

# 高光谱遥感技术在水环境监测中的应用

钟文起

(广西玉翔检测技术有限公司, 广西 玉林 537000)

**摘要** 高光谱遥感技术在水环境监测中发挥着重要作用。环境监测部门及研究人员通过成像光谱仪获取的高光谱遥感数据, 可以实现对地球表面上水体的精确探测、感知与识别。高光谱遥感数据具有高光谱分辨率、波段多、图谱合一等特点, 能够捕捉地物间细微的光谱差异, 弥补了传统多光谱遥感的不足。本文首先介绍了水环境监测的重要性, 其次对高光谱遥感技术进行了概述, 最后重点探讨了高光谱遥感技术在水环境监测中的应用策略, 以供相关人员参考。

**关键词** 高光谱遥感技术; 水环境监测; 水华监测; 水灾害监测

**中图分类号**: X83; TP7

**文献标志码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)08-0061-03

水环境监测是指借助生物技术、物理技术、化学技术等手段和相应设备, 对水资源指标进行监测, 并监测各种天然和人为因素对水资源环境的影响。相比于传统的多光谱遥感技术, 高光谱遥感数据具有更高的光谱分辨率和波段数量, 能够捕捉地物间细微的光谱差异, 为水环境监测提供了更丰富的信息。由此可见, 高光谱遥感技术对于保障水资源的质量、保护人们的身体健康、提高居民的生活品质具有重要意义。

## 1 水环境监测的重要性

水环境监测是综合监测地下水、地表水和降水等各种水资源的工作。环境监测部门通过综合运用生物技术、物理技术、化学技术等多种方法, 并借助先进的仪器设备, 对水环境中的各种关键指标进行综合评价, 实现了对流域内水环境的全面监测。水质监测资料的改变通常标志着水体环境受到一定程度的污染或扰动, 因此水环境监测至关重要。首先, 持续进行水质监控有助于保障水源水质, 减少水质污染对人类健康的威胁; 其次, 及时了解水质状况能够帮助有关部门迅速采取控制措施, 防止污染继续蔓延; 同时, 精确的水质监测数据也为水环境的保护与管理提供科学有效的决策依据。

## 2 高光谱遥感技术的概述和优势

### 2.1 高光谱遥感技术概述

#### 2.1.1 高光谱遥感技术的成像原理

高光谱遥感技术的关键在于利用图像分光光度计进行光谱测量。采用成像光谱仪时, 技术人员可以获得目标在推扫方向上的二维空间像和一维光谱信息。

在这一过程中形成的三维数据立方体见图 1。为了有效检测、感知和识别地面目标, 相关研究者提出了一种基于多维物理和化学信息的新方法<sup>[1]</sup>。高光谱遥感的最大特征是其高光谱分辨率和丰富的波段信息, 能够进行多波段融合。这一特点使得高光谱遥感可以更好地捕捉地物间的光谱差异, 有效弥补了由于光谱分辨率的限制而导致的信息缺失。然而, 高光谱遥感影像也面临着数据冗余、相邻波段间高关联、影像处理复杂等新问题。

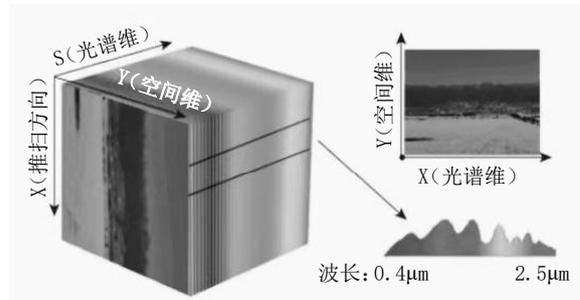


图 1 高光谱成像示意图

#### 2.1.2 高光谱遥感重点技术分析

1. 高光谱数据降维技术。高光谱数据的降维包括两个主要方面。首先, 通过特征抽取技术, 将地物或地物的子空间转化为地物, 以实现降维的目标; 其次, 对光谱特征进行有选择地保留, 进行光谱特征的综合处理和增强, 以减少光谱维度, 从而实现对高维信息的高效表达与处理。研究人员以小波分析为基础, 对高光谱遥感影像进行特征提取。此外, 波段选择问题实质上是一类组合最优问题, 其核心是确定和评价目标函数。

2. 水体高光谱遥感精细识别技术。高光谱遥感以其窄而连续的光谱信息,为获取高精度的光谱数据奠定了基础。针对水体目标的复杂多变特征,研究人员利用高光谱遥感获取的丰富光谱信息,可有效解决水体目标的准确识别问题。在此基础上,充分挖掘地物的光谱、纹理等特征信息,还能提升地物分类的准确性与可信度。

### 2.1.3 高光谱遥感数据

目前,超光谱图像数据大致可以分为两类:具有图像信息和没有图像信息。某项研究对来自美国 AVIRIS、加拿大 CASI、芬兰 AISA、中国 PHI、OMIS 和 SEAWIFS 等多个来源的数据进行深入挖掘。除此之外,研究人员还重点研究了非成像光谱仪。无影像光谱仪是一种地基光谱测量仪器,它不直接采集图像,而是以非图像形式采集和存储数据,比如原位光谱仪和便携式高光谱光谱仪<sup>[2]</sup>。另外,有研究团队将 GRE-1500 便携式高光谱光谱仪应用于太湖水质的监测中。

## 2.2 高光谱遥感技术在水环境监测中的应用优势

鉴于遥感技术具有高效、经济、广泛覆盖、信息丰富等优势,有关部门利用面向对象的高光谱数据处理方法,对水体图像的光谱、灰度等关键特征进行深入分析和提取。这种方法不仅能够精准提取水中各种组分的光谱特征,从而显著提高了反演的精度,而且还能够实现藻类、海藻类和水生植物的高效识别。高光谱遥感技术在水环境监测中的应用优势具体如下:

1. 基于国产高分二号多光谱遥感数据,成功解决了水体与自然植被在色彩上的相似性带来的水体判读困难,显著降低了误判的可能性。

2. 采用归一化差别水体指标和密度分段技术,综合考虑各种污染等级水体的颜色、色度等特性,准确地揭示了水体的污染等级和分布范围。

3. 在国产 HJ-1A 高光谱遥感数据的基础上,深入分析矿区地表地物的光谱特性,并对其进行了降维和重建,以实现低维遥感影像的有效表达。

4. 利用 HJ-1A 遥感图像,采用水体指数归一化差分法,对矿区水体进行深入分析。实验结果表明,该方法在总体分类精度、绘制精度和用户识别精度等方面都取得了显著提高。基于极大似然分类的有监督分类算法,在整体分类准确率、用户识别准确率和 Kappa 系数等方面都取得了重要突破。

## 3 水环境监测中高光谱遥感技术的应用

目前,世界上许多水域都面临着严重的水环境问题,特别是部分内陆湖、水库等水域,藻华暴发、富

营养化频发。在这种情况下,利用大范围、实时监测水体状况的遥感技术,已经成为目前水体生态环境监测的重要手段。近年来,多个国际合作小组在国内典型内陆水域开展了一系列光谱观测实验,他们发现不同组分在光谱特性上具有明显的不同。但是,目前高光谱遥感技术在光谱分辨率方面还存在不足,所选取的波段很难准确地与“峰或谷”相对应,从而导致反演精度下降。高光谱遥感技术具有极高的光谱分辨率,可为研究水体组成提供更为丰富的信息。

### 3.1 水华监测

有关部门利用遥感手段,可以大范围、实时地观测藻华,从而更好地理解水体中藻类的时空分布及演化规律。这一手段为我国蓝藻水华的防治提供了有价值的支撑。尽管基于多波段遥感数据构建的植被指数阈值法可以在某种程度上将藻种和其他水体组分区别开来,但难以准确区分不同种藻种。

研究人员以蓝藻水华为研究对象,基于 630 nm、650 nm 等特有的光谱特性,结合光谱比、波峰波谷等参数,建立高分辨率遥感反演模型。然而,现有的遥感技术面临着光谱分辨率不足、光谱信息难以获取等问题,制约着反演精度与可靠性的提高<sup>[3]</sup>。高光谱遥感因其高分辨率、高信息量的特点,可以获取更多的水体组分信息。研究人员选取与水体特征波段相近的光谱片段,建立相应的数学模型,从而达到高精度、高可靠性的蓝藻水华监测。他们前期通过高分辨率红外卫星 HypsIRI 在平托湖范围内开展了蓝藻暴发过程的监测,结果表明,该区域的水华呈现出显著的季节性波动。

在另一项研究中,研究人员利用卫星、航空和地基多源资料,综合评估了 HypsIRI 卫星对加利福尼亚近海大型海藻生物量和生理状况的监控能力。研究表明,HypsIRI 算法在精度上明显优于常规多波段遥感图像。近年来,随着科学技术的不断发展,国内的高光谱遥感技术也取得了迅速的进展。通过利用高分五号和欧比特卫星,研究人员在太湖、巢湖和洞庭湖等大型湖泊进行了高精度的水华生长和消退探测,并取得了较好的效果。然而,现有遥感技术在空间分辨率方面仍有待提高,很难满足对小型湖泊、水库等小型水体蓝藻水华监测的需求。此外,一些商业卫星遥感资料的可获取性较差,这也限制了人类对藻华的整体认识和有效应对。

### 3.2 藻类群落与水生植物的监测

蓝藻暴发是导致水华暴发的重要原因,因此对其

进行有效监测可以提高预测预警的准确性。然而,陆地水体具有丰富的组分和生物多样性,不同种类之间的光谱特征存在明显差异,这导致多光谱遥感能够利用的波段数目有限,难以准确识别水体中的各类要素。对此,研究人员充分发挥高光谱遥感在分辨率上的优势,实现对藻类、水草等水生生物的光谱提取。他们通过建立藻类、水草等的监测模型,对其进行实时、动态的监控,可以更好地把握水生态环境的变化。近几年来,随着无人飞行器的快速发展与普及,基于高光谱图像的无人飞行器成为水环境监测的主要手段。目前,国内知名企业如中科普光、航天宏图等也已将该方法用于水环境的实时监测。

此外,研究人员还通过精细的高光谱影像与实测的光谱数据进行比较,揭示了高光谱遥感在大范围尺度上的应用价值<sup>[4]</sup>。他们利用无人机搭载的高光谱遥感技术,实现了对水体淹水植被的实时、多时间、高分辨率的高效监测,并成功实现了对水体中的藻类、水淹植被的精确、动态监测。在太湖监测区,综合运用高分辨率光谱(ASD)观测资料,对太湖水环境中浮游藻类及可溶性有机物(CDOM)的时空分布特征及变异特征进行系统研究。在前期研究的基础上,研究人员通过耦合内禀光学参数,采用了基于叶绿素荧光光谱和 CDOM 的遥感反演方法,提高遥感监测的准确性和时效性,以达到高精度、高分辨率的监测目标。同时还在持续关注蓝藻水华的基础上,将研究范围扩展到中国近海的其他典型藻种,通过对海藻的荧光、吸收、反射等光谱特性进行系统研究,揭示海藻光谱特性之间的内在联系和规律。

### 3.3 水华与水草的识别

由于水华和水草的光谱特征相似,因此,多波段遥感在识别这两者时会受到较大影响,导致分区精度出现较大误差。在实际监测中,藻细胞的准确识别是评价水环境质量的前提,直接影响后续分析结果的精度和可信度。鉴于此,高光谱遥感技术具备较强的识别能力,能够更好地反映水体中藻类、水生植物等的特征。研究人员在太湖研究区域,利用高分辨率光谱技术展开对蓝藻及不同类型藻种的精细高光谱遥感识别工作。采用光谱学方法,对典型水体中典型藻类和藻类的光谱特性进行精细表征。随后,再利用这些特性,将构建谱指数和鉴别矩阵,并对其进行严格的检验,以评估其识别效果。尽管现场实验能够提供更直接、更准确的藻类水华资料,但是其操作繁琐、工作量大、研究范围有限。

在太湖研究区内,研究人员主要以叶绿素 a 为特征参量,结合蓝藻蛋白组学技术,建立藻类的精确识别模型,同时结合多源高分辨率遥感资料,将构建太湖水华植被的时空分布格局,并对植被提取精度进行评估,为提高水华植被监测与管理水平提供科学依据。

### 3.4 高光谱遥感在水灾害监测方面的应用

洪涝灾害遥感的核心问题是及时准确地把握洪涝灾害发生的范围、深度和历时。近年来,高光谱遥感技术应用作为一个重要研究方向逐渐发展壮大。虽然该方法具有较低的光谱分辨率和不连续的特征,但在水淹埋区精细分析中具有广阔的应用前景。相较于多光谱、雷达等方法,高光谱遥感能够有效弥补现有方法的不足,进一步提升水淹区监测的精度<sup>[5]</sup>。我国 EO-1 系列超高分辨率遥感技术的逐步推广,显著提升了我国应对洪涝等自然灾害的能力。例如,在我国辽东湾海域内,研究人员借助高光谱遥感影像,建立了适用于海洋环境的地表倾角计算方法,以期通过这些方法实现对洪水、海啸等灾害的快速准确提取与分类,从而为防灾减灾提供重要的理论与技术支持。

## 4 结束语

高光谱遥感技术以其独特的光谱分辨率和丰富的光谱信息,克服了传统多光谱遥感在水环境监测中的局限性,提高了监测的精度和效率,在水环境监测方面呈现出显著的应用优势。通过降维技术、精细识别技术以及与其他遥感数据的融合应用,高光谱遥感技术能够对水体的高光谱数据获取和分析,以实现水体污染、水华、藻类群落以及水草等目标的精准监测和识别,为水环境保护和治理提供了科学有效的数据支持。

### 参考文献:

- [1] 陈向进. 水环境监测中遥感技术的作用及应用策略探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 04(22): 27-29.
- [2] 张建国, 鲁佳, 蔡厚安, 等. 高光谱遥感技术在大冶地区水环境监测中的应用 [J]. 矿产勘查, 2023, 14(03): 471-479.
- [3] 李志远. 水环境监测中遥感技术的作用及应用策略分析 [J]. 清洗世界, 2023, 39(03): 155-157.
- [4] 刘富平. 高光谱遥感在铁矿区水环境监测中的应用研究 [J]. 山西化工, 2022, 42(02): 340-341, 344.
- [5] 冯天时, 庞治国, 江威, 等. 高光谱遥感技术及其水利应用进展 [J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(09): 1646-1661.