

# 基于ENVISAT ASAR的海洋钻井平台遥感检测方法 ——以越南东南海域为例

王加胜<sup>1</sup>, 刘永学<sup>2</sup>, 李满春<sup>1,3</sup>, 杨康<sup>1</sup>, 程亮<sup>1</sup>

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 南京大学中国南海研究协同创新中心, 南京 210023; 3. 南京大学江苏省地理信息技术重点实验室, 南京 210023)

**摘要:** 海洋钻井平台的位置信息对溢油监测和航道安全有重要意义。针对目前海洋钻井平台遥感信息提取难、验证难的现状, 根据海洋钻井平台位置基本保持不变的特性, 本文提出了一种基于恒虚警率算法的海洋钻井平台提取方法。该方法包括三个主要步骤: 首先利用GDEM数据制作陆地掩膜, 然后基于双参数恒虚警率算法对两景成像时间靠近的ENVISAT ASAR影像进行海上目标提取, 最后对两时期提取结果进行对比, 去除舰船虚警目标, 完成海洋钻井平台提取。研究以越南东南海域为实验区, 对提出的方法进行实验, 结果表明, 该方法可以较为有效的确定钻井平台目标。在实验区内, 共提取钻井平台30个, 主要分布在越南石油招标区块09-1的白虎油田和龙油田。

**关键词:** 钻井平台; 目标检测; 遥感; ENVISAT ASAR; 恒虚警率; 越南东南海域

DOI: 10.11821/dlyj201311015

## 1 引言

海洋蕴藏着丰富的油气资源, 对海洋进行油气开发的强度日益加大<sup>[1]</sup>。随着海上油田的发现, 海洋钻井平台日益增多。海洋钻井平台的数量反映了一个国家海洋油气资源的开发力度。然而, 海洋钻井平台也是海洋油气污染的主要来源之一。在海上石油勘探、开发过程中, 海洋钻井平台的安装配置错误或使用不当会导致原油或油品泄露, 造成海水污染, 威胁海洋生态安全。另外, 海洋钻井平台的增多也给船舶航行安全带来潜在威胁。由于钻井平台位置信息的缺乏, 船舶依照预定航线可能航行至油气开发区域, 延长了航程的同时还可能造成碰撞事故, 存在被扣留的危险。因此, 如何获取海洋钻井平台的位置信息, 成为当前海洋环境管理和航道安全维护中需要解决的一个重要问题。

随着遥感技术手段在海洋观测中的广泛应用, 通过遥感影像进行海洋钻井平台遥感监测已成为可能。光学遥感影像受限于多变的海洋天气, 难以实现宏观、长期、连续、动态的海洋观测。合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)是一种高分辨率成像传感器, 具有观测范围广、周期短、数据时效强、空间分辨率高、不受光照和天气影响、全天候和全天时等优点, 近年来被广泛应用于海上人工目标检测的研究中<sup>[2-4]</sup>。海上人工目标主要包括舰船和钻井平台。目前, 对舰船检测的相关研究较多。各国研究人员已提出了许多

收稿日期: 2012-06-05; 修订日期: 2013-08-21

基金项目: 国家863计划课题(2012AA12A406-1); 新世纪优秀人才支持计划(NCET-12-0264)

作者简介: 王加胜(1984-), 男, 云南富源人, 博士研究生, 主要从事海洋地理信息技术研究。

E-mail: wjerson@gmail.com

通讯作者: 刘永学(1976-), 教授, 主要从事资源环境遥感研究。E-mail: yongxue@nju.edu.cn

2143-2152 页

舰船检测算法<sup>[5-9]</sup>，如阈值分割法<sup>[10-11]</sup>、恒虚警率（Constant False Alarm Rate, CFAR）算法<sup>[12-14]</sup>、最佳熵自动门限法<sup>[14]</sup>、分形方法<sup>[15]</sup>、小波分析法<sup>[16]</sup>、视觉显著度模型<sup>[17]</sup>等。在这些舰船检测方法中，CFAR算法是当前研究中普遍使用的舰船提取方法<sup>[18]</sup>。与舰船目标检测相比，海洋钻井平台检测研究较少。孟若琳和邢前国<sup>[19]</sup>采用Landsat TM影像第7波段对海上船舶和油井平台进行遥感检测，然而该研究中未对油井平台与船舶目标进行区分。因此，探索基于SAR影像的海洋钻井平台检测方法变得十分必要。

综上所述，海洋钻井平台目标提取在海洋环境管理和航道安全保障方面都具有重要意义。针对提取方法研究较少的现状，研究拟结合舰船提取算法，利用两景成像时间靠近的ENVISAT ASAR影像，对海洋钻井平台的雷达影像提取方法进行探索，并以越南东南海域为例进行实验。

## 2 研究区概况与数据来源

研究选择邻近中国九段线的越南东南海域为研究区（图1）。该海域处于南海西部，靠近越南湄公河三角洲，是越南主要的海洋油气开发聚集区。研究区位于越南重要油气盆地——九龙盆地（Cuu Long Basin）之上，覆盖了越南油气招标区块15-1、15-2、01-、01、02、03、09-1、09-2的全部范围，09-3的大部以及16-1、16-2、04-1、04-2的部分区域。在这些招标区块中，分布着越南近20个油气田，如：白虎油田（Bach Ho）、红宝石油田（Ruby）、龙油田（Rong）、黎明油田（Rang Dong）、黑狮油田（Su Tu Den）、金狮

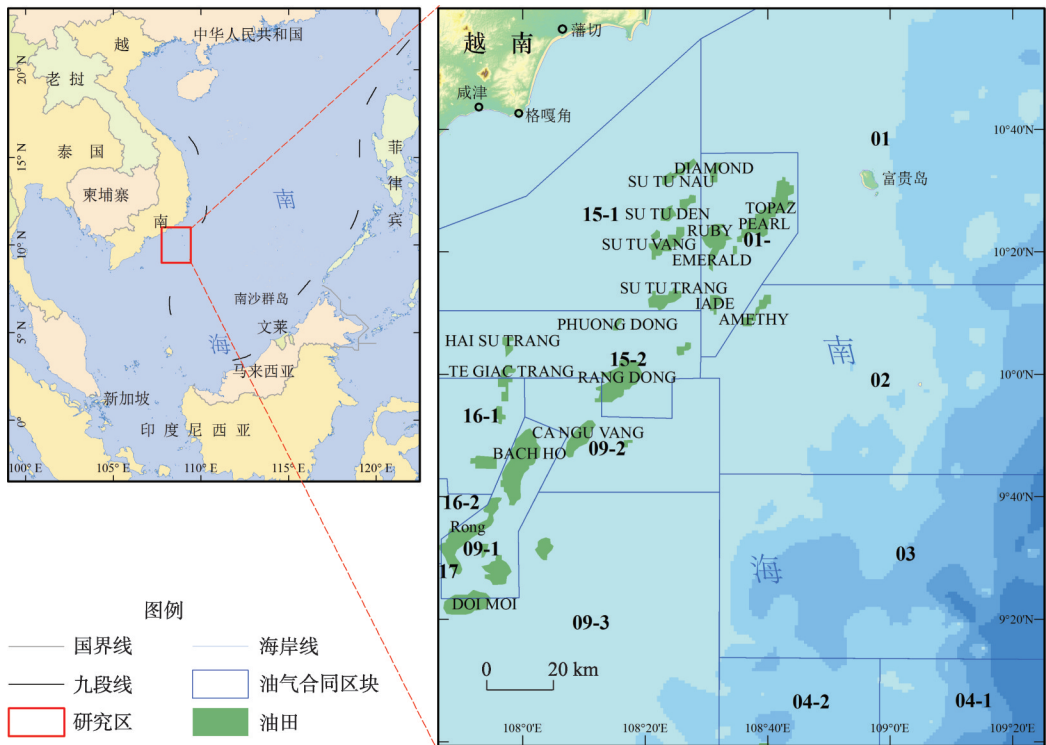


图1 研究区示意图

Fig. 1 Map of the study area

油田 (Su Tu Vang) 等。研究区涵盖了越南主要的油气田集中区, 对海洋钻井平台提取方法的研究具有代表性。

研究收集了两景宽幅模式 (Wide Swath Model, WSM) 的ENVISAT ASAR影像 (成像时间: 2008-02-08, 2008-02-11), 空间分辨率为 150 m。另外, 还收集了研究区地形数据 GDEM数据, 空间分辨率为 30 m。同时, 研究还通过网络收集了越南油气招标区块和油气田分布图, 经过几何校正后矢量化为面状数据。所有数据的坐标系统统一为 WGS-84 地理坐标系, 并裁剪为研究区范围。

### 3 研究方法

海洋钻井平台是海上油气勘探开发的重要装备, 包括固定式、坐底式、自升式和半潜式钻井平台 (含钻井船) 等类别<sup>[20]</sup>, 其材质主要为金属。其大小与舰船尺寸差异较小 (尤其是钻井船, 其本身就是船舶类型之一), 两者在 SAR 影像中均呈现较强的回波信号, 区分困难<sup>[19]</sup>。然而, 舰船与海洋钻井平台动静特性差异明显, 舰船是移动对象, 而钻井平台则相对静止。研究将根据多时相 ENVISAT ASAR 影像中两者的动静差异去除舰船目标, 提取海洋钻井平台 (图2)。

基于 ENVISAT ASAR 数据的海洋钻井平台遥感检测方法步骤如图3所示: ①制作陆地掩膜, 消除陆地对海上钻井平台提取的影响; ②利用舰船提取方法从单幅 ENVISAT ASAR 影像提取海上钻井平台疑似目标集; ③对比同区域、多期钻井平台疑似目标, 依据海洋钻井平台的静止特性, 确定海洋钻井平台。

#### 3.1 陆地掩膜

SAR 影像中, 陆地信息包括许多金属制造的人工设施, 会产生大量虚警。因此, 在海洋钻井平台提取前需要制作陆地掩膜, 消除陆地信息对结果的干扰。陆地掩膜通常基于海岸线生成, 然而实际海岸线复杂多变, 提取的陆地信息很难与之匹配, 这就导致通过数字高程数据获取的陆地掩膜并未完全覆盖陆地部分。所以相关学者提出了对海岸线数据进行缓冲区计算, 以生成的陆地掩膜多边形来进行掩膜运算<sup>[21]</sup>。海岸线可由地形数据生成。研究中陆地掩膜基于 30 m 分辨率的 GDEM 数据实现。主要过程包括: ① DEM 数据二值化。取高程值大于 0 的部分为陆地范围。② 数学形态学闭操作。陆地上负地形造成提取的陆地区域存在许多

毛刺和空洞, 可利用数学形态学的闭操作加以消除。③ 掩膜结果栅格矢量化为面图层。④ 对矢量化结果向海洋方向缓冲, 完成陆地掩膜的制作。通常海上海洋钻井平台离岸线距离大于 10 km,

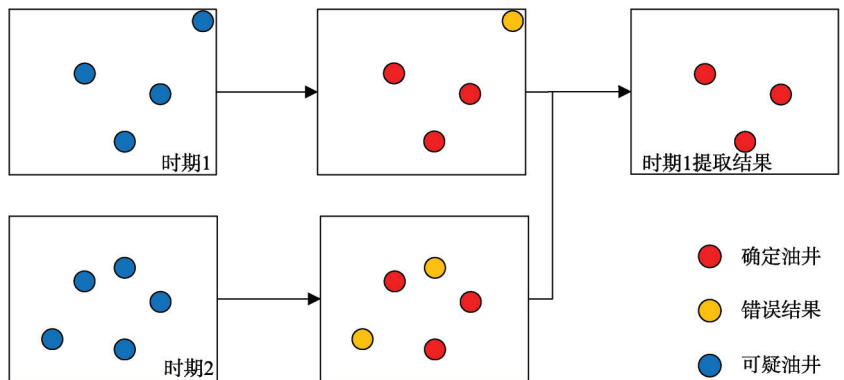


图2 海洋钻井平台提取思路

Fig. 2 The thought of offshore drilling platform extraction

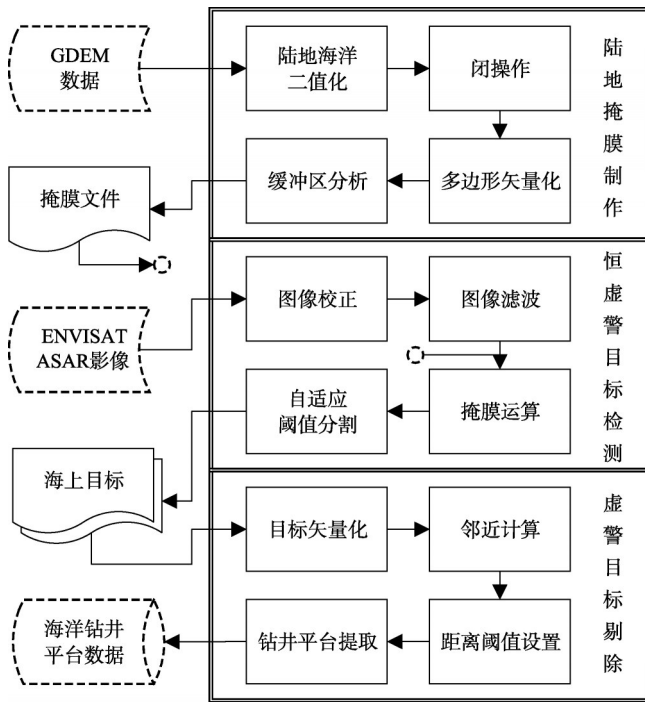


图3 基于ENVISAT ASAR的海洋钻井平台检测方法

Fig.3 The framework of offshore drilling platforms detection based on ENVISAT ASAR data

研究借鉴 Wackerman 的方法<sup>[21]</sup>设置 2 km 缓冲距离来制作陆地掩膜。

### 3.2 影像校正与滤波

研究采用的 ENVISAT ASAR 影像为 1b 级产品，在使用其进行钻井平台提取之前，需要对其进行一系列图像校正过程。这些校正过程包括地形校正和辐射校正。地形校正用于消除因 SAR 影像侧视引起的几何畸变及辐射畸变<sup>[22]</sup>；辐射校正是对数据的辐射失真或畸变进行的校正。

另外，SAR 影像存在由相干波引起的相干斑噪声，需要通过滤波方法滤除。常用的中值滤波、均值滤波等传统滤波器用于 ASAR 图像处理，会在平滑噪声的同时，造成影像边缘信息和纹理信息的损失。而 Kalman 滤波器和 Lee 等滤波器，因为对噪声的

静态假设往往不能与信号的实际情况相符，滤波器往往效果并不理想。Sigma 滤波被认为是一种较好的 ASAR 影像滤波方法<sup>[23]</sup>。本研究采用 Sigma 滤波对 ENVISAT ASAR 进行滤波处理。

Sigma 滤波通过对滤波窗口内落在窗口平均灰度值的两个 Sigma 范围内的像素进行平均计算来滤除噪声，其原理分为两步：

(1) 计算 Sigma 范围。取一定大小的滤波窗口，分别计算两个 Sigma 范围上下限阈值  $X_{min}$  和  $X_{max}$ <sup>[23]</sup>：

$$X_{min} = X_{mean} - 2\sigma \tag{1}$$

$$X_{max} = X_{mean} + 2\sigma \tag{2}$$

式中： $X_{mean}$  为此窗口的灰度均值； $\sigma$  为滤波窗口的标准差。

(2) 对中心像元赋值。统计窗口内 SAR 影像像元值 (Digital Number, DN) 在 Sigma 范围内的像元个数  $S$ ，如果  $S$  大于给定阈值  $K$ ，则滤波窗口中心像元的 DN 值设为  $S$  个满足要求像元 DN 值的平均值。否则，以中心像元的 4 邻域像素的平均值作为滤波后中心像元的 DN 值。

在 Sigma 滤波算法中，通过阈值  $K$  和滤波窗口大小的设定，可以控制对 ASAR 影像进行滤波的程度。实验表明，窗口越大，相互靠近的目标滤波后容易混淆成为一个目标。阈值  $K$  越大，杂波就难以滤除，所以需要反复选择窗口大小和阈值  $K$ 。

### 3.3 疑似钻井平台检测

3.3.1 恒虚警率方法 复杂多变的海况条件与 ASAR 影像自身的成像特点使得 ASAR 影像

具有很强的非均匀性,产生大量虚警目标,使得自动检测结果不可靠。所以,不能通过全局阈值检测海洋目标,需要应用具有自适应能力的检测算法,同时保持恒定的虚警率。雷达信号的CFAR算法是一种自适应门限检测方法<sup>[13]</sup>。它对每个像素进行阈值检验,阈值的选取与杂波模型和要求的虚警概率有关。CFAR算法的步骤可归纳为三步:确定杂波概率密度函数的统计模型,估计概率密度函数模型中的参数,确定CFAR检测器阈值。

假设背景杂波的概率密度函数为 $p(x)$ ,目标的概率密度函数为 $p_1(x)$ ,阈值 $V$ 将背景和目標分开,则虚警概率 $P_{fa}$ 和目标检测概率 $P_d$ 分别定义为<sup>[13]</sup>:

$$P_{fa} = \int_V^{\infty} p(x)dx = 1 - \int_0^V p(x)dx \quad (3)$$

$$P_d = \int_V^{\infty} p_1(x)dx \quad (4)$$

求解方程 $1 - P_{fa} = \int_0^V p(x)dx$ 可得到阈值 $V$ 。

在CFAR算法的基础上衍生出了双参数CFAR算法、单元平均CFAR算法、 $K$ -分布CFAR算法等一系列算法。其中,双参数CFAR算法基于背景杂波是高斯分布的假设,局部滑动窗口使得算法能够适应局部背景杂波变化,可以根据需求设置窗口尺寸,并且易于实现。本研究选用双参数CFAR算法作为疑似钻井平台检测算法。

**3.3.2 双参数CFAR目标检测** 双参数CFAR算法是一种经典的CFAR检测算法,在自动目标识别中已经得到广泛应用。算法在实现时需要以一个像元为中心的三个滑动窗口:目标窗口 $W_t$ ,保护窗口 $W_p$ ,背景窗口 $W_b$ 。其中,保护窗口的目的是确保目标的像素没有被包含在背景窗口中,背景窗口代表的是背景统计信息。通常目标窗口大小设置为目标最小尺寸,保护窗口大小为目标最大尺寸,背景窗口大小应为保护窗口面积的2倍以上。双参数CFAR算法用于目标检测的准则为<sup>[12]</sup>:

$$\mu_t > \mu_b + \sigma_b t \quad (5)$$

式中: $\mu_t$ 为目标窗口均值; $\mu_b$ 为背景均值; $\sigma_b$ 为背景标准偏差; $t$ 为虚警率控制系数。 $\mu_b$ 与 $\sigma_b$ 是通过估计背景窗口样本得到。

在双参数CFAR算法中,虚警率控制系数 $t$ 与虚警率 $P_{fa}$ 满足以下关系:

$$P_{fa} = 1/2 - \Phi(t)/2 \quad (6)$$

式中: $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数。

虚警率控制系数 $t$ 对检测结果的影响显著。 $t$ 增大时会减少虚警数,增加漏检数。反之,当 $t$ 减小时会减少漏检数,增加虚警数。因此需要反复调整 $t$ 的值,使得检验概率和虚警率达到最好的平衡。其经验取值为 $4.5 < t < 7.5$ 。

基于双参数CFAR算法提取疑似海洋钻井平台的过程如下:首先,加载经过校正和滤波的影像数据和陆地掩膜文件;然后,利用陆地掩膜将影像数据的陆地部分去除;最后,设置目标窗口、保护窗口和背景窗口的大小以及虚警率控制系数,按照双参数CFAR算法提取疑似海洋钻井平台。对两景影像提取可得到两个时期的疑似海洋钻井平台检测结果集。

### 3.4 虚警目标剔除

基于CFAR算法检测出的目标包含舰船和钻井平台,需要将二者区分开来并剔除虚警目标。舰船的移动特性,使得在不同时期结果集中位置不会重合。钻井平台的位置则相对固定,不会发生变化。因此,通过对比两期海上目标结果集中的目标位置,可剔除虚警目标,获得前一期的钻井平台位置分布。根据这一思路,通过以下几个步骤剔除虚警目标,确定钻井平台。

(1) 目标栅格数据矢量化为点数据。将从两个时期的海上目标监测结果集中的疑似石

油钻井平台由栅格数据转化为点类型矢量数据,假设生成的点矢量图层分别为 $L_1$ ,  $L_2$ 。

(2) 对两个疑似目标点图层进行邻域分析。以 $L_1$ 为基础,计算 $L_2$ 中各点到 $L_1$ 中各点的距离,并将距离 $L_1$ 中点的最小距离的 $L_2$ 中点的属性值和距离值存入 $L_1$ 的属性表。

(3) 设置距离阈值,确定钻井平台目标。根据 $L_1$ 的距离属性值,查找图层 $L_1$ 与 $L_2$ 的重合点,由于影像受到卫星运行环境的影响,两景ENVISAT ASAR影像提取的疑似钻井平台表现出的栅格图像可能存在一些差异,导致矢量化为点时,钻井平台点并不一定能完全重合。研究采用距离阈值 $D$ 确定该点是否为钻井平台。距离属性小于 $D$ 的目标是钻井平台,反之则不是钻井平台。假设 $L_1$ 对应ENVISAT ASAR影像成像时间 $T_1$ 早于 $L_2$ 对应的ENVISAT ASAR影像成像时间 $T_2$ ,则确认结果为 $T_1$ 时间的钻井平台信息。

## 4 结果分析

### 4.1 实验结果

实验以越南东南海域为研究区。经过掩膜制作、影像校正和滤波处理后,利用两景2008年2月的ENVISAT ASAR宽幅影像对区域内海洋钻井平台进行提取。在Sigma滤波过程中,研究通过调整Sigma滤波窗口大小和阈值进行实验,发现Sigma滤波窗口设置为 $3 \times 3$ 大小,阈值 $K$ 设置为8时,滤波效果最好,去除杂波的同时突出了海上目标(图4)。在基于双参数CFAR算法的目标提取过程中,研究通过目视识别方法对海上目标尺寸进行量测,最终确定目标窗口大小为225 m ( $3 \times 3$ ),保护窗口大小为525 m ( $7 \times 7$ ),背景窗口大

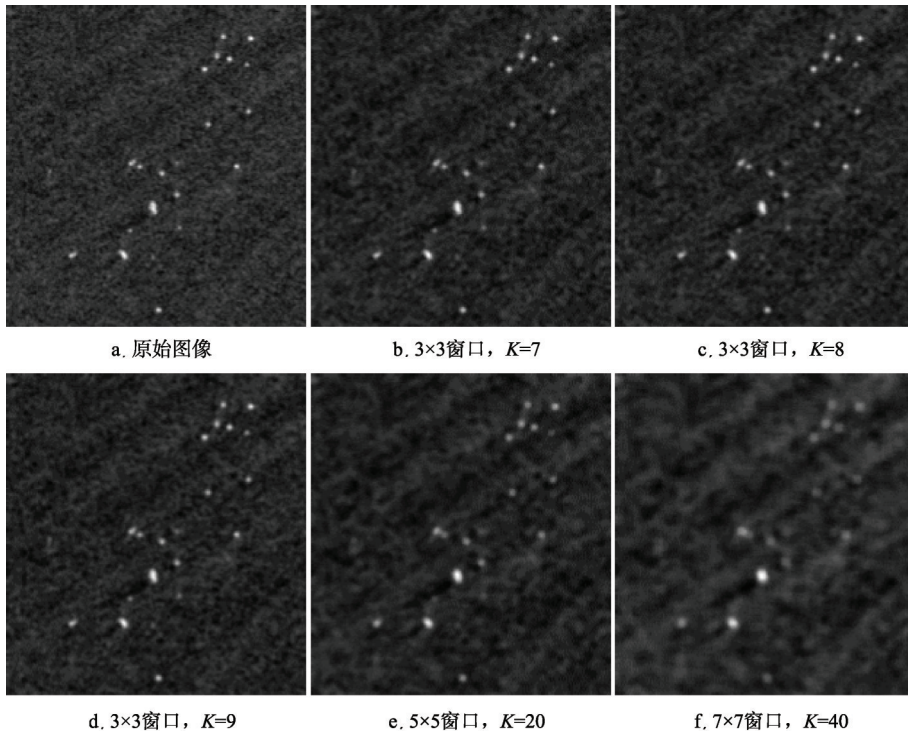


图4 Sigma滤波参数测试结果

Fig.4 Test Results of Sigma filtering method

小为975 m (13×13), 虚警率检测控制系数t为5.0, 相应的虚警率 $5.0 \times 10^{-5}\%$ 。由于钻井平台尺寸通常小于150 m, 结合ENVISAT ASAR数据的空间分辨率, 研究设置确认钻井平台的距离阈值为150 m。

采用上述参数设置, 完成了研究区的钻井平台提取结果(图5)。其中图5b为钻井平台提取最终结果, 并与越南油气招标区块、油气田数据进行叠加。从叠加结果可以看出, 提取的钻井平台除一个外, 均位于油气田范围之内, 这从侧面说明了平台提取的准确性。从提取钻井平台的数量来看, 时期1(2008-02-08)的ENVISAT ASAR影像提取疑似钻井平台82个(图5a), 时期2(2008-02-11)的ENVISAT ASAR影像提取疑似钻井平台80个(图5b)。经过剔除虚警目标确认研究区在时期1具有海洋钻井平台30个, 共去除虚警目标102个。从钻井平台的分布来看, 经确认的钻井平台成西南-东北走向的带状分布, 大致与越南海岸线平行。研究区2008年钻井平台分布在越南油气招标区块01、01-、15-1、15-2、16-1、16-2、9-1和9-2内, 其中以9-1最多(20个)。这是由于9-1区块中含有越南高产油田-白虎油田和龙油田。

通过空间叠加分析方法, 对提取的海洋钻井平台按照油田、油气招标区块进行统计得到表1的结果。可以看出, 白虎油田(BACH HO)钻井平台最多(16个), 其次为龙油田(RONG)(3个)和黎明油田(RANG DONG)(3个)。

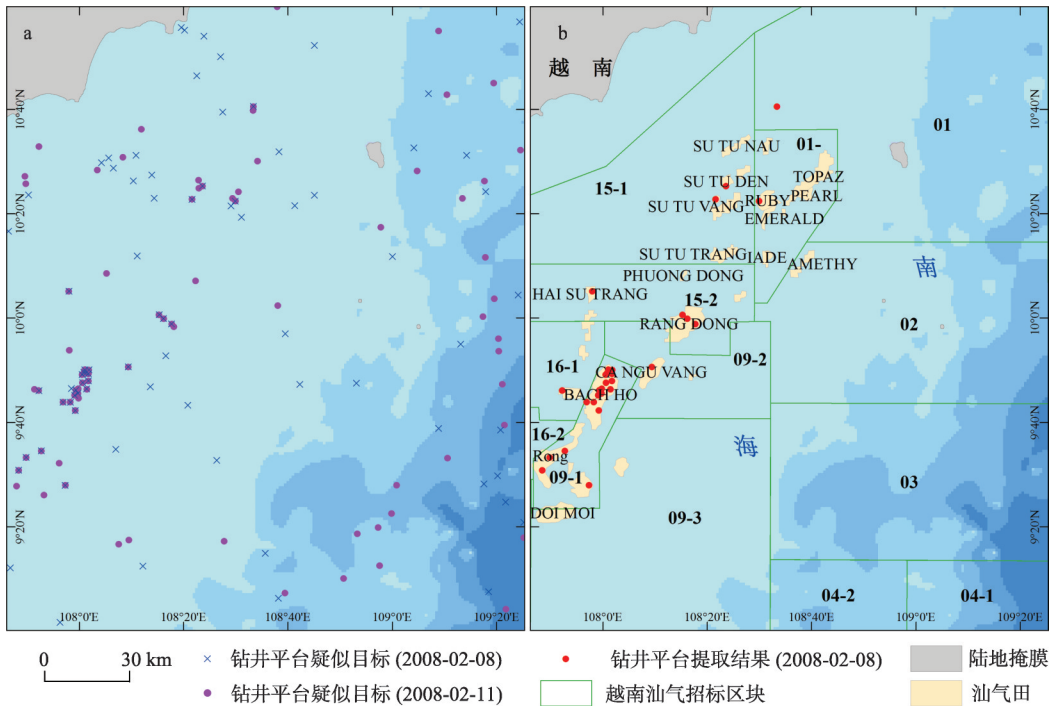


图5 越南东南海域海洋钻井平台提取: (a) 钻井平台疑似目标提取; (b) 钻井平台提取结果(2008-2-8)

Fig.5 The extraction of drilling platforms in southeastern Vietnam offshore area: (a) The results of suspected drilling platforms; (b) Confirmed targets of drilling platforms (2008-2-8)

### 4.2 分析与讨论

(1) 几何校正的影响。在海上目标提取的过程中, 研究的最终目的是确定目标的位

表1 越南东南海域钻井平台提取结果 (2008-02-08)

Tab.1 The extraction results of the drilling platforms in southeastern Vietnam offshore area (2008-2-8)

序号	经度	纬度	招标区块	油田	序号	经度	纬度	招标区块	油田
1	107.96	9.47	9-1		16	108.00	9.76	9-1	BACH HO
2	107.88	9.58	9-1	RONG	17	107.99	9.75	9-1	BACH HO
3	107.83	9.56	9-1	RONG	18	107.95	9.73	9-2	BACH HO
4	107.81	9.51	9-1	RONG	19	107.97	9.73	9-3	BACH HO
5	108.02	9.84	9-1	BACH HO	20	107.99	9.71	9-4	BACH HO
6	108.03	9.84	9-1	BACH HO	21	107.87	9.77	16-1	
7	108.02	9.83	9-1	BACH HO	22	107.97	10.09	15-2	HAI SU TRANG
8	108.02	9.83	9-1	BACH HO	23	108.16	9.85	9-2	CA NGU VANG
9	108.03	9.82	9-1	BACH HO	24	108.26	10.01	15-2	RANG DONG
10	108.01	9.82	9-1	BACH HO	25	108.27	10.00	15-2	RANG DONG
11	108.03	9.80	9-1	BACH HO	26	108.30	9.98	15-2	RANG DONG
12	108.011	9.794	09-1	BACH HO	27	108.361	10.380	15-1	
13	107.997	9.775	09-1	BACH HO	28	108.394	10.422	15-1	SU TU DEN
14	108.025	9.773	09-1	BACH HO	29	108.500	10.374	01-	RUBY
15	107.990	9.770	09-1	BACH HO	30	108.557	10.676	01	

置。然而由于ENVISATASAR影像形成过程中受到诸多因素的影响,使影像存在几何畸变,解决的办法就是在使用之前对其进行几何精校正。由于海域很难找到参考点,使得难以对ENVISAT ASAR影响进行几何精校正,导致提取结果位置精度较低。本文选择的研究区包含了部分陆地区域,几何校正所受影响不大。另外,研究选用的两景影像时间间隔较短,且采用了邻近分析法确定钻井平台,减少了地形畸变的部分影响。然而,对于广大海域雷达影像几何精校正是有待解决的问题。

(2) 海洋钻井平台尺寸的影响。海洋钻井平台的长宽约在50-150 m间,而ENVISAT ASAR宽幅模式影像的空间分辨率为150 m。由于金属目标在SAR影像中的回波信号很强,钻井平台在影像上会加强附件像元的信号值。当几个钻井平台距离较近时,对影像相干噪声滤波容易将两个目标误作为1个目标,使检测目标数量存在偏差。这有待利用更高分辨率雷达影像对钻井平台进行提取。另外,双参数CFAR方法对目标窗口、保护窗口、背景窗口的大小设置不当也会造成目标漏检或虚警,对于不同的ENVISAT影像需要仔细调整。

(3) 钻井平台提取精度的验证。目前,海洋钻井平台实测位置数据资料缺乏,加之其位于海洋之中,难以实地调查。因此,海洋钻井平台提取精度难以评估,只能通过目视解译的方法对提取的结果好坏进行评价。研究采用两景雷达影像比较的方法提高了钻井平台提取的准确度,然而也偶然存在两艘舰船混淆带来虚警。

## 5 结论

针对海洋钻井平台的静止特性,研究提出了一种利用两景ENVISAT ASAR影像提取海洋钻井平台的方法。该方法包括陆地掩膜制作、影像校正与滤波、海洋目标检测和虚警

目标剔除等过程。最后, 研究以越南东南海域为例, 对该方法进行实验, 结果表明该方法提取效果较好, 可很好地识别海洋钻井平台。

研究在实验区内共提取海洋钻井平台30个, 去除虚警目标102个。这些钻井平台都位于越南2008年前发现的油田内, 以白虎油田最多, 其次为龙油田和黎明油田。这些钻井平台分布在越南09-1、09-2、16-1、15-2和01-等油气招标区块内, 均在研究区左上半个区域。

然而, 对于广阔的海洋, ENVISAT ASAR影像几何精校正困难, 加之海洋钻井平台资料缺乏, 使得海洋钻井平台目标检测困难。这有待于随着遥感影像获取和处理技术水平与钻井平台信息化程度的提高得到解决。

### 参考文献(References)

- [1] 张耀光, 刘岩, 李春平, 等. 中国海洋油气资源开发与国家石油安全战略对策. 地理研究, 2003, 22(3): 297-304.
- [2] Graziano M D, D'errico M, Razzano E. Constellation analysis of an integrated AIS/remote sensing spaceborne system for ship detection. *Advances in Space Research*, 2012, 50(3): 351-362.
- [3] Atteia G, Collins M J. On the use of compact polarimetry SAR for ship detection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2013, 80: 1-9.
- [4] Wu G, Leeuw J D, Skidmore A K, et al. Performance of Landsat TM in ship detection in turbid waters. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2008, 11(1): 54-61.
- [5] 唐沐恩, 林挺强, 文贡坚. 遥感图像中舰船检测方法综述. *计算机应用研究*, 2011, 28(1): 29-36.
- [6] Yang J, Gao W. New method for ship detection. In: 2012 IEEE International. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. IEEE, 2012. 115-118.
- [7] Mirghasemi S, Yazdi H S, Lotfizad M. A target-based color space for sea target detection. *Applied Intelligence*, 2012, 36(4): 960-978.
- [8] Chaturvedi S K, Yang C, Ouchi K, et al. Ship recognition by integration of SAR and AIS. *Journal of Navigation*, 2012, 65(2): 323-337.
- [9] Liu F, Zhao F, Yu W, et al. Ship detection and speed estimation based on azimuth scanning mode of synthetic aperture RADAR. *IET Radar Sonar and Navigation*, 2012, 6(6): 425-431.
- [10] 王保云, 张荣, 袁圆, 等. 可见光遥感图像中舰船目标检测的多阶阈值分割方法. *中国科学技术大学学报*, 2011, 41(4): 293-298.
- [11] 储昭亮, 王庆华, 陈海林, 等. 基于极小误差阈值分割的舰船自动检测方法. *计算机工程*, 2007, 33(11): 239-241.
- [12] 艾加秋, 齐向阳, 禹卫东. 改进的SAR图像双参数CFAR舰船检测算法. *电子与信息学报*, 2009, 31(12): 2881-2885.
- [13] 魏中平. 基于CFAR的SAR目标检测. *电子科技*, 2013, 26(3): 26-29.
- [14] 种劲松, 朱敏慧. 高分辨率合成孔径雷达图像舰船检测方法. *测试技术学报*, 2003, 17(1): 15-18.
- [15] 张东晓, 何四华, 杨绍清. 一种多尺度分形的舰船目标检测方法. *激光与红外*, 2009, 39(3): 315-318.
- [16] 李晓玮, 种劲松. 基于小波分解的K-分布SAR图像舰船检测. *测试技术学报*, 2007, 21(4): 350-354.
- [17] 田明辉, 万寿红, 岳丽华. 遥感图像中复杂海面背景下的海上舰船检测. *小型微型计算机系统*, 2008, 29(11): 2162-2166.
- [18] Xiangwei X, Kefeng J, Huanxin Z, et al. A fast ship detection algorithm in SAR imagery for wide area ocean surveillance. In: 2012 IEEE. *Radar Conference (RADAR)*. IEEE, 2012. 570-574.
- [19] 孟若琳, 邢前国. 基于可见光的海上船舶钻井平台遥感检测. *计算机应用*, 2013, 31(3): 708-711.
- [20] 王定亚, 丁莉萍. 海洋钻井平台技术现状与发展趋势. *石油机械*, 2010, 38(4): 69-72.
- [21] Wackerman C C, Friedman K S, Pichel W G, et al. Automatic detection of ships in RADARSAT-1 SAR imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2001, 27(4): 371-378.
- [22] 高永年, 张万昌. 遥感影像地形校正研究进展及其比较实验. *地理研究*, 2008, 27(2): 467-477.
- [23] 李颖, 李传龙, 王俊, 等. ASAR level 1B数据格式及解译方法. *遥感信息*, 2009, (3): 73-77.

# Drilling platform detection based on ENVISAT ASAR remote sensing data: A case of southeastern Vietnam offshore area

WANG Jiasheng<sup>1</sup>, LIU Yongxue<sup>2</sup>, LI Manchun<sup>1,3</sup>, YANG Kang<sup>1</sup>, CHENG Liang<sup>1</sup>

(1. Department of Geographic Information Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Collaborative Innovation Center for the South China Sea Studies, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

3. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** The positional information of offshore drilling platform is very important to oil spill monitoring and shipping routes safety. However, confronted with the difficulty of extraction and verification, nowadays few studies have focused on offshore drilling platform detection. This paper presents an offshore drilling platform extraction method based on the constant false alarm rate (CFAR) detection algorithm according to the movement characteristics between ships and drilling platforms. There are three main steps in the method: a) Generate a land mask of the study area based on the GDEM data; b) Conduct offshore objects detection based on dual-parameter CFAR algorithm by using two temporally-adjacent ENVISAT ASAR images; c) Remove false ship alarms and configure drilling platforms according to the positional differences of objects between two phases. The southeastern Vietnam offshore area was selected as an experimental area to examine the presented method. The results demonstrate the effectiveness of CFAR method for drilling platform targets extraction. In this study area, 30 drilling platforms were extracted, which are mainly located in the Bach Ho and Rong oil fields in the Vietnam oil block 09-1.

**Key words:** drilling platform; target detection; remote sensing; ENVISAT ASAR; CFAR; southeastern Vietnam offshore area