

# 海洋高光谱遥感研究进展 \*

## RESEARCH PROGRESS OF MARINE HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING

韩震<sup>1,2</sup> 陈西庆<sup>1</sup> 恽才兴<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

(<sup>2</sup> 山东科技大学地球信息科学与工程学院 泰安 271019)

中图分类号 P714+.3 文献标识码 A 文章编号 1000-3096(2003)01-0022-04

海洋遥感是 20 世纪后期海洋科学取得重大进展的关键技术之一。所谓海洋遥感就是利用电磁波与大气和海洋的相互作用原理,从各种平台观测和研究海洋的一项技术<sup>[1]</sup>。海洋遥感具有观测周期短,时间频率高的优势,可实现大面积、实时、同步、连续而密集的海洋探测,较好地适应了海洋各种现象和过程的特点。随着光电子技术和计算机技术水平的提高,遥感传感器的技术性能不断提高。高光谱遥感(Hyperspectral remote sensing)是当前遥感技术的前沿领域,它是指利用很多很窄的电磁波波段从感兴趣的物体获得有关数据<sup>[2]</sup>,它包含了丰富的空间、辐射和光谱三重信息。高光谱遥感的出现是遥感界的一场革命,它使本来在宽波段遥感中不可探测的物质,在高光谱遥感中能被探测,高光谱遥感在海洋生态环境、海岸带监测与管理等海洋科学领域应用前景将十分广阔。

### 1 海洋高光谱的特点

#### 1.1 成像光谱仪

成像光谱仪是一种传感器,它可在可见光、近红外、中红外和热红外波段获得大量窄波段连续光谱图像数据,而每个像元具有几乎连续的光谱数据<sup>[3]</sup>。

---

\* 国家 863 计划项目(AA630301)子课题“多源信息(遥感、非遥感)融合技术与方法及海岸带专题信息提取技术方法”。

第一作者:韩震,出生于 1969 年,副教授,目前为华东师范大学河口海岸国家重点实验室在职博士生,主要从事遥感和地理信息系统等方面教学和研究。E-mail: hanzhen@mail.china.com

收稿日期:2001-11-29;修回日期:2002-04-09

1983年,美国成功地进行了世界上第一次机载成像光谱仪(AIS)飞行试验,它以推扫式二维面阵列成像,该高光谱分辨率传感器的问世正式标志着高光谱遥感的出现。1987年,第二代高光谱成像仪航空可见光、红外光谱成像仪(AVRIS)试验成功,它以扫描式线阵列成像。美国研制的高光谱数字图像实验仪(HYDICE)1996年投入使用,它用CCD推扫式技术成像。中等分辨率成像光谱仪(MODIS)也已于1999年底发射升空,它以扫描式线阵列成像,而高光谱成像光谱仪(HIRIS)、高光谱成像仪(Hyperion)、先进的陆地成像仪(ALI)等高光谱传感器也即将升空,海洋主要的成像光谱仪和主要的野外光谱辐射仪如表1、表2所示<sup>[2-4]</sup>。

## 1.2 海洋遥感

海洋遥感以光谱能量为载体,传递海水水体介

质和能量的存在形式和变化的信息。海洋遥感的主要内容有:海岸带的环境监测与管理及海岛测绘;海洋水色监测;海洋动力与环境要素监测。海岸带环境监测与管理主要包括:海岸线及其演变、滩涂和岛滩地形地貌、沿岸工程环境等。海洋水色探测主要包括:海洋碳通量的研究,认识其控制机理和变化规律,例如全球海洋初级生产力计算模型的研究;海洋生态系统与混合层物理性质的关系研究,例如海洋水色卫星的数据验证某些数据模型所预测的浮游植物分布的真实性。海洋动力与环境要素研究主要包括:海面风场、浪场、流场、潮汐、锋面等的研究<sup>[5,6]</sup>。

## 1.3 海洋高光谱信息

在海洋遥感中,其光谱信息取决于多种物质的复杂集合体,它包括纯水、无机盐、溶解的有机物质、浮游植物、碎屑、矿物性悬浮体等。各种信息重叠干扰,

表1 海洋主要成像光谱仪(据 Kramer 1994, 宫鹏等 1996)

| 传感器                        | 英文缩写                | 波段数 | 光谱范围<br>(nm)   | 波段宽度<br>(nm) | 日期      | 国家 |
|----------------------------|---------------------|-----|----------------|--------------|---------|----|
| 航空可见光/红外<br>光成像光谱仪         | AVRIS               | 224 | 380 ~ 2 500    | 9.7 ~ 12.0   | 始于1987年 | 美国 |
|                            |                     | 32  | 400 ~ 1 010    | 10 ~ 16      |         |    |
| 数字式航空成像<br>光谱仪-7915        | DAIS-7915           | 8   | 1 500 ~ 1 788  | 36           | 始于1993年 | 美国 |
|                            |                     | 32  | 1 970 ~ 2 450  | 36           |         |    |
|                            |                     | 1   | 3 000 ~ 5 000  | 2 000        |         |    |
|                            |                     | 6   | 8 700 ~ 12 700 | 600          |         |    |
| 计算机化组元变<br>量干扰滤波器成<br>像光谱仪 | C <sub>2</sub> MFIS | 96  | 420 ~ 870      | 10           | 始于1994年 | 美国 |
|                            |                     | 76  | 400 ~ 1 000    | 8            |         |    |
| 数字式航空成像<br>光谱仪-16115       | DAIS-16115          | 32  | 1 000 ~ 1 800  | 25           | 始于1994年 | 美国 |
|                            |                     | 32  | 2 000 ~ 2 500  | 16           |         |    |
|                            |                     | 6   | 3 000 ~ 5 000  | 333          |         |    |
|                            |                     | 12  | 8 000 ~ 12 000 | 333          |         |    |
|                            |                     | 2   | 400 ~ 1 000    | 立体           |         |    |
| 航空模拟仪器中<br>等分辨率成像光<br>谱仪   | MAS-MODIS           | 50  | 547 ~ 14 521   | 31 ~ 517     | 始于1992年 | 美国 |
| 反射光学系统成<br>像光谱仪            | ROSIS               | 84  | 430 ~ 830      | 4 ~ 12       | 始于1993年 | 德国 |
| 中等分辨率成像<br>光谱仪             | MODIS               | 36  | 620 ~ 876      | 250          | 始于1999年 | 美国 |
|                            |                     |     | 459 ~ 2 135    | 500          |         |    |
|                            |                     |     | 405 ~ 14 385   | 1 000        |         |    |

表 2 主要野外光谱辐射仪( Milton 等 1995 年)

| 光谱仪                          | 光谱范围( nm)   | 波段数      | 光谱分辨率( nm) |
|------------------------------|-------------|----------|------------|
| Spectral SE590 <sup>TM</sup> | 370 ~ 1 110 | 252      | 11         |
| ASD PS II <sup>TM</sup>      | 350 ~ 1 050 | 512      | 3          |
| GER 1500 <sup>TM</sup>       | 300 ~ 1 100 | 512      | 3          |
| ASD Field Spec               | 325 ~ 1 075 | 512      | 3.5        |
| LI1800 PS <sup>TM</sup>      | 300 ~ 1 100 | 138, 134 | 4, 6       |
| S2000 <sup>TM</sup>          | 200 ~ 1 100 | 366      | 0.3 ~ 10   |

造成各种目标物成分的反射模型及其光谱曲线不同, 呈现随机性, 物质和能量解释具有不确定性和时空的可变性。在利用遥感数据提取光谱知识时, 既不可能逐个定量地考虑这些因素, 也无法为其产生的综合效果建立整体分析模型, 因此如何确定海水光谱信息中不同成分的贡献率就显得尤其重要, 而海洋高光谱特性的研究, 可以获得目标物的诊断性光谱特性, 实现遥感信息模型参数或条件约束的确定。例如, Richardson 利用 AVIRIS 和野外光谱仪 (SE590 便携式光谱仪), 在美国加利福尼亚旧金山南湾进行了海水中藻类光合作用相关色素的研究, 研究结果表明, 从旧金山南湾盐池测定的光谱可以用来探测藻类、光合作用相关色素, 并可以和其它类似盐池光谱提取的结果作比较<sup>[7]</sup>。赵冬至等人利用安徽光机所生产的 VF921 - B 地物光谱仪(光谱分辨率优于 5.4nm), 对辽河原油、0#轻柴油和润滑油进行了测量, 揭示了三者之间的光谱特征, 以及随厚度的变化规律, 油水的反差等关系, 为监测海面溢油、估算油膜厚度、鉴别油种提供了依据<sup>[8]</sup>。

高光谱遥感数据波段众多, 数据量庞大, 它包括空间图像维信息、光谱维信息和特征空间维信息。它是一个光谱图像的立方体, 该立方体可由数百幅空间复合的图像组成, 立方体中的每一个像元就是一个观察量, 它代表了像元所对应的空间范围内各种物质的反射能谱, 每一像元覆盖的空间可能包括几种不同物质, 每种物质具有特定的光谱信息, 观测矢量可被每种物质的特定光谱信息所影响。观测矢量  $r(x, y)$  可用线性模式描述:

$$r(x, y) = m\alpha(x, y) + n(x, y)$$

其中  $(x, y)$  是像元的空间位置,  $m = (u_1, \dots, u_i, \dots, u_{p-1}, d)$  是具有线性独立组分的矩阵, 其中  $d$  是我们感兴趣的信息,  $\alpha(x, y)$  是一个矢量, 它的第  $i$  个元素代表了像元中第  $i$  个信息分量,  $n(x, y)$  是一个代表随机噪声的矢量<sup>[9]</sup>。

高光谱数据最主要的特点就是将图像维信息和

光谱维信息融为一体, 在获取地表空间图像信息的同时, 得到每个地物的连续光谱信息, 从而实现依据地物光谱特征的地物成分信息的反演与地物的识别。

高光谱信息的研究方法包括: (1) 用光谱仪测定实际光谱; (2) 用理论公式推导目标物理理想光谱值; (3) 通过影像分析确定波段的对应值。在研究过程中要考虑到大气散射、地形、太阳高度角和视角等外界因素的影响<sup>[10]</sup>。

## 2 海洋高光谱研究的技术方法

遥感技术水平的提高, 尤其是遥感量化的研究, 对光谱特性的研究要求越来越高, 从早期使用的气象卫星 AVHRR 数据、CZCS 数据, 到现在的 Sea WiFs 数据和 MODIS 数据, 获取的目标物信息越来越丰富, 而遥感信息的提取、解译、计算机模式的建立及检验, 都要以海洋高光谱特性为基础。目前主要采用的技术方法有以下几种<sup>[2, 4, 9, 11]</sup>。

### 2.1 光谱吸收指数法

任一光谱吸收特征可由光谱吸收谷点与光谱吸收两个肩部组成。光谱吸收指数可表达为:

$$SAI = [\bar{d}\omega_{s_1} + (1 - \bar{d})\omega_{s_2}] / \omega_m$$

$\bar{\omega}$  为平均单次散射反射率;  $s_1, s_2$  为光谱吸收曲线的两个肩部;  $m$  为光谱吸收曲线的谷点;  $d$  为吸收的对称性参数, 得到一系列典型吸收特征的 SAI 图像后, 可用最小二乘法反演各种目标物的光谱混合成分的含量。

### 2.2 光谱微分技术

它主要是对反射光谱进行数学模拟和计算不同阶数的微分来确定光谱弯曲点及最大、最小反射率的波长位置。一阶、二阶微分光谱的近似计算方法如下:

$$\dot{\rho}(\lambda) = [\rho(\lambda + \Delta\lambda) - \rho(\lambda - \Delta\lambda)] / 2\Delta\lambda$$

$$\rho''(\lambda) = [\rho(\lambda_{i+1}) - 2\rho(\lambda) + \rho(\lambda_{i-1})] / \Delta\lambda^2$$

$\lambda$  为每个波段的波长,  $\rho'(\lambda)$ ,  $\rho''(\lambda)$  分别为  $\lambda$  的一阶和二阶微分光谱,  $\Delta\lambda$  是波长  $\lambda_{i-1}$  到  $\lambda$  的间隔。

这种光谱的  $n$  阶导数实质上表达了目标物吸收波形的变化, 是这些吸收物的丰度与状态的光谱指标。

$$\cos(s_1, s_2) = \int s_1(\lambda) s_2(\lambda) d\lambda / \left[ \int s_1(\lambda)^2 d\lambda \right]^{1/2} \left[ \int s_2(\lambda)^2 d\lambda \right]^{1/2}$$

$s_1, s_2$  为两个像元的光谱值。

## 2.4 光谱分类技术

光谱分类技术方法很多, 主要有最大似然分类法、人工神经网络分类法等, 下面笔者主要介绍一种正交子空间投影法, 其基本原理是把某个像元矢量投影到一个正交于不期望存在的信号的子空间上, 通过正交子空间投影抗干扰, 增大信噪比, 正交子空间投影分类算法可以提供  $K$  个感兴趣信号, 同时维数减少到  $K$  维, 并把高光谱图像进行了分类。该方法可用于纯光谱像元和混合像元。正交子空间投影分类算子为:

$q^T = d^T p$  其中  $p = (1 - UU^*)$   
 $d$  为感兴趣的信号;  $p$  为最优抗干扰矩阵;  
 $U^* = (U^T - U)^{-1} U^T$  是  $U$  的伪逆矩阵, 其中  $U$  是我们不感兴趣的信号。

此外, 还有多元统计分析方法、模型方法等, 例如多元统计分析方法就是以光谱数据或它们的变换形式作为自变量, 其它参数作为因变量, 建立多元统计回归模型。

## 3 展望

海洋遥感在海洋学研究、航海、渔业以及海洋资源的开发与管理等方面进行了广泛的应用。高光谱遥感技术是未来海洋遥感发展的重要方向。通过高光谱特性的研究, 可更准确地了解海洋光谱结构, 识别海水中不同物质成份的光谱特征, 掌握近岸水域光学参数的分布变化规律, 为海洋遥感应用和海洋光学遥感器评价提供可靠的依据<sup>[12]</sup>。

## 2.3 光谱匹配技术

它主要是通过计算景物光谱 (像元光谱、测试光谱) 和参考光谱 (实验室或已知像元光谱) 在不同光谱位置 (波段波长位置) 的交叉相关系数, 得到它们的相似性, 用光谱匹配来突出感兴趣的光谱特征, 其相似程度指标可用夹角余弦来表示:

## 参考文献

- 1 冯士筌. 海洋科学导论. 北京: 高等教育出版社, 1999. 397- 398
- 2 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用. 北京: 高等教育出版社, 2000. 3- 110
- 3 Thomas M, Ralph W. Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons, Inc. 2000. 363- 364
- 4 Milton E J, Rollin E. M, Emery D R. Advances in field spectroscopy. In: Mark Danson F, Plummer S E. Advances in Environment remote Sensing. [SI]: Wiley, 1995. 9- 13
- 5 李四海. 海洋水色卫星遥感研究与进展. 地球科学进展, 2000, 15 (2): 190- 196
- 6 朱君艳. 海洋遥感的研究进展. 浙江海洋学院学报, 2000, 19(1): 77- 80
- 7 Richardson L L, et al. The detection of algal photosynthetic accessory pigments using airborne visible - infrared imaging spectrometer spectral data. Marine Technology Society Journal, 1994, 28(3): 10- 21
- 8 赵冬至. 海面溢油的可见光波段地物光谱遥感技术应用. 遥感技术与应用, 2000, 15(3): 160- 164
- 9 谢红接, 徐梅译. 高光谱图像的分类和维数减少. 国外铀金地质, 1996, 13 (3): 260- 266
- 10 周成虎. 遥感影像地学理解与分析. 北京: 科学出版社, 2001. 41- 42
- 11 王晋年. 以地物识别和分类为目标的高光谱数据挖掘. 中国图像图形学报, 1999, 4(11): 957- 964
- 12 李 武. 海洋光学遥感与海洋高光谱特性研究. 海洋技术, 1997, 16 (3): 12- 16

(本文编辑: 李本川)