航空高光谱技术在海洋环境 监测中的应用进展



中国海监北海航空支队





- 一、北海航空支队概况
- 二、装备与传感器
- 三、业务应用进展
- 四、应用展望

一、北海航空支队概况

国家海洋局第一航空遥感队成立于1986年2月1日,是经总参、空军、 民航总局批准,负责我国北海及海岸带上空执行海洋综合管理任务的飞行 业务单位。1999年更名为"中国海监北海航空支队"。

依照有关法律和规定,对我国管辖北海海域(包括海岸带)实施巡 航监视,查处侵犯海洋权益、违法使用海域、损害海洋环境与资源、破坏 海上设施、扰乱海上秩序等违法违规行为,并根据委托或授权进行其他海 上执法工作。

管辖区域及机场分布

- 青岛沧口机场
- 烟台莱山机场
- 天津滨海国际机场
- 中信海直天津塘沽机场
- 秦皇岛山海关机场
- 大连周水子国际机场
- 备用机场:青岛流亭机场



装备与传感器

2架固定翼飞机·3架直升机



Y12: 翼展19.2米; 实用升限7000米; 续航能力5.25小时

九五"863"课题引进成像光谱仪(PHI)



推帚扫描视场 (TFOV)	21°
瞬时视场(IFOV)	≤1.5mrad
光谱范围	420-850nm
光谱分辨率	≤ 5nm
最高扫描率	50frame/s
信噪比	>500
记录波段	124/246
GPS定位数据接口	具备同步采集GPS定位数据 接口

AISA EAGLE II 技术指标

- 光谱范围: 400-970nm
- 波段数: 512
- 光谱分辨率: 1nm
- 扫描视场角: 37°
- 行像元数: 1024
- 数据位数: 12bit





数据处理设备及软件

- 图形工作站
 声像编辑系统
 宽幅打印机
- 宽幅扫描仪
- ERDAS
- ArcGIS
- ENVI
- TerraSolid
- LiDARPro (武大)



三、业务应用进展

"九五"期间,在863课题"赤潮航空高光谱遥感监测技术研究"的支持下,中国海监飞机装备了124/246波段的成像 光谱仪PHI,并在渤海海区开展了实验飞行,获取了90GB的海 洋高光谱数据,开展了基于航空高光谱数据的赤潮发生检测、 优势种类识别等探索性研究。

"十五"期间,进一步发展了基于航空高光谱数据在海冰监测和海岸侵蚀监测方面的研究。

"十一五"期间,引进了芬兰成像光谱仪AISA EGALE II, 又发展了航空高光谱数据在溢油监测中的应用研究。

我国海域赤潮污染 是一个日趋严峻的问题, 是我国海洋环境保护和 整治管理重点对象之一, 其危害十分深远,有毒 赤潮或可直接致人死命, 或可通过其毒素转入水 产品而使人中毒,严重 者死亡。



赤潮水体与正常水 体的地物光谱曲线形状 在**700nm**左右有所不同, 差异表现在是否存在中 心波长大于**685nm**的荧 光峰,即赤潮水体的特 征反射峰。





丹麦细柱藻赤潮水体遥感反射率曲线





海洋褐胞藻赤潮水体遥感反射率曲线





夜光藻赤潮水体遥感反射率曲线

(1) 赤潮检测

依据获得的赤潮生物光谱曲线,确定光谱曲线的极值点,并通 过与非赤潮海水光谱的吸收峰和反射峰的比较,结合光谱数据的其 它数值特征实现敏感波段的选择,并对赤潮敏感波段进行组合判别, 从而实现赤潮发现的自动检测。

光谱微分法

波段梯度法

基于航空高光谱影像数字量化值波段比方法 基于相对反射率的赤潮发生检测方法



光谱曲线视窗



2001.8.12 辽东湾鲅鱼圈

2001.8.25 辽东湾鲅鱼圈





2003/07/07赤潮检测结果





2010年6月 航空高光谱图像的赤潮检测个例

(2) 赤潮优势藻种高精度识别方法

基于光谱角度分析(SAM)法 基于支持向量机(SVM)模型 基于色度学的赤潮优势种识别方法 基于固有光学性质的赤潮优势种识别方法



丹麦细柱藻 聚生角毛藻 中肋骨条藻 红色中缢虫 海洋褐胞藻 中肋骨条藻 夜光藻

基于支持向量机的赤潮优势种识别方法

待识别为夜光藻时SVM识别结果

待识别藻种编号	个例1	个例2	个例3	个例4
识别结果	夜光藻	夜光藻	夜光藻	夜光藻
	正确	正确	正确	正确

待识别为丹麦细柱藻时SVM识别结果

待识别藻种编号	个例1	个例2	个例3	个例4
识别结果	丹麦细柱藻	丹麦细柱藻	中肋骨条藻	丹麦细柱藻
	正确	正确	错误	正确
待识别藻种编号	个例5	个例6	个例7	个例8
识别结果	丹麦细柱藻	丹麦细柱藻	丹麦细柱藻	丹麦细柱藻
	正确	正确	正确	正确

待识别为红色中缢虫时SVM识别结果

待识别藻种编号	个例1	个例2	个例3	个例4
识别结果	红色中缢虫	中肋骨条藻	中肋骨条藻	红色中缢虫
	正确	错误	错误	正确

16组个例的识别平均准确率优于80%

海上溢油是造成海洋环境污染损害的主要因素之一。在各种海洋污染 中,石油污染无论在发生频率、分布广度、还是在危害程度上均居首位。 随着世界海洋运输业的发展和海上油田不断投入生产,溢油事故不断增加, 往往造成大面积海面石油污染,不仅使海洋、大气自然环境、生态资源受 到损害,造成海洋生物的大量死亡,经济蒙受损失,而且严重危害人体健 康。溢油事故引发的火灾,还可能会导致海上和沿岸设施、船舶等的损坏。 溢油对近海海域的污染,已引起各国政府的重视,发达国家投入了大量资 金,建立探测系统,对近海专属经济区和领海海域进行巡视、监测和管理。





秦皇岛32—6油田C平台正在向海排放含油污水

海洋溢油的主要类型是柴油、润滑油和原油。在可见光波段, 柴油的反射率远高于海水;润滑油在兰绿光波段反射率高于海水,而 在红光和近红外波段则低于海水;原油在可见光波段低于海水而在近 红外波高于海水。三种油与海水的差异在不同的波段位置上。柴油与 海水反差的最大值在399 nm和426 nm处,次峰值在930 nm处; 润滑油与海水反差的最大值在407 nm和429 nm处,并逐渐向红光 方向降低,原油和海水反差与上述二类油品不同,最大值在近红外方 向上。

(1) 油膜识别

改进的区域生长方法: 在高光谱溢油图像中提取出种子点,按照 相似性准则进行生长,直至不能再生长,完成溢油区域的划定

方法步骤:

- 1)利用端元提取方法,选择合适的生长点
- 2) 将欧式距离与光谱夹角相结合作为相似性准则
- 3)使用邻域均值的生长方式,判断其是否应该归入已生长区域

油膜识别实验(2011年8月23日蓬莱19-3)



高光谱溢油图像

区域生长结果图

精度检验

分别统计区域生长结果图与人机交互确定溢油轮廓结果图中的油区像元个数和海水区像元个数。



区域生长结果图油 区像元个数	10114	区域生长结果图海 水像元个数	29886
人机交互确定结果 图油区像元个数	11703	人机交互确定结果 图海水像元个数	28297

人机交互溢油区域

(2) 油膜厚度分析

从获取的关于不同油膜厚度的光谱曲线可以看出不同油膜厚度的光谱曲线是不同的。随着油膜厚度增加,光谱的反射率在可见光-近红外谱段(400-1100nm)总体上降低,尤其在600nm左右变化比较明显。

基于上述特征,发展了两种油膜厚度分析方法: 构建波段特征的响应函数方法

光谱解混方法

(2) 油膜厚度分析

开展了不同厚度油膜光谱曲线获取实验:

采用AvaSpec光谱仪测量体积分别为40ml、80ml、120ml、160ml 和200ml 93号汽油的油膜,得到如下图所示的油膜光谱曲线,其中紫 红色为纯水的光谱曲线,向下依次是油膜厚度不断增加的光谱曲线



不同厚度油膜的光谱曲线

厚度分析方法:光谱解混方法

- 提取海水端元和溢油端元
- 利用光谱解混方法获得每个混合像元中油、水的丰度比例,其中油的丰度比
 例可以认为是其厚度比例
- 结合最厚位置的油膜厚度,可以计算出图像中每个点处的油膜厚度



高光谱溢油图像



油膜相对厚度分布图

3. 海冰高光谱信息提取

黄渤海地处中纬度季风气候带,每 年冬季都有部分海区出现不同程度的结 冰现象,从11月中旬开始到第二年3月 中旬结束,整个冰期约3~4个月。严重 的海冰灾害会对海上交通、石油开发、 海洋工程和渔业造成巨大损失,即使在 冰情一般和较轻的年份,海冰依然会对 个别海区造成灾害。海冰是黄渤海海域 海上工程设计、航运和开发生产中必须 考虑的重要环境因素之一。海冰还直接 关系到军事训练和国防安全。





3. 海冰高光谱信息提取

不同性质的地表,因反照率不同, 存在着较为明显的光谱差异。海水的 反射率明显低于海冰,并且随着海冰 厚度的增加,其反射率呈上升的趋势。



厚度为25cm、20cm和1-2cm的海冰



雪(上)与冰雪混合物(下)

1-2cm厚的薄海冰(实线)与海水(虚线)

(1) 海冰检测方法

基于航空高光谱数字量化值波段比法 基于相对反射率的海冰识别方法 基于地表反射率波段比的海冰识别方法

$$f_1 = \frac{DN(650)}{DN(736)} \begin{cases} \ge 3.54 & 海水 \\ < 3.54 & 海冰 \end{cases}$$





检测结果

原始影像

(1) 海冰检测方法——海冰面积和密集度计算

根据飞机的飞行航高、飞行速度和瞬时视场角,计算海冰像元面积和海 冰密集度。

海冰面积: Sice=Nice*Dx*Dy,

海冰密集度: A=Nice/S

其中Nice 为结冰像元数,S为像元总数;dx为像元的扫描方向长度, dx≈H*tg(θ/2)/(Samples/2),H为飞行高度,θ为扫描视场角,Samples为成像 光谱仪的行扫描像元数;dy为像元的飞行方向长度,dy=Vt1/Vt2,Vt1为 飞机飞行速度,Vt1为成像光谱仪扫描速率。

高光谱海冰面积、密集度提取

第58波段图像

在华铜镇附近, 鲅鱼圈南50公里左右获得的高光谱图像。当时飞行高度1000 米, 飞行速度220公里/小时, 目视范围内采集区冰以皮冰, 初生冰为主, 少量莲叶 冰, 基本上为冰水相间区。



冰水分离结果







航 高:1,500m 面 积:27.2万m² 密集度:7.9%



2013年3月3日辽河口海冰航空高光谱图像



海冰检测结果

(2) 海冰厚度反演

发展的反演模型:

基于现场实测数据的海冰厚度反演模型 基于高光谱数据的海冰厚度反演模型

(2) 海冰厚度反演

● 基于现场实测光谱数据的海冰厚度反演模型





(2) 海冰厚度反演

● 航空高光谱数据的海冰厚度反演模型

$$lg H = -29.0308 + 31.8252 \frac{R(752)}{R(734) + R(769)} + 28.5683 \frac{R(678)}{R(665) + R(693)}$$

通过2013年辽东湾10景海冰航空高光谱影像及现场同步海冰数据的检验,该算法在海冰厚度30~59cm的情形下,反演的平均相对误差为16.8%,均方根误差10cm。



2013年3月3日辽河口海冰航空高光谱图像

海冰厚度监测结果



2013年3月3日辽东湾航空高光谱海冰厚度反演结果

四、应用展望

海岸带地物分类 绿潮生长周期监测 河口排污口水质监测

融合了LIDAR数据和高光谱数据的效果图

排污口监测

获取排污口水域的高光 谱数据,并且进行同步或准 同步海面光谱测量以及化学 生物测量,通过研究其光谱 特征变化达到对排污口进行 定性定量监测的目的。

灵山卫污水处理站排污口

青岛近岸的一河口排污口的四波段高 光谱数据(782nm、642nm、549nm、 459nm数据。

河口排污口附近水域在各波段上均具 有高的反射率值,在近红外波段上,其反 射率值明显高于周围水域。

