

# 遥感技术在湖泊监测中的应用现状与发展趋势

李龙 咸义 段会波 王子兴\*

中交(天津)生态环保设计研究院有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i8.2792

**[摘要]** 随着遥感技术的持续进步,其在湖泊监测领域的应用范围逐渐扩大。本研究利用Citespace软件,对过去十年CNKI数据库中的相关文献进行了深入的可视化分析,全面梳理了遥感技术在湖泊监测领域的应用现状及其发展趋势。通过Citespace软件对文献的可视化处理,揭示了遥感技术在湖泊监测研究中的热点领域和动态变化。研究发现,遥感技术在湖泊监测中展现了数据源的多样化、技术方法的创新以及模型精度的不断提升等特征。尽管如此,遥感技术在湖泊监测应用中仍存在一些缺陷,本文据此提出了针对性的优化建议。本研究的成果为我国湖泊环境保护工作的推进和遥感技术的深入应用提供了重要的理论依据和实践指导。

**[关键词]** 遥感技术; 湖泊; Citespace; 可视化分析; 发展趋势

**中图分类号:** TP7 **文献标识码:** A

## Application status and development trend of remote sensing technology in lake monitoring

Long Li Yi Xian Huibo Duan Zixing Wang\*

CCCC (Tianjin) Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co., Ltd.

**[Abstract]** With the continuous development of remote sensing technology, its application in lake monitoring has been gradually expanded. In this study, Citespace software was used to conduct an in-depth visual analysis on relevant literature from CNKI database over the past decade, and comprehensively sorted out the current status and development trend of remote sensing technology in lake monitoring. Through the visualization processing of literature by Citespace software, this study revealed the hot areas and dynamic changes of remote sensing technology in lake monitoring research. It is found that remote sensing technology in lake monitoring shows characteristics such as diversification of data sources, innovation of technical methods and improvement of model accuracy. Nevertheless, there are still some shortcomings in the application of remote sensing technology in lake monitoring. Based on this, this paper puts forward corresponding optimization suggestions. The results of this study provide important theoretical basis and practical guidance for promoting the environmental protection of lakes in China and further application of remote sensing technology.

**[Key words]** Remote sensing technology; Lake; Citespace; Visual analysis; Development trend

湖泊,作为生态系统中的重要组成部分,不仅为人类提供了宝贵的淡水资源,还承担着调蓄水源、调节气候、净化水质、维持生物多样性等生态服务功能。然而,随着工业化和城市化的快速发展,湖泊环境问题日益突出,如水体富营养化、重金属沉积、面积缩减等,这些问题严重威胁着湖泊生态系统的健康和功能发挥<sup>[1]</sup>。因此,湖泊环境的监测和评估对制定科学合理的湖泊保护与管理策略至关重要。

传统的湖泊监测方法主要依赖于地面采样和实验室分析,这些方法虽然能够提供详细的水质参数,但存在明显的局限性,如监测范围有限、成本高昂、周期较长、难以实现实时动态监

测等<sup>[2]</sup>。相比之下,遥感技术作为一种新兴的监测手段,以其宏观、快速、动态、低成本的优势,为湖泊监测提供了全新的解决方案。遥感技术能够从空中对湖泊进行大范围、周期性的观测,获取湖泊面积、水质、水温、流速等多种信息,为湖泊环境监测和管理提供了强有力的技术支持<sup>[3]</sup>。

近年来,随着遥感技术的不断进步,尤其是高分辨率遥感数据的普及和多源遥感数据融合技术的发展,遥感在湖泊监测中的应用越来越广泛,研究深度和广度也在不断拓展。然而,遥感技术在湖泊监测中的应用也面临着一系列挑战,如数据处理的复杂性、模型精度和适用性等问题。

本文通过运用Citespace软件,对近十年来CNKI数据库中关于遥感技术在湖泊监测领域的文献进行可视化分析,旨在揭示遥感技术在湖泊监测中的应用现状、研究热点和发展趋势。

通过对遥感技术在湖泊监测中的应用现状进行深入分析,本文旨在为湖泊环境保护和管理提供科学依据,为遥感技术在湖泊监测中的进一步应用提供理论参考。此外,本文还探讨了遥感技术在湖泊监测中的优势与不足,以及未来可能的发展方向,以期推动遥感技术在湖泊监测领域的深入研究和应用。

## 1 研究方法与数据来源

为探究遥感技术在湖泊环境监测与保护领域的热点问题及未来发展趋势,本研究采用Citespace 6.3.R1软件对相关文献进行了深入分析与讨论。研究资料来源于中国知网(CNKI),通过设定“湖泊”和“遥感”作为关键词,检索了2014年9月1日至2024年9月30日期间的文献。筛选过程中,专注于北大核心、CSCD和EI收录库中的文献,最终确定了555篇有效文献作为研究样本。

Citespace软件可视化分析能够有效地揭示某一领域的研究热点和发展趋势。通过关键词共现网络,分析遥感技术在湖泊监测领域的研究热点;通过时区视图,观察关键词随时间的变化,揭示研究的发展趋势;对关键词进行聚类,归纳出主要的研究领域和方向。其他图片根据CNKI或Citespace统计数据,利用OriginPro 2019进行绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 CNKI年度发文量趋势

科研论文的发表数量是衡量一个研究领域发展水平和研究热度的直观指标。图1显示,自2014年起,关于遥感技术应用于湖泊监测的论文仅有15篇。然而,到了2015年,出现了显著的跃升,这与我国自党的十八大以来大力推动的“生态文明建设”战略密切相关。该战略的实施显著提升了社会各界对环境保护与可持续发展的重视程度,进而促进了相关研究的深入与发展。

2019年后,遥感技术在湖泊监测与管理领域的发文量呈现出爆发式的增长态势,标志着相关研究进入了快速发展阶段。此后,发文量虽有波动,但仍维持较高水平。

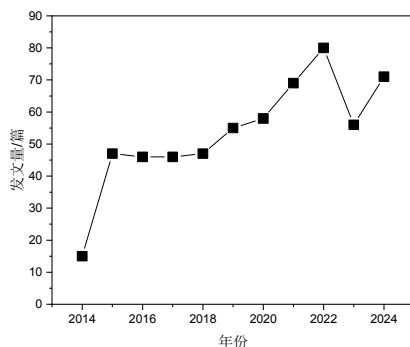


图1 CNKI年度发文情况

### 2.2 主要研究机构

在过去的十年里,我国科研机构在湖泊遥感监测研究领域取得了显著成果。图2显示,中国科学院南京地理与湖泊研究所和中国科学院大学在该领域的研究最为活跃,二者通过深入研究和创新实践,推动了我国湖泊遥感监测技术的不断发展。

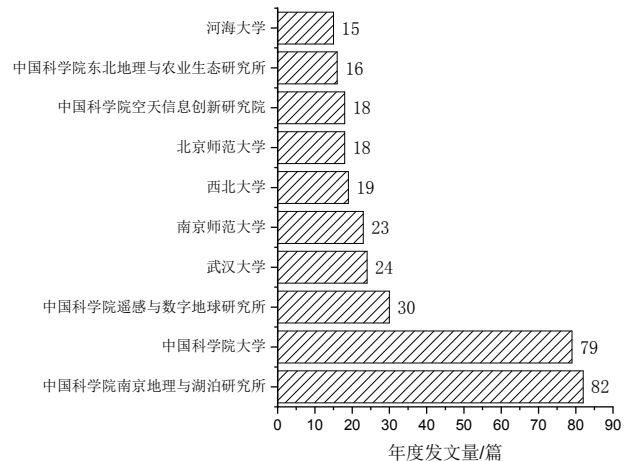


图2 年度发文Top10的机构

中国科学院遥感与数字地球研究所位列第三。此外,武汉大学、北京师范大学等高校也积极参与了湖泊遥感监测的研究工作,发表了一定数量的论文。这些研究成果不仅丰富了我国的科学知识体系,也为湖泊资源的保护和管理提供了有力的技术支持。

### 2.3 主要研究学科与期刊来源

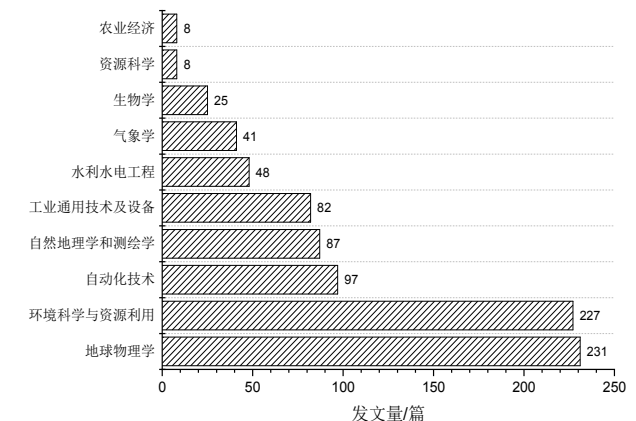


图3 主要学科领域发文情况

图3显示,相关论文在不同学科领域的发表分布情况呈现出一定的集中趋势。其中,地球物理学和环境科学与资源利用两个学科的发文数量尤为突出,占比分别达到41.6%和40.9%,合计达到82.5%,证实了遥感技术在湖泊水文、岸线变化和生态环境监测方面的充分应用,也反映了该领域研究的热点和重点所在。排在第三名的自动化技术虽然发文量断崖式降低(97篇),但仍然

显示了其在湖泊遥感数据自动化提取方面的重要作用。自然地理学和测绘学也具有较高的发文量(87篇), 强调了地理空间信息获取与处理技术在湖泊面积、水位、岸线、水文循环等大尺度监测中的应用价值。工业通用技术及设备、水利水电工程以及气象学等学科也有一定数量的论文发表, 分别为82篇、48篇和41篇, 监测设备的升级为湖泊遥感的实际应用提供了技术和理论支持。

湖泊遥感监测领域的学术论文主要集中在几个核心期刊上。其中, “湖泊科学” 发表了大量关于湖泊遥感监测的研究成果。“遥感学报” 和 “国土资源遥感” 也是该领域的重要期刊, 分别从遥感和资源管理的角度探讨了湖泊监测的相关技术与应用。

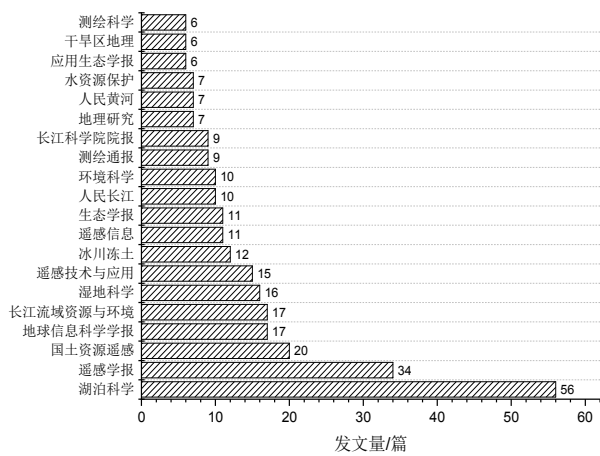


图4 主要期刊发文量

此外, 值得注意的是, “湿地科学” 期刊也刊登了相当数量的湖泊遥感监测相关论文, 这反映出学术界对湖泊湿地生态系统研究的重视。湿地作为重要的自然资源, 其健康状况对于生态环境的保护具有重要意义。因此, 通过遥感技术对湿地进行监测和分析, 成为了当前科学研究的热点之一。

### 3 湖泊遥感监测相关研究热点和趋势分析

湖泊遥感监测是湖泊科学和遥感科学的重要交叉领域, 近年来发展迅速, 研究热点频出, 发展趋势转变较快。

#### 3.1 研究热点

湖泊遥感监测作为湖泊科学与遥感科学的交叉研究领域, 其近年来的快速发展伴随着研究热点的频繁出现以及趋势转变。在2014-2024年, 七个关键词在每年的提及频率呈现出不同趋势(表1)。

关键词的强度和持续时间反映了它们在学术界的重要性和关注度, 分布在近期的关键词比分布在较早的关键词具有更高的前沿代表性。2015年, “遥感技术” 在湖泊环境监测和资源管理中的应用可能导致了这一关键词的频繁提及。“水体面积” 研究始于2018年, 并在之后的几年中有所上升, 这可能与

全球气候变化对水资源影响的研究增多有关, 反映了学术界和公众对湖泊面积、水位、蓄水量和流域水文过程等方面的关注。

表1 最常引用的7个关键词

序	关键词	年	强度	开始	终止	2014 - 2024
1	湖泊	2015	2.87	2015	2017	
2	遥感监测	2015	2.69	2017	2018	
3	水体面积	2018	2.56	2018	2019	
4	高光谱	2020	3.32	2020	2021	
5	岱海	2021	3.04	2021	2022	
6	水生植被	2021	3.04	2021	2022	
7	卫星遥感	2019	3	2022	2024	

“高光谱” 在2020年达到了提及的高峰, 关键词强度最高, 充分说明了该技术的关键性和重要性。高光谱遥感技术通过提供丰富的光谱信息, 能够识别和分类湖泊信息, 用于反演水质情况<sup>[4]</sup>, 其光谱分辨率远高于多光谱遥感。随着传感器技术的提升和无人机技术的飞跃, 目前的无人机高光谱技术可以提供更多波段的数据, 从而提高了解译地物信息的准确性。高光谱遥感技术已经被广泛应用于农业、林业、地质、环境监测、城市规划等多个领域。技术成熟后, 其关注点发生了转移。

“岱海” 和 “水生植被” 两个关键词在2021年达到了提及的顶峰, 但随后迅速减少。这种短期内的波动可能是由特定研究项目或事件驱动的, 一旦这些因素不再显著, 提及频率也随之降低。

#### 3.2 发展趋势分析

表1关键词引用的变化明确了各时期相关研究热点的变化。选取前20%高被引的关键词进行聚类。关键词时间线图谱表明, 在湖泊遥感监测领域, 数据源的多样化、技术创新、模型精度的提高、应用领域的拓展以及服务平台的建设是当前研究的主要发展趋势(图5)。

图5显示, 湖泊遥感监测领域的研究热点在时间和空间上呈现一定的分布特征。从时间上看, 不同的年份有不同的研究重点。例如, 在2014年和2015年, 关注于水资源、叶绿素a和水体透明度等基本参数的监测, 研究相对单一。到了2020年和2024年, 研究焦点逐渐转向了气候变化、大数据分析和生态系统服务等方面, 研究范围变得比较全面。在技术层面, 随着时间的推

移,越来越多的数据源被用于湖泊遥感监测研究中。例如,“Landsat”、“Sentinel-2”等卫星影像数据逐渐成为主流,而“Google Earth Engine”作为一个强大的数据处理和分析平台,也受到了广泛关注。此外,还有其他一些特定的传感器或数据集如“MODIS”、“GOCI”等也被提及。

从空间上看,研究热点也呈现出了明显的地域性。比如,鄱阳湖作为我国最大的淡水湖之一,其遥感监测一直是研究的热点地区。此外,太湖、巢湖等大型湖泊也是关注的重点。这种现象可能与区域经济带来的湖泊污染有关<sup>[5]</sup>,同时也说明了遥感技术在湖泊资源管理和环境保护方面的重要作用。

“气候变化”作为最突出的研究主题,其影响贯穿整个时间段,且热度持续攀升。这反映出全球变暖背景下,科学家对气候与环境变化关系的深入探究,以及对于湖泊生态系统响应机制的关注。

“湿地”、“遥感影像”和“遥感技术”等词汇的上升趋势,揭示了遥感技术在湖泊监测中的应用日益广泛,从传统的地面观测转向更为高效的空中遥感,大幅提升了数据获取的速度和精度。此外,随着科技的进步,湖泊面积、水质、浮游植物、湖冰物候特征等“时空变化”成为了另一个备受瞩目的研究方向,研究者们试图通过分析长时间序列的数据,揭示湖泊环境的动态演化规律。“干旱”问题在近年来的凸显,可能与极端天气事件的增多有关,这也促使科研人员加强对湖泊水资源的保护和合理利用的研究。因此,根据图5可以预测未来的研究发展趋势可能在以下几个方面:

(1) 数据源的多样化和集成。随着科技的进步,越来越多的新型传感器和数据源将被应用于湖泊遥感监测领域。例如,高分辨率光学卫星、雷达卫星以及无人机等都将为湖泊监测提供丰富的数据支持<sup>[6]</sup>。同时,多源数据的融合和处理也将成为未来的一个重要发展方向。通过整合来自不同渠道的数据,可以提高监测结果的准确性和可靠性,从而更好地服务于湖泊资源的保护和利用。

(2) 模型和算法的不断优化。为了进一步提高湖泊遥感监测的精度和效率,学者们将持续研究和改进相关的数学模型和算法<sup>[7]</sup>。借助机器学习、深度学习等尖端人工智能技术,湖泊监测的效率和精度将大幅提升。这一转变,从传统的统计模型跃迁至深度学习架构,极大提高了遥感数据分析的效能和精确度。伴随着算法的持续优化和计算力的增强,神经网络在处理海量的遥感数据、挖掘湖泊的复杂特征、执行水质参数的智能反演,以及预测生态环境变化等方面将得到更广泛的应用,从而推进湖泊遥感监测向自动化、智能化和高精度的方向迅猛发展<sup>[8]</sup>。此外,实时监测与预警系统的构建也将变为现实,为管理部门提供即时的湖泊环境动态信息,助力其及时制定并实施有效的管理策略。

(3) 服务平台的构建和完善。为了满足日益增长的数据处理和分析需求,构建和完善湖泊遥感监测服务平台势在必行。这个平台应具备强大的数据处理能力、友好的用户界面以及完善的安全保障体系等特点<sup>[9]</sup>。通过这个平台,科研人员可以方便地进行数据共享、协作研究和成果发布等工作。

#### 4 技术应用现状和存在不足

遥感技术能够覆盖广泛的区域,提供周期性监测,以较低的成本获取大范围的数据,包括物理、化学和生物数据<sup>[10]</sup>。遥感技术通过多光谱、高光谱和多时相数据,能够深入分析湖泊的物理和化学特性,为环境管理和科学研究提供丰富的信息资源。同时,遥感监测的快速响应能力和环境无破坏性特点,使其可能在湖泊突发污染事件和自然灾害应对中发挥关键作用。结合地理信息系统(Geographic Information System, GIS)数据的综合分析,遥感技术为湖泊管理者提供了全面、实时的决策支持,显著提升了湖泊监测的效率和精度。

遥感技术在湖泊监测中也暴露出一些劣势,这些劣势在一定程度上限制了其应用的范围和效果。首先,空间分辨率的限制是遥感技术在湖泊监测中的一个主要劣势。现有的遥感卫星传感器往往有其固有的空间分辨率限制。例如,遥感图像的分辨率通常不足以捕捉湖泊中的细微特征,如水华的精确边界、小型污染源的位置或者湖泊底质的变化;对于湖泊边缘地带的植被覆盖、人类活动影响等细节,低分辨率数据难以提供足够的信息;遥感传感器能够捕捉的光谱波段有限,这限制了识别湖泊中不同水质参数的能力,如叶绿素、悬浮物、溶解有机物等。这对于需要高精度监测的应用场景来说,可能难以满足需求。

其次,遥感影像的质量受天气条件影响较大。云层、雨雾等天气现象会遮挡卫星传感器对地面的观测,导致遥感影像的清晰度下降,甚至无法获取有效的数据。例如,大气中的水汽、云层、气溶胶等因素会影响遥感信号,导致数据失真。这种情况在多云多雨的地区尤为常见,直接影响了监测结果的准确性。

第三,数据处理过程的复杂性要求专业知识和技能,提高了遥感技术应用的门槛。遥感数据需要经过预处理、大气校正、图像增强、分类等多个步骤,每一步都可能引入误差。这对于一些缺乏相关专业人员的机构来说,是一个不小的挑战。

最后,遥感技术应用成本较高。例如,高分辨率遥感数据的获取成本较高,可能限制其在长期或大规模湖泊监测中的应用;遥感监测需要专业的设备和软件,以及经过培训的专业人员,这对资源有限的监测机构构成挑战。

此外,反演模型的局限性也是遥感技术在湖泊监测中的一个问题。现有的反演模型往往针对特定的湖泊环境或特定的参数设计,其普适性和准确性有待提高,限制了遥感技术在某些湖泊环境特征监测中的应用,尤其是在复杂湖泊环境中。

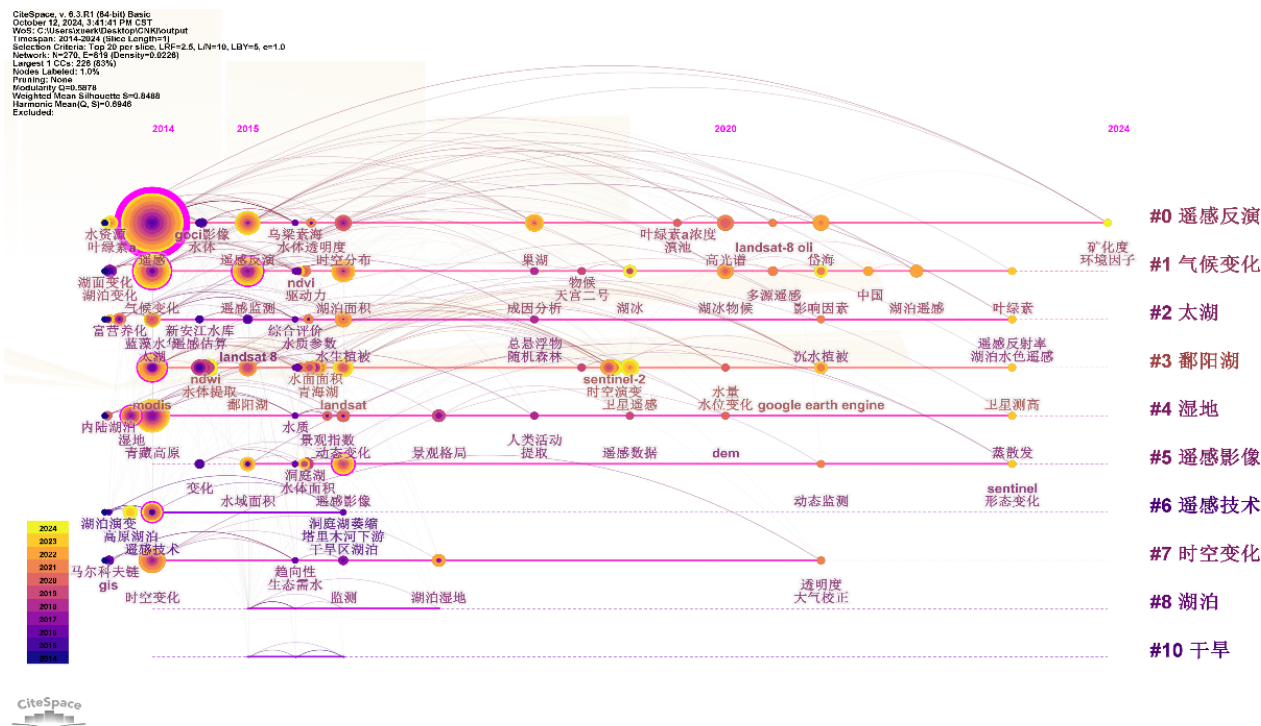


图 5 关键词时间线图

遥感监测的实时性也存在不足,数据获取和处理的时间延迟限制了其在紧急情况下的应用。例如,在湖泊发生突发性污染事件时,快速响应和实时监测是至关重要的。然而,遥感技术由于其数据获取和处理周期较长,可能无法满足紧急情况下的实时监测需求。

为了克服这些劣势,以下是一些可能的解决方案和改进方向:

(1) 开发更高空间分辨率的遥感传感器,以满足高精度监测的需求。同时,可以通过多源遥感数据的融合,提高监测的分辨率和准确性<sup>[11]</sup>。

(2) 研究和开发更加先进的遥感影像预处理技术,以减少天气条件对遥感数据质量的影响。例如,可以利用机器学习算法对云遮挡的影像或复杂数据进行修复与分析。

(3) 加强反演模型的研究,提高模型的普适性和准确性。可以通过跨学科合作,结合地面实测数据和遥感数据,共同开发和验证模型。

(4) 探索实时遥感监测技术,如利用无人机进行快速数据采集,结合移动数据处理平台,实现快速响应和实时监测<sup>[12]</sup>。

### 5 结论

遥感技术在湖泊监测中展现出巨大潜力,已成为湖泊环境监测与保护的重要工具。通过对近十年来相关文献的可视化分

析,发现其应用领域广泛,研究热点集中在水质、水温、冰情、岸线、植被覆盖和土地利用变化等方面,并呈现数据源多样化、技术方法创新、模型精度提升等发展趋势。然而,数据获取和处理受天气影响大、数据处理过程复杂、应用成本高、反演模型局限性、实时性不足等问题也制约着遥感技术的发展。未来,通过提升数据获取能力、改进数据处理技术、发展反演模型和探索实时监测技术等优化措施,遥感技术将更好地服务于湖泊环境保护和管理,为建设美丽中国贡献力量。

### 【参考文献】

[1] 崔键,杜易,丁程成,等.中国湖泊水体磷的赋存形态及污染治理措施进展[J].生态环境学报,2022,31(03):621-33.

[2] 刘哲,张宁,彭定华,等.水生态监测方法研究进展及在黄河流域的应用实践[J].中国环境监测,2022,38(01):58-71.

[3] 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):1228-43.

[4] 黄宇,陈兴海,刘业林,等.基于无人机高光谱成像技术的河湖水质参数反演[J].人民长江,2020,51(03):205-12.

[5] 张百川,张扬,李政,等.湖泊流域水环境-经济系统耦合模拟方法研究[J].北京大学学报(自然科学版),2022,58(5):937-48.

[6] 李旭文,张悦,侍昊,等.基于哨兵-3A卫星OLCI数据的最大叶绿素指数在太湖蓝藻水华监测中的应用[J].中国环境监测,2019,

35(03):146-55.

[7]杨胜天,鱼京善,娄和震,等.遥感水文模型研究综述[J].地理学报,2023,78(07):1691-702.

[8]王鹏.基于机器学习的湖泊溶解氧反演与预测模型研究[D].山东:山东农业大学,2024.

[9]张迪,嵇晓燕,官正宇,等.滇池流域水环境综合管理技术支撑平台构建研究[J].中国环境监测,2016,32(06):118-22.

[10]Kaplan G,Yalcinkaya F,Altioek E,et al.The role of remote sensing in the evolution of water pollution detection and monitoring: A comprehensive review[J].Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C,2024,136:103712.

[11]刘惠,周亚东,何报寅,等.长江经济带湖泊水下地形的热红外遥感反演——以武汉市东湖为例[J].华中师范大学学报(自然科学版),2019,53(05):765-72.

[12]朱泓,王金亮,程峰,等.滇中湖泊流域生态环境质量监测与评价[J].应用生态学报,2020,31(04):1289-97.

**作者简介:**

李龙(1983--),男,吉林省四平市人,学士,高级工程师,主要从事水文水资源技术开发。

**\*通讯作者:**

王子兴。