应用于太湖水体各水质参数的反演,进而为太湖水污染的持续监测和有效治理提供可靠的技术支撑。

4 监测结果与分析

要为后续的治理决策提供依据,需要直观呈现太湖水体的污染分布情况以及整体水质状况,而借助建立的水质参数反演模型以及对太湖水体光谱数据的分析处理,便能获取关于太湖不同区域水体各项水质参数的监测结果以达成直观呈现相关情况的目的。不同的水质参数反映着不同方面的污染特征,像化学需氧量(COD)体现水体受有机物污染的程度、总磷(TP)和总氮(TN)含量高低关乎水体富营养化程度、叶绿素a(Chl-a)能反映浮游植物生长状况及水体营养水平,可依据不同区域各项水质参数的具体数值来分析污染状况。从表1来看,北岸沿岸带的化学需氧量达到30mg/L,高于湖心区的20mg/L,且南岸沿岸带COD为25mg/L也处于较高水平,表明沿岸带受到的有机物污染相对更严重,这或许是由于周边生活污水排放、工业活动等人为因素影响较多,也就意味着沿岸带存在相应的污染压力。再看表2,北岸沿岸带的叶绿素a的含量达到0.08mg/L,南岸为0.06mg/L,而湖心区仅0.03mg/L,即沿岸带叶绿素a的含量高于湖心区,意味着沿岸带浮游植物生长更为旺盛,水体富营养化程度相对更高,这很可能与沿岸流入的营养物质的径流等因素相关。

表1 太湖不同区域化学需氧量(COD)监测结果

区域	COD (mg/L)
湖心区	20
沿岸带(北岸)	30

沿岸带(南岸)	25
---------	----

表2 太湖不同区域叶绿素a(Chl-a)监测结果

区域	Chl-a (mg/L)
湖心区	0.03
沿岸带(北岸)	0.08
沿岸带(南岸)	0.06

5 总结

在区域生态环境水污染监测中,需要准确地获取水体污染信息,进而呈现出不同区域的污染程度与分布特点。然而传统监测方法却在监测范围、时效性等方面存在不足,迫切需要一种更有效的监测方式,而通过对太湖的案例能够知晓,遥感测绘技术可从光谱数据的采集、处理,再到特征光谱提取分析以及水质参数反演模型构建等一系列应用流程里,较为准确地获取前面所提及的水体污染信息等相关内容,并且它与传统监测方法相比,还拓展了监测范围、提升了时效性。由此可见,遥感测绘技术在区域生态环境水污染监测中发挥着不可替代的作用。

参考文献

- [1]张艳艳.试析环保新形势下的环境影响评价工作[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(01):88-90.
- [2]罗颖文.生态工业园区规划环境影响评价工作的实施策略探究[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(三).大连理工加华环境科技有限公司;2024:2.
- [3]陈平.探究环评工作在环境工程中的创新性作用及其应用[J].中国轮胎资源综合利用,2024,(11):87-89.
- [4]张小军.新时期环境影响评价工作存在的问题及优化分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(20):158-160.
- [5]刘海清.探究环评工作在环境工程中的创新性作用及其应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(27):214-216.

作者简介:刘红晓(1980—),女,汉族,河南洛阳人,本科,就职于洛阳市生态环境局偃师分局,中级职称,研究方向为环境工程。