

利用遥感技术进行湖泊水质动态变化监测分析

井 涛

连云港市环境监测监控中心 江苏 连云港 222000

摘要：本文探讨了利用遥感技术进行湖泊水质动态变化监测分析的方法与应用。首先介绍了遥感技术的基本原理及其在水质监测领域的优势，接着详细阐述了遥感数据获取与预处理、水质参数遥感反演模型构建等关键技术环节。通过案例分析，展示了遥感技术在湖泊水质动态变化监测中的具体应用过程与结果，包括不同时期水质参数的空间分布特征及变化趋势。最后对遥感技术在水质监测中的发展趋势进行了展望，旨在为湖泊水质的有效管理与保护提供科学依据和技术支持。

关键词：遥感技术；湖泊水质；动态变化监测；遥感反演模型

1 引言

随着城市化进程的加速、农业面源污染的加剧以及工业废水排放等因素的影响，湖泊水质面临着严重的威胁，水质恶化问题日益突出。准确、及时地掌握湖泊水质的动态变化情况，对于制定科学合理的水质保护与管理策略至关重要。传统的湖泊水质监测方法主要依赖于实地采样和实验室分析，这种方法虽然能够获得较为准确的水质数据，但存在监测范围有限、监测频率低、成本高以及无法及时反映水质空间分布和动态变化等缺点。遥感技术作为一种新兴的监测手段，具有覆盖范围广、获取信息快、实时性强、成本相对较低等优势，能够实现对湖泊水质的大范围、动态监测，为湖泊水质管理提供了有力的技术支持。

2 遥感技术在水质监测中的优势

遥感技术在水质监测中优势显著：其覆盖范围广，能在短时间内观测大面积区域获取湖泊及周边水质信息，克服传统实地采样监测范围有限的不足，适用于大型湖泊或流域监测；获取信息快，可实时或准实时获取影像数据，及时反映水质变化，为应对突发性水污染事件的应急决策提供快速准确信息支持；动态监测能力强，定期获取影像数据能对湖泊水质长期、连续动态监测，分析水质参数变化趋势，为研究水质演变规律提供丰富数据；且成本相对较低，相比传统方法无需大量人力、物力和财力投入实地采样与样品分析，能以较低成本实现大范围水质监测，性价比高。

3 遥感数据获取与预处理

3.1 遥感数据获取

选择合适的遥感数据源是进行湖泊水质遥感监测的关键。目前，常用的用于水质监测的遥感数据包括多光谱遥感数据和高光谱遥感数据。多光谱遥感数据具有多

个波段，能够提供丰富的地物信息，且数据获取相对容易、成本较低，如Landsat系列卫星数据、Sentinel-2卫星数据等。高光谱遥感数据则具有更高的光谱分辨率，能够更精确地捕捉地物的光谱特征，对于准确反演水质参数具有优势，但数据量较大、处理相对复杂，如Hyperion高光谱数据等^[1]。在选择遥感数据时，需要考虑湖泊的面积大小、监测精度要求、数据获取的难易程度以及成本等因素。对于大型湖泊，为了获取更详细的水质信息，可以结合使用多光谱和高光谱遥感数据；对于小型湖泊，多光谱遥感数据通常能够满足基本的监测需求。此外，还应关注遥感数据的成像时间，尽量选择在天气晴朗、无云或少云的情况下获取的数据，以减少云层等对数据质量的影响。

3.2 遥感数据预处理

遥感数据在获取过程中会受到多种因素的影响，如传感器误差、大气影响、几何畸变等，导致数据质量下降，影响后续的水质参数反演精度。因此，在进行水质参数反演之前，需要对遥感数据进行预处理，主要包括辐射校正、大气校正和几何校正等步骤。

3.2.1 辐射校正

辐射校正的目的是消除传感器本身产生的误差，将传感器记录的数字量化值（DN值）转换为地表实际的辐射亮度值。辐射校正包括传感器定标和辐射定标两个过程。传感器定标是确定传感器的响应函数，将DN值转换为辐射亮度值；辐射定标则是根据传感器的定标参数，将辐射亮度值转换为具有物理意义的辐射值。

3.2.2 大气校正

大气校正的主要作用是消除大气对太阳辐射和地表反射辐射的影响，获取地表真实的反射率信息。大气中的气体分子、气溶胶等会对电磁波产生吸收、散射和反

射作用，导致传感器接收到的信号与地表实际反射信号存在差异。常用的大气校正方法有6S模型、MODTRAN模型等，这些模型通过输入大气参数、气溶胶光学厚度等信息，对遥感数据进行大气校正处理。

3.2.3 几何校正

几何校正是为了消除遥感影像的几何畸变，使其具有正确的地理坐标和投影信息。几何畸变主要是由于传感器姿态、地球曲率、地形起伏等因素引起的。几何校正通常采用地面控制点（GCP）的方法，通过在影像上选取一些已知地理坐标的控制点，建立影像坐标与地理坐标之间的映射关系，对影像进行几何变换和重采样处理，使影像与实际地理空间位置相匹配。

4 水质参数遥感反演模型构建

4.1 水质参数与光谱特征的关系分析

水体中的主要水质参数包括叶绿素a浓度、悬浮物浓度和黄色物质浓度等。这些水质参数对水的光谱特性有着不同的影响。

4.1.1 叶绿素a

叶绿素a是浮游植物进行光合作用的重要色素，其浓度反映了水体中浮游植物的生物量。叶绿素a在蓝光（440nm左右）和红光（670nm左右）波段具有较强的吸收特性，同时在绿光（550nm左右）波段有一个反射峰^[2]。随着叶绿素a浓度的增加，水体在蓝光和红光波段的反射率降低，在绿光波段的反射率相对升高。

4.1.2 悬浮物

悬浮物是指水体中悬浮的泥沙、有机碎屑等颗粒物质。悬浮物对光的散射作用较强，随着悬浮物浓度的增加，水体在各个波段的反射率都会升高，尤其是在近红外波段（700-900nm）表现更为明显。

4.1.3 黄色物质

黄色物质是一类溶解于水中的有机物质，主要由腐殖质等组成。黄色物质在紫外和蓝光波段具有较强的吸收特性，随着黄色物质浓度的增加，水体在蓝光波段的反射率降低。

4.2 遥感反演模型构建方法

基于水质参数与光谱特征的关系，可以构建不同的遥感反演模型来估算水质参数的浓度。常用的遥感反演模型构建方法包括经验统计方法、半经验方法和物理模型方法。

4.2.1 经验统计方法

经验统计方法是通过对实地测量的水质参数数据和同步获取的遥感影像数据进行统计分析，建立水质参数与遥感影像波段或波段组合之间的统计关系模型。常用

的经验统计模型有一元线性回归模型、多元线性回归模型、非线性回归模型等。经验统计方法简单易行，但模型的通用性较差，只适用于与建模数据相似的区域和水质条件。

4.2.2 半经验方法

半经验方法是在经验统计方法的基础上，结合水体的光学性质和辐射传输理论，选择与水质参数相关性较强的波段或波段组合，构建半经验的反演模型。例如，基于叶绿素a在特定波段的光谱特征，构建归一化植被指数（NDVI）类似的水体指数，用于反演叶绿素a浓度。半经验方法在一定程度上提高了模型的通用性和准确性。

4.2.3 物理模型方法

物理模型方法是基于水体的辐射传输理论，考虑水体中各种成分对光的吸收和散射作用，建立精确的水体光学模型。通过求解辐射传输方程，反演水质参数的浓度^[3]。物理模型方法具有严格的物理基础，模型的通用性强，但模型复杂、计算量大，需要准确的水体光学参数和大气参数等信息。

4.3 模型精度验证

为了评估构建的遥感反演模型的准确性和可靠性，需要对模型进行精度验证。常用的模型精度验证方法是将实地测量的水质参数数据作为真实值，与模型反演得到的水质参数值进行对比分析，计算相关统计指标，如决定系数（R²）、均方根误差（RMSE）、平均相对误差（MRE）等。决定系数（R²）反映了模型反演值与实测值之间的拟合程度，其取值范围在0到1之间，越接近1表示模型的拟合效果越好^[4]。均方根误差（RMSE）和平均相对误差（MRE）则衡量了模型反演值与实测值之间的误差大小，RMSE和MRE越小，说明模型的精度越高。

5 实际案例分析

5.1 研究区域概况

选择某大型湖泊作为研究区域，该湖泊是当地重要的饮用水水源地和生态保护区。近年来，由于周边地区城市化进程加快和农业面源污染的影响，湖泊水质出现了一定程度的恶化。为了及时掌握湖泊水质的动态变化情况，采用遥感技术对该湖泊水质进行监测分析。

5.2 数据获取与处理

获取了研究区域在不同时期的Landsat8卫星多光谱遥感影像数据，成像时间分别为2020年5月、2021年8月和2022年10月。对获取的遥感影像数据进行辐射校正、大气校正和几何校正等预处理，得到地表反射率影像。同时，在研究区域内设置了多个采样点，进行实地水质采样和实验室分析，获取叶绿素a浓度、悬浮物浓度和黄色

物质浓度等水质参数的实测数据。

5.3 水质参数遥感反演

根据水质参数与光谱特征的关系分析,选择合适的波段或波段组合,分别构建叶绿素a浓度、悬浮物浓度和黄色物质浓度的遥感反演模型。采用经验统计方法和半经验方法构建模型,并通过实地实测数据对模型进行训练和优化。经过多次试验和比较,确定最优的反演模型。利用构建好的遥感反演模型,对预处理后的遥感影像进行水质参数反演,得到不同时期湖泊水质参数的空间分布图。从反演结果可以看出,叶绿素a浓度在湖泊的部分区域较高,主要分布在湖泊的入湖河口和富营养化较为严重的区域;悬浮物浓度在湖泊周边区域相对较高,与人类活动强度较大的区域相对应;黄色物质浓度在湖泊整体分布相对较为均匀,但在一些支流汇入处浓度略有升高。

5.4 水质动态变化分析

通过对不同时期湖泊水质参数的空间分布图进行对比分析,研究湖泊水质的动态变化情况。结果显示,从2020年到2022年,湖泊部分区域的叶绿素a浓度呈现上升趋势,表明湖泊富营养化程度有所加剧;悬浮物浓度在不同区域的变化情况有所不同,一些区域由于水土流失治理措施的实施,悬浮物浓度有所降低;黄色物质浓度整体变化不大,但在局部区域受到周边污染源的影响出现了一定程度的波动。

6 遥感技术在水质监测中的发展趋势

6.1 多源数据融合

随着遥感技术的不断发展,多种类型的遥感数据不断涌现,如光学遥感、雷达遥感、热红外遥感等。不同类型的遥感数据具有不同的特点和优势,将多源遥感数据进行融合,可以充分发挥各种数据的优势,提高水质监测的精度和可靠性。例如,光学遥感数据可以提供丰富的水体光谱信息,而雷达遥感数据不受云层和光照条件的影响,能够获取全天候的水体信息,将两者融合可以实现对湖泊水质的更准确监测。

6.2 高时空分辨率遥感数据的应用

目前,高时空分辨率遥感卫星不断发射升空,如国产的高分系列卫星等。高时空分辨率遥感数据能够提供更详细的地物信息和更及时的水质变化信息,有助于更精确地监测湖泊水质的动态变化。未来,随着高时空分辨率遥感数据的广泛应用,将能够实现对湖泊水质的小尺度、高频次监测,为湖泊水质管理提供更精细的支持。

6.3 与地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)的集成

将遥感技术与GIS和GPS技术集成,可以实现对湖泊水质信息的空间分析和动态管理。GIS技术能够对遥感反演得到的水质参数进行空间可视化表达、空间统计分析和空间模拟等,揭示水质参数的空间分布规律和变化趋势;GPS技术则可以准确采样点的地理位置信息,为遥感数据的几何校正和水质参数的空间定位提供精确的坐标参考。三者集成将形成一个强大的湖泊水质监测与管理系统,提高水质监测和管理的效率和水平。

6.4 人工智能技术在水质遥感反演中的应用

人工智能技术,如机器学习、深度学习等,具有强大的数据挖掘和模式识别能力。在水质遥感反演中,利用人工智能技术可以自动提取遥感影像中的水质特征信息,构建更准确、更复杂的水质参数反演模型。与传统的反演方法相比,人工智能技术能够更好地处理高维遥感数据和非线性关系,提高反演精度,为湖泊水质遥感监测带来新的发展机遇。

结语

本文探讨了利用遥感技术进行湖泊水质动态变化监测分析的方法与应用。通过介绍遥感技术的基本原理及其在水质监测中的优势,阐述了遥感数据获取与预处理、水质参数遥感反演模型构建等关键技术环节。实际案例分析表明,遥感技术能够实现对湖泊水质参数的大范围、快速、动态监测,准确反映水质参数的空间分布特征和变化趋势,为湖泊水质管理提供了重要的科学依据。随着遥感技术的不断发展,多源数据融合、高时空分辨率遥感数据应用、与GIS和GPS集成以及人工智能技术的应用等将成为未来湖泊水质遥感监测的发展趋势。这些新技术的应用将进一步提高湖泊水质监测的精度、效率和智能化水平,有助于更好地保护湖泊生态环境,保障水资源的可持续利用。在今后的研究和实践中,应不断探索和完善遥感技术在水质监测中的应用方法,加强技术创新和集成,为湖泊水质管理提供更加全面、准确、及时的技术支持。

参考文献

- [1]王思梦,秦伯强.湖泊水质参数遥感监测研究进展[J].环境科学,2023,44(03):1228-1243.
- [2]黄启会.基于遥感技术的湖泊水质叶绿素a浓度监测及富营养化评价研究[D].贵州师范大学,2019.
- [3]武飞.某湖泊关键水质参数遥感反演研究[J].水利科学与寒区工程,2025,8(04):82-85.
- [4]蒋永生.淮河流域主要调蓄湖泊水文演变及水质遥感研究[D].河南理工大学,2023.